

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA  
LA MOLINA  
ESCUELA DE POSGRADO  
DOCTORADO EN AGRICULTURA SUSTENTABLE**



**“RIZOBACTERIAS PROMOTORAS DE CRECIMIENTO DE  
PLANTAS PARA MEJORAR LA PRODUCTIVIDAD EN  
PAPA”**

**Presentada por:**

**JESÚS HERÁCLIDES ARCOS PINEDA**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE *DOCTORIS PHILOSOPHIAE*  
EN AGRICULTURA SUSTENTABLE**

**Lima - Perú**

**2017**

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA  
LA MOLINA**

**ESCUELA DE POSGRADO  
DOCTORADO EN AGRICULTURA SUSTENTABLE**

**“RIZOBACTERIAS PROMOTORAS DE CRECIMIENTO DE  
PLANTAS PARA MEJORAR LA PRODUCTIVIDAD EN  
PAPA”**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE  
*Doctoris Philosophiae (Ph.D.)***

**Presentada por:**

**JESÚS HERÁCLIDES ARCOS PINEDA**

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

Dr. Félix Camarena Mayta  
**PRESIDENTE**

Dra. Doris Zúñiga Dávila  
**PATROCINADORA**

Dra. Carmen Felipe-Morales Basurto  
**MIEMBRO**

Dr. Oscar Ortiz Oblitas  
**MIEMBRO**

Ph.D. Alfonso Pablo Huerta Fernández  
**MIEMBRO EXTERNO**

## **DEDICATORIA**

A Dios Padre Todopoderoso, por la bendición de mi vida, fortaleza y sabiduría para superar la adversidad.

A mi esposa Rosa, por su amor, afecto y apoyo en todo momento para la culminación de mis estudios.

A mis hijos, Edwin y Rossío, por su amor, aliento, afecto y apoyo en mi desarrollo humano.

A mis padres, por su amor y crianza, aunque no están conmigo físicamente, siempre estarán presente.

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios, por darme fortaleza, sabiduría y paciencia para culminar mis estudios y por la oportunidad para contribuir con un granito de arena a la seguridad alimentaria.

A mi esposa e hijos por brindarme un hogar feliz y amoroso, y aconsejarme que la disciplina y la perseverancia son los ingredientes muy importantes para lograr éxito en la vida.

A la Doctora Doris Zúñiga, mi patrocinadora, por haberme dado la oportunidad, por su orientación y valiosos consejos.

Al Doctor Andreas Oswald, por su colaboración y consejos valiosos.

A los Doctores Alberto Julca, Manuel Canto y Hugo Soplín por sus consejos en la elaboración de la tesis.

A los doctores Roberto Quiroz y Carlos Velarde por su valioso apoyo incondicional para la culminación de mis estudios y para la ejecución de la tesis.

Al jurado evaluador, por las recomendaciones para mejorar el presente documento

A mis compañeros de trabajo, por su apoyo incondicional en todo momento.

A todos los compañeros de estudios, que me brindaron ayuda, consejos para la elaboración de esta tesis.

Al Ingeniero Felipe De Mendiburu por sus valiosos consejos estadísticos.

Al Centro Internacional de la Papa (CIP), Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA), Concejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Concytec) y Laboratorio de Ecología Microbiana y Biotecnología de la UNALM, por el apoyo para la realización de la tesis.

Finalmente a todas las personas que se cruzaron en este camino y que me dieron palabras de aliento y apoyo.

## RESUMEN

La papa (*Solanum tuberosum* L.) es un cultivo alimenticio de alto valor nutricional y medicinal, muy valioso para la alimentación de la población mundial en constante crecimiento, y constituye el principal cultivo de los pequeños agricultores de la región andina, donde existe gran diversidad genética de especies de papas cultivadas y silvestres. Sin embargo, a pesar del alto potencial de rendimiento del cultivo de la papa, en el Perú, el promedio de la producción y productividad es bajo, en comparación al rendimiento promedio de otros países. Este rendimiento bajo, entre otros factores, es debido principalmente al ataque de plagas y enfermedades que afectan el cultivo y por rotaciones intensivas en parcelas cada vez más pequeñas y de baja fertilidad, expuestas a las condiciones adversas del clima (alta radiación solar, heladas y sequías intermitentes). Para mejorar el rendimiento y contrarrestar el daño de plagas y enfermedades, los agricultores hacen uso de fertilizantes y pesticidas químicos, con la consecuente contaminación del medio ambiente, riesgo de toxicidad para la salud humana e incremento de los costos de producción. Como una alternativa para disminuir tales problemas, con el menor uso de agroquímicos, los microorganismos, como los del grupo de rizobacterias promotoras de crecimiento de plantas (PGPR) y abono orgánico podrían ser parte de la solución efectiva; ya que se ha demostrado, efectos positivos en relación al crecimiento, rendimiento y sanidad de varios cultivos en condiciones de invernadero y campo.

Varios experimentos a nivel de macetas y camas de invernadero, y en condiciones de campo se realizaron con el objetivo de evaluar la capacidad de promoción de crecimiento y rendimiento de las PGPR; así como, el efecto de supresión o control de fitopatógenos en cultivo de papa. Las cepas de rizobacterias utilizadas en los experimentos fueron aisladas de las muestras de rizósfera del cultivo de papa de las zonas productoras de papa de la sierra del Perú y de la región altiplánica, en el Laboratorio de Ecología Microbiana y Biotecnología Marino Tabusso de la UNALM. A nivel de invernadero, se evaluó tres niveles de concentración y tres épocas de inoculación de tres cepas de rizobacterias, encontrándose que los mejores niveles de concentración de cepas de rizobacterias para la promoción de crecimiento y rendimiento del cultivo de papa son  $1 \times 10^8$  ufc/ml y  $1 \times 10^6$  ufc/ml, inoculadas ya sea solamente a la siembra o a la siembra más al aporque.

En condiciones de invernadero, las plántulas de la variedad Ccompis y Andina inoculadas con las cepas de rizobacterias Bac17M8, Bac17M9 y Bac de Bolivia frente a la presencia de *R. solani* presentaron menor mortalidad estadísticamente significativas (18.90% y 12.13% en Ccompis y Andina, respectivamente) con respecto a la ausencia de rizobacterias (28.02% y 19.89% en Ccompis y Andina, respectivamente). De manera similar, en las variedades Ccompis y Andina los tubérculos cosechados de las parcelas inoculadas con estas cepas de rizobacterias presentaron menores porcentajes de tubérculos infectados, en comparación con los tubérculos cosechados de la parcela que no fue inoculada con rizobacterias.

En condiciones de campo, la altura de plantas y los rendimientos de tubérculos totales en peso y número, en las parcelas inoculadas con las rizobacterias fueron significativamente superiores en comparación al control no inoculado; en promedio, el

rendimiento de la variedad Ccompis incrementó en 125.79% comparado con el control no inoculado, y el número total de tubérculos se incrementó a 141.41% por encima del control no inoculado. Las mejores cepas que mejoran la productividad de la papa fueron: Bac17M8 y Act16M2, con rendimientos superiores en 145.69% y 140.87%, respectivamente, en comparación al control no inoculado. Las parcelas inoculadas con PGPR presentaron menor porcentaje de tubérculos infectados con *R. solani* (en promedio 3.74%) comparado con los tubérculos cosechados de la parcela control no inoculado (8.10%), registrándose una disminución de 4.36% de tubérculos infectados en las parcelas inoculadas con cepas de rizobacterias. De manera similar, las parcelas inoculadas con rizobacterias presentaron menor cantidad de tubérculos con síntomas de *S. subterranea* (en promedio 2.03%) comparado con los tubérculos cosechados de la parcela control no inoculado (11.21%), observándose una disminución de 9.18% de tubérculos infectados en las parcelas inoculadas con rizobacterias.

Tanto en la localidad de Salcedo y Tahuaco los aislamientos de *Actinomicetos*, *Azotobacter*, *Bacillus* y *Pseudomonas* promovieron la productividad del cultivo de papa variedad Ccompis. En respuesta a la inoculación de la cepa de rizobacteria Act16M2 la productividad total de tubérculos de papa se incrementó en 145.14 % en comparación con el control no inoculado; mientras que la inoculación de las cepas Azo39, Azo16, Bac21M1, P6 y Act30 incrementaron en promedio 105.79 % comparado al control no inoculado. La relación beneficio/costo de las parcelas inoculadas con las rizobacterias Act16M2, Azo39, Azo16 y Bac21M1 fueron superiores (0.54, 0.43, 0.36 y 0.34, respectivamente) en relación al control no inoculado (-0.30) y a la parcela con fertilización química (0.17).

**Palabras claves:** Rizobacterias, medio ambiente, fitopatógenos, inoculación

## SUMMARY

The potato (*Solanum tuberosum* L.) is a food crop of high nutritional and medicinal value, very valuable for the feeding of the world population in constant growth, and it is the main crop of the small farmers of the Andean region, where there is great diversity Genetics of cultivated and wild potato species. However, in spite of the high yield potential of potato cultivation in Peru, the average production and productivity is low, compared to the average yield of other countries. This low yield, among other factors, is mainly due to the attack of pests and diseases that affect the crop and by intensive rotations in increasingly small plots and of low fertility, exposed to the adverse conditions of the climate (high solar radiation, frost and Intermittent droughts). To improve yields and counteract pest and disease damage, farmers make use of chemical fertilizers and pesticides, with consequent environmental contamination, risk of toxicity to human health, and increased production costs. As an alternative to reduce such problems, with less use of agrochemicals, microorganisms, such as the group of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) and organic fertilizer could be part of the effective solution; since it has been shown to have positive effects in relation to the growth, yield and health of several crops under greenhouse and field conditions.

Several experiments at the level of pots and greenhouse beds, and under field conditions, was carried out with the objective of evaluating the PGPR growth and yield promotion capacity; as well as the effect of phytopathogens in suppression or control in potato cultivation. The rhizobacteria strains used in the experiments were isolated from the rhizosphere samples of the potato crop of the potato growing areas of the Peruvian highlands and the Altiplanic region in the Microbial Ecology and Marino Tabusso Biotechnology Laboratory of the UNALM. At the greenhouse conditions, three levels of concentration and three inoculation times of three strains of rhizobacteria were evaluated, and the best concentration levels of rhizobacteria strains for growth promotion and yield of potato cultivation were found to be  $1 \times 10^8$  cfu/ml and  $1 \times 10^6$  cfu/ml, inoculated either only to the planting or to the planting plus to the hilling.

In greenhouse conditions, seedlings of the Ccompis and Andina varieties inoculated with the Bac17M8, Bac17M9 and Bac of Bolivia strains in the presence of *R. solani* showed a statistically significant lower mortality (18.90% and 12.13% in Ccompis and Andina, respectively) with respect to the absence of rhizobacteria (28.02% and 19.89% in Ccompis and Andina, respectively). Similarly, in the Ccompis and Andina varieties, the tubers harvested from the plots inoculated with these strains of rhizobacteria had lower percentages of infected tubers, compared to the tubers harvested from the plot that were not inoculated with rhizobacteria.

Under field conditions, plant height and yields of total tubers by weight and number in the plots inoculated with the rhizobacteria were significantly higher in comparison to the uninoculated control; on average, the yield of the Ccompis variety increased by 125.79% compared to the uninoculated control, and the total number of tubers increased to 141.41% above the uninoculated control. The best strains that improve potato productivity were; Bac17M8 and Act16M2, with yields higher by 145.69% and 140.87%, respectively, compared to the uninoculated control. The plots inoculated with

PGPR had a lower percentage of tubers infected with *R. solani* (mean 3.74%) compared to the tubers harvested from the uninoculated control plot (8.10%), with a 4.36% decrease in infected tubers in the inoculated plots with strains of rhizobacteria. Similarly, plots inoculated with rhizobacteria had a lower number of tubers with symptoms of *S. subterranea* (average 2.03%) compared to the tubers harvested from the uninoculated control plot (11.21%), with a decrease of 9.18% in tubers infected in plots inoculated with rhizobacteria.

Both in the locality of Salcedo and Tahuaco the isolates of *Actinomycetes*, *Azotobacter*, *Bacillus* and *Pseudomonas* promoted the productivity of the potato crop variety Ccompis. In response to inoculation of the Act16M2 rhizobacteria strain total potato tubers productivity increased by 145.14% compared to the uninoculated control; while inoculation of the strains Azo39, Azo16, Bac21M1, P6 and Act30 increased on average 105.79% compared to the uninoculated control. The benefit/cost ratio of the plots inoculated with the rhizobacteria Act16M2, Azo39, Azo16 and Bac21M1 were higher (0.54, 0.43, 0.36 and 0.34, respectively) than the uninoculated control (-0.30) and the plot with chemical fertilization (0.17).

**Keywords:** Rhizobacteria, environmental, phytopathogens, inoculation



# INDICE GENERAL

I.	INTRODUCCIÓN.....	1
II.	REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
	2.1. Cultivo de papa.....	4
	2.1.1. Origen y Distribución Geográfica de la Papa.....	4
	2.1.2. Producción y Productividad.....	5
	2.1.3. Requerimientos del cultivo de papa.....	7
	2.1.4. Principales enfermedades.....	9
	2.2. Materia Orgánica.....	11
	2.3. Los microorganismos del suelo.....	12
	2.4. Rizobacterias Promotoras de Crecimiento de Plantas (PGPR).....	15
	2.5. Mecanismos de Acción de las PGPR.....	19
	2.5.1. Fijación Biológica de Nitrógeno.....	17
	2.5.2. Producción de Reguladores de Crecimiento de Plantas y Sustancias Biológicamente Activas.....	19
	2.5.3. Solubilización y Asimilación de Nutrientes.....	21
	2.5.4. Control de Fitopatógenos.....	23
	2.6. Aplicación de PGPR en Agricultura.....	27
III.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	32
	3.1. Material biológico.....	32
	3.1.1. Material vegetal.....	32
	3.1.2. Rizobacterias.....	32
	3.2. Materiales y equipos.....	32
	3.2.1. Materiales y equipos para ensayos en condiciones de invernadero.....	32
	3.2.2. Materiales y equipos para ensayos en condiciones de campo.....	33
	3.3. Métodos.....	33
	3.3.1. Ensayo de concentración y momento adecuado de inoculación de Rizobacterias Promotoras de Crecimiento de Plantas, en condiciones de invernadero.....	33
	3.3.1.1. Localización del ensayo.....	33
	3.3.1.2. Diseño experimental.....	34
	3.3.1.3. Transplante de plántulas <i>in vitro</i> e inoculación de rizobacterias.....	34
	3.3.1.4. Manejo de plántulas.....	35
	3.3.1.5. Parámetros de evaluación.....	35
	3.3.2. Efecto de rizobacterias en el control de <i>Rhizoctonia solani</i> .....	36
	3.3.2.1. Localización del ensayo.....	36
	3.3.2.2. Diseño experimental.....	36
	3.3.2.3. Transplante de plántulas <i>in vitro</i> e inoculación de rizobacterias.....	36
	3.3.2.4. Manejo de plántulas.....	37
	3.3.2.5. Parámetros de evaluación.....	38
	3.3.3. Efecto de ocho Rizobacterias Promotoras de Crecimiento de Plantas en la productividad de papa, en condiciones de campo.....	38
	3.3.3.1. Localización del ensayo.....	38
	3.3.3.2. Diseño experimental.....	39
	3.3.3.3. Inoculación de rizobacterias y siembra de tubérculos-semillas.....	39
	3.3.3.4. Reinoculación de rizobacterias.....	40
	3.3.3.5. Manejo del cultivo en condiciones de campo experimental.....	40
	3.3.3.6. Parámetros de evaluación.....	41

3.3.4.	Efecto de siete Rizobacterias Promotoras de Crecimiento de Plantas en la productividad de papa, bajo dos condiciones agroecológicas de la región altiplánica del Perú .....	41
3.3.4.1.	Localización del ensayo .....	41
3.3.4.2.	Diseño experimental.....	42
3.3.4.3.	Inoculación de rizobacterias y siembra de tubérculos-semillas.....	42
3.3.4.4.	Reinoculación de rizobacterias .....	43
3.3.4.5.	Manejo del cultivo en condiciones de campo experimental.....	43
3.3.4.6.	Parámetros de evaluación .....	44
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	45
4.1.	Ensayo de concentración y momento adecuado de inoculación de rizobacterias promotoras de crecimiento de plantas, en condiciones de invernadero.....	45
4.2.	Efecto de rizobacterias en el control de <i>Rhizoctonia solani</i> .....	52
4.3.	Efecto de ocho rizobacterias promotoras de crecimiento de plantas en el mejoramiento de la productividad de papa, en condiciones de campo.....	58
4.4.	Efecto de siete rizobacterias promotoras de crecimiento de plantas en el mejoramiento de la productividad en papa, bajo dos condiciones agroecológicas de la región altiplánica del Perú .....	65
V.	CONCLUSIONES .....	74
VI.	RECOMENDACIONES .....	78
VII.	REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA.....	800
ANEXO I.	CUADROS .....	944
ANEXO II.	FOTOS .....	1122
ANEXO III.	CORRIDAS ESTADÍSTICAS.....	116

## ÍNDICE DE CUADROS

N°		Pág.
1	Análisis de varianza de los efectos principales e interacciones para la variable altura de planta (cm).....	45
2	Análisis de varianza de los efectos principales e interacciones para la variable número de tubérculos por planta.....	47
3	Número de tubérculos por planta (p <0.05) por efecto de la interacción rizobacteria, concentración y momento de inoculación (época).....	48
4	Análisis de varianza de los efectos principales e interacciones para el rendimiento de tubérculos en peso (g/planta).....	49
5	Altura de planta (m) y rendimiento (kg/m <sup>2</sup> ) de las plántulas inoculadas con rizobacterias y las no inoculadas en variedades Ccompis y Andina (p <0.05)	54
6	Altura de planta (m) en las parcelas inoculadas con rizobacterias y las no inoculadas en la variedad Ccompis.....	59
7	Rendimiento total de tubérculos ( en peso y número) de papa variedad Ccompis (p <0.05) por efecto de rizobacterias promotoras de crecimiento de plantas.....	60
8	Análisis económico de la eficiencia de inoculación de las PGPR y fertilizantes químicos. Salcedo, Puno.....	60
9	Rendimiento de tubérculos de clase 1ra y consumo de papa variedad Ccompis (p <0.05) por efecto de las PGPR.....	61
10	Contenido de materia seca (g/500 g de papa fresca) (p <0.05) en tubérculos de papa variedad Ccompis por efecto de las PGPR.....	65
11	Rendimiento total de tubérculos de papa variedad Ccompis (kg/18 m <sup>2</sup> ) (p <0.05) por efecto de las PGPR, en la localidad de Salcedo	66
12	Rendimiento total de tubérculos de papa variedad Ccompis (kg/18 m <sup>2</sup> ) (p <0.05) por efecto de las PGPR, en la localidad de Tahuaco.....	67
13	Rendimiento de tubérculos de clase 2da de papa variedad Ccompis (kg/18 m <sup>2</sup> ) (p <0.05) por efecto de las PGPR, en la localidad de Tahuaco.....	68
14	Rendimiento total de tubérculos de papa variedad Ccompis (kg/18 m <sup>2</sup> ) (p <0.05) por efecto de las PGPR, en las localidades de Salcedo y Tahuaco.....	71
15	Análisis económico de la eficiencia de inoculación de las PGPR y aplicación de fertilizantes químicos en las localidades de Salcedo y Tahuaco.....	72
16	Contenido de materia seca (g/100 g de papa fresca) (p <0.05) en tubérculos de papa variedad Ccompis por efecto de las PGPR en las localidades de Tahuaco y Salcedo.....	73

## ÍNDICE DE FIGURAS

N°		Pág.
1	Altura de planta (cm) ( $p < 0.05$ ) por efecto de la interacción, cuando el factor rizobacteria es constante en relación al factor concentración.....	46
2	Rendimiento de tubérculos en peso (g/planta).....	50
3	Rendimiento de tubérculos (g/planta) ( $p < 0.05$ ) por efecto de la interacción, cuando el factor concentración es constante en relación al factor momento de inoculación (época).....	51
4	Correlación de arriba – debajo de los parámetros analizados: concentración, altura de planta, peso de tubérculos y número de tubérculos. **=Correlación significativa, ns=Correlación no significativa. La lectura se realiza interceptando filas y columnas.....	52
5	Efecto de las PGPR en la mortalidad de plántulas por <i>R. solani</i> en la variedad Ccompis.....	53
6	Efecto de las PGPR en la mortalidad de plántulas por <i>R. solani</i> en la variedad Andina.....	53
7	Rendimiento de tubérculos en peso por variedad.....	55
8	Porcentaje de tubérculos infectados por <i>R. solani</i> en la variedad Ccompis.....	56
9	Porcentaje de tubérculos infectados por <i>R. solani</i> en la variedad Andina...	56
10	Porcentaje de tubérculos infectados por <i>R. solani</i> .....	63
11	Porcentaje de tubérculos infectados por <i>Spongospora subterranea</i> .....	64
12	Rendimiento total de tubérculos de papa var. Ccompis por localidad.....	69
13	Rendimiento de tubérculos por clases de papa variedad Ccompis por localidad.....	69

## ÍNDICE DE ANEXOS

N°		Pág.
1	Anexo 1. Cuadros de los factores de los ensayos, datos de los parámetros de evaluación, resultados de análisis de suelos y datos meteorológicos de las localidades de ejecución de experimentos.....	97
2	Anexo 2. Fotos de protocolos de inoculación de rizobacterias en macetas, invernadero, campo y georeferenciación de las localidades de los ensayos.....	115
3	Anexo 3. Corridas estadísticas de los resultados de investigación en condiciones de macetas, invernadero y campo.....	119

## I. INTRODUCCIÓN

Al iniciarse el presente milenio, aún persisten los problemas del hambre y la pobreza, y se ha hecho más evidente el agotamiento de los recursos naturales, el deterioro del medio ambiente y la pérdida de la diversidad biológica. El proceso de calentamiento global está causando cambios climáticos con impactos negativos cada vez mayores, principalmente en la producción agrícola de las poblaciones rurales más vulnerables, ubicados en ambientes marginales y frágiles. Una de las principales actividades de la degradación de la calidad del medio ambiente es el uso excesivo de pesticidas y fertilizantes químicos por la agricultura moderna industrial de alta producción; esta alta demanda de agroquímicos podría aliviarse con el mayor uso de lo biológico, y potencial genético de especies de plantas y microorganismos.

La papa (*Solanum tuberosum* L.) es uno de los cultivos alimenticios más valiosos del Perú y el mundo. En el Perú, por el área cultivada ocupa el tercer lugar, después del maíz y el arroz, constituyendo la base de la alimentación del poblador rural y urbano, y provee al productor, especialmente de la zona andina, ingresos económicos más altos que cualquier otro cultivo. Los cultivares de papa domesticados por los antiguos peruanos se denominan “papas nativas”. Estas papas nativas son producidas en las zonas altas de la región andina de Perú y Bolivia (3500- 4300 msnm) donde soportan las condiciones adversas del clima (alta radiación solar, heladas y sequías intermitentes) y el ataque de plagas y enfermedades. En las condiciones agroecológicas de la región altiplánica del Perú, los factores más importantes que limitan los niveles de producción y productividad de las papas nativas son los abióticos y bióticos adversos. Son cultivadas con abonos orgánicos y poco o nada de agroquímicos, por lo general para

satisfacer las necesidades de autoconsumo; en consecuencia, son ecológicas, nutritivas y tienen un gran valor cultural y genético.

Los suelos hospedan una comunidad biológica compleja, donde los microorganismos prevalecen en grandes cantidades y diversidad (Ghyselinck *et al.*, 2013; Zahir *et al.*, 2004). Algunos microorganismos de la microflora del suelo pueden ser perjudiciales o causar enfermedades en las plantas y otros pueden ser beneficiosos. La “rizo-toniasis” denominada también “chancro del tallo” ó “costra negra” es una de las enfermedades más importantes del cultivo de la papa en las condiciones agroecológicas del Altiplano de Puno, causada por el microorganismo fitopatógeno *Rhizoctonia solani* Kuhn. Esta enfermedad en condiciones ambientales de clima frío y húmedo, produce lesiones hundidas de color marrón oscuro en las raíces, estolones y tallos a la altura del cuello de la planta de papa, interfiriendo tanto la absorción del agua y nutrientes del suelo como la translocación de los fotosintatos hacia los órganos de reserva, dando como resultado la formación de tubérculos aéreos y reducción de rendimiento.

En la actualidad, las papas nativas tienen buena aceptación en mercados nacionales e internacionales, por su buen sabor, color, textura y calidad culinaria; sin embargo, sus rendimientos son bajos, entre otros factores por el ataque de enfermedades y plagas que afectan el cultivo; también por rotaciones intensivas en parcelas cada vez más pequeñas y de baja fertilidad. Para contrarrestar este daño, los agricultores hacen uso de fertilizantes y pesticidas químicos, con la consecuente contaminación del medio ambiente, riesgo de toxicidad para la salud humana e incremento de los costos de producción. Como una alternativa para disminuir tales problemas, con el menor uso de agroquímicos, los microorganismos, como los del grupo de rizobacterias promotoras de crecimiento de plantas y abono orgánico podrían ser parte de la solución efectiva; ya que se ha demostrado, efectos positivos en relación al crecimiento, rendimiento y sanidad de varios cultivos en condiciones de invernadero y campo.

Durante las dos últimas décadas, el uso de rizobacterias como inóculo ha incrementado significativamente. Algunas bacterias promueven el crecimiento de las plantas directamente, otras ejercen su efecto indirectamente a través del control biológico de enfermedades de las plantas y otras utilizan ambos mecanismos; se denominan Bacterias Promotoras de Crecimiento de Plantas (PGPR) (Velivelli *et al.*, 2015). Las

PGPR (Plant Growth Promoting Rhizobacteria) son microorganismos del suelo, generalmente bacterias y hongos, que se asocian de manera natural a las raíces de las plantas de una forma más o menos íntima; facilitan de manera directa o indirecta la disponibilidad de determinados nutrientes para las plantas, tales como nitrógeno, fósforo e hierro (Fulchieri & Frioni, 1994; García *et al.*, 1995); además, algunos metabolitos producidos por las PGPR pueden tener efectos antagónicos.

En años recientes, las investigaciones con PGPR para promover el crecimiento de plantas han incrementado aceleradamente en varias partes del mundo. Sin embargo, en el Perú son pocas las investigaciones y menos aún en un cultivo nativo como la papa. Por esta razón, es importante evaluar la capacidad de las PGPR en la promoción de crecimiento y desarrollo de plantas de papa e incremento en su productividad, con el uso de menor cantidad de fertilizantes químicos y a bajo costo; que junto con abonos orgánicos que aportan nutrientes esenciales al suelo, mejorando su estructura y la actividad microbiana, van a dar mayor vigor a las plantas y en consecuencia mayor tolerancia a enfermedades. Estas propiedades de los microorganismos y abonos orgánicos, resultan ser una opción importante para una producción económica de papas nativas y a la vez podrían ser alternativas tecnológicas relevantes para una producción orgánica sustentable. Por todo ello, la presente investigación se realizó con los objetivos siguientes:

### **Objetivo general**

Evaluar la capacidad de rizobacterias promotoras de crecimiento de plantas en el mejoramiento de la productividad del cultivo de papa, en las condiciones agroecológicas de la región altiplánica del Perú.

### **Objetivos específicos**

1. Determinar el nivel de concentración y el momento adecuado de inoculación de tres rizobacterias bajo condiciones de invernadero.
2. Evaluar el efecto de tres rizobacterias en el control de *Rhizoctonia solani* en condiciones de invernadero.
3. Evaluar el efecto de las PGPR en la productividad de la papa en condiciones de campo.



## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. Cultivo de papa

La papa (*Solanum tuberosum* L.) es el principal cultivo de los pequeños agricultores de la región andina, donde existe gran diversidad genética de especies de papas cultivadas y especies de papas silvestres. La papa y varios otros cultivos de raíces y tubérculos incomparables, y granos de alto contenido proteico como la quinua y cañihua formaban parte fundamental de la agricultura de las antiguas civilizaciones andinas. Las evidencias arqueológicas (cerámicas de las culturas Moche y Chimú) testimonian que la papa era un alimento cotidiano de los antiguos peruanos, desde hace más de 8,000 años (Egúsquiza, 2000). También, desde tiempos muy antiguos, nuestros antepasados de la región del Altiplano del Perú, procesaron la papa en forma de “chuño” y “tunta” o “moraya” (chuño blanco), que son subproductos alimenticios deshidratados, fuente de carbohidratos y calorías; más que todo, en los años de escasez de alimentos, y es una de las formas de conservación de la papa por períodos largos de tiempo.

Actualmente, la papa es uno de los cultivos alimenticios más importantes en el mundo de hoy, por su alto contenido de aminoácidos esenciales y carbohidratos, es una fuente importante de vitamina C y minerales, especialmente hierro, zinc, potasio y magnesio. Las variaciones climáticas cada vez más notorias hacen pensar que las papas nativas pueden proporcionar seguridad alimentaria y nutricional, y aliviar los problemas del hambre y la pobreza, debido a su plasticidad fenotípica para adaptarse a diferentes condiciones agroecológicas.

#### 2.1.1. Origen y Distribución Geográfica de la Papa

Existen evidencias científicas de que la papa fue domesticada hace más de 8,000 años en el altiplano, al sureste de Perú y noroeste de Bolivia. Restos de cerámicas de las

culturas Moche y Chimú con evidencias en formas y colores de la papa confirman y demuestran que el Perú es el centro de origen más importante de la papa (MINAG, 2007). Salas & Roca (2005) reportaron que la papa es originaria de la gran Cuenca del lago Titicaca, conocida como la meseta del Collao, territorio ubicado entre Perú y Bolivia; en esta región está distribuida cerca del 50% de las especies de papas silvestres y las 8 especies de papas cultivadas.

La mayoría de las 187 especies de papas silvestres son raras y endémicas; en general habitan entre 38° N y 48° S, con más especies en el hemisferio meridional. La mayor riqueza de especies ocurre al norte de Argentina, centro de Bolivia, centro del Ecuador, centro de México y norte, centro y sur del Perú. Las papas silvestres crecen desde el nivel del mar hasta 4,500 msnm, pero con mayor frecuencia entre altitudes de 2,000 y 4,000 msnm (Hijmans & Spooner, 2001).

En el Perú, la papa se siembra y se produce en gran número de condiciones agroecológicas: Puna Seca, Puna Húmeda, Valles Interandinos de la Sierra, Vertientes Orientales Húmedas, Vertientes Occidentales Subáridas y en los Valles Costeros subdesérticos (Egúsqüiza, 2000; Salas & Roca, 2005). Las especies de papas cultivadas se siembran en 19 de los 24 departamentos del Perú: Amazonas, Ancash, Apurímac, Arequipa, Ayacucho, Cajamarca, Cusco, Huancavelica, Huánuco, Junín, La Libertad, Lambayeque, Lima, Moquegua, Pasco, Piura, Puno, San Martín y Tacna (Salas & Roca, 2005).

### **2.1.2. Producción y Productividad**

La papa es uno de los principales cultivos del Perú, tanto por la superficie sembrada como por la población dedicada a su cultivo. La papa se cultiva desde el nivel del mar hasta los 4,500 m de altitud, encontrándose las áreas agrícolas de mayor producción en las regiones Quechua y Suni. La superficie promedio de siembra es de 260,000 hectáreas, las cuales producen 3 millones de toneladas en promedio, generando aproximadamente 110,000 puestos de trabajo y 33 millones de jornales (MINAG, 2005; MINAG, 2010).

En el año 2014, el área sembrada de papa fue de 317,648 hectáreas con un volumen de producción de 4.67 millones de toneladas, un rendimiento promedio de 14.70 t/ha y un

consumo per cápita promedio de 85 kg, pero en la zona andina el consumo por persona por año es de 130 kg (MINAGRI, 2015); este volumen de producción, es superior en 265.13% a la producción del año de 1990, cuando se produjo solamente 1'279,000 toneladas. La recuperación de la producción del cultivo de papa en el Perú, es como consecuencia del uso de variedades más productivas y resistentes a enfermedades, mayor uso de fertilizantes, y a la generación y transferencia de tecnología en las zonas productoras de papa (MINAG, 2007; MINAGRI, 2015). Sin embargo, el rendimiento (14.70 t/ha) es significativamente inferior en comparación a los países como USA (43.67 t/ha), Alemania (36.57 t/ha), Bélgica (38.54 t/ha), Holanda (41.67 t/ha), Inglaterra (40.31 t/ha), entre otros; lo cual, se debe principalmente a la presencia de los factores bióticos y abióticos adversos y a la tecnología de manejo poco desarrollada en la sierra del Perú, incluyendo las variedades. Incluso a nivel de América Latina, los rendimientos obtenidos en el Perú son bajos comparados con los países como Argentina (29.49 t/ha), Brasil (22.30 t/ha), Chile (22.01 t/ha), Colombia (17.49 t/ha) y México (25.29 t/ha), esta diferencia se debe a las condiciones agroecológicas más favorables que presentan estos países (INIA, 2013).

La mayor superficie de producción se encuentra en la sierra, donde se concentra el 96% del área cultivada y con un volumen de producción de 90 a 95% (MINAG, 2007; MINAG, 2010). En la sierra hay dos campañas agrícolas de producción; la denominada campaña grande inicia en Octubre con el inicio de las lluvias y concluye en Abril al finalizar la época lluviosa; y la campaña chica de las zonas bajas y abrigadas de la sierra inicia en Mayo y concluye en Noviembre. Mientras, en la región de la Costa, la papa es un cultivo de invierno, se siembra entre Abril y Junio y se cosecha entre Agosto y Noviembre. La producción de papa de la campaña chica de Sierra y de Costa necesariamente requiere de agua de riego.

En el Perú, los departamentos con mayor superficie de producción de papa son: Puno, Huánuco, Cusco, Cajamarca, Huancavelica, Junín y La Libertad (INIA, 2013; MINAGRI, 2015). A nivel nacional se siembran más de 20 variedades comerciales de papa mejorada y los más importantes son: Canchán INIA, Perricholi, Yungay, Amarilis, CICA, Andina, Chaska, Única y últimamente Serranita; y dentro de las papas nativas destacan: Peruanita, Huagalina de Cajamarca, Amarilla Tumbay de Huánuco, Huayro, Huamantanga del centro, Ccompis, Imilla Negra e Imilla Blanca. Aparte de éstas, en las

zonas altoandinas existen numerosas papas nativas de alta calidad culinaria, cultivadas para autoconsumo, con menores superficies de siembra y muchas de ellas en peligro de extinción, por ejemplo: “Illa pilpintu”, “Inti kallpa”, “Puma chaqui”, “Munya tuta” “Kusi sonq’o”, “Putis”, “Duraznillo”, “Queccorani”, “Sangre de toro”, “Puka soncco”, entre otros (MINAG, 2010; MINAGRI, 2015). También es importante indicar las denominadas “papas nativas amargas” de la región altiplánica del Perú caracterizada por su alto contenido de glicoalcaloides; pero, con propiedades especiales para el procesamiento de la tunta o chuño blanco, tales como: “Piñaza”, “Locka”, “Keta”, “Parko”, etc.

A nivel mundial, el área cultivada de papa es de 19’230,000 hectáreas, con un volumen de producción de 311’000,000 de toneladas y un rendimiento promedio de 16.2 t/ha. Los países con mayor producción son China (70’336,525 t), Federación Rusa (38’570,708 t), India (23’912,000 t), Estados Unidos (19’713,948 t) y Polonia (8’982,339 t), los cuales producen el 51.93% del total mundial (INIA, 2014).

### **2.1.3. Requerimientos del cultivo de papa**

La planta de papa crece mejor en las zonas templadas o en los territorios más altos de las zonas tropicales o subtropicales. Temperaturas de 12 a 20°C estimulan mayor crecimiento del área foliar y desarrollo de tubérculos, así como también mayor contenido de materia seca. A mayor intensidad de luz, mayor es el proceso de fotosíntesis; por tanto, en las zonas bien soleadas de las regiones tropicales y subtropicales es posible obtener rendimientos elevados de tubérculos de papa (Zaag, 1990).

Los requerimientos de la planta de papa son aportados por el ambiente aéreo (energía solar y dióxido de carbono) y por el ambiente subterráneo (agua y nutrientes). La energía lumínica es aportada por el sol, el CO<sub>2</sub> por el aire, los cuales son absorbidas a través de las hojas; mientras el agua y los nutrientes son absorbidas del suelo por las raíces de la planta (Egúsquiza, 2000). Vander Zaag (1986) indica que el crecimiento y rendimiento del cultivo de la papa depende de la disponibilidad de nutrientes minerales en el suelo, tales como nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K) y otros. La cantidad de nutrientes minerales extraída por la papa varía con la fertilidad natural del suelo, la fertilización practicada y la variedad del cultivo; por ejemplo, en suelos bien provistos

de N, P y K, en los tejidos vegetales de la papa se encontrará mayor concentración de estos elementos, traducidos no solamente en mayor productividad sino también en mayor contenido de proteínas, vitaminas y minerales (Egúsqüiza, 2000; Villagarcía, 1987).

La disponibilidad de nutrientes minerales para la planta de papa depende de las condiciones físicas y biológicas del suelo, las cuales determinarán las interrelaciones de los nutrientes, agua y los microorganismos. Los llamados complejos de intercambio son los responsables de la adsorción, liberación e intercambio de elementos en el suelo (Vander Zaag, 1986; Egúsqüiza, 2000). Los nutrientes requeridos por la planta de papa se agrupan en: macronutrientes (N, P y K), nutrientes secundarios (Ca, Mg y S) y micronutrientes (Fe, Mn, Zn, Cu, B y Mo), pero los elementos de mayor importancia para la papa son N, P, K y Mg (Egúsqüiza, 2000; Villagarcía, 1987).

A pesar de que los nutrientes minerales sólo representan menos del 10% de la materia seca total de la planta de papa, todos y cada uno de ellos cumplen un rol esencial en el desarrollo y producción de la papa (Villagarcía, 1987). Los macronutrientes tienen funciones específicas en el crecimiento y desarrollo del cultivo de papa.

### **Nitrógeno (N).**

El nitrógeno es un componente de las proteínas. El contenido de proteínas de la planta está directamente relacionado con la concentración de nitrógeno de los tejidos de la planta. Además, el nitrógeno es un componente de la molécula de clorofila y de los ácidos nucleicos constituyentes de los cromosomas (Vander Zaag, 1986). El nitrógeno puede ser administrado por la materia orgánica del suelo, fertilizante químico, simbiosis de *Rhizobium-leguminosas* y microorganismos fijadores de vida libre (Mayea *et al.*, 1998).

### **Fósforo (P).**

El fósforo es un elemento esencial de los componentes químicos de la planta, que son responsables de la transferencia de energía necesaria para los procesos metabólicos de la planta. El fósforo se encuentra también en los ácidos nucleicos y es especialmente importante para el crecimiento del sistema radicular y la formación de tubérculos. El fósforo es un elemento que se encuentra en el suelo, en la roca fosfatada y fertilizantes

químicos (Vander Zaag, 1986). La solubilización del fósforo puede ser promocionado por las rizobacterias promotoras de crecimiento de la rizósfera de las plantas (Glick, 1995); además, depende de la temperatura, enzimas y de la relación carbono/fósforo ((Villagarcía, 1987).

### **Potasio (K).**

El potasio no está incluido directamente en las sustancias químicas de la planta. Actúa en la formación de carbohidratos, en la transformación y el movimiento del almidón de las hojas a los tubérculos. El potasio también es importante para el control de la apertura de estomas y movimiento del agua en la planta. El potasio es el elemento más abundante en la planta, los tubérculos contienen alrededor de 1.6% y las hojas alrededor de 6% (Villagarcía, 1987; Vander Zaag, 1986).

#### **2.1.4. Principales enfermedades**

En las condiciones ambientales de la región andina, el cultivo de la papa enfrenta numerosos problemas, tales como la incidencia de heladas, sequías, granizadas, plagas y enfermedades. Muchas de las enfermedades son causadas por hongos cuyas estructuras de resistencia se encuentran en el suelo, y ocasionan pérdidas económicamente significativas en la producción de este cultivo, pudiendo alcanzar hasta 20% (Torres, 2002). En la papa, se han identificado más de 30 enfermedades causadas por hongos; de las cuales, en las condiciones de clima frío y húmedo, una de las enfermedades más importantes es la rizoctoniasis causada por *Rhizoctonia solani* Kühn (Hooker, 1980).

*Rhizoctonia solani* es un patógeno de distribución mundial que ocasiona pérdidas económicas importantes en la mayoría de las plantas perennes y anuales, incluyendo casi todos los cultivos hortícolas; entre las enfermedades comúnmente causadas es el llamado ahogamiento de las plántulas y la pudrición de las raíces (Agrios, 1998). En el Perú, esta enfermedad afecta a un gran número de cultivos, tales como: fréjol, cebada, algodón, tomate, papa, etc., causando daños serios durante cualquier estado de desarrollo de la planta.

La “rizoctoniasis” denominada también “chancro del tallo” ó “costra negra” (*Rhizoctonia solani* Kühn) es una de las enfermedades fungosas que está presente en todas las zonas productoras de papa del Perú (Hooker, 1980; Torres, 2002). En los

departamentos de Puno, Cusco, Ayacucho y Junín la incidencia de esta enfermedad puede afectar la calidad de los tubérculos en forma significativa. En las variedades susceptibles la incidencia puede alcanzar hasta 80% y la severidad 35% (INIA, 2013). En el brotamiento, *R. solani* infecta los brotes del tubérculo-semilla en los estados de pre y post emergente, anulando o retardando su emergencia, teniendo como consecuencia fallas en la emergencia de las plantas, desigualdad en el crecimiento, plantas débiles, las plantas adultas presentan lesiones hundidas de color marrón oscuro en las raíces, reducción de crecimiento de estolones y tallo aéreo, lo cual afecta procesos como la absorción del agua y nutrientes del suelo, y la translocación de fotosintatos o fotoasimilados hacia los órganos de reserva, provocando una reducción del rendimiento y formación de tubérculos aéreos, y en casos severos resulta en marchitez y muerte (Torres, 2002).

Las plántulas procedentes de semilla sexual y transplantadas al campo son severamente afectadas por un complejo de patógenos, entre los cuales se encuentra *R. solani*, que causa el síntoma del ahogamiento y muerte de plántulas antes o poco después de que han emergido del suelo, el hongo ataca el tallo ocasionando pudriciones blandas, las cuales se inician en la parte basal de los tallos. Con el avance de las lesiones las plántulas se debilitan y mueren; en algunos casos, el porcentaje de plántulas muertas puede llegar hasta 70% (Martin & Torres, 1989).

Los tubérculos afectados por *R. solani* presentan en la superficie lo que se conoce como “ojos ciegos” y masas compactas de micelio llamadas esclerocios, de color negro a castaño oscuro, éstas presentan variabilidad en tamaño y forma, y son fácilmente extraíbles. Torres (2002) reporta que estas estructuras son producidas sólo por los grupos de anastomosis GA3 y GA7.

Por otro lado, para el control de esta enfermedad, no existe ningún fungicida efectivo. Gutiérrez & Torres (1990) demostraron que el control biológico de *R. solani* con *Rhizoctonia* binucleada reduce la muerte de plántulas de papa provenientes de semilla sexual, cuando éstas son transplantadas a campos infectados con *R. solani*.

Durante las dos últimas décadas, la alternativa de regulación biológica con rizobacterias ha incrementado significativamente, las cuales han sido denominadas Rizobacterias

Promotoras de Crecimiento de Plantas (PGPR) (Kloepper & Schroth, 1978). Las PGPR son microorganismos del suelo, generalmente bacterias y hongos, que se relacionan fisiológica y bioquímicamente de manera natural con las raíces de las plantas; facilitan de manera directa o indirecta la disponibilidad de determinados nutrientes para las plantas, tales como: nitrógeno, fósforo y hierro (Velivelli *et al.*, 2015; Fulchieri & Frioni, 1994).

Los metabolitos secundarios producidos por algunas cepas de las PGPR pueden funcionar como antagónicos (involucran aspectos de control biológico, suprimen o inhiben el crecimiento de microorganismos fitopatógenos) mediante la producción de sideróforos, antibióticos, acción de enzimas líticas (glucanasas, quitinasas) o inducción de mecanismos de resistencia (Bashan, 1998; Buchenauer, 1998). Varios estudios reportaron que las PGPR incrementan la resistencia en plantas frente a las enfermedades fungosas, bacterianas y virales (Liu *et al.*, 1995a; Maurhofer *et al.*, 1998), insectos (Zehnder *et al.*, 1997a, b) y nematodos (Sikora, 1988); y dentro de los microorganismos biocontroladores más importantes se encuentran los hongos de los géneros *Gliocladium* y *Trichoderma* y las rizobacterias de los géneros *Pseudomonas*, *Bacillus* y *Agrobacterium* (Fernández-Larrea, 2001).

Jiménez *et al.* (2001) identificaron en cultivo de papa, que la bacteria *Bacillus subtilis* inhibía prácticamente todos los grupos de anastomosis de *R. solani*, algunas cepas de *Fusarium sp* y de *Phytophthora infestans*. También demostraron que *B. subtilis* es una PGPR, ya que aumenta la cantidad y calidad de tubérculos. En años recientes, Calvo *et al.* (2010) reportaron que a nivel de *in vitro*, diferentes cepas de *Bacillus* aisladas de rizósfera del cultivo de papa, tienen la capacidad de inhibir el crecimiento de *R. solani* y de *Fusarium solani* en diferentes grados, dependiendo de la cepa.

## **2.2. Materia Orgánica**

Los abonos orgánicos incrementan los niveles de materia orgánica, fósforo y potasio asimilables y calcio intercambiable del suelo (Arzola *et al.*, 2000). Además, aportan otros nutrientes como microelementos, ácidos fúlvicos y húmicos, con lo que se incrementa la actividad de microorganismos (Coronado, 1997).



La materia orgánica produce varios efectos favorables en el suelo, que a continuación se detalla: i) aporta nutrientes esenciales para el crecimiento de las plantas, tales como nitrógeno, fósforo, potasio, azufre, boro, cobre, hierro, magnesio, etc., ii) activa biológicamente el suelo, al incorporar ácidos orgánicos y alcoholes, durante su descomposición que sirven como fuente de carbono a los microorganismos de vida libre y fijadores de nitrógeno, éstos últimos producen sustancias de crecimiento, como triptófano y ácido indol acético, y iii) la materia orgánica mejora la estructura e incrementa la capacidad de retención de humedad en el suelo (Guerrero, 1993; Miranda, 1997; Helling *et al.*, 1964; Bunch, 2008).

Los beneficios que la materia orgánica proporciona al suelo son múltiples, pueden ser agrupados en dos grandes funciones: actúa como un fertilizante o abono orgánico y por otro lado, también funciona como una enmienda excelente para mejorar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo (Felipe – Morales, 2003)

Numerosos estudios han demostrado que la incorporación de abonos orgánicos se constituye en una alternativa importante para la mejora de la productividad y protección de cultivos. El daño causado por nematodos no es tan severo en suelos enriquecidos con materia orgánica como en suelos con bajo contenido de ella; la aplicación de materia orgánica en forma de compost, mejora las propiedades físicas del suelo y promueve un mejor desarrollo de la planta, proporcionando mayor rendimiento a pesar de la presencia de nematodos (Iriarte *et al.*, 1999).

### **2.3. Los microorganismos del suelo**

La microbiota del suelo constituye un hábitat bastante complejo por la gran diversidad de microorganismos presentes en él; tales como bacterias, actinomicetos, hongos, nematodos, protozoarios, algas, entre otros (Velivelli *et al.*, 2015; Loynachan, 2001; Paul & Clark, 1989; Bunch, 2008); un gramo de raíz es colonizado por más de 100 millones de microorganismos, principalmente bacterias y hongos, que cumplen roles esenciales en los procesos biogeoquímicos de la materia (Mark, 2002). Según Bunch (2008), el impacto de esta vida subterránea sobre la productividad agrícola es asombroso; casi no tendríamos plantas cultivadas ni bosques y pastizales naturales sino fuera por esta vida del suelo, porque prácticamente todo el nitrógeno de nuestros suelos naturales viene de la descomposición de la materia orgánica o de la fijación del

nitrógeno, procesos que dependen totalmente de los microorganismos. Además, algunos de estos microorganismos atacan a los microorganismos perjudiciales y los controlan, evitando así la propagación de enfermedades que dañan a los cultivos. Entre otras actividades de los microorganismos, está el mantenimiento de la fertilidad del suelo; siendo los responsables de la descomposición de la materia orgánica para formar el humus del suelo.

Entre los microorganismos habitantes del suelo, las bacterias, incluidos los actinomicetos son los más abundantes, están presentes en niveles de  $10^6$  y  $10^8$  por gramo de suelo, que representa el 5% del total de materia orgánica seca presente en el suelo. En cuanto a los hongos dado su mayor tamaño aunque en menor abundancia tiene la biomasa más significativa, representan un 10 a 20% de la microflora total y en niveles aproximados de  $10^5$  a  $10^6$  organismos por gramo de suelo (Alexander, 1980; Tate, 1995).

Es importante mencionar que existen varios factores abióticos que influyen la vida de los microorganismos en el suelo. Uno de los factores más importantes es el pH, una modificación de este factor puede activar o casi inactivar las enzimas de los microorganismos, el pH también actúa sobre la disponibilidad o fijación de los minerales. La mayoría de los microorganismos benéficos de los cultivos existen y sus enzimas están activas en suelos con pH de 5 a 6.5. Otro factor importante constituye la materia orgánica, el abono verde sirve como fuente nutricional para las bacterias y hongos, pero no contribuye a la estructura del suelo (Acuña *et al.*, 2006).

Las bacterias al igual que las plantas necesitan de fertilizantes, en ausencia de nutrientes no son capaces de utilizar la materia orgánica como fuente de energía; por esta razón es importante la aplicación de nutrientes en cantidades mínimas, que sirven para el desarrollo de las bacterias. La abundancia de bacterias en comparación con otros microorganismos posiblemente se debe a su rápido crecimiento y la habilidad de prosperar en un amplio rango de sustratos como fuentes de carbono o nitrógeno (Glick, 1995). La cantidad de bacterias a encontrar depende de muchos factores como la temporada, tipo de suelo, la vegetación, el contenido de humedad, el tipo de labranza y fertilización (Killian *et al.*, 2001).

El suelo donde se encuentran los microorganismos, generalmente hongos y bacterias, adheridas en alta concentración en la superficie de las partículas del suelo, asociándose naturalmente a las raíces de las plantas de una manera más o menos íntima se denomina rizósfera, que ha sido definida por Hiltner (1904) como el volumen de suelo donde la actividad microbiana está influenciada por la presencia de raíces de una planta viva, cuya extensión varía de acuerdo al tipo de suelo, la especie de planta, su edad y otros factores. Esta definición se ha ido ampliando a través del tiempo; por ejemplo, actualmente la rizósfera se divide en tres zonas: rizoplano (zona donde los microorganismos están adheridas al tejido de las raíces), endorizósfera (microorganismos dentro de los tejidos de las raíces) y ectorizósfera (zona o volumen de tierra alrededor de las raíces donde se encuentran los microorganismos) (Ferrera-Cerrato, 1989).

La rizósfera de una planta es una zona de intensa actividad microbiana; la población microbiana en la rizósfera es considerablemente mayor que en los suelos sin raíces (Zahir *et al.*, 2004). El incremento de la actividad microbiana en la rizósfera favorecido por los exudados radiculares recibe el nombre de “efecto rizosférico”. Los exudados que frecuentemente se encuentran, son compuestos orgánicos como los mono, di, tri y oligosacáridos; también se encuentran como exudados importantes los factores de crecimiento como la tiamina, niacina, colina, inositol, piridoxina, ácido N-metil nicotínico, etc., que son necesarios tanto para el desarrollo de hongos, bacterias, actinomicetos y algas como para la microfauna (protozoarios, nematodos e insectos) (Ferrera-Cerrato & Pérez-Moreno, 1995). La rizósfera puede considerarse como una zona de amortiguamiento microbiológico, en donde la microflora sirve de protección a la planta del ataque del patógeno (Krupa & Dommergues, 1981).

En la rizósfera de una planta la interacción entre las bacterias y las raíces de las plantas puede ser: neutral, beneficiosa o perjudicial; en una interacción beneficiosa las bacterias promueven el crecimiento, desarrollo y rendimiento de plantas. Las bacterias benéficas han sido clasificadas como Rizobacterias Promotoras de Crecimiento de Plantas (PGPR) por Kloepper & Schroth (1978) y en una interacción perjudicial los microorganismos pueden ser patógeno de plantas.

#### **2.4. Rizobacterias Promotoras de Crecimiento de Plantas (PGPR)**

Las bacterias rizosféricas que favorecen el crecimiento y el rendimiento de muchos cultivos de importancia comercial se conocen como Rizobacterias Promotoras de Crecimiento de Plantas (Plant Growth Promoting Rhizobacteria, PGPR). Estas bacterias estimulan la germinación, el desarrollo de las raíces, la asimilación de nutrientes minerales y el aprovechamiento del agua por la planta (fitoestimulación). Además, controlan bacterias y hongos patógenos, y nematodos fitoparásitos (control biológico). En años recientes, el uso de PGPR para promover el crecimiento de plantas ha incrementado dramáticamente en varias partes del mundo (Mark, 2002). Diversos autores han reportado que la inoculación con PGPR puede resultar en un incremento de germinación, emergencia de plántulas y mejora de crecimiento y rendimiento de varios cultivos cereales y no cereales (Kloepper & Schroth, 1978; Hassouna, 1990; Kloepper *et al.*, 1986; deFreitas & Germida, 1992; Javed & Arshad, 1997; Biswas *et al.*, 2000a, b; Dobbelaere *et al.*, 2001).

Las rizobacterias promotoras de crecimiento de plantas, llamadas también biofertilizantes o abonos biológicos son microorganismos que promueven y favorecen el crecimiento y la nutrición de las plantas. Se trata de microorganismos del suelo, generalmente hongos y bacterias, que se asocian de manera natural a las raíces de las plantas de una forma mas o menos íntima; facilitan de manera directa o indirecta la disponibilidad de determinados nutrientes para las plantas, tales como nitrógeno, fósforo y agua; aunque también hay aquellos que producen sustancias promotoras del crecimiento vegetal (fitohormonas). Además, algunos de estos microorganismos pueden combinarse, resultando en efectos sinérgicos cuando están presentes de manera conjunta (Chirinos *et al.*, 2006).

Las PGPR pueden tener mecanismos de acción directa o indirecta. Los mecanismos directos ocurren cuando los metabolitos producidos por algunas cepas de rizobacterias son utilizados como reguladores de crecimiento o precursores de éstos por parte de la planta (Gutierrez-Manero *et al.*, 2001; Patten & Glick, 2002), tienen acción similar a las fitohormonas aplicadas a las semillas y plantas, con una mayor proliferación de pelos radiculares, que incrementan y mejoran la eficiencia de absorción mineral de nitrógeno, fósforo e hierro (Fulchieri & Frioni, 1994; García *et al.*, 1995); algunas de estas bacterias son: *Azotobacter beijerinckii*, *Azotobacter chroococcum*, *Azospirillum*

*brasilense*, *Azospirillum lipoferum*, *Bacillus subtilis*, *Bacillus megatherium*, *Bacillus cereus*, *Pseudomonas putida*, entre otras (Reis *et al.*, 2000; Riggs *et al.*, 2001). Estas bacterias son capaces de producir sustancias fisiológica y bioquímicamente activas, como vitaminas, giberelinas, citoquininas y ácido indol acético en cantidades significativas, las cuales mediante su acción conjunta estimulan la germinación de las semillas, aceleran el desarrollo de las plantas e incrementan el rendimiento de los cultivos (Lazarovits & Nowak, 1997), sobre todo en condiciones de estrés ( Torres *et al.*, 2000).

El nitrógeno y el fósforo son dos de los nutrientes esenciales para el crecimiento y desarrollo de las plantas, la agricultura intensiva implica uso de altas cantidades de fertilizantes químicos; por esta razón, las rizobacterias son importantes, no solo en la asimilación de nutrientes sino también en la disminución del uso de fertilizantes y pesticidas (Cakmakci *et al.*, 2005). La inoculación de las PGPR puede estimular la fijación de nitrógeno y la solubilización de fosfatos, haciéndolos más disponibles para las plantas (Martinez & Dibut, 1996).

*Azotobacter chroococcum* son bacterias fijadoras de nitrógeno atmosférico, capaces de sustituir entre 30 y 40% del fertilizante nitrogenado y de incrementar los rendimientos de los cultivos; en cambio *Bacillus megatherium* var. *phosphaticum* son bacterias solubilizadoras del fósforo del suelo, capaces de sustituir hasta 70% del fertilizante fosfórico, poniendo a disposición de las plantas el fósforo almacenado y fijado en el suelo (Chirinos *et al.*, 2006). Si el suelo carece de fosfato disponible, se recomienda la inoculación de la semilla en la siembra con bacterias de *Bacillus spp* (Omay *et al.*, 1993).

Los mecanismos indirectos ocurren cuando los metabolitos producidos por las PGPR pueden funcionar como antagonicos, involucran aspectos de control biológico, suprimen o inhiben el crecimiento de microorganismos perjudiciales (fitopatógenos) para el desarrollo de las plantas, vía producción de sideróforos, antibióticos, acción de enzimas líticas (glucanasas, quitinasas) o inducción de mecanismos de resistencia (Bashan, 1998; Gutierrez-Manero *et al.*, 2001). Jiménez *et al.* (2001) identificaron en cultivo de papa, que la bacteria *B. subtilis* inhibía prácticamente todos los grupos de anastomosis de *Rhizoctonia solani*, algunas cepas de *Fusarium sp* y de *Ph. infestans*.

La conjunción de ambos mecanismos de acción (directa e indirecta) ha dado como resultado la promoción evidente del crecimiento de plantas; se ha observado un incremento en la emergencia, vigor y el peso de plántulas, un mayor desarrollo del sistema radicular y un incremento hasta de 30% en el rendimiento de cultivos de interés comercial, tales como papa, rábano, tomate, trigo y soya (Dashti *et al.*, 1997). Actualmente se encuentran a la venta diversos inoculantes bacterianos conocidos como biofertilizantes, fitoestimuladores y biopesticidas (Mark, 2002).

El efecto de cepas de PGPR en el crecimiento de plantas está fuertemente influenciado por factores medioambientales como características del suelo, especies de plantas, y genotipos dentro de especies de plantas y otros factores de la microflora de la rizósfera (Zahir *et al.*, 2004). En suelos con buenas características físicas, como la textura, estructura, porosidad y aireación, las PGPR tienen mayor disponibilidad de oxígeno para su actividad de promoción de crecimiento y desarrollo de plantas que en aquellos suelos compactados y mal drenados. Dentro de las propiedades químicas del suelo que favorecen el efecto beneficioso de las PGPR es el pH cercano a la neutralidad (5 a 6.5), buen contenido de materia orgánica y buena disponibilidad de algunos elementos necesarios para su metabolismo, tales como N, Ca y Mg. También es importante tomar en cuenta los factores que pueden afectar negativamente las poblaciones de rizobacterias, como otros organismos antagónicos y sustancias tóxicas como consecuencia de la aplicación excesiva de agroquímicos (Acuña *et al.*, 2006).

Chen *et al.* (1994) reportaron que PGPR usado en un área geográfica extraña a su centro de origen tiene efectos diferentes en la promoción de crecimiento y rendimiento. Similarmente, Nowak (1998) encontró que los beneficios de la inoculación de ciertas cepas varían con especies y cultivar de plantas y condiciones de crecimiento. Chanway *et al.* (1988) también confirmaron la especificidad de las PGPR para ciertos suelos y cultivares.

#### **2.4.1. Fijación Biológica de Nitrógeno**

Algunas especies de microorganismos poseen la habilidad de transformar el dinitrógeno atmosférico ( $N_2$ ) en amonio ( $NH_4^+$ ) mediante la acción de la enzima nitrogenasa. Estas especies de rizobacterias son denominadas diazótrofos y requieren de energía para

realizar su metabolismo. Dentro de los diazótrofos capaces de realizar este proceso son los denominados fijadores de vida libre, los cuales fijan el N<sub>2</sub> atmosférico sin la asociación con otras formas vivas, siendo la familia Azotobacteriaceae la que agrupa uno de los géneros más importantes utilizados en la biofertilización de diferentes cultivos. Las familias Spirillaceae y Bacillaceae, también congregan especies de bacterias de vida libre importantes para la fijación del N<sub>2</sub> atmosférico.

El género *Azotobacter* es una de las rizobacterias más utilizadas como biofertilizantes en Cuba. Sus propiedades beneficiosas se ponen de manifiesto en una gran variedad de hortalizas, granos y viandas (Mayea *et al.*, 1998). Bhattacharya & Chaudhuri (1993) reportaron que *Azotobacter* es capaz de fijar de 20 a 30 kg de N ha<sup>-1</sup> año; pero en determinadas condiciones, el efecto beneficioso tanto de *Azotobacter* como de *Azospirillum* no se debe solamente a la cantidad de N<sub>2</sub> atmosférico fijado, sino a la capacidad de producir vitaminas y sustancias estimuladoras de crecimiento (ácido indol acético, ácido giberélico, citoquininas y vitaminas) que influyen directamente en el crecimiento y desarrollo de la planta. Del género *Azotobacter* han sido reportadas varias especies fijadoras de N<sub>2</sub> atmosférico, algunas de ellas son: *Azotobacter chroococcum*, *A. vinelandii*, *A. agilis* y *A. paspali*; sin embargo, no todas tiene características perfectamente definidas (Ghyselinck *et al.*, 2013; Martínez, *et al.*, 1997; Mayea *et al.*, 1998; Itzigsohn, *et al.*, 2000)

Uno de los beneficios que los microorganismos diazotróficos proveen a las plantas es nitrógeno fijado a cambio de carbono fijado liberado como exudados radiculares (Glick, 1995). Los efectos benéficos de la asociación simbiótica entre *Rizobium* y leguminosas son bien conocidos y estos han sido investigados profundamente. Además, estudios anteriores han demostrado que bacterias de vida libre al igual que cepas de *Rizobium* pueden promover el crecimiento de plantas de cereales por su habilidad para fijar N<sub>2</sub> y así contribuir a la economía del N (Hassouna & Wareing, 1964; Malik *et al.*, 1997; Antoun *et al.*, 1998; Biswas *et al.*, 2000a, b). Ladha *et al.* (1998) reportaron que la fijación de nitrógeno por PGPR puede estimular el crecimiento de las plantas de arroz. Usando una técnica de dilución <sup>15</sup>N isotópico, Malik *et al.* (1997) investigaron la habilidad de fijar nitrógeno de la cepa N-4 de *Azospirillum* en arroz y encontraron una contribución significativa de nitrógeno fijado por PGPR. Similarmente, Biswas *et al.* (2000a) reportaron que la fijación biológica del nitrógeno por cepas de PGPR

diazotróficos puede contribuir a la promoción del crecimiento del arroz además de otros mecanismos.

Según Rodelas (2001), dentro del grupo de bacterias fijadoras de vida libre, el género *Azotobacter* tiene mejor capacidad de fijar N<sub>2</sub> atmosférico cuando el suelo presenta suficiente cantidad de materia orgánica; mientras en suelos poco fértiles con escaso contenido de materia orgánica no se tiene respuestas positivas en la fijación de nitrógeno. Además, estas bacterias presentan alta capacidad de biodegradación, muy especialmente para la oxidación de compuestos fenólicos sustituidos (González *et al.*, 1994).

## **2.5. Mecanismos de Acción de las PGPR**

Diversos mecanismos han sido postulados para explicar cómo las PGPR pueden afectar el crecimiento y desarrollo de plantas. Estos pueden ser mecanismos de estimulación de crecimiento directo o indirecto. Los mecanismos de acción directos ocurren cuando los metabolitos producidos por algunas cepas de rizobacterias son utilizados como reguladores de crecimiento o precursores de éstos por parte de la planta (Gutierrez-Manero *et al.*, 2001; Patten & Glick, 2002), tienen acción similar a las fitohormonas aplicadas a las semillas y plantas, con una mayor proliferación de pelos radiculares, que incrementan y mejoran la eficiencia de absorción mineral de nitrógeno, fósforo e hierro (Fulchieri & Frioni, 1994; García *et al.*, 1995). La promoción de crecimiento directo ocurre cuando una rizobacteria produce metabolitos; es decir, fitohormonas o mejora la disponibilidad de nutrientes que promueve directamente el crecimiento de la planta (Velivelli *et al.*, 2015; Kloepper *et al.*, 1989, 1991).

Los mecanismos de acción indirectos ocurren cuando los metabolitos producidos por las PGPR pueden funcionar como antagonicos, involucran aspectos de control biológico, suprimen o inhiben el crecimiento de microorganismos perjudiciales (fitopatógenos) para el desarrollo de las plantas, vía producción de sideróforos, antibióticos, ácido cianhídrico (HCN), acción de enzimas líticas (glucanasas, quitinasas) o inducción de mecanismos de resistencia (Bashan, 1998; Gutierrez-Manero *et al.*, 2001). Los mecanismos reportados por diferentes investigadores pueden incluir promoción de crecimiento directo o indirecto o ambos. Sin embargo, Kloepper (1993) reportó que a



menudo no existe una separación bien clara entre la promoción de crecimiento directo y control biológico de la enfermedad que promueve un crecimiento indirecto.

### **2.5.1. Producción de Reguladores de Crecimiento de Plantas y Sustancias Biológicamente Activas**

Los reguladores de crecimiento de plantas (PGRs) son compuestos orgánicos que influyen los procesos fisiológicos de las plantas en pequeñas concentraciones. Numerosos estudios han demostrado, mejora en el crecimiento y desarrollo de plantas en respuesta a la inoculación de semilla o raíz con varios inoculantes microbianos capaces de producir reguladores de crecimiento de plantas. Hay cinco clases de reguladores de crecimiento bien conocidos, denominados: auxinas (AIA), giberelinas, citoquininas, etileno y ácido abscísico. La microbiota del suelo, particularmente la microflora de la rizósfera son fuentes potenciales de estos reguladores de crecimiento (Velivelli *et al.*, 2014; Ghyselinck, *et al.*, 2013; Frankenberger & Arshad, 1995; Costacurta & Vanderleyden, 1995; Patten & Glick, 1996; Arshad & Frankenberger, 1998).

El tipo y cantidad de producción de reguladores de crecimiento de plantas por microorganismos es variable. Barea *et al.* (1976) encontraron que de 50 aislamientos de bacterias colectadas de la rizósfera de varias plantas, 86, 58 y 90% producían auxinas, giberelinas y sustancias parecidas a kinetinas, respectivamente. Similarmente, Mansour *et al.* (1994) probaron 24 aislamientos de talobacterias pertenecientes al género *Streptomyces* por su potencial para producir PGRs. Todos los aislamientos fueron capaces de producir auxinas (en el rango de 10.5 a 39.0  $\mu\text{g ml}^{-1}$ ), giberelinas (1.21 a 13.3  $\mu\text{g ml}^{-1}$ ) y citoquininas (2.5 a 14.9  $\mu\text{g ml}^{-1}$ ) en medio líquido.

Actualmente es conocido que la producción de reguladores de crecimiento es uno de los principales mecanismos de la modificación del crecimiento y rendimiento de plantas. La adición de *Pseudomonas fluorescens* 2137 incrementó el crecimiento de *Bradyrhizobium japonicum* A1017 en caldo de levadura manitol, lo cual indica que *Ps. fluorescens* libera una sustancia que incrementa la población rizobial (Chebotar *et al.*, 2001) beneficioso para el crecimiento de la planta. Similarmente, Young *et al.* (1991) seleccionaron cepas de PGPR, *Pseudomonas* y *Serratia* para reguladores de crecimiento y observó una buena correlación entre la inducción de la elongación de la raíz de arroz y producción de fitohormona. Igualmente, Asghar *et al.* (2002) reportaron una correlación

altamente significativa entre la producción de la auxina derivado de L-TRP por PGPR *in vitro* y rendimiento de grano ( $r = 0.77^*$ ), número de vainas ( $r = 0.78^*$ ) y número de ramas ( $r = 0.77^*$ ) por planta de *Brassica juncea*. Se hipotetizó que PGPR influencia el crecimiento y rendimiento de plantas inoculadas a través de la producción de auxinas en la rizósfera por la liberación de triptófano en los exudados radiculares, aunque otros mecanismos de acción han podido también contribuir. Gutiérrez-Manero *et al.* (2001) aislaron *Bacillus pumilus* y *Bacillus licheniformis* de la rizósfera de *Agnus glutinosa* L., las cuales tuvieron fuerte actividad de promoción de crecimiento en aliso. Datos de bioensayos indican que el fenotipo enano de aliso inducido por paclobutrasol (un inhibidor de la biosíntesis de geberilina [GA]) fue efectivamente revertido por aplicaciones de extractos de un medio incubado con bacteria y GA<sub>3</sub>, ambos exógenos. El análisis de los extractos de este medio por Espectrometría de Full-scan gas cromatografía-masa demostró la presencia de GA<sub>1</sub>, GA<sub>3</sub>, GA<sub>4</sub> y GA<sub>20</sub> más los isómeros 3-*epi*-GA<sub>1</sub> e *iso*-GA<sub>3</sub>.

Según reportes, la producción de etileno (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>) y ácido abcísico (ABA) es una característica común de la microflora del suelo y de la rizósfera (Primorse, 1976; Arshad & Frankenberger, 1989). Glick y sus colaboradores han sugerido la relación de una enzima ácido 1-aminociclopropano-1-carboxílico (ACC) diaminasa producida por *Pseudomonas putida* GR12-2 en la modificación del crecimiento radicular de diferentes plantas (Glick *et al.*, 1994; Glick *et al.*, 1998; Belimov *et al.*, 2002). Ellos encontraron que esta bacteria hidroliza ACC, el precursor inmediato de C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> en plantas superiores. ACC diaminasa puede actuar para estimular el crecimiento de la planta secuestrando y luego hidrolizando ACC de las semillas en germinación, reduciéndose de este modo los niveles endógenos de ACC, la cual consecuentemente resulta en promoción del crecimiento de la planta.

### **2.5.2. Solubilización y Asimilación de Nutrientes**

Una adecuada provisión o suministro de nutrientes minerales es necesaria para un crecimiento óptimo de la planta. Sin embargo, aún cuando los nutrientes esenciales en el suelo se encuentran en cantidades adecuadas, las plantas pueden incluso mostrar deficiencias debido a la no disponibilidad de estos nutrientes minerales. El fósforo es uno de los nutrientes esenciales para el crecimiento de las plantas; pero en el suelo está presente en muy baja concentración, debido a que el fósforo soluble como consecuencia

de su reacción con iones de calcio, hierro o aluminio se transforma en formas no asimilables por las plantas (Rodríguez & Fraga, 1999). Por lo tanto, la solubilización de distintas rocas fosfatadas y de otras fuentes de fósforo inorgánico por los microorganismos del suelo es una alternativa fundamental para incrementar la cantidad de nutrientes asimilables por las plantas. La solubilización de nutrientes minerales tal como el fósforo e hierro por PGPR los hace más fácilmente disponibles para la asimilación por la planta, y esto sería considerado como un mecanismo para mejorar el crecimiento de la planta (Glick, 1995). Diversos reportes han sugerido que PGPR puede estimular el crecimiento de la planta por incremento de la solubilización (vía liberación de sideróforos o ácidos orgánicos) y facilitando la asimilación de nutrientes minerales por la planta (Kloepper *et al.*, 1987; Glick, 1995; Chabot *et al.*, 1996a, b; Biswas *et al.*, 2000b).

Chabot *et al.* (1996a) reportaron que ciertas cepas de rizobacterias son capaces de solubilizar fósforo. La asimilación del fósforo fue incrementado (13-23%) significativamente en respuesta a la inoculación rizobial del arroz comparado al control no inoculado (Biswas *et al.*, 2000b). La mejora de crecimiento y rendimiento de diferentes cultivos, con la inoculación de rizobacterias, especialmente *Azotobacter chroococcum* y *Azospirillum brasilense* no se atribuye exclusivamente a la fijación de N<sub>2</sub> estimulado por estas bacterias, sino a la capacidad de solubilizar fósforo y sintetizar sustancias reguladoras de crecimiento, tales como: vitaminas y fitohormonas que intervienen directamente en la promoción de crecimiento y desarrollo de las plantas (Itzigsohn, *et al.*, 2000; Velazco & Castro, 1999).

Toro *et al.* (1997) evaluaron el efecto interactivo de la bacteria solubilizador de fosfato (*Enterobacter sp.* y *B. subtilis*) y el hongo micorriza arbuscular (AM) (*Glomus intraradices*) en cebolla (*Allium cepa* L) con un suelo de bajo contenido de fósforo. La coinoculación de *G. intraradices* y *B. subtilis* incrementó significativamente la biomasa vegetativa y la acumulación de N y P en tejidos de la planta. Este estudio reveló que la interacción micorizósfera entre la bacteria y hongo puede afectar el ciclo del P, promoviendo así una provisión sustentable de nutrientes a las plantas. Diversos otros investigadores han reportado un rol similar de otras bacterias en la solubilización del P y otros nutrientes minerales mejorando la asimilación del nutriente y consecuentemente

el crecimiento de la planta (Belimov *et al.*, 1995; Glick *et al.*, 1998; Biswas *et al.*, 2000a).

La producción de ácidos orgánicos y sideróforos son los principales mecanismos de acción para la solubilización de fósforo e hierro por las PGPR. Los ácidos húmicos y fúlvicos también cumplen la función de solubilizar los fosfatos, al igual que el ácido carbónico proveniente de la respiración microbiana (Ivanova *et al.*, 2006). La rizósfera es un habitat favorable para la producción de ácidos orgánicos (Rouatt & Katznelson, 1961; Louw & Webley, 1959). Pietr *et al.* (1990) ensayaron 748 cepas bacterianas aisladas del rizoplano de diferentes campos de cultivos y encontraron que el 25.6% de cepas fueron capaces de disolver fosfato de calcio. Ellos sugieren que la producción de ácidos orgánicos fue el principal mecanismo de acción, por la cual los compuestos de fósforo insoluble fueron convertidos a formas más solubles. Muchos otros científicos también han reportado que PGPR puede crear un medio ácido para promover la solubilización del nutriente mineral (Webley & Duff, 1962; Moghimi *et al.*, 1978; Alexander, 1977).

Numerosas plantas son capaces de usar compuestos sideróforos de Fe bacteriano como un medio para obtener Fe del suelo (Wang *et al.*, 1993). Este reporte es reforzado por los hallazgos de Hughes *et al.* (1992), quienes reportaron mejora de asimilación de Fe en avena debido a la producción de sideróforos. Más estudios indican que PGPR puede incrementar la movilidad y disponibilidad de micronutrientes por la formación de sideróforos con alta afinidad. Los sideróforos son compuestos de bajo peso molecular que al capturar el  $Fe^{2+}$  disminuyen la disponibilidad de este elemento para los microorganismos perjudiciales (Leong, 1986). Mas detalles sobre la producción de sideróforos por microorganismos y su rol en el mejoramiento de asimilación de Fe ha sido reportado por Loper & Schroth (1986); Mori *et al.* (1991) y Biswas *et al.* (2000a).

### **2.5.3. Control de Fitopatógenos**

Los patógenos del suelo son bien conocidos por sus efectos dañinos o perjudiciales en el crecimiento, desarrollo y rendimiento de las plantas. Para un buen manejo de las enfermedades es importante encontrar formas de protección más efectivas y económicas de las plantas. Existe un grupo importante de hongos y bacterias rizosféricas que presentan efectos antagónicos con otros microorganismos y esta acción puede ser aprovechada como una forma de control biológico de patógenos vegetales. El primer

microorganismo antagónico registrado por la Agencia de Protección de Medio Ambiente (EPA) de los Estados Unidos, el año 1979, es *Agrobacterium radiobacter* strain K84 para control de agalla de corona (*Agrobacterium tumefaciens*); diez años después se registró el hongo biocontralador *Trichoderma harzianum* ATCC 20476. Actualmente se han registrado un total de 14 bacterias y 12 hongos para el control de enfermedades de las plantas (Fravel, 2005). Entre los microorganismos biocontroladores más importantes se encuentran los hongos de los géneros *Gliocladium* y *Trichoderma* y las bacterias de los géneros *Pseudomonas*, *Bacillus* y *Agrobacterium* (Fernández-Larrea, 2001).

Control biológico es la reducción del nivel de inóculo del patógeno o de la enfermedad que produce éste, por uno o más microorganismos antagónicos (Agrios, 1998). El control biológico de enfermedades puede ser por antagonismo directo contra el patógeno o por acción indirecta. No es fácil determinar con precisión los mecanismos que intervienen en las interacciones entre los antagonistas y los patógenos en la planta. En general, los antagonistas no tienen un único modo de acción y la multiplicidad de éstos es una característica importante para su selección como agentes biocontroladores. Si el antagonista posee varios mecanismos de acción, reduce los riesgos de desarrollo de resistencia en el patógeno. Este riesgo de resistencia también se reduce mediante el uso de mezcla de antagonistas con diferentes modos de acción (Fernández-Larrea, 2001).

El antagonismo directo implica interacción directa entre dos microorganismos que comparten el mismo nicho ecológico. Se han descrito varios mecanismos de acción directa, los más resaltantes son: parasitismo, competencia y antibiosis; estas interacciones no son exclusivas de cada cepa de microorganismos, sino cada uno puede poseer varios mecanismos de acción. El parasitismo (Lecuona, 1996) es la acción de un microorganismo parasitando a otro y puede ser definido como una simbiosis antagónica entre microorganismos. Consiste en la utilización del patógeno como alimento por su antagonista. Generalmente, en el mecanismo de parasitismo de bacterias y hongos están implicadas enzimas líticas estructurales tales como quitinasa, celulosa,  $\beta$  1,3-glucanasa, y proteasa que hidrolizan la pared celular y rompen las estructuras de los hongos parasitados. Los ejemplos más conocidos de hongos hiperparásitos son *Trichoderma* y *Gliocladium*.

Otro mecanismo de antagonismo directo es la competencia, que puede definirse como el comportamiento desigual de dos a más microorganismos ante un mismo requerimiento, siempre y cuando la utilización del mismo por uno de los microorganismos reduzca la cantidad disponible para los demás. Un factor esencial para que exista competencia es la escasez o limitación de un elemento, porque si hay exceso no hay competencia (Fernández-Larrea, 2001). La competición puede ser por nutrientes y sitios de infección (Buchenauer, 1998). Dentro de la competencia por nutrientes, la competición por carbono es la más importante (Lindemann *et al.*, 1983).

La antibiosis es el antagonismo que resulta cuando un microorganismo benéfico produce metabolitos secundarios que son perjudiciales para otro microorganismo. El mecanismo de acción de biocontrol de patógenos es a través de la producción de diferentes metabolitos por el microorganismo antagonista; los cuales, pueden ser sideróforos, antibióticos, bacteriocinas, enzimas y otros compuestos que suprimen o inhiben la acción del patógeno (Leifert *et al.*, 1995). El mecanismo de acción antagónica indirecta más conocido es la inducción de resistencia, que consiste en aplicar o inocular un agente inductor de resistencia a la planta, antes de la infección por el patógeno; lo cual resulta, en una enfermedad con síntomas suaves o niveles reducidos de la enfermedad, en comparación con las plantas no inoculadas (Agrios, 1998).

Recientemente, el uso de PGPR como inductor de resistencia sistémica en plantas cultivadas frente a diferentes patógenos ha sido demostrado bajo condiciones de campo (Wei *et al.*, 1991, 1996; Vidhayasekaran & Muthamilan, 1999; Viswanathan & Samiyappan, 1999). El uso de cepas de PGPR natural en defensa de la planta puede ser una manera práctica de dar protección o inmunización. En los últimos años, el control biológico de enfermedades ha constituido como un importante modo de acción, por la cual PGPR puede beneficiar el crecimiento de la planta. PGPR ha sido reportado que incrementa la resistencia en plantas frente a las enfermedades fungosas, bacterianas y virales (Liu *et al.*, 1995a; Maurhofer *et al.*, 1998), insectos (Zehnder *et al.*, 1997a, b) y nematodos (Sikora, 1988).

Los estudios de modo de acción revelan que el control biológico por PGPR involucra la producción de metabolitos bacterianos que reducen la población o actividades de patógenos o microflora perjudicial de la rizósfera (Kloepper, 1993, 1996; Glick, 1995).

Estos metabolitos pueden ser sideróforos que ligado a Fe los hacen menos disponibles a ciertos miembros de la microflora nativa patogénica (Kloepper *et al.*, 1987). Berthelin *et al.* (1991) reportaron que la producción de sideróforos ligados al hierro en la rizósfera de la planta los hace no disponible a la microflora dañina en un medio esterilizado. Ciertas pseudomonas fluorescentes, particularmente *Ps. fluorescens* y *Ps. putida* fueron inoculados para colonizar raíces de plantas, las cuales promovieron el crecimiento de la planta bajo condiciones de campo muy probablemente a través de la formación de sideróforos (Kloepper *et al.*, 1987).

La producción de antibióticos es uno de los aspectos de biocontrol más intensivamente estudiados, pero en muchos casos es difícil distinguir entre antibiosis y competencia. Cuando los mutantes negativos para producir antibióticos son inoculados en la rizósfera no afectan el organismo objetivo o blanco tal como hace el productor padre de antibiótico, es una buena indicación que la antibiosis es un factor principal. Diversos estudios han demostrado que la producción de antibióticos (e. g. pyrrolnitrin, phycocianin, 2,4-diacetyl phloroglucinol) por inoculación microbiana puede causar supresión o disminución de patógenos (Pierson & Thomashow, 1992; Kloepper, 1993, 1994; Glick, 1995). Glick (1995) fue de la opinión que el mecanismo más efectivo que un PGPR puede emplear para prevenir la proliferación de fitopatógenos es la síntesis de antibióticos.

Otros mecanismos para control biológico de enfermedades puede incluir: competencia por sitios de infección y nutrientes, parasitismo sobre patógenos, es decir destrucción de patógenos fúngicos por la acción de enzimas líticas (por ejemplo quitinasa y  $\beta$ -1, 3-glucanasa) que degradan la pared celular y factores antifúngicos no caracterizados (Lim *et al.*, 1991; Fridlender *et al.*, 1993; Kloepper, 1993, 1994, 1996; Potgieter and Alexander, 1996; Glick, 1995; Velazhahan *et al.*, 1999). Buchenauer (1998) reportó varios mecanismos de control biológico tales como competencia por espacio y nutrientes en la rizósfera y esfermósfera, enzimas líticas, ácido cianhídrico y muchos otros metabolitos producidos por la rizobacteria.

Una asociación o mezcla de PGPR a menudo puede tener más influencia en el control biológico y crecimiento de la planta que una cepa sola (Kim *et al.*, 1997; Schmiedeknecht *et al.*, 1998; Bapat & Shah, 2000). Renwick *et al.* (1991) concluyeron

que la mayor parte de los controles biológicos que ocurren naturalmente resultan de una mezcla de antagonistas que de un simple antagonista en alta densidad o concentración. La aplicación de una mezcla de agentes biocontroladores (introducidos) se asemejaría más al medio ambiente natural y puede ampliar el espectro de la actividad biológica (Duffy & Weller, 1995). El trabajo de varios científicos, recientemente han reforzado este amplio espectro de la actividad de biocontrol por una mezcla de PGPR (Raupach & Kloepper, 1998; Singh *et al.*, 1999).

Un trabajo reciente sobre el amplio espectro de PGPR que induce resistencia sistémica contra diferentes patógenos en diferentes cultivos ha adquirido importancia. El tratamiento de semilla con *Ps. fluorescens* fue efectivo no solamente contra el hongo patógeno de la raíz *Fusarium oxysporum* f. sp. *raphani*, sino también contra la bacteria patógena de la hoja, *Ps. syringae* pv. *tomato* y el hongo patógeno de la hoja, *F. oxysporum* (Hoffland *et al.*, 1996). El espectro amplio de biocontrol por PGPR tiene muchas aplicaciones en protección o control de enfermedades.

## **2.6. Aplicación de las PGPR en Agricultura**

En los últimos años, las PGPR se han convertido en una nueva clase de biofertilizantes, bioestimuladores y bioplaguicidas. Existe gran interés en el uso de estas rizobacterias para inoculación de cultivos. Las PGPR tienen grandes promesas como inoculantes potenciales en la agricultura y forestal y si es efectivo, reduciría el uso de agroquímicos incluyendo los fertilizantes y pesticidas químicos (Chirinos *et al.*, 2006; Zahir *et al.*, 2004).

Chen *et al.* (1994) proporcionaron un resumen excelente de los trabajos chinos. Más de 300 científicos estuvieron involucrados en investigaciones de bacterias que incrementan rendimientos, que van desde estudios básicos hasta formulación del producto y distribución a agricultores. Cultivo de microorganismos que promueven crecimiento en invernaderos, estudios de tamizado en campo fueron hechos por lo menos durante dos años en diferentes provincias, en ensayos diseñados estadísticamente, y si son positivos consistentemente fueron comercializados. Las bacterias actualmente en uso son *B. cereus*, *B. firmus* y *B. licheniformis*, pero nuevos cultivos de cepas están siendo probados y desarrollados. En muchos casos, mezclas de diferentes aislamientos son usados. Las plantas son tratadas de diversas formas, por ejemplo cubriendo las semillas



con microorganismos, sumergiendo las raíces de plántulas a ser transplantadas o asperjando el suelo con una suspensión de microorganismos. Las mejores respuestas fueron obtenidas cuando las semillas son inoculadas o tratadas con una suspensión de microorganismos, complementada con una o más aplicaciones foliares; mientras, en plántulas de viveros la inmersión de raíces en el momento de transplante mas una o dos aplicaciones, a medida que las plantas se desarrollan. En 1990, las rizobacterias que incrementan rendimientos fueron usadas en aproximadamente 3.3 millones de hectáreas en 18 provincias; en trigo (con 8.5 – 16% de incremento en rendimiento), arroz (8.1 – 16%), maíz (6 – 11%), sorgo (5 – 10%), camote (15 – 19%), algodón (6 – 13%), colza (11 – 18%), fríjol (7 – 16%), remolacha azucarera (15 – 20%), sandía (16 – 18%), maní (10 – 15%) y hortalizas (13 – 35%).

Un estudio en Canadá con cerca de 4000 aislamientos de bacterias de la rizósfera de diferentes plantas mostró que 222 aislamientos incrementaban el crecimiento del cultivo de canola en un tamizado inicial (Kloepper, *et al.*, 1987). Después de un tamizado a nivel de invernadero de los aislamientos activos, ensayos de campo fueron conducidos durante dos años con los aislamientos más promisorios, los cuales incrementaron el vigor de plántulas y el rendimiento en 5 – 29%, en canola. En general, había respuestas positivas en rendimiento, en dos tercios de ensayos de campo (Kloepper *et al.*, 1987).

Diversos estudios indican que las PGPR pueden actuar como inductores naturales para mejorar el crecimiento y rendimiento del trigo. Javed & Arshad (1997) aislaron 38 cultivos de rizobacterias del suelo de la rizósfera y los seleccionaron en base a su habilidad para producir IAA *in vitro*. Las semillas de dos cultivares de trigo (Inqlab y LU-26S) fueron inoculadas con estos aislamientos a nivel de campo y bajo condiciones óptimas de fertilización (NPK, 150-75-50 kg ha<sup>-1</sup>). Los rendimientos de grano de Inqlab y LU-26S debido a la inoculación con los aislamientos de PGPR se incrementaron en 5.3 y 18.5%, respectivamente, en comparación al control no inoculado. La inoculación con PGPR también incrementó significativamente el número de macollos, peso seco del follaje, y peso de 1000 granos en ambos cultivares. La altura de planta solamente se incrementó en la variedad LU-26S.

Khaliq *et al.* (1996) condujeron un experimento de campo para evaluar el potencial de dos aislamientos de *Pseudomonas* (aislado del suelo de la rizósfera de maíz) en trigo

bajo condiciones fertilizadas. La inoculación con las bacterias promovió rendimientos de grano y paja o broza, macollamiento, concentración de N en granos y N total asimilable a 20, 14, 17, 41 y 65%, respectivamente, por encima del control no inoculado. Germida & Walley (1996) estudiaron el impacto de inoculantes de PGPR en el crecimiento y rendimiento de trigo primaveral en ensayos de campo. Los inoculantes *Pseudomonas* (*Ps. cepacia* R55, R85, *Ps. aeruginosa* R80, *Ps. fluorescens* R92 y *Ps. putida* R104) fueron aplicados a una concentración de  $10^7 - 10^8$  ufc semilla<sup>-1</sup> de trigo, en dos lugares diferentes de Saskatchewan. La respuesta del crecimiento de la planta fue variable y depende del strain de inoculante, fecha de cosecha y parámetro de crecimiento evaluado. Sin embargo, el índice de cosecha fue consistentemente incrementado por todos los inoculantes de *Pseudomonas*; las respuestas a strains R55 y R104 fueron altamente significativas.

Resultados similares de incremento de rendimiento también han sido reportados con *Bacillus sp.* Dos años de ensayos de campo fueron conducidas en trigo en dos localidades, y a 11.4 – 14.7% incrementó el rendimiento de granos sobre el control, observado cada año en respuesta a la inoculación con *Bacillus cereus* strain A-47 (Xia *et al.*, 1990). Además de la promoción de rendimiento, la inoculación de PGPR también mejoró la tasa de emergencia de plántulas, formación de macollos y peso seco de planta. Zahir *et al.* (1996) condujeron un experimento de campo para estudiar el efecto de inoculación de *Azotobacter* en crecimiento y rendimiento de trigo (cv. Inqlab) en la presencia de NPK a 150-75-50 kg ha<sup>-1</sup>. La inoculación de la semilla con varios cultivos de *Azotobacter* incrementó significativamente el rendimiento de grano (38.5%), rendimiento de broza o paja (15.3%), número de macollos (12.5%), espiguillas (10.7%) y peso de 1000 granos (7.3%) comparado al control no inoculado.

Plántulas de arroz fueron inoculadas con *Azospirillum brasilense* inmediatamente después de la germinación y justo antes del transplante en camas de crecimiento. Estas plántulas fueron crecidas en dos lugares aplicando en uno 0, 38, 76 kg N ha<sup>-1</sup> y en el otro 0, 48, 96 kg N ha<sup>-1</sup>. Los resultados mostraron que el rendimiento de grano y peso de 1000 granos fueron incrementados en ambos lugares de inoculación. Había interacción positiva entre la aplicación de N e inoculación con un mejoramiento de rendimiento de 15 – 21% por inoculación y aplicación de la tasa más alta de N, comparado con 5 – 6% por inoculación y no aplicación de N (Omar *et al.*, 1989). Chi *et*

*al.* (1998) condujeron ensayos de campo para determinar la respuesta de arroz a cepas de *Azospirillum*. Semillas de arroz germinado fueron inoculados con *Azospirillum* Mat 2-lb y DA 9-3a y trasladados a diferentes lugares del río Delta del Vietnam del Norte. Después de 30 a 35 días, las plántulas inoculadas mostraron ser más altas y más vigorosas que las plantas no inoculadas. Las plántulas inoculadas también mostraron una tasa de supervivencia alta en comparación a las plántulas no inoculadas.

En otro estudio, Mehnaz *et al.* (1998) condujeron un ensayo de campo para determinar el potencial de PGPR para promover el crecimiento de arroz. Una mezcla de cinco cepas de PGPR perteneciente al género *Azospirillum* (*A. lipoferum* y *A. brasilense*), *Azoarcus*, *Pseudomonas* y *Zoogloea* fueron usados para inocular plántulas de arroz crecidas en micromacetatas. La inoculación de semillas con PGPR incrementó significativamente el peso de la raíz (41%), peso de la broza (12%), rendimiento de grano (11.7%) y biomasa total (18,7%) comparado al control no inoculado. Similarmente, Sherchand (2000) determinó la respuesta del arroz a la inoculación de bacterias bajo condiciones de campo. El incremento de rendimiento de arroz fue de 15 – 20% en respuesta a la inoculación sobre el control no inoculado.

En un experimento de campo en respuesta a la inoculación con PGPR, en maíz la productividad de grano se incrementó hasta en 18.9%, mientras el peso de mazorca, longitud de mazorca, peso de 1000 granos y de broza fueron significativamente incrementados hasta en 20.8, 11.6, 17.2 y 27.1%, respectivamente (Javed *et al.*, 1998). De los 11 aislamientos probados en este estudio, cinco fueron consistentes en mejorar el crecimiento del maíz y los cinco fueron identificados como *Pseudomonas*. En otro estudio, las semillas inoculadas con cuatro aislamientos de PGPR (dos de *Azotobacter* y dos de *Pseudomonas*) fueron sembradas en el campo, recibiendo NPK en 150-100-100 kg ha<sup>-1</sup> (Zahir *et al.*, 1998). Los resultados revelaron que la inoculación combinada de *Azotobacter* y *Pseudomonas* incrementó significativamente el rendimiento de grano (19.8%), peso de mazorca (21.3%), longitud de mazorca (20.6%), peso de 1000 granos (9.6%), altura de planta (8.5%) y contenido de N en grano y broza (19.8 y 18%, respectivamente) comparado con el control no inoculado. La inoculación con un solo strain de *Azotobacter* o *Pseudomonas* también ha dado resultados promisorios.

Berthelin *et al.* (1991) investigaron el efecto de la solubilización de fosfato por la rizobacteria en el crecimiento de maíz y demostraron que la inoculación con la rizobacteria solubilizadora de fosfato resultó en una estimulación significativa de crecimiento de plántulas de maíz (brote y raíz). La inoculación con *Bacillus spp.* incrementó el contenido de fósforo (34% más alto que el control) en el brote del maíz.

Jiménez *et al.* (2001) identificaron en cultivo de papa, que la bacteria *B. subtilis* inhibía prácticamente todos los grupos de anastomosis de *R. solani*, algunas cepas de *Fusarium sp* y de *Ph. infestans*. Esta bacteria, además, de tener efectos antagonicos con fitopatógenos también es promotora del crecimiento, debido a que en las parcelas inoculadas con ella, se produjo mayor cantidad y calidad de tubérculos. La efectividad de la inoculación de la semilla con *Azotobacter* para el mejoramiento del rendimiento de la papa bajo condiciones óptimas de fertilización (NPK 250-150-150 ó 200-100-100 kg ha<sup>-1</sup>) fueron estudiados en experimentos en macetas y en campo por Zahir & Arshad (1996). En experimentos a nivel de macetas, la inoculación incrementó significativamente el rendimiento de tubérculos (45.3%), rendimiento de broza (61.9%) y número de tubérculos por planta (82.4%) comparado al control no inoculado. En condiciones de campo, la inoculación con *Azotobacter* fue también efectivo en el mejoramiento del rendimiento de tubérculos (32.3%), rendimiento de broza (15.9%) y número de tubérculos por planta (50%) comparado al control no inoculado. Javed & Arshad (1999) condujeron ensayos en macetas y en campo para probar 11 rizobacterias aisladas para la promoción de rendimiento en papa. En ambos ensayos, el rendimiento de tubérculos, número de tubérculos y peso de brotes mas raíces se incrementaron significativamente en respuesta a la inoculación. El rendimiento de tubérculos se incrementó a 47.5 y 25.8% en ensayos a nivel de macetas y campo, respectivamente, en respuesta a la inoculación de PGPR

Calvo (2008) reportó que de 63 cepas de *Bacillus spp* aisladas de la rizósfera del cultivo de la papa de la región andina, 43 fueron capaces de controlar el crecimiento del hongo *R. solani* en placa, mostrando porcentajes de inhibición entre 69% y 91%. Además, de las 43 cepas, 91 % presentaron antagonismo contra *Fusarium solani* aunque con porcentajes un poco más bajos; 81% fueron capaces de producir AIA en diferentes grados y 58% solubilizaron fosfato obteniéndose un máximo de 0.981 cm<sup>2</sup> de área de solubilización

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Material biológico

##### 3.1.1. Material vegetal

Plántulas *in vitro* de papa de las variedades Ccompis y Andina para los ensayos a nivel de invernadero y tubérculos-semillas de papa de la variedad Ccompis para los ensayos en condiciones de campo. Tanto las plántulas *in vitro* como los tubérculos-semillas fueron proporcionadas por la Estación Experimental Illpa-Puno del Instituto Nacional de Innovación Agraria.

##### 3.1.2. Rizobacterias

Las cepas de rizobacterias fueron aisladas de la rizósfera del cultivo de papa de las zonas altoandinas productoras de papa del Perú, *Bacillus* de la localidad de Chilacollo-Puno, *Actinomicetos* de Challapampa-Puno, *Azotobacter* y *Azospirillum* de Aymara-Huancavelica y *Pseudomonas* de Marcavalle-Junín (Calvo *et al.*, 2010). Estas cepas de rizobacterias fueron seleccionadas por su capacidad de promotores de crecimiento de plantas y de inhibición de fitopatógenos, en condiciones de *in vitro* e invernadero.

#### 3.2. Materiales y equipos

##### 3.2.1. Materiales y equipos para ensayos en condiciones de invernadero

- Macetas de 7 pulgadas
- Horno para secado
- Frascos con tapa
- Balde de 15 litros
- Bolsas de polietileno
- Bolsa de papel N° 10

- Baguetas
- Pipetas de plástico descartables
- Balanza de platillo
- Guantes

### **3.2.2. Materiales y equipos para ensayos en condiciones de campo**

- Horno para secado
- Frasco con tapa
- Balde de 15 litros
- Bolsas de polietileno grandes
- Bolsas de papel N° 12
- Balanza
- Cámara fotográfica
- Guantes

## **3.3. Métodos**

### **3.3.1. Ensayo de concentración y momento adecuado de inoculación de Rizobacterias Promotoras de Crecimiento de Plantas, en condiciones de invernadero**

#### **3.3.1.1. Localización del ensayo**

La presente investigación se realizó en condiciones de invernadero del INIA-Puno, situado en la localidad de Salcedo, distrito, provincia y departamento de Puno; ubicada a 3820 msnm, latitud Sur 15° 14' 35'' y longitud Oeste 70° 43' 30'', con temperaturas máxima y mínima de 26.00°C y 12.50°C, respectivamente, y con humedad relativa de 78%. Con el objetivo de evaluar la capacidad de promoción de crecimiento de plantas de papa, se emplearon tres cepas de rizobacterias nativas: Bac14M1a (M<sub>1</sub>), Act16M2 (M<sub>2</sub>) y Azo4M4 (M<sub>3</sub>), aisladas de la rizósfera del cultivo de papa de las zonas productoras de la región andina en el Laboratorio de Ecología Microbiana y Biotecnología Marino Tabusso de la UNALM (Calvo *et al.*, 2010), y para determinar la concentración y el momento oportuno de inoculación de estas PGPR se probaron tres concentraciones: 1x10<sup>8</sup> ufc/ml (C<sub>1</sub>), 1x10<sup>6</sup> ufc/ml (C<sub>2</sub>) y 1x10<sup>4</sup> ufc/ml,

(C<sub>3</sub>) y tres momentos de inoculación: a la siembra o trasplante (A<sub>1</sub>), a la siembra más al aporque (A<sub>2</sub>) y al aporque (A<sub>3</sub>) (Anexo I, Cuadro 1). Para el experimento se utilizó plántulas *in vitro* de la variedad de papa Ccompis. Esta variedad es una nativa de alta calidad culinaria, sembrada extensivamente en Puno por su buena tolerancia a factores abióticos y bióticos adversos, con 130 días de periodo vegetativo aproximadamente.

### **3.3.1.2. Diseño experimental**

El ensayo se instaló bajo el diseño experimental completamente al azar (DCA) con arreglo factorial 3<sup>3</sup>, los factores en estudio fueron tres cepas de PGPR, tres concentraciones y tres momentos de inoculación, y con cuatro repeticiones (Anexo I, Cuadro 1).

### **3.3.1.3. Trasplante de plántulas *in vitro* e inoculación de rizobacterias**

El trasplante de las plántulas *in vitro* de papa fue realizado en macetas que contenían un sustrato consistente de una mezcla de arena, compost y tierra orgánica en una proporción de 1:2:2, previamente desinfectado por solarización (CIP, 2008). Este sustrato presentó un valor medio de materia orgánica (3.4%), pH moderadamente ácido (5.56) y los niveles del contenido de los elementos fósforo y potasio fueron altos (23.75 ppm y 245.60 ppm, respectivamente) (Anexo I, Cuadros 6 y 8). Las plántulas *in vitro* de papa de la variedad Ccompis fueron proporcionadas por el laboratorio de cultivo de tejidos del INIA-Puno. La inoculación de las cepas de rizobacterias se realizó con una jeringa estéril en el momento del trasplante, dosificando 5 ml de la suspensión en la rizósfera de las plántulas con las concentraciones consideradas para el estudio (Anexo II, Figuras 1 y 2); luego, usando guantes estériles se cubrieron las raíces inoculadas con una pequeña capa de suelo asegurando que las raíces estén en contacto íntimo con el sustrato (Anexo II, Figura 3). Del total de plántulas *in vitro* transplantadas en macetas (108 plántulas), 36 fueron inoculadas solamente en el momento del trasplante, otras 36 fueron inoculadas en el momento del trasplante y en el momento del aporque y los 36 sobrantes fueron inoculadas solamente en el momento del aporque.

#### **3.3.1.4. Manejo de plántulas**

Antes del trasplante, las plántulas crecidas *in vitro* que se encontraban en magentas se colocaron en bandejas con agua para su aclimatación y que puedan tener mayor vigor, por un periodo de 72 horas. Después de 20 días del trasplante e inoculación en las plántulas, se realizó el primer aporte (adición del sustrato alrededor de las plántulas con el objeto de favorecer un mejor desarrollo de las mismas), coincidiendo con la primera fertilización (140-120-100 kg/ha de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y K<sub>2</sub>O). El segundo aporte y fertilización se hizo a los 25 días después del primer aporte. La fertilización (mezcla de Urea, Fosfato Diamónico y Cloruro de Potasio) se realizó de forma uniforme alrededor de las plantas, para luego ser cubierta con una capa de sustrato. Para evitar la caída de las plantas se colocaron tutores de carrizo.

Después del trasplante, se adicionó aproximadamente 15 a 20 ml de agua por maceta, para regar durante 30 días a intervalos de 3 días; posteriormente a partir de los 33 días después del trasplante, cuando las plantas se encontraban en inicio de floración, el riego fue cada 3 días, aplicándose 150 a 200 ml de agua por maceta hasta el final de la floración (90 días después del trasplante).

#### **3.3.1.5. Parámetros de evaluación**

Los parámetros evaluados fueron: altura de planta en floración (90 a 115 días del trasplante) y el rendimiento en peso y número de tubérculos (g/planta y N° tubérculos/planta). Con los datos obtenidos se realizó un análisis de varianza y para aquellas variables que presentaron diferencias significativas entre los promedios de los tratamientos se realizó la prueba de comparación de medias de LSD con un nivel de significancia de 0.05, tanto para los efectos principales así como para los efectos de interacción entre ellos.



### **3.3.2. Efecto de rizobacterias en el control de *Rhizoctonia solani***

#### **3.3.2.1. Localización del ensayo**

La investigación se realizó en Estación Experimental Illpa del INIA, situada en la localidad de Salcedo, distrito, provincia y departamento de Puno; ubicada a 3820 msnm, latitud Sur 15° 14' 35'' y longitud Oeste 70° 43' 30'', en condiciones de invernadero con temperaturas máxima y mínima promedio de 25.50 y 12.25 °C, respectivamente, y con humedad relativa de 78%. Con el fin de evaluar el efecto de rizobacterias en *R. solani* y la promoción de crecimiento de plantas en papa, se emplearon dos cepas de *Bacillus subtilis* (Bac17M8: T1 y Bac17M9: T2), aisladas de la rizósfera del cultivo de papa de las zonas productoras de Puno (Calvo & Zúñiga, 2010; Calvo *et al.*, 2010; Calvo *et al.*, 2008) y *Bacillus amyloliquefaciens* de Bolivia (Bac Bolivia: T3); además, se evaluó suelo infestado con *R. solani* sin rizobacteria (T4) y sin rizobacteria ni presencia de *R. solani* (T5). En total fueron cinco tratamientos (Anexo I, Cuadro 5). La inoculación se realizó sobre plantas *in vitro* de la variedad Ccompis y Andina, que fueron proporcionadas por el laboratorio de cultivo de tejidos del INIA-Puno.

#### **3.3.2.2. Diseño experimental**

Para el análisis estadístico, se utilizó un diseño de bloques completos al azar (BCA), con cinco tratamientos, cuatro repeticiones y dos variedades (Anexo I, Cuadro 5).

#### **3.3.2.3. Transplante de plántulas *in vitro* e inoculación de rizobacterias**

El transplante de las plántulas *in vitro* de papa fue realizado en cada unidad experimental que consistió de 1m<sup>2</sup> de suelo infestado con *R. solani* (o sustrato según tratamiento) de profundidad aproximada de 15 cm (45 plántulas/m<sup>2</sup>), constituyendo los tratamientos correspondientes, bajo condiciones de invernadero. Se dispuso de suelo infestado en cada unidad experimental, este suelo presentó un valor medio de materia orgánica (2.35%), pH moderadamente ácido (5.77), el contenido de fósforo y potasio fueron de 23.80 y 238.99 ppm, respectivamente (Anexo I, Cuadros 7 y 8). Para el tratamiento con sustrato sin presencia de *R. solani* y sin rizobacteria se utilizó sustrato desinfectado por solarización.

Este sustrato consistió de una mezcla de arena, compost y suelo de capa arable de color negro, en una proporción de 1:2:2, y presentó un valor medio en contenido de materia orgánica (3.4%), un valor moderadamente ácido de pH (5.56) y un contenido de fósforo y potasio de 23.75 y 245.60 ppm, respectivamente (Anexo I, Cuadros 6 y 8).

La inoculación de las rizobacterias se realizó con una jeringa estéril en el momento del trasplante, dosificando 5 ml de la suspensión en la rizósfera de las plántulas con la concentración de  $1 \times 10^8$  ufc/ml (Oswald *et al.*, 2010) (Anexo II, Figuras 1, 2 y 4); luego usando guantes estériles se cubrieron las raíces inoculadas con una pequeña capa de suelo asegurando que estén en contacto íntimo con el suelo y/o sustrato (Anexo II, Figura 3).

#### **3.3.2.4. Manejo de plántulas**

Antes del trasplante, las plántulas crecidas *in vitro* que se encontraban en magentas se colocaron en bandejas con agua para su aclimatación y que puedan tener mayor vigor, por un periodo de 72 horas. Después de 30 días del trasplante e inoculación en las plántulas, se realizó el primer aporte (adición de suelo infestado/sustrato correspondiente a cada tratamiento), coincidiendo con la primera fertilización (140-120-100 kg/ha de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y K<sub>2</sub>O). Posteriormente, se realizaron tres aportes y dos fertilizaciones a intervalos de 30 días. La fertilización (mezcla de Urea, Fosfato Diamónico y Cloruro de Potasio) se realizó de forma uniforme alrededor de las plantas, para luego ser cubierta con una capa de suelo o sustrato. Para evitar la caída de las plantas, se colocaron tutores de carrizo.

Después del trasplante, se adicionó aproximadamente de 8 a 10 litros de agua por m<sup>2</sup> para regar durante 15 días a intervalos de 3 días, posteriormente se suministró riego interdiario (12 a 15 litros de agua por m<sup>2</sup> hasta los 60 días); a partir de los 63 días después del trasplante, cuando las plantas se encontraban en inicio de floración, el riego fue cada

3 días, aplicándose 15 a 20 litros por m<sup>2</sup> hasta el final de la floración (120 días después del transplante).

### **3.3.2.5. Parámetros de evaluación**

Los parámetros evaluados constituyeron: mortalidad de plántulas (10 días después del transplante), altura de planta en floración (90 a 115 días), el rendimiento (kg/m<sup>2</sup>) de tubérculos y la incidencia y severidad (Torres, 2002) causada por *R. solani* (incidencia es el porcentaje de tubérculos con esclerocios y severidad es el porcentaje de área cubierta con esclerocios en los tubérculos) se realizó al momento de la cosecha (140 días). Con los datos obtenidos se realizó un análisis de varianza y para aquellas variables que presentaron diferencias significativas entre los promedios de los tratamientos se realizó la prueba de comparación de medias de LSD con un nivel de significancia de 0.05, tanto para los efectos principales así como para los efectos de interacción entre ellos.

### **3.3.3. Efecto de ocho Rizobacterias Promotoras de Crecimiento de Plantas en la productividad de papa, en condiciones de campo**

#### **3.3.3.1. Localización del ensayo**

El ensayo se realizó en condiciones del campo experimental del INIA-Puno, situado en la localidad de Salcedo, distrito, provincia y departamento de Puno; ubicado a 3820 msnm, 15° 14' 35'' latitud Sur y 70° 43' 30'' longitud Oeste. En este ensayo se evaluaron ocho cepas de Rizobacterias Promotoras de Crecimiento de Plantas (PGPR) nativas de las zonas productoras de la región andina del Perú y con capacidad para promover el rendimiento de la papa y/o en el control de *Rhizoctonia solani* (Bac20M1, Act16M2, Bac17M10, Bac17M8, Azo16M2, Azo1M4, Azo2M2 y Azo18M1), las cuatro primeras cepas, aisladas de la rizósfera del cultivo de papa de las zonas productoras de Puno y las cuatro últimas cepas de otras zonas productoras de la región andina (Calvo *et al.*, 2010), un tratamiento con estiércol sólo (estiércol de ovino), un tratamiento con estiércol más fertilización química (60-60-60 kg/ha de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y K<sub>2</sub>O), un tratamiento de Bac20M1 más fertilización química (60-60-60 kg/ha de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y K<sub>2</sub>O), y un tratamiento de

Act16M2 más fertilización química (60-60-60 kg/ha de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y K<sub>2</sub>O); en total fueron doce tratamientos más un testigo absoluto (Anexo I, Cuadro 16). A los 12 tratamientos se aplicó estiércol de ovino, en la cantidad de 5 t/ha.

El suelo experimental presentó una clase textural franco, contenido de materia orgánica de valor medio (2.59 %), pH cercano a neutro (6.40), contenido alto de fósforo (27.10 ppm) y medio de potasio (148.00 ppm) (Anexo I, Cuadros 8 y 17). Se utilizó la variedad de papa nativa Ccompis, caracterizada por su alta calidad culinaria (26% de materia seca), sembrada extensivamente en las condiciones agroecológicas de la región altiplánica del Perú por su tolerancia a factores abióticos y bióticos adversos, con periodo vegetativo de 130 días de periodo vegetativo, aproximadamente.

#### **3.3.3.2. Diseño experimental**

La parcela se instaló bajo el diseño de bloques completos al azar (BCA), con 12 tratamientos, un testigo absoluto y cuatro repeticiones (Anexo I, Cuadro 16).

#### **3.3.3.3. Inoculación de rizobacterias y siembra de tubérculos-semillas**

La inoculación de las PGPR se realizó a los tubérculos-semillas; para lo cual, 150 ml de cada una de las cepas en estudio con la concentración de  $1 \times 10^8$  ufc/ml se disolvieron en 10 litros de agua. Los tubérculos-semillas de papa de la variedad Ccompis fueron sumergidos en esta suspensión o biopreparado por un periodo de tiempo de 8 a 10 minutos; agitándose al principio los tubérculos dentro de la suspensión (Anexo II, Figura 7). Los tubérculos inoculados se sembraron en surcos distanciados a un metro y a 0.30 m entre tubérculos. Después de la siembra, sobre los tubérculos sembrados se asperjó la suspensión sobrante y luego se colocó el estiércol de ovino a la dosis de 150 gramos por tubérculo, seguidamente, los tubérculos-semillas dentro de los surcos fueron tapados con una capa de suelo de aproximadamente de 8 a 10 cm (Anexo II, Figuras 8, 9, 10 y 11). Cada tratamiento se sembró en 6 surcos de 4.5

m de largo, haciendo un área de 27 m<sup>2</sup>, y se cosechó cuatro surcos centrales, con un área de 18 m<sup>2</sup>.

#### **3.3.3.4. Reinoculación de rizobacterias**

A los 65 días después de la siembra, cuando las plantas tenían aproximadamente 15 a 20 cm de altura se hizo la reinoculación de las cepas de rizobacterias. Para cada parcela de 90 plantas, 50 ml de una cepa a la concentración de  $1 \times 10^8$  ufc/ml se disolvió en 2250 ml de agua, aplicándose 25 ml de suspensión o biopreparado por planta. Después de la reinoculación justo al cuello de la planta se cubrió con una capa de suelo del primer aporque (Anexo II, Figura 12).

#### **3.3.3.5. Manejo del cultivo en condiciones de campo experimental**

Para la instalación del experimento, el terreno fue preparado con debida anticipación, inmediatamente después de la cosecha del cultivo anterior con el objetivo de incorporar los rastrojos de cosecha y exponer a la radiación solar y al frío las esporas y estados juveniles de enfermedades y plagas. La preparación del terreno consistió de una aradura con un arado de discos, luego el desterronado y mullido del suelo con una rastra de discos en forma cruzada. Un día antes de la instalación del ensayo se realizó el surcado del campo experimental. Cuando las plantas emergieron, a los 45 días después de la siembra, se hizo el elevado de surcos para evitar el exceso de agua alrededor de las plantas y favorecer el control de malezas. A los 65 días después de la siembra, cuando las plantas tenían aproximadamente 15 a 20 cm de altura, inmediatamente después de la reinoculación se realizó el deshierbo y el primer aporque, acumulando una capa de suelo alrededor del cuello de las plantas, con el objetivo de eliminar la presencia de malezas, favorecer el crecimiento de plantas y proteger las rizobacterias de la radiación solar. Después de 20 a 25 días del primer aporque se realizó el segundo aporque depositando una capa de suelo sobre el camellón para evitar la emergencia de estolones y favorecer un buen desarrollo de los tubérculos. Para controlar una posible incidencia de la polilla de papa *Phthorimaea operculella* se colocaron trampas con feromonas sexuales.

### **3.3.3.6. Parámetros de evaluación**

Los parámetros evaluados fueron: altura de planta en floración (aproximadamente a los 90 días después de la siembra) y en el momento de la cosecha (140 días de la siembra) se determinó el rendimiento en peso y número de tubérculos (kg/18 m<sup>2</sup> y N° tubérc/18 m<sup>2</sup>, respectivamente), el grado de incidencia de las enfermedades causadas por *Rhizoctonia solani* y *Spongospora subterranea* (incidencia es el porcentaje de tubérculos con esclerocios y pústulas, respectivamente) y el contenido de materia seca en los tubérculos. Con los datos obtenidos se realizó un análisis de varianza y para aquellas variables que presentaron diferencias significativas entre los promedios de los tratamientos se realizó la prueba de comparación de medias de LSD con un nivel de significancia de 0.05.

### **3.3.4. Efecto de siete Rizobacterias Promotoras de Crecimiento de Plantas en la productividad de papa, bajo dos condiciones agroecológicas de la región altiplánica del Perú**

#### **3.3.4.1. Localización del ensayo**

La presente investigación se realizó bajo dos condiciones agroecológicas de la región altiplánica del Perú; las cuales fueron: localidad de Salcedo, ubicada en el distrito, provincia y departamento de Puno; a una altura de 3820 msnm, 15° 14' 35'' latitud Sur y 70° 43' 30'' longitud Oeste, y la localidad de Tahuaco, situada en el distrito y provincia de Yunguyo, departamento de Puno; a una altitud de 3870 msnm, 16° 14' 70'' latitud Sur y 69° 05' 30'' longitud Oeste (Anexo II, Figura 13). En ambas localidades se evaluaron siete cepas de rizobacterias nativas con capacidad para promover el rendimiento de la papa (Azo16, Act16M2, Azo39, Bac21M1, Azoll2, Act30 y P6), las cepas Azo16, Azo39 y Azoll2 aisladas de la rizósfera del cultivo de papa de la localidad de Aymara-Huancavelica; los actinomicetos de Challapampa-Puno y Bacilluas de Chilacollo-Puno (Calvo *et al.*, 2010), un tratamiento con estiércol de ovino sólo (5 t/ha) y un tratamiento de Bac21M1 mas una sustancia conservador de humedad; en total fueron nueve tratamientos

más un testigo absoluto (Anexo I, Cuadro 24). A los nueve tratamientos se aplicaron estiércol de ovino, en la cantidad de 5 t/ha.

El suelo de la localidad de Salcedo se caracterizó por presentar una textura franco-arenosa, contenido de materia orgánica de valor medio (2.59 %), pH muy cercano a neutro (6.60) y contenido alto de fósforo y potasio (37.4 y 280.0 ppm, respectivamente); mientras, el suelo de la localidad de Tahuaco, presentó una textura franco-limosa, contenido bajo en materia orgánica (1.54 %), pH fuertemente ácido (4.8) y bajo contenido de fósforo y potasio (6.40 y 54.66 ppm, respectivamente) (Anexo I, Cuadros 8 y 25). Se utilizó la variedad de papa nativa Ccompis, caracterizada por su alta calidad culinaria, sembrada extensivamente en las condiciones agroecológicas de la región altiplánica del Perú por su buena tolerancia a factores abióticos y bióticos adversos, con periodo vegetativo de 130 días, aproximadamente.

En la localidad de Salcedo durante el periodo vegetativo del cultivo de la papa, la precipitación pluvial fue 590.40 mm, las temperaturas máximas fueron entre 15.33 y 18.22 °C, las temperaturas mínimas entre 3.54 y 5.60 °C y una temperatura promedio de 10.51 °C; mientras, en la localidad de Tahuaco, la precipitación pluvial fue 625.30, las temperaturas máximas variaron de 16.00 a 19.80°C, las temperaturas mínimas de -0.80 a 2.60 °C y una media de 9.83 °C (Anexo I, Cuadros 22 y 23).

#### **3.3.4.2. Diseño experimental**

El ensayo se instaló bajo el diseño de bloques completos al azar (BCA), nueve tratamientos, un testigo absoluto y cuatro repeticiones (Anexo I, Cuadro 24).

#### **3.3.4.3. Inoculación de rizobacterias y siembra de tubérculos-semillas**

Tanto en la localidad de Salcedo como en la localidad de Tahuaco, la inoculación de los microorganismos se realizó a los tubérculos-semillas; para lo cual, 150 ml de cada una de las cepas en estudio a la concentración de  $1 \times 10^8$  ufc/ml se disolvieron en 10 litros de agua. Los

tubérculos-semillas de papa de la variedad Ccompis fueron sumergidos en esta suspensión durante un periodo de tiempo de 10 minutos, aproximadamente; al inicio, los tubérculos dentro de la suspensión fueron agitados vigorosamente (Anexo II, Figura7). Los tubérculos-semillas inoculados se sembraron en las parcelas correspondientes que estaban previamente surcadas y marcadas para la aplicación de los tratamientos. Los tubérculos-semillas inoculados fueron sembrados en surcos distanciados a un metro y a 0.30 m entre tubérculos. Después de la siembra, sobre los tubérculos sembrados se asperjó la suspensión sobrante y el abono orgánico a la dosis de 150 gramos por tubérculo; luego los tubérculos-semillas dentro de los surcos fueron tapados con una capa de suelo de aproximadamente de 8 a 10 cm (Anexo II, Figuras 8, 9, 10 y 11). Cada parcela experimental se sembró en 6 m de 4.5 m de largo, haciendo un área de 27 m<sup>2</sup>, y se cosechó solamente cuatro surcos centrales, con un área de 18 m<sup>2</sup>.

#### **3.3.4.4. Reinoculación de rizobacterias**

A los 65 días después de la siembra, cuando las plantas tenían aproximadamente 15 a 20 cm de altura se hizo la reinoculación de las cepas de rizobacterias: Para cada parcela de 90 plantas, 50 ml de una cepa a la concentración de  $1 \times 10^8$  ufc/ml se disolvió en 2250 ml de agua, aplicándose 25 ml de suspensión o biopreparado por planta. Inmediatamente, después de la reinoculación justo al cuello de la planta, se cubrió con una capa de suelo del primer aporque (Anexo II, Figura 12).

#### **3.3.4.5. Manejo del cultivo en condiciones de campo experimental**

En ambas localidades de estudio, para la instalación de los experimentos, el terreno fue preparado con bastante anticipación y en forma adecuada, inmediatamente después de la cosecha del cultivo anterior con el objetivo de incorporar los rastrojos de cosecha y exponer a la radiación solar y al frío las esporas y estados juveniles de muchas enfermedades y plagas. La preparación del terreno consistió de una aradura con un arado de discos, luego el desterronado y mullido del suelo con una rastra de discos en forma cruzada. Un día antes de la instalación de los ensayos se realizó el



surcado del campo experimental tanto en la localidad de Tahuaco como en la localidad de Salcedo. Después de la siembra, cuando las plantas de papa emergieron después de los 45 días de la siembra, se realizó el elevado de surcos para favorecer el drenaje del exceso de agua alrededor de las plantas y controlar las malezas en el campo experimental. A los 65 días después de la siembra, cuando las plantas tenían aproximadamente 15 a 20 cm de altura, inmediatamente después de la reinoculación se hizo el deshierbe y el primer aporque, acumulando una capa de suelo alrededor del cuello de las plantas con el objetivo de controlar la presencia de malezas, favorecer el mejor crecimiento de plantas y proteger las rizobacterias de la radiación solar. Después de 20 a 25 días del primer aporque se realizó el segundo aporque depositando una capa de suelo sobre el camellón para evitar la emergencia de estolones y favorecer un buen desarrollo de los tubérculos.

Para controlar una posible incidencia de la polilla de papa *Ph. operculella* se colocaron trampas con feromonas sexuales. En la localidad de Tahuaco, se hizo dos aplicaciones del insecticida Karate para el control del Gorgojo de los Andes (*Premnotrypes spp*); una a la emergencia de las plantas de papa y otra a los 10 días después de la primera aplicación de control.

#### **3.3.4.6. Parámetros de evaluación**

Los parámetros evaluados constituyeron: altura de planta en floración (a los 90 días después de la siembra) y en el momento de la cosecha (140 días de la siembra) se determinó el rendimiento en peso y número total y clasificado de tubérculos ( $\text{kg}/18 \text{ m}^2$  y  $\text{N}^\circ \text{ tubérc}/18 \text{ m}^2$ , respectivamente) y el contenido de materia seca en los tubérculos. Con los datos obtenidos se realizó un análisis de varianza y para aquellas variables que presentaron diferencias significativas entre los promedios de los tratamientos se realizó la prueba de comparación de medias de LSD con un nivel de significancia de 0.05, tanto para los efectos principales como para la interacción entre ellos.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Ensayo de concentración y momento adecuado de inoculación de Rizobacterias Promotoras de Crecimiento de Plantas, en condiciones de invernadero

El objetivo del presente trabajo de investigación, fue determinar cuál de las tres rizobacterias, con qué nivel de concentración e inoculado en qué periodo vegetativo del cultivo promueven el crecimiento de plantas de papa. Se realizó el análisis estadístico de todos los parámetros evaluados (variables), se escogieron los tres principales para su análisis: altura de plantas, número y peso de tubérculos (Anexo I, Cuadros 2, 3, 4).

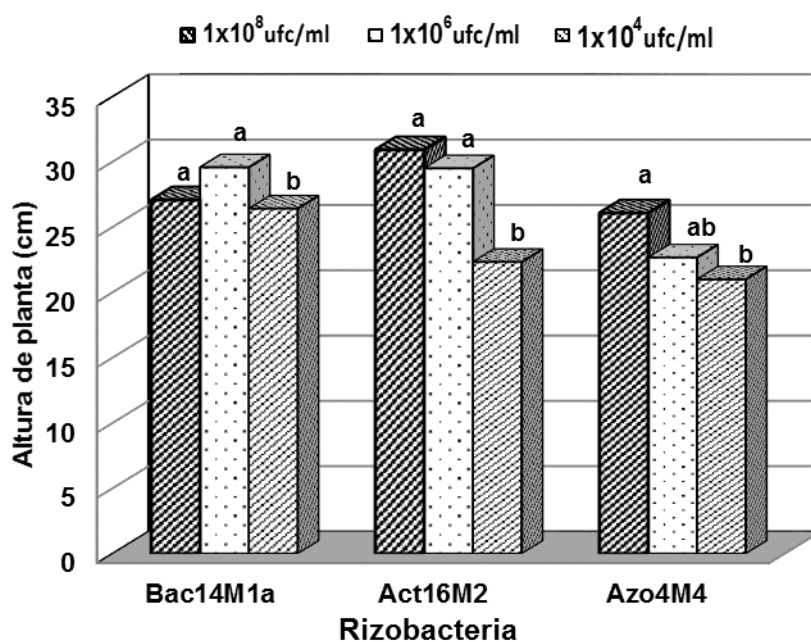
En condiciones de invernadero, existen diferencias significativas estadísticamente entre los promedios de altura de planta para el factor microorganismo, concentración y para la interacción microorganismo por concentración (Cuadro 1). El análisis se centró en la interacción microorganismo por concentración, ya que la significancia de los efectos principales del microorganismo y concentración deja de ser importantes porque la interacción de estos factores es significativa.

**Cuadro 1. Análisis de varianza de los efectos principales e interacciones para la variable altura de planta (cm).**

F. de Variabilidad	GL	SC	CM	Fc	Pr > F	Sig.
microorganismo	2	462.518	231.259	9.71	0.0002	**
concentración	2	473.185	236.592	9.93	0.0001	**
microorga*concentrac	4	263.037	65.759	2.76	0.0331	*
momento	2	3.574	1.787	0.08	0.9278	ns
microorga*momento	4	118.814	29.703	1.25	0.2978	ns
concentración*momento	4	99.981	24.995	1.05	0.3872	ns
microo*concent*moment	8	152.796	19.099	0.80	0.6028	ns
Error	81	1929.750	23.824			
<b>Total</b>	107	3503.657				

**C. V: 18.64%**

Las tres rizobacterias en estudio (Bac14M1a, Act16M2 y Azo4M4) promovieron mayor crecimiento de plantas de papa variedad Ccompis cuando las plántulas fueron inoculadas con niveles de concentración de  $1 \times 10^8$  ufc/ml y  $1 \times 10^6$  ufc/ml comparado al inoculado con nivel de concentración de  $1 \times 10^4$  ufc/ml (Figura 1). Estos resultados coinciden con los de Calvo (2008) y Oswald *et al.* (2010), quienes reportan mayor altura de plantas en las variedades de papa Yungay, Canchan, Única y Desiree cuando fueron inoculadas con PGPR a la concentración de  $1 \times 10^8$  ufc/ml. De manera similar, en fréjol variedad Guira, la coinoculación de *Rhizobium leguminosarum* biovar *phaseoli* y *Azotobacter chroococcum* cepa Mb-9 a la concentración de  $1 \times 10^8$  ufc/ml incrementó significativamente el número de nódulos activos y los componentes de rendimiento (biomasa total, número de vainas, número de granos, peso fresco de granos y peso seco de granos por planta), en comparación a la inoculación con *Rhizobium* sólo y al tratamiento control (Torres, *et al.*, 2002)



**Figura 1. Altura de planta (cm) ( $p < 0.05$ ) por efecto de la interacción, cuando el factor rizobacteria es constante en relación al factor concentración.**

Para el número de tubérculos existe diferencias altamente significativas para la interacción entre microorganismo, concentración y época o momento de inoculación; por lo tanto, los efectos principales de los factores microorganismo, concentración y momento de inoculación dejan de ser importantes y el análisis se realizó en la interacción de los tres factores en estudio (Cuadro 2).

**Cuadro 2. Análisis de varianza de los efectos principales e interacciones para el variable número de tubérculos por planta.**

F. de Variabilidad	GL	SC	CM	Fc	Pr > F	Sig.
microorganismo	2	87.500	43.750	8.49	0.0005	**
concentración	2	144.888	72.444	14.06	0.0001	**
microorga*concentrac	4	62.277	15.569	3.02	0.0224	*
momento	2	5.555	2.777	0.54	0.5855	ns
microorga*momento	4	12.277	3.069	0.60	0.6669	ns
concentración*momento	4	74.555	18.638	3.62	0.0092	**
microo*concent*moment	8	140.111	17.513	3.40	0.0021	**
Error	81	417.500	5.154			
<b>Total</b>	<b>107</b>	<b>944.66667</b>				

**C.V: 28.78%**

El número de tubérculos por planta fue significativamente superior en las plantas inoculadas con un nivel de concentración de  $1 \times 10^8$  ufc/ml, ya sea solamente a la siembra o a la siembra más al aporque comparada a las plantas inoculadas al aporque, este resultado fue similar para las tres rizobacterias (Cuadro 3). Mientras con un nivel de concentración de  $1 \times 10^6$  ufc/ml sólo las plantas inoculadas con las cepas Act16M2 y Azo4M4 en el momento de la siembra y aporque presentaron número de tubérculos significativamente superiores que los otros tratamientos. El incremento en el rendimiento de las plantas inoculadas con las rizobacterias fue 13.89% comparado con la producción promedio del número de tubérculos por planta de la Estación Experimental Illpa-Puno (INIA, 2007). Calvo (2008) en las variedades de papa Yungay, Canchan y Única reportó diferencias significativas entre los tratamientos con bacterias inoculadas y el control sin rizobacteria en la mayoría de los parámetros como número de tubérculos y peso seco de la planta; en el número de tubérculos con incrementos del 275% en la variedad Yungay y 100% en la variedad Única, que el control sin microorganismo. Jiménez *et al.* (2001) identificaron en cultivo de papa, que la bacteria *B. subtilis*; además, de tener efectos antagónicos con fitopatógenos también es promotora del crecimiento, debido a que, en las parcelas inoculadas con ella, se produjo mayor cantidad y calidad de tubérculos.

**Cuadro 3. Número de tubérculos por planta ( $p < 0.05$ ) por efecto de la interacción rizobacteria, concentración y momento de inoculación (época).**

N°	Factor			Promedio número de tubérculos por planta
	Rizobacteria	Concentración	Momento	
1	Azo4M4	$1 \times 10^8$ ufc/ml	Siembra y aporque	13.25 a
2	Azo4M4	$1 \times 10^6$ ufc/ml	Siembra y aporque	13.00 a
3	Act16M2	$1 \times 10^8$ ufc/ml	Siembra y aporque	12.75 a
4	Act16M2	$1 \times 10^8$ ufc/ml	Siembra	12.70 a
5	Bac14M1a	$1 \times 10^8$ ufc/ml	Siembra y aporque	12.50 a
19	Act16M2	$1 \times 10^6$ ufc/ml	Siembra y aporque	12.25 a
24	Bac14M1a	$1 \times 10^8$ ufc/ml	Siembra	12.25 a b
5	Azo4M4	$1 \times 10^8$ ufc/ml	Siembra	11.95 a b
8	Act16M2	$1 \times 10^8$ ufc/ml	Aporque	11.25 b
9	Bac14M1a	$1 \times 10^6$ ufc/ml	Siembra	11.00 b
10	Azo4M4	$1 \times 10^6$ ufc/ml	Siembra	11.00 b
11	Azo4M4	$1 \times 10^8$ ufc/ml	Aporque	08.50 c
12	Act16M2	$1 \times 10^6$ ufc/ml	Aporque	08.25 c
13	Act16M2	$1 \times 10^6$ ufc/ml	Siembra	07.50 c d
14	Act16M2	$1 \times 10^4$ ufc/ml	Aporque	07.00 d
15	Azo4M4	$1 \times 10^4$ ufc/ml	Aporque	07.00 d
16	Bac14M1a	$1 \times 10^8$ ufc/ml	Aporque	06.75 d e
17	Bac14M1a	$1 \times 10^4$ ufc/ml	Aporque	06.75 d e f
18	Bac14M1a	$1 \times 10^6$ ufc/ml	Siembra y aporque	06.50 e f g
6	Azo4M4	$1 \times 10^6$ ufc/ml	Aporque	10.25 e f g
20	Act16M2	$1 \times 10^4$ ufc/ml	Siembra y aporque	06.50 e f g h
21	Bac14M1a	$1 \times 10^6$ ufc/ml	Aporque	06.50 e f g h i
22	Azo4M4	$1 \times 10^4$ ufc/ml	Siembra	06.25 f g h i
23	Azo4M4	$1 \times 10^4$ ufc/ml	Siembra y aporque	05.75 g h i
25	Bac14M1a	$1 \times 10^4$ ufc/ml	Siembra y aporque	05.75 g h i
26	Bac14M1a	$1 \times 10^4$ ufc/ml	Siembra	05.25 h i
27	Act16M2	$1 \times 10^4$ ufc/ml	Siembra	04.00 i

Los promedios seguidos por letras iguales no son diferentes significativamente ( $p < 0.05$ )

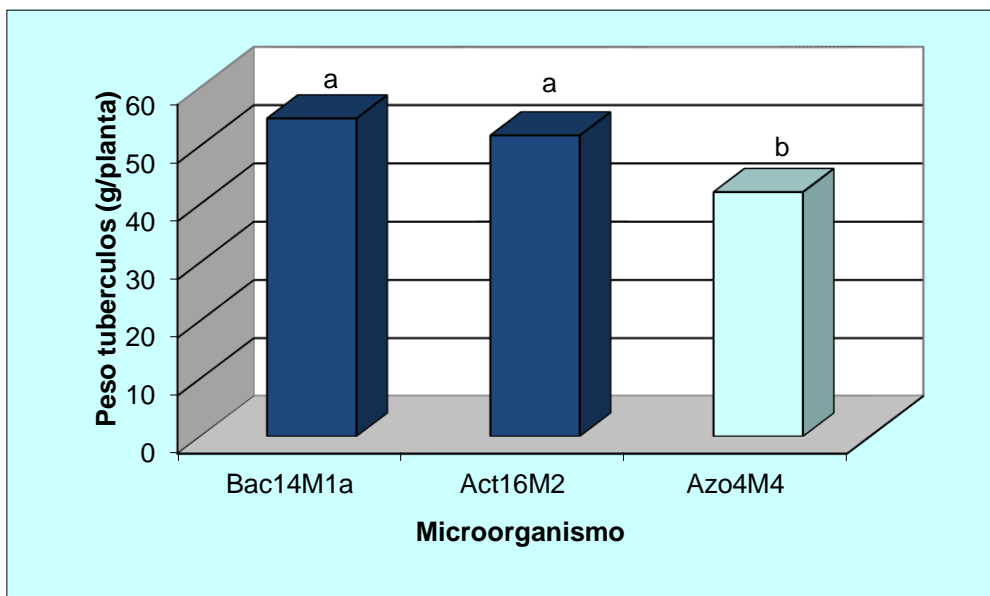
**Cuadro 4. Análisis de varianza de los efectos principales e interacciones para el rendimiento de tubérculos en peso (g/planta)**

F. de Variabilidad	GL	SC	CM	Fc	Pr > F	Sig.
microorganismo	2	3152.969	1576.484	19.97	0.0001	**
concentración	2	1062.130	531.065	6.73	0.0020	**
microorga*concentrac	4	732.533	183.133	2.32	0.0639	ns
momento	2	165.060	82.530	1.05	0.3563	ns
microorganismo*momento	4	276.250	69.062	0.87	0.4828	ns
concentrac*momento	4	980.731	245.182	3.11	0.0198	*
microo*concent*momento	8	461.374	57.671	0.73	0.6642	ns
Error	81	6395.041	78.951			
<b>Total</b>	<b>107</b>	<b>13226.092</b>				

**C.V: 17.95%**

Para el rendimiento de tubérculos en peso (g/planta), existe diferencias estadísticas para los efectos principales microorganismo y concentración, y para la interacción entre concentración y momento de inoculación (Cuadro 4). La discusión se centró en el efecto principal microorganismo y en la interacción entre concentración y momento de inoculación.

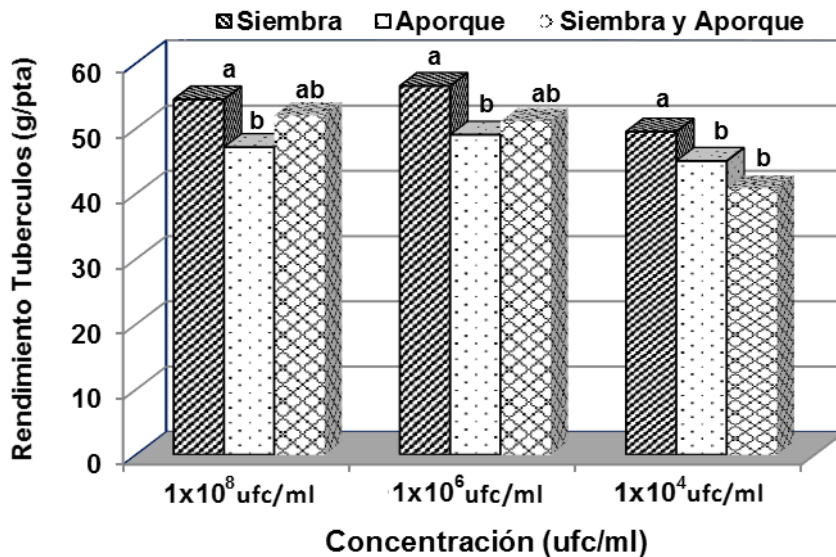
Las cepas de rizobacterias con mejor capacidad para incrementar el rendimiento en peso de tubérculos de la variedad de papa Ccompis inoculadas en plántulas *in vitro* fueron Bac14M1a y Act16M2, en comparación a la cepa Azo4M4 (Figura 2) y al rendimiento promedio por planta en invernaderos de la Estación Experimental Illpa-Puno (INIA, 2007). Las rizobacterias Bac14M1a y Act16M2 incrementaron el rendimiento en 36.84% y 26.32%, respectivamente, en comparación a la cepa Azo4M4 y en 26.66% comparado al rendimiento promedio del INIA.



**Figura 2. Rendimiento de tubérculos en peso (g/planta).**

Mayor peso de tubérculos por planta se observó cuando las plántulas fueron inoculadas con niveles de concentración de  $1 \times 10^8$  ufc/ml y  $1 \times 10^6$  ufc/ml comparado al inoculado con nivel de concentración de  $1 \times 10^4$  ufc/ml, ya sea solamente a la siembra o a la siembra más al aporque (Figura 3). Zahir & Arshad (1996) reportaron en experimentos a nivel de macetas, que la inoculación de tubérculos-semillas de papa con rizobacterias incrementó significativamente el rendimiento de tubérculos (45.3%), rendimiento de broza (61.9%) y número de tubérculos por planta (82.4%) comparado al control no inoculado.

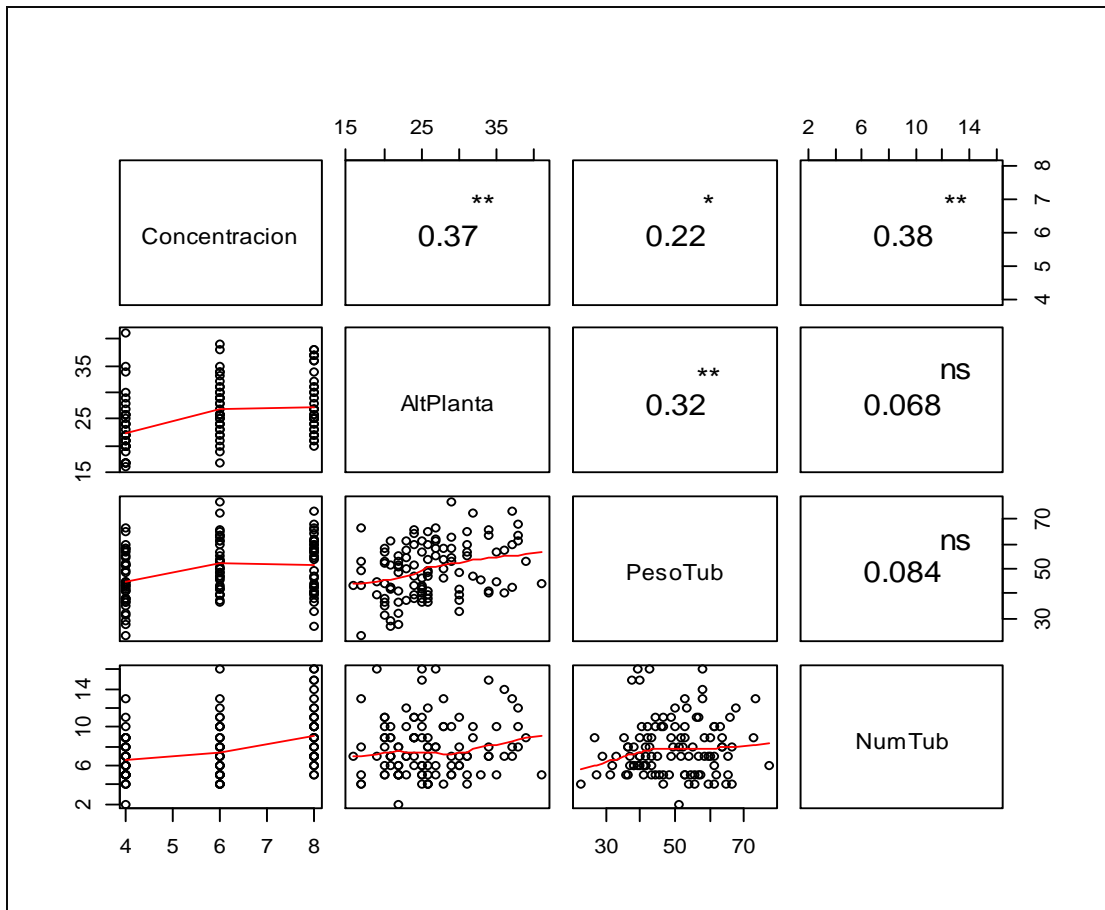
Javed & Arshad (1999) condujeron ensayos en macetas y en campo para probar 11 rizobacterias aisladas para la promoción de rendimiento en papa. En ambos ensayos, el rendimiento de tubérculos, número de tubérculos y peso de brotes más raíces se incrementaron significativamente en respuesta a la inoculación. El rendimiento de tubérculos se incrementó a 47.5 y 25.8% en ensayos a nivel de macetas y campo, respectivamente, en respuesta a la inoculación de PGPR. Similarmente, el número de tubérculos y peso de brotes más raíces fueron mejorados a 56.2 y 27.6% en el ensayo de macetas y a 27.1 y 23.1 % en el campo, respectivamente.



**Figura 3. Rendimiento de tubérculos (g/planta) ( $p < 0.05$ ) por efecto de la interacción cuando el factor concentración es constante en relación al factor momento de inoculación.**

Para conocer si existe una relación entre algunos de los parámetros que asocian concentración con altura de planta, peso y número de tubérculos se realizó un análisis de correlación de Spearman. En la figura 4, se puede observar que las correlaciones entre los parámetros concentración y altura de planta, el peso de tubérculos y número de tubérculos fueron significativas ( $p < 0.05$ ); así también fue significativo entre altura de planta y peso de tubérculo. La altura de planta como el peso y número de tubérculos, en las condiciones en las que se realizó este experimento, mantienen una correlación positiva con la concentración de las rizobacterias; por lo tanto, en el presente experimento mayor concentración de la rizobacteria se traduce en mayor crecimiento de las plantas, mayor peso y número de tubérculos de papa; de manera similar, a mayor altura de planta se obtiene mayor peso de tubérculos. En una investigación previa, a nivel de invernadero, se reportó que en las variedades de papa Yungay, Canchan y Única todas las correlaciones realizadas fueron altamente significativas; la altura de la planta y el peso seco de la parte aérea presentaron una correlación positiva con el número de tubérculos y con su peso seco, en consecuencia, un mayor desarrollo de la parte aérea de la planta se traduce en un aumento de la producción de tubérculos (Calvo, 2008).





**Figura 4. Correlación de arriba - debajo de los parámetros analizados: concentración, altura de planta, peso de tubérculos y número de tubérculos. \*\*=Correlación significativa, ns=Correlación no significativa. La lectura se realiza interceptando filas y columnas**

#### **4.2. Efecto de rizobacterias en el control de *Rhizoctonia solani***

Las plántulas de la variedad Ccompis y Andina inoculadas con las cepas de rizobacterias ante la presencia *R. solani* presentaron menor mortalidad (en promedio 18.90% y 12.13% en Ccompis y Andina, respectivamente) estadísticamente significativas, a los 10 días después del transplante, diferenciándose en 9.12% y 7.76%, respectivamente, con respecto a la ausencia de rizobacterias (28.02% y 19.89% en Ccompis y Andina, respectivamente) (Figuras 5 y 6). En la variedad Ccompis la cepa con mejor efecto de inhibición de la infección fue *B. amyloliquefaciens* con una disminución de 12.71% de plántulas muertas que en el suelo infestado no inoculado y en la variedad Andina la cepa con mejor inhibición fue Bac17M8 con una disminución de 9.13% que en el suelo no inoculado. Calvo *et al.* (2010) reportaron que la cepa

Bac17M8, a nivel *in vitro*, inhibió el crecimiento de *R. solani* en 84.52%. En ambas variedades, la parcela sin rizobacteria ni presencia de *R. solani* no presentó muerte de plántulas (Figuras 5 y 6).

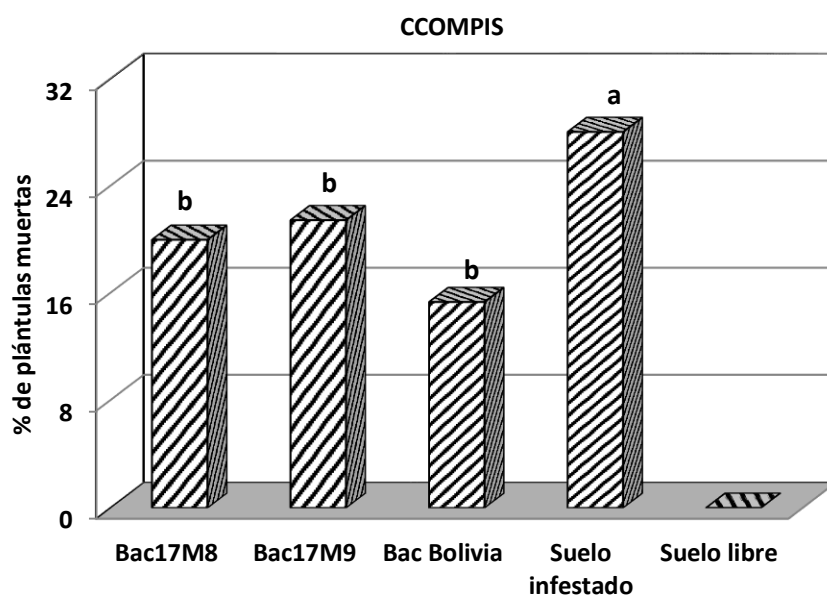


Figura 5. Efecto de PGPR en la mortalidad de plántulas por *R. solani* en la variedad Ccompis

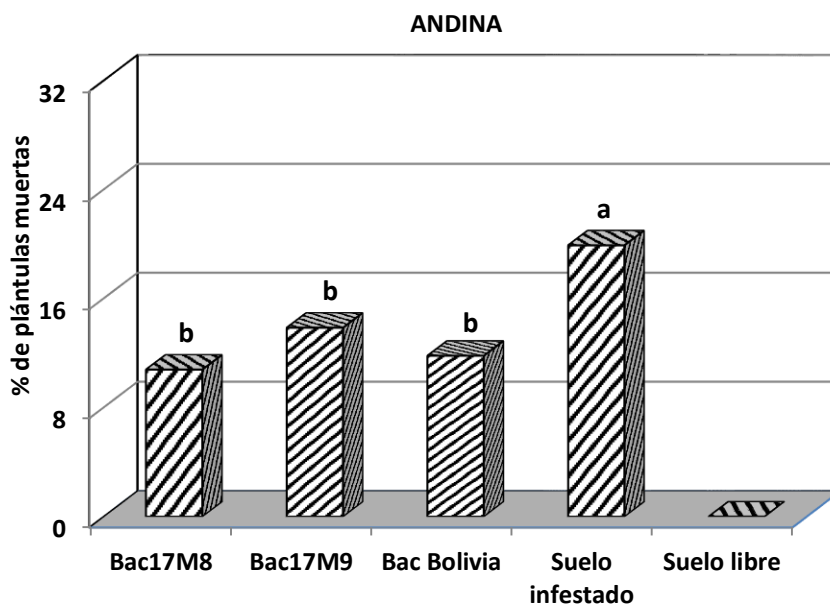


Figura 6. Efecto de PGPR en la mortalidad de plántulas por *R. solani* en la variedad Andina

En cuanto a la altura de planta, no se encontraron diferencias significativas entre las dos variedades trabajadas (Ccompis y Andina). Así mismo, se observó que las plantas

inoculadas con la cepa Bac17M8 fueron de menor tamaño estadísticamente significativas comparadas con las de los otros tratamientos (Cuadro 5). Sin embargo, esta cepa inhibió significativamente el desarrollo de la infección por *R. solani*, en la variedad de papa Andina (Figura 6).

**Cuadro 5. Altura de planta (m) y rendimiento (kg/m<sup>2</sup>) de las plántulas inoculadas con rizobacterias y las no inoculadas en variedades Ccompis y Andina (p<0.05).**

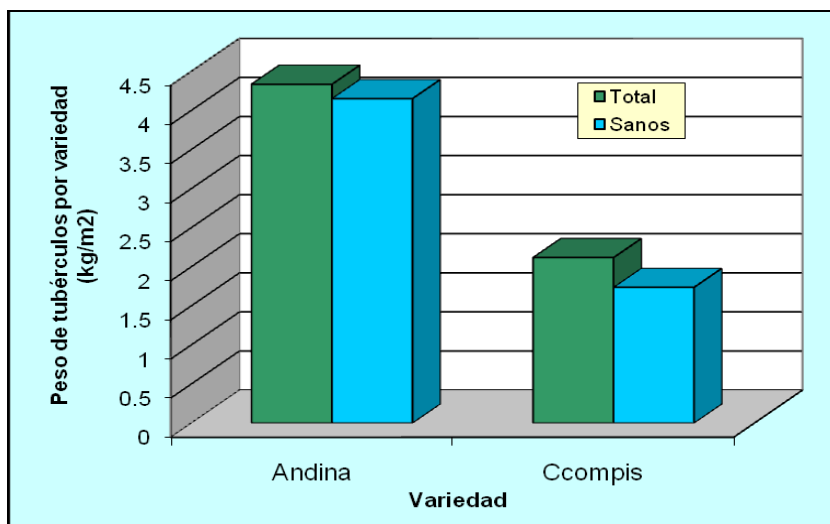
Orden	Tratamiento	Altura planta (m) <sup>a</sup>	Rendimiento (kg/ha) <sup>b</sup>
1	Suelo libre de <i>R. solani</i>	1.55 a	3.89 a
2	<i>Bacillus amyloliquefaciens</i> de Bolivia*	1.48 a	3.48 a
3	Bac17M9*	1.45 a	3.56 a
4	Suelo infestado sin rizobacteria	1.42 a b	2.82 a
5	Bac17M8*	1.31 b	2.91 a

Los promedios seguidos por letras iguales no son diferentes significativamente (p<0.05)

\*Inoculado en suelo infestado con *R. solani*. a) evaluada a la floración, b) evaluada a la cosecha

Los rendimientos de tubérculos total (en peso) y sin infección con *R. solani* tanto en la variedad Ccompis como en la variedad Andina no presentaron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos. Sin embargo, los rendimientos de las parcelas inoculadas con las rizobacterias Bac17M9 y *B. amyloliquefaciens* de Bolivia se incrementaron en 26.24% y 23.40%, respectivamente, en comparación con el tratamiento de suelo sin rizobacteria y con presencia de *R. solani*. En condiciones de campo, Oswald *et al.* (2010) reportaron un incremento en el rendimiento de un 25 a 40% en ensayos con otras cepas de *Bacillus* (Bac2 y Act4) comparado con el control orgánico, en variedades Ccompis y Andina.

El rendimiento total de la variedad Andina fue significativamente superior (4.34 kg/m<sup>2</sup>) que el rendimiento total de la variedad Ccompis (2.12 kg/m<sup>2</sup>). De manera similar, el rendimiento de los tubérculos sanos de la variedad Andina también fue mayor (4.15 kg/m<sup>2</sup>) que de la variedad Ccompis (1.74 kg/m<sup>2</sup>) (Figura 7). En condiciones de campos experimentales, el rendimiento de la variedad Andina varía de 30 a 45 t/ha; mientras en la variedad Ccompis varía de 15 a 25 t/ha (MINAG, 2010).



**Figura 7. Rendimiento de tubérculos en peso por variedad**

Respecto a la incidencia de la enfermedad, en un suelo infestado con *R. solani*, en la variedad Ccompis, los tubérculos cosechados de las parcelas inoculadas con cepas de rizobacterias Bac17M8, Bac17M9 y *B. amyloliquefaciens* de Bolivia presentaron menores porcentajes de tubérculos infectados con *R. solani* (en promedio 15.19%) en comparación con los tubérculos cosechados de la parcela que no fue inoculada con rizobacterias (25.24%), con una disminución de 10.05% de tubérculos infectados como efecto del antagonismo con *R. solani* (Figura 8). De manera similar, en la variedad Andina los tubérculos cosechados de las parcelas inoculadas con cepas de rizobacterias presentaron menores porcentajes de tubérculos con síntomas de rizoctoniasis (en promedio 6.99%), comparados con los tubérculos cosechados de la parcela no inoculada (12.78%), con un porcentaje de 5.79% menos de tubérculos infectados como efecto de la supresión o inhibición del fitopatógeno (Figura 9).

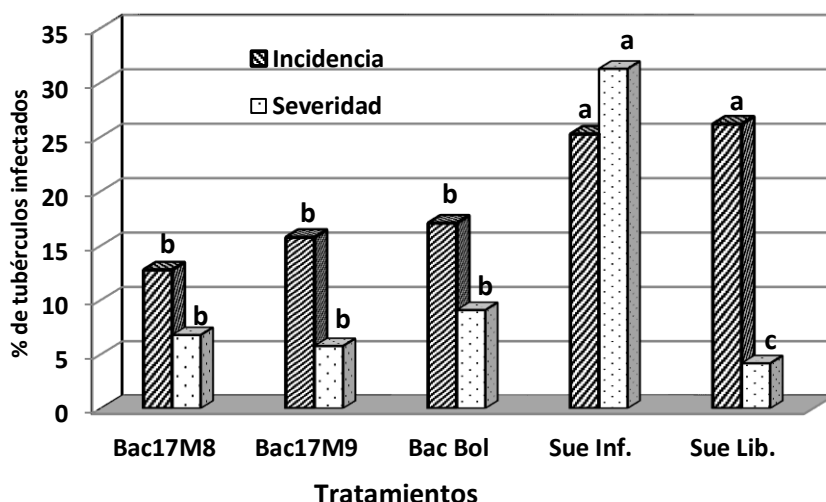


Figura 8. Porcentaje de tubérculos infectados por *R. solani* en la variedad Ccompis

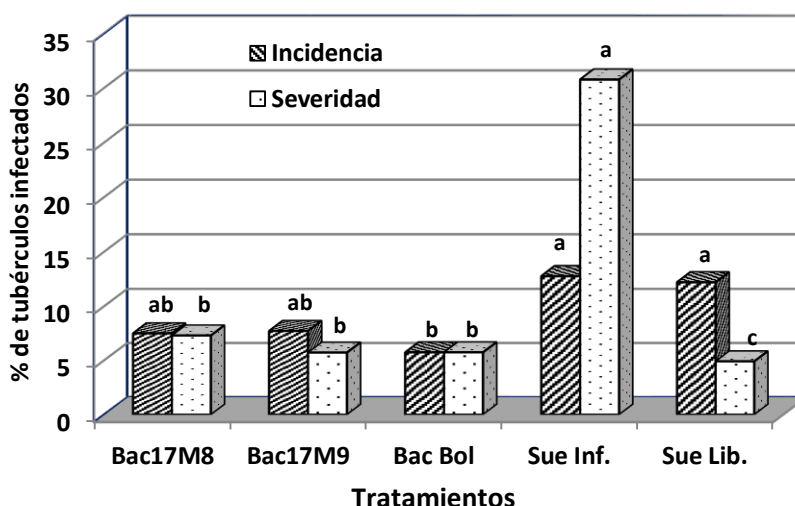


Figura 9. Porcentaje de tubérculos infectados por *R. solani* en la variedad Andina

En la variedad Ccompis, en las parcelas inoculadas con las cepas de rizobacterias Bac17M8, Bac17M9 y *B. amyloliquefaciens* de Bolivia los porcentajes de tubérculos infectados fueron de 12.76, 15.75 y 17.06%, respectivamente, comparado con el porcentaje de tubérculos infectados de la parcela no inoculada (25.24%); mientras que en la variedad Andina, los porcentajes de tubérculos infectados han sido 7.51, 7.73 y 5.75% cuando las parcelas fueron inoculadas con las cepas de rizobacterias Bac17M8, Bac17M9 y *B. amyloliquefaciens* de Bolivia, respectivamente, en comparación a la parcela no inoculada (12.78%) (Figuras 8 y 9).

En relación a la severidad de la enfermedad el porcentaje de infección en los tubérculos cosechados de las parcelas donde las plántulas *in vitro* fueron inoculadas con cepas de rizobacterias varió de 5.75 a 9.06% en la variedad Ccompis, mientras en la variedad Andina la severidad fue de 5.73 a 7.31%, en comparación con los tubérculos de las parcelas no inoculadas con cepas de rizobacterias que presentaron una severidad de daño mayor a 30%, en ambas variedades (Figuras 8 y 9).

En ambas variedades de papa, las tres cepas de rizobacterias controlaron al fitopatógeno *R. solani* observado por un reducción del porcentaje de muerte de plántulas y por la disminución del porcentaje de tubérculos infectados en comparación al tratamiento no inoculado, resultando en la variedad Ccompis Bac17M8 la mejor cepa en el control de *R. solani* con una disminución de 12.48% de tubérculos infectados que en la parcela no inoculada; mientras que en la variedad Andina la mejor cepa fue *B. amyloliquefaciens* de Bolivia, con un porcentaje de 7.03 menos que la parcela no inoculada. Así también el rendimiento en peso de tubérculos, fue mayor cuando se inocularon las rizobacterias, destacando la cepa Bac17M9. Estudios en condiciones de *in vitro* reportaron que la cepa Bac17M8 tiene la capacidad de inhibir el crecimiento de *R. solani* en un porcentaje de 84.52% y de *Fusarium solani* en un 70.11%; también es importante indicar que esta cepa tiene la capacidad de solubilización de fosfato (Calvo *et al.*, 2010). En otros estudios del efecto de una colección de cepas de *Bacillus* en el control de *R. solani*, de 9.5 hasta el 36% fueron antagónicas con este fitopatógeno (Cho *et al.*, 2007; Mojica-Marín *et al.*, 2008), se puede decir que estos resultados de las investigaciones realizadas por tales personas corroboran los resultados obtenidos.

Los tubérculos cosechados de la parcela inoculada con la cepa Bac17M8 presentaron una severidad de 6.76%, estos tubérculos presentaron esclerocios de tamaño pequeño (0.1 a 2.5 mm de diámetro) y de color marrón oscuro, en comparación a los esclerocios de los tubérculos de la parcela sin rizobacterias, que fueron de tamaño grande (> a 2.5 mm de diámetro), de color negro y una severidad de daño mayor a 30%. Algunos mecanismos para control biológico de enfermedades pueden incluir: competición por sitios de infección y nutrientes, parasitismo sobre patógenos, es decir destrucción de patógenos fungosos por la acción de enzimas líticas (por ejemplo quitinasa y  $\beta$ -1, 3-glucanasa) que degradan la pared celular y factores antifúngicos no caracterizados (Lim *et al.*, 1991; Fridlender *et al.*, 1993; Kloepper, 1993, 1994, 1996; Potgieter &

Alexander, 1996; Glick, 1995; Velazhahan *et al.*, 1999, Zahir *et al.*, 2004) o producción de metabolitos secundarios por el microorganismo antagonista; tales como: sideróforos, antibióticos, bacteriocinas, enzimas y otros compuestos que suprimen o inhiben la acción del patógeno (Leifert *et al.*, 1995).

En el tratamiento sin rizobacteria ni presencia de *R. solani* se observaron tubérculos con incidencias de 26.16 y 12.22% en Ccompis y Andina, respectivamente; sin embargo, el porcentaje de severidad de daño fue menor a 5%, en ambas variedades (Figuras 6 y 7); se destaca que en la parcela infestada con *R. solani* los tubérculos presentaron una severidad mayor a 30%. Una incidencia menor del 5% en la parcela libre de *R. solani* se debe posiblemente a que la desinfección o esterilización del sustrato no fue eficiente. El sustrato utilizado es una mezcla de arena, musgo y tierra orgánica, que muchas veces están contaminadas con huevos de insectos, semillas de malezas o patógenos como *Rhizoctonia solani*, *Spongospora subterranea* y otros que deben ser eliminados a través de una metodología de desinfección eficiente antes de ser usados como tal; sino se utiliza una metodología o esterilizante efectivo puede presentarse ineficiencias en la eliminación de microorganismos perjudiciales (CIP, 2008).

El análisis de los resultados de las figuras 8 y 9 permite deducir que en condiciones de invernadero y cuando la inoculación de cepas de rizobacterias es a plántulas *in vitro* la variedad Ccompis presentó mayor incidencia por *R. solani*, que la variedad Andina; sin embargo, la severidad fue similar en ambas variedades.

#### **4.3. Efecto de ocho Rizobacterias Promotoras de Crecimiento de Plantas en el mejoramiento de la productividad de papa, en condiciones de campo**

La altura de plantas en las parcelas inoculadas con las cepas de rizobacterias fueron estadísticamente superiores en comparación al control no inoculado (sin aplicación de estiércol de ovino ni cepa de rizobacterias); siendo las plantas de mayor crecimiento en las parcelas inoculadas con las cepas Act16M2, Bac17M8, Azo16M2 y Bac20M1 (Cuadro 6).

**Cuadro 6. Altura de plantas (m) en las parcelas inoculadas con rizobacterias y las no inoculadas en la variedad Ccompis.**

Nº	Tratamiento	Altura planta (m)
1	Bac20 M1 + fertilización química (60-60-60) + 5 t/ha est. ovino	0.98 <b>a</b>
2	Act16M2 + 5 t/ha estiércol ovino	0.97 <b>a</b>
3	Bac17M8 + 5 t/ha estiércol ovino	0.97 <b>a</b>
4	Act16M2 + fertilización química (60-60-60) + 5 t/ha est. ovino	0.95 <b>a</b>
5	Azo16M2 + 5 t/ha estiércol ovino	0.94 <b>a</b>
6	Estiércol sólo 5 t/ha + fertilización química (60-60-60)	0.90 <b>a b</b>
7	Bac20 M1 + 5 t/ha est. ovino	0.90 <b>a b</b>
8	Bac 17M10 + 5 t/ha estiércol ovino	0.88 <b>b</b>
9	Azo2M2 + 5 t/ha estiércol ovino	0.87 <b>b</b>
10	Estiércol de ovino sólo 5 t/ha	0.86 <b>b</b>
11	Azo18M1 + 5 t/ha estiercol ovino	0.85 <b>b</b>
12	Azo1M4 + 5 t/ha estiércol ovino	0.84 <b>b</b>
13	Control no inoculado y sin estiércol de ovino	0.67 <b>c</b>

Los promedios seguidos por letras iguales no son diferentes significativamente ( $p < 0.05$ )

Los rendimientos totales de tubérculos en las parcelas inoculadas con los aislamientos de las rizobacterias fueron significativamente superiores en comparación al control no inoculado. Las mejores cepas de rizobacterias en la promoción de la productividad de papa fueron Bac20M1, Bac17M8 y Act16M2, con rendimientos superiores en 152.41, 145.69 y 140.87%, respectivamente, en comparación al control no inoculado (Cuadro 7). Sin embargo, el mayor rendimiento registrado con la cepa Bac20M1 se debe posiblemente al efecto de la fertilización química (60-60-60 kg/ha de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y K<sub>2</sub>O); puesto que en el tratamiento, sin la fertilización no tiene el mismo efecto; además, el análisis económico de la eficiencia de inoculación de las PGPR y aplicación de fertilizantes químicos (Cuadro 8) indica que el Beneficio/Costo (B/C) es menor (0.49) comparado con las parcelas inoculadas con las rizobacterias Bac17M8 y Act16M2 (0.65 y 0.57, respectivamente). También es importante señalar, que los tubérculos de la parcela inoculada con la rizobacteria Bac20M1 más fertilización química y de la parcela con solo estiércol más fertilización química presentaron incidencias significativas de *R. solani* (Figura 10); además, los tubérculos de la parcela aplicada con solo estiércol presentaron mayor porcentaje de tubérculos infectados por *S. subterranea* (Figura 11). El B/C de la parcela control fue negativa (-0.24) y de la parcela fertilizada



químicamente (120-100-80 kg/ha de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y K<sub>2</sub>O) fue de 0.36 (Cuadro 8) (INIA, 2014).

**Cuadro 7. Rendimiento total de tubérculos (en peso y número) de papa variedad Ccompis (p<0.05) por efecto de rizobacterias promotoras de crecimiento de plantas.**

Nº	Tratamiento	Rendimiento total (en peso y número de tubérculos)	
		(kg/18m <sup>2</sup> )	Nº tubérculos/18m <sup>2</sup>
1	Bac20 M1 + fert. química (60-60-60) + 5 t/ha est. ovino	27.79 a	859.25 a
2	Bac17M8 + 5 t/ha estiércol ovino	27.05 a	886.25 a
3	Act16M2 + 5 t/ha estiércol ovino	26.52 a	842.50 a
4	Estiércol ovino sólo + fert. química (60-60-60)	26.36 a	774.25 a
5	Act16M2 + fert. química (60-60-60) + 5 t/ha est. ovino	25.86 a	812.75 a
6	Estiércol de ovino sólo 5 t/ha	25.11 a	846.25 a
7	Azo1M4 + 5 t/ha estiércol ovino	24.94 a	884.50 a
8	Azo2M2 + 5 t/ha estiércol ovino	24.88 a	797.75 a
9	Bac17M10 + 5 t/ha estiércol ovino	24.62 a	749.75 a
10	Azo18M1 + 5 t/ha estiércol ovino	24.11 a	794.75 a
11	Azo16M2 + 5 t/ha estiércol ovino	24.04 a	788.00 a
12	Bac20 M1 + 5 t/ha estiércol ovino	22.74 a	716.75 a
13	Control no inoculado y sin estiércol de ovino	11.01 b	334.50 b

Los promedios seguidos por letras iguales no son diferentes significativamente (p<0.05)

**Cuadro 8. Análisis económico de la eficiencia de inoculación de las PGPR y fertilizantes químicos. Salcedo, Puno.**

Tratamiento	Costo PGPR y otros insumos	Rendimiento kg/ha	Ingreso (S./ha)*	Costo total (S.)	Ingreso Neto (S.)	B/C
Bac 17M8 + estiércol ovino	540.00	14644.00	8786.40	5340.00	3446.40	0.65
Act 16M2 + estiércol ovino	540.00	13950.00	8370.00	5340.00	3030.00	0.57
Bac20M1 + estiércol y fertilización química 60-60-60	1400.00	15439.00	9263.40	6200.00	3063.40	0.49
Estiércol + fertilización química 60-60-60	1360.00	15028.00	9016.80	6160.00	2856.80	0.46
Control	0.00	6117.00	3670.20	4800.00	-1129.80	-0.24
Fertilizante: 120-100-80	1600.00	14500.00	8700.00	6400.00	2300.00	0.36

\*S/. 0.60 por kg de papa

De manera similar, los rendimientos de los tubérculos de la clase primera (tubérculos con peso entre 60 y 80 g, destinados para semilla) y de la papa destinada para consumo fueron significativamente superiores en las parcelas inoculadas con cepas de Bac17M8 y Act16M2 en comparación al control no inoculado. Los rendimientos de la clase primera y papa destinada para consumo fueron superiores en 200.00% y 183.33%,

respectivamente, en relación al control no inoculado (Cuadro 9). El rendimiento de tubérculos de las clase segunda fue similar a lo reportado para la clase primera.

La efectividad de la inoculación de la semilla con *Azotobacter* para el mejoramiento del rendimiento de la papa bajo condiciones óptimas de fertilización (NPK 250-150-150 ó 200-100-100 kg ha<sup>-1</sup>) fueron estudiados en condiciones de campo por Zahir & Arshad (1996), la inoculación con *Azotobacter* fue efectivo en el mejoramiento del rendimiento de tubérculos (32.3%), rendimiento de broza (15.9%) y número de tubérculos por planta (50%) comparado al control no inoculado. Similarmente, Javed and Arshad (1999) condujeron ensayos en macetas y en campo para probar 11 rizobacterias aisladas para la promoción de rendimiento en papa. En ambos ensayos, el rendimiento de tubérculos, número de tubérculos y peso de brotes más raíces se incrementaron significativamente en respuesta a la inoculación. De manera similar, los aislamientos, *Pseudomonas palleroniana* R43631, *Basillus* sp. R47065, R47131, *Paenibacillus* sp. B3a R49541 y *Bacillus simplex* M3-4 R49538 probados en condiciones de campo de Bolivia, Perú y Ecuador, incrementaron significativamente el rendimiento de la papa (Velivelli *et al.*, 2014)

**Cuadro 9. Rendimiento de tubérculos de clase primera y consumo de papa variedad Ccompis (p<0.05) por efecto de rizobacterias promotoras de crecimiento de plantas.**

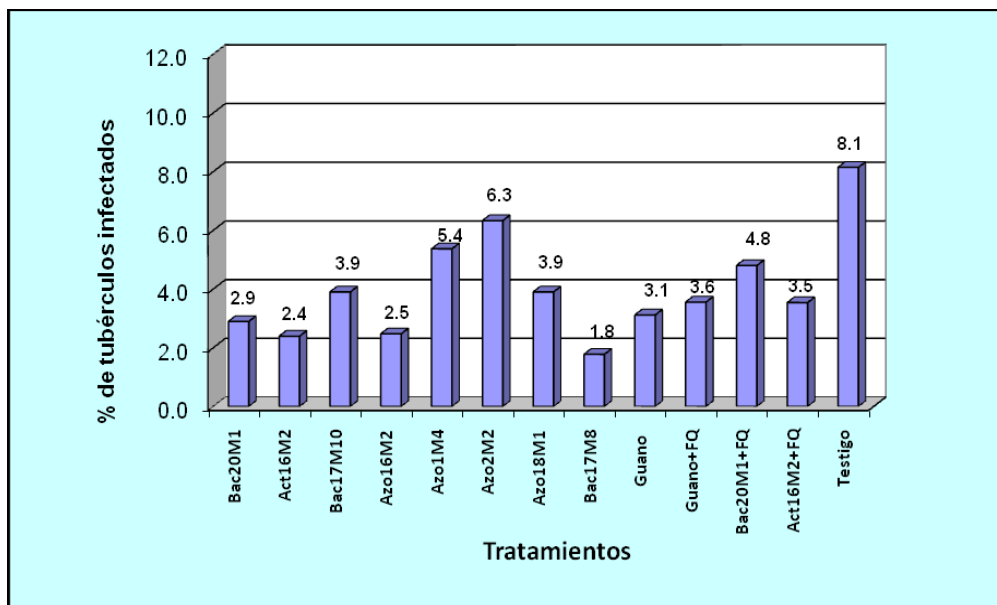
Nº	Tratamiento	Rendimiento clase 1ra y consumo	
		(kg/18m2)	(kg/18m2)
1	Bac 17M8 + 5 t/ha estiércol ovino	3.60 a	8.80 a
2	Act16M2 + 5 t/ha estiércol ovino	3.40 a	10.30 a
3	Bac20 M1 +fert. química (60-60-60) + 5 t/ha est. ovino	3.30 a	9.70 a
4	Estiércol ovino sólo 5 t/ha + fert. química (60-60-60)	3.30 a	10.60 a
5	Estiércolde ovino sólo 5 t/ha	3.10 a b	9.30 a
6	Azo16M2 + 5 t/ha estiércol ovino	3.00 a b	9.80 a
7	Act16M2 +fert. química (60-60-60) + 5 t/ha est. ovino	2.90 a b	10.20 a
8	Bac20 M1 + 5 t/ha estiércol ovino	2.90 a b	7.70 a b
9	Azo18M1 + 5 t/ha estiércol ovino	2.60 a b	9.40 a
10	Azo2M2 + 5 t/ha estiércol ovino	2.60 a b	9.40 a
11	Bac17M10 + 5 t/ha estiércol ovino	2.50 a b	10.10 a
12	Azo1M4 + 5 t/ha estiércol ovino	2.10 a b	10.20 a
13	Control no inoculado y sin estiércol de ovino	1.20 b	2.40 b

Los promedios seguidos por letras iguales no son diferentes significativamente (p<0.05)

Jiménez *et al.* (2001) reportaron que *B. subtilis*; además, de tener efectos antagónicos con fitopatógenos también es promotora del crecimiento y rendimiento de papa, debido a que en las parcelas inoculadas con ella, se produjo mayor cantidad y calidad de tubérculos. Dashti *et al.* (1997), han reportado un incremento en la emergencia, vigor y el peso de plántulas, un mayor desarrollo del sistema radicular y un incremento hasta de 30% en la producción de cultivos de interés comercial, tales como papa, rábano, tomate, trigo y soya. Los procesos fisiológicos, tales como la tasa fotosintética y uso eficiente de agua se vieron incrementados, lo que se reflejó en un incremento en el rendimiento por hectárea.

Las parcelas inoculadas con los aislamientos de rizobacterias presentaron menor porcentaje de tubérculos infectados con el fitopatógeno *R. solani* (en promedio 3.74%) comparado con los tubérculos cosechados de la parcela control no inoculado (8.10%), registrándose una disminución de 4.36% de tubérculos infectados en las parcelas inoculadas con rizobacterias (Figura 10). Las parcelas inoculadas con las cepas Bac17M8, Act16M2, Azo16M2 y Bac20M1 presentaron menores porcentajes de tubérculos infectados por *R. solani* (1.78, 2.39, 2.47 y 2.90%, respectivamente) y una severidad de daño o porcentaje de infección menos del 10%, en comparación con los tubérculos cosechados de la parcela no inoculada que presentaron una severidad mayor a 25%. Las parcelas inoculadas con las rizobacterias Azo2M2, Azo1M4 y Bac20M1 más fertilización química, a pesar de que presentaron porcentajes de 6.33, 5.37 y 4.80% de tubérculos infectados, respectivamente, lo importante es que la severidad de daño en los tubérculos fue bajo (en promedio 8.5%).

Estos resultados indican que en condiciones de campo las cepas Bac17M8, Act16M2, Azo16M2 y Bac20M1 tienen efectos antagónicos con *R. solani* en el cultivo de papa variedad Ccompis. Jiménez *et al.* (2001) identificaron en cultivo de papa, que la bacteria *B. subtilis* inhibía prácticamente todos los grupos de anastomosis de *R. solani*, algunas cepas de *Fusarium sp* y de *Ph. infestans*. De manera similar, Arcos & Zúñiga (2015) en condiciones de invernadero reportaron, que las cepas de *B. subtilis* (Bac17M8 y Bac17M9) y *B. amyloliquefaciens* nativas de la región altiplánica del Perú y Bolivia, inoculadas a plántulas de dos variedades de papa (Ccompis y Andina), tienen la capacidad de inhibir la infección de *R. solani*.

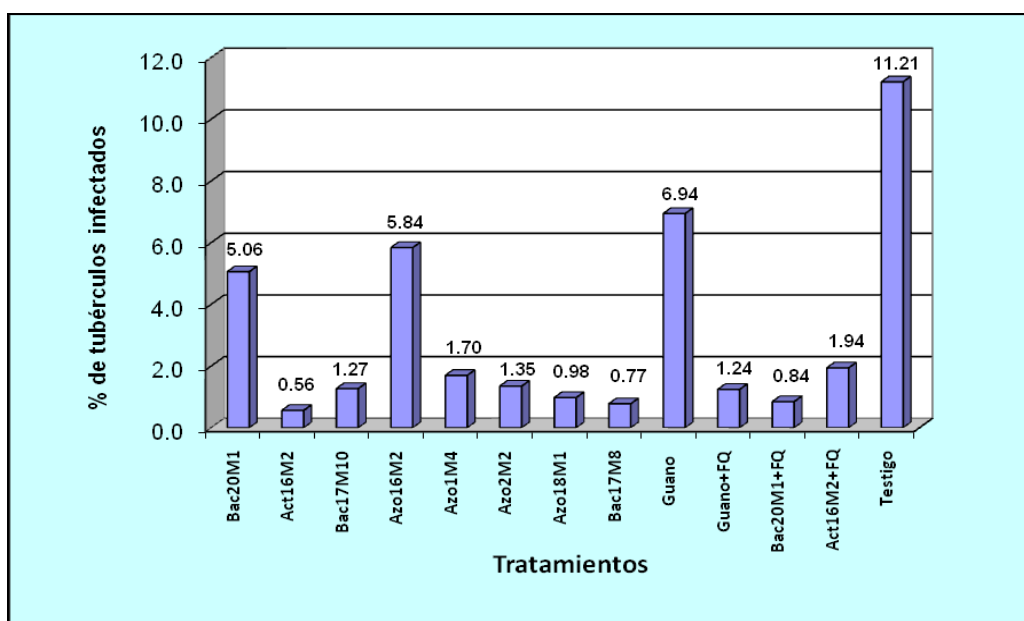


**Figura 10. Porcentaje de tubérculos infectados por *Rhizoctonia solani***

El mecanismo de acción de biocontrol de patógenos posiblemente es a través de la producción de diferentes metabolitos por el microorganismo antagonista (PGPR); los cuales, pueden ser sideróforos, antibióticos, bacteriocinas, enzimas y otros compuestos que suprimen o inhiben la acción del patógeno (Velivelli *et al.*, 2015; Leifert *et al.*, 1995). Los estudios de modo de acción revelan que el control biológico por PGPR involucra la producción de metabolitos bacterianos que reducen la población o actividades de fitopatógenos (Kloepper, 1993, 1996; Glick, 1995). Estos metabolitos pueden ser sideróforos que ligado a Fe los hacen menos disponibles a ciertos miembros de la microflora nativa patogénica (Kloepper *et al.*, 1987). Berthelin *et al.* (1991) reportaron que la producción de sideróforos ligados al hierro en la rizósfera de la planta los hace menos disponibles a ciertos miembros de la microflora dañina en un medio esterilizado. Ciertas pseudomonas fluorescentes, particularmente *Ps. fluorescens* y *Ps. putida* fueron inoculados para colonizar raíces de plantas, las cuales promovieron el crecimiento de la planta bajo condiciones de campo, muy probablemente mediante la formación de sideróforos (Velivelli *et al.*, 2015; Kloepper *et al.*, 1987).

En relación a la respuesta de las plantas de papa inoculadas con cepas de rizobacterias frente a la incidencia de la roña (*Spongospora subterranea*); en condiciones de campo, las parcelas inoculadas con los aislamientos de rizobacterias presentaron menor porcentaje de tubérculos infectados con el fitopatógeno *S. subterranea* (en promedio

2.03%) comparado con los tubérculos cosechados de la parcela control no inoculado (11.21%), observándose una disminución de 9.18% de tubérculos infectados en las parcelas inoculadas con rizobacterias (Figura 11). Las parcelas inoculadas con las cepas Act16M2, Bac17M8, Bac20M1 + FQ y Azo18M1 presentaron menor cantidad de tubérculos con síntomas de *S. subterranea* (0.56, 0.77, 0.84 y 0.98%, respectivamente) y con 8.5% de severidad de daño, en comparación con los tubérculos cosechados de la parcela no inoculada que presentaron una severidad de daño del 28%.



**Figura 11. Porcentaje de tubérculos infectados por *Spongospora subterranea***

Mayor cantidad de tubérculos infectados con *S. subterranea* se pudo observar en los tubérculos cosechados de la parcela control no inoculada (11.21%) y de la parcela solo con estiércol sin rizobacteria (6.94%); sin embargo, es importante indicar que en las parcelas inoculadas con las cepas Azo16M2 y con Bac20M1, si bien presentaron porcentajes de 5.84% y 5.06% de tubérculos infectados, respectivamente, lo interesante es que la severidad de daño en los tubérculos fue bajo (en promedio 7.5%).

Respecto al contenido de materia seca, los tubérculos cosechados de las parcelas inoculadas con los microorganismos Bac20M1, Azo18M1, Act16M2, Azo1M4, Bac17M8 y Azo16M2 son los que presentaron mayor contenido de materia seca (158.38, 156.73, 155.74, 155.33, 154.05 y 152.09 g/500 g de papa fresca, respectivamente), en comparación con los otros tratamientos y al control no inoculado

(143.50 g/500 g de papa fresca), obteniéndose en promedio 11.89 g de materia seca más que el control no inoculado (Cuadro 10). Las cepas Act16M2, Bac17M8 y Bac20M1 nativas de las zonas productoras de papa de Puno, además de estimular mayor contenido de materia seca también promueven la productividad del cultivo de papa variedad Ccompis y tienen efectos antagonicos con los fitopatógenos *R. solani* y *S. subterranea*. Oswald *et al.* (2010) reportaron que tres bacterias aumentaron los rendimientos de materia seca considerablemente en comparación con el control fertilizado orgánicamente, alcanzando rendimientos similares a los del control fertilizado inorgánicamente. Estos fueron las cepas locales y la *Azotobacter* comercialmente disponible.

**Cuadro 10. Contenido de materia seca (g/500 g de papa fresca) ( $p < 0.05$ ) en tubérculos de papa de la variedad Ccompis por efecto de PGPR.**

Nº	Tratamiento	Materia Seca (g/500 g)
1	Bac20 M1 + 5 t/ha estiércol ovino	158.38 <b>a</b>
2	Azo18M1 + 5 t/ha estiércol ovino	156.73 <b>a</b>
3	Act16M2 + 5 t/ha estiércol ovino	155.74 <b>a b</b>
4	Azo1M4 + 5 t/ha estiércol ovino	155.33 <b>a b c</b>
5	Bac17M8 + 5 t/ha estiércol ovino	154.05 <b>a b c d</b>
6	Azo16M2 + 5 t/ha estiércol ovino	152.09 <b>a b c d e</b>
7	Act16M2 + fert.química (60-60-60) + 5 t/ha est. ovino	150.93 <b>b c d e</b>
8	Azo2M2 + 5 t/ha estiércol ovino	150.53 <b>b c d e</b>
9	Estiércol sólo 5 t/ha + fertilización química (60-60-60)	149.8 <b>c d e</b>
10	Estiércol de ovino sólo 5 t/ha	148.86 <b>d e</b>
11	Bac20 M1 + fert.química (60-60-60) + 5 t/ha est. ovino	148.38 <b>d e</b>
12	Bac 17M10 + 5 t/ha estiércol ovino	147.58 <b>e</b>
13	Control no inoculado y sin estiércol de ovino	143.50 <b>f</b>

Los promedios seguidos por letras iguales no son diferentes significativamente ( $p < 0.05$ )

#### **4.4. Efecto de siete Rizobacterias Promotoras de Crecimiento de Plantas en el mejoramiento de la productividad en papa, bajo dos condiciones agroecológicas de la región altiplánica del Perú**

En las condiciones agroecológicas de la localidad de Salcedo, Act16M2 fue la mejor cepa de microorganismos en el incremento del rendimiento de la papa variedad Compis, pero sin diferencia estadística con los otros tratamientos; siendo significativamente inferior el rendimiento de la parcela inoculada con la cepa de la rizobacteria Azoll2 en comparación con los rendimientos de los otros tratamientos (Cuadro 11). El resultado sin diferencias en el rendimiento muy posiblemente esté relacionado con las

características físicas y químicas del suelo, y con la distribución de precipitaciones pluviales; el suelo experimental de la localidad de Salcedo presenta una textura franco-arenosa, contenido medio de materia orgánica (2.59 %), un pH muy cercano a neutro (6.60) y contenido alto de fósforo y potasio (37.4 y 280.0 ppm, respectivamente) (Anexo I, Cuadros 8 y 25); además, la distribución de las precipitaciones pluviales fue regular. Estas características de suelo y del clima le proporcionaron condiciones favorables para el desarrollo y rendimiento de las plantas de papa. Las rizobacterias son capaces de producir sustancias fisiológica y bioquímicamente activas, las cuales estimulan la germinación de las semillas, aceleran el desarrollo de las plantas e incrementan el rendimiento de los cultivos (Lazarovits & Nowak, 1997), sobre todo en condiciones de estrés (Torres *et al.*, 2000).

El rendimiento de tubérculos en la parcela inoculada con la rizobacteria Act16M2 se incrementó en 30.41%, en comparación con el control no inoculado; mientras, en la parcelada inoculada con la rizobacteria Azo39 se incrementó en 20.39% por encima del control no inoculado. En relación al rendimiento de tubérculos de la clase primera, segunda y tercera no hubo diferencias estadísticas; de igual forma no existió diferencias para número de tubérculos total, tampoco para las clases primera, segunda y tercera.

**Cuadro 11. Rendimiento total de tubérculos de papa variedad Ccompis (kg/18 m<sup>2</sup>) (p<0.05) por efecto de rizobacterias promotoras de crecimiento de plantas, en la localidad de Salcedo.**

Nº	Tratamiento	Rendimiento total (kg/18m <sup>2</sup> )
1	Act 16M2 + 5 t/ha estiércol ovino	39.84 <b>a</b>
2	Azo 39 + 5 t/ha estiércol ovino	36.78 <b>a b</b>
3	Azo 16 + 5 t/ha estiércol ovino	35.38 <b>a b</b>
4	Bac 21M1+C + 5 t/ha estiércol ovino	33.54 <b>a b</b>
5	Estiércol de ovino solo 5 t/ha	33.31 <b>a b</b>
6	Bac 21M1 + 5 t/ha estiércol ovino	32.72 <b>a b</b>
7	P6 + 5 t/ha estiércol ovino	30.99 <b>a b</b>
8	Control no inoculado y sin estiércol de ovino	30.55 <b>a b</b>
9	Act 30 + 5 t/ha estiércol ovino	29.46 <b>a b</b>
10	Azoll 2 + 5 t/ha estiércol ovino	27.30 <b>b</b>

Los promedios seguidos por letras iguales no son diferentes significativamente (p<0.05)

En las condiciones de la localidad de Tahuaco, el rendimiento de la parcela inoculada con la cepa Bac21M1 fue significativamente el mejor, pero sin diferencia estadística con los rendimientos de las parcelas inoculadas con las cepas Act16M2, Azo39, Act30, Azo16, P6 y tratamiento con sólo estiércol. Los rendimientos de estos tratamientos fueron significativamente superiores a los rendimientos de los tratamientos control, Azoll2 y Bac21M1+C (Cuadro 12). En respuesta a la inoculación de la rizobacteria Bac21M1 la productividad de tubérculos de papa de la variedad Ccompis se incrementó en 38.28%; mientras, la inoculación de Act16M2 y Azo39 incrementaron en 30.65 y 23.30%, respectivamente, comparado al control no inoculado.

**Cuadro 12. Rendimiento total de tubérculos de papa variedad Ccompis (kg/18 m<sup>2</sup>) (p<0.05) por efecto de rizobacterias promotoras de crecimiento de plantas, en la localidad de Tahuaco.**

Nº	Tratamiento	Rendimiento total (kg/18m <sup>2</sup> )
1	Bac 21M1 + 5 t/ha estiércol ovino	10.15 <b>a</b>
2	Act 16M2 + 5 t/ha estiércol ovino	9.59 <b>a b</b>
3	Azo 39 + 5 t/ha estiércol ovino	9.05 <b>a b c</b>
4	Act 30 + 5 t/ha estiércol ovino	8.71 <b>a b c d</b>
5	Azo 16 + 5 t/ha estiércol ovino	8.32 <b>a b c d</b>
6	Estiércol de ovino solo, 5 t/ha	7.60 <b>a b c d</b>
7	P6 + 5 t/ha estiércol ovino	7.57 <b>a b c d</b>
8	Control no inoculado y sin estiércol de ovino	7.34 <b>b c d</b>
9	Azoll 2 + 5 t/ha estiércol ovino	6.83 <b>c d</b>
10	Bac 21M1+C + 5 t/ha estiércol ovino	6.29 <b>d</b>

Los promedios seguidos por letras iguales no son diferentes significativamente (p<0.05)

En relación al rendimiento por clase de tubérculos, solamente hubo diferencias estadísticas para la clase segunda, más no así para primera y tercera. Las parcelas inoculadas con las cepas de rizobacterias Bac21M1, Act16M2, Azo39, Azo16, P6 y Azoll2 presentaron rendimientos de tubérculos significativamente superiores de clase segunda (2.16, 1.65, 1.33, 1.30, 1.29 y 1.11 kg/18m<sup>2</sup>, respectivamente) en relación a los rendimientos de las parcelas inoculadas con estiércol sólo, control no inoculado y los otros tratamientos (0.97, 0.96, 0.89 y 0.87 kg/18m<sup>2</sup>, respectivamente) (Cuadro 13). En las parcelas inoculadas con las cepas Bac21M1, Act16M2 y Azo39 los rendimientos se incrementaron en 125.00, 71.87 y 38.54 %, respectivamente, comparado con el control



no inoculado. Tanto para el número total de tubérculos como para número por clases de tubérculos no hubo diferencias estadísticas.

**Cuadro 13. Rendimiento de tubérculos de clase segunda de papa variedad Ccompis (kg/18 m<sup>2</sup>) (p<0.05) por efecto de rizobacterias promotoras de crecimiento de plantas, en la localidad de Tahuaco.**

Nº	Tratamiento	Rendimiento clase 2da (kg/18m2)
1	Bac 21M1 + 5 t/ha estiércol ovino	2.16 <b>a</b>
2	Act 16M2 + 5 t/ha estiércol ovino	1.65 <b>a b</b>
3	Azo 39 + 5 t/ha estiércol ovino	1.33 <b>a b</b>
4	Azo 16 + 5 t/ha estiércol ovino	1.30 <b>a b</b>
5	P6 + 5 t/ha estiércol ovino	1.29 <b>a b</b>
6	Azoll 2 + 5 t/ha estiércol ovino	1.11 <b>a b</b>
7	Estiércol de ovino solo 5 t/ha	0.97 <b>b</b>
8	Control no inoculado y sin estiércol de ovino	0.96 <b>b</b>
9	Bac 21M1+C + 5 t/ha estiércol ovino	0.89 <b>b</b>
10	Act 30 + 5 t/ha estiércol ovino	0.87 <b>b</b>

Los promedios seguidos por letras iguales no son diferentes significativamente (p<0.05)

El análisis combinado de los rendimientos de papa en las localidades de Salcedo y Tahuaco, muestra que en la localidad de Salcedo el rendimiento total y por clases de la variedad Ccompis fue estadísticamente superior que en la localidad de Tahuaco (Figuras 12 y 13). La diferencia en el rendimiento de tubérculos de papa entre las localidades Salcedo y Tahuaco se debe muy posiblemente a las diferencias en las características físicas y químicas del suelo de las dos localidades y en la distribución de precipitaciones pluviales.

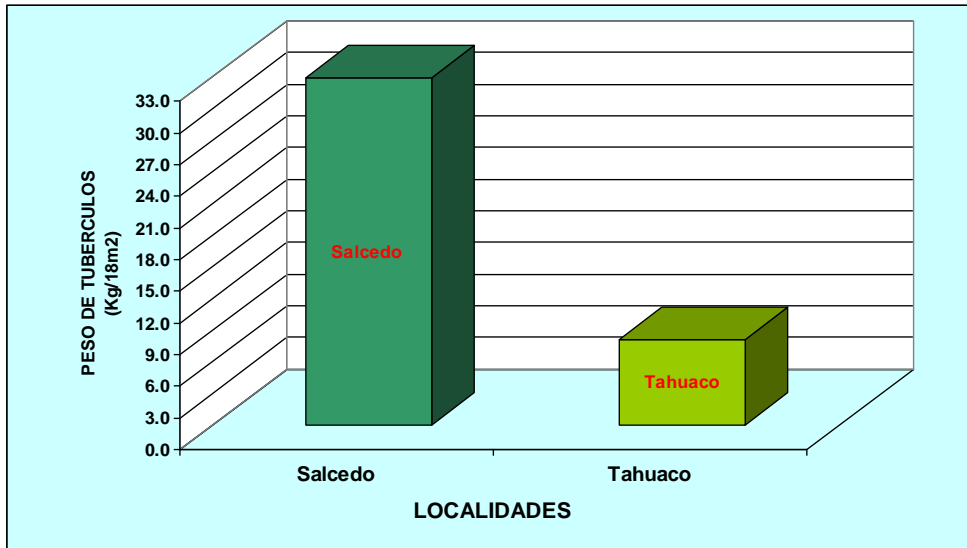


Figura 12. Rendimiento total de tubérculos de papa var. Ccompis por localidad

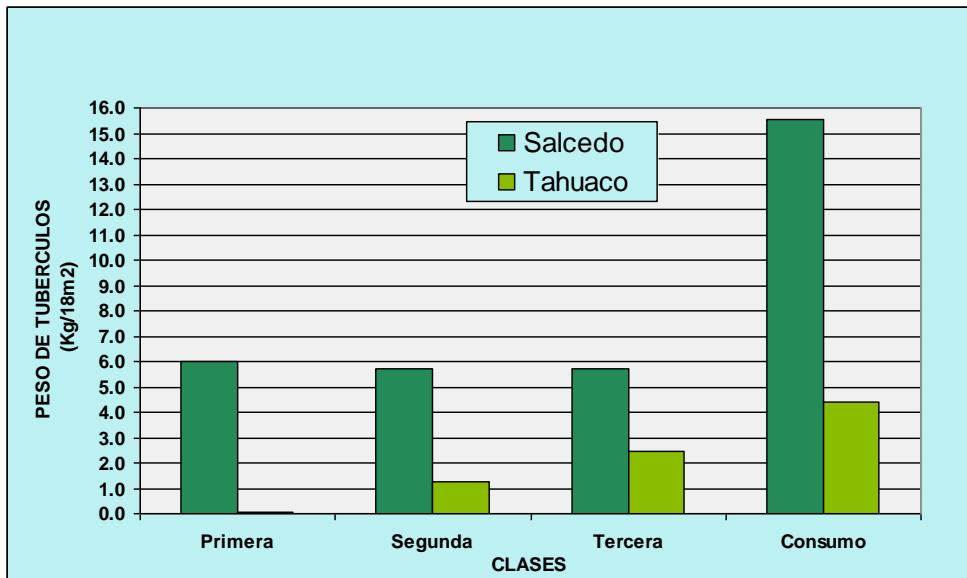


Figura 13. Rendimiento de tubérculos por clases de papa variedad Ccompis por localidad

El suelo experimental de la localidad de Tahuaco presenta una textura franco-limosa, lo que confiere cierta dureza, con poca porosidad y aireación para la actividad de los microorganismos; asimismo, dentro de las propiedades químicas, el suelo de Tahuaco presenta contenido bajo de materia orgánica (1.54%), pH fuertemente ácido (4.8) y también bajo contenido de fósforo y potasio (6.40 y 54.66 ppm, respectivamente); condiciones desfavorables para la actividad de las rizobacterias. Mientras, que en la localidad de Salcedo el suelo experimental presenta una textura franco-arenosa, contenido medio de materia orgánica (2.59 %), un pH muy cercano a neutro (6.60) y contenido alto de fósforo y potasio (37.4 y 280.0 ppm, respectivamente) (Anexo I,

Cuadros 8 y 25). Estas características físicas y químicas le proporcionaron condiciones favorables para la actividad de las rizobacterias en la promoción y desarrollo de las plantas de papa.

No obstante, las condiciones climáticas durante el periodo vegetativo del cultivo de papa en ambas localidades fueron similares, el factor climático más importante en la localidad de Tahuaco, que afectó negativamente la actividad de las rizobacterias y el rendimiento del cultivo fue la precipitación pluvial que tuvo una distribución irregular (Anexo I, Cuadros 22 y 23). En la fase de formación de estolones y tubérculos (enero) hubo 85.10 mm menos de agua que el promedio de 30 años, lo que afectó el desarrollo de los microorganismos y las plantas; después de este periodo, en el mes de febrero se presentó un exceso de 28.30 mm de agua comparado con el promedio de 30 años (Anexo I. Cuadros 23 y 26); mientras en la localidad de Salcedo la distribución de precipitaciones fue regular, esta característica climática proporcionó condiciones favorables para la promoción de las PGPR en el crecimiento y rendimiento de la papa (Anexo I, Cuadro 22).

En suelos con buenas características físicas, como la textura, estructura, porosidad y aireación, las PGPR tiene mayor disponibilidad de oxígeno para su actividad de promoción de crecimiento y desarrollo de plantas que en aquellos suelos compactados y mal drenados. Dentro de las propiedades químicas del suelo que favorecen el efecto beneficioso de las PGPR es el pH cercano a neutro (5 a 6.5), buen contenido de materia orgánica y buena disponibilidad de algunos elementos necesarios para su metabolismo, tales como N, Ca y Mg (Acuña *et al.*, 2006).

En ambas localidades, solamente se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los rendimientos totales de tubérculos, el rendimiento total de tubérculos de papa de la variedad Ccompis fue significativamente mayor en la parcela inoculada con la rizobacteria Act16M2, pero sin diferencia estadística con los rendimientos de las parcelas inoculadas con Azo39, Azo16, Bac21M1, P6 y Act30. Los rendimientos de la parcela control no inoculada y de la parcela inoculada con la cepa Azoll2 fueron inferiores en comparación a los otros tratamientos (Cuadro 14). En respuesta a la inoculación de la cepa de rizobacteria Act16M2 el rendimiento total de tubérculos de papa se incrementó en 145.14% en comparación con el control no

inoculado; mientras que la inoculación de las cepas Azo39, Azo16, Bac21M1, P6 y Act30 incrementaron en promedio 105.79 % comparado al control no inoculado.

**Cuadro 14. Rendimiento total de tubérculos de papa variedad Ccompis (kg/18 m<sup>2</sup>) (p< 0.05) por efecto de rizobacterias promotoras de crecimiento de plantas, en las localidades de Salcedo y Tahuaco.**

Nº	Tratamiento	Rendimiento total (kg/18m <sup>2</sup> )	Incremento de rendimiento (%)
1	Act 16M2 + 5 t/ha estiércol ovino	24.71 a	145.14
2	Azo 39 + 5 t/ha estiércol ovino	22.91 a b	127.28
3	Azo 16 + 5 t/ha estiércol ovino	21.85 a b c	116.76
4	Bac 21M1 + 5 t/ha estiércol ovino	21.43 a b c	112.60
5	Estiércol de ovino solo 5 t/ha	20.32 a b c	101.59
6	Bac 21M1+C + 5 t/ha estiércol ovino	19.91 a b c	97.52
7	P6 + 5 t/ha estiércol ovino	19.28 a b c	91.27
8	Act 30 + 5 t/ha estiércol ovino	19.08 a b c	89.28
9	Control no inoculado y sin estiércol de ovino	10.08 b c	
10	Azoll 2 + 5 t/ha estiércol ovino	7.07 c	-29.86

Los promedios seguidos por letras iguales no son diferentes significativamente (p<0.05)

La relación beneficio/costo de las parcelas inoculadas con las rizobacterias Act16M2, Azo39, Azo16 y Bac21M1 fueron superiores (0.54, 0.43, 0.36 y 0.34, respectivamente) en relación al control no inoculado (-0.30), al control estiércol solo (0.28) y a la parcela con fertilización química (0.17) (Cuadro 15).

En resumen, tanto en la localidad de Salcedo y Tahuaco los aislamientos de *Actinomicetos*, *Azotobacter*, *Bacillus* y *Pseudomonas* promovieron el rendimiento del cultivo de papa variedad Ccompis. Javed & Arshad (1999) condujeron ensayos en macetas y en campo para probar 11 rizobacterias aisladas para la promoción de rendimiento en papa. En ambos ensayos, el rendimiento de tubérculos, número de tubérculos y peso de brotes más raíces se incrementaron significativamente en respuesta a la inoculación. El rendimiento de tubérculos se incrementó a 47.5 y 25.8% en ensayos a nivel de macetas y campo, respectivamente, en respuesta a la inoculación de PGPR. En 1990, la inoculación de aproximadamente 3.3 millones de hectáreas en 18 provincias de China con cepas de *Bacillus* incrementaron rendimientos de trigo (con 8.5 – 16% de incremento en rendimiento), arroz (8.1 – 16%), maíz (6 – 11%), sorgo (5 – 10%), camote (15 – 19%), algodón (6 – 13%), colza (11 – 18%), fríjol (7 – 16%), remolacha

azucarera (15 – 20%), sandía (16 – 18%), maní (10 – 15%) y hortalizas (13 – 35%) (Chen *et al.*, 1994).

**Cuadro 15. Análisis económico de la eficiencia de inoculación de las PGPR y aplicación de fertilizantes químicos en las localidades de Salcedo y Tahuaco-Puno.**

Tratamiento	Costo PGPR y otros insumos	Rendimiento kg/ha	Ingreso (S./ha)*	Costo total (S/.)	Ingreso Neto (S/.)	B/C
Act 16M2 + estiércol ovino	540.00	13727.78	8236.67	5340.00	2896.67	0.54
Azo 39 + estiércol ovino	540.00	12727.78	7636.67	5340.00	2296.67	0.43
Azo 16 + estiércol ovino	540.00	12138.89	7283.33	5340.00	1943.33	0.36
Bac 21M1 + estiércol ovino	540.00	11905.56	7143.34	5340.00	1803.34	0.34
Control solo con estiércol	500.00	11288.89	6773.33	5300.00	1473.33	0.28
Control no inoculado	0.00	5600.00	3360.00	4800.00	-1440.00	-0.30
Azoll + estiércol ovino	540.00	3927.78	2356.67	5340.00	-2983.33	-0.56
Fertilizante: 120-100-80	1600.00	12500.00	7500.00	6400.00	1100.00	0.17

\*S/. 0.60 por kg de papa

En la localidad de Salcedo, los tubérculos de papa cosechados de las parcelas inoculadas con cepas de rizobacterias P6, Azoll2, Bac21M1, Act30 y Azo39 presentaron mayor contenido de materia seca en comparación con los otros tratamientos (Cuadro 16), obteniéndose en promedio 3.35 g más de materia seca que el control no inoculado.

En las condiciones de la localidad de Tahuaco, los tubérculos cosechados de parcelas inoculadas con Act16M2 y Azoll2 presentaron mayor nivel de materia seca (Cuadro 16), con un contenido de 4.16 g y 3.99 g más de materia seca, respectivamente, que el control no inoculado. Tanto en la localidad de Salcedo como en Tahuaco, menor contenido de materia seca se registró en los tubérculos cosechados de la parcela control no inoculado y en la parcela con estiércol sólo.

En ambas localidades de estudio; Salcedo donde las características físicas y químicas del suelo son favorables para el desarrollo de los microorganismos y Tahuaco donde las propiedades físicas y químicas del suelo son desfavorables, los tubérculos de papa variedad Ccompis cosechados de la parcela inoculada con la rizobacteria Azoll2 presentaron alto contenido de materia seca, sin diferencia estadística con P6 (Salcedo) y con Act16M2 (Tahuaco). Sin embargo, es importante señalar que la rizobacteria Act16M2 tiene una buena respuesta en la estimulación del contenido de materia seca cuando las propiedades del suelo y las condiciones medioambientales son

desfavorables. En ensayos similares, la fertilización inorgánica produjo mayores pesos secos de los tubérculos que la fertilización orgánica, aumentando los rendimientos por encima del 60%; tres bacterias aumentaron los rendimientos de materia seca considerablemente en comparación con el control fertilizado orgánicamente, alcanzando rendimientos similares a los del control fertilizado inorgánicamente. Estos fueron las cepas locales Bac2 y la cepa Act4, y la *Azotobacter* comercialmente disponible (Oswald *et al.*, 2010).

**Cuadro 16. Contenido de materia seca (g/100 g de papa fresca) ( $p < 0.05$ ) en tubérculos de papa de la variedad Ccompis por efecto de PGPR en las localidades de Tahuaco y Salcedo.**

Nº	Tratamiento	M. S. Tahuaco (g/100g)	M. S. Salcedo (g/100g)
1	Act 16M2 + 5 t/ha estiércol ovino	32.02 <b>a</b>	26.72 <b>b</b>
2	Azoll 2 + 5 t/ha estiércol ovino	31.85 <b>ab</b>	28.72 <b>a</b>
3	Act 30 + 5 t/ha estiércol ovino	31.23 <b>bc</b>	28.32 <b>a</b>
4	Bac 21M1+C + 5 t/ha estiércol ovino	30.53 <b>cd</b>	28.66 <b>a</b>
5	Bac 21M1 + 5 t/ha estiércol ovino	30.51 <b>cd</b>	28.56 <b>a</b>
6	Azo 16 + 5 t/ha estiércol ovino	30.04 <b>de</b>	26.83 <b>b</b>
7	Azo 39 + 5 t/ha estiércol ovino	29.73 <b>ef</b>	28.16 <b>a</b>
8	P 6 + 5 t/ha estiércol ovino	29.21 <b>f</b>	28.72 <b>a</b>
9	Estiércol de ovino sólo 5 t/ha	29.19 <b>f</b>	26.71 <b>b</b>
10	Control sin estiércol de ovino	27.86 <b>g</b>	25.17 <b>c</b>

Los promedios seguidos por letras iguales no son diferentes significativamente ( $p < 0.05$ )

## V. CONCLUSIONES

### **Ensayo de concentración y momento adecuado de inoculación de Rizobacterias Promotoras de Crecimiento de Plantas, en condiciones de invernadero**

1. En macetas en condiciones de invernadero, las rizobacterias Bac14M1a, Act16M2 y Azo4M4 promovieron mayor crecimiento de plantas de papa variedad Ccompis cuando las plántulas fueron inoculadas con niveles de concentración de  $1 \times 10^8$  ufc/ml y  $1 \times 10^6$  ufc/ml comparado al inoculado con nivel de concentración de  $1 \times 10^4$  ufc/ml.
2. El número y peso de tubérculos por planta fueron significativamente superiores en las plantas inoculadas con un nivel de concentración de  $1 \times 10^8$  ufc/ml, ya sea solamente a la siembra o a la siembra más al aporque comparada con las plantas inoculadas al aporque.
3. La mayor concentración de la rizobacteria se traduce en mayor crecimiento de las plantas, mayor peso y número de tubérculos de papa variedad Ccompis. Así mismo, a mayor altura de planta se obtiene mayor peso de tubérculos.

### **Efecto de rizobacterias en el control de *Rhizoctonia solani***

1. En condiciones de invernadero, las plántulas de las variedades de papa Ccompis y Andina inoculadas con las cepas de *Bacillus* (Bac17M8, Bac17M9) y *B. amyloliquefaciens* presentaron menor mortalidad, estadísticamente significativas (en promedio 18.90% y 12.13% en Ccompis y Andina, respectivamente) en comparación con las plántulas no inoculadas (28.02% y 19.89% en Ccompis y Andina, respectivamente).

2. En la variedad Ccompis, la cepa con mejor efecto en la mortalidad de plántulas por *R. solani* fue *B. amyloliquefaciens* con una disminución de 12.71% de plántulas muertas que en el suelo infestado no inoculado y en la variedad Andina la cepa con mejor efecto fue Bac17M8 con una disminución de 9.13% que en el suelo no inoculado.
3. En la variedad Ccompis, la mejor cepa en la supresión o control de *R. solani* fue Bac17M8 perteneciente a *Bacillus subtilis*, con una disminución de 12.48% de tubérculos infectados que en la parcela no inoculada; mientras que, en la variedad Andina, la mejor cepa en la supresión del fitopatógeno fue *B. amyloliquefaciens* de Bolivia con un porcentaje de 7.03% menos que la parcela no inoculada.

### **Efecto de ocho Rizobacterias Promotoras de Crecimiento de Plantas en el mejoramiento de la productividad de papa, en condiciones de campo**

1. En condiciones de campo, la altura de plantas en las parcelas inoculadas con las cepas Act16M2, Bac17M8, Azo16M2 y Bac20M1 fueron estadísticamente superiores en comparación con los otros tratamientos y al control no inoculado.
2. Las mejores cepas en la promoción del rendimiento de papa variedad Ccompis fueron Bac17M8 y Act16M2, con rendimientos superiores en 145.69 y 140.87%, respectivamente, en comparación al control no inoculado. Los índices de la relación B/C de estas cepas fueron superiores en 0.65 y 0.57, respectivamente, comparados con los índices de B/C de la parcela testigo (-0.24) y la parcela con fertilización química (0.36).
3. Los tubérculos cosechados de las parcelas inoculadas con las rizobacterias Bac20M1, Azo18M1, Act16M2, Azo1M4, Bac17M8 y Azo16M2 presentaron contenido de materia seca estadísticamente significativos (158.34, 156.73, 155.74, 155.33, 154.05 y 152.09 g M.S./500 g de papa fresca) en comparación con los otros tratamientos y al control no inoculado (143.50 g/500 g).



## **Efecto de siete Rizobacterias Promotoras de Crecimiento de Plantas en el mejoramiento de la productividad en papa, bajo dos condiciones agroecológicas de la región altiplánica del Perú**

1. Tanto en la localidad de Salcedo y Tahuaco, en respuesta a la inoculación de la cepa de rizobacteria Act16M2 el rendimiento total de tubérculos de papa se incrementó en 145.14 % en comparación con el control no inoculado; mientras que la inoculación de las cepas Azo39, Azo16, Bac21M1, P6 y Act30 incrementaron en promedio 105.79 % comparado al control no inoculado. La relación beneficio/costo de las parcelas inoculadas con las rizobacterias Act16M2, Azo39, Azo16 y Bac21M1 fueron superiores (0.54, 0.43, 0.36 y 0.34, respectivamente) en relación al control no inoculado (-0.30) y a la parcela con fertilización química (0.17).
2. En condiciones de campo, donde las características físicas y químicas del suelo ya sean favorables o desfavorables para la actividad de los microorganismos, la cepa de rizobacteria Azoll2 estimula un mayor contenido de materia seca en tubérculos de papa variedad Ccompis; mientras la cepa Act16M2 tiene una buena respuesta en la estimulación del contenido de materia seca cuando las propiedades del suelo y las condiciones medioambientales son desfavorables.

### **Conclusiones generales**

1. La mayor concentración de la rizobacteria se traduce en mayor crecimiento de las plantas, mayor peso y número de tubérculos de papa variedad Ccompis. Así mismo, a mayor altura de planta se obtiene mayor peso de tubérculos.
2. Las cepas de *Bacillus* (Bac17M8 y Bac17M9) y *B. amyloliquefaciens* nativas de la región altiplánica del Perú y Bolivia, inoculadas a plántulas de dos variedades de papa (Ccompis y Andina), tienen la capacidad de inhibir la infección por *R. solani*, posiblemente a través de algún mecanismo de acción antagónico o por resistencia inducida.

3. En condiciones de campo, algunas cepas de *Bacillus*, Actinomicetos y *Azotobacter* mejoran la productividad de la papa variedad Ccompis, mediante algunos mecanismos de promoción del crecimiento y rendimiento identificadas en las PGPR, tales como fijación biológica del nitrógeno atmosférico, solubilización de fosfatos y la síntesis de fitohormonas como el ácido indol acético.
4. La inoculación de tubérculos-semillas de papa con algunas cepas de PGPR, no solamente pueden tener la capacidad de promover el rendimiento del cultivo y mayor contenido de materia seca, sino también para suprimir el daño o infección en tubérculos causados por los fitopatógenos *R. solani* y *S. subterranea*.

## VI. RECOMENDACIONES

1. Se debe realizar ensayos con diferentes variedades del cultivo de papa y en diferentes condiciones agroecológicas y con cepas de rizobacterias que ya han demostrado su capacidad de promoción del crecimiento y rendimiento del cultivo de papa, realizar pruebas o inoculaciones en extensiones mucho más grandes (1000, 1500 o mejor 2000 m<sup>2</sup>) para evaluar o medir el verdadero potencial de estos microorganismos en el mejoramiento de la productividad del cultivo.
2. Probar el efecto antagónico de cepas de rizobacterias con fitopatógenos en localidades donde realmente existe el problema del daño de *R. solani* en papa, con el objetivo de medir su real capacidad en la disminución de la infección del fitopatógeno en el cultivo.
3. Realizar experimentos en asociación o mezcla de PGPR, con el objetivo de evaluar la promoción de crecimiento y rendimiento del cultivo de papa por efecto de la interacción de dos o más cepas de rizobacterias. Igualmente, hacer ensayos que permitan probar el efecto de la interacción de cepas para la supresión o control de fitopatógenos. La aplicación de una mezcla de agentes biocontroladores se asemejaría más al medio ambiente natural y puede ampliar el espectro de la actividad biológica
4. En condiciones de campo, se debe confirmar los resultados, con más estudios sobre inoculaciones solamente a la siembra e inoculaciones a la siembra más al aporque. Igualmente, continuar con los estudios de la forma de aplicación o

inoculación de rizobacterias, puesto que es importante este factor, para hacer una inoculación efectiva y práctica en extensiones más grandes y de esa manera asegurar la actividad de los microorganismos inoculados.

5. A nivel de invernadero, realizar ensayos de inoculación de cepas de rizobacterias en condiciones de producción de tubérculos prebásicos de papa libre de virus, en vista de que actualmente, el problema en la producción de tubérculos prebásicos, es la infección por *R. solani*.
6. Realizar estudios de la dinámica poblacional de los microorganismos en la rizósfera del cultivo de papa, en las diferentes fases fenológicas del cultivo, en las variedades más importantes y en las diferentes condiciones agroecológicas.
7. Realizar ensayos con cepas de rizobacterias que incluyan tratamientos de dosis de fertilizantes; ya que, la actividad de los microorganismos dependen de elementos químicos, tales como: fósforo, potasio, hierro, entre otros, con el objetivo de encontrar una fórmula de fertilización mínima.
8. Realizar investigaciones para formular bioinsumos con agentes biológicos, como las rizobacterias.

## VII. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- Acuña, O., Peña, W., Serrano, E., Pocasangre, L., Rosales, F., Delgado, E., Trejos, J. & Segura, A. 2006. La importancia de los microorganismos en la calidad y salud de suelos. Pp: 222-233. En XVII Reuniao Internacional Associacao para a Cooperacao nas Pesquisas sobre Banana no Caribe e na América Tropical. 15 a 20 de outubro de 2006. Joinville, Santa Catarina, Brasil.
- Agrios, G. N. 1996. Fitopatología. Editorial Limusa, Grupo Noriega Editores. Segunda Edición. México, D. F. 838 p.
- Alexander, M. 1980. Transformaciones microbianas del fósforo. Pp: 355-371. En Introducción a la microbiología del suelo. AGT editor. México.
- Alexander, M. 1977. Introduction to Soil Microbiology. Second Edition. Wiley, New York, USA. 467 p.
- Antoun, H., Beauchamp, C. J., Goussard, N., Chabot, R. & Lalande, R. 1998. Potencial of *Rhizobium* and *Bradyrhizobium* species as plant growth promoting rhizobacteria on non-legumes: Effect on radishes (*Raphanus sativus* L). Plant Soil. 204: 57-68.
- Arias, M. 2004. Hongos antagonistas o micopatógenos. Pp: 59-62. En Guía de insumos biológicos para el manejo integrado de plagas. Corporación para desarrollo de insumos y servicios agroecológicos. Armonía, Venezuela.
- Arshad, M. & Frankenberger, W. T. 1989. Biosynthesis of ethylene by *Acremonium falciforme*. Soil Biol. Biochem. 21: 633-638.
- Arshad, M. & Frankenberger, W. T. 1998. Plant growth regulating substances in the rhizosphere: Microbial production and functions. Adv. Agron. 62: 46-151.
- Arzola, J., Gonzales, J., Ramirez, J., Vieito, E. L. & Clavel, N. 2000. Efecto de la fertilización orgánica en la producción de semillas de *Andropogon gayanus*, CV.CIAT-621 y *Pueraria phaseoloides*, CV.CIAT-9900. Instituto de Investigación de Pastos y Forrajes. MINAGRI, Bauta, La Habana.

- Asghar, H. N., Zahir, Z. A., Arshad, M. & Khaliq, A. 2002. Relationship between in vitro production of auxins by rhizobacteria and their growth-promoting activities in *Brassica juncea* L. Biol. Fertil. Soils 35: 231-237.
- Bapat, S. & Shah, A. K. 2000. Biological control of Fusarium wilt of pigeon pea by *Bacillus brevis* on wheat. Can. J. Microbiol. 46: 125-132.
- Barea, J. M., Navarro, E. & Montoya, E. 1976. Production of plant growth regulators by rhizosphere phosphate-solubilizing bacteria. J. Appl. Bacteriol. 40: 129-134.
- Bhattacharya, P. & Chaudhuri, S. 1993. Biofertilizer: Opening a new horizon. Yohana 37(9): 12-31.
- Bashan, Y. 1998. Inoculants of plant growth promoting bacteria for use in agriculture. Biotech. Advances 16: 729-770.
- Belimov, A. A., Safronova, V. I. & Mimura, T. 2002. Response of spring rape (*Brassica napus* var. *Olifera* L.) to inoculation with plant growth promoting rhizobacteria containing 1-aminocyclopropane-1-carboxylate deaminase depends on nutrient status of the plant. Can. J. Microbiol. 48: 189-199.
- Belimov, A. A., Kojemiakov, A. P. & Chuvarliyeva, C. V. 1995. Interaction between barley and mixed cultures of nitrogen fixing and phosphate-solubilizing bacteria. Plant Soil 173: 29-37.
- Berthelin, J., Leyrol, C., Laheurte, F. & Degiudici, P. 1991. Some considerations on the relations between phosphate solubilizing rhizobacteria and their effect on seedling and plant growth related to phosphorus solubilization. Pp: 359-364. In C. Keel, B. Koller and G. Defago, Eds. Growth Promoting Rhizobacteria: Progress and Prospects. IOBC, Switzerland.
- Biswas, J. C., Ladha, J. K. & Dazzo, F. B. 2000a. Rhizobia inoculation improves nutrient uptake and growth of lowland rice. Soil. Sci. Soc. Am. J. 64: 1644-1650.
- Biswas, J. C., Ladha, J. K., Dazzo, F. B., Yanni, Y. G. & Rolfe, B. G. 2000b. Rhizobial inoculation influences seedling vigor and yield of rice. Agron. J. 92: 880-886.
- Buchenauer, H. 1998. Biological control of soil-borne diseases by rhizobacteria. Z. Pflanzenk.Pflanzens. 105: 329-348.
- Bunch, R. 2008. El manejo del suelo vivo. LEISA, Revista de Agroecología. 24(2): 5.
- Cakmakci, R., Dönmez, F., Aydin, A. & Sahin, F. 2005. Growth promotion of plants by plant growth promoting rhizobacteria under greenhouse and two different field soil conditions. Soil Biol. and Bioch. J. 38: 1482-1487.
- Calvo, P. & Zúñiga, D. 2010. Caracterización fisiológica de cepas de *Bacillus spp.* aisladas de la rizósfera de papa (*Solanum tuberosum*). Ecología Aplicada. 9(1): 31-39.

- Calvo, P., Ormeño-Orrillo, E., Martínez-Romero, E. & Zúñiga, D. 2010. Characterization of *Bacillus* isolates of potato rhizosphere from Andean soils of Peru and their potential PGPR characteristics. *Brazilian Journal of Microbiology* 41: 899-906.
- Calvo, P. 2008. Capacidad PGPR de bacterias del género *Bacillus* aisladas de la rizósfera del cultivo de papa (*Solanum tuberosum*) en los Andes del Perú. Tesis para optar el título de Biólogo. UNALM. Lima, Perú. 168 p.
- Calvo, P., Reymundo, L. & Zúñiga, D. 2008. Estudio de las poblaciones microbianas de la rizósfera del cultivo de papa (*Solanum tuberosum*) en zonas altoandinas. *Ecología Alicada*. 7(1,2): 141-148.
- Calvo, P., Raymundo, L., Ogata, K., Pahuara, D., Oswald, A. & Zúñiga, D. 2006. Diversity of microorganisms in the rhizosphere of potatoes from the peruvian highlands. ISME-II. August 20-25. Vienna, Austria.
- Centro Internacional de la Papa (CIP). División de Manejo Integrado de Cultivos. 2008. Alternativas al uso de bromuro de metilo en la producción de semilla de papa de calidad. Documento de trabajo 2007-2. Lima, Perú. 53 p.
- Coronado, M. 1997. Efecto comparativo de tres enmiendas orgánicas; estiércol, compost y humus de lombriz en el cultivo de cebada (*Hordeum vulgare*, L.) variedad Yanamucllo. Tesis para optar el título de Ing. Agron. UNALM. Lima, Perú. 82 p.
- Costacurta, A. & Vanderleyden, J. 1995. Synthesis of phytohormones by plant-associated bacteria. *Critical Rev. Microbiol.* 21: 1-18.
- Chabot, R., Antoun, H. & Cescas, M. P. 1996a. Growth promotion of maize and lettuce by phosphate-solubilizing *Rhizobium leguminosarum* biovar *phaseoli*. *Plant Soil* 184: 311-321.
- Chabot, R., Antoun, H., Kloepper, J. W. & Beauchamp, C. 1996b. Root colonization of maize and lettuce by bioluminescent *Rhizobium leguminosarum* biovar *phaseoli*. *Appl. Environ. Microbiol.* 62: 2767-2772.
- Chanway, C. P., Nelson, L. M. & Holl, F. B. 1988. Cultivar specific growth promotion of spring wheat by co-existent *Bacillus* species. *Can. J. Microbiol.* 34: 925-929.
- Chebotar, V. K., Asis, C. A. & Akao, S. 2001. Production of growth-promotion substances and high colonization ability of rhizobacteria enhance the nitrogen fixation of soybean when coinoculated with *Bradyrhizobium japonicum*. *Biol. Fertil. Soils* 34: 427-432.
- Chen, Y., Mei, R., Lu, S., Liu, L. & Kloepper, J. W. 1994. The use of yield increasing bacteria as PGPR in Chinese agriculture. In U. P. Gupta and R. Utkhede, Eds. *Management of Soil borne diseases*. Narosa Publishing House. New Delhi, India.

- Chi, N. T., Thanh, H. H. & Dzung, N. N. 1998. Response of rice plant to inoculation with *Azospirillum* sp. under field condition. Pp: 237-240. In K. A. Malik, M. S. Mirza and J. K. Ladha, Eds. Nitrogen Fixation with Non-legumes. Kluwer Academic Pub. London, Great Britain.
- Chirinos, J., Leal, A. & Montilla, J. 2006. Uso de Insumos Biológicos como Alternativa para la Agricultura Sostenible en la Zona Sur del Estado de Anzoátegui. Revista Digital CENIAP HOY N° 11. INIA. El tigre, estado Anzoátegui, Mexico. 7 p.
- Cho, K. M., Hong, S. Y., Lee, S. M., Kim, Y. H., Kahng, G. G., Lim, Y. P., Kim, H. & Yun, H. D. 2007. Endophytic bacterial communities in ginseng and their antifungal activity against pathogens. Microb. Ecol. 54(2): 341-351.
- Dashti, N., Zhang, F., Hynes, R. & Smith, D.L. 1997. Plant and Soil 188: 33.
- Dobbelaere, S., Croonenborgh, A., Thys, A., Ptacek, D., Vanderleyden, J., Dutto, P., Labandera-Gonzalez, C., Caballero-Mellado, J., Aguirre, J. F., Kapulnik, Y., Berner, S., Burdman, S., Kadouri, D., Sarig, S. & Okon, Y. 2001. Response of agronomically important crops to inoculation with *Azospirillum*. Aust. J. Plant Physiol. 28: 871-879.
- Duffy, B. K. & Weller, D. M. 1995. Use of *Gaeumannomyces graminis* var. *graminis* alone and in combination with fluorescent *Pseudomonas* spp. To suppress take-all of wheat. Plant Dis 79: 907-911.
- Egúsquiza, R. 2000. La Papa, Producción, transformación y Comercialización. CIMAGRAF S. R. L. Lima, Perú. 192 p.
- Felipe-Morales, C. 2003. La Diversidad como activo para el desarrollo. Existe suficiente oferta de abonos orgánicos para la agricultura en el Perú. En SEPIA X, CODESU. SEPIA y Universidad Nacional de Ucayali. Pucallpa, Perú.
- Fernández-Larrea, O. 2001. Microorganismos antagonistas para el control fitosanitario. Manejo Integrado de Plagas (Costa Rica). N° 62: 96-100.
- Ferrera-Cerrato, R. & Pérez-Moreno, J. 1995. Agromicrobiología, elemento útil en la agricultura sustentable. Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas. Montecillo, México. 234 p.
- Ferrera-Cerrato, R. 1989. Rizosfera. Pp: 1-21. En R. Ferrera-Cerrato, Ed. Ecología de la raíz. Sociedad Mexicana de Fitopatología. Montecillo, México.
- Frankenberger, W. T. & Arshad, M. 1995. Phytohormones in Soil: Microbial production and function. Dekker, New York, USA. 503 p.
- Fravel, D. R. 2005. Commercialization and implementation of biocontrol. Annu. Rev. Phytopathol. 43: 337-359.



- Fulchieri, M. & Frioni, L. 1994. *Azospirillum* inoculation on maize effect of yield in field experiment in central Argentina. *Soil Biol. Biochem.* 26: 921-923.
- DeFreitas, J. R. & Germida, J. J. 1992. Growth promotion of winter wheat by fluorescent *Pseudomonas* under growth chamber conditions. *Soil Biol. Biochem.* 24: 1127-1135.
- Fridlender, M., Invar, J. & Chet, I. 1993. Biological control of soil-borne plant pathogens by a B-1, 3-glucanase producing *Pseudomonas cepacia*. *Soil Biol. Biochem.* 25: 1211-1221.
- García, G., Moreno, P., Peña-Cabriales, J. & Sanchez-Yañez, J. M. 1995. Respuesta del maíz (*Zea mays*, L.) a la inoculación con bacterias fijadoras de N<sub>2</sub>. *TERRA* 13: 71-79.
- Germida, J. J. & Walley, F. L. 1996. Plant growth promoting rhizobacteria after rooting pattern and arbuscular mycorrhizal fungi colonization of field grown spring wheat. *Biol. Fertil. Soils* 23: 113-120.
- Ghyselinck, J., Velivelli, Siva L. S., Heylen, K., O'Herlihy, E., Franco, J., Rojas, M., De Vos, P. & Prestwich, Barbara. 2013. Bioprospecting in potato fields in the Central Andean Highlands: Screening of rhizobacteria for plant growth-promoting properties. *Syst. Appl. Microbiol.* 36: 116-127. Doi: 10.1016/j.syapm.2012.11.007.
- Glick, B. R. 1995. The enhancement of plant growth by free living bacterial. *Can. J. Microbiol.* 41: 109-117.
- Glick, B. R., Jacobson, C. B., Schwarze, M. M. & Pasternak, J. J. 1994. Does the enzyme 1-aminocyclopropane-1-carboxylate deaminase play a role in plant growth promotion by *Pseudomonas putida* GR12-2?. Pp: 150-152. In M. H. Ryder, P. M. Stephens and G. D. Bowen. Eds. *Improving Plant Productivity with Rhizosphere Bacteria*. Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization. Adelaide, Australia.
- Glick, B. R., Penrose, D. M. & Li, J. 1998. A model for lowering plant ethylene concentration by plant growth promoting rhizobacteria. *J. Theor. Biol.* 190: 63-68.
- González, Rayza, Domínguez, Q., Expósito, L. A., González, J. L., Martínez, Teresa & Hidalgo, M. 1994. Efecto de diferentes cepas de *Azotobacter sp.* en el crecimiento y desarrollo de vitroplantas de piña (*Annona comosus*) durante la fase de adaptación. II Taller sobre biofertilización en los trópicos. 16-18 de Noviembre, La Habana. *Cultivos Tropicales* 15(3): 66.
- Guerrero, J. 1993. *Abonos orgánicos. Tecnología para el manejo ecológico del suelo*. RAAA. Lima, Perú. 90 p.
- Gutierrez-Manero, F., Ramos-Solano, B., Probanza, A., Mehouchi, J., Tadeo, F. & Talon, M. 2001. The plant growth promoting rhizobacteria *Bacillus pumilus*

and *Bacillus licheniformis* produce high amounts of physiologically active gibberellins. *Physiol. Plant* 111: 206-211.

- Gutierrez, Patricia & Torres, H. 1990. Control biológico de *Rhizoctonia solani* con *Rhizoctonia* binucleada. *Fitopatología* 25: 45-50
- Hiltner, L. 1904. Übre neuerer erfahrung und problem auf dem gebeit der bodenbakteriologie und unter besonderer berucksinchtigung der grundung und brache. *Arbeiten Deutscher Landwirtschafts Gesellschafts* 98: 59-78.
- Hassouna, M. G. 1990. Application of rhizobacteria on barley cultivated on the north-western coast of Egypt. Pp: 20. In Abstract of the Second International Workshop on Plant Growth Promoting Rhizobacteria. Interlaken, Switzerland.
- Hassouna, M. G. & Wareing, P. F. 1964. Possible role of rhizosphere bacteria in the N-nutrition of *Ammophila arenaria*. *Nature* 202: 467-469.
- Helling, C. S., Chesters, G. & Corey, R. B. 1964. Contribution of organic matter and clay to soil exchange capacity as affected by the pH of the saturating solution. *Soil Sci. Soc. Amer. Prec.* 28: 517-520.
- Hijmans, R. & Spooner, D. 2001. Geographic distribution of wild potato species. *American Journal of Botany* 88: 2101-2112.
- Hoffland, E., Hakulinen, J. & Van Pelt, J. A. 1996. Comparison of systemic resistance induced by avirulent and non pathogenic *Pseudomonas* species. *Phytopathology* 86: 757-762.
- Hooker, W. J. 1980. Compendio de Enfermedades de la Papa. Centro Internacional de la Papa. Lima, Perú. 166 p.
- Hughes, D. F., Jolley, V. D. & Brown, J. C. 1992. Roles for potassium in the iron-stress response mechanisms of strategy I and strategy II plants. *J. Plant Nutr.* 15: 1821-1839.
- INIA. 2013. Plan Estratégico de Mejoramiento Genético del Programa Nacional de Innovación Agraria en Raíces y Tuberosas-Papa. DIA. Sub-dirección de Cultivos. Lima, Perú. 37 p.
- INIA. 2014. Plan Estratégico del Programa Nacional de Investigación en Papa. DGIA. Sub-dirección de Cultivos. Lima, Perú. 33 p.
- Iriarte, L., Franco, J. & Ortuño, N. 1999. Efecto de abonos orgánicos sobre las poblaciones de nematodos y la producción de la papa. *Revista Latinoamericana de la Papa. ALAP. Volumen 11, N° 1: 1998-1999.*
- Itzigsohn, R., Burdman, S. & Okon, Y. 2000. Plant growth promotion in natural pastures by inoculation with *Azospirillum brasilense* under suboptimal growth conditions. *Arid Soil Research and rehabilitation* 13: 151-158.

- Ivanova, R., Bojinova, D. & Nedialkova, K. 2006. Rock phosphate solubilization by soil bacteria. *Journal of the University of Chemical Technology and Metallurgy* 41: 297-302.
- Javed, M. & Arshad, M. 1999. Potential of plant growth promoting rhizobacteria for enhancing the growth and yield of potato (*Solanum tuberosum* L.). *Sarhad J. Agri.* 15: 447-452.
- Javed, M., Arshad, M. & Ali, K. 1998. Evaluation of rhizobacteria for their growth promoting activity in maize. *Pak. J. Soil Sci.* 14: 36-42.
- Javed, M. & Arshad, M. 1997. Growth promotion of two wheat cultivars by plant growth promoting rhizobacteria. *Pak. J. Bot.* 29: 243-248.
- Jiménez, Rocío, Virgen, G., Tabares, S. & Olalde, V. 2001. Bacterias promotoras del crecimiento de plantas: agro-biotecnología. *Avance y Perspectiva* Vol. 20: 395-400.
- Khaliq, A., Arshad, M., Khalid, A. & Zahir, Z. A. 1996. Potential of *Azotobacter* and *Pseudomonas* for enhancing wheat (*Triticum aestivum* L.) yield. Pp: 170. In 7<sup>th</sup> International Symposium on BNF with Non-legumes. Oct. 16-21. Faisalabad, Pakistan. (abst.).
- Killian, M., Steiner, U., Krebs, B., Junge, H., Schmiedeknecht, G. & Hain, R. 2001. FZB24 *Bacillus subtilis* mode of action of a microbial agent enhancing plant vitality. *Pflanzenschutz- Nachrichten Bayer* 1: 72-93.
- Kim, D. S., Cook, R. J. & Weller, D. M. 1997. *Bacillus* sp. L324-92 for biological control of three root diseases of wheat grown with reduced tillage. *Phytopathology* 87: 551-558.
- Kloepper, J. W. 1996. Biological control agents vary in specificity for host, pathogen control, ecological habitat and environmental conditions. *Bio. Sci.* 46: 406-409.
- Kloepper, J. W. 1994. Plant Growth Promoting Rhizobacteria (other system). Pp: 135-166. In Y. Okon, Ed. *Azospirillum/Plant Association*. CRC Press, Boca Raton. Florida, USA.
- Kloepper, J. W. 1993. Plant growth promoting rhizobacteria as biological control agents. Pp: 255-274. In F. B. Metting Jr., Ed. *Soil Microbial Ecology*. Dekker, New York, USA.
- Kloepper, J. W., Zablutowicz, R. M., Tipping, E. M., & Lifshitz, R. 1991. Plant growth promotion mediated by bacterial rhizosphere colonizers. Pp: 315-326. In D. L. Keister and P. B. Cregan, Eds. *The Rhizosphere and Plant Growth*. Kluwer Academic Pub, Netherlands.
- Kloepper, J. W., Lifshitz, R. & Zablutowicz, R. M. 1989. Free living bacterial inocula for enhancing crop productivity. *Trends Biotechnol.* 7: 39-44.

- Kloepper, J. W., Hume, D. J., Scher, F. M., Singleton, C., Tipping, B., Lalibert, E. M., Fraulay, K., Kutchaw, T., Simonson, C., Lifshitz, R., Zaleska, I. & Lee, L. 1987. Plant growth-promoting rhizobacteria on canola (rapeseed). *Phytopathology* 71: 42-46.
- Kloepper, J. W., Scher, F. M., Laliberte, M. & Tipping, B. 1986. Emergence promoting rhizobacteria: Description and implication for agriculture. Pp: 155-164. In T. R. Swinburne, Ed. *Iron, Siderophores and plant diseases*. New York, USA.
- Kloepper, J. W. & Schroth, M. N. 1978. Plant growth-promoting rhizobacteria on radishes. In: *Proceedings of the Fourth International Conference on plant pathogenic bacteria*, INRA. Angers (Francia) 2: 879-882.
- Kohashikawa, N., Calvo, P., Oswald, A. & Zúñiga, D. 2007. Capacidad PGPR de *Azotobacter sp* de la rizósfera de papa en los Andes del Perú. XXIII Reunión de la Asociación Interamericana de Rizobiología. Marzo 25 al 28. Córdoba, Argentina
- Krupa, S. W. & Dommergues, Y. K. 1981. *Ecology of root pathogens*. Segunda edición. Elsevier scientific publishing company. Estados Unidos. 270 p.
- Lazarovits, G. & Nowak, J. 1997. Rhizobacteria for improvement of plant growth and establishment. *Scientia Horticulturae* 32: 188-192.
- Ladha, J. K., Kirk, G. J., Bennett, J., Reddy, C. K., Reddy, P. M. & Singh, U. 1998. Opportunities for increased nitrogen use efficiency from improved lowland rice germplasm. *Field Crops Res.* 56: 41-71.
- Lecuona, R. E. 1996. *Microorganismos patógenos empleados en el control microbiano de insectos plaga*. IMYZA-CICA-INTA. Cautelar, Argentina. 338 p.
- Leifert, C., Li, H., Chidburee, S., Hampson, S., Workman, S., Sigee, D., Epton, H. & Harbour, A. 1995. Antibiotic production and biocontrol activity by *Bacillus subtilis* CL27 and *Bacillus pumilus* CL45. *J. Appl. Bacteriol.* 78: 97-108.
- Leong, J. 1986. Their biochemistry, and possible role in the biocontrol of plant pathogens. *Ann. Rev. Phytopathol.* 24: 187-209.
- Lim, H., Kim, Y. & Kim, S. 1991. *Pseudomonas stutzeri* YLP-1 genetic transformation and antifungal mechanism against *Fusarium solani*, an agent of plant root rot. *Appl. Environ. Microbiol.* 57: 510-516.
- Lindemann, R. G., Moore, L. W., Baker, F. B. & Cooksey, D. A. 1983. Strategies for detecting and characterizing systems for biological control of soilborne plant pathogens. *Plant Diseases* 67: 1058-1064.
- Liu, L., Kloepper, J. W. & Tuzun, S. 1995a. Induction of systemic resistance in cucumber against bacterial angular leaf spot by plant growth-promoting rhizobacteria. *Phytopathology* 85: 695-698.

- Liu, L., Kloepper, J. W. & Tuzun, S. 1995b. Induction of systemic resistance in cucumber by plant growth promoting rhizobacteria: duration of protection and effects of host resistance on protection and root colonization. *Phytopathology* 85: 1064-1068.
- Loper, J. E. & Schroth, M. N. 1986. Importance of siderophores in microbial interactions in the rhizosphere. Pp: 85-98. In T. Swinburne, Ed. *Iron, Siderophores and Plant disease*. Plenum, New lenum, New York, London.
- Louw, H. A. & Webley, D. M. 1959. A study of soil bacteria dissolving certain mineral phosphate fertilizers and related compounds. *J. Appl. Bacteriol.* 22: 227-233.
- Loynachan, T. E. 2001. *Soil Microbiol Ecology Laboratory Manual*. Iowa, StateUniversity (EEUU). 76 p.
- Mansour, F. A., Ildesuguy, H. S. & Hamedo, H. A. 1994. Studies on plant growth regulators and enzyme production by some bacteria. *Qatar Univ. Sci. J.* 14: 281-288.
- Malik, K. A., Bilal, R., Mehnaz, S., Rasul, G., Mirza, M. S. & Ali, S. 1997. Association of nitrogen fixing, plant growth promotion rhizobacteria (PGPR) with kallar grass and rice. *Plant Soil* 194: 37-44.
- Mark, G. L. 2002. Tendencias actuales en Agricultura Sostenible, “El uso de inoculantes a base de microorganismos y sus beneficios para la agricultura sostenible”. *Boletín técnico N° 1 de ECO-SAFE*. Cork, Irlanda. 4 p.
- Martin, C. & Torres, H. 1989. Control of Rhizoctonia and other soil-borne diseases of TPS. Pp: 191-205. In *Fungal Diseases of the Potato*. Report of Planning Conference on Fungal Diseases. CIP. Lima, Perú. September 21-25.
- Martinez, R. & Dibut, B. 1996. Los biofertilizantes como pilares básicos de la agricultura sostenible. Pp: 63-81. En INIFAT. Curso Taller “Gestión Medio Ambiental del desarrollo rural”. Cuba.
- Martínez, R., Dibut, B., Casanova, Irma & Ortega, Marisol. 1997. Acción estimuladora de *Azotobacter chroococcum* sobre el cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mil.) en suelo Ferralítico Rojo. Efecto sobre el semillero. *Agrotecnia de Cuba* 27(1): 23.
- Maurhofer, M., Reimann, C., Sacherer, S. P., Heebs, S., Haas, D. & Defago, G. 1998. Salicylic acid biosynthetic genes expressed in *Pseudomonas fluorescens* strain P3 improve the induction of systemic resistance in tobacco against necrosis virus. *Phytopathology* 88: 678-684.
- Mayea, S., Carone, Margarita, Novo, R., Boado, Isabel, Silveira, E., Soria, Miguelina, Morales, Yolanda & Valiño, A. 1998. Pp: 156-178. En Félix Varela, Ed. *Microbiología Agropecuaria*. Tomo II. La Habana, Cuba.

- Mehnaz, S., Mirza, M. S., Hassan, U. & Malik, K. A. 1998. Detection of inoculated plant growth promoting rhizobacteria in rhizosphere of rice. Pp: 75-83. In K. A. Malik, M. S. Mirza and J. K. Ladha, Eds. Nitrogen Fixation with Non-legumes. Kluwer Academic Pub. London, Great Britain.
- MINAGRI. 2015. Día Nacional de la Papa. DGSEP. Biodiversidad, Seguridad Alimentaria y Negocios. Boletín 1. Lima, Perú. 8 p.
- MINAG. 2010. Papa, Día Nacional de la Papa. DGCA. Cadena Agroproductiva. Boletín 1. Lima, Perú. 43 p.
- MINAG. 2007. Día Nacional de la Papa, Anunciando el Año Internacional de la Papa 2008. DGPA. Año 1- Boletín 1. Lima, Perú. 19 p.
- MINAG. 2005. Perú, Centro de Origen de la Papa, Alimento de la Humanidad. DGPA. Año 2- Boletín 2. Lima, Perú. 19 p.
- Miranda, E. 1997. Efecto de diversas fuentes de materia orgánica en un sistema mixto de producción hortícola conducido biológicamente. Tesis para optar el título de Ing. Agron. UNALM. Lima, Perú. 122 p.
- Moghimi, A., Lewis, D. G. & Oades, J. M. 1978. Release of phosphate from calcium phosphates by rhizosphere products. *Soil Biol. Biochem.* 10: 277-281.
- Mojica-Marín, V., Luna-Olivera, H. A., Sandoval-Coronado, C. F., Pereyra-Alfárez, B., Morales-Ramos, L. H., Hernández-Luna, C. E. & Alvarado-Gomez, O. G. 2008. Antagonistic activity of selected strains of *Bacillus thuringiensis* against *Rhizoctonia solani* of chili pepper. *Afr. J. Biotechnol.* 7(9): 1271-1276.
- Mori, S., Nishizawa, N., Hayashi, H., Chino, M., Yoshimura, E. & Ishihara, J. 1991. Why are young rice plants highly susceptible to iron deficiency? *Plant Soil* 130: 143-156.
- Nandakumar, R. 1998. Induction of systemic resistance in rice with fluorescent *Pseudomonas* for the management of sheath blight disease. M. Sc. (Agric.) Thesis, TNAU. Coimbatore, India.
- Nowak, J. 1998. Benefits of in vitro biotization of plant tissue cultures with microbial inoculants. *In Vitro Cell. Dev. Biol. Plant* 34: 122-130.
- Omar, N., Heulin, T., Weinhard, P., Alaa-El-Din, M. N. & Balandreau, J. 1989. Field inoculation of rice with in vitro selected plant growth promoting rhizobacteria. *Agronomie* 9: 803-808.
- Omay, S., Schmidt, W. A. & Martin, P. 1993. Indolacetic acid production by the rhizosphere bacterium *Azospirillum brasilense* Cd. Under in vitro conditions. *Can. J. Microbiol.* 39: 187-192.

- Oswald, A., Calvo, P., Zúñiga, D. & Arcos, J. 2010. Evaluating soil rhizobacteria for their ability to enhance plant growth and tuber yield in potato. *Ann. Appl. Biol.* 157: 259-271.
- Patten, C. L. & Glick, B. R. 2002. Role of *Pseudomonas putida* indolacetic and indevelopment of the host plant root system. *Appl. Environ. Microbiol.* 98: 3795–3801.
- Patten, C. & Glick, B. R. 1996. Bacterial biosynthesis of indole-3-acetic-acid. *Can. J. Microbiol.* 42: 207-220.
- Paul, E. & Clark.1989. *Soil. Microbiology and biochemistry.* Academic Press. San Diego, California. 273 p.
- Pierson, L. S. & Thomashow, L. S. 1992. Cloning and heterologous-expression of the phenazine biosynthetic locus from *Pseudomonas aureofasciens*. *Mol. Plan-Microbe Interac.* 5: 330-339.
- Pietr, S. J., Koran, B. & Stankiewicz, M. 1990. Influence of rock phosphate-dissolving rhizobacteria on the growth and the P-uptake by oat-preliminary results. Pp: 26. Abstract in 2<sup>nd</sup> International Workshop on Plant Growth Promoting Rhizobacteria. Oct. 14-19. Interlaken, Switzerland.
- Potgieter, H. & Alexander, M. 1996. Susceptibility and resistance of several fungi to microbial lysis. *J. Bacteriol.* 91: 1526-1532.
- Primorse, S. B. 1976. Ethylene-forming bacteria from soil and water. *J. Gen. Microbiol.* 97: 343-346.
- Raupach, G. S. & Kloepper, J. W. 1998. Mixtures of plant growth promoting rhizobacteria enhance biological control of multiple cucumber pathogens. *Phytopathology* 88: 1158-1164.
- Reis, V. M., Baldani, J. I., Valdani, V.L.D. & Dobereiner, J. 2000. Biological dinitrogen fixation in grammineae and palm trees. *Crit. Rev. Plant Soil* 19: 227-247.
- Renwick, A., Campbell, R. & Coe, S. 1991. Assessment of in vivo screening systems for potencial biocontrol agents of *Gaeumannomyces graminis*. *Plant Pathol.* 40: 524-532.
- Riggs, P. Chelius, J., M. K., Iniguez, A. L., Kaeppler, S. M. & Triplett, E. W. 2001. Enhanced maize productivity by inoculation with diazotrophic bacteria. *Aust. J. Plant Physiol.* 28: 829-836.
- Rodriguez, H. & Fraga, R. 1999. Phosphate solubilizing bacteria and their role in plant growth promotion. *Biotechnology Advances* 17: 319-339.
- Rodelas, María Belén. 2001. Interacción *Rhizobium-Azospirillum* y *Rhizobium-Azotobacter*. Efecto sobre la nodulación y fijación simbiótica del dinitrógeno en *Vicia faba*. En <http://193.146.205.198/sefin/Ecología/Rodelas.html>.

- Rouatt, J. W. & Katznelson, H. 1961. A study of bacteria on the root surface and in the rhizosphere soil of crop plants. *J. Appl. Bacteriol.* 24: 164-171.
- Salas, A. & Roca, W. 2005. Magnitud e impacto potencial de la liberación de organismos genéticamente modificados y sus productos comerciales, caso papa. Pp: 63-91. En O. Hidalgo, W. Roca y E. N. Fernandez-Northcote, Eds. Magnitud e impacto potencial de la liberación de organismos genéticamente modificados y sus productos comerciales: Casos Algodón, Leguminosas de grano, Maíz y Papa. Consejo Nacional del Medio Ambiente. Lima, Perú.
- Schmiedeknecht, G., Bochow, H. & Junge, H. 1998. Use of *Bacillus subtilis* as biocontrol agent. II Biological control of potato diseases. *Z. Pflanzenk. Pflanzens. J. Plant Dis. Prot.* 105: 376-386.
- Sherchand, K. 2000. Responses of effective microorganisms (EM) and other nutrients to rice and wheat under field conditions at Khumaltar. Nepal. *EM. World J.* 1: 40-44.
- Sikora, R. A. 1988. Interrelationship between plant health promoting rhizobacteria, plant parasitic nematodes and soil microorganisms. *Med. Fac. Landbouww, Rijkuniv, Gent.* 53/2b: 867-878.
- Singh, P. P., Shin, Y. C., Park, C. S. & Chung, Y. R. 1999. Biological control of *Fusarium* wilt of cucumber by chitinolytic bacteria. *Phytopathology* 89: 92-99.
- Tate, R. L. 1995. Soil microbiology. John Wiley & Sons. New York (EEUU). 398 p.
- Toro, M., Azcon, R. & Barea, J. M. 1997. Improvement of arbuscular mycorrhiza development by inoculation of soil with phosphate-solubilizing rhizobacteria to improve rock phosphate bioavailability (32-P) and nutrient cycling. *Appl. Environ. Microbiol.* 63: 4408-4412.
- Torres, G., Valencia, A., Bernal, P., Castillo, M. & Nieto, P. 2000. Isolation of *Enterobacteria*, *Azotobacter sp* and *Pseudomonas sp* producers of Indol 3 Acetic Acid and Siderophores from Colombian rice rhizosphere. *Revista Latinoamericana de Microbiología:* 171-175.
- Torres, H. 2002. Manual de las enfermedades más importantes de la papa en el Perú. Centro Internacional de la Papa. Lima, Perú. 59 p.
- Torres, R., Soria, Eleia Miguelina; Pérez, C. & García, Juliana. 2002. Incrementos de la fijación biológica del nitrógeno mediante la inoculación combinada de bacterias fijadoras de nitrógeno atmosférico. Monografías. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Santa Clara- Villa Rica, Cuba. 22 p.
- Vander Zaag, P. 1986. Necesidades de fertilidad de suelos para la producción de papa. Montevideo, Hemisferio Sur y Centro Internacional de la Papa. Boletín de Información Técnica 14. Lima, Perú. 21 p.



- Velazco, Ana & Castro, R. 1999. Estudio de la inoculación de *Azospirillum brasilense* en el cultivo de arroz (*Oriza sativa*) var. A-82 en condiciones de maceta. *Cultivos Tropicales* 20(1): 5-9.
- Velazhahan, R., Samiyappan, R. & Vidhyasekaran, P. 1999. Relationship between antagonistic activities of *Pseudomonas fluorescens* isolates against *Rhizoctonia solani* and their production of lytic enzymes. *J. Plant Dis. Prot.* 106: 244-250.
- Vidhayasekaran, P. & Muthamilan, M. 1999. Evaluation of powder formulation of *Pseudomonas fluorescens* Pfl for control of rice sheath blight. *Biocontrol Sci. Technol.* 9: 67-74.
- Velivelli, S. L. S., Sessitsch, Angela & Prestwich, Barbara. 2015. The role of microbial inoculants in Integrated Crop Management Systems. *Potato Research*: 1-19 doi: 10.1007/s11540-014-9278-9.
- Velivelli, S. L. S., De Vos, P., Kromann, P., Declerck, Stephane, & Prestwich, Barbara. 2014. Biological control agents: from field to market, problems, and challenges. *Science and Society* 32: 493-496.
- Velivelli, S. L. S., Kromann, P., Lojan, P., Rojas, M., Franco, J., Suarez, J. P. & Prestwich, Barbara. 2014. Identification of mVOCs from Andean Rhizobacteria and Field Evaluation of Bacterial and Mycorrhizal Inoculants on Growth of Potato in its center of Origin. *Microb Ecol*: 1-16. doi: 10.1007/s00248-014-0514-2.
- Villagarcía, S. 1987. La nutrición mineral y la fertilización de la papa. Pp. 156-167. En el cultivo de papa con énfasis en producción de semilla. UNALM. Lima, Perú.
- Viswanathan, R. & Samiyappan, R. 1999. Induction of systemic resistance by plant growth promoting rhizobacteria against red rot disease caused by *Colletotrichum falcatum* in sugarcane. *Proc. Sugar Technol. Assoc. of India* 61: 24-39.
- Wang, Y., Brown, H. N., Crowley, D. E. & Szanislo, P. J. 1993. Evidence for direct utilization of a siderophore, ferrioxamine B, in axenically grown cucumber. *Plant Cell Environ.* 16: 579-585.
- Webley, D. M. & Duff, R. B. 1962. A technique for investigating localized microbial development in soils. *Nature* 194: 364-365.
- Wei, G., Kloepper, J. W. & Tuzun, S. 1991. Induction of systemic resistance of cucumber to *Colletotrichum orbiculare* by select strains of plant growth promoting rhizobacteria. *Phytopathology* 80: 1508-1512.
- Wei, G., Kloepper, J. W. & Tuzun, S. 1996. Induced systemic resistance to cucumber diseases and increased plant growth by plant growth promoting rhizobacteria under field conditions. *Phytopathology* 86: 221-224.

- Xia, L., Ding, X., Li, J. & Mei, R. 1990. Mechanism of PGPR. I. Influence of PGPR on physiology, resistance, quality and yield of rapeseed. *Agri. Sci. Hunan* 106: 24-26.
- Young, S., Pharis, R. P., Reid, D., Reddy, M. S., Lifshitz, R. & Brown, G. 1991. PGPR: Is there a relationship between plant growth regulators and the stimulation of plant growth or biological control activity?. Pp: 102-103. In C. Keel, B. Koller and De'faso, Eds. *Second International Workshop on Plant Growth promoting Rhizobacteria*. Oct. 14-19, 1990. Bull. Srop. Interlaken, Switzerland.
- Zahir, Z. A., Arshad, M. & Frankenberger, W. 2004. Plant growth promoting rhizobacteria: Applications and perspectives in Agriculture. *Advances in Agronomy* 81: 97-168.
- Zahir, Z. A., Akram, M., Arshad, M. & Khalid, A. 1998. Improving maize yield by inoculation with plant growth promoting rhizobacteria. *Pak. J. Soil Sci.* 15: 7-11.
- Zahir, Z. A., Arshad, M. & Hussain, A. 1996. Response of wheat (*Triticum aestivum* L) to *Azotobacter* inoculation under fertilized condition. *Sarhad J. Agri.* 7: 133-138.
- Zahir, Z. A. & Arshad, M. 1996. Effectiveness of *Azotobacter* inoculation for improving potato yield under fertilized conditions. *Pak. J. Soil Sci.* 33: 1-8.
- Zaag, D. E. Van Der. 1990. La patata y su cultivo en los países bajos. Instituto Consultivo Holandés sobre la Patata. La Haya, Holanda. 76 p.
- Zehnder, G., Kloepper, J. W., Yao, C. & Wei, G. 1997a. Induction of systemic resistance in cucumber against cucumber beetles (*Coleoptera: Chrysomelidae*) by plant growth-promoting rhizobacteria. *J. Econ. Entomol.* 90: 391-396.
- Zehnder, G., Kloepper, J. W., Tuzun, S., Yao, C., Wei, G., Chambliss, O. & Shelby, R. 1997b. Insect feeding on cucumber mediated by rhizobacteria-induced plant resistance. *Entomol. Exp. Appl.* 83: 81-85.
- Zúñiga, D. 2007. Control de fitopatógenos del cultivo de papa por bacterias antagónicas aisladas de la rizósfera del mismo cultivo. Informe Técnico Final. 163-2006-CONCYTEC-OAJ

## ANEXO I. CUADROS

**Cuadro 1. Factores del ensayo “concentración y momento adecuado de inoculación de rizobacterias promotoras de crecimiento de plantas”.**

Factor	Nivel	Código
<b>Microrganismo</b>	Bac14M1a	M <sub>1</sub>
	Act16M2	M <sub>2</sub>
	Azo4M4	M <sub>3</sub>
<b>Concentración</b>	1 x 10 <sup>8</sup> ufc/ml	C <sub>1</sub>
	1 x 10 <sup>6</sup> ufc/ml	C <sub>2</sub>
	1 x 10 <sup>4</sup> ufc/ml	C <sub>3</sub>
<b>Momento de Inoculación</b>	Inoculación a la siembra	A <sub>1</sub>
	Inoculación a la siembra y aporque	A <sub>2</sub>
	Inoculación al aporque	A <sub>3</sub>

**Cuadro 2. Altura de plantas (cm) del ensayo “concentración y momento adecuado de inoculación de rizobacterias promotoras de crecimiento de plantas” (PGPR).**

M1									M2									M3								
C1			C2			C3			C1			C2			C3			C1			C2			C3		
A1	A2	A3	A1	A2	A3	A1	A2	A3	A1	A2	A3	A1	A2	A3	A1	A2	A3	A1	A2	A3	A1	A2	A3	A1	A2	A3
27	21	31	26	35	28	34	26	20	37	25	24	34	29	30	23	19	21	25	25	21	25	24	20	21	21	28
22	36	23	26	39	34	24	30	41	38	37	25	27	28	32	20	21	22	27	26	30	24	23	21	20	17	17
31	24	38	33	29	29	20	27	24	26	36	37	26	31	38	22	25	35	34	30	22	23	24	22	26	22	20
23	27	22	25	26	25	20	22	29	32	29	25	22	26	31	17	26	17	28	25	20	30	19	17	16	20	24

**Cuadro 3. Número de tubérculos del ensayo “concentración y momento adecuado de inoculación de PGPR.**

M1									M2									M3								
C1			C2			C3			C1			C2			C3			C1			C2			C3		
A1	A2	A3	A1	A2	A3	A1	A2	A3	A1	A2	A3	A1	A2	A3	A1	A2	A3	A1	A2	A3	A1	A2	A3	A1	A2	A3
5	7	7	8	5	4	7	4	8	7	10	11	8	6	11	5	7	7	16	6	9	6	9	10	7	9	13
5	14	7	4	9	7	9	6	5	12	13	11	6	10	9	5	6	6	16	9	6	7	12	10	6	4	8
7	9	10	5	5	10	9	8	9	12	7	8	4	4	8	2	5	10	15	7	8	7	11	8	5	5	9
10	8	6	4	7	5	11	5	5	10	7	9	5	6	5	4	8	5	10	15	11	8	16	13	7	5	6

**Cuadro 4. Peso de tubérculos (g) del ensayo “concentración y momento adecuado de inoculación de PGPR.**

M1									M2									M3											
C1			C2			C3			C1			C2			C3			C1			C2			C3					
A1	A2	A3	A1	A2	A3	A1	A2	A3	A1	A2	A3	A1	A2	A3	A1	A2	A3	A1	A2	A3	A1	A2	A3	A1	A2	A3	A1	A2	A3
61.8	61.1	57.1	36.5	56.7	54.0	41.3	65.0	52.3	60.0	40.5	66.0	63.8	77.1	48.7	57.2	44.7	29.1	42.6	43.0	26.6	41.6	43.2	52.8	51.7	42.1	58.2			
55.5	57.7	54.2	59.5	52.9	65.5	51.5	37.0	44.3	67.8	73.5	56.5	61.4	50.0	72.5	36.6	41.7	31.8	58.1	49.0	39.3	39.8	50.0	42.3	38.2	22.9	49.3			
59.6	63.9	61.3	45.7	53.1	63.0	58.5	55.1	60.0	53.6	40.0	42.8	46.7	55.6	63.6	51.2	36.1	44.4	40.1	32.8	36.7	37.1	46.6	51.0	41.0	27.3	35.2			
61.5	66.2	40.8	61.5	48.8	46.5	57.0	48.3	54.3	46.7	58.5	40.0	53.0	39.7	65.2	66.6	38.1	43.2	46.1	37.8	44.3	41.8	39.5	53.1	43.4	31.5	38.1			

**Cuadro 5. Tratamientos del ensayo efecto de rizobacterias en el control de *Rhizoctonia solani*.**

Tratamiento	Código
Bac 17M8	T1
Bac 17M9	T2
Bacillus de Bolivia	T3
Suelo infestado con <i>Rhizoctonia</i>	T4
Suelo libre de <i>Rhizoctonia</i>	T5

**Variedades**

V1: Ccompis

V2: Andina

**Cuadro 6. Características físicoquímicas del sustrato utilizado para los ensayos en macetas y camas de invernadero**

Muestra	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	Textura	N (%)	P (ppm)	K (ppm)	pH	C.E (Mmhos/cm)	M. O. (%)	Al (me/100g)	CaCO3 (%)
Sustrato	49.00	45.00	6.00	Fr. Ar	0.12	23.75	245.60	5.56	0.59	3.40	T	0.00

**Cuadro 7. Características físicoquímicas del suelo infestado con *Rhizoctonia solani* utilizado para el ensayo efecto de PGPR en el control de *R. solani***

Muestra	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	Textura	N (%)	P (ppm)	K (ppm)	pH	C.E (Mmhos/cm)	M. O. (%)	Al (me/100g)	CaCO3 (%)
Suelo infestado	37.00	59.00	4.00	FL	0.08	23.80	238.99	5.77	0.155	2.35	0.00	0.00

## Cuadro 8. Métodos utilizados en el análisis y tabla de interpretación de los resultados de las características físicoquímicas de los suelos

### MÉTODOS SEGUIDOS EN EL ANÁLISIS DE SUELOS

- Textura: % de arena, limo y arcilla; método del hidrómetro
- Salinidad: medida de la conductividad eléctrica (CE) del extracto acuoso en la relación suelo:agua 1:1 ó en el extracto de pasta de saturación(es).
- pH: medida en el potenciómetro de la suspensión suelo:agua relación 1:1 ó en suspensión suelo:KCl N, relación 1:2,5.
- Calcáreo total (CaCO<sub>3</sub>): método gaso-volumétrico utilizando un calcímetro.
- Materia orgánica: método Walkley y Black, oxidación del carbono orgánico con dicromato de potasio.
- Nitrógeno total: método del micro-Kjeldahl.
- Fósforo disponible: método del Olsen modificado, extracción con NaHCO<sub>3</sub>=0,5M, pH 8,5.
- Potasio disponible: extracción con acetato de amonio (CH<sub>3</sub>-COONH<sub>4</sub>) N, pH 7,0.
- Capacidad de intercambio catiónico (CIC): saturación con acetato de amonio (CH<sub>3</sub>-COOCH<sub>3</sub>) N; pH 7,0.
- Ca<sup>+2</sup>, Mg<sup>+2</sup>, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup> cambiabiles: reemplazamiento con acetato de amonio (CH<sub>3</sub>-COONH<sub>4</sub>)N; pH 7,0 cuantificación por fotometría de llama y/o absorción atómica Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>; Ca<sup>+2</sup>, Mg<sup>+2</sup> EDTA.
- Al+3+h: método de Yuan. Extracción con KCl, N.
- Iones solubles: Ca<sup>+2</sup>, Mg<sup>+2</sup> EDTA; Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup> fotometría de llama y/o absorción atómica; Cl<sup>-</sup>, CO<sub>3</sub><sup>=</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>=</sup>, NO<sub>3</sub><sup>=</sup>: volumetría y colorimetría, SO<sub>4</sub> Turbidimetría con cloruro de bario.
- Boro soluble: extracción con agua, cuantificación con curcumina.
- Yeso soluble: solubilización con agua y precipitación con acetona.

TABLA DE INTERPRETACION

Salinidad			Nitrógeno	Materia Orgánica	Fósforo Disponible	Potasio Disponible	Relaciones Catiónicas		
Clasificación	CE(es)	Clasificación	%	%	ppm P	ppm K	Clasificación	K/Mg	Ca/Mg
Muy ligeramente salino	<2	Bajo	0 – 0,1	<2,0	<7,0	<100	Normal	0,2-0,3	5 a 9
Ligeramente salino	2 a 4	Medio	0,1 – 0,2	2 a 4	7,0 a 14	100-240	Deficiente Mg	>0,5	
Moderadamente salino	4 a 8	Alto	>0,2	>4,0	>14	>240	Deficiente K	>0,2	
Fuertemente salino	>8						Deficiente Mg		>10

Reacción ó pH		Clases Texturales				Distribución de Cationes	
Clasificación	pH						
Fuertemente ácido	<5,5	A	Arena	FArA	Franco arcillo arenoso	Ca <sup>+2</sup>	60-75
Moderadamente ácido	5,6-6,0	AF	Arena franca	FAr	Franco arcilloso	Mg <sup>+2</sup>	15-20
Ligeramente ácido	6,1-6,5	FA	Franco arenoso	FArL	Franco arcillo limoso	K <sup>+</sup>	3 a 7
Neutro	7,0	Fr	Franco	ArA	Arcillo arenoso	Na <sup>+</sup>	<15
Ligeramente alcalino	7,1-7,8	FL	Franco limoso	ArL	Arcillo limoso		
Moderadamente alcalino	7,9-8,4	L	Limoso	Ar	Arcilloso		
Fuertemente alcalino	>8,5						

**Equivalencias:**

- 1 ppm = 1 mg/kilogramo.
- 1 millimho (mmho/cm) = 1 deciSiemens/metro.
- 1 meliequivalente/100g = 1 cmol(+)/kilogramo.
- Sales solubles totales (TDS) en ppm ó mg/kg = 640 x CEes.
- CE (1 : 2,5) mmho/cm x 2 = CE (es) mmho/cm

**Cuadro 9. Número de plántulas muertas por infección de *Rhizoctonia solani* en el ensayo “efecto de rizobacterias en el control de *R. solani*”.**

Variedad	Tratamiento	Repetición				Promedio	Porcent de plántulas muertas
		I	II	III	IV		
Ccompis	17M8	12	10	8	9	9.8	19.96
	17M9	11	13	7	11	10.5	21.43
	Bacillus Bolivia	8	10	5	7	7.5	15.31
	Suelo infestado	7	9	12	27	13.7	28.02
	Suelo libre	0	0	0	0	0	0.00
Andina	17M8	6	6	5	4	5.3	10.76
	17M9	7	6	8	6	6.8	13.84
	Bacillus Bolivia	9	6	6	2	5.8	11.78
	Suelo infestado	11	7	15	5	9.8	19.89
	Suelo limpio	0	0	0	0	0	0.00

**Cuadro 10. Altura de plantas (m) del ensayo “efecto de rizobacterias en el control de *R. solani*”.**

Variedad Papa	Tratamiento	Repetición				Promedio
		I	II	III	IV	
Ccompis (V1)	17M8	1.4	1.3	1.6	1.1	1.35
	17M9	1.05	1.5	1.7	1.4	1.41
	Bacillus Bolivia	1.3	1.35	1.65	1.6	1.48
	Suelo infestado	1.4	1.3	1.6	1.3	1.40
	Suelo limpio	1.45	1.4	1.7	1.7	1.56
Andina (V2)	17M8	1.1	1	1.35	1.65	1.28
	17M9	1.3	1.5	1.5	1.65	1.49
	Bacillus Bolivia	1.25	1.45	1.5	1.7	1.48
	Suelo infestado	1.3	1.4	1.45	1.6	1.44
	Suelo limpio	1.35	1.5	1.7	1.6	1.54

**Cuadro 11. Número de tubérculos sanos en las variedades Ccompis y Andina del ensayo “efecto de rizobacterias en el control de *R. solani*”.**

BLOQUE	V1					V2				
	T1	T2	T3	T4	T5	T1	T2	T3	T4	T5
I	114	113	119	100	121	132	133	176	186	397
II	145	120	99	111	112	288	431	622	540	429
III	118	119	100	133	124	277	290	385	224	309
IV	88	129	66	112	123	451	376	406	374	331

**Cuadro 12. Peso de tubérculos sanos (kg/m<sup>2</sup>) en las variedades Ccompis y Andina del ensayo “efecto de rizobacterias en el control de *R. solani*”.**

BLOQUE	V1					V2				
	T1	T2	T3	T4	T5	T1	T2	T3	T4	T5
I	2.16	1.64	2.10	1.32	1.60	2.18	3.08	2.46	1.94	3.70
II	1.70	1.92	1.36	1.10	1.46	3.48	6.00	7.46	5.58	4.50
III	1.76	2.14	1.70	1.76	2.08	3.12	3.74	5.06	2.70	3.96
IV	1.90	2.36	0.86	1.76	2.04	4.76	5.30	5.08	4.76	4.16

**Cuadro 13. Número de tubérculos sanos e infectados por *Rhizoctonia solani* (número total) en las variedades Ccompis y Andina del ensayo “efecto de rizobacterias en el control de *R. solani*”.**

BLOQUE	V1					V2				
	T1	T2	T3	T4	T5	T1	T2	T3	T4	T5
I	136	140	146	131	223	163	167	205	250	531
II	179	152	121	150	190	322	462	635	585	475
III	142	148	121	158	259	307	315	422	266	398
IV	95	152	75	140	291	460	389	424	417	382

**Cuadro 14. Peso de tubérculos sanos e infectados por *R. solani* (peso total) (kg/m<sup>2</sup>) en las variedades Ccompis y Andina del ensayo “efecto de rizobacterias en el control de *R. solani*”.**

BLOQUE	V1					V2				
	T1	T2	T3	T4	T5	T1	T2	T3	T4	T5
I	3.06	1.88	2.30	1.54	2.62	2.34	3.42	2.86	2.38	4.68
II	1.92	2.22	1.46	1.20	1.90	3.78	6.30	7.56	5.70	4.92
III	2.00	2.50	1.84	1.90	3.38	3.34	4.08	5.52	2.90	5.40
IV	1.94	2.58	0.94	1.90	3.26	4.86	5.48	5.34	5.06	4.94

**Cuadro 15. Peso materia seca (g) del ensayo “efecto de rizobacterias en el control de *R. solani*”.**

Tratamiento	Materia seca (g)			
	I	II	III	IV
V1T1	59.58	60.92	58.27	57.10
V1T2	54.75	61.85	58.13	66.00
V1T3	60.00	59.51	62.46	60.66
V1T4	54.20	55.63	60.14	60.60
V1T5	63.10	56.88	74.10	69.90
V2T1	51.40	52.74	51.42	54.11
V2T2	51.30	54.59	57.60	61.10
V2T3	52.40	56.05	51.20	53.45
V2T4	60.74	56.00	59.65	57.25
V2T5	58.72	56.13	60.00	59.00

**Cuadro 16. Tratamientos del ensayo capacidad de rizobacterias promotoras de crecimiento de plantas para mejorar productividad en papa.**

N°	Tratamiento	Código
1	Bac20M1 + 5 t/ha estiércol ovino	T1
2	Act16M2 + 5 t/ha estiércol ovino	T2
3	Bac17M10 + 5 t/ha estiércol ovino	T3
4	Azo16M2 + 5 t/ha estiércol ovino	T4
5	Azo1M4 + 5 t/ha estiércol ovino	T5
6	Azo2M2 + 5 t/ha estiércol ovino	T6
7	Azo18M1 + 5 t/ha estiércol ovino	T7
8	Bac17M8 + 5 t/ha estiércol ovino	T8
9	Estiércol de ovino sólo 5 t/ha	T9
10	Estiércol ovino sólo 5 t/ha + fertilización química (60-60-60)	T10
11	Bac20M1 + fertilización química (60-60-60) + 5 t/ha est. ovino	T11
12	Act16M2 + fertilización química (60-60-60) + 5 t/ha est. ovino	T12
13	Control no inoculado sin estiércol de ovino	T13

**Cuadro 17. Características físicoquímicas de suelo de campo experimental del ensayo capacidad de PGPR para mejorar productividad en papa.**

Muestra	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	Textura	N (%)	P (ppm)	K (ppm)	pH	C.E (Mmhos/cm)	M. O. (%)	Al (me/100g)	CaCO3 (%)
Suelo experimental	48.00	32.00	20.00	Fr	0.00	27.10***	148.00**	6.40	0.58	2.59**	0.20	0.00

\*Contenido bajo

\*\*Contenido medio

\*\*\*Contenido alto



**Cuadro 18. Peso y números de tubérculos del ensayo capacidad de PGPR para mejorar productividad en papa.**

Codigo	Tratamiento	Nro pitas/18m2	PESO DE TUBERCULOS									PESO TOTAL	NUMERO DE TUBERCULOS						
			PRIMERA	SEGUNDA	TERCERA	CONSUMO	Dañados por VERRUGA	Dañados por RHIZOCTONIA	Dañados por RONA	Dañados por PLAGAS	PRIMERA		SEGUNDA	TERCERA	CONSUMO	Dañados por VERRUGA	Dañados por RHIZOCTONIA	Dañados por RONA	Dañados por PLAGAS
101	T3	55	1.80	3.80	6.90	9.00	0.52	1.38	0.00	0.00	78.40	15	47	138	520	12	40		
102	T2	56	3.24	2.90	8.80	13.00	0.36	1.00	0.00	0.30	85.60	29	34	193	680	7	17		7
103	T7	56	0.86	2.66	10.50	11.00	0.30	0.74	0.14	0.25	82.45	8	32	241	573	11	14	3	6
104	T5	57	1.82	2.44	9.00	17.00	0.36	2.14	0.00	0.40	90.16	14	29	188	980	9	64		6
105	T1	54	1.00	1.52	5.98	6.00	0.28	0.84	0.54	0.00	70.16	8	19	143	418	8	28	6	
106	T6	54	1.82	3.00	8.50	12.00	0.70	0.26	0.88	0.00	81.16	17	26	184	583	16	3	12	
107	T10	56	3.20	4.44	9.08	11.50	0.62	0.62	0.14	0.18	85.78	29	53	200	525	8	13	2	4
108	T4	52	3.24	3.52	7.60	7.90	0.70	0.84	0.00	0.00	75.80	28	45	162	440	11	12		
109	T12	60	3.54	3.28	10.00	14.00	0.28	0.36	0.28	0.26	92.00	32	42	200	627	8	7	4	3
110	T9	58	2.40	2.58	6.96	10.50	0.42	0.42	0.40	0.00	81.68	22	32	148	519	7	8	9	
111	T11	59	3.44	3.30	7.24	11.70	0.20	0.56	0.34	0.36	86.14	32	41	155	585	4	10	8	6
112	T8	57	3.76	4.68	5.70	8.50	0.66	0.64	1.50	0.58	83.02	36	45	135	568	14	13	32	12
113	T13	57	1.26	2.22	2.52	2.31	0.66	0.00	2.01	0.00	67.98	18	33	117	105	33	0	51	0
201	T3	59	2.84	3.94	4.74	13.50	0.26	0.36	1.10	0.00	85.74	22	43	102	515	3	7	19	
202	T7	59	3.54	5.10	3.94	8.50	0.28	0.60	1.26	0.32	82.54	34	90	123	348	5	11	20	8
203	T6	58	2.54	4.48	7.48	8.90	0.14	0.18	0.80	0.00	82.52	34	160	180	433	2	5	16	
204	T1	59	2.24	4.32	6.00	7.50	0.32	0.52	1.58	0.00	81.48	20	64	170	435	5	13	26	
205	T2	58	4.54	3.48	7.12	7.00	0.34	0.24	0.48	0.20	81.40	55	62	255	384	12	5	7	6
206	T5	58	2.98	4.24	6.72	7.80	0.36	1.52	0.00	0.22	81.84	32	71	198	446	5	31		5
207	T13	58	1.23	2.37	2.88	2.07	0.63	0.00	2.37	0.00	69.55	12	27	117	111	9	0	30	0
208	T10	59	3.86	4.72	7.46	10.70	0.24	0.52	0.52	0.00	87.02	39	71	200	490	6	10	8	
209	T11	59	2.98	4.20	9.04	10.40	0.26	1.16	0.54	0.14	87.72	30	53	239	560	3	26	6	3

210	T4	56	3.20	2.90	4.68	14.70	0.30	1.20	0.14	0.62	83.74	27	39	110	725	5	28	2	14
211	T8	56	3.54	5.40	8.50	11.00	0.46	1.14	0.00	0.00	86.04	34	84	216	610	8	19		
212	T9	57	3.90	3.60	8.80	11.50	0.10	0.48	0.00	0.20	85.58	40	54	219	590	1	9		5
213	T12	55	2.82	4.42	4.62	9.90	0.16	1.26	0.00	0.10	78.28	27	72	120	517	4	28		2
301	T10	54	3.56	4.28	4.84	9.70	0.42	0.78	0.00	0.24	77.82	30	62	115	450	12	19		6
302	T13	56	1.20	2.16	2.85	2.73	0.39	0.00	1.26	0.60	67.19	15	30	126	111	9	0	54	15
303	T1	58	3.98	5.04	8.32	11.60	0.28	1.32	0.00	0.10	88.64	40	72	210	500	6	27		1
304	T4	60	3.14	3.52	7.60	8.10	0.10	0.34	0.00	0.16	82.96	35	85	255	513	2	6		4
305	T9	56	3.30	3.48	6.52	10.30	0.16	1.00	0.00	0.38	81.14	31	51	151	725	2	25		7
306	T3	59	2.90	2.82	9.00	8.30	0.56	1.10	0.00	0.20	83.88	30	41	233	472	20	42		6
307	T8	55	3.00	6.32	8.00	7.90	0.68	0.68	0.48	0.24	82.30	33	100	245	440	17	15	10	8
308	T7	58	2.58	3.00	6.60	9.30	0.32	1.48	0.34	0.16	81.78	29	50	170	540	6	46	8	4
309	T11	57	1.92	2.04	5.66	8.90	0.64	1.82	0.62	0.14	78.74	18	29	138	449	14	54	15	2
310	T6	59	2.20	2.04	5.76	8.40	0.42	2.16	0.52	0.00	80.50	24	31	138	420	11	95	15	
311	T12	58	2.38	3.28	6.62	8.48	0.24	0.68	2.50	0.20	82.38	24	47	150	430	8	19	58	4
312	T5	59	2.32	1.82	3.94	7.90	0.46	0.96	2.92	0.20	79.52	23	26	53	438	13	18	59	4
313	T2	60	2.14	1.94	3.30	7.92	0.20	0.50	9.90	0.00	85.90	20	27	70	350	3	15	227	
401	T4	59	2.24	1.02	3.22	6.42	0.18	0.96	7.32	0.30	80.66	21	14	40	300	7	32	182	8
402	T1	58	4.18	2.08	4.34	5.76	0.22	0.50	4.48	0.10	79.66	41	30	172	270	5	15	113	2
403	T10	59	3.06	4.56	4.96	9.32	0.26	0.74	0.66	0.24	82.80	31	81	132	461	8	13	14	5
404	T3	58	2.48	4.06	4.94	9.50	0.32	0.98	0.92	0.25	81.45	24	64	125	399	9	28	19	4
405	T9	57	2.90	4.16	7.18	6.76	0.14	1.14	0.38	0.36	80.02	30	68	193	370	7	39	10	13
406	T8	55	4.12	3.84	5.86	7.80	0.36	2.36	0.10	0.38	79.82	60	70	178	440	7	79	2	15
407	T2	59	3.20	5.38	5.74	10.70	0.34	1.82	0.00	0.00	86.18	40	90	158	533	16	68		
408	T13	57	1.17	2.04	2.52	2.31	0.36	0.00	1.38	0.54	67.32	18	33	120	111	6	0	15	12
409	T7	58	3.38	3.10	5.48	8.60	0.32	1.46	0.00	0.34	80.68	39	55	156	475	8	53		13
410	T12	56	2.76	3.26	6.86	8.58	0.36	1.60	0.10	0.26	79.78	26	50	203	460	13	61	1	4
411	T5	56	1.24	3.22	6.86	7.96	0.40	2.30	0.15	0.10	78.23	12	54	191	480	8	77	1	3
412	T11	59	4.72	4.72	9.10	11.30	0.00	3.70	0.00	0.00	92.54	42	54	203	583		75		
413	T6	54	3.66	4.36	6.14	8.30	0.30	3.26	0.00	0.30	80.32	36	52	145	440	5	99		9

**Cuadro 19. Peso y números de tubérculos del ensayo capacidad de PGPR para mejorar productividad de papa en la localidad de Salcedo.**

Tratam.	Peso de tubérculos/18m2								Número de tubérculos/18m2								Severidad %	
	1ra.	2da.	3ra.	Consumo	Rizoct.	Roña	Otros	Peso Tot	1ra.	2da.	3ra.	Consumo	Rizoct.	Roña	Otros	Nº Tot	Rizoct.	Roña
Azo 39	7.96	8.42	6.3	6.72	2.68	0	2.54	<b>34.62</b>	20	42	28	348	65	0	79	<b>582</b>	15	0
guano	2.48	5.4	4.4	8.56	0.48	0	3.84	<b>25.16</b>	23	34	46	324	6	0	132	<b>565</b>	10	0
Act 30	2.72	2.06	3.16	8.14	1.02	0.28	3.04	<b>20.42</b>	27	33	73	360	18	13	102	<b>626</b>	15	5
Bac 21+Z	5.2	3.24	2.26	12.02	1.46	0.78	4.04	<b>29.00</b>	50	49	50	470	16	11	115	<b>761</b>	15	5
Azo 16	2.64	5.72	5.62	11.32	1.34	0.14	4.92	<b>31.70</b>	18	65	104	482	40	2	135	<b>846</b>	75	5
Azoll 2	4.06	4.4	4.18	9.34	2.52	0.04	5.52	<b>30.06</b>	34	60	80	340	70	1	185	<b>770</b>	35	5
P 6	5.96	5.56	5.34	12.48	1.32	0	2.24	<b>32.90</b>	50	80	120	505	26	0	60	<b>841</b>	20	0
Bac 21	3.84	3.34	4.82	11.62	2.34	0.06	3.82	<b>29.84</b>	36	48	95	490	41	2	100	<b>812</b>	35	5
Act 16M2	8.48	7.58	5.66	14.86	2.6	0.46	2.1	<b>41.74</b>	73	107	125	633	37	7	44	<b>1026</b>	30	5
Testigo	5.16	4.48	3.86	14.58	1.14	0.2	1.58	<b>31.00</b>	100	160	91	413	22	5	51	<b>842</b>	65	10
Azo 39	5.82	8.74	4.44	17.04	2.46	0.18	0.96	<b>39.64</b>	82	125	90	660	50	2	40	<b>1049</b>	45	5
Act 30	6.74	4.76	8.86	10.4	2.76	0.26	1.04	<b>34.82</b>	65	66	195	484	55	4	32	<b>901</b>	35	0
Azoll 2	5.58	3.28	3.14	10.68	2.74	0.4	1.24	<b>27.06</b>	69	86	165	493	53	7	37	<b>910</b>	30	5
Azo 16	4.24	6.28	8.6	12.84	1.76	0	2.74	<b>36.46</b>	33	82	190	550	30	0	62	<b>947</b>	25	0
Guano	6.38	4.48	8.02	9.78	1.64	0	2.54	<b>32.84</b>	58	68	180	410	28	0	70	<b>814</b>	35	0
Bac 21+Z	7.12	5.96	5.6	11.2	2.5	0.08	4.48	<b>36.94</b>	58	82	130	360	38	2	115	<b>785</b>	55	5
P 6	4.8	4.5	7.12	7.12	2.2	1.12	5.12	<b>31.98</b>	40	58	143	365	50	16	150	<b>822</b>	30	10
Bac 21	4.68	2.88	3.16	8.46	0.6	1.42	3.86	<b>25.06</b>	54	53	78	401	14	26	129	<b>755</b>	65	15
Testigo	5.4	6.76	5.42	9.18	2.14	0.15	2.58	<b>31.63</b>	49	104	137	483	30	0	76	<b>879</b>	65	10
Act 16M2	8.76	6.82	5.78	7.98	2.82	1.74	3.14	<b>37.04</b>	37	43	91	300	59	32	113	<b>675</b>	40	10
P 6	4.14	5.18	4.5	7.58	1.1	1.04	4.36	<b>27.90</b>	33	60	102	300	53	28	148	<b>724</b>	45	5
Azo 16	8.18	7.94	6.36	3.36	2.86	2.26	2.66	<b>33.62</b>	26	80	150	190	81	44	90	<b>661</b>	65	25
Azoll 2	4.78	4.62	3.56	5.86	2.92	1.92	2.72	<b>26.38</b>	21	51	72	275	57	34	90	<b>600</b>	45	15
Act 16M2	8.84	6.86	6.22	9.62	2.62	1.56	2.48	<b>38.20</b>	24	73	150	280	43	18	60	<b>648</b>	25	5
Azo 39	5.74	5.58	6.7	8.02	2.62	0.48	4.78	<b>33.92</b>	49	76	153	400	47	7	113	<b>845</b>	60	5
Testigo	5.94	3.14	4.84	5.08	2.28	0.13	3.96	<b>25.37</b>	99	106	232	330	66	4	90	<b>927</b>	55	10
Act 30	6.82	7.16	6.84	9.62	3.96	0.62	1.76	<b>36.78</b>	62	123	170	510	90	11	75	<b>1041</b>	80	10

Bac 21	8.5	5.36	6.36	9.6	3.32	0.4	1.5	<b>35.04</b>	114	130	75	440	80	9	52	<b>900</b>	50	5
Bac 21+Z	6.98	13.9	6.62	5.56	3.48	0.08	1.76	<b>38.38</b>	60	230	262	420	89	3	53	<b>1117</b>	70	2
Guano	5.7	5.12	7.48	11.98	2.12	0.44	2.52	<b>35.36</b>	68	124	153	505	34	6	59	<b>949</b>	40	5
Bac 21	10.1	8.76	7.46	9.66	2.74	0.16	2.06	<b>40.94</b>	91	120	140	400	78	4	66	<b>899</b>	70	2
Azo 16	9.68	7.16	6.62	10.44	2.82	0.54	2.46	<b>39.72</b>	95	312	190	400	61	10	60	<b>1128</b>	70	5
P 6	5.74	4.78	7.8	7.68	2.64	0.64	1.9	<b>31.18</b>	108	145	193	616	54	9	70	<b>1195</b>	40	5
Azo 39	6.98	6.52	6.52	12.48	4.26	0.26	1.9	<b>38.92</b>	78	134	225	545	82	5	70	<b>1139</b>	80	5
Act 16M2	7.28	7.76	8.7	10.68	3.08	0.64	4.22	<b>42.36</b>	65	120	204	476	64	8	105	<b>1042</b>	40	3
Testigo	4.5	4.92	7.26	9.54	4.14	0.1	3.74	<b>34.20</b>	80	143	136	455	59	0	106	<b>979</b>	60	10
Guano	8	6.36	5.58	7.7	4.96	1.2	6.06	<b>39.86</b>	65	100	120	340	98	18	165	<b>906</b>	70	5
Act 30	3.82	3.6	4.08	5.92	3.1	2.7	2.6	<b>25.82</b>	33	60	43	235	74	34	70	<b>549</b>	80	10
Bac 21+Z	4.88	5.84	6.22	6.12	3.7	0.48	2.6	<b>29.84</b>	45	84	151	330	92	8	86	<b>796</b>	60	5
Azoll 2	4.48	4.24	3.04	7.52	1.46	1.46	3.5	<b>25.70</b>	40	62	67	260	34	29	93	<b>585</b>	45	15

**Cuadro 20. Peso y números de tubérculos del ensayo capacidad de PGPR para mejorar productividad de papa en la localidad de Tahuaco.**

Nro. parcela	Nro.plant. Cosech.	Peso de tuberculos/18m2								Número de tuberculos/18m2								Severidad %	
		1ra.	2da.	3ra.	Consumo	Rizoct.	Roña	Otros	Peso Tot	1ra.	2da.	3ra.	Consumo	Rizoct.	Roña	Otros	Nº Tot	Rizoct.	Roña
101	Azo 39	0	1.12	1.98	4.4	0.14	0.08	1	<b>8.72</b>	0	17	52	280	5	3	45	<b>402</b>	20	5
102	guano	0	1.26	0.82	2.38	0.3	0.1	1.24	<b>6.10</b>	0	23	25	136	3	7	56	<b>250</b>	35	T
103	Act 30	0	0.92	1.94	2.62	0.18	0.08	1.58	<b>7.32</b>	0	16	60	208	2	5	84	<b>375</b>	5	T
104	Bac 21+Z	0	0.94	0.86	2.16	0.04	0.1	1.2	<b>5.30</b>	0	17	28	160	4	3	56	<b>268</b>	45	5
105	Azo 16	0	1.26	1.4	1.94	0.2	0	1.28	<b>6.08</b>	0	23	48	169	5	0	64	<b>309</b>	20	0
106	Azoll 2	0	0.88	1.98	2.1	0.2	0.04	0.96	<b>6.16</b>	0	16	68	163	6	2	52	<b>307</b>	60	15
107	P 6	0	0.74	1.44	2.98	0.38	0.2	0.72	<b>6.46</b>	0	15	50	238	17	7	26	<b>353</b>	45	5
108	Bac 21	0.7	1.54	1.1	4.36	1	0	1.38	<b>10.08</b>	8	27	85	301	31	0	81	<b>533</b>	35	0
109	Act 16M2	0.9	0.84	2.24	3.3	0.36	0	2.48	<b>10.12</b>	0	15	63	164	34	0	124	<b>400</b>	60	0
110	Testigo	0.34	0.78	1.58	2.92	0.44	0	1.96	<b>8.02</b>	3	28	103	160	11	0	189	<b>494</b>	20	0
201	Azo 39	0	1.56	2.8	1.16	0.03	0.32	3.02	<b>8.89</b>	0	28	140	241	2	10	101	<b>522</b>	60	T
202	Act 30	0	1.64	3.5	3.44	0	0.14	1.6	<b>10.32</b>	0	25	100	248	0	4	80	<b>457</b>	0	T
203	Azoll 2	0	0.84	2.3	2.6	0.01	0.01	1.24	<b>7.00</b>	0	15	120	335	1	1	71	<b>543</b>	45	T

204	Azo 16	0	1.64	3.34	3.4	0.03	0	1.18	<b>9.59</b>	0	27	100	247	3	0	63	<b>440</b>	15	0
205	Guano	0	0.8	3.42	2.06	0.3	0.02	1.4	<b>8.00</b>	0	15	167	200	11	2	67	<b>462</b>	60	5
206	Bac 21+Z	0	1.26	3.3	1.68	0.4	0.02	1.2	<b>7.86</b>	0	20	182	142	11	2	65	<b>422</b>	35	T
207	P 6	0	1.34	2.82	1.34	0.1	0.14	1.18	<b>6.92</b>	0	22	115	132	4	7	55	<b>335</b>	45	5
208	Bac 21	0	1.94	2.12	3.04	0	0.12	1.7	<b>8.92</b>	0	16	65	242	0	7	78	<b>408</b>	0	10
209	Testigo	0	1.22	1.94	2.3	0.8	0	1.68	<b>7.94</b>	0	19	110	225	9	0	110	<b>473</b>	65	0
210	Act 16M2	0	2.08	2.64	3.26	0.06	0.32	1.34	<b>9.70</b>	0	19	183	182	3	8	74	<b>469</b>	80	5
301	P 6	0	1.12	3.36	2.38	0.16	0.26	1.2	<b>8.48</b>	0	19	127	200	6	4	75	<b>431</b>	35	10
302	Azo 16	0	1.54	2.5	2.88	0.6	0.14	2.3	<b>9.96</b>	0	23	163	223	19	3	120	<b>551</b>	35	5
303	Azoll 2	0	0.66	2.48	1.32	0.14	0	1.58	<b>6.18</b>	0	11	85	115	7	0	89	<b>307</b>	10	0
304	Act 16M2	0	1.72	2.04	2.66	0.4	0	1.48	<b>8.30</b>	0	11	95	203	10	0	75	<b>394</b>	40	0
305	Azo 39	0	1.22	3.8	2.44	0.12	0	2.16	<b>9.74</b>	0	20	127	170	2	0	115	<b>434</b>	10	0
306	Testigo	0	0.5	2.3	2.2	0.26	0	1.84	<b>7.10</b>	0	8	108	180	10	0	109	<b>415</b>	5	0
307	Act 30	0	0.6	3.56	2.4	0.46	0	1.24	<b>8.26</b>	0	8	104	180	14	0	60	<b>366</b>	15	0
308	Bac 21	0	2.86	3.3	2.18	0.14	0	1.34	<b>9.82</b>	0	50	100	162	6	0	55	<b>373</b>	40	0
309	Bac 21+Z	0	1.06	2.88	1.82	0.4	0.01	1.32	<b>7.49</b>	0	16	85	149	14	1	60	<b>325</b>	15	20
310	Guano	0	1.16	1.68	2.06	0.66	0.3	2.68	<b>8.54</b>	0	30	100	225	19	10	149	<b>533</b>	25	5
401	Bac 21	0	2.3	2.42	2.82	0.44	0.16	3.62	<b>11.76</b>	0	35	134	190	11	4	139	<b>513</b>	35	10
402	Azo 16	0	0.76	2.42	2.94	0.28	0	1.26	<b>7.66</b>	0	15	86	177	12	0	72	<b>362</b>	15	0
403	P 6	0	1.96	2.7	2.58	0.32	0.03	0.82	<b>8.41</b>	0	30	151	100	17	0	48	<b>346</b>	75	T
404	Azo 39	0	1.4	3.64	2.34	0.1	0	1.38	<b>8.86</b>	0	20	110	181	2	0	50	<b>363</b>	5	0
405	Act 16M2	0	1.94	4.16	2.36	0.18	0.2	1.38	<b>10.22</b>	0	20	85	180	6	6	72	<b>369</b>	10	5
406	Testigo	0	1.34	1.6	1.94	0.24	0.01	2.22	<b>7.35</b>	0	17	134	285	7	1	115	<b>559</b>	15	T
407	Guano	0	0.64	2.4	2.2	0.08	0	1.4	<b>6.72</b>	0	10	78	185	5	0	60	<b>338</b>	10	0
408	Act 30	0	0.3	3.92	2.22	0.08	0.08	2.32	<b>8.92</b>	0	5	113	177	3	3	110	<b>411</b>	5	5
409	Bac 21+Z	0	0.3	1.56	1.28	0	0	1.36	<b>4.50</b>	0	5	43	110	0	0	72	<b>230</b>	0	0
410	Azoll 2	0	2.06	2.12	2.06	0	0.08	1.66	<b>7.98</b>	0	30	130	170	0	3	81	<b>414</b>	0	T

**Cuadro 21. Datos meteorológicos registrados en la localidad de Salcedo.**

Elementos		UM	AÑO 2008						AÑO 2009						Total
			JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	
<b>1. Comportamiento Agrometeorológico</b>															
Precipitación	Acumulada	mm	0.00	0.00	62.50	77.20	49.70	58.00	302.40	105.20	128.90	9.80	0.20	0.60	794.50
	Frecuencia	Días	0	0	11	3	5	8	27	15	15	4	1	1	90
Evaporación	Acumulada	mm													
	Frecuencia	Días													
Temperatura del aire (Caseta)	Máxima Abs.	°C	0.00	18.20	16.40	19.00	19.40	17.80	15.60	17.80	16.20	17.50	17.50	18.50	19.40
	Máxima Media	°C	0.00	12.63	14.39	16.13	16.48	15.32	12.38	14.40	14.11	15.92	15.30	15.73	13.57
	Media	°C	0.00	6.68	8.84	9.61	10.07	9.00	8.73	8.91	9.02	8.85	7.50	7.67	4.94
	Mínima Media	°C	0.00	0.86	3.30	3.08	3.64	2.68	5.08	3.41	3.92	1.76	-0.34	-0.45	2.25
	Mínima Abs.	°C	0.00	0.00	0.40	0.20	0.30	-0.20	1.60	0.00	0.20	-2.20	-3.20	-3.00	-3.20
Temp. Superf. Suelo 10cm.	Máxima Abs.	°C	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Media	°C	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Amplitud Térmica	Media	°C	0.00	11.92	11.09	13.05	12.84	0.00	0.00	0.00	0.00	14.16	15.64	16.18	7.91
Humedad relativa	Máxima	%	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Media	%	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Mínima	%	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Insolación	Acumu. Efec.	hrs	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Relativa	%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Nubosidad	Media	Oct	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00
	Forma Pred.	Tipo	Cu	Cu	Cu	Cu	Cu	Ci	Ci	Cu	Cu	Cu	Cu	Ci	Cu
	Cantidad	%	26.00	42.00	50.00	42.00	14.00	34.00	0.00	6.00	59.00	46.00	29.00	0.00	335.00
Viento	Velocidad	m/s	0	0	0	3.02	0	3.27	0	0	0	0	0	0	0.52
	Direc.Predom	Direc	NE	W	N	W	W	W	N	N	N	S	N	NE	W
	Cantidad	%	20.00	26.00	0.00	27.00	25.00	28.00	0.00	0.00	0.00	26.00	0.00	30.00	130.00
<b>2. Balance hídrico del suelo</b>															
Precipitation Pluvial Efectiva (Pef)		mm	0.0	0.0	49.2	77.2	49.7	48.7	280.5	84.3	111.3	8.2	0.0	0.0	709.1
Evapotranspiración potencial (Etp)		mm	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Reserva de agua almacenada (Ras)		mm	0.0	0.0	49.2	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	949.2

Evapotranspiración real (Etr)	mm	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Deficiencia de agua (Da)	mm	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Exceso de agua (Ea)	mm	0.0	0.0	0.0	26.4	49.7	48.7	280.5	84.3	111.3	8.2	8.2	8.2	625.5	
Escurremientto (Esc)	mm	0.0	0.0	0.0	13.2	51.3	74.1	189.0	322.7	140.0	115.4	12.3	12.3	930.3	
Pérdida por evaporación (Pae)	mm	0.0	0.0	13.3	0.0	0.0	9.3	21.9	20.9	17.6	1.6	0.2	0.6	85.4	
Indice de humedad (Ih)	%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
Indice de aridez (ia)	%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
<b>3. Riesgos Agrometeorológicos</b>															
Heladas meteorológicas	Frecuencia	Días	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	16	20	38
	Media	°C	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.20	0.00	0.00	0.00	-2.20	-1.65	-1.41	-0.46
	Mínima Abs.	°C	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.20	0.00	0.00	0.00	-2.20	-3.20	-3.00
Heladas Agrícolas	Frecuencia	Días	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Media	°C	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Mínima Abs.	°C	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Granizo	Frecuencia	Nº	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sequías	Frecuencia	Días	31	31	7	69	14	11	0	6	6	12	20	20	180
<b>4. Anomalía climática mensual</b>															
Precipitación	Acumulada	mm	-159.4	-136.9	-57.5	32.0	40.6	51.9	298.2	96.4	100.4	-29.1	-45.5	-89.8	
Temperatura	Máxima	°C	-15.00	-2.37	-0.61	0.73	1.28	0.92	-1.92	-0.50	-1.49	-0.48	-1.40	-0.7	
	Media	°C	-9.60	-2.82	-0.66	0.91	2.87	-6.10	-5.80	-6.80	-8.00	-0.45	-2.40	-2.4	
	Mínima	°C	-4.20	-3.44	-0.80	0.48	3.84	4.48	7.38	4.51	3.52	-0.44	-3.44	-4.4	

**Cuadro 22. Datos meteorológicos registrados en la localidad de Salcedo.**

Elementos	UM	AÑO 2009						AÑO 2010						Total	
		JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN		
<b>1. Comportamiento Agrometeorológico</b>															
Precipitación	Acumulada	mm	1.80	0.00	10.00	51.10	4.00	144.50	129.20	154.30	107.30	95.40	0.00	0.00	697.60
	Frecuencia	Días	1	0	3	6	2	20	17	21	18	10	0	0	98
Evaporación	Acumulada	mm													
	Frecuencia	Días													
Temperatura del aire (Caseta)	Máxima Abs.	°C	16.50	18.50	18.80	20.00	20.00	19.50	17.50	18.00	17.00	17.50	17.50	17.50	20.00
	Máxima	°C	15.07	16.12	16.76	16.64	18.22	16.28	15.93	15.33	15.82	15.52	16.01	15.62	16.11

	media															
	Media	°C	7.25	7.87	8.94	10.37	10.90	10.59	10.33	10.49	10.39	9.50	8.69	6.84	9.35	
	Mínima															
	Media	°C	-0.64	-0.42	1.07	4.06	3.54	4.84	4.68	5.60	4.94	3.43	1.33	-1.98	2.54	
	Mínima Abs.	°C	-5.20	-3.20	-3.00	0.40	-2.40	0.60	2.00	1.80	2.80	0.00	-0.20	-4.20	-5.20	
Temp. Superf. Suelo 10cm.	Máxima Abs.	°C	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	Media	°C	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Amplitud Térmica	Media	°C	15.70	16.54	15.68	12.58	14.68	11.44	11.25	9.73	10.88	12.09	14.68	17.60	13.57	
Humedad relativa	Máxima	%	115.00	103.00	110.00	126.00	111.00	110.00	97.00	105.00	103.00	95.00	101.00	104.00	106.67	
	Media	%	82.65	80.55	87.00	88.06	88.37	87.74	86.65	89.00	88.74	87.07	86.52	85.83	86.67	
	Mínima	%	63.00	54.00	76.00	67.00	54.00	78.00	66.00	76.00	81.00	70.00	81.00	77.00	70.25	
Insolación	Acumu. Efec.	hrs	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Relativa	%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Nubosidad	Media	Oct	1.58	2.05	2.47	3.94	4.24	6.28	5.59	6.36	6.04	3.96	3.35	1.98	3.99	
	Forma Pred.	Tipo	Cu	Cu	Cu	Cu	Cu	Ci	Ci	Ci	Cu	Cu	Cu	Cu	Cu	
	Cantidad	%	42.00	39.00	53.00	49.00	39.00	34.00	33.00	38.00	51.00	50.00	47.00	42.00	473.00	
Viento	Velocidad	m/s	2.56	3.55	3.51	3.12	3.44	2.83	2.94	2.75	2.73	3.04	3.23	3.53	3.1	
	Direc.Predom	Direc	S	NE	NE	SW	S	S	S	S	SW	NE	NE	NE	NE	
	Cantidad	%	33.00	22.00	37.00	33.00	28.00	30.00	34.00	32.00	28.00	30.00	23.00	27.00	290.00	
<b>2. Balance hídrico del suelo</b>																
Precipitation Pluvial Efectiva (Pef)	mm		0.0	0.0	5.0	43.0	0.0	114.6	96.2	136.9	77.0	90.8	0.0	0.0	563.5	
Evapotranspiración potencial (Etp)	mm		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
Reserva de agua almacenada (Ras)	mm		0.0	0.0	5.0	48.0	48.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	801.0	
Evapotranspiración real (Etr)	mm		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
Deficiencia de agua (Da)	mm		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
Exceso de agua (Ea)	mm		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	62.6	96.2	136.9	77.0	90.8	90.8	90.8	645.1	
Escurremientto (Esc)	mm		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	31.3	110.7	164.7	175.4	122.4	136.2	136.2	876.9	
Pérdida por evaporación (Pae)	mm		1.8	0.0	5.0	8.1	4.0	29.9	22.2	17.4	15.3	4.6	0.0	0.0	108.3	
Índice de humedad (Ih)	%		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
Índice de aridez (Ia)	%		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
<b>3. Riesgos Agrometeorológicos</b>																
Heladas meteorológicas	Frecuencia	Días	22	19	10	0	2	0	0	0	0	0	1	27	81	
	Media	°C	-1.90	-1.25	-1.28	0.00	-2.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.20	-2.31	-0.77	
	Mínima Abs.	°C	-5.20	-3.20	-3.00	0.00	-2.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.20	-4.20	-5.20	
Heladas Agrícolas	Frecuencia	Días	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Media	°C	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	



	Mínima Abs.	°C	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Granizo	Frecuencia	Nº	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sequías	Frecuencia	Días	27	31	12	70	13	6	0	0	0	8	31	30	175
<b>4. Anomalía climática mensual</b>															
Precipitación	Acumulada	mm	-157.6	-136.9	-110.0	5.9	-5.1	138.4	125.0	145.5	78.8	56.5	-45.7	-90.4	
Temperatura	Máxima	°C	0.07	1.12	1.76	1.24	3.02	1.88	1.63	0.43	0.22	-0.88	-0.69	-0.8	
	Media	°C	-2.35	-1.63	-0.56	1.67	3.70	4.49	4.53	3.69	2.39	0.20	-1.21	-3.3	
	Mínima	°C	-4.84	-4.72	-3.03	1.46	3.74	6.64	6.98	6.70	4.54	1.23	-1.77	-5.9	

**Cuadro 23. Datos meteorológicos registrados en la localidad de Tahuaco.**

Elementos	UM	AÑO 2009						AÑO 2010						Total	
		JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN		
<b>1. Comportamiento Agrometeorológico</b>															
Precipitación	Acumulada	mm	0.90	0.00	0.00	49.60	38.80	143.80	107.10	176.20	109.80	50.40	0.60	0.00	677.20
	Frecuencia	Días	1	0	0	6	7	21	17	18	18	7	1	0	96
Evaporación	Acumulada	mm													
	Frecuencia	Días													
Temperatura del aire (Caseta)	Máxima Abs.	°C	14.40	17.40	17.80	18.00	19.80	16.00	17.00	18.00	17.00	18.00	15.60	15.40	19.80
	Máxima media	°C	13.17	14.35	15.81	15.87	17.19	14.14	14.61	15.18	14.72	14.83	14.15	12.97	14.75
	Media	°C	5.21	5.89	7.95	9.40	10.92	9.49	9.82	9.99	9.33	8.56	7.27	4.63	8.21
	Mínima Media	°C	-2.74	-2.57	0.09	2.92	4.66	4.85	5.02	4.80	3.94	2.29	0.39	-3.70	1.66
	Mínima Abs.	°C	-6.00	-7.40	-4.00	-0.80	2.60	1.00	1.60	0.80	1.00	-1.80	-4.40	-6.40	-7.40
Temp. Superf. Suelo 10cm.	Máxima Abs.	°C	-10.00	-10.00	-8.00	-3.00	-1.00	-1.00	0.00	-1.00	-2.00	-4.00	-8.00	-10.00	0.00
	Media	°C	-18.10	-17.50	-13.80	-9.74	-8.13	-4.52	-3.70	-5.30	-6.94	-10.60	-16.80	-23.50	-11.55
Amplitud Térmica	Media	°C	15.91	16.92	15.73	12.95	12.53	9.30	9.59	10.38	10.78	12.54	13.77	16.67	13.09
Humedad relativa	Máxima	%	77.00	68.00	51.00	73.00	59.00	81.00	80.00	80.00	81.00	73.00	65.00	52.00	70.00
	Media	%	37.00	36.90	34.87	44.61	40.23	63.74	63.35	65.18	65.00	56.27	42.74	36.47	48.83
	Mínima	%	9.00	20.00	13.00	18.00	9.00	36.00	50.00	39.00	34.00	35.00	25.00	27.00	26.25
Insolación	Acumu. Efec.	hrs	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Relativa	%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Nubosidad	Media	Oct	0.53	1.26	2.13	3.42	3.88	6.02	5.57	5.83	5.44	4	2.13	0.54	3.40
	Forma Pred.	Tipo	Cu	Ci	Cu	Cu	Ci	Ci	Cu	Cu	Cu	Cu	Cu	Ci	Cu
	Cantidad	%	74.00	59.00	78.00	68.00	40.00	13.00	12.00	22.00	65.00	67.00	79.00	66.00	630.00
Viento	Velocidad	m/s	2.76	3.02	3.01	3.12	2.78	2.5	2.09	2.2	2.2	2.21	2.46	2.7	2.59
	Direc.Predom	Direc	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W
	Cantidad	%	66.00	62.00	56.00	42.00	49.00	70.00	67.00	52.00	62.00	64.00	59.00	68.00	717.00
<b>2. Balance hídrico del suelo</b>															
Precipitation Pluvial Efectiva (Pef)	mm		0.0	0.0	0.0	43.2	33.1	107.7	79.2	157.8	83.0	43.9	0.0	0.0	547.9
Evapotranspiración potencial (Etp)	mm		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Reserva de agua almacenada (Ras)	mm		0.0	0.0	0.0	43.2	76.3	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	819.5
Evapotranspiración real (Etr)	mm		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Deficiencia de agua (Da)	mm		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Exceso de agua (Ea)	mm		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	84.0	79.2	157.8	83.0	43.9	43.9	43.9	535.7
Escurremientto (Esc)	mm		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	42.0	123.6	158.1	199.3	105.0	65.9	65.9	759.8
Pérdida por evaporación (Pae)	mm		0.9	0.0	0.0	6.4	5.7	21.9	27.9	18.4	17.0	6.5	0.6	0.0	105.3
Indice de humedad (Ih)	%		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Indice de aridez (ia)	%		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<b>3. Riesgos Agrometeorológicos</b>															
Heladas meteorológicas	Frecuencia	Días	29	26	15	1	0	0	0	0	0	3	10	29	113
	Media	°C	-2.94	-3.28	-1.43	-0.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.80	-1.54	-3.87	-1.22
	Mínima Abs.	°C	-6.00	-7.40	-4.00	-0.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-1.80	-4.40	-6.40	-7.40
Heladas Agrícolas	Frecuencia	Días	31	31	30	31	30	31	29	28	31	30	31	30	363
	Media	°C	-18.10	-17.50	-13.80	-9.74	-8.13	-4.52	-3.95	-5.30	-6.94	-10.60	-16.80	-23.50	-11.57
	Mínima Abs.	°C	-24.00	-25.00	-20.00	-17.00	-14.00	-13.00	-10.00	-14.00	-15.00	-19.00	-25.00	-30.00	-30.00
Granizo	Frecuencia	Nº	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sequías	Frecuencia	Días	28	31	30	89	10	0	5	0	0	10	21	30	176
<b>4. Anomalía climática mensual</b>															
Precipitación	Acumulada	mm	-191.3	-147.9	-148.1	-5.9	25.9	130.4	97.4	158.4	80.0	-2.6	-66.0	-114.1	
Temperatura	Máxima	°C	-1.33	-0.45	1.01	1.07	2.79	0.94	1.71	1.28	-0.18	-0.87	-1.95	-2.7	
	Media	°C	-4.29	-3.51	-1.35	1.00	4.12	4.09	4.72	3.69	1.73	-0.44	-2.43	-5.3	
	Mínima	°C	-7.14	-6.57	-3.71	0.92	5.46	7.35	7.82	6.10	3.54	-0.01	-2.91	-7.7	

**Cuadro 24. Tratamientos del ensayo capacidad de rizobacterias promotoras de crecimiento de plantas para mejorar productividad en papa en las localidades de Salcedo y Tahuaco.**

Nº	Tratamiento	Código
1	Azo 16 + 5 t/ha estiércol de ovino	T1
2	Act 16M2 + 5 t/ha estiércol de ovino	T2
3	Azo 39 + 5 t/ha estiércol de ovino	T3
4	Bac 21M1 + 5 t/ha estiércol de ovino	T4
5	Bac 21M1+ C* + 5 t/ha estiércol de ovino	T5
6	Azoll 2 + 5 t/ha estiércol de ovino	T6
7	Act 30 + 5 t/ha estiércol de ovino	T7
8	P6 + 5 t/ha estiércol de ovino	T8
9	Estiércol de ovino sólo 5 t/ha	T9
10	Control no inoculado sin estiércol de ovino	T10

\*Conservador de humedad

**Cuadro 25. Características físicoquímicas de los suelos de las localidades de Salcedo y Tahuaco**

Característica	Localidad	
	Salcedo	Tahuaco
pH	6.60	4.28
C.E. dS/m	0.81	0.04
CaCO <sub>3</sub> (%)	0.00	0.00
M. O. (%)	2.59 **	1.54 *
P (ppm)	37.40 ***	6.40 *
K (ppm)	280.00 ***	54.66 *
Arena (%)	56.00	39.00
Limo (%)	30.00	51.00
Arcilla (%)	14.00	10.00
Clase textural	Franco arenoso	Franco limoso
CIC (me/100g)	16.64	11.20
Ca <sup>2</sup> (me/100g)	12.60	6.42
Mg <sup>2</sup> (me/100g)	2.36	1.51
K (me/100g)	1.21	0.68
Na (me/100g)	0.46	0.37
Al <sup>3</sup> + H (me/100g)	0.00	0.05

\*Contenido bajo

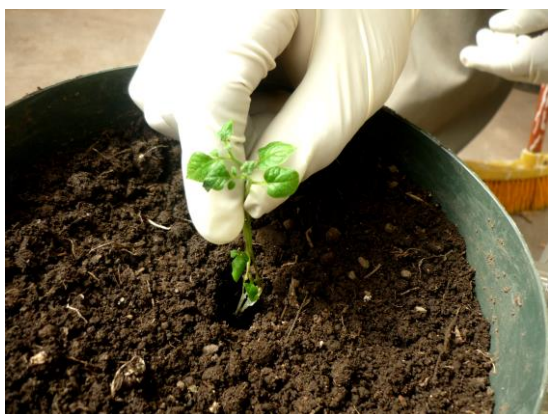
\*\*Contenido medio

\*\*\*Contenido alto

**Cuadro 26. Datos de precipitación pluvial y temperaturas promedio de 30 años de las localidades de Salcedo y Tahuaco**

MES	SALCEDO				TAHUACO			
	Pre. Acum	T. Máx	T. Med	T. Mín	Pre. Acum	T. Máx	T. Med	T. Mín
Enero	159.40	15.00	9.60	4.20	192.20	14.50	9.50	4.40
Febrero	136.90	15.00	9.50	4.30	147.90	14.80	9.40	4.00
Marzo	120.00	15.00	9.50	4.10	148.10	14.80	9.30	3.80
Abril	45.20	15.40	8.70	2.60	55.50	14.80	8.40	2.00
Mayo	9.10	15.20	7.20	-0.20	12.90	14.40	6.80	-0.80
Junio	6.10	14.40	6.10	-1.80	13.40	13.20	5.40	-2.50
Julio	4.20	14.30	5.80	-2.30	9.70	12.90	5.10	-2.80
Agosto	8.80	14.90	6.80	-1.10	17.80	13.90	6.30	-1.30
Setiembre	28.50	15.60	8.00	0.40	29.80	14.90	7.60	0.40
Octubre	38.90	16.40	9.30	2.20	53.00	15.70	9.00	2.30
Noviembre	45.70	16.70	9.90	3.10	66.60	16.10	9.70	3.30
Diciembre	90.40	16.40	10.10	3.90	114.10	15.70	9.90	4.00

## ANEXO II. FOTOS



**Fig. 1. Transplante de plántulas**



**Fig. 2. Inoculación de microorganismos**



**Fig. 3. Poniendo en contacto íntimo las plántulas con el sustrato**



**Figura 4. Inoculación de plántulas en camas de invernadero**



**Fig. 5. Lesiones hundidas causadas por *R. solani***



**Fig.6. Muerte de plántulas por *R. solani***



**Fig. 7. Tubérculos en la suspensión con los microorganismos**



**Fig. 8. Siembra de tubérculos inoculados**



**Fig. 9. Asperjado de la suspensión de microorganismos**



**Fig. 10. Tapado de tubérculos sembrados**



**Fig. 11. Aplicación de materia orgánica**



**Fig. 12. Reinoculación de cepas de rizobacterias**

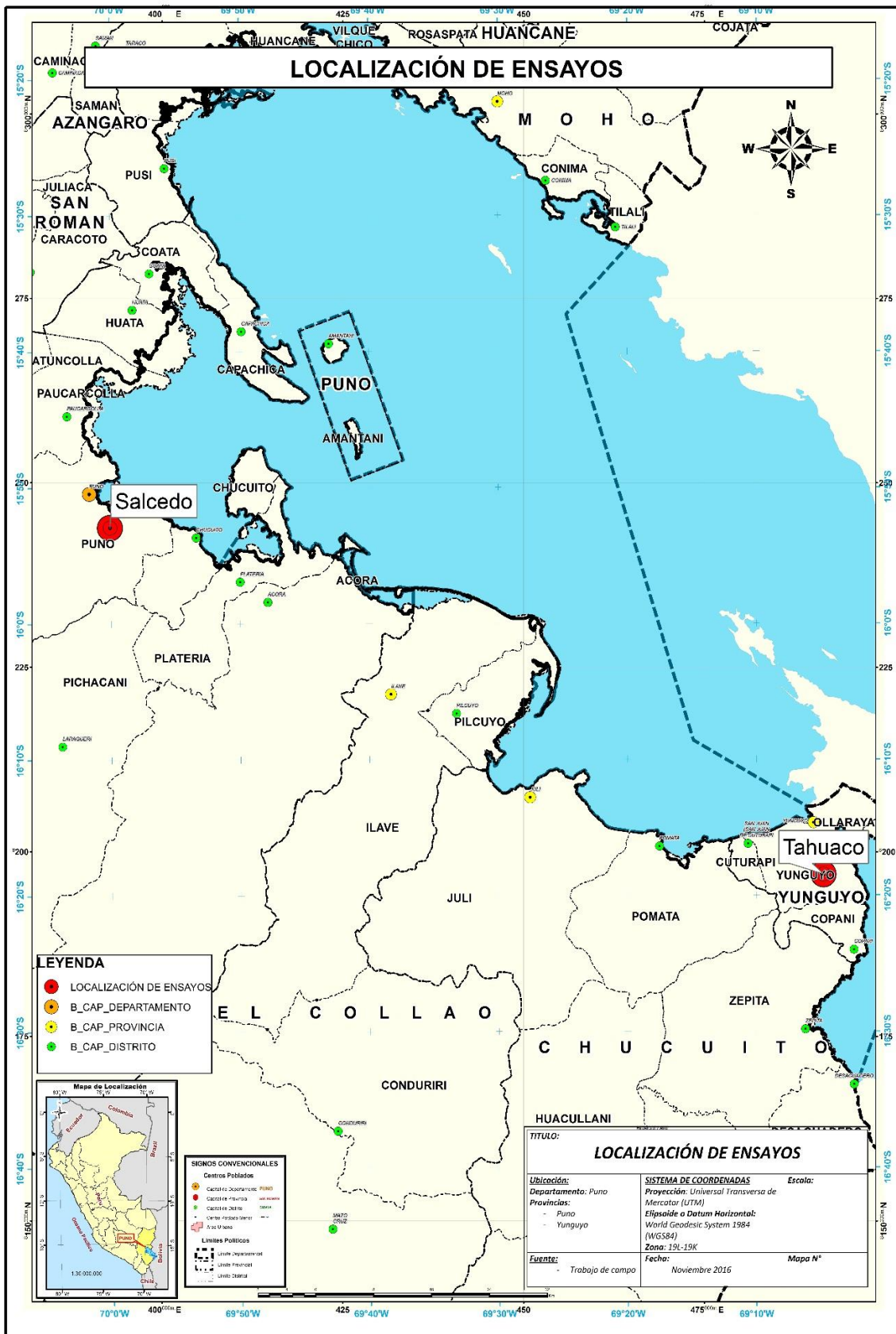


Figura 13. Localización de los ensayos



## ANEXO III. CORRIDAS ESTADÍSTICAS

### Ensayo “concentración y momento adecuado de inoculación de rizobacterias promotoras de crecimiento de plantas”

The SAS System

The ANOVA Procedure

Dependent Variable: **Altura de planta**

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	26	1573.907407	60.534900	2.54	0.0008
Error	81	1929.750000	23.824074		
Corrected Total	107	3503.657407			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	altura Mean
0.449218	18.64687	4.880991	26.17593

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
microorganismo	2	462.5185185	231.2592593	9.71	0.0002
concentracion	2	473.1851852	236.5925926	9.93	0.0001
microorga*concentrac	4	263.0370370	65.7592593	2.76	0.0331
epoca	2	3.5740741	1.7870370	0.08	0.9278
microorganismo*epoca	4	118.8148148	29.7037037	1.25	0.2978
concentracion*epoca	4	99.9814815	24.9953704	1.05	0.3872
microo*concent*epoca	8	152.7962963	19.0995370	0.80	0.6028

The ANOVA Procedure

Dependent Variable: **Número de tubérculos**

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	26	527.1666667	20.2756410	3.93	<.0001
Error	81	417.5000000	5.1543210		
Corrected Total	107	944.6666667			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	ntuber Mean
0.558045	28.77862	2.270313	7.888889

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
microorganismo	2	87.5000000	43.7500000	8.49	0.0005
concentracion	2	144.8888889	72.4444444	14.06	<.0001
microorga*concentrac	4	62.2777778	15.5694444	3.02	0.0224
epoca	2	5.5555556	2.7777778	0.54	0.5855
microorganismo*epoca	4	12.2777778	3.0694444	0.60	0.6669
concentracion*epoca	4	74.5555556	18.6388889	3.62	0.0092
microo*concent*epoca	8	140.1111111	17.5138889	3.40	0.0021

The ANOVA Procedure

Dependent Variable: **Peso de tubérculos**

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	26	6831.05041	262.73271	3.33	<.0001
Error	81	6395.04160	78.95113		
Corrected Total	107	13226.09201			

R-Square      Coeff Var      Root MSE      peso Mean  
0.516483      17.94825      8.885445      49.50593

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
microorganismo	2	3152.969791	1576.484895	19.97	<.0001
concentracion	2	1062.130235	531.065118	6.73	0.0020
microorga*concentrac	4	732.533681	183.133420	2.32	0.0639
epoca	2	165.060896	82.530448	1.05	0.3563
microorganismo*epoca	4	276.250204	69.062551	0.87	0.4828
concentracion*epoca	4	980.731459	245.182865	3.11	0.0198
microo*concent*epoca	8	461.374141	57.671768	0.73	0.6642

## Comparaciones entre medias

### Variable: Altura de planta

The SAS System

Effect=microorga\*concentrac    Method=LSD(P<.05)    Set=1

Obs	microorganismo	concentracion	Estimate	Standard Error	Letter Group
1	M1	C2	29.5833	1.4090	A
2	M1	C1	27.0833	1.4090	A
3	M1	C3	26.4167	1.4090	A

Effect=microorga\*concentrac    Method=LSD(P<.05)    Set=2

Obs	microorganismo	concentracion	Estimate	Standard Error	Letter Group
4	M2	C1	30.9167	1.4090	A
5	M2	C2	29.5000	1.4090	A
6	M2	C3	22.3333	1.4090	B

Effect=microorga\*concentrac    Method=LSD(P<.05)    Set=3

Obs	microorganismo	concentracion	Estimate	Standard Error	Letter Group
7	M3	C1	26.0833	1.4090	A
8	M3	C2	22.6667	1.4090	AB
9	M3	C3	21.0000	1.4090	B

The SAS System

Effect=microorga\*concentrac Method=LSD(P<.05) Set=1

Obs	microorganismo	concentracion	Estimate	Standard Error	Letter Group
1	M2	C1	30.9167	1.4090	A
2	M1	C1	27.0833	1.4090	AB
3	M3	C1	26.0833	1.4090	B

Effect=microorga\*concentrac Method=LSD(P<.05) Set=2

Obs	microorganismo	concentracion	Estimate	Standard Error	Letter Group
4	M1	C2	29.5833	1.4090	A
5	M2	C2	29.5000	1.4090	A
6	M3	C2	22.6667	1.4090	B

Effect=microorga\*concentrac Method=LSD(P<.05) Set=3

Obs	microorganismo	concentracion	Estimate	Standard Error	Letter Group
7	M1	C3	26.4167	1.4090	A
8	M2	C3	22.3333	1.4090	B
9	M3	C3	21.0000	1.4090	B

## Variable: Número de tubérculos

The SAS System

Effect=microo\*concent\*epoca Method=LSD(P<.05) Set=1

Obs	microorganismo	concentracion	epoca	Estimate	Standard Error	Letter Group
1	M3	C1	A1	14.2500	1.1352	A
2	M3	C2	A2	12.0000	1.1352	AB
3	M3	C2	A3	10.2500	1.1352	BC
4	M2	C1	A1	10.2500	1.1352	BC
5	M2	C1	A3	9.7500	1.1352	BCD
6	M1	C1	A2	9.5000	1.1352	BCDE
7	M2	C1	A2	9.2500	1.1352	BCDEF
8	M3	C1	A2	9.2500	1.1352	BCDEF
9	M1	C3	A1	9.0000	1.1352	BCDEF
10	M3	C3	A3	9.0000	1.1352	BCDEF
11	M3	C1	A3	8.5000	1.1352	CDEFG
12	M2	C2	A3	8.2500	1.1352	CDEFGH
13	M1	C1	A3	7.5000	1.1352	CDEFGH
14	M2	C3	A3	7.0000	1.1352	DEFGHI
15	M3	C2	A1	7.0000	1.1352	DEFGHI
16	M1	C1	A1	6.7500	1.1352	DEFGHI
17	M1	C3	A3	6.7500	1.1352	DEFGHI
18	M1	C2	A2	6.5000	1.1352	EFGHI
19	M2	C2	A2	6.5000	1.1352	EFGHI
20	M2	C3	A2	6.5000	1.1352	EFGHI
21	M1	C2	A3	6.5000	1.1352	EFGHI
22	M3	C3	A1	6.2500	1.1352	FGHI
23	M3	C3	A2	5.7500	1.1352	GHI
24	M2	C2	A1	5.7500	1.1352	GHI
25	M1	C3	A2	5.7500	1.1352	GHI
26	M1	C2	A1	5.2500	1.1352	HI
27	M2	C3	A1	4.0000	1.1352	I

## Variable: Peso de tubérculos

The SAS System

Effect=concentracion\*epoca Method=LSD(P<.05) Set=1

Standard Letter

Obs	concentracion	epoca	Estimate	Error	Group
1	C1	A1	54.4525	2.5650	A
2	C1	A2	51.9992	2.5650	AB
3	C1	A3	47.1342	2.5650	B

Effect=concentracion\*epoca Method=LSD(P<.05) Set=2

Obs	concentracion	epoca	Estimate	Standard Error	Letter Group
4	C2	A3	56.5092	2.5650	A
5	C2	A2	51.1017	2.5650	AB
6	C2	A1	49.0267	2.5650	B

Effect=concentracion\*epoca Method=LSD(P<.05) Set=3

Obs	concentracion	epoca	Estimate	Standard Error	Letter Group
7	C3	A1	49.5125	2.5650	A
8	C3	A3	45.0083	2.5650	AB
9	C3	A2	40.8092	2.5650	B

The SAS System

Effect=concentracion\*epoca Method=LSD(P<.05) Set=1

Obs	concentracion	epoca	Estimate	Standard Error	Letter Group
1	C1	A1	54.4525	2.5650	A
2	C3	A1	49.5125	2.5650	A
3	C2	A1	49.0267	2.5650	A

Effect=concentracion\*epoca Method=LSD(P<.05) Set=2

Obs	concentracion	epoca	Estimate	Standard Error	Letter Group
4	C1	A2	51.9992	2.5650	A
5	C2	A2	51.1017	2.5650	A
6	C3	A2	40.8092	2.5650	B

Effect=concentracion\*epoca Method=LSD(P<.05) Set=3

Obs	concentracion	epoca	Estimate	Standard Error	Letter Group
7	C2	A3	56.5092	2.5650	A
8	C1	A3	47.1342	2.5650	B
9	C3	A3	45.0083	2.5650	B

## Ensayo “efecto de rizobacterias en el control de *Rhizoctonia solani*”

Number of Observations Read 40

Dependent Variable: **Número de plantas muertas**

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
rep	3	71.0750000	23.6916667	1.08	0.3752
Variedad	1	50.6250000	50.6250000	2.30	0.1408
trt	4	594.8500000	148.7125000	6.76	0.0007
Variedad*trt	4	31.7500000	7.9375000	0.36	0.8341
Error	27	593.6750000	21.987963		
Corrected Total	39	1341.9750000			



B 0.000 8 Suelo\_limpio

t Tests (LSD) for **Altura de plantas**

Alpha 0.05  
 Error Degrees of Freedom 27  
 Error Mean Square 0.021285  
 Critical Value of t 2.05183  
 Least Significant Difference 0.1497

Means with the same letter are not significantly different.

t Grouping	Mean	N	trt
A	1.55000	8	Suelo_limpio
A	1.47500	8	Bacillus_Bolivia
B	1.45000	8	17M9
B	1.41875	8	Suelo_infestado
B	1.31250	8	17M8

The SAS System  
 The GLM Procedure

Dependent Variable: **Número de tubérculos sanos**

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	9	537445.5250	59716.1694	6.12	<.0001
Error	30	292698.2500	9756.6083		
Corrected Total	39	830143.7750			
R-Square	CoeffVar	Root MSE	tuberSanos Mean		
0.647413	43.78834	98.77555	225.5750		

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
variedad	1	504227.0250	504227.0250	51.68	<.0001
trt	4	11803.6500	2950.9125	0.30	0.8740
variedad*trt	4	21414.8500	5353.7125	0.55	0.7013

Source	DF	Type III SS	Mean Square	F Value	Pr > F
variedad	1	504227.0250	504227.0250	51.68	<.0001
trt	4	11803.6500	2950.9125	0.30	0.8740
variedad*trt	4	21414.8500	5353.7125	0.55	0.7013

The SAS System  
 The GLM Procedure

Dependent Variable: **Peso de tubérculos sanos**

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	9	65.78301000	7.30922333	6.78	<.0001
Error	30	32.36090000	1.07869667		
Corrected Total	39	98.14391000			
R-Square	CoeffVar	Root MSE	pesoSanos Mean		
0.670271	35.28463	1.038603	2.943500		

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
variedad	1	58.32225000	58.32225000	54.07	<.0001
trt	4	3.30466000	0.82616500	0.77	0.5558
variedad*trt	4	4.15610000	1.03902500	0.96	0.4420

The SAS System  
The GLM Procedure

Dependent Variable: **N° de tubérculos sanos e infectados (total)**

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	9	578209.6000	64245.5111	6.77	<.0001
Error	30	284538.0000	9484.6000		
Corrected Total	39	862747.6000			

R-Square      CoeffVar      Root MSE      tubersanosinfestados Mean  
0.670196      36.32559      97.38891      268.1000

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
variedad	1	489736.9000	489736.9000	51.63	<.0001
trt	4	66477.1000	16619.2750	1.75	0.1647
variedad*trt	4	21995.6000	5498.9000	0.58	0.6796

The SAS System  
The GLM Procedure

Dependent Variable: **Peso de tubérculos sanos e infectados (total)**

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	9	71.0520000	7.8946667	7.50	<.0001
Error	30	31.5856000	1.0528533		
Corrected Total	39	102.6376000			

R-Square      CoeffVar      Root MSE      pesosanosinfestados Mean  
0.692261      30.81341      1.026086      3.330000

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
variedad	1	58.85476000	58.85476000	55.90	<.0001
trt	4	6.58000000	1.64500000	1.56	0.2098
variedad*trt	4	5.61724000	1.40431000	1.33	0.2803

## Comparación entre Medias

The SAS System  
The GLM Procedure

t Tests (LSD) for **Número de tubérculos sanos**

NOTE: This test controls the Type I comparisonwise error rate, not the

experimentwise error rate.

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	30
Error Mean Square	9756.608
Critical Value of t	2.04227
Least Significant Difference	63.792

Means with the same letter are not significantly different.

	Mean	N	variedad
A	337.85	20	V2
B	113.30	20	V1

The SAS System  
The GLM Procedure

#### t Tests (LSD) for **Peso de tubérculos sanos**

NOTE: This test controls the Type I comparisonwise error rate, not the experimentwise error rate.

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	30
Error Mean Square	1.078697
Critical Value of t	2.04227
Least Significant Difference	0.6708

Means with the same letter are not significantly different.

	Mean	N	variedad
A	4.1510	20	V2
B	1.7360	20	V1

The SAS System  
The GLM Procedure

#### t Tests (LSD) for **Número de tubérculos sanos**

NOTE: This test controls the Type I comparisonwise error rate, not the experimentwise error rate.

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	30
Error Mean Square	9484.6
Critical Value of t	2.04227
Least Significant Difference	62.896

Means with the same letter are not significantly different.

	Mean	N	variedad
A	378.75	20	V2
B	157.45	20	V1

The SAS System  
The GLM Procedure

#### t Tests (LSD) for **Peso de tubérculos total**

NOTE: This test controls the Type I comparisonwise error rate, not the experimentwise error rate.

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	30
Error Mean Square	1.052853
Critical Value of t	2.04227
Least Significant Difference	0.6627



Means with the same letter are not significantly different.

	Mean	N	variedad
A	4.5430	20	V2
B	2.1170	20	V1

The SAS System

The GLM Procedure

t Tests (LSD) for **Tubérculos sanos infectados**

NOTE: This test controls the Type I comparisonwise error rate, not the experimentwise error rate.

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	30
Error Mean Square	9484.6
Critical Value of t	2.04227
Least Significant Difference	99.447

Means with the same letter are not significantly different.

t	Grouping	Mean	N	trt
	A	343.63	8	5
	A			
B	A	268.63	8	3
B	A			
B	A	262.13	8	4
B				
B		240.63	8	2
B				
B		225.50	8	1

The SAS System

The GLM Procedure

t Tests (LSD) for **Peso sanos infectados**

NOTE: This test controls the Type I comparisonwise error rate, not the experimentwise error rate.

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	30
Error Mean Square	1.052853
Critical Value of t	2.04227
Least Significant Difference	1.0478

Means with the same letter are not significantly different.

t	Grouping	Mean	N	trt
	A	3.8875	8	5
	A			
B	A	3.5575	8	2
B	A			
B	A	3.4775	8	3
B	A			
B	A	2.9050	8	1
B				
B		2.8225	8	4

The ANOVA Procedure

Class Level Information

Class	Levels	Values
Variedad	2	Andina Ccompis
trt	5	17M8 17M9 Bacillus_Bolivia Suelo_infestado Suelo_limpio
rep	4	I II III IV

Number of Observations Read 40

Dependent Variable: **Materia seca**

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
rep	3	80.1896675	26.7298892	2.41	0.0887
Variedad	1	244.6786225	244.6786225	22.08	<.0001
trt	4	192.5655650	48.1413913	4.34	0.0077
Variedad*trt	4	97.3466650	24.3366662	2.20	0.0963
Error	27	299.2504575	11.0833503		
Corrected Total	39	914.0309775			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	materia_seca Mean
0.672604	5.718670	3.329167	58.21575

t Tests (LSD) for materia\_seca

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	27
Error Mean Square	11.08335
Critical Value of t	2.05183
Least Significant Difference	2.1601

Means with the same letter are not significantly different.

g	Mean	N	Variedad
A	60.689	20	Ccompis
B	55.743	20	Andina

t Tests (LSD) for materia\_seca

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	27
Error Mean Square	11.08335
Critical Value of t	2.05183
Least Significant Difference	3.4154

Means with the same letter are not significantly different.

g	Mean	N	trt
A	62.229	8	Suelo_limpio
B	58.165	8	17M9
B	58.026	8	Suelo_infestado
B	56.966	8	Bacillus_Bolivia
B	55.693	8	17M8

## Ensayo “Efecto de ocho PGPRs en el mejoramiento de la productividad de papa productividad, en condiciones de campo”

The SAS System

The ANOVA Procedure

Dependent Variable: **Peso tubérculos 1ra**

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	12	19.29569231	1.60797436	2.39	0.0200
Error	39	26.23980000	0.67281538		

Corrected Total 51 45.53549231

R-Square Coeff Var Root MSE v1 Mean

0.423751 29.35120 0.820253 2.794615

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
trt	12	19.29569231	1.60797436	2.39	0.0200

The SAS System

The ANOVA Procedure

Dependent Variable: **Peso tubérculos 2da**

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	12	24.54996923	2.04583077	1.94	0.0590
Error	39	41.10197500	1.05389679		
Corrected Total	51	65.65194423			

R-Square Coeff Var Root MSE v2 Mean

0.373941 29.48518 1.026595 3.481731

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
trt	12	24.54996923	2.04583077	1.94	0.0590

The SAS System

The ANOVA Procedure

Dependent Variable: **Peso tubérculos consumo**

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	12	221.6837231	18.4736436	3.21	0.0029
Error	39	224.4828000	5.7559692		
Corrected Total	51	446.1665231			

R-Square Coeff Var Root MSE v4 Mean

0.496863 26.50330 2.399160 9.052308

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
trt	12	221.6837231	18.4736436	3.21	0.0029

The SAS System

The ANOVA Procedure

Dependent Variable: **Peso total**

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	12	913.315181	76.109598	4.55	0.0001
Error	39	652.172025	16.722360		
Corrected Total	51	1565.487206			

R-Square Coeff Var Root MSE v9 Mean

0.583406 5.019925 4.089298 81.46135

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
trt	12	913.3151808	76.1095984	4.55	0.0001

## Comparación entre medias

The SAS System  
The ANOVA Procedure

Tukey's Studentized Range (HSD) Test for **Peso de tubérculos 1ra**

NOTE: This test controls the Type I experimentwise error rate, but it generally has a higher Type II error rate than REGWQ.

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	39
Error Mean Square	0.672815
Critical Value of Studentized Range	4.98460
Minimum Significant Difference	2.0443

Means with the same letter are not significantly different.

Tukey Grouping	Mean	N	trt
A	3.6050	4	T10
A			
A	3.4200	4	T8
A			
A	3.2800	4	T9
A			
A	3.2650	4	T11
A			
B	3.1250	4	T2
B			
B	2.9550	4	T4
B			
B	2.8750	4	T12
B			
B	2.8500	4	T1
B			
B	2.5900	4	T7
B			
B	2.5550	4	T6
B			
B	2.5050	4	T3
B			
B	2.0900	4	T5
B			
B	1.2150	4	T13

The SAS System  
The ANOVA Procedure

Tukey's Studentized Range (HSD) Test for **Peso de tubérculos 2da**

NOTE: This test controls the Type I experimentwise error rate, but it generally has a higher Type II error rate than REGWQ.

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	39
Error Mean Square	1.053897
Critical Value of Studentized Range	4.98460
Minimum Significant Difference	2.5586

Means with the same letter are not significantly different.

Tukey Grouping	Mean	N	trt
----------------	------	---	-----

	A	5.0600	4	T10
	A			
B	A	4.5000	4	T8
B	A			
B	A	3.6550	4	T3
B	A			
B	A	3.5650	4	T11
B	A			
B	A	3.5600	4	T12
B	A			
B	A	3.4700	4	T6
B	A			
B	A	3.4650	4	T7
B	A			
B	A	3.4550	4	T2
B	A			
B	A	3.4250	4	T9
B	A			
B	A	3.2400	4	T1
B	A			
B	A	2.9300	4	T5
B	A			
B	A	2.7400	4	T4
B				
B		2.1975	4	T13

The SAS System

The ANOVA Procedure

Tukey's Studentized Range (HSD) Test for **Peso de tubérculos consumo**

NOTE: This test controls the Type I experimentwise error rate, but it generally has a higher Type II error rate than REGWQ.

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	39
Error Mean Square	5.755969
Critical Value of Studentized Range	4.98460
Minimum Significant Difference	5.9794

Means with the same letter are not significantly different.

Tukey				
Grouping	Mean	N	trt	
A	10.575	4	T11	
A				
A	10.305	4	T8	
A				
A	10.240	4	T12	
A				
A	10.165	4	T5	
A				
A	10.075	4	T3	
A				
A	9.765	4	T2	
A				
A	9.655	4	T9	
A				
A	9.400	4	T6	
A				
A	9.350	4	T7	
A				
A	9.280	4	T4	
A				
A	8.800	4	T10	
A				
B	A	7.715	4	T1
B				
B		2.355	4	T13

The SAS System

The ANOVA Procedure

Tukey's Studentized Range (HSD) Test for **Peso total**

NOTE: This test controls the Type I experimentwise error rate, but it generally has a higher Type II error rate than REGWQ.

Alpha 0.05  
 Error Degrees of Freedom 39  
 Error Mean Square 16.72236  
 Critical Value of Studentized Range 4.98460  
 Minimum Significant Difference 10.192

Means with the same letter are not significantly different.

Mean	N	trt
A	86.285	4 T11
A	84.770	4 T9
A	83.355	4 T8
A	83.110	4 T12
A	82.795	4 T10
A	82.438	4 T5
A	82.368	4 T3
A	82.105	4 T2
A	81.863	4 T7
A	81.125	4 T6
A	80.790	4 T4
A	79.985	4 T1
B	68.010	4 T13

**Ensayo “Efecto de siete PGPRs en el mejoramiento de la productividad en papa, bajo dos condiciones agroecológicas de la región altiplánica del Perú”**

**LOCALIDAD DE SALCEDO**

The SAS System

loc=salcedo

The ANOVA Procedure

Dependent Variable: **Peso tubérculos 1ra**

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	12	61.2864400	5.1072033	1.67	0.1313
Error	27	82.7089100	3.0632930		
Corrected Total	39	143.9953500			
R-Square	Coeff Var	Root MSE	Plra Mean		
0.425614	29.28024	1.750227	5.977500		

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
bloque	3	19.36739000	6.45579667	2.11	0.1227
trt	9	41.91905000	4.65767222	1.52	0.1910

The SAS System

loc=salcedo

The ANOVA Procedure

Dependent Variable: **Peso tubérculos 2da**

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	12	69.9922000	5.8326833	1.46	0.1996
Error	27	107.7453100	3.9905670		
Corrected Total	39	177.7375100			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	P2da Mean
0.393795	34.82333	1.997640	5.736500

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
bloque	3	12.25819000	4.08606333	1.02	0.3975
trt	9	57.73401000	6.41489000	1.61	0.1632

The SAS System

loc=salcedo

The ANOVA Procedure

Dependent Variable: **Peso tubérculos 3ra**

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	12	51.2042400	4.2670200	1.89	0.0823
Error	27	60.8747100	2.2546189		
Corrected Total	39	112.0789500			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	P3ra Mean
0.456859	26.28514	1.501539	5.712500

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
bloque	3	18.53459000	6.17819667	2.74	0.0628
trt	9	32.66965000	3.62996111	1.61	0.1624

The SAS System

loc=salcedo

The ANOVA Procedure

Dependent Variable: **Peso Total**

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	12	579.699660	48.308305	2.33	0.0329
Error	27	558.627540	20.689909		
Corrected Total	39	1138.327200			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	PT Mean
0.509256	13.78995	4.548616	32.98500

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
bloque	3	91.1658600	30.3886200	1.47	0.2452
trt	9	488.5338000	54.2815333	2.62	0.0253

The SAS System

loc=salcedo

The ANOVA Procedure

Dependent Variable: **Número de tubérculos 1ra**

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	12	9757.50000	813.12500	1.30	0.2766
Error	27	16938.90000	627.36667		
Corrected Total	39	26696.40000			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	N1 Mean
0.365499	44.88761	25.04729	55.80000

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
bloque	3	3646.600000	1215.533333	1.94	0.1473
trt	9	6110.900000	678.988889	1.08	0.4069

The SAS System

loc=salcedo

The ANOVA Procedure

Dependent Variable: **Número de tubérculos 2da**

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	12	42160.0000	3513.3333	1.34	0.2522
Error	27	70603.9000	2614.9593		
Corrected Total	39	112763.9000			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	N2 Mean
0.373879	54.14153	51.13667	94.45000

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
bloque	3	22686.10000	7562.03333	2.89	0.0537
trt	9	19473.90000	2163.76667	0.83	0.5970

The SAS System

loc=salcedo

The ANOVA Procedure

Dependent Variable: **Número de tubérculos 3ra**

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
--------	----	----------------	-------------	---------	--------



Model		12	49072.4000	4089.3667	1.48	0.1909
Error		27	74420.5750	2756.3176		
Corrected Total		39	123492.9750			
R-Square	Coeff Var	Root MSE	N3 Mean			
0.397370	40.39288	52.50064	129.9750			

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
bloque	3	32446.67500	10815.55833	3.92	0.0191
trt	9	16625.72500	1847.30278	0.67	0.7282

The SAS System

loc=salcedo

The ANOVA Procedure

Dependent Variable: **Número total de tubérculos**

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	12	260523.100	21710.258	0.67	0.7638
Error	27	874494.800	32388.696		
Corrected Total	39	1135017.900			
R-Square	Coeff Var	Root MSE	NT Mean		
0.229532	21.27414	179.9686	845.9500		

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
bloque	3	120531.7000	40177.2333	1.24	0.3144
trt	9	139991.4000	15554.6000	0.48	0.8750

## Comparación entre medias

The SAS System

loc=salcedo

The ANOVA Procedure

Tukey's Studentized Range (HSD) Test for **Peso tubérculos 1ra**

NOTE: This test controls the Type I experimentwise error rate, but it generally has a higher Type II error rate than REGWQ.

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	27
Error Mean Square	3.063293
Critical Value of Studentized Range	4.86445
Minimum Significant Difference	4.2569

Means with the same letter are not significantly different.

Tukey group	Mean	N	trt
A	8.340	4	Act 16M2
A	6.780	4	Bac 21
A	6.625	4	Azo 39
A	6.185	4	Azo 16

A			
A	6.045	4	Bac 21+Z
A			
A	5.640	4	Guano
A			
A	5.250	4	Testigo
A			
A	5.160	4	P 6
A			
A	5.025	4	Act 30

The SAS System

loc=salcedo

The ANOVA Procedure

Tukey's Studentized Range (HSD) Test for **Peso tubérculos 2da**

NOTE: This test controls the Type I experimentwise error rate, but it generally has a higher Type II error rate than REGWQ.

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	27
Error Mean Square	3.990567
Critical Value of Studentized Range	4.86445
Minimum Significant Difference	4.8587

Means with the same letter are not significantly different.

Tukey group	Mean	N	trt
A	7.315	4	Azo 39
A			
A	7.255	4	Act 16M2
A			
A	7.235	4	Bac 21+Z
A			
A	6.775	4	Azo 16
A			
A	5.340	4	Guano
A			
A	5.085	4	Bac 21
A			
A	5.005	4	P 6
A			
A	4.825	4	Testigo
A			
A	4.395	4	Act 30

The SAS System

loc=salcedo

The ANOVA Procedure

Tukey's Studentized Range (HSD) Test for **Peso tubérculos 3ra**

NOTE: This test controls the Type I experimentwise error rate, but it generally has a higher Type II error rate than REGWQ.

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	27
Error Mean Square	2.254619
Critical Value of Studentized Range	4.86445
Minimum Significant Difference	3.6521

Means with the same letter are not significantly different.

Tukey group	Mean	N	trt
A	6.800	4	Azo 16
A			

A	6.590	4	Act 16M2
A			
A	6.370	4	Guano
A			
A	6.190	4	P 6
A			
A	5.990	4	Azo 39
A			
A	5.735	4	Act 30
A			
A	5.450	4	Bac 21
A			
A	5.345	4	Testigo
A			
A	5.175	4	Bac 21+Z

The SAS System

loc=salcedo

The ANOVA Procedure

Tukey's Studentized Range (HSD) Test for **Peso Total**

NOTE: This test controls the Type I experimentwise error rate, but it generally has a higher Type II error rate than REGWQ.

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	27
Error Mean Square	20.68991
Critical Value of Studentized Range	4.86445
Minimum Significant Difference	11.063

Means with the same letter are not significantly different.

Tukey			
Grouping	Mean	N	trt
A	39.835	4	Act 16M2
B	36.775	4	Azo 39
B	35.375	4	Azo 16
B	33.540	4	Bac 21+Z
B	33.305	4	Guano
B	32.720	4	Bac 21
B	30.990	4	P 6
B	30.550	4	Testigo
B	29.460	4	Act 30
B	27.300	4	Azoll 2

The SAS System

loc=salcedo

The ANOVA Procedure

Tukey's Studentized Range (HSD) Test for **Número de tubérculos 1ra**

NOTE: This test controls the Type I experimentwise error rate, but it generally has a higher Type II error rate than REGWQ.

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	27
Error Mean Square	627.3667
Critical Value of Studentized Range	4.86445
Minimum Significant Difference	60.921

Means with the same letter are not significantly different.

Tukey			
group	Mean	N	trt
A	82.00	4	Testigo
A			
A	73.75	4	Bac 21

A			
A	57.75	4	P 6
A			
A	57.25	4	Azo 39
A			
A	53.50	4	Guano
A			
A	53.25	4	Bac 21+Z
A			
A	49.75	4	Act 16M2
A			
A	46.75	4	Act 30
A			
A	43.00	4	Azo 16

The SAS System

loc=salcedo

The ANOVA Procedure

Tukey's Studentized Range (HSD) Test for **Número de tubérculos 2da**

NOTE: This test controls the Type I experimentwise error rate, but it generally has a higher Type II error rate than REGWQ.

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	27
Error Mean Square	2614.959
Critical Value of Studentized Range	4.86445
Minimum Significant Difference	124.38

Means with the same letter are not significantly different.

Tukey group	Mean	N	trt
A	134.75	4	Azo 16
A			
A	128.25	4	Testigo
A			
A	111.25	4	Bac 21+Z
A			
A	94.25	4	Azo 39
A			
A	87.75	4	Bac 21
A			
A	85.75	4	Act 16M2
A			
A	85.75	4	P 6
A			
A	81.50	4	Guano
A			
A	70.50	4	Act 30

The SAS System

loc=salcedo

The ANOVA Procedure

Tukey's Studentized Range (HSD) Test for **Número de tubérculos 3ra**

NOTE: This test controls the Type I experimentwise error rate, but it generally has a higher Type II error rate than REGWQ.

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	27
Error Mean Square	2756.318
Critical Value of Studentized Range	4.86445
Minimum Significant Difference	127.69

Means with the same letter are not significantly different.

Tukey

group	Mean	N	trt
A	158.50	4	Azo 16
A	149.00	4	Testigo
A	148.25	4	Bac 21+Z
A	142.50	4	Act 16M2
A	139.50	4	P 6
A	124.75	4	Guano
A	124.00	4	Azo 39
A	120.25	4	Act 30
A	97.00	4	Bac 21

The SAS System

loc=salcedo

The ANOVA Procedure

Tukey's Studentized Range (HSD) Test for **Número total de tubérculos**

NOTE: This test controls the Type I experimentwise error rate, but it generally has a higher Type II error rate than REGWQ.

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	27
Error Mean Square	32388.7
Critical Value of Studentized Range	4.86445
Minimum Significant Difference	437.72

Means with the same letter are not significantly different.

Tukey group	Mean	N	trt
A	906.8	4	Testigo
A	903.8	4	Azo 39
A	895.5	4	P 6
A	895.5	4	Azo 16
A	864.8	4	Bac 21+Z
A	847.8	4	Act 16M2
A	841.5	4	Bac 21
A	808.5	4	Guano
A	779.3	4	Act 30

## LOCALIDAD DE TAHUACO

The SAS System

loc=tahuaco

The ANOVA Procedure

Dependent Variable: **Peso tubérculos 1ra**

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	12	0.54208000	0.04517333	1.56	0.1619

Error		27	0.77943000	0.02886778
Corrected Total		39	1.32151000	
R-Square	Coeff Var	Root MSE	P1 Mean	
0.410197	350.3200	0.169905	0.048500	

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
bloque	3	0.28227000	0.09409000	3.26	0.0369
trt	9	0.25981000	0.02886778	1.00	0.4635

The SAS System

loc=tahuaco

The ANOVA Procedure

Dependent Variable: **Peso tubérculos 2da**

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	12	6.67576000	0.55631333	2.57	0.0203
Error	27	5.84020000	0.21630370		
Corrected Total	39	12.51596000			
R-Square	Coeff Var	Root MSE	P2 Mean		
0.533380	37.17703	0.465085	1.251000		

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
bloque	3	0.84940000	0.28313333	1.31	0.2918
trt	9	5.82636000	0.64737333	2.99	0.0131

The SAS System

loc=tahuaco

The ANOVA Procedure

Dependent Variable: **Peso tubérculos 3ra**

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	12	18.58968000	1.54914000	4.16	0.0010
Error	27	10.05348000	0.37235111		
Corrected Total	39	28.64316000			
R-Square	Coeff Var	Root MSE	P3 Mean		
0.649009	24.81520	0.610206	2.459000		

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
bloque	3	11.49292000	3.83097333	10.29	0.0001
trt	9	7.09676000	0.78852889	2.12	0.0638

The SAS System

loc=tahuaco

The ANOVA Procedure

Dependent Variable: **Peso Total**

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
--------	----	----------------	-------------	---------	--------

Model		12	61.85095000	5.15424583	4.27	0.0008
Error		27	32.58738750	1.20694028		
Corrected Total		39	94.43833750			
R-Square	Coeff Var		Root MSE	PT Mean		
0.654935	13.49020		1.098608	8.143750		

Source		DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
bloque		3	7.06048750	2.35349583	1.95	0.1454
trt		9	54.79046250	6.08782917	5.04	0.0005

loc=tahuaco

The ANOVA Procedure

Dependent Variable: **Número de tubérculos 1ra**

Source		DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model		12	24.30000000	2.02500000	1.20	0.3340
Error		27	45.67500000	1.69166667		
Corrected Total		39	69.97500000			
R-Square	Coeff Var		Root MSE	N1 Mean		
0.347267	472.9603		1.300641	0.275000		

Source		DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
bloque		3	9.07500000	3.02500000	1.79	0.1732
trt		9	15.22500000	1.69166667	1.00	0.4635

The SAS System

38

loc=tahuaco

The ANOVA Procedure

Dependent Variable: **Número de tubérculos 2da**

Source		DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model		12	999.700000	83.308333	1.17	0.3508
Error		27	1921.400000	71.162963		
Corrected Total		39	2921.100000			
R-Square	Coeff Var		Root MSE	N2 Mean		
0.342234	42.93035		8.435814	19.65000		

Source		DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
bloque		3	18.1000000	6.0333333	0.08	0.9678
trt		9	981.6000000	109.0666667	1.53	0.1869

The SAS System

loc=tahuaco

The ANOVA Procedure

Dependent Variable: **Número de tubérculos 1ra**

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	12	29678.30000	2473.19167	2.17	0.0459
Error	27	30723.60000	1137.91111		
Corrected Total	39	60401.90000			
R-Square	Coeff Var	Root MSE	N3 Mean		
0.491347	33.54842	33.73294	100.5500		

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
bloque	3	26705.90000	8901.96667	7.82	0.0006
trt	9	2972.40000	330.26667	0.29	0.9715

The SAS System

loc=tahuaco

The ANOVA Procedure

Dependent Variable: **Número total de tubérculos**

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	12	120229.0000	10019.0833	1.69	0.1253
Error	27	160066.6000	5928.3926		
Corrected Total	39	280295.6000			
R-Square	Coeff Var	Root MSE	NT Mean		
0.428936	18.94588	76.99606	406.4000		

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
bloque	3	38672.40000	12890.80000	2.17	0.1142
trt	9	81556.60000	9061.84444	1.53	0.1883

## Comparación entre Medias

The SAS System

loc=tahuaco

The ANOVA Procedure

Tukey's Studentized Range (HSD) Test for **Peso tubérculos 1ra**

NOTE: This test controls the Type I experimentwise error rate, but it generally has a higher Type II error rate than REGWQ.

Alpha 0.05  
 Error Degrees of Freedom 27  
 Error Mean Square 0.028868  
 Critical Value of Studentized Range 4.86445  
 Minimum Significant Difference 0.4132

Means with the same letter are not significantly different.

Tukey group	Mean	N	trt
A	0.2250	4	Act 16M2
A			
A	0.1750	4	Bac 21
A			
A	0.0850	4	Testigo
A			



A	0.0000	4	Azo 16
A			
A	0.0000	4	Azoll 2
A			
A	0.0000	4	Azo 39
A			
A	0.0000	4	Bac 21+Z
A			
A	0.0000	4	Guano
A			
A	0.0000	4	P 6

The SAS System

loc=tahuaco

The ANOVA Procedure

Tukey's Studentized Range (HSD) Test for **Peso tubérculos 2da**

NOTE: This test controls the Type I experimentwise error rate, but it generally has a higher Type II error rate than REGWQ.

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	27
Error Mean Square	0.216304
Critical Value of Studentized Range	4.86445
Minimum Significant Difference	1.1312

Means with the same letter are not significantly different.

Tukey  
Grouping

	Mean	N	trt
A	2.1600	4	Bac 21
B A	1.6450	4	Act 16M2
B A	1.3250	4	Azo 39
B A	1.3000	4	Azo 16
B A	1.2900	4	P 6
B A	1.1100	4	Azoll 2
B	0.9650	4	Guano
B	0.9600	4	Testigo
B	0.8900	4	Bac 21+Z
B	0.8650	4	Act 30

The SAS System

loc=tahuaco

The ANOVA Procedure

Tukey's Studentized Range (HSD) Test for **Peso tubérculos 3ra**

NOTE: This test controls the Type I experimentwise error rate, but it generally has a higher Type II error rate than REGWQ.

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	27
Error Mean Square	0.372351
Critical Value of Studentized Range	4.86445
Minimum Significant Difference	1.4842

Means with the same letter are not significantly different.

Tukey  
group

	Mean	N	trt
A	3.2300	4	Act 30
A			
A	3.0550	4	Azo 39
A			
A	2.7700	4	Act 16M2
A			
A	2.5800	4	P 6
A			
A	2.4150	4	Azo 16

A			
A	2.2350	4	Bac 21
A			
A	2.2200	4	Azoll 2
A			
A	2.1500	4	Bac 21+Z

The SAS System

loc=tahuaco

The ANOVA Procedure

Tukey's Studentized Range (HSD) Test for **Peso Total**

NOTE: This test controls the Type I experimentwise error rate, but it generally has a higher Type II error rate than REGWQ.

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	27
Error Mean Square	1.20694
Critical Value of Studentized Range	4.86445
Minimum Significant Difference	2.6721

Means with the same letter are not significantly different.

Tukey Grouping				Mean	N	trt
		A		10.1450	4	Bac 21
B		A		9.5850	4	Act 16M2
B		A	C	9.0525	4	Azo 39
B	D	A	C	8.7050	4	Act 30
B	D	A	C	8.3225	4	Azo 16
B	D	A	C	7.6025	4	Testigo
B	D	A	C	7.5675	4	P 6
B	D		C	7.3400	4	Guano
		D	C	6.8300	4	Azoll 2
		D		6.2875	4	Bac 21+Z

The SAS System

loc=tahuaco

The ANOVA Procedure

Tukey's Studentized Range (HSD) Test for **Número de tubérculos 1ra**

NOTE: This test controls the Type I experimentwise error rate, but it generally has a higher Type II error rate than REGWQ.

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	27
Error Mean Square	1.691667
Critical Value of Studentized Range	4.86445
Minimum Significant Difference	3.1635

Means with the same letter are not significantly different.

Tukey group	Mean	N	trt
A	2.0000	4	Bac 21
A			
A	0.7500	4	Testigo
A			
A	0.0000	4	Act 16M2
A			
A	0.0000	4	Azo 16
A			
A	0.0000	4	Azoll 2
A			
A	0.0000	4	Azo 39
A			
A	0.0000	4	Bac 21+Z
A			
A	0.0000	4	Guano

A  
A 0.0000 4 P 6

The SAS System

loc=tahuaco

The ANOVA Procedure

Tukey's Studentized Range (HSD) Test for **Número de tubérculos 2da**

NOTE: This test controls the Type I experimentwise error rate, but it generally has a higher Type II error rate than REGWQ.

Alpha 0.05  
Error Degrees of Freedom 27  
Error Mean Square 71.16296  
Critical Value of Studentized Range 4.86445  
Minimum Significant Difference 20.518

Means with the same letter are not significantly different.

Tukey group	Mean	N	trt
A	32.000	4	Bac 21
A			
A	22.000	4	Azo 16
A			
A	21.500	4	P 6
A			
A	21.250	4	Azo 39
A			
A	19.500	4	Guano
A			
A	18.000	4	Azoll 2
A			
A	18.000	4	Testigo
A			
A	16.250	4	Act 16M2
A			
A	14.500	4	Bac 21+Z

The SAS System

loc=tahuaco

The ANOVA Procedure

Tukey's Studentized Range (HSD) Test for **Número de tubérculos 3ra**

NOTE: This test controls the Type I experimentwise error rate, but it generally has a higher Type II error rate than REGWQ.

Alpha 0.05  
Error Degrees of Freedom 27  
Error Mean Square 1137.911  
Critical Value of Studentized Range 4.86445  
Minimum Significant Difference 82.046

Means with the same letter are not significantly different.

Tukey group	Mean	N	trt
A	113.75	4	Testigo
A			
A	110.75	4	P 6
A			
A	107.25	4	Azo 39
A			
A	106.50	4	Act 16M2
A			
A	100.75	4	Azoll 2
A			
A	99.25	4	Azo 16
A			

A	96.00	4	Bac 21
A			
A	94.25	4	Act 30
A			
A	92.50	4	Guano

The SAS System

loc=tahuaco

The ANOVA Procedure

Tukey's Studentized Range (HSD) Test for **Número total de tubérculos**

NOTE: This test controls the Type I experimentwise error rate, but it generally has a higher Type II error rate than REGWQ.

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	27
Error Mean Square	5928.393
Critical Value of Studentized Range	4.86445
Minimum Significant Difference	187.27

Means with the same letter are not significantly different.

Tukey group	Mean	N	trt
A	485.25	4	Testigo
A			
A	456.75	4	Bac 21
A			
A	430.25	4	Azo 39
A			
A	415.50	4	Azo 16
A			
A	408.00	4	Act 16M2
A			
A	402.25	4	Act 30
A			
A	395.75	4	Guano
A			
A	392.75	4	Azoll 2
A			
A	366.25	4	P 6

## ANÁLISIS COMBINADO SALCEDO TAHUACO

The SAS System

The ANOVA Procedure

Class Level Information

Class	Levels	Values
loc	2	salcedo tahuaco
bloque	4	1 2 3 4
trt	10	Act 16M2 Act 30 Azo 16 Azo 39 Azoll 2 Bac 21 Bac 21+Z Guano P 6 Testigo

Number of Observations Read	80
Number of Observations Used	80

The SAS System

The ANOVA Procedure

Dependent Variable: **Peso tubérculos 1ra**

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
--------	----	----------------	-------------	---------	--------

Model		25	764.8893400	30.5955736	19.79	<.0001
Error		54	83.4883400	1.5460804		
Corrected Total		79	848.3776800			
R-Square	Coeff Var		Root MSE	Plra Mean		
0.901591	41.26833		1.243415	3.013000		

Source		DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
loc		1	703.0608200	703.0608200	454.74	<.0001
bloque (loc)		6	19.6496600	3.2749433	2.12	0.0660
trt		9	23.5300800	2.6144533	1.69	0.1139
loc*trt		9	18.6487800	2.0720867	1.34	0.2387

The SAS System

The ANOVA Procedure

Dependent Variable: **Peso tubérculos 2da**

Source		DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model		25	479.0621650	19.1624866	9.11	<.0001
Error		54	113.5855100	2.1034354		
Corrected Total		79	592.6476750			
R-Square	Coeff Var		Root MSE	P2da Mean		
0.808342	41.51191		1.450323	3.493750		

Source		DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
loc		1	402.3942050	402.3942050	191.30	<.0001
bloque (loc)		6	13.1075900	2.1845983	1.04	0.4108
trt		9	34.6864250	3.8540472	1.83	0.0833
loc*trt		9	28.8739450	3.2082161	1.53	0.1628

The SAS System

The ANOVA Procedure

Dependent Variable: **Peso tubérculos 3ra**

Source		DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model		25	281.4991650	11.2599666	8.57	<.0001
Error		54	70.9281900	1.3134850		
Corrected Total		79	352.4273550			
R-Square	Coeff Var		Root MSE	P3ra Mean		
0.798744	28.05051		1.146074	4.085750		

Source		DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
loc		1	211.7052450	211.7052450	161.18	<.0001
bloque (loc)		6	30.0275100	5.0045850	3.81	0.0031
trt		9	24.6704050	2.7411561	2.09	0.0469
loc*trt		9	15.0960050	1.6773339	1.28	0.2707

The SAS System

The ANOVA Procedure

Dependent Variable: **Peso total**

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	25	12983.30464	519.33219	47.43	<.0001
Error	54	591.21493	10.94842		
Corrected Total	79	13574.51957			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	PT Mean
0.956447	16.09016	3.308840	20.56438

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
loc	1	12341.75403	12341.75403	1127.26	<.0001
bloque(loc)	6	98.22635	16.37106	1.50	0.1974
trt	9	351.19818	39.02202	3.56	0.0016
loc*trt	9	192.12608	21.34734	1.95	0.0640

The SAS System

The ANOVA Procedure

Dependent Variable: **Número de tubérculos 1ra**

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	25	71442.31250	2857.69250	9.09	<.0001
Error	54	16984.57500	314.52917		
Corrected Total	79	88426.88750			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	N1ra Mean
0.807925	63.25446	17.73497	28.03750

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
loc	1	61660.51250	61660.51250	196.04	<.0001
bloque(loc)	6	3655.67500	609.27917	1.94	0.0913
trt	9	3285.26250	365.02917	1.16	0.3386
loc*trt	9	2840.86250	315.65139	1.00	0.4487

The SAS System

The ANOVA Procedure

Dependent Variable: **Número de tubérculos 2da**

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	25	155060.5000	6202.4200	4.62	<.0001
Error	54	72525.3000	1343.0611		
Corrected Total	79	227585.8000			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	N2da Mean
0.681328	64.23803	36.64780	57.05000

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
--------	----	----------	-------------	---------	--------

loc	1	111900.8000	111900.8000	83.32	<.0001
bloque(loc)	6	22704.2000	3784.0333	2.82	0.0185
trt	9	10552.0500	1172.4500	0.87	0.5547
loc*trt	9	9903.4500	1100.3833	0.82	0.6009

The SAS System

The ANOVA Procedure

Dependent Variable: **Número de tubérculos 3ra**

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	25	96067.3125	3842.6925	1.97	0.0186
Error	54	105144.1750	1947.1144		
Corrected Total	79	201211.4875			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	N3 Mean
0.477444	38.28315	44.12612	115.2625

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
loc	1	17316.61250	17316.61250	8.89	0.0043
bloque(loc)	6	59152.57500	9858.76250	5.06	0.0003
trt	9	10994.86250	1221.65139	0.63	0.7685
loc*trt	9	8603.26250	955.91806	0.49	0.8743

The SAS System

The ANOVA Procedure

Dependent Variable: **Número total de tubérculos**

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	25	4244836.150	169793.446	8.86	<.0001
Error	54	1034561.400	19158.544		
Corrected Total	79	5279397.550			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	NT Mean
0.804038	22.10475	138.4144	626.1750

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
loc	1	3864084.050	3864084.050	201.69	<.0001
bloque(loc)	6	159204.100	26534.017	1.38	0.2375
trt	9	131054.550	14561.617	0.76	0.6530
loc*trt	9	90493.450	10054.828	0.52	0.8501

## COMPARACIÓN ENTRE MEDIAS

The SAS System

The ANOVA Procedure

t Tests (LSD) for **Peso tubérculos 1ra entre localidades**

NOTE: This test controls the Type I comparisonwise error rate, not the experimentwise error rate.

Alpha 0.05  
 Error Degrees of Freedom 54  
 Error Mean Square 1.54608  
 Critical Value of t 2.00488  
 Least Significant Difference 0.5574

Means with the same letter are not significantly different.

Tukey group	Mean	N	loc
A	5.9775	40	salcedo
B	0.0485	40	tahuaco

The SAS System

The ANOVA Procedure

t Tests (LSD) for **Peso tubérculos 2da entre localidades**

NOTE: This test controls the Type I comparisonwise error rate, not the experimentwise error rate.

Alpha 0.05  
 Error Degrees of Freedom 54  
 Error Mean Square 2.103435  
 Critical Value of t 2.00488  
 Least Significant Difference 0.6502

Means with the same letter are not significantly different.

Tukey group	Mean	N	loc
A	5.7365	40	salcedo
B	1.2510	40	tahuaco

The SAS System

The ANOVA Procedure

t Tests (LSD) for **Peso tubérculos 3ra entre localidades**

NOTE: This test controls the Type I comparisonwise error rate, not the experimentwise error rate.

Alpha 0.05  
 Error Degrees of Freedom 54  
 Error Mean Square 1.313485  
 Critical Value of t 2.00488  
 Least Significant Difference 0.5138

Means with the same letter are not significantly different.

Tukey group	Mean	N	loc
A	5.7125	40	salcedo
B	2.4590	40	tahuaco

The SAS System

The ANOVA Procedure

t Tests (LSD) for **Peso total entre localidades**

NOTE: This test controls the Type I comparisonwise error rate, not the experimentwise error rate.



Alpha 0.05  
Error Degrees of Freedom 54  
Error Mean Square 10.94842  
Critical Value of t 2.00488  
Least Significant Difference 1.4834

Means with the same letter are not significantly different.

Tukey group	Mean	N	loc
A	32.9850	40	salcedo
B	8.1438	40	tahuaco

The SAS System

The ANOVA Procedure

t Tests (LSD) for **Número de tubérculos 1ra entre localidades**

NOTE: This test controls the Type I comparisonwise error rate, not the experimentwise error rate.

Alpha 0.05  
Error Degrees of Freedom 54  
Error Mean Square 314.5292  
Critical Value of t 2.00488  
Least Significant Difference 7.9507

Means with the same letter are not significantly different.

Tukey group	Mean	N	loc
A	55.800	40	salcedo
B	0.275	40	tahuaco

The SAS System

The ANOVA Procedure

t Tests (LSD) for **Número de tubérculos 2da entre localidades**

NOTE: This test controls the Type I comparisonwise error rate, not the experimentwise error rate.

Alpha 0.05  
Error Degrees of Freedom 54  
Error Mean Square 1343.061  
Critical Value of t 2.00488  
Least Significant Difference 16.429

Means with the same letter are not significantly different.

Tukey group	Mean	N	loc
A	94.450	40	salcedo
B	19.650	40	tahuaco

The SAS System

The ANOVA Procedure

t Tests (LSD) for **Número de tubérculos 3ra entre localidades**

NOTE: This test controls the Type I comparisonwise error rate, not the experimentwise error rate.

Alpha 0.05

Error Degrees of Freedom 54  
 Error Mean Square 1947.114  
 Critical Value of t 2.00488  
 Least Significant Difference 19.782

Means with the same letter are not significantly different.

Tukey group	Mean	N	loc
A	129.975	40	salcedo
B	100.550	40	tahuaco

The SAS System

The ANOVA Procedure

t Tests (LSD) for **Número total tubérculos entre localidades**

NOTE: This test controls the Type I comparisonwise error rate, not the experimentwise error rate.

Alpha 0.05  
 Error Degrees of Freedom 54  
 Error Mean Square 19158.54  
 Critical Value of t 2.00488  
 Least Significant Difference 62.052

Means with the same letter are not significantly different.

Tukey group	Mean	N	loc
A	845.95	40	salcedo
B	406.40	40	tahuaco

The SAS System

The ANOVA Procedure

Tukey's Studentized Range (HSD) Test for **Peso tubérculos 1ra entre localidad x trat**

NOTE: This test controls the Type I experimentwise error rate, but it generally has a higher Type II error rate than REGWQ.

Alpha 0.05  
 Error Degrees of Freedom 54  
 Error Mean Square 1.54608  
 Critical Value of Studentized Range 4.66582  
 Minimum Significant Difference 2.0512

Means with the same letter are not significantly different.

Tukey group	Mean	N	trt
A	4.2825	8	Act 16M2
A	3.4775	8	Bac 21
A	3.3125	8	Azo 39
A	3.0925	8	Azo 16
A	3.0225	8	Bac 21+Z
A	2.8200	8	Guano
A	2.6675	8	Testigo
A	2.5800	8	P 6
A			

A	2.5125	8	Act 30
A			
A	2.3625	8	Azoll 2

The SAS System

The ANOVA Procedure

Tukey's Studentized Range (HSD) Test for **Peso tubérc 2da entre localidad x trat**

NOTE: This test controls the Type I experimentwise error rate, but it generally has a higher Type II error rate than REGWQ.

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	54
Error Mean Square	2.103435
Critical Value of Studentized Range	4.66582
Minimum Significant Difference	2.3925

Means with the same letter are not significantly different.

Tukey group	Mean	N	trt
A	4.4500	8	Act 16M2
A			
A	4.3200	8	Azo 39
A			
A	4.0625	8	Bac 21+Z
A			
A	4.0375	8	Azo 16
A			
A	3.6225	8	Bac 21
A			
A	3.1525	8	Guano
A			
A	3.1475	8	P 6
A			
A	2.8925	8	Testigo
A			
A	2.6300	8	Act 30
A			
A	2.6225	8	Azoll 2

The SAS System

The ANOVA Procedure

Tukey's Studentized Range (HSD) Test for **Peso tubérc 3ra entre localidad x trat**

NOTE: This test controls the Type I experimentwise error rate, but it generally has a higher Type II error rate than REGWQ.

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	54
Error Mean Square	1.313485
Critical Value of Studentized Range	4.66582
Minimum Significant Difference	1.8906

Means with the same letter are not significantly different.

Tukey group	Mean	N	trt
A	4.6800	8	Act 16M2
A			
A	4.6075	8	Azo 16
A			
A	4.5225	8	Azo 39
A			
A	4.4825	8	Act 30
A			
A	4.3850	8	P 6

A			
A	4.2250	8	Guano
A			
A	3.8425	8	Bac 21
A			
A	3.6625	8	Bac 21+Z
A			
A	3.6000	8	Testigo
A			
A	2.8500	8	Azoll 2

The SAS System

The ANOVA Procedure

Tukey's Studentized Range (HSD) Test for **Peso total entre loc x trat**

NOTE: This test controls the Type I experimentwise error rate, but it generally has a higher Type II error rate than REGWQ.

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	54
Error Mean Square	10.94842
Critical Value of Studentized Range	4.66582
Minimum Significant Difference	5.4583

Means with the same letter are not significantly different.

Tukey Grouping	Mean	N	trt
A	24.710	8	Act 16M2
A			
B A	22.914	8	Azo 39
B A			
B A C	21.849	8	Azo 16
B A C			
B A C	21.433	8	Bac 21
B A C			
B A C	20.323	8	Guano
B A C			
B A C	19.914	8	Bac 21+Z
B A C			
B A C	19.279	8	P 6
B C			
B C	19.083	8	Act 30
B C			
B C	19.076	8	Testigo
C			
C	17.065	8	Azoll 2

The SAS System

The ANOVA Procedure

Tukey's Studentized Range (HSD) Test for **Número de tubérculos 1ra entre localidad x trat**

NOTE: This test controls the Type I experimentwise error rate, but it generally has a higher Type II error rate than REGWQ.

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	54
Error Mean Square	314.5292
Critical Value of Studentized Range	4.66582
Minimum Significant Difference	29.256

Means with the same letter are not significantly different.

Tukey group	Mean	N	trt
A	41.375	8	Testigo
A			
A	37.875	8	Bac 21
A			
A	28.875	8	P 6

A			
A	28.625	8	Azo 39
A			
A	26.750	8	Guano
A			
A	26.625	8	Bac 21+Z
A			
A	24.875	8	Act 16M2
A			
A	23.375	8	Act 30
A			
A	21.500	8	Azo 16
A			
A	20.500	8	Azoll 2

The SAS System

The ANOVA Procedure

Tukey's Studentized Range (HSD) Test for **Número de tubérculos 2da entre localidad x trat**

NOTE: This test controls the Type I experimentwise error rate, but it generally has a higher Type II error rate than REGWQ.

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	54
Error Mean Square	1343.061
Critical Value of Studentized Range	4.66582
Minimum Significant Difference	60.455

Means with the same letter are not significantly different.

Tukey group	Mean	N	trt
A	78.38	8	Azo 16
A			
A	73.13	8	Testigo
A			
A	62.88	8	Bac 21+Z
A			
A	59.88	8	Bac 21
A			
A	57.75	8	Azo 39
A			
A	53.63	8	P 6
A			
A	51.00	8	Act 16M2
A			
A	50.50	8	Guano
A			
A	42.00	8	Act 30
A			
A	41.38	8	Azoll 2

The SAS System

The ANOVA Procedure

Tukey's Studentized Range (HSD) Test for **Número de tubérculos 3ra entre localidad x trat**

NOTE: This test controls the Type I experimentwise error rate, but it generally has a higher Type II error rate than REGWQ.

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	54
Error Mean Square	1947.114
Critical Value of Studentized Range	4.66582
Minimum Significant Difference	72.791

Means with the same letter are not significantly different.

Tukey

group	Mean	N	trt
A	131.38	8	Testigo
A	128.88	8	Azo 16
A	125.13	8	P 6
A	124.50	8	Act 16M2
A	116.38	8	Bac 21+Z
A	115.63	8	Azo 39
A	108.63	8	Guano
A	107.25	8	Act 30
A	98.38	8	Azoll 2
A	96.50	8	Bac 21

The SAS System

The ANOVA Procedure

Tukey's Studentized Range (HSD) Test for **Número total tubérculos entre localidad x trat**

NOTE: This test controls the Type I experimentwise error rate, but it generally has a higher Type II error rate than REGWQ.

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	54
Error Mean Square	19158.54
Critical Value of Studentized Range	4.66582
Minimum Significant Difference	228.33

Means with the same letter are not significantly different.

Tukey group	Mean	N	trt
A	696.00	8	Testigo
A	667.00	8	Azo 39
A	655.50	8	Azo 16
A	649.13	8	Bac 21
A	630.88	8	P 6
A	627.88	8	Act 16M2
A	602.13	8	Guano
A	590.75	8	Act 30
A	588.00	8	Bac 21+Z
A	554.50	8	Azoll 2