



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

SEDE IBARRA

ESCUELA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS Y AMBIENTALES

INFORME FINAL DEL PROYECTO

TEMA:

Aislamiento, identificación y evaluación de hongos solubilizadores de fósforo en diferentes zonas de estudio de la provincia del Carchi, para aplicarlos en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum*), variedad INIAP-Libertad.

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE

INGENIERA AGROPECUARIA

LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN:

LÍNEA: Gestión sostenible y aprovechamiento de los Recursos Naturales.

SUB LÍNEA: Desarrollo y Sostenibilidad.

AUTORA: Daniela Isabel Paspuel Meneses

ASESOR: MSc. Diego Manuel León Tapia

IBARRA, ENERO, 2019.

Ibarra, 8 de febrero del 2019.

MSc. Diego Manuel León Tapia
ASESOR

CERTIFICA:

Haber revisado el presente informe final de investigación, el mismo que se ajusta a las normas vigentes en la Escuela de Ciencias Agrícolas y Ambientales (E.C.A.A), de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra (PUCESI); en consecuencia, autorizo su presentación para los fines legales pertinentes.



(F)

MSc. Diego Manuel León Tapia

C.C.: 1711668895

PÁGINA DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL

El jurado examinador, aprueba el presente informe de investigación en nombre de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra PUCE-SI:

(f):



MSc. Diego Manuel León Tapia

C.C.: 1711668895

(f):



MSc. Edwin Fernando Del Pozo Villacís

C.C.: 1001756566

(f):




MSc. Diego Miguel Puerres Vera

C.C.: 1001778982

ACTA DE SESIÓN DE DERECHOS

Yo, Daniela Isabel Paspuel Meneses, declaro conocer y aceptar la disposición del Art. 165 del Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, que manifiesta textualmente: “Se reconoce facultad de los autores y demás titulares de derechos de disponer de sus derechos o autorizar las utilidades de sus obras o prestaciones, a título gratuito u oneroso, según las condiciones que determinen. Esta facultad podrá ejercerse mediante licencias libres, abiertas y otros modelos alternativos de licenciamiento o la renuncia”.

Ibarra, 8 de febrero del 2019



f):

Daniela Isabel Paspuel Meneses

C.C.: 040188920-9

AUTORÍA

Yo, Daniela Isabel Paspuel Meneses, portadora de la cédula de ciudadanía C.C: 040188920-9, declaro que la presente investigación es de total responsabilidad del autor, y eximo expresamente a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra de posibles reclamos o acciones legales.



f):

Daniela Isabel Paspuel Meneses

C.C: 040188920-9

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo: Daniela Isabel Paspuel Meneses, con C.C: 040188920-9, autora del trabajo de grado titulado: “Aislamiento, identificación y evaluación de hongos solubilizadores de fósforo en diferentes zonas de estudio de la provincia del Carchi, para aplicarlos en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum*), variedad INIAP-Libertad”, previo a la obtención del título profesional de “Ingeniera Agropecuaria”, en la Escuela de Ciencias Agrícolas y Ambientales (E.C.A.A).

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tiene la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede-Ibarra, de conformidad con el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de graduación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra a difundir a través de sitio web de la Biblioteca de la PUCE-SI el referido trabajo de graduación, respetando las políticas de propiedad intelectual de Universidad.

Ibarra, 8 de febrero del 2019.

(f.) . 

Daniela Isabel Paspuel Meneses

C.C. 040188920-9

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo en primer lugar a Dios por permitirme llegar a este momento tan importante de mi vida, por ser mi fortaleza para salir adelante.

A mis padres, Ramiro Paspuel y Elva Meneses por ser mi guía incondicional, quienes con su apoyo lograron sembrar en mí la semilla hacia la búsqueda de la superación constante, quienes han estado siempre presentes durante todo el trayecto de mi vida estudiantil y han velado por mí hasta verme convertida en una profesional.

A mis maestros por su dedicación, por transmitirme los conocimientos necesarios en mi formación profesional, los cuales serán la base para desarrollarme en mi carrera.

Daniela Isabel Paspuel Meneses.

AGRADECIMIENTOS

A Dios y a mis padres por permitirme llegar a esta etapa por ser el apoyo incondicional a lo largo de mi formación profesional.

A la Pontificia Universidad Católica del Ecuador PUCE-SI, por ser la casona del conocimiento adquirido durante mis años de formación, a mis maestros que conforman la Escuela de Ciencias Agrícolas y Ambientales por los conocimientos impartidos.

Daniela Isabel Paspuel Meneses.

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo evaluar la eficiencia de solubilización de fósforo por parte de cepas de hongos nativos de tres zonas de la provincia del Carchi: Espejo, Montufar y Huaca respectivamente, obtenidas de suelos con cinco diferentes usos: bosque natural, bosque de eucalipto, rotación de cultivos, monocultivo de papa y pasto; este estudio se lo desarrolló en dos fases, la fase 1 en laboratorio y otra en campo donde se evaluaron las cepas.

En laboratorio se aislaron e identificaron las cepas de hongos solubilizadoras de fósforo, en donde se utilizó medio de cultivo “Agar Pikovskaya” y se sembró 100 micro-litros de dilución de suelo de 10^{-1} hasta 10^{-7} y se mantuvo por 72 horas a temperatura ambiente para luego examinar la cantidad de ufc (unidades formadoras de colonias) de cepas de hongos. Se escogió las 5 mejores cepas de hongos solubilizadores, mediante el indicativo que es el halo de solubilización: identificadas con los códigos; SPT1 (Suelo Pasto Espejo), SPT12 (Suelo Pasto Espejo), SP1 (Suelo Papa Espejo), SN5 (Suelo Natural Montufar), SP3 (Suelo Papa Huaca), la especie de hongo solubilizador identificado por técnicas de biología molecular fue *Aspergillus niger* para todas las cepas. La evaluación de las mejores cepas de hongos se las hizo en campo en un cultivo de papa (*Solanum tuberosum*) variedad INIAP-LIBERTAD en invernadero utilizando suelo únicamente de monocultivo de papa de las tres zonas en estudio; se evaluaron las variables: longitud de tallo, diámetro de tallo, peso del tallo fresco, peso de raíz fresco, peso seco de raíz, peso seco de tallo, longitud de raíz, rendimiento. Los resultados mostraron que la aplicación de hongos solubilizadores de fósforo como biofertilizante influyen de manera positiva en el desarrollo de cultivo de papa (*Solanum tuberosum*) variedad INIAP-LIBERTAD, ya que después de realizar los análisis respectivos se puede concluir que las mejores cepas fueron: C5 (suelo de papa Huaca) y C1 (Suelo pasto Espejo) las cuales se mostraron con más del 90% mejores comparadas con el testigo sin ningún tipo de fertilización, la aplicación de *Aspergillus niger*, es una alternativa trascendental que genera una agricultura amigable con el ambiente.

Palabras clave: Hongos solubilizadores de fósforo, zonas de suelo, cultivo de papa.

ABSTRACT

A research work was carried out whose objective was to evaluate the solubilization efficiency of phosphorus by strains of native fungi from three zones of the province of Carchi; Espejo, Montufar and Huaca respectively, obtained from soils with five different uses: natural forest, eucalyptus forest, crop rotation, potato and grass monoculture, this study was developed in two phases, one in the laboratory and the field phase where evaluated the strains.

Phosphorus solubilizing fungal strains were isolated and identified in the laboratory, where "Pikovskaya Agar" culture medium was used and 100 micro liters of soil dilution of 10^{-1} to 10^{-7} was planted and maintained for 72 hours at room temperature to then examine the amount of cfu (colony-forming units) and fungal strains. The strains of fungi that gave the best results were 5: identified with the codes; SPT1 (Soil Grass Mirror), SPT12 (Soil Grass Mirror), SP1 (Soil Papa Mirror), SN5 (Natural Soil Montufar), SP3 (Soil Papa Huaca), the species of fungus solubilizer found was *Aspergillus niger* for all strains. The evaluation of the best fungal strains was done in the field in a potato crop (*Solanum tuberosum*) variety INIAP-LIBERTAD in greenhouse using soil only of potato monoculture of the three zones under study; the variables stem length, stem diameter, fresh stem weight, fresh root weight, root dry weight, stem dry weight, root length, yield were evaluated. The results of this investigation showed that the application of phosphorus-solubilizing fungi as a biofertilizer does have a positive influence on the development of potato (*Solanum tuberosum*) variety INIAP-LIBERTAD, which shows that the application of *Aspergillus niger* is an alternative transcendental that generates a friendly agriculture with the environment.

Key words: Phosphorus solubilizing fungi, soil zones, potato cultivation.

ÍNDICE DE CONTENIDO

INDICE DE CONTENIDO.....	1
CAPITULO I.....	1
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 PROBLEMÁTICA.....	1
1.2 OBJETIVOS.....	4
1.2.1 General.....	4
1.2.2 Específicos.....	4
1.3 HIPÓTESIS.....	5
CAPÍTULO II.....	6
2.1 Suelos de la provincia del Carchi.....	6
2.1.1 Suelo.....	6
2.2 Órdenes de Suelo.....	7
2.2.1 Andisoles.....	7
2.3 Usos del Suelo.....	8
2.3.1 Bosque Natural (SN).....	8
2.3.2 Uso de suelo de pasto (SPT).....	8
2.3.3 Bosque de Eucalipto (SE).....	8
2.3.4 Monocultivo de papa (SP).....	9
2.3.5 Rotación de cultivos (SR).....	9
2.4 El Fósforo.....	9
2.4.1 Fuentes de fósforo.....	10
2.4.2 El fósforo en el suelo y planta.....	10
2.4.3 Formas de fósforo en el suelo.....	11
2.4.4 Fósforo Orgánico.....	11
2.4.5 Fósforo Inorgánico.....	12
2.4.6 Fijación de Fósforo en el suelo.....	12
2.4.7 Solubilización de fósforo en el suelo.....	13
2.5 Microorganismos solubilizadores de fósforo.....	13
2.5.1 Hongos Solubilizadores de fósforo.....	14
2.6 Los Biofertilizantes.....	14
2.6.1 Ventajas de los biofertilizantes.....	15

2.6.2	<i>Aspergillus niger</i>	15
2.6.3	Ecología de <i>Aspergillus niger</i>	16
2.7	El Cultivo de Papa.	16
2.7.1	Origen de la papa.	16
2.7.2	Botánica de la planta de papa (<i>Solanum tuberosum</i>)	18
2.7.3	La planta.....	18
2.7.4	La Flor	19
2.7.5	Fruto.	19
2.7.6	Tubérculos.....	19
2.8	Requerimiento edafoclimáticos del cultivo de papa.	19
2.8.1	Temperatura.	19
2.8.2	Humedad.	20
2.8.3	Suelo.	20
2.8.4	Luz.....	20
2.8.5	Fertilización.	20
CAPÍTULO III		22
3.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	22
3.1	Ubicación del experimento, materiales, equipos, materia prima e insumos.....	22
3.1.1	Ubicación del experimento.	22
3.1.2	Materiales, equipos, insumos y materia prima.....	23
3.2	Metodología del ensayo.....	24
Fase de laboratorio (Fase N°1)	24	
3.2.1	Toma de muestras de suelo.	24
3.2.2	Preparación de la muestra.....	25
3.2.3	Aislamiento de hongos solubilizadores de fósforo.....	25
3.2.4	Siembra de la solución de suelo de las zonas en estudio.	25
3.2.5	Identificación de cepas de hongos solubilizadores de fósforo.	26
3.2.6	Cuantificación de colonias de microorganismos.....	26
3.2.7	Purificación de la colonia de hongos solubilizadores de fósforo.	26
Fase de invernadero (Fase N° 2).....	27	
3.3	Metodología del ensayo.....	27
3.4	Análisis estadístico.....	29
3.4.1	Variables de evaluación.	29
3.5	Manejo específico del ensayo.....	31

3.5.1 Preparación del inóculo para la siembra de papa.....	31
3.5.2 Adecuación del invernadero.	31
3.5.3 Llenado de fundas.	32
3.5.4 Fertilización.	32
3.5.5 Selección de la semilla.	32
3.5.6 Desinfección de la semilla.	32
3.5.7 Tipos de inoculación de la semilla.	33
3.5.8 Riego.	33
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.	34
4.1 Fase de laboratorio.....	34
4.1.1 Identificación de las mejores cepas de hongos solubilizadoras de fósforo.....	34
4.2 Fase de campo.	37
4.2.2 Análisis de variables por zonas.	38
4.2.2.1 Resultados zona 1 (Espejo).....	38
4.2.2.2 Resultados zona 2. (Montufar.)	48
4.2.2.3 Resultados zona 3. (Huaca)	56
4.3.1 Proceso de socialización de la investigación.	64
CAPITULO V.....	66
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	66
5.1 Conclusiones	66
5.2 Recomendaciones	68
BIBLIOGRAFÍA.	69
ANEXOS.	75

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Ubicación geográfica del área en estudio	22
Tabla 2. Factores y niveles controlados en la investigación	28
Tabla 3. Diseño experimental de la investigación. Unidades experimentales	28
Tabla 4. Diseño experimental, combinación de factores.....	29
Tabla 5. Resultados de colonias de los microorganismos encontrados en suelos de las zonas en estudio.	35
Tabla 6. Pruebas de normalidad de variables de la investigación.....	37
Tabla 7. Resultados de la encuesta de socialización.....	60

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Principales provincias productoras de papa y la superficie sembrada total año 2016.	17
Figura 2. Rangos de significancia de comparación de tratamientos para diámetro de tallo de plantas de papa. Zona 1 (Espejo).	39
Figura 3. Rangos de significancia de comparación de tratamientos d, para altura de planta a los 110 días del cultivo de papa. Zona 1 (Espejo).	40
Figura 4. Rangos de significancia de comparación de tratamientos para longitud raíz fresco del cultivo de papa. Zona 1 (Espejo).	41
Figura 5. Rangos de significancia de comparación de tratamientos para longitud de tallo fresco a la cosecha del cultivo de papa. Zona 1(Espejo).	42
Figura 6. Rangos de significancia de comparación de tratamientos comparando peso raíz fresco y peso raíz seco a la cosecha del cultivo de papa. Zona 1 (Espejo).	43
Figura 7. Rangos de significancia de comparación de tratamientos, comparando peso tallo fresco y peso tallo seco a la cosecha del cultivo de papa. Zona 1 (Espejo).	45
Figura 8. Rangos de significancia de comparación de tratamientos, para la variable número de tubérculos a la cosecha del cultivo de papa. Zona 1 (Espejo).	46
Figura 9. Rangos de significancia de comparación de tratamientos, para la variable peso de tubérculos a la cosecha del cultivo de papa. Zona 1 (Espejo).	47
Figura 10. Rangos de significancia de comparación de tratamiento, para la variable diámetro de tallo del cultivo de papa. Zona 2 (Montufar).	48
Figura 11. Rangos de significancia de comparación de tratamientos, para la variable crecimiento de tallo a los 110 días del cultivo de papa. Zona 2 (Montufar).	49
Figura 12. Rangos de significancia de comparación de tratamientos, para la variable longitud de raíz fresca del cultivo de papa. Zona 2 (Montufar).	50

Figura 13. Rangos de significancia de comparación de tratamientos donde, para la variable longitud de tallo fresco a la cosecha del cultivo de papa. Zona 2 (Montufar).	51
Figura 14. Rangos de significancia de comparación de tratamientos, para las variables peso raíz seca y fresca del cultivo de papa. Zona 2 (Montufar).....	52
Figura 15. Rangos de significancia de comparación de tratamientos, para las variables peso tallo seco y peso tallo fresco del cultivo de papa. Zona 2 (Montufar).	54
Figura 16. Rangos de significancia de comparación de tratamientos, para la variable número de tubérculos del cultivo de papa. Zona 2 (Montufar).....	55
Figura 17. Rangos de significancia de comparación de tratamientos, para la variable peso de tubérculos del cultivo de papa. Zona 2 (Montufar).	56
Figura 18. Rangos de significancia de comparación de tratamientos, para diámetro de tallo del cultivo de papa. Zona 3 (Huaca).	57
Figura 19. Rangos de significancia de comparación de tratamientos, para crecimiento de tallo a los 110 días del cultivo de papa. Zona 3 (Huaca).	58
Figura 20. Rangos de significancia de comparación de tratamientos, para longitud raíz fresco del cultivo de papa). Zona 3 (Huaca).....	59
Figura 21. Rangos de significancia de comparación de tratamientos, para longitud tallo fresco del cultivo de papa). Zona 3 (Huaca).	60
Figura 22. Rangos de significancia de comparación de tratamientos, para las variables peso fresco y seco de raíz del cultivo de papa. Zona 3 (Huaca).	61
Figura 23. Rangos de significancia de comparación de tratamientos, para las variables peso fresco y seco de tallo del cultivo de papa. Zona 3 (Huaca).	62
Figura 24. Rangos de significancia de comparación de tratamientos, para la variable número de tubérculos del cultivo de papa. Zona 3 (Huaca).	63
Figura 25. Rangos de significancia de comparación de tratamientos, para la variable peso de tubérculos del cultivo de papa. Zona 3 (Huaca).....	64

CAPITULO I

1. INTRODUCCIÓN.

En la actualidad, la agricultura se ha inclinado hacia una forma convencional de cultivar, en donde se aplican grandes cantidades de fertilizantes químicos al suelo, provocando que los mismo se degraden, es importante mencionar que el suelo está vivo, en él se encuentran microorganismos que favorecen la solubilización de elementos químicos, para que estos se vuelvan disponibles para las plantas; pero una inadecuada fertilización química junto con el uso exagerado de plaguicidas han provocado la degradación del mismo (Gómez, 2013).

Hoy en día se busca continuar con una agricultura en donde se apliquen actividades amigables con el ambiente y en cuanto se refiere a nutrición de las plantas también se puede reducir el uso exagerado de fertilizantes químicos, reemplazándolos con biofertilizantes a base de microorganismos benéficos; es por ello, que la presente investigación tiene como fin aislar, inocular y evaluar hongos solubilizadores de fósforo, los cuales van a desbloquear este elemento que se encuentra fijado en los suelos del Ecuador específicamente en la provincia del Carchi.

A nivel mundial, el cultivo de papa es uno de los más importantes, por sus fuentes nutricionales y porque genera mayores rendimientos por hectárea, pese a ello, es importante conocer que el cultivo de papa tiene altos costos de producción debido a que demanda grandes cantidades de nutrientes para su desarrollo, lo que conlleva la aplicación exagerada de fertilizantes químicos provocando contaminación ambiental (Guerrero, 2016). Al analizar esta problemática es necesario investigar nuevas alternativas que permitan reducir estos efectos.

1.1 PROBLEMÁTICA.

El cultivo de papa forma parte de las principales actividades agrícolas que se realizan en el Ecuador, según el último Censo Agropecuario, Carchi es la segunda provincia productora con seis mil hectáreas sembradas, (MAGAP, 2016) repitiendo ciclos consecutivos del cultivo y en el cual se está aplicando de manera excesiva fertilizantes inorgánicos y fitosanitarios que da como resultado un efecto negativo

principalmente para los suelos y el ambiente de forma general (Monteros, 2016). Según algunos agricultores consultados del lugar en tiempos pasados el cultivo de papa no necesitaba de aplicaciones en exceso de fertilizantes inorgánicos y el suelo era más fértil.

A nivel nacional, la producción de papa dedica un alto porcentaje a la fertilización inorgánica y la cantidad promedio de fertilizante aplicada por los productores se compone de 3qq/ha de nitrógeno; 7 qq/ha de fósforo y 5 qq de potasio, (Monteros, 2016). Es notorio la predominancia de la utilización de fertilizantes fosforados en la producción de papa, en el Carchi cuyos suelos al ser andinos tienen una alta retención de fósforo, provocando que los agricultores aumenten cada vez más la fertilización lo que está aumentando la contaminación ambiental. El fósforo es un macronutriente indispensable para el desarrollo de las plantas, cuya deficiencia provocaría grandes anomalías fisiológicas en las mismas, disminución de la producción final y por consiguiente pérdidas económicas. (García y Tapia, 2013). Un factor importante de mencionar acerca del fósforo es que es inmóvil en el suelo como también posee baja solubilidad en suelos agrícolas, lo cual genera un grave problema. Incluso cuando se lo coloca al suelo en forma de fertilizante puede que no sea absorbido por las plantas. Los excesos de nitrógeno y fosfatos se pueden infiltrar en las aguas subterráneas y contaminar las mismas existiendo también pérdidas en la biodiversidad (Orea & Villarino, 2013).

La Coordinación del Sistema de Información Nacional-SINAGAP (2017), establece que los costos de fertilizantes en el Ecuador se sitúan así: urea 33 USD, Fosfato diamónico 45 USD, y el muriato de potasio en 36 USD, es decir, que los agricultores al fertilizar en mayor cantidad los suelos con fósforo generan mayor costo de producción en cuanto a fertilización.

1.2 JUSTIFICACIÓN.

La agricultura convencional ha tenido un gran impacto sobre el ambiente lo que ha provocado degradación del suelo, contaminación del agua por el uso exagerado de fertilizantes y plaguicidas (Monteros, 2016). La revolución verde trajo la tendencia de producir de manera extensiva a gran escala junto con el uso de alta tecnología (Ceccon, 2010). Lo que significa más fertilización inorgánica junto con controles químicos debido a la resistencia de las plagas.

Es evidente que en los últimos tiempos la contaminación ambiental ha aumentado considerablemente por varias causas, una de ellas es la fertilización química (Orea & Villarino, 2013), Por tal razón contrarrestar estos efectos con el uso de biofertilizantes que sean amigables con el ambiente.

En la provincia del Carchi el desarrollo de éstas prácticas agrícolas, surgen como una iniciativa de buscar una posible alternativa a los fertilizantes convencionales con la aplicación de biofertilizantes que sean capaces de solubilizar el fósforo tanto orgánico como inorgánico, que está presente en el suelo, de tal manera que se compense la cantidad de fósforo requerido por las plantas y también reducir la contaminación ambiental al disminuir la aplicación excesiva de fertilizantes químicos, lo que permite mantener la sostenibilidad y sustentabilidad de los agro ecosistemas (UNAM, 2014).

Al aplicar biofertilizantes al suelo, éstos incrementan los nutrimentos del mismo, por su acción sobre los ciclos biogeoquímicos, tales como solubilización de elementos minerales o la mineralización de compuestos orgánicos (Gragueda, Díaz, Peña & Vera, 2012).

En el suelo existen microorganismos capaces de solubilizar los fosfatos para liberar fósforo inorgánico como también otras formas solubles que sean disponibles para las plantas (Pérez, Valencia y Useche, 2008). Los hongos solubilizadores de fósforo pueden inocularse e incrementar el fósforo disponible para las plantas.

El cultivo de hongos solubilizadores de fósforo es una alternativa a esta gran problemática, lo que puede llevar a prácticas agrícolas más amigables con el ambiente y a la vez disminuir los costos de producción sin afectar la producción total del mismo.

La presente investigación tiene como fin aislar, identificar y evaluar hongos solubilizadores de fósforo, de diferentes usos de suelo de la provincia del Carchi de tal manera que no se afecte su hábitat natural, y así ser introducidos al suelo luego de obtener las cepas que tengan la capacidad de solubilizar el fósforo, y que puedan mejorar y aumentar la producción de los cultivos de papas.

1.2 OBJETIVOS.

1.2.1 General.

Aislar, identificar y evaluar hongos solubilizadores de fósforo de muestras de suelo de diferentes zonas de estudio de la provincia del Carchi, para aplicarlos en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum*), variedad INIAP-Libertad.

1.2.2 Específicos.

1. Aislar y cuantificar hongos solubilizadores de fósforo endógenos de suelos de la Provincia del Carchi.
2. Identificar macroscópicamente las mejores cepas de hongos aislados.
3. Evaluar el efecto que tienen los hongos solubilizadores de fósforo aislados, en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum*), variedad INIAP-Libertad, bajo invernadero.
4. Socializar los resultados mediante un día de campo.

1.3 HIPÓTESIS.

La aplicación de hongos solubilizadores de fósforo, influye en el desarrollo fisiológico del cultivo de papa (*Solanum tuberosum*), variedad INIAP-Libertad.

CAPÍTULO II

ESTADO DEL ARTE.

2.1 Suelos de la provincia del Carchi.

La provincia del Carchi posee un suelo de origen volcánico, con altas concentraciones de aluminio como también oxalato ácido de amonio; es profundo y rico en materia orgánica (8 a 16%), posee una alta capacidad de retención de agua, una densidad aparente baja, con alta estabilidad estructural y eficiente permeabilidad (INIAP-CIP, 2002).

Por las características antes mencionadas este tipo de suelos de la sierra se los ha denominado suelos negros, aptos para el cultivo de papa, sin embargo, existe la presencia de imogolita que es una de las características químicas del suelo que le confieren alta fijación de fósforo, es por ello que el Ecuador es uno de los países que más usa fertilizantes fosforados (Parfitt & Russell, 2000).

2.1.1 Suelo.

El suelo es la capa más superficial de la corteza terrestre, lo cual posibilita la vida en el mismo; se lo puede identificar como la interface entre la litósfera y la atmósfera. Lal & Shukla (2004), mencionan que “el suelo constituye uno de los mayores componentes de todo el ecosistema terrestre y es considerado como el más básico de todos los recursos naturales” (p 18).

Los suelos en su mayoría se encuentran constituidos de cuatro componentes juntamente con tres fases los cuales son: sólidos orgánicos e inorgánicos, aire y agua. Los componentes sólidos, es decir, orgánicos e inorgánicos ocupan entre el 50% del total; mientras que los componentes líquido y gaseoso cada uno el 25 %. La materia orgánica de los suelos minerales en general se ubica entre el 5% o menos (Lal & Shukla, 2004).

El suelo es el medio óptimo para el crecimiento de las plantas, es por ello que la fertilidad del mismo es vital para la producción; los suelos presentan diferentes

características de acuerdo a su ubicación por causas ambientales y climáticas, de igual forma éstos pueden cambiar su estructura (PPI, 2000).

2.2 Órdenes de Suelo.

La taxonomía de los suelos clasifica a los mismos en: suelos minerales y suelos orgánicos para esto se especifica lo que es un material orgánico y un material mineral, como también conocer la cantidad de esta composición y clasificarlos dentro de estos tipos de suelo, es importante mencionar que la mayoría de los suelos poseen mayores cantidades de componentes minerales a comparación de los orgánicos que se encuentran en menores cantidades (Ortiz y Gutiérrez, 2014).

Según la USDA (2014) menciona: la categoría más alta de clasificación de suelos es el de Orden, el cual consta de diez clases de clasificación.

En el Ecuador, la región sierra incluye áreas que se ubican entre los 1300 hasta los 3000 m.s.n.m, presenta dos cadenas montañosas que la atraviesan de norte a sur; el orden de suelo que predomina en esta región es el Andisol aproximadamente 8438.650 ha (Calvache, 2015).

2.2.1 Andisoles.

El orden de suelo Andisol, se forma a partir de cenizas volcánicas y presenta poca evolución, se identifica la presencia de alófana que es una arcilla amorfa, posee una baja densidad aparente ($< 0,85$ g/cc), con una cantidad de materia orgánica de alrededor de un 20 % y una alta fijación de fósforo; este tipo de orden es apto para realizar actividades agrícolas a consecuencia de que presenta excelentes condiciones de fertilidad (Calvache, 2015).

2.3 Usos del Suelo.

El uso de suelo significa la manera de utilización de las tierras; en el Ecuador se encuentra: cultivos transitorios, tierras en período de descanso, pastos cultivados, suelos naturales, bosques, páramos, montes, entre los más principales (INEC, 2012).

En este trabajo se muestran los usos de suelo del área de estudio de la provincia del Carchi, entre los que se encuentra:

2.3.1 Bosque Natural (SN)

Los bosques naturales son espacios de suelo en donde no ha intervenido el hombre, son formaciones vegetales naturales, cuya función es la de conservación de los mismos como de la vida animal que allí se desarrolla; en cuanto a la flora se puede encontrar más de 200 especies (Salgado, Buitrón, Boada y Tobar, 2003). Las más representativas son: “*BrunelHa paucijlora* (Brunelliaceae), *Cletbra crista* (Clcthraceae), *Oreopanax ecuadorensis* (Araliaceae) *Gynoxys acostae* (Asteraceae)”. (Salgado, Buitrón, Boada y Tobar, 2003).

2.3.2 Uso de suelo de pasto (SPT)

Las praderas son pasturas que pueden ser naturales o sembradas y estas son la base para la alimentación de animales rumiantes; es un ecosistema en donde predomina el crecimiento de gramíneas, el uso de suelo de pasto es que son suelos dedicados específicamente al cultivo del mismo (Squella, 2008).

2.3.3 Bosque de Eucalipto (SE)

Predominan los árboles de eucalipto, se caracterizan porque absorben grandes cantidades de agua debido a los procesos de evapotranspiración; el eucalipto es una especie originaria de Australia la cual ha ido evolucionando en diferentes bioclimas propios de su hábitat de dispersión que cada vez que se introduzca en

otro suelo se producirá cambios en las propiedades físico químicas del mismo de acuerdo a las necesidades nutricionales (Poore y Fries, 2000).

2.3.4 Monocultivo de papa (SP)

Es el uso de suelo en el que se siembran ciclos consecutivos de papa (*Solanum tuberosum*), manejado bajo los mismos patrones del ciclo anterior, mismos tipos de control, similitud en la variedad de las semillas, e igual tipo de fertilización (INEC, 2012).

2.3.5 Rotación de cultivos (SR)

Es un tipo de uso de suelo en donde se va alternado diferentes tipos de cultivo de distintas familias, con necesidades nutricionales diferentes durante un tiempo de tres ciclos a más, lo que conlleva a contrarrestar los efectos de que el suelo se empobrezca de nutrientes y que las enfermedades de cada cultivo se vayan perdiendo (Guerra, Sancho y Villavicencio, 2012).

2.4 El Fósforo

Este elemento juega un papel importante en la transferencia de energía, es esencial para la fotosíntesis como también para procesos químico-fisiológicos, es indispensable para la diferenciación de las células y para el desarrollo de los tejidos, que forman los puntos de crecimiento de la planta (Bertsch, 2009).

Es el principal componente de los sistemas encargados del almacenamiento, captación, transferencia de energía, es considerado como un elemento básico en la formación de macromoléculas entre ellos ácidos nucleicos y fosfolípidos por lo que es evidente que su función es generalizada en la mayoría de los procesos fisiológicos de las plantas (Fernández, 2007).

Es deficiente en la mayoría de los suelos naturales o agrícolas o donde la fijación limita su disponibilidad (FAO, 2015).

2.4.1 Fuentes de fósforo.

La principal fuente de fósforo es la roca fosfórica, la cual pertenece al grupo de los recursos no renovables, cuyas reservas son finitas, es decir, que se van agotando; según investigaciones realizadas esto se dará dentro de un estimado de 50 a 100 años (Codell, Rosemarin, Schroder y Smith, 2011).

La fuente original de fósforo es el material madre, constituido por rocas fosfatadas, tales como apatita, fluo-rapatita, vivianita. Constituye aproximadamente el 0,12 % de la corteza terrestre. La cantidad de fósforo total de la capa arable de un suelo agrícola no está relacionada directamente con la disponibilidad (Sanzano, 2000).

Los antecedentes antes mencionados conllevan a un incremento en los precios de los fertilizantes fosforados, conociendo que constituye uno de los principales elementos que necesitan las plantas para su desarrollo más aún esto provocaría que los agricultores tengan problemas en sus cultivos con el consecuente de un déficit en el abastecimiento de alimentos para una población que crece cada día más (Cordell et al., 2011).

2.4.2 El fósforo en el suelo y planta.

Representa aproximadamente el 90% de fósforo, es decir, que menos del 10% se encuentra disperso fuera del suelo; pero es importante mencionar que solo una pequeña parte de ese 90% es utilizado por las plantas (Fernández, 2007).

La cantidad de fósforo presente en el suelo es relativamente bajo, pues la mayoría de estos contienen entre 0.02 y 0.08% de P, los cuales son valores considerablemente menores a las cifras que tiene el nitrógeno y el potasio que son 0.14% y 0.80% respectivamente (Mallarino et al., 2002).

Los suelos que tienen valores más elevados de fósforo son los formados a partir de la alteración de rocas básicas, como basalto; después le siguen los suelos derivados de sedimentos limo arcillosos como los de las formaciones geológicas. Los suelos con menor cantidad de fósforo están los derivados de la alteración de

rocas ácidas del basamento cristalino y de sedimentos como las arsénicas triásicas y cretácicas (Mallarino et al., 2002).

El elemento fósforo juega un papel muy importante en el crecimiento de las plantas pues es indispensable para su desarrollo, ha llegado a ser considerado el segundo elemento químico más limitante dentro de la producción agrícola, su ausencia simplemente no es compatible con la vida (Tucuch, Hernández, Valdez, García y Alvarado, 2017).

Es considerado como uno de los nutrientes más importantes para las plantas y a la misma vez más deficitario, pero en gran parte es algo contradictorio ya que la mayoría de los suelos posee un alto contenido de este elemento. (Awasthi citado por Patiño y Sanclemente, 2014).

La condición de deficiencia de fósforo es suplementada con la aplicación de fertilizantes fosfóricos de síntesis química, lo que conlleva a enfrentarse a problemas como: altos costos de producción, baja eficiencia (5-30%), acumulación de fosfatos en el ambiente, escasez de roca fosfórica a nivel mundial (Patiño y Sanclemente, 2014).

2.4.3 Formas de fósforo en el suelo.

Se puede decir que el fósforo no se encuentra en el suelo de forma elemental, es decir, que está combinado con otros elementos lo que conlleva a formar complejos minerales como: Fósforo inorgánico u orgánico (Galantini, Iglesias y Suñer, 2007).

2.4.4 Fósforo Orgánico.

Representa entre el 15 % y el 80 % del fósforo total del horizonte superficial; está compuesto por varias fracciones empezando desde las más frágiles hasta las más resistentes, pero el componente orgánico central es la presencia de la microbiota que está ligada a factores ambientales y al manejo de los suelos (Picone y Zamuner, 2002).

Se encuentra al fósforo presente en la biomasa microbiana depende de la mineralización del suelo resultado de condiciones como la temperatura y el contenido de agua del suelo. El P orgánico lábil está disponible para plantas o microorganismos solubilizadores en una etapa de tiempo corta que puede ir de días a semanas lo que facilita la actividad enzimática de las fosfatasas (Picone y Zamuner, 2002).

2.4.5 Fósforo Inorgánico.

Se encuentra en forma de fósforo soluble, fósforo intercambiable y fósforo insoluble.

- **Fósforo soluble.** Es la forma de P aprovechable para la planta de manera inmediata pues son fosfatos en la solución del suelo, su concentración está entre 200 a 400 g/ha en 30 cm de espesor (Tucuch et al., 2017).
- **Fósforo Intercambiable.** Su disponibilidad es baja y más lenta; representa del 15 % al 30 % del fósforo inorgánico, es decir, entre 800 a 2500 kg de P_2O_5 /ha.
- **Fósforo Insoluble.** Esta forma de fósforo se encuentra tanto en los minerales primarios como en los secundarios, por tal razón, constituye la gran reserva de fósforo inorgánico del suelo (Sanzano, 2000).

2.4.6 Fijación de Fósforo en el suelo.

La fijación de fósforo en el suelo en gran medida depende del pH y del tipo de suelo, entre más ácido es el suelo, conlleva a la fijación de fósforo lo cual se debe a la presencia de Aluminio (Al) y Hierro (Fe) (Bucher, Rausch y Daram, 2001).

La deficiencia de fósforo en el suelo limita el crecimiento de las plantas ya que es un macronutriente esencial para el desarrollo de las mismas, es importante mencionar que el P no está sometido a pérdidas por volatilización o lixiviación; el factor que limita la absorción por las plantas es su fijación en el suelo (Flores, Torres, Gonzáles y Rincón, 2001).

El orden de suelo Andisol que generalmente es de una reacción ácida, básicamente es rico en materia orgánica pero también se da el caso de problemas de

disponibilidad de fósforo; esto por la presencia mayoritaria de alófano (Flores et al., 2001).

2.4.7 Solubilización de fósforo en el suelo.

La baja solubilidad de los compuestos de fósforo lleva a tener niveles muy reducidos de fosfatos en la solución de suelo (Mallarino, Rabuffetti y Zamalvide, 2002).

La limitada disponibilidad de fósforo hacia las plantas, se debe a la unión de aniones fosfato con otros elementos, los cuales forman complejos poco solubles, como es el caso de fosfatos de hierro (FePO_4), o fosfatos de aluminio (AlPO_4), esto se da en suelos ácidos como también, fosfatos de calcio $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, que se forma en suelos alcalinos (Hernández, Carrión y Heredia, 2011).

El fósforo disponible para las plantas puede ser facilitado por la interacción de microorganismos solubilizadores de este elemento (Hernández, et al., 2011).

2.5 Microorganismos solubilizadores de fósforo.

Existen en el suelo microorganismos capaces de solubilizar los fosfatos para liberar fósforo inorgánico, otras formas solubles para que sean disponibles para las plantas.

Los hongos solubilizadores de fosfato son parte de un grupo funcional de microorganismos que intervienen de manera directa, fundamental en la transformación de fósforo en los suelos, éstos aprovechan las grandes reservas de fósforo insoluble que se encuentra fijado a los minerales del suelo (Beltrán, 2014).

Existen microorganismos que mejoran la disponibilidad de fósforo para las plantas, esto se puede dar mediante un proceso de mineralización del P orgánico, también al solubilizar fosfatos precipitados en el suelo (Ranjan, Deo, Patra y Biswas, 2017).

Los microorganismos se encuentran presentes en los suelos ricos en materia orgánica, son capaces de aumentar la disponibilidad de fósforo para las plantas y lo realizan a través de varios mecanismos, como: la liberación de ácidos orgánicos,

y la producción de enzimas que hidrolizan el P orgánico del suelo (Ranjan et al., 2017).

2.5.1 Hongos Solubilizadores de fósforo.

Existen microorganismos que son de gran importancia en la nutrición de las plantas, este es el caso de los hongos del suelo que pueden ser benéficos o dañinos en algunos casos; los hongos solubilizadores de fósforo son de gran beneficio, desarrollándose en los últimos años estudios de aislamiento, identificación y su evaluación probándolo en diferentes cultivos (Hernández, et al., 2011).

Entre los hongos que solubilizan el fósforo del suelo, los más estudiados son los de las especies *Penicillium* y *Aspergillus*, cuyas formas de solubilizar el fósforo presente en el suelo es mediante la producción de ácidos orgánicos como: el ácido cítrico, málico, glucónico como también la quelación de minerales que forman complejos insolubles con el fósforo (Chun-Chao, Yu-Lin, Chen-Ching y Wei-Liang, 2006).

2.6 Los Biofertilizantes.

Son insumos representados por una amplia gama de microorganismos, estiércoles o abonos verdes; se puede definir como biofertilizante a un producto que contenga los materiales antes mencionados que al ser inoculados puedan vivir en asociación o manteniendo una simbiosis con las plantas favoreciendo su protección y nutrición (Grageda, Díaz, Peña y Vera, 2012).

Biofertilizantes son soluciones de microorganismos que se los preparan con el fin de aplicarlos al suelo con el objetivo de suplantar de manera parcial o totalmente la fertilización química tratando de disminuir la contaminación ambiental ocasionada por los agroquímicos (Bojórquez, Gutiérrez, Báez, Sánchez y Montoya, 2010).

Los biofertilizantes contienen microorganismos que se los encuentra de manera natural en el suelo, sin embargo, su disponibilidad es cada vez menor por la forma en cómo se maneja el suelo junto con el abuso de agroquímicos (Grageda et al., 2012).

Para la elaboración de biofertilizantes se utilizan microorganismos que se los clasifican dentro de dos grupos:

- Un grupo incluye microorganismos con la capacidad de sintetizar sustancias que promuevan el desarrollo de la planta, por ejemplo: microorganismos fijadores de nitrógeno, solubilizadores de fósforo entre otros (Bojórquez et al., 2010).
- En el segundo grupo se ubican los microorganismos que disminuyen o atenúan los efectos de deterioro de los microorganismos patógenos.

2.6.1 Ventajas de los biofertilizantes.

- La utilización de biofertilizantes permite disminuir los costos de producción.
- Permite ejercer protección del medio ambiente.
- Los biofertilizantes mantienen la conservación de los suelos otorgándoles fertilidad y biodiversidad.
- Los biofertilizantes solubilizadores de fósforo permite pasar de formas orgánicas a inorgánicas o de insoluble a solubles todo ello mediante microorganismos (Acuña, 2003).

2.6.2 *Aspergillus niger*.

En los últimos años la especie de hongo *Aspergillus niger* ha sido muy estudiado por parte de la industria tanto alimentaria, farmacéutica e industrial esto porque tiene una alta capacidad para producir ácidos orgánicos, liberación de enzimas, degradación de xenobióticos y con un alto potencial para la biorremediación, lo que le confiere a esta especie de hongo muchas cualidades y el afán de los investigadores en seguir innovando en su utilización; en la agricultura no podía ser la excepción pues el hecho de que sea capaz de producir ácidos orgánicos, hace que este sea el principal autor en la solubilización del fósforo presente en el suelo (Pel, de Winde y Stam, 2007).

2.6.3 Ecología de *Aspergillus niger*

Aspergillus niger es un hongo de forma filamentosa y de color negro el cual se desarrolla en un ambiente aeróbico en la materia orgánica, es decir, con presencia de oxígeno, se lo puede encontrar en la naturaleza ya sea en el suelo, en material vegetal en descomposición, hasta en la basura, su crecimiento depende de varios factores como cantidad de agua, temperatura y pH (Schuster, Dunn, Frisvad y Van, 2002).

El hongo *Aspergillus niger* es capaz de crecer en un amplio rango de temperatura que va desde 6 a 47°C; en cuanto a la cantidad de agua necesita de una alta cantidad de 0.88 mm y un pH de 1.4 a 9.8 (Schuster et al., 2002).

2.7 El Cultivo de Papa.

2.7.1 Origen de la papa.

La papa (*Solanum tuberosum*) tiene su origen en el valle del cusco Perú, que fue encontrada por Pedro Cieza de León en el año 1538 el encontró tubérculos que los indígenas las denominaban papas, según la historia luego se encontraron a estos tubérculos en la ciudad de Quito-Ecuador (INIAP-CIP, 2002).

Posteriormente la domesticación se dio en los alrededores del Lago Titicaca que es la frontera actual entre Perú y Bolivia, está se realizó por parte de las diferentes culturas que se asentaban en ese entonces como la Tiahuanaco, la Nazca, la Inca, la Mochiha de las cuales existen evidencias arqueológicas que muestran que estas culturas se dedicaban al cultivo de papa (INIAP-CIP, 2002).

Cuando ya se dio la domesticación de la papa, las especies fueron evolucionando, las cuales se originaron a partir del nivel diploide, es decir, de dos pares de cromosomas; la primera especie fue *Solanum phureja* que se encontraba distribuida desde tiempos prehispánicos desde el centro del Perú hasta Ecuador, Colombia y Venezuela con el pasar del tiempo se dio la diversificación del cultivo a través de una hibridación intra e interespecífica.

Estudios demuestran que existen 2000 especies conocidas dentro del género *Solanum* de estas entre 160 y 180 especies forman tubérculos, pero de estas se estima que únicamente 8 son especies comestibles cultivadas (INIAP-CIP, 2002).

El Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias realizó una investigación de papas cultivadas en el Ecuador, de lo cual encontró alrededor de 400 diferentes tipos de papas de las especies *phureja* y *andígena*. Pese a este estudio se estima que en el país se siembran comúnmente 30 cultivares y de las cuales las variedades INIAP- Superchola y Gabriela ocupan más de la mitad del área total sembrada en el país (INIAP-CIP, 2002).

En la actualidad en el Ecuador el cultivo de papa tiene una superficie total cosechada de 29,532 Ha, registrado en el año 2017 (SIPA, 2017). La provincia del Pichincha es la mayor productora de papa ocupando el 27% del total nacional.

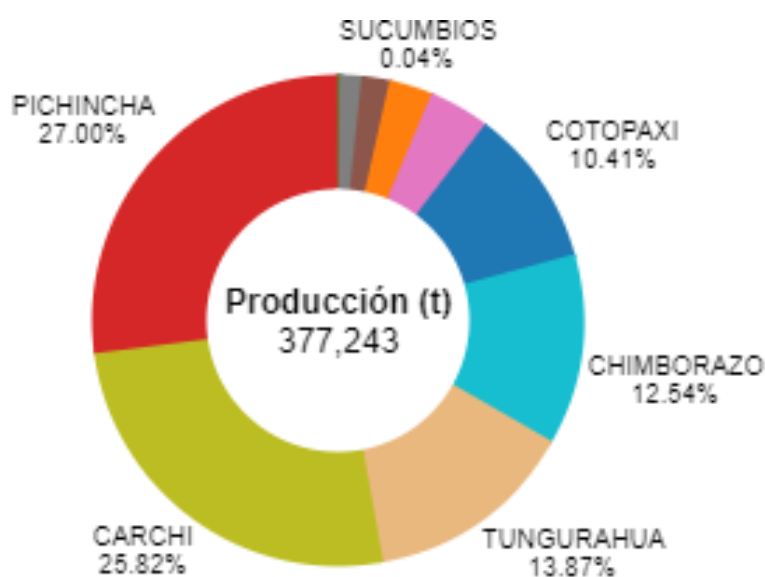


Figura 1. Participación de las principales provincias productoras de papa en la superficie sembrada total año 2017.

Fuente: Encuesta de superficie y producción Agropecuaria Continua- (SIPA, 2017)

En los últimos años América Latina ha aumentado la producción de papa por área sembrada.

Básicamente la producción de papa en el Ecuador se distribuye en tres zonas geográficas que son: norte, centro y sur del país; el cultivo de papa se desarrolla a una altitud de 2.400 a 3.800 m.s.n.m. en pisos subandinos e interandinos. Se adapta a terrenos irregulares y en laderas con más de 45% de pendiente; este cultivo puede desarrollarse en condiciones extremas de frío como el subpáramo (INIAP-CIP, 2002).

2.7.2 Botánica de la planta de papa (*Solanum tuberosum*)

Según el INIAP (2002). El cultivo de papa en el Ecuador se lo ha catalogado como un cultivo de altura, no obstante, la papa se ha comenzado a extender hacia las partes bajas del país como es el caso de la Provincia de Santa Elena en donde se ha logrado excelentes resultados; la papa se adapta en un tipo de suelo franco, bien drenado, y con un contenido alto de materia orgánica.

2.7.3 La planta.

Su categoría taxonómica es la siguiente:

Familia: *Solanaceae*

Género: *Solanum*

Subgénero: *Potatoe*

Sección: *Petota*

Serie: *Tuberosa*

La papa es un tubérculo, una dicotiledónea herbácea cuyo crecimiento es rastrero o erecto por lo general los tallos son leñosos, gruesos y presentan entrenudos cortos, los tallos presentan color verde o en algunas ocasiones rojo púrpura dependiendo de la variedad; posee un follaje que puede alcanzar de 0.50 a 1.50 m de altura; sus hojas son compuestas, se ordenan de manera alterna a lo largo del tallo, lo que le confiere a la planta un aspecto frondoso (INIAP, 2002).

2.7.4 La Flor

La floración del cultivo de papa está ligada a las condiciones climáticas específicamente a la temperatura, el fotoperiodo, posee una inflorescencia en racimo que generalmente son terminales; cada una de las flores es hermafrodita, es decir, contiene androceo, gineceo, la flor es pentámera, con sépalos; en la flor se da una autopolinización de manera natural (INIAP, 2002).

2.7.5 Fruto.

Es una baya de tamaño pequeño en el cual se encuentran las semillas, su forma es redonda u ovalada de color verde y en ocasiones castaño rojizo (INIAP, 2002).

2.7, 6 Tubérculos.

Son tallos los cuales se originan en el extremo del estolón, son carnosos contienen yemas y ojos. El tubérculo se forma por la proliferación del tejido de reserva, el cual estimula el aumento de células por hasta 64 veces; dentro del tejido de reserva se almacenan hidratos de carbono junto con gránulos de almidón, el tubérculo es la parte comestible del cultivo de papa (INIAP, 2002).

2.8 Requerimiento edafoclimáticos del cultivo de papa.

2.8.1 Temperatura.

El cultivo de papa se adapta a un clima templado-frío, no obstante, para que se desarrolle de manera normal necesita una temperatura que va de 16 a 20°C, es importante mencionar, que no se debe sobrepasar una temperatura de 30°C porque esto influiría en la mala formación de tubérculos junto con la proliferación de plagas (Parsons, 2010).

2.8.2 Humedad.

La papa es un cultivo que requiere de un continuo abastecimiento de agua para un adecuado desarrollo, hay que tomar en cuenta que una humedad excesiva durante los procesos de germinación, floración y maduración de los tubérculos resulta nociva para el cultivo (Parsons, 2010).

2.8.3 Suelo.

El suelo debe satisfacer las necesidades de agua, nutrientes y aireación a las raíces de la papa, este cultivo tolera la salinidad, afectándole los terrenos compactos y pedregosos, pues de esta manera los tubérculos no podrían desarrollarse, se adapta a un pH ácido entre 5.5 a 7 (Parsons, 2010).

2.8.4 Luz.

La planta de papa no requiere de luz para su germinación, pero luego la luz es indispensable en el fotoperiodo ya que influye directamente en la tuberización (Parsons, 2010).

2.8.5 Fertilización.

En algunas zonas del Ecuador, y particularmente en la provincia del Carchi se utilizan grandes cantidades de fertilizantes químicos, lo que provoca desbalances iónicos que bloquean la absorción de otros elementos; los agricultores dedicados al cultivo de papa utilizan un promedio de 30.000 toneladas de fertilizante cada año (INIAP-CIP, 2002).

Los requerimientos de nutrientes del cultivo de papa dependen de varios factores como: la fertilidad del suelo, la variedad, las condiciones climáticas y el manejo del cultivo. Principalmente lo que requiere el cultivo es nitrógeno, fósforo y potasio, la mayor demanda de nutrientes del cultivo se da a partir de los 50 días, que es cuando inicia el crecimiento del follaje y la tuberización (INIAP-CIP, 2002).

2.6.3.6 Riego.

El cultivo de papa requiere de riego según sea su ubicación altitudinal, si se localiza a 3000 m.s.n.m. necesita entre 600 a 700 mm de agua que debe ser distribuida de manera uniforme a lo largo de su ciclo, la etapa que necesita de más provisión de agua es durante la floración y la tuberización (Lucero, 2011).

CAPÍTULO III

3. MATERIALES Y MÉTODOS.

3.1 Ubicación del experimento, materiales, equipos, insumos y materia prima.

3.1.1 Ubicación del experimento.

La presente investigación se desarrolló en la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra, la misma se la hizo en dos fases, la primera en laboratorio que constó del aislamiento e inoculación de hongos solubilizadores de fósforo de muestras de suelo de tres zonas de la provincia del Carchi (Espejo, Montufar y Huaca), y la fase de evaluación desarrollada en campo, en el invernadero hidropónico de la granja experimental ECAA. Esta posee las siguientes características agroclimáticas.

Tabla 1

Ubicación geográfica del Área de estudio

UBICACIÓN GEOGRÁFICA	
PROVINCIA	Imbabura
CANTÓN	Ibarra
PARROQUIA	San Francisco
SECTOR	La Victoria
COORDENADAS GEOGRÁFICAS	
LATITUD	N 00°21'50"
ALTITUD	2220 m.s.n.m

Fuente: Recalde, (2015)

3.1.2 Materiales, equipos, insumos y materia prima.

Materiales de laboratorio.

- Tubos falcon
- Vasos de precipitación
- Microscopio
- Agar "Pikovskaya" (anexo)
- Tubos de ensayo
- Piseta
- Cajas Petri
- Asas
- Agua destilada esterilizada

Equipos

- Autoclave
- Estufa
- Balanza analítica
- Cámara de flujo laminar
- Equipo de protección
- Computador
- Cámara fotográfica
- Sensor de humedad

Materiales de campo

- Fundas plásticas
- Estacas
- Rótulos de identificación
- Plástico para trampas etológicas
- Pala
- Rastrillo
- Libreta de campo.

Materia prima e insumos

- Fertilizante 18-46-0
- Fertilizante 10-30-10
- Semilla de papa variedad INIAP-Libertad.
- Alcohol
- Inóculo de cepas aisladas en laboratorio.

3.2 Metodología del ensayo

1. Fase de laboratorio

Se realizó el aislamiento, identificación, cuantificación y medición del halo de solubilización de fósforo, en donde se identificó cual cepa presenta mayor índice de solubilización para posteriormente ser utilizadas como tratamientos en el cultivo de papa.

Para poder aislar y cuantificar las mejores colonias de hongos solubilizadores de fósforo de los suelos de la provincia del Carchi se lo realizó bajo el siguiente procedimiento.

Se escogió tres zonas de estudio de los cantones; Espejo, Montufar y Huaca, por ser las mayores zonas de producción de papa de la provincia del Carchi.

3.2.1 Toma de muestras de suelo.

Las muestras de suelo se las tomó de las tres zonas de estudio antes mencionadas, las cuales fueron provenientes de suelos de 5 diferentes usos como: suelo de bosque natural (SN), suelo de bosque de eucalipto (SE), suelo de rotación de cultivos (SR), suelo de cultivo de papa (SP), suelo de pasto (SPT).

3.2.2 Preparación de la muestra.

La preparación de las muestras, se la hizo colocando 0,5 gramos de suelo, más 50 ml de ADE en tubos falcon, enseguida se procedió a la agitación hasta que se forme una mezcla homogénea. Vale recalcar que este proceso se lo llevó a cabo dentro de la cámara flujo laminar para evitar contaminaciones.

3.2.3 Aislamiento de hongos solubilizadores de fósforo.

Para aislar los hongos solubilizadores de fósforo se utilizó medio de cultivo Pikovskaya cuyos ingredientes se los describe en el anexo N° 1.

3.2.4 Siembra de la solución de suelo de las zonas en estudio.

La preparación del medio de cultivo “Agar Pikovskaya” consta de: diluir todos los ingredientes en un litro de agua destilada esterilizada y agitar; posteriormente se esteriliza el medio en la autoclave durante una hora a 120 °C de temperatura, con una presión de 1,5 kgf/cm².

A continuación, se procede a depositar 15 ml de medio de cultivo en cajas Petri de vidrio esterilizado, este proceso se lo hace dentro de la cámara flujo laminar, que previamente es desinfectada con luz ultravioleta por 10 minutos y alcohol. Se deja reposar las cajas dispensadas con medio de cultivo hasta que este se haya solidificado.

Se procedió a la siembra de 100 micros litros de la solución de muestras de suelo, esto con la ayuda de una micro pipeta; en cajas Petri con medio de cultivo (Agar Pikovskaya).

3.2.5 Identificación de cepas de hongos solubilizadores de fósforo.

La característica para determinar la capacidad solubilizadora de hongos es la presencia de un halo de solubilización, de esta manera se procedió a identificar las cepas que presentaron mencionada característica.

Se hicieron diluciones seriadas en base a 7 tubos de agua destilada esterilizada (ADE) se colocó una muestra de la cepa de hongos con diluciones desde 10^{-1} hasta 10^{-7} y se inoculó en medio de cultivo Pikovskaya colocando 100 microlitros de la solución, las cajas se dejaron 72 horas para posteriormente medir la eficiencia de solubilización de cada cepa.

La técnica utilizada para la inoculación es la de micro gota colocada en el medio de cultivo antes mencionado (Collins, 1989).

3.2.6 Cuantificación de colonias de microorganismos.

Al transcurrir 48 horas después de la siembra se procedió a contar las unidades formadoras de colonias totales (ufc) cómo también las unidades formadoras de colonias de hongos solubilizadores de fósforo las cuales presentan un halo de solubilización transparente alrededor de la colonia.

3.2.7 Purificación de la colonia de hongos solubilizadores de fósforo.

La purificación se la realizó extrayendo únicamente la cepa de hongo que presentó el halo solubilizador, a continuación se lo sembró en medio de cultivo agar Pikovskaya.

Se realizó las diluciones y la siembra de las muestras de suelo con tres repeticiones, dando un resultado de 45 unidades experimentales.

1.- Las cinco mejores cepas que mayor halo de solubilización tuvieron fueron:

1. **C1: SPT1** (Suelo de pasto de Espejo)
2. **C2: SPT12** (Suelo de pasto de Espejo) muestra 2.
3. **C3: SN5** (Suelo Natural Montufar)
4. **C4: SP1** (Suelo de papa Espejo)
5. **C5: SP3** (Suelo de papa Huaca)

Para aislar las cepas de hongos solubilizadores se utilizó la técnica de diluciones seriadas (Becerra, Quintero, Martínez y Matiz, 2011).

Fase de invernadero (Fase 2)

3.3 Metodología del ensayo.

La fase de evaluación se la realizó en el invernadero hidropónico de la ECAA; en donde se ubicó el ensayo, con un Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA) con arreglo factorial A x B x C +2 (testigos: Testigo Absoluto (sin fertilización) y Testigo con fertilización (fertilización usada por el agricultor)) con cinco repeticiones dando un total de 160 unidades experimentales.

Cada unidad experimental estuvo compuesta por una funda plástica que contenía 10 kg de suelo de monocultivo de papa de las tres zonas en estudio; en el que se sembró un tubérculo de papa cuya principal característica fue presencia de brotes, la semilla de papa estuvo previamente desinfectada; tomando en cuenta los dos tipos de inoculación que se está probando.

SPT1 (Suelo Pasto Espejo), SPT12 (Suelo Pasto Espejo, muestra 2), SP1 (Suelo Papa Espejo), SN5 (Suelo Natural Montufar), SP3 (Suelo Papa Huaca).

3.3.1 Factores en estudio.

Tabla 2

Factores y niveles controlados en el estudio

FACTORES		NIVELES
		Código
1. Factor A	c1	SPT1 (Suelo Pasto Espejo)
	c2	SPT12 (Suelo Pasto Espejo)
	c3	SP1 (Suelo papa Espejo)
	c4	SN5 (Suelo Natural Montufar)
	c5	SP3 (Suelo Papa Huaca)
2. Factor B	z1	Espejo
	z2	Montufar
	z3	Huaca
3. Factor C	i1	(Inoculación 1, adición del inóculo por riego, a la siembra)
	i2	(Inoculación 2, semilla empapada con el inóculo)

Elaborado por: La Autora

Se utilizaron dos testigos

Testigo 1: Fertilización química (usada por el agricultor)

Testigo 2: Testigo absoluto (Sin fertilización)

Tabla 3

Unidades experimentales

Cepas	Zonas en estudio	Tipos de inoculación	Testigo	Repeticiones	Total unidades experimentales
5	*3	*2	+ 2	*5	160

Nota: Las cepas de hongos, zonas de estudio, tipos de inoculación y testigos están descritas en la tabla 2.

Elaborado por: La Autora

Tabla 4

Combinación de Factores

UE	160
----	-----

Combinaciones de factores						
C1Z1I1	C2Z1I1	C3Z1I1	C4Z1I1	C5Z1I1	TA	TF
C1Z1I2	C2Z1I2	C3Z1I2	C4Z1I2	C5Z1I2		
C1Z2I1	C2Z2I1	C3Z2I1	C4Z2I1	C5Z2I1		
C1Z2I2	C2Z2I2	C3Z2I2	C4Z2I2	C5Z2I2		
C1Z3I1	C2Z3I1	C3Z3I1	C4Z3I1	C5Z3I1		
C1Z3I2	C2Z3I2	C3Z3I2	C4Z3I2	C5Z3I2		

Nota: Los códigos son: **C**= cepas 1, 2, 3, 4, 5. **TF**= Testigo con fertilización. **TA**= Testigo absoluto sin fertilización. **Z**= Zonas en estudio (1=Espejo; 2= Montufar; 3= Huaca). **I**= (1,2 tipos de inoculación).

Elaborado por: La Autora

3.4 Análisis estadístico

Al efectuar los análisis estadísticos considerando los tres factores de manera simultánea (zonas, cepas y tipos de inoculación) se realizó en los datos obtenidos las pruebas de normalidad y homogeneidad de varianza, posteriormente se encontró que los datos no cumplieron con estos supuestos. Por tal razón se efectuó el análisis de manera independiente para cada una de las zonas de estudio aplicando pruebas no paramétricas. En las secciones siguientes se ofrecen los resultados obtenidos para cada una de las zonas, considerando en cada caso los factores: cepas y tipos de inoculación.

3.4.1 Variables de evaluación.

- **Altura de la planta a los 110 días del cultivo (cm)**

La variable altura de planta se midió 4 veces en la semana desde el momento de la emergencia, tomando los datos a la misma hora, vale recalcar que para el análisis de esta variable se tomó en cuenta los datos a los 110 días del cultivo; esta variable se midió desde la base del tallo hasta la altura del ápice de la planta.

- Diámetro del tallo (mm)

La variable diámetro del tallo se la midió juntamente con la longitud los mismos días a la semana, se lo hizo con la ayuda de un calibrador (pie de rey) en la base del tallo.

- Longitud de la raíz. (cm)

Esta variable se la tomó a la cosecha, es decir a los 110 días del cultivo, se procedió a separar la raíz de la planta sin dañar su estructura, posteriormente se midió la longitud de la misma desde el cuello de la raíz hasta la cofia, con la ayuda de una regla en centímetros

- Materia Fresca tallo. (g)

Se midió el peso fresco del tallo separándolo de la raíz, realizando un corte por el cuello y se pesó en la balanza analítica.

- Materia Fresca raíz. (g)

Al igual que el anterior se lo pesó el mismo día de cosecha, se corta la raíz por el cuello y se la pesa en la balanza analítica; previamente se lavó la raíz.

- Materia Seca tallo. (g)

Después de pesar la materia fresca se procedió a secar el tallo en la estufa por un período de 24 horas a una temperatura de 105°C; posteriormente se realizó el pesaje en la balanza analítica (De La Rosa, Martínez y Gutiérrez, 2002).

- Materia Seca raíz. (g)

Se aplicó el procedimiento anterior bajo la misma metodología; tomando en cuenta que no hay que romper las raíces ni los pelos absorbentes.

- Rendimiento total. (kg/planta)

El rendimiento total es la producción que se obtuvo al final de la cosecha del ensayo a los 110 días después de la siembra, se realizó el conteo y pesaje de tubérculos, como también la clasificación por tamaño de tubérculo.

- Número de tubérculos, por cada clase.

Se lo hizo al final de la cosecha contando el número de tubérculos de cada unidad experimental, y se clasificó a los tubérculos por tres clases: primera, segunda y tercera.

3.5 Manejo específico del ensayo.

3.5.1 Preparación del inóculo para la siembra de papa.

La preparación del inóculo para la siembra de papa se realizó de la siguiente manera:

Se colocó 10 gramos de goma arábica en 100 gramos de agua destilada esterilizada; la cual estaba a baño maría ya que la goma arábica que se utilizó es sólida y necesita disolverse para formar una mezcla homogénea.

Posteriormente a la mezcla se añadió 20 gramos de dextrosa (5%).

Finalmente se colocó la cantidad del contenido de una caja Petri de cada cepa purificada y se formó una mezcla homogénea del inóculo que sirvió como tratamiento en el presente ensayo.

Metodología en base a (Kaur y Reddy, 2016).

3.5.2 Adecuación del invernadero.

Se procedió a limpiar el invernadero de toda clase de malezas por dentro y por sus alrededores, pues estas son foco de infecciones de plagas.

3.5.3 Llenado de fundas.

Se utilizó suelo de monocultivo de papa de las tres zonas en estudio (Espejo, Montufar y Huaca), utilizando fundas plásticas con 10 kg de suelo cada una.

3.5.4 Fertilización.

En los tratamientos con fertilización se colocaron 16 gramos de fertilizante que se mezcló con el suelo, se utilizó como fuente a N, P, K; vale recalcar que la cantidad aplicada es en base a la fertilización que hacen los agricultores de las zonas en estudio. Se aplicó una mezcla de 18-46-0 (50%) y 10-30-10 (50%).

3.5.5 Selección de la semilla.

Se seleccionó una semilla certificada procedente del CIP (Centro Internacional de la Papa), fueron 160 tubérculos certificados de papa variedad INIAP-Libertad, que es una variedad nueva que promete altos rendimientos, esta es proveniente de la población B3CO del Centro Internacional de la Papa; se escogió esta variedad debido a que es precoz y resistente al tizón tardío; apta para realizar este tipo de investigaciones (Cuesta et al., 2014).

3.5.6 Desinfección de la semilla.

Para la desinfección de la semilla se realizaron los siguientes pasos:

1. Se colocaron los tubérculos de papa durante tres minutos en etanol al 95%.
2. A continuación, se colocaron los tubérculos de papa durante cinco minutos en hipoclorito de sodio.
3. Finalmente se lavaron los tubérculos de papa en agua destilada esterilizada (ADE).

Metodología en base a (Kaur y Reddy, 2016).

3.5.7 Tipos de inoculación de la semilla.

Para los tratamientos en los que se aplicó los dos tipos de inoculación que se desea probar, se lo hizo de la siguiente manera: **inoculación 1** aplicando el inóculo sobre la semilla a manera de riego (regando con la ayuda de un vaso de precipitación en la siembra) e **inoculación 2** remojando la semilla en el inóculo, es decir, sumergiendo la semilla en el inóculo que contenía goma arábica para que esta forme una especie de pegamento y se adhiera a la semilla posteriormente se la tapó con suelo de la funda (Kaur y Reddy, 2016).

3.5.8 Riego.

Se regó cada una de las unidades experimentales con agua destilada cada vez que la planta lo necesitaba, es decir, siempre manteniendo el suelo a capacidad de campo.

Es importante recalcar que en la fase dos de la investigación se hizo los riegos se localizados en cada planta, al final de ciclo de cultivo se dejó de regar hasta que la planta estuvo en la etapa para la cosecha.

CAPITULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSION.

4.1 Fase de laboratorio

En laboratorio se cumplió con el primero y segundo objetivo de aislar, cuantificar e identificar hongos solubilizadores de fósforo del suelo.

Como se explica en la metodología los hongos se los encontró en suelos de diferentes usos de la provincia del Carchi; y en los que se analizó de la siguiente manera:

4.1.1 Identificación de las mejores cepas de hongos solubilizadoras de fósforo.

Los aislamientos se realizaron de los diferentes usos de suelo de las zonas en estudio donde se encontró:

En la tabla 5 se muestra los microorganismos encontrados en los aislamientos de suelos de las zonas en estudio de la provincia del Carchi, se encontró; Hongos *Aspergillus niger*, *Penicilium* sp.

Tabla 5

Colonias de diferentes microorganismos encontrados en suelos de diferentes usos de la provincia del Carchi

CÓDIGO	<i>Aspergillus ninger</i> (UFC)	<i>Penicilium sp.</i> (UFC)
SP5	4	34
SPT5	8	26
SE5	7	11
SR5	1	7
SN5	8	10
SP1	2	4
SE1	5	8
SN1	4	4
SR1	1	5
SPT1	7	5
SN3	24	2
SP3	10	10
SPT3	4	10
SE3	10	10
SR3	3	7

Nota: CÓD; **SP5**= Suelo papa Montufar, **SPT5**= Suelo pasto Montufar, **SE**= Suelo eucalipto Montufar, **SR**= Suelo rotación Montufar, **SN**= Suelo natural Montufar. **SP1**= Suelo papa Espejo, **SE1**= Suelo eucalipto Espejo, **SN1**= Suelo natural Espejo, **SR1**= Suelo rotación Espejo, **SPT1**= Suelo pasto Espejo; **SN3**= Suelo natural Huaca, **SP3**= Suelo papa Huaca, **SPT3**= Suelo pasto Huaca, **SE3**= Suelo eucalipto Huaca, **SR3**= Suelo rotación Huaca.

Fuente: Datos de laboratorio

Elaborado por: La Autora

4.1.1 Eficiencia de solubilización.

Para escoger las mejores cepas de hongos solubilizadores de fósforo se procedió a medir tanto el diámetro del halo solubilizador como de la colonia y posteriormente se obtuvo la eficiencia de solubilización dividiendo el diámetro del halo solubilizador para el diámetro de la colonia y multiplicado por 100 (Hernández, Carrión y Heredia, 2011).

En la tabla 6 se muestra los resultados del diámetro del halo de solubilización, diámetro de la colonia y la eficiencia de solubilización de todas las cepas de hongos evaluadas, de las cuales se seleccionaron las cepas que mayor halo de

solubilización presentaron, las cuales fueron purificadas en laboratorio, en donde se indica los porcentajes de solubilización que muestran a la cepa SPT12 (Suelo pasto Espejo, muestra 2) como la que presentó mayor eficiencia de solubilización con 55,03%, seguida de SP3 (Suelo papa Huaca) con 50,2%; SP1 (Suelo papa Espejo) con 49,66%; SN5 (Suelo natural Montufar) con 48,7% y finalmente a SPT12 (Suelo pasto Espejo, muestra 2) con 34,32%.

Tabla 6

Resultados del diámetro del halo de solubilización, diámetro de la colonia y la eficiencia de solubilización de las cinco mejores cepas de hongos solubilizadores de fósforo

CÓDIGO	Diámetro del halo de solubilización (mm)	Diámetro de la colonia (mm)	Eficiencia de solubilización (%)
SP1	2,78	3,13	49,66
SPT1	2,18	2,2	55,03
SP3	2,83	3,38	50,2
SPT12	2,36	2,72	34,32
SN5	2,32	2,52	48,7
SP5	0	0	0
SPT5	0	0	0
SE5	0	0	0
SR5	0	0	0
SE1	0	0	0
SN1	0	0	0
SR1	0	0	0
SN3	0	0	0
SP3	0	0	0
SPT3	0	0	0
SE3	0	0	0
SR3	0	0	0

Nota: SPT1 (Suelo Pasto Espejo), SPT12 (Suelo Pasto Espejo, muestra 2), SP1 (Suelo Papa Espejo), SN5 (Suelo Natural Montufar), SP3 (Suelo Papa Huaca).

Fuente: Datos de laboratorio

Elaborado por: La Autora

4.2 Fase de campo.

La fase de campo se la desarrolló en el invernadero hidropónico de la PUCE-SI, el fin, fue dar cumplimiento al tercer objetivo de evaluación de las cepas de hongos solubilizadores de fósforo, en donde se analizó cada una de las variables dependientes antes mencionadas.

4.2.1 Realización de la prueba de normalidad y homogeneidad de varianza.

Se procedió a realizar las pruebas de normalidad y homogeneidad de varianza para los datos obtenidos en la investigación, aplicando la prueba de Shapiro –Wilks (normalidad) en donde los resultados mostraron que los datos no cumplen con estos supuestos. (Tabla 7)

Por lo que se transformó pero tampoco cumplieron con los supuestos antes mencionados, por tal motivo se realizó la prueba no paramétrica de Krukall – Wallis.

Tabla 7

Pruebas de normalidad de variables

VARIABLE	PRUEBA NORMALIDAD Shapiro – Wilks p-valor	
ALTURA DE LA PLANTA (cm)	$3,5 \cdot 10^{-3}$	ns
DIÁMETRO DE TALLO (mm)	$1,6 \cdot 10^{-12}$	ns
LONGITUD RAÍZ FRESCO (cm)	$5,8 \cdot 10^{-4}$	ns
LONGITUD TALLO FRESCO (cm)	$9,2 \cdot 10^{-3}$	
PESO RAÍZ FRESCO (g)	$3,5 \cdot 10^{-7}$	ns
PESO TALLO FRESCO (g)	$3,5 \cdot 10^{10}$	ns
PESO RAÍZ SECO (g)	$2,8 \cdot 10^{-12}$	ns
PESO TALLO SECO (g)	$2,4 \cdot 10^{-11}$	ns
NÚMERO DE TUBÉRCULOS	$4,7 \cdot 10^{-8}$	ns
PESO TUBÉRCULOS (g)	$6,8 \cdot 10^{-7}$	ns

Fuente: Datos de laboratorio

Elaborado por: La Autora

4.2.2 Análisis de variables por zonas.

Al realizar los análisis de resultados se encontró que hubo mucha variabilidad en los datos, por lo que se realizó el análisis por zonas de estudio (Espejo, Montufar y Huaca), interactuando las cepas de hongos y los tipos de inoculación.

4.2.2.1 Resultados zona 1 (Espejo)

- Diámetro de tallo (mm)

La variable diámetro de tallo al igual que en las demás variables se aplicó la prueba no paramétrica de Kruskal – Wallis en donde el p- valor fue $< 0,05$ lo cual indica que existen diferencias altamente significativas entre tratamientos.

En la figura 2 se muestra los rangos de significancia de comparación de tratamientos, en donde el primer rango se encontró al tratamiento F (fertilización); C3R (Cepa 3, inoculación 1); C2R (Cepa 2, inoculación 1) y C5R (Cepa 5, inoculación 1); mientras que el último rango presentó el tratamiento T (Testigo sin fertilización). De lo que se puede establecer que la aplicación de F (fertilización) presenta un efecto similar al tratamiento de la C3R (Cepa 3, inoculación 1) como también a la C2R (Cepa 2, inoculación 1) y C5R (Cepa 5, inoculación 1). El tratamiento C3R es el 91,57% de mejor diámetro de tallo en comparación con el testigo absoluto (sin fertilización).

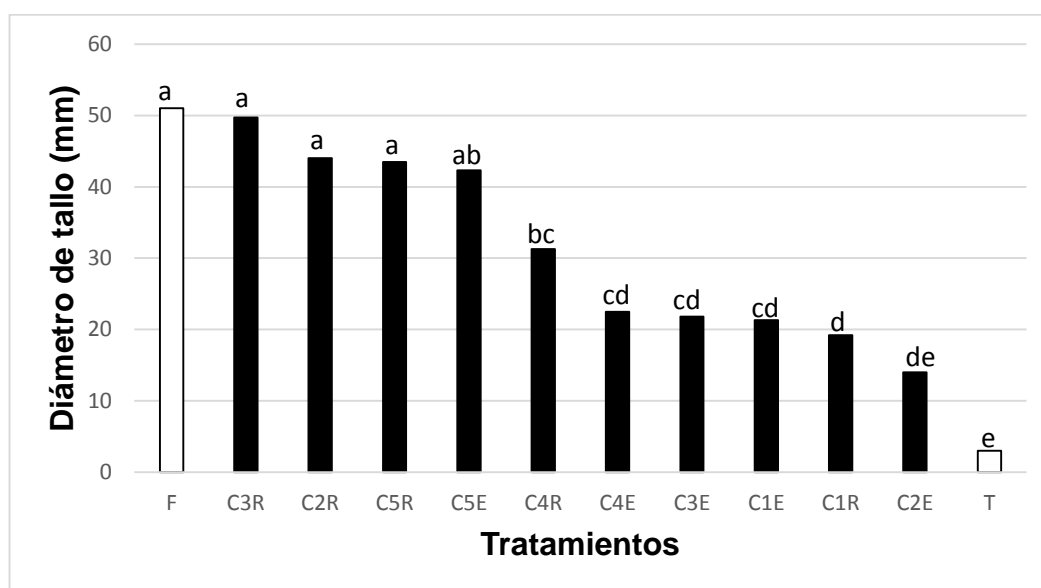


Figura 2. Rangos de significancia de comparación de tratamientos donde se aplicó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis, para diámetro de tallo de plantas de papa (Variedad INIAP-Libertad) inoculadas con cinco cepas: (C1= SPT1 (suelo pasto Espejo); C2= SPT12 (suelo pasto Espejo, muestra 2); C3= SN5 (suelo natural Montufar); C4= SP1 (suelo papa Espejo); C5 = SP3 (suelo papa Huaca), dos tipos de inoculación (Inoculación 1= adición del inóculo por riego e Inoculación 2= semilla empapada con el inóculo) y el uso de dos testigos (F= fertilización química y T= testigo sin ningún tipo de inoculación). Zona 1.

Nota: C1= SPT1 (Suelo de pasto de Espejo); C2= SPT12 (Suelo de pasto de Espejo) muestra 2; C3= SN5 (Suelo Natural Montufar); C4= SP1 (Suelo de papa Espejo); C5= SP3 (Suelo de papa Huaca)

Nota: Cód. F= Testigo con fertilización; C3R= Cepa 3, tipo de inoculación 1; C2R= Cepa 2, tipo de inoculación 1; C5R= Cepa 5, tipo de inoculación 1; C5E= Cepa 5, tipo de inoculación 2; C4R= Cepa 4, tipo de inoculación 1; C3E= Cepa 3, tipo de inoculación 2; C1E= Cepa 1, tipo de inoculación 2; C1R= Cepa 1, tipo de inoculación 1; C2E= Cepa 2, tipo de inoculación 2; T= Testigo sin fertilización.

Fuente: Datos de campo

Elaborado por: La Autora

- **Altura de la planta a los 110 días del cultivo (cm)**

En la variable altura de la planta a los 110 días del cultivo el p- valor fue < 0,05 que indica que existen diferencias altamente significativas entre tratamientos.

En la figura 3 se muestra los rangos de significancia de comparación de tratamientos, en donde el primer rango se encontró al tratamiento C1R (Cepa 1, inoculación 1); y C1E (Cepa 1, inoculación 2); mientras que el último rango presentó el tratamiento C4R (Cepa 4, inoculación 1) y el T (testigo sin fertilización). De lo que se puede establecer que la aplicación de C1R (Cepa 1, inoculación 1) presenta un

efecto superior a la aplicación de fertilizante inorgánico. El tratamiento C1R es el 91,57% mejor altura de planta comparado con el testigo absoluto y 27,1% mejor que F (fertilización).

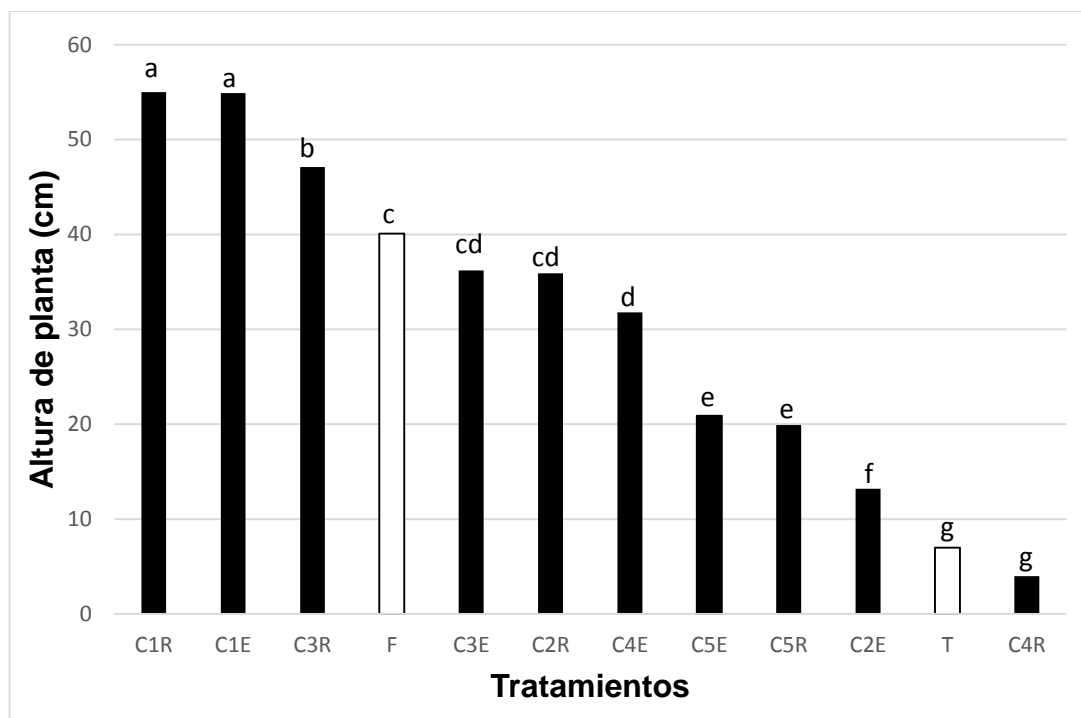


Figura 3. Rangos de significancia de comparación de tratamientos donde se aplicó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis, para altura de planta a los 110 días del cultivo de papa (Variedad INIAP-Libertad) inoculadas con cinco cepas; (C1= SPT1 (suelo pasto Espejo); C2= SPT12 (suelo pasto Espejo, muestra 2); C3= SN5 (suelo natural Montufar); C4= SP1 (suelo papa Espejo); C5 = SP3 (suelo papa Huaca), dos tipos de inoculación (Inoculación 1= adición del inóculo por riego e Inoculación 2= semilla empapada con el inóculo), y el uso de dos testigos (F= fertilización química y T= testigo sin ningún tipo de inoculación). Zona 1.

Fuente: Datos de campo

Elaborado por: La Autora

- Longitud raíz fresco (cm)

En la variable longitud de raíz fresco el p- valor fue < 0,05 que indica que existen diferencias altamente significativas entre tratamientos.

En la figura 4 se indica los rangos de significancia de comparación de tratamientos, en el cual, el primer rango se encontró al tratamiento C4R (Cepa 4, inoculación 1); y C5E (Cepa 5, inoculación 2); mientras que el último rango presentó el tratamiento T (testigo sin fertilización). De lo que se puede establecer que la aplicación de C4R

(cepa 4, inoculación 1) presenta un efecto similar al tratamiento de la C5E (Cepa 5, inoculación 2) la acción de estos tratamientos es superior al tratamiento de F (fertilización inorgánica). El tratamiento C4R es el 94,65% de mayor longitud de raíz fresco, que el testigo absoluto.

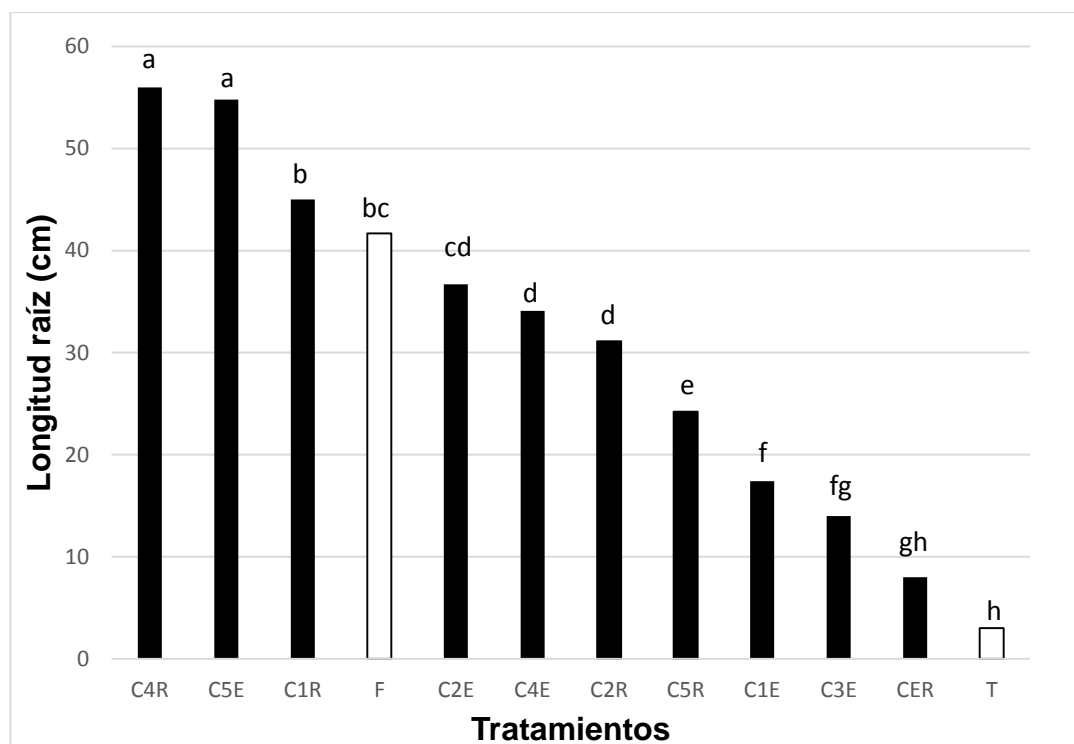


Figura 4. Rangos de significancia de comparación de tratamientos donde se aplicó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis, para longitud raíz fresco del cultivo de papa (Variedad INIAP-Libertad) inoculadas con cinco cepas: (C1= SPT1 (suelo pasto Espejo); C2= SPT12 (suelo pasto Espejo, muestra 2); C3= SN5 (suelo natural Montufar); C4= SP1 (suelo papa Espejo); C5 = SP3 (suelo papa Huaca), dos tipos de inoculación (Inoculación 1= adición del inóculo por riego e Inoculación 2= semilla empapada con el inóculo) y el uso de dos testigos (F= fertilización química y T= testigo sin ningún tipo de inoculación). Zona 1.

Fuente: Datos de campo

Elaborado por: La Autora

- Longitud tallo fresco a la cosecha (cm)

En la variable longitud de raíz fresco el p- valor fue < 0,05 que indica que existen diferencias altamente significativas entre tratamientos.

En la figura 5 se puede apreciar los rangos de significancia de comparación de tratamientos, en el cual, el primer rango se encontró al tratamiento F (Fertilización); y en el segundo rango a C2R (Cepa 2, inoculación 1); mientras que el último rango

presentó el tratamiento T (testigo sin fertilización). De lo que se puede establecer que la aplicación de F (Fertilización) presenta mayor longitud de tallo fresco en comparación a T (testigo sin fertilización). El tratamiento F (fertilización) es el 94,43 % de mejor longitud de tallo fresco que el testigo absoluto.

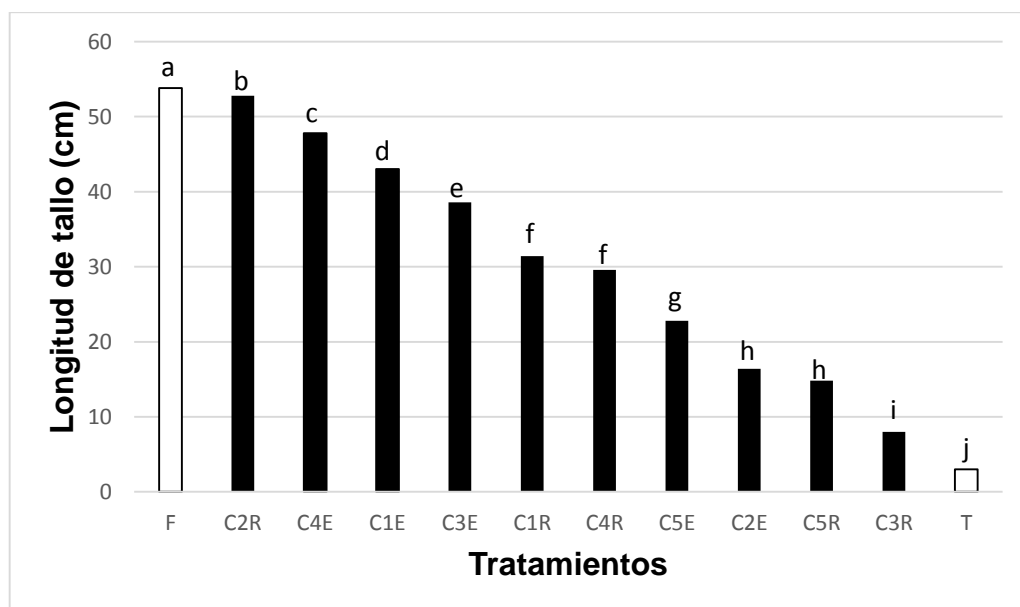


Figura 5. Rangos de significancia de comparación de tratamientos donde se aplicó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis, para longitud de tallo fresco a la cosecha del cultivo de papa (Variedad INIAP-Libertad) inoculadas con cinco cepas: (C1= SPT1 (suelo pasto Espejo); C2= SPT12 (suelo pasto Espejo, muestra 2); C3= SN5 (suelo natural Montufar); C4= SP1 (suelo papa Espejo); C5 = SP3 (suelo papa Huaca), dos tipos de inoculación (Inoculación 1= adición del inóculo por riego e Inoculación 2= semilla empapada con el inóculo) y el uso de dos testigos (F= fertilización química y T= testigo sin ningún tipo de inoculación). Zona 1.

Fuente: Datos de campo

Elaborado por: La Autora

- **Peso raíz fresco y peso raíz seco (g)**

En la variable peso raíz fresco y peso raíz seco el p- valor fue < 0,05 que indica que existen diferencias altamente significativas entre tratamientos.

En la figura 6 se muestra los rangos de significancia de comparación de tratamientos, en el cual, el peso de raíz fresco muestra en el primer rango al tratamiento C5E (Cepa 5, inoculación 2); mientras que el último rango presentó el tratamiento C3R (Cepa 3, inoculación 1). De lo que se puede establecer que la aplicación de C5E es el de mayor peso de raíz fresco comparado con C3R (cepa 3, inoculación 1) y a su vez presenta un efecto superior a F (fertilización). El

tratamiento C5E es el 94,65% mejor en peso fresco de la raíz que el testigo absoluto. En el caso de la variable peso raíz seco el primer rango de igual manera que el anterior indica al tratamiento C5E (cepa 5, inoculación 2), los peores tratamientos se ubican en los rangos C3R (Cepa 3, inoculación 1) y T (testigo sin fertilización).

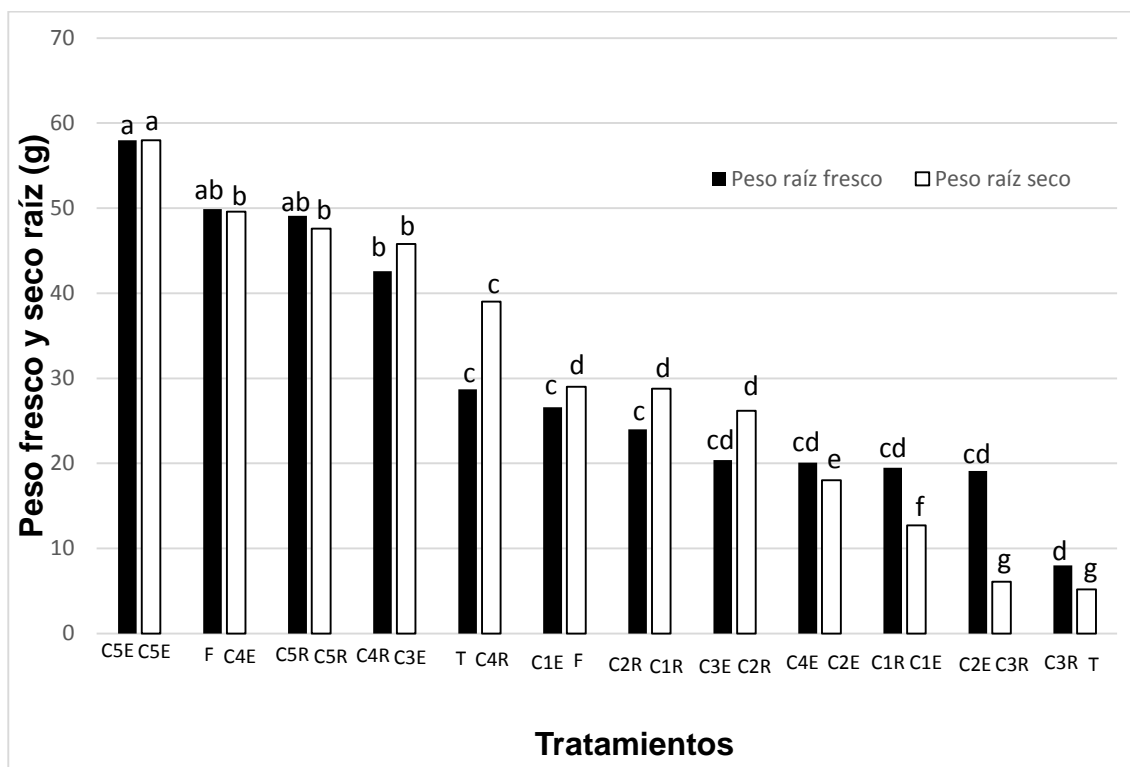


Figura 6. Rangos de significancia de comparación de tratamientos donde se aplicó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis, comparando peso raíz fresco y peso raíz seco a la cosecha del cultivo de papa (Variedad INIAP-Libertad) inoculadas con cinco cepas: (C1= SPT1 (suelo pasto Espejo); C2= SPT12 (suelo pasto Espejo, muestra 2); C3= SN5 (suelo natural Montufar); C4= SP1 (suelo papa Espejo); C5 = SP3 (suelo papa Huaca), dos tipos de inoculación (Inoculación 1= adición del inóculo por riego e Inoculación 2= semilla empapada con el inóculo) y el uso de dos testigos (F= fertilización química y T= testigo sin ningún tipo de inoculación). Zona 1.

Fuente: Datos de campo

Elaborado por: La Autora

- **Peso tallo fresco y peso tallo seco (g).**

En las variables peso tallo fresco y peso tallo seco el p- valor fue $< 0,05$ que indica que existen diferencias altamente significativas entre tratamientos.

En la figura 7 se indica los rangos de significancia de comparación de tratamientos, en la cual, el peso de tallo fresco; ubica al primer rango al tratamiento C5R (Cepa 5, inoculación 1); mientras que el último rango presentó el tratamiento C3E (Cepa 3, inoculación 2). De lo que se puede establecer que la aplicación de C5R (cepa 5, inoculación 1) presenta mejor peso de tallo fresco en comparación al fertilizante inorgánico. El tratamiento C5R es el 89% mejor en peso tallo fresco que el testigo absoluto y el 9,45% mejor que F (fertilización). En peso tallo seco el primer rango es el tratamiento C4R y es mejor que F (fertilización); es el 11% mejor en peso tallo seco que T (testigo sin fertilización), tanto en peso seco y fresco de tallo, la C3 (Cepa 3= SN5= Suelo natural Montufar), es la peor independientemente del tipo de inoculación.

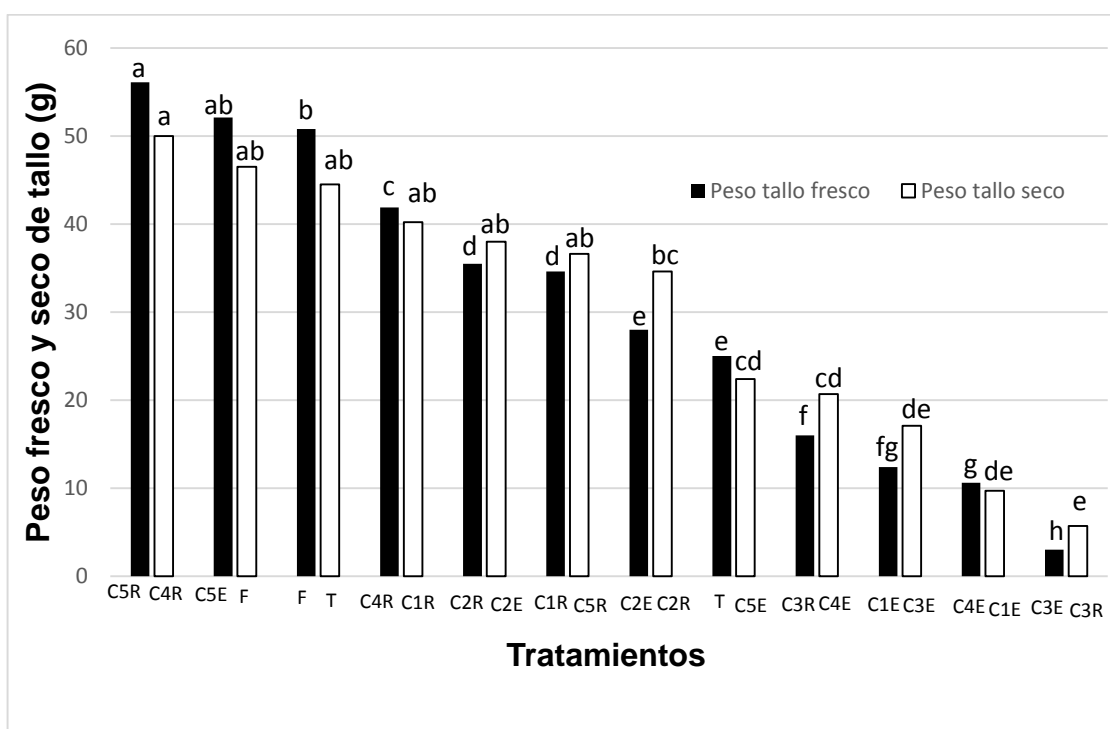


Figura 7. Rangos de significancia de comparación de tratamientos donde se aplicó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis, comparando peso tallo fresco y peso tallo seco a la cosecha del cultivo de papa (Variedad INIAP-Libertad) inoculadas con cinco cepas: (C1= SPT1 (suelo pasto Espejo); C2= SPT12 (suelo pasto Espejo, muestra 2); C3= SN5 (suelo natural Montufar); C4= SP1 (suelo papa Espejo); C5 = SP3 (suelo papa Huaca), dos tipos de inoculación (Inoculación 1= adición del inóculo por riego e Inoculación 2= semilla empapada con el inóculo) y el uso de dos testigos (F= fertilización química y T= testigo sin ningún tipo de inoculación). Zona 1.

Fuente: Datos de campo

Elaborado por: La Autora

- **Número de tubérculos.**

La variable número de tubérculos el p- valor fue 0,05 que indica que existen diferencias altamente significativas entre tratamientos.

En la figura 8 se puede apreciar los rangos de significancia de comparación de tratamientos para la variable número de tubérculos, en el cual, el primer rango se encontró al tratamiento C1R (Cepa 1, inoculación 1); y C3R (Cepa 3, inoculación 1); mientras que el último rango presentó el tratamiento T (testigo sin fertilización) y a su vez es superior al de fertilización inorgánica. De lo que se puede establecer que la aplicación del tratamiento C1R presenta mayor número de tubérculos

comparado con el testigo sin fertilización; siendo C1R (cepa 1, inoculación 1) el 88,87% mejor en número de tubérculos que el T (testigo sin fertilización).

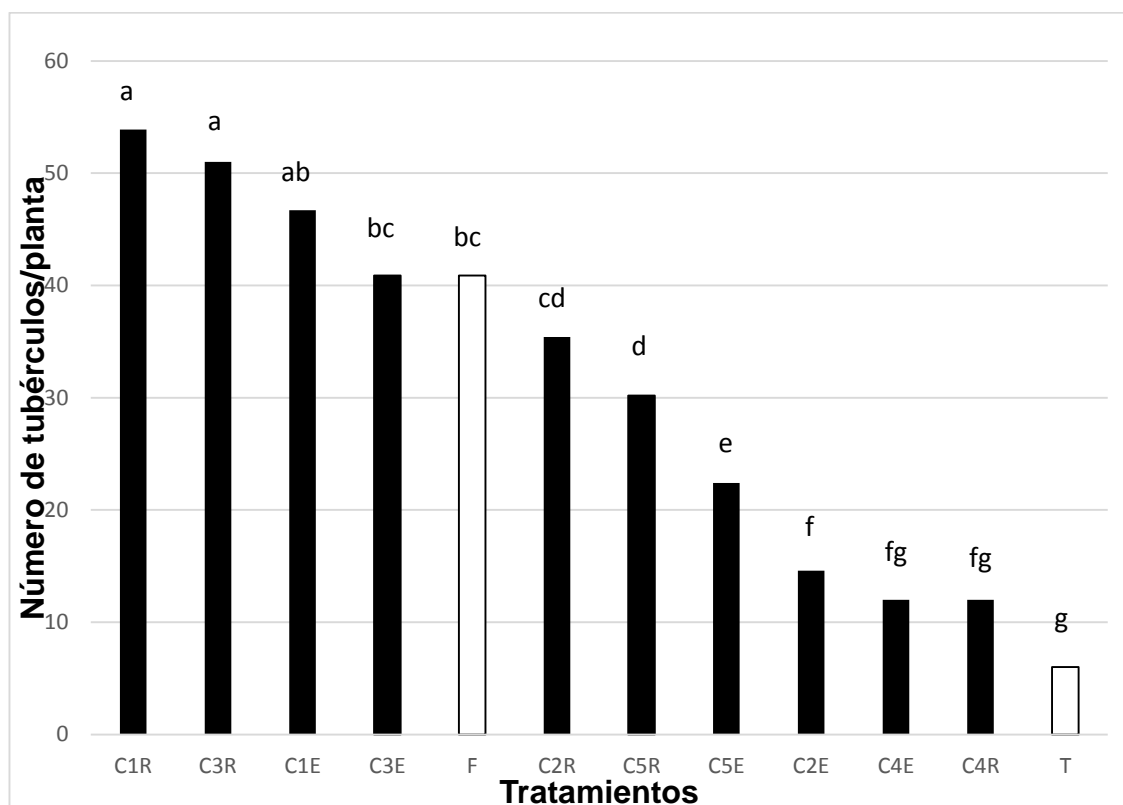


Figura 8. Rangos de significancia de comparación de tratamientos donde se aplicó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis, para la variable número de tubérculos a la cosecha del cultivo de papa (Variedad INIAP-Libertad) inoculadas con cinco cepas: (C1= SPT1 (suelo pasto Espejo); C2= SPT12 (suelo pasto Espejo, muestra 2); C3= SN5 (suelo natural Montufar); C4= SP1 (suelo papa Espejo); C5 = SP3 (suelo papa Huaca), dos tipos de inoculación (Inoculación 1= adición del inóculo por riego e Inoculación 2= semilla empapada con el inóculo) y el uso de dos testigos (F= fertilización química y T= testigo sin ningún tipo de inoculación). Zona 1.

Fuente: Datos de campo

Elaborado por: La Autora

- **Peso tubérculos (g)**

La variable peso de tubérculos el p- valor fue de $< 0,05$ que indica que existen diferencias altamente significativas entre tratamientos.

En la figura 9 se indica los rangos de significancia de comparación de tratamientos, en el cual, el primer rango se encontró al tratamiento C1R (Cepa 1, inoculación 1) y C1E (Cepa 1, inoculación 2), de tal manera que su efecto será similar y se identifica aquí a la cepa 1 (Suelo pasto Espejo) que es la mejor; mientras que el último rango presentó el tratamiento T (testigo sin fertilización). De lo que se puede establecer que la aplicación del tratamiento C1R es el 94,8% mejor en peso de tubérculos comparado con el testigo sin fertilización y el 31,95% mejor en peso de tubérculos que F (fertilización inorgánica).

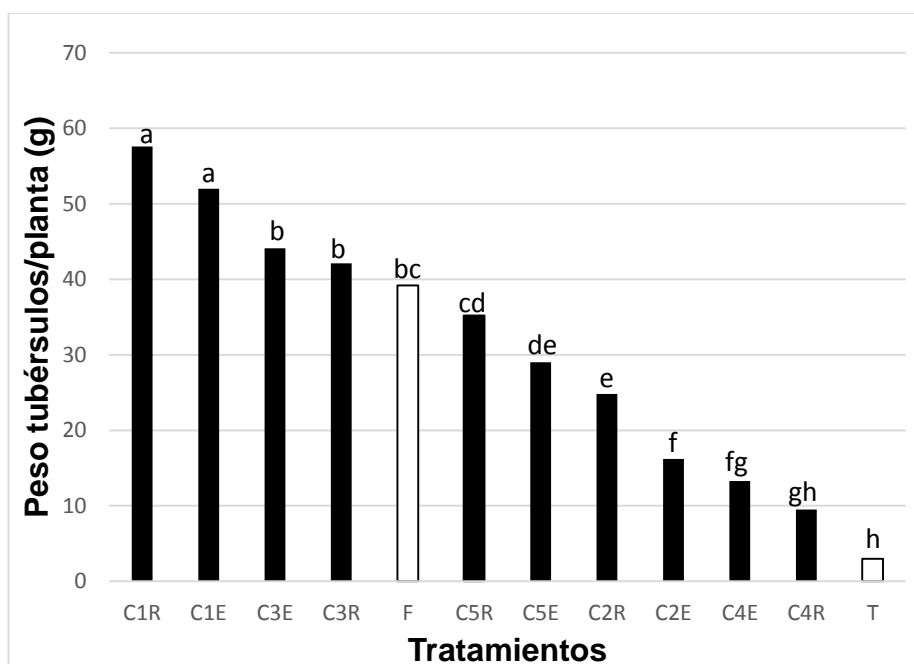


Figura 9. Rangos de significancia de comparación de tratamientos donde se aplicó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis, para la variable peso de tubérculos a la cosecha del cultivo de papa (Variedad INIAP-Libertad) inoculadas con cinco cepas: (C1= SPT1 (suelo pasto Espejo); C2= SPT12 (suelo pasto Espejo, muestra 2); C3= SN5 (suelo natural Montufar); C4= SP1 (suelo papa Espejo); C5 = SP3 (suelo papa Huaca), dos tipos de inoculación (Inoculación 1= adición del inóculo por riego e Inoculación 2= semilla empapada con el inóculo) y el uso de dos testigos (F= fertilización química y T= testigo sin ningún tipo de inoculación). Zona 1.

Fuente: Datos de campo

Elaborado por: La Autora.

4.2.2.2 Resultados zona 2. (Montufar.)

- Diámetro de tallo (mm)

La variable diámetro de tallo el p-valor fue $< 0,05$ que indica que existen diferencias altamente significativas entre tratamientos.

En la figura 10 se puede apreciar los rangos de significancia de comparación de tratamientos, en donde el primer rango se encontró al tratamiento F (fertilización); mientras que el último rango presentó el tratamiento T (Testigo sin fertilización). De lo que se puede establecer que la aplicación de F (fertilización inorgánica) es el 92,08% de mejor diámetro de tallo que T (sin fertilización).

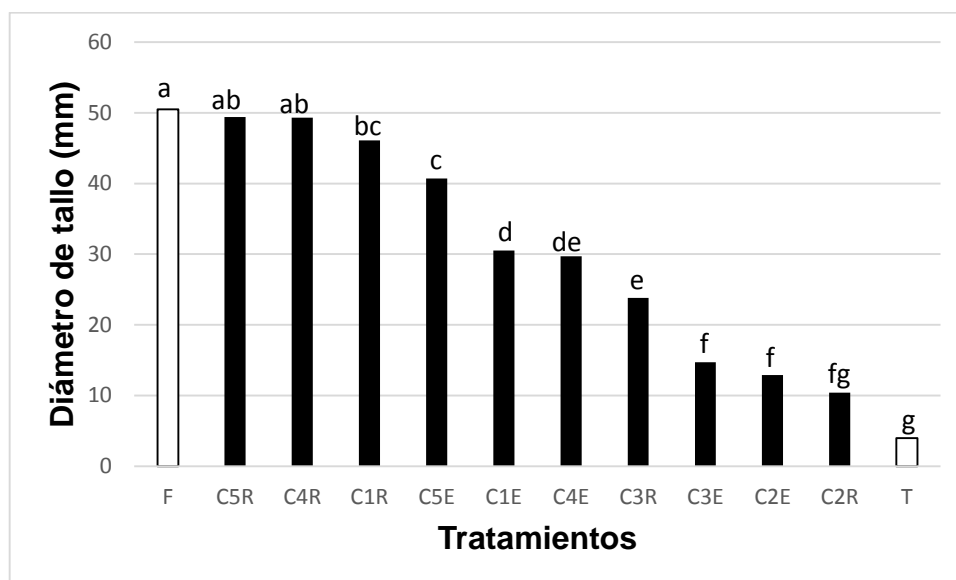


Figura 10. Rangos de significancia de comparación de tratamientos donde se aplicó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis, para la variable diámetro de tallo del cultivo de papa (Variedad INIAP-Libertad) inoculadas con cinco cepas: (C1= SPT1 (suelo pasto Espejo); C2= SPT12 (suelo pasto Espejo, muestra 2); C3= SN5 (suelo natural Montufar); C4= SP1 (suelo papa Espejo); C5 = SP3 (suelo papa Huaca), dos tipos de inoculación (Inoculación 1= adición del inóculo por riego e Inoculación 2= semilla empapada con el inóculo) y el uso de dos testigos (F= fertilización química y T= testigo sin ningún tipo de inoculación). Zona 2.

Fuente: Datos de campo

Elaborado por: La Autora

- **Altura de la planta a los 110 días del cultivo (cm)**

En la variable altura de la planta a los 110 días del cultivo el p- valor fue $< 0,05$ que indica que existen diferencias altamente significativas entre tratamientos.

En la figura 11 se muestra los rangos de significancia de comparación de tratamientos, en donde el primer rango se encontró al tratamiento C5R (Cepa 5, inoculación 1); mientras que en el último rango se encuentra a T (testigo sin fertilización). El tratamiento C5R presenta el 94,83% de mejor altura de planta a los 110 días del cultivo de papa, que el testigo sin fertilización y el 63,11% mejor que el tratamiento T (testigo sin fertilización).

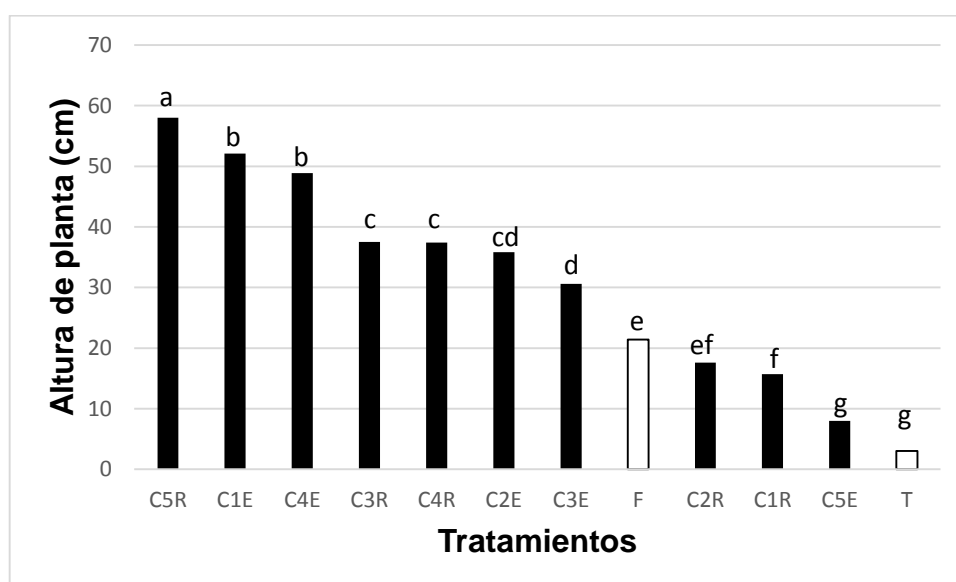


Figura 11. Rangos de significancia de comparación de tratamientos donde se aplicó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis, para la variable crecimiento de tallo a los 110 días del cultivo de papa (Variedad INIAP-Libertad) inoculadas con cinco cepas: (C1= SPT1 (suelo pasto Espejo); C2= SPT12 (suelo pasto Espejo, muestra 2); C3= SN5 (suelo natural Montufar); C4= SP1 (suelo papa Espejo); C5 = SP3 (suelo papa Huaca), dos tipos de inoculación (Inoculación 1= adición del inóculo por riego e Inoculación 2= semilla empapada con el inóculo) y el uso de dos testigos (F= fertilización química y T= testigo sin ningún tipo de inoculación). Zona 2.

Fuente: Datos de campo

Elaborado por: La Autora

- **Longitud raíz fresco a la cosecha (cm).**

En la variable longitud de raíz fresco el p- valor fue < 0,05 que indica que existen diferencias altamente significativas entre tratamientos.

En la figura 12 se muestra los rangos de significancia de comparación de tratamientos, en el cual, el primer rango se encontró al tratamiento F (Fertilización); seguido de C3E (Cepa 3, inoculación 2) y C2E (Cepa 2, inoculación 2), los tres comparten el mismo rango, es decir, que existen diferencias significativas entre tratamientos, pero de alguna manera sus efectos son similares; mientras que el último rango presentó el tratamiento T (testigo sin fertilización). De lo que se puede establecer que la aplicación de C3E presenta una mejor longitud de raíz fresca comparado con T (testigo sin fertilización). De tal manera que C3E (cepa 3, inoculación 2) el 92,61% de mejor longitud de raíz fresca que T (testigo sin fertilización); y F (fertilización inorgánica) es el 94,17% mejor que T.

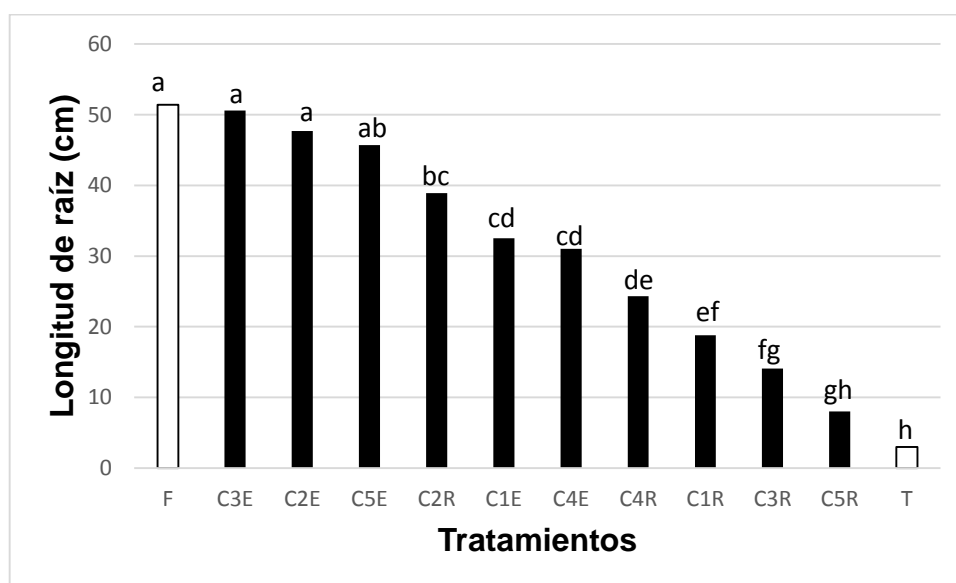


Figura 12. Rangos de significancia de comparación de tratamientos donde se aplicó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis, para la variable longitud de raíz fresca del cultivo de papa (Variedad INIAP-Libertad) inoculadas con cinco cepas: (C1= SPT1 (suelo pasto Espejo); C2= SPT12 (suelo pasto Espejo, muestra 2); C3= SN5 (suelo natural Montufar); C4= SP1 (suelo papa Espejo); C5 = SP3 (suelo papa Huaca), dos tipos de y el uso de dos testigos (F= fertilización química y T= testigo sin ningún tipo de inoculación). Zona 2.

Fuente: Datos de campo

Elaborado por: La Autora

- **Longitud tallo fresco a la cosecha (cm).**

En la variable longitud de tallo fresco a la cosecha el p-valor fue $< 0,05$ lo que indica que existen diferencias altamente significativas entre tratamientos.

En la figura 13 se puede apreciar los rangos de significancia de comparación de tratamientos, en el cual, el primer rango se encontró al tratamiento C5R (Cepa 5, inoculación 1); mientras que el último rango presentó el tratamiento T (testigo sin fertilización). De lo que se puede establecer que la aplicación de C5R (cepa 5, inoculación 1) presenta la mejor longitud de tallo fresco comparado con el testigo sin fertilización siendo el 94,79% mejor.

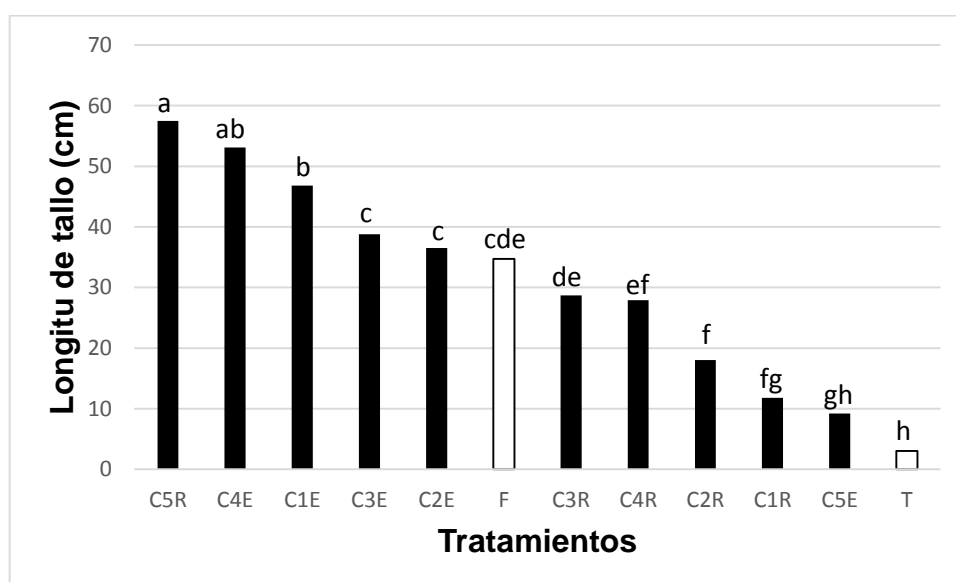


Figura 13. Rangos de significancia de comparación de tratamientos donde se aplicó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis, para la variable longitud de tallo fresco a la cosecha del cultivo de papa (Variedad INIAP-Libertad) inoculadas con cinco cepas: (C1= SPT1 (suelo pasto Espejo); C2= SPT12 (suelo pasto Espejo, muestra 2); C3= SN5 (suelo natural Montufar); C4= SP1 (suelo papa Espejo); C5 = SP3 (suelo papa Huaca), dos tipos de inoculación (Inoculación 1= adición del inóculo por riego e Inoculación 2= semilla empapada con el inóculo) y el uso de dos testigos (F= fertilización química y T= testigo sin ningún tipo de inoculación). Zona 2.

Fuente: Datos de campo

Elaborado por: La Autora

- **Peso raíz fresco y seco (g).**

Para las variables peso raíz fresca y seca el p- valor fue < 0,05 que indica que existen diferencias altamente significativas entre tratamientos.

En la figura 14 se muestra los rangos de significancia de comparación de tratamientos, el peso raíz fresca; presenta al primer rango al tratamiento C5R (Cepa 5, inoculación 1); y F (Fertilización), es decir, que tienen efectos similares, mientras que el último rango presentó el tratamiento C4R (Cepa 4, inoculación 1). De lo que se puede establecer que la aplicación de C5R (cepa 5, inoculación 1) presenta el mejor peso de raíz fresca. El tratamiento C5R es el 59,66% de mejor peso de raíz fresca que el testigo absoluto. En el peso raíz seca el primer rango es el C2E (cepa 2, inoculación 2) el cual presentó mayor cantidad de materia seca y el peor es T (testigo sin fertilización) que presenta menor cantidad de materia seca de la raíz.

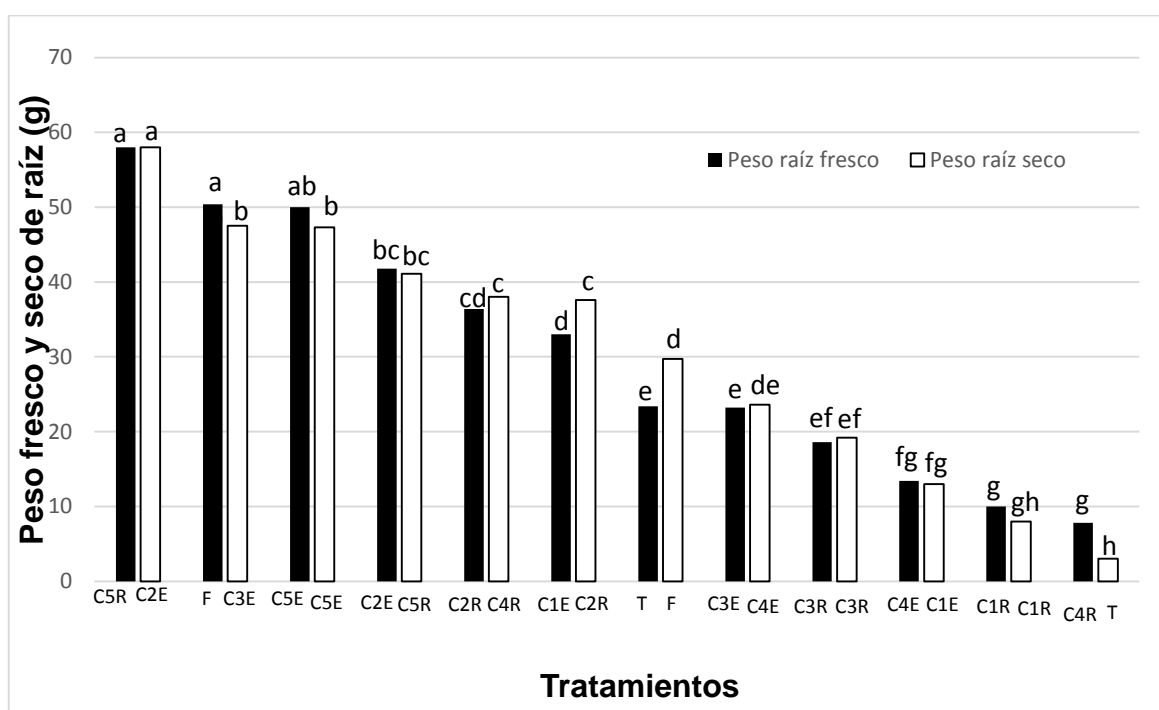


Figura 14. Rangos de significancia de comparación de tratamientos donde se aplicó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis, para las variables peso raíz seca y fresca del cultivo de papa (Variedad INIAP-Libertad) inoculadas con cinco cepas: (C1= SPT1 (suelo pasto Espejo); C2= SPT12 (suelo pasto Espejo, muestra 2); C3= SN5 (suelo natural Montufar); C4= SP1 (suelo papa Espejo); C5 = SP3 (suelo papa Huaca), dos tipos de inoculación (Inoculación 1= adición del inóculo por riego e Inoculación 2= semilla empapada con el inóculo) y el uso de dos testigos (F= fertilización química y T= testigo sin ningún tipo de inoculación). Zona 2.

Fuente: Datos de campo

Elaborado por: La Autora

- **Peso tallo fresco y seco (g)**

Para las variables peso tallo fresco y seco el p- valor fue $< 0,05$ que indica que existen diferencias altamente significativas entre tratamientos.

En la figura 15 se indica los rangos de significancia de comparación de tratamientos, en el peso tallo fresco; el primer rango se encontró al tratamiento C5R (Cepa 5, inoculación 1); y C1E (Cepa 1, inoculación 2); de lo que se establece que tendrán efectos similares; mientras que el último rango presentó el tratamiento C3R (Cepa 3, inoculación 1) para las dos variables. De lo que se puede deducir que la aplicación de C5R (cepa 5, inoculación 1) presenta mejor peso de tallo fresco comparado con F (fertilización inorgánica) y T (testigo sin fertilización). El tratamiento C5R (cepa 5, inoculación 1) presenta el 74,04% mejor peso tallo fresco que el testigo absoluto. En cuanto a peso tallo seco el primer rango es el tratamiento F (fertilización inorgánica) que presentó un efecto similar a C5R (cepa 5, inoculación 1) compartiendo el mismo rango.

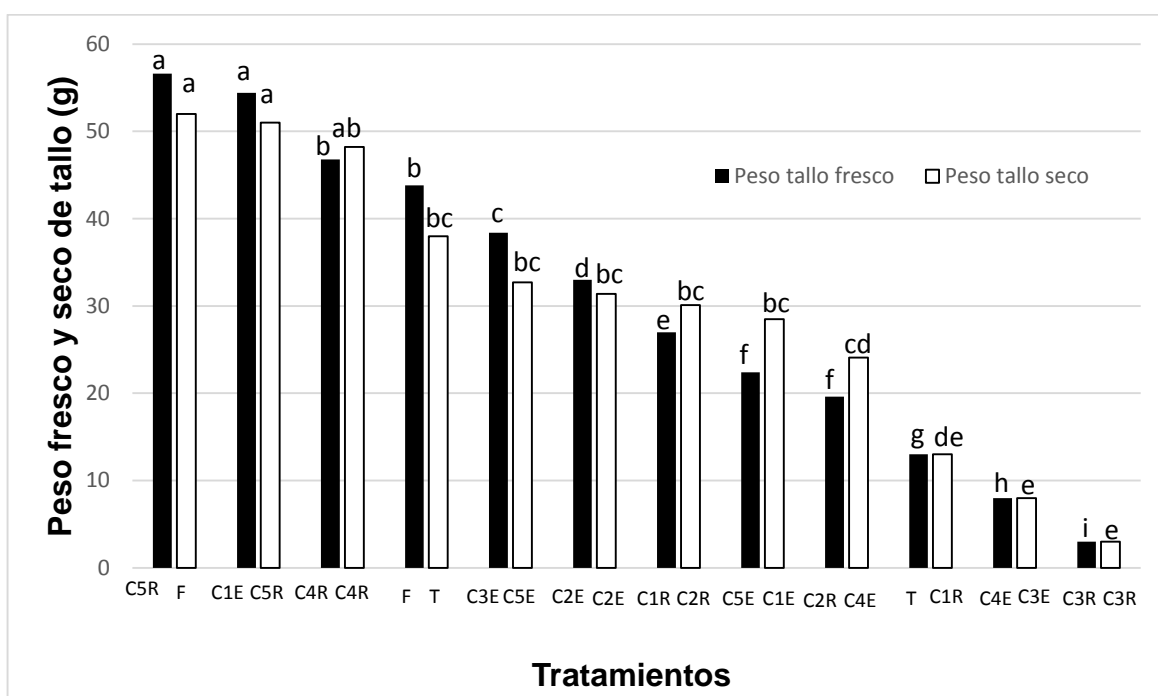


Figura 15. Rangos de significancia de comparación de tratamientos donde se aplicó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis, para las variables peso tallo seco y peso tallo fresco del cultivo de papa (Variedad INIAP-Libertad) inoculadas con cinco cepas: (C1= SPT1 (suelo pasto Espejo); C2= SPT12 (suelo pasto Espejo, muestra 2); C3= SN5 (suelo natural Montufar); C4= SP1 (suelo papa Espejo); C5 = SP3 (suelo papa Huaca), dos tipos de inoculación (Inoculación 1= adición del inóculo por riego e Inoculación 2= semilla empapada con el inóculo) y el uso de dos testigos (F= fertilización química y T= testigo sin ningún tipo de inoculación). Zona 2.

Fuente: Datos de campo

Elaborado por: La Autora

- **Número de tubérculos.**

La variable número de tubérculos el p- valor fue < 0,05 que indica que existen diferencias altamente significativas entre tratamientos.

En la figura 16 se puede apreciar los rangos de significancia de comparación de tratamientos para la variable número de tubérculos, en el cual, el primer rango se encontró al tratamiento C4E (Cepa 4, inoculación 2); mientras que el último rango presentó el tratamiento T (testigo sin fertilización). De lo que se puede establecer que la aplicación del tratamiento C4E (cepa 4, inoculación 2) presenta mayor número de tubérculos siendo el 93,62% mejor que el T (testigo sin fertilización) y el 23.36% mejor que F (fertilización inorgánica).

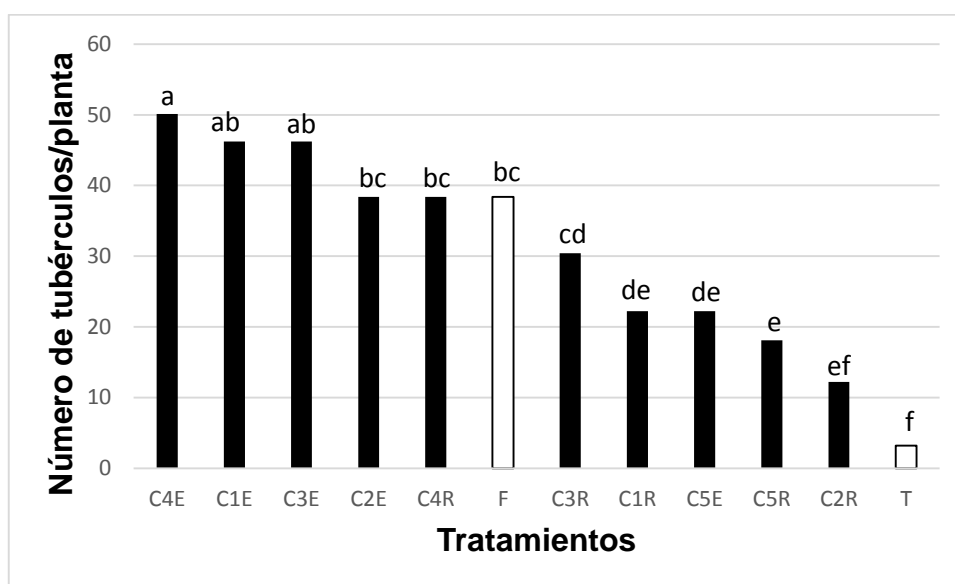


Figura 16. Rangos de significancia de comparación de tratamientos donde se aplicó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis, para la variable número de tubérculos del cultivo de papa (Variedad INIAP-Libertad) inoculadas con cinco cepas: (C1= SPT1 (suelo pasto Espejo); C2= SPT12 (suelo pasto Espejo, muestra 2); C3= SN5 (suelo natural Montufar); C4= SP1 (suelo papa Espejo); C5 = SP3 (suelo papa Huaca), dos tipos de inoculación (Inoculación 1= adición del inóculo por riego e Inoculación 2= semilla empapada con el inóculo) y el uso de dos testigos (F= fertilización química y T= testigo sin ningún tipo de inoculación). Zona 2.

Fuente: Datos de campo

Elaborado por: La Autora

- **Peso tubérculos (g).**

La variable peso de tubérculos el p- valor fue < 0,05 que indica que existen diferencias altamente significativas entre tratamientos.

En la figura 17 se muestra los rangos de significancia de comparación de tratamientos, en el cual, el primer rango se encontró al tratamiento C1E (Cepa 1, inoculación 2); y C4E (Cepa 4, inoculación 2), es decir, que tendrán un efecto similar y a su vez superior comparado con F (fertilización inorgánica); mientras que el último rango presentó el tratamiento T (testigo sin fertilización). De lo que se puede establecer que la aplicación del tratamiento C1E (cepa 1, inoculación 2) es el 94,39% con mejor peso de tubérculos que el testigo sin fertilización y el 30,15% mejor que F (fertilización inorgánica).

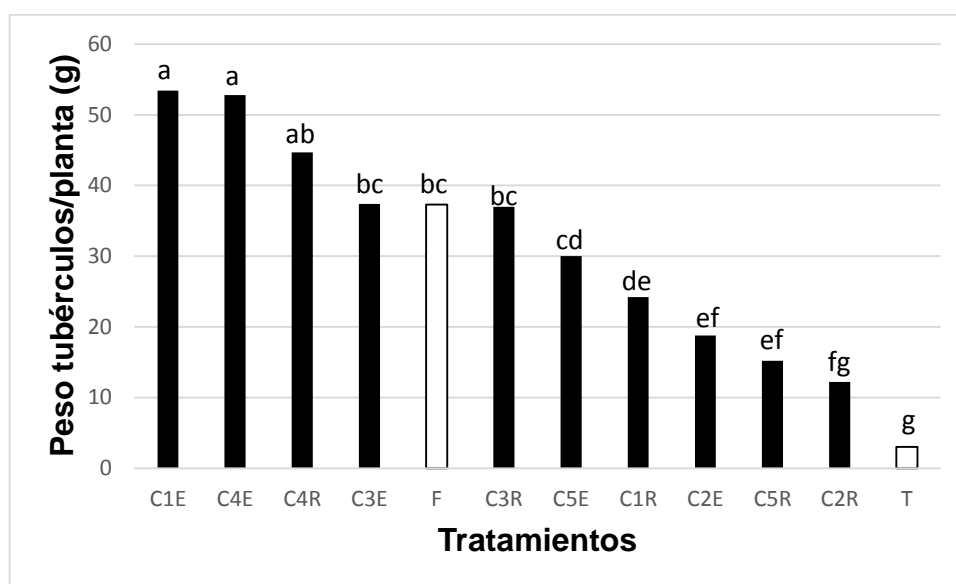


Figura 17. Rangos de significancia de comparación de tratamientos donde se aplicó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis, para la variable peso de tubérculos del cultivo de papa (Variedad INIAP-Libertad) inoculadas con cinco cepas: (C1= SPT1 (suelo pasto Espejo); C2= SPT12 (suelo pasto Espejo, muestra 2); C3= SN5 (suelo natural Montufar); C4= SP1 (suelo papa Espejo); C5 = SP3 (suelo papa Huaca), dos tipos de inoculación (Inoculación 1= adición del inóculo por riego e Inoculación 2= semilla empapada con el inóculo) y el uso de dos testigos (F= fertilización química y T= testigo sin ningún tipo de inoculación). Zona 2.

Fuente: Datos de campo

Elaborado por: La Autora

4.2.2.3 Resultados zona 3. (Huaca)

Los resultados de la zona 3 se realizaron bajo la misma metodología anterior.

- Diámetro de tallo. (mm)

Para la variable diámetro de tallo el p- valor fue < 0,05 que indica que existen diferencias altamente significativas entre tratamientos.

En la figura 18 se puede apreciar los rangos de significancia de comparación de tratamientos, en donde el primer rango se encontró al tratamiento C4R (Cepa 4, inoculación 1); mientras que el último rango presentó el tratamiento T (Testigo sin fertilización). De lo que se puede establecer que la aplicación de C4R presenta un mejor diámetro de tallo. El tratamiento C4R (cepa 4, inoculación 1) representa el 94,39% mejor diámetro de tallo en comparación con el testigo absoluto.

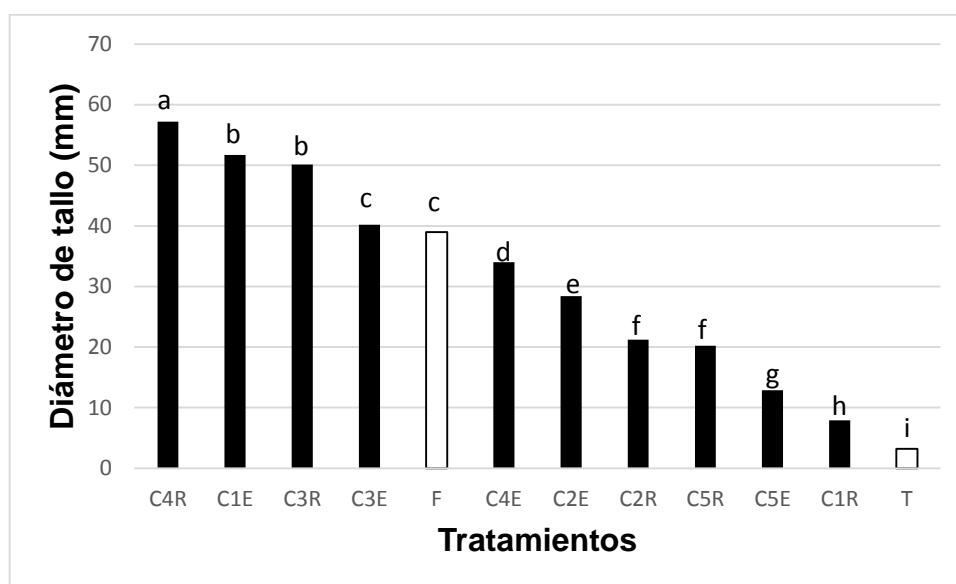


Figura 18. Rangos de significancia de comparación de tratamientos donde se aplicó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis, para diámetro de tallo del cultivo de papa (Variedad INIAP-Libertad) inoculadas con cinco cepas: (C1= SPT1 (suelo pasto Espejo); C2= SPT12 (suelo pasto Espejo, muestra 2); C3= SN5 (suelo natural Montufar); C4= SP1 (suelo papa Espejo); C5 = SP3 (suelo papa Huaca), dos tipos de inoculación (Inoculación 1= adición del inóculo por riego e Inoculación 2= semilla empapada con el inóculo) y el uso de dos testigos (F= fertilización química y T= testigo sin ningún tipo de inoculación). Zona 3.

Fuente: Datos de campo

Elaborado por: La Autora

- **Altura de la planta a los 110 días del cultivo (cm)**

En la variable altura de planta a los 110 días del cultivo el p- valor fue < 0,05 que indica que existen diferencias altamente significativas entre tratamientos.

En la figura 19 se aprecia los rangos de significancia de comparación de tratamientos, en donde el primer rango se encontró al tratamiento C3E (Cepa 3, inoculación 2); mientras que el último rango presentó el tratamiento T (testigo sin fertilización). De lo que se puede establecer que la aplicación de C3E (cepa 3 inoculación 2) presenta un mejor efecto comparado con el testigo sin fertilización. El tratamiento C3E (cepa 3, inoculación 2) es el 93,11 % mejor altura de planta que el testigo sin fertilización y el 70,35% mejor que F (Testigo con fertilización).

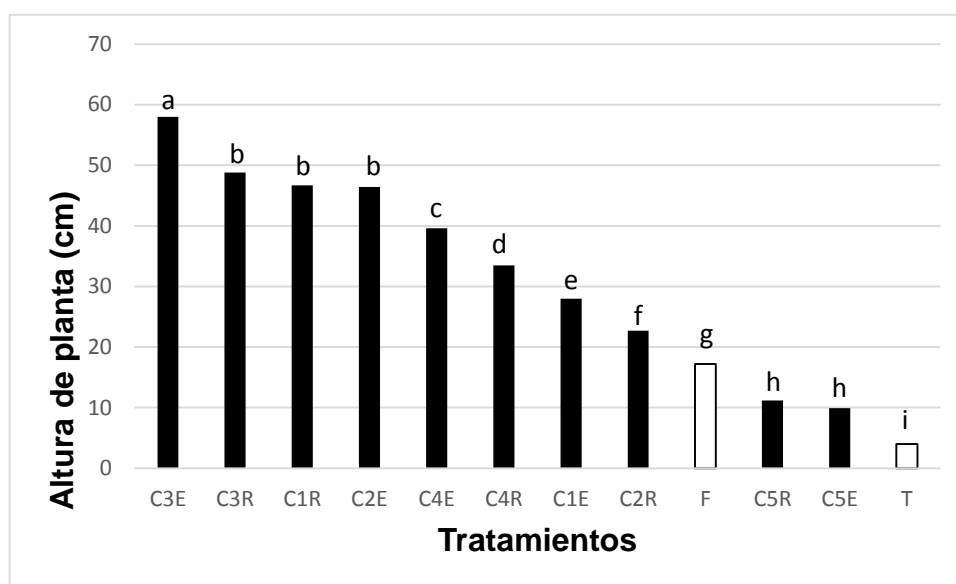


Figura 19. Rangos de significancia de comparación de tratamientos donde se aplicó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis, para crecimiento de tallo a los 110 días del cultivo de papa (Variedad INIAP-Libertad) inoculadas con cinco cepas: (C1= SPT1 (suelo pasto Espejo); C2= SPT12 (suelo pasto Espejo, muestra 2); C3= SN5 (suelo natural Montufar); C4= SP1 (suelo papa Espejo); C5 = SP3 (suelo papa Huaca), dos tipos de inoculación (Inoculación 1= adición del inóculo por riego e Inoculación 2= semilla empapada con el inóculo) y el uso de dos testigos (F= fertilización química y T= testigo sin ningún tipo de inoculación). Zona 3.

Fuente: Datos de campo

Elaborado por: La Autora

- **Longitud raíz fresco (cm).**

En la variable longitud de raíz fresco el p- valor fue < 0,05 que indica que existen diferencias altamente significativas entre tratamientos.

En la figura 20 se muestra los rangos de significancia de comparación de tratamientos, en el cual, el primer rango se encontró al tratamiento C5E (Cepa 5 inoculación 2); mientras que el último rango presentó el tratamiento T (testigo sin fertilización). De lo que se puede establecer que la aplicación de C5E (cepa 5, inoculación 2) presenta un mejor efecto comparado con T; siendo C5E el 94,83% mejor longitud de raíz fresca en comparación que T (testigo sin fertilización) y el 19,14% mejor longitud de raíz fresca que el tratamiento F (fertilización orgánica).

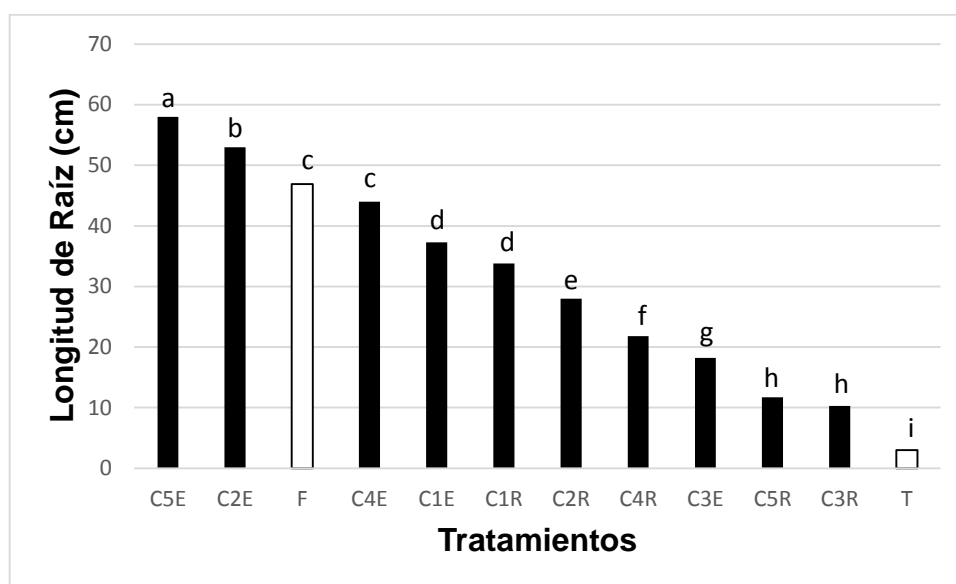


Figura 20. Rangos de significancia de comparación de tratamientos donde se aplicó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis, para longitud raíz fresco del cultivo de papa (Variedad INIAP-Libertad) inoculadas con cinco cepas: (C1= SPT1 (suelo pasto Espejo); C2= SPT12 (suelo pasto Espejo, muestra 2); C3= SN5 (suelo natural Montufar); C4= SP1 (suelo papa Espejo); C5 = SP3 (suelo papa Huaca), dos tipos de inoculación (Inoculación 1= adición del inóculo por riego e Inoculación 2= semilla empapada con el inóculo) y el uso de dos testigos (F= fertilización química y T= testigo sin ningún tipo de inoculación). Zona 3.

Fuente: Datos de campo

Elaborado por: La Autora

- **Longitud tallo fresco (cm).**

En la variable longitud de tallo fresco el p- valor fue < 0,05 que indica que existen diferencias altamente significativas entre tratamientos.

En la figura 21 se indica los rangos de significancia de comparación de tratamientos, en el cual, el primer rango se encontró al tratamiento C3R (Cepa 3, inoculación 1); mientras que el último rango presentó el tratamiento T (testigo sin fertilización). De lo que se puede establecer que la aplicación de C3R (cepa 3, inoculación 1) presenta un mejor efecto comparado con T (testigo sin fertilización); siendo C3R (cepa 3, inoculación 1) el 94,83% mejor longitud de tallo fresco en comparación con T (testigo sin fertilización) y 47,59% mejor que el tratamiento F (fertilización inorgánica).

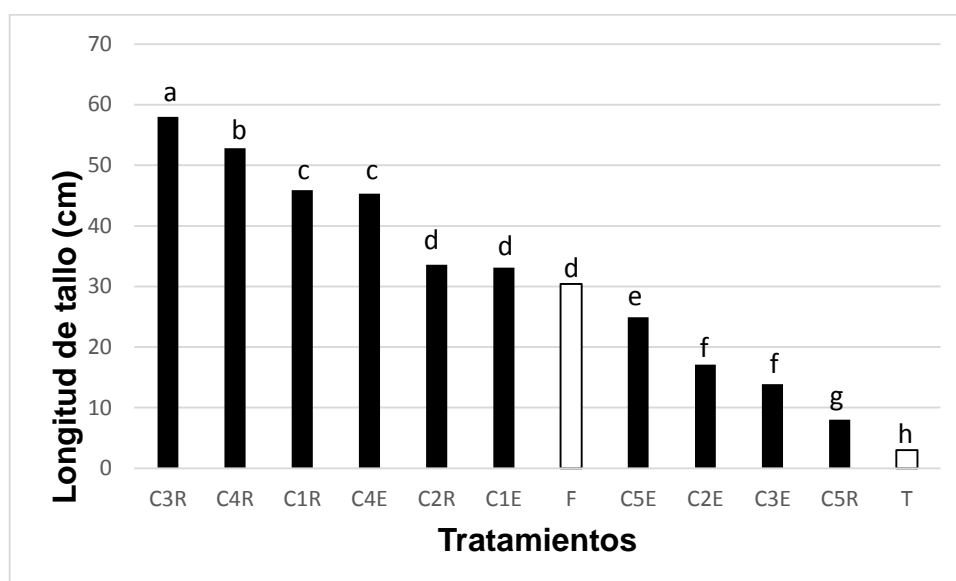


Figura 21. Rangos de significancia de comparación de tratamientos donde se aplicó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis, para longitud tallo fresco del cultivo de papa (Variedad INIAP-Libertad) inoculadas con cinco cepas: (C1= SPT1 (suelo pasto Espejo); C2= SPT12 (suelo pasto Espejo, muestra 2); C3= SN5 (suelo natural Montufar); C4= SP1 (suelo papa Espejo); C5 = SP3 (suelo papa Huaca), dos tipos de inoculación (Inoculación 1= adición del inóculo por riego e Inoculación 2= semilla empapada con el inóculo) y el uso de dos testigos (F= fertilización química y T= testigo sin ningún tipo de inoculación). Zona 3.

Fuente: Datos de campo

Elaborado por: La Autora

- **Peso raíz fresco y seco (g).**

Para las variables peso raíz fresca y seca el p- valor fue < 0,05 que indica que existen diferencias altamente significativas entre tratamientos.

En la figura 22 se muestra los rangos de significancia de comparación de tratamientos, el peso de raíz fresco, muestra el primer rango al tratamiento C3E (Cepa 3, inoculación 2); mientras que el último rango presentó el tratamiento C1R (Cepa 1, inoculación 1). De lo que se puede establecer que la aplicación de C3E (cepa 3, inoculación 2) es el mejor tratamiento. El tratamiento C3E (cepa 3, inoculación 2) es el 79,83% con mejor peso de raíz fresca que el testigo absoluto. En el peso raíz seca el primer rango es el C3R (cepa 3, inoculación 1) el cual presentó mayor cantidad de materia seca y el peor es T (testigo sin fertilización) que presenta menor cantidad de materia seca. El tratamiento C3R (cepa 3, inoculación 2) es el 94,83% mayor cantidad de materia seca que T (testigo sin fertilización).

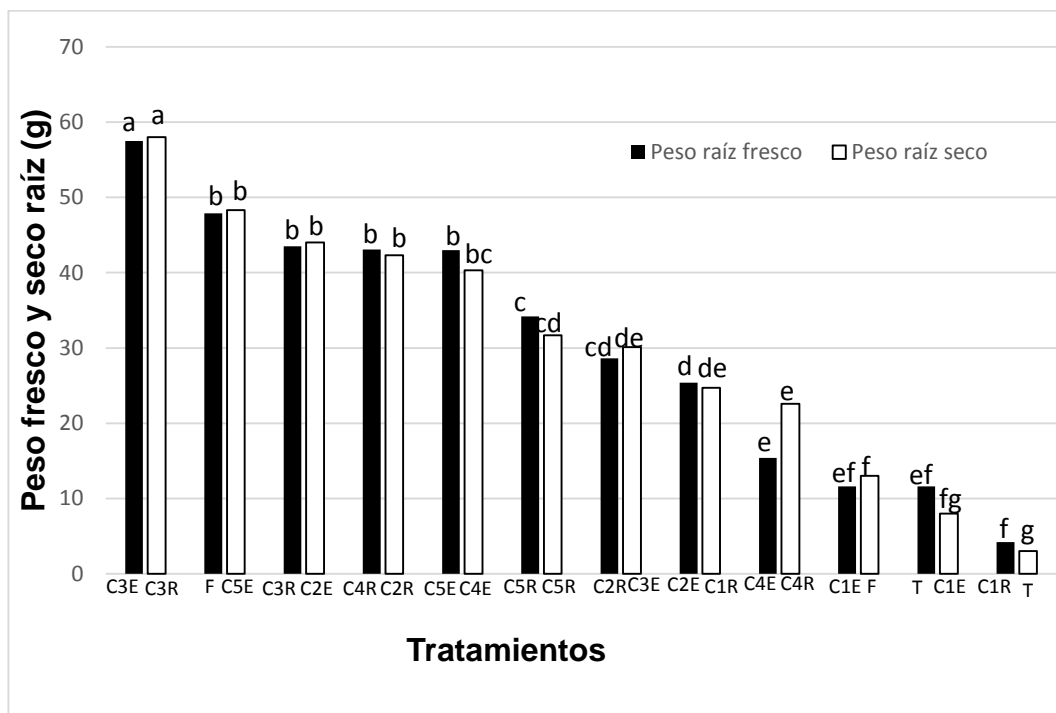


Figura 22. Rangos de significancia de comparación de tratamientos donde se aplicó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis, para las variables peso fresco y seco de raíz del cultivo de papa (Variedad INIAP-Libertad) inoculadas con cinco cepas: (C1= SPT1 (suelo pasto Espejo); C2= SPT12 (suelo pasto Espejo, muestra 2); C3= SN5 (suelo natural Montufar); C4= SP1 (suelo papa Espejo); C5 = SP3 (suelo papa Huaca), dos tipos de inoculación (Inoculación 1= adición del inóculo por riego e Inoculación 2= semilla empapada con el inóculo) y el uso de dos testigos (F= fertilización química y T= testigo sin ningún tipo de inoculación). Zona 3.

Fuente: Datos de campo

Elaborado por: La Autora

- **Peso tallo fresco y seco (g).**

En las variables peso de tallo fresco y seco el p- valor fue < 0,05 que indica que existen diferencias altamente significativas entre tratamientos.

En la figura 23 se indica los rangos de significancia de comparación de tratamientos, el peso de tallo fresco; ubica al primer rango al tratamiento C2E (Cepa 2, inoculación 2); mientras que el último rango presentó el tratamiento T (Testigo sin fertilización). De lo que se puede establecer que la aplicación de C2E (cepa 2, inoculación 2) es el mejor tratamiento con un mayor peso de tallo fresco comparado con F (fertilización inorgánica). El tratamiento C2E (cepa 2, inoculación 2) es el 94,83% mayor peso de tallo fresco que el testigo absoluto. En el peso tallo seco el primer rango es el tratamiento F (fertilización inorgánica) y el peor ubica a C2R

(cepa 2, inoculación 1); El tratamiento F (fertilización inorgánica) es 60,69% mejor cantidad de peso seco de tallo en comparación con T (testigo sin fertilización).

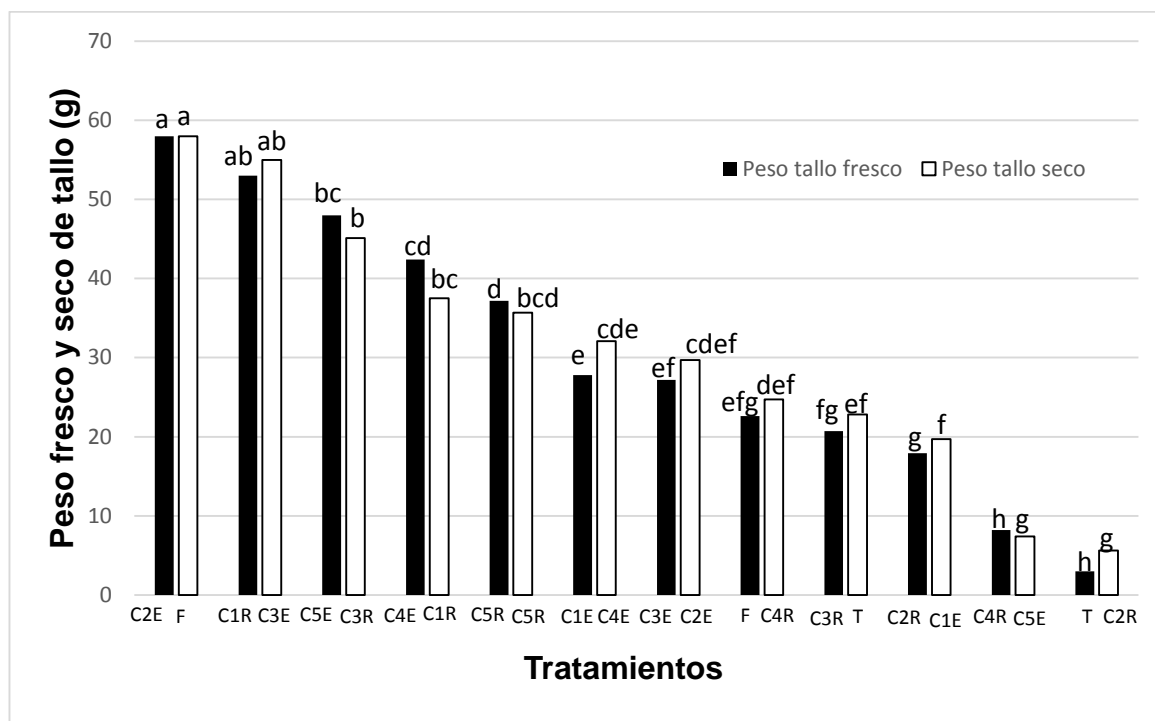


Figura 23. Rangos de significancia de comparación de tratamientos donde se aplicó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis, para las variables peso fresco y seco de tallo del cultivo de papa (Variedad INIAP-Libertad) inoculadas con cinco cepas, (C1= SPT1 (suelo pasto Espejo); C2= SPT12 (suelo pasto Espejo, muestra 2); C3= SN5 (suelo natural Montufar); C4= SP1 (suelo papa Espejo); C5 = SP3 (suelo papa Huaca), dos tipos de inoculación (Inoculación 1= adición del inóculo por riego e Inoculación 2= semilla empapada con el inóculo) y el uso de dos testigos (F= fertilización química y T= testigo sin ningún tipo de inoculación). Zona 3.

Fuente: Datos de campo

Elaborado por: La Autora

- **Número de tubérculos.**

En el variable número de tubérculos el p- valor fue < 0,05 que indica que existen diferencias altamente significativas entre tratamientos.

En la figura 24 se puede apreciar los rangos de significancia de comparación de tratamientos para la variable número de tubérculos, en el cual, el primer rango se encontró al tratamiento C3E (Cepa 3, inoculación 2); C4E (Cepa 4, inoculación 2) y C1E (Cepa 1, inoculación 2); por lo que se deduce que poseen un efecto similar y a la vez superior en comparación con F (fertilización inorgánica); mientras que el último rango presentó el tratamiento T (testigo sin fertilización). De lo que se puede

establecer que la aplicación del tratamiento C3E (cepa 3, inoculación 2) presenta un mejor efecto siendo el 93,62% con mayor número de tubérculos que el T (testigo sin fertilización).

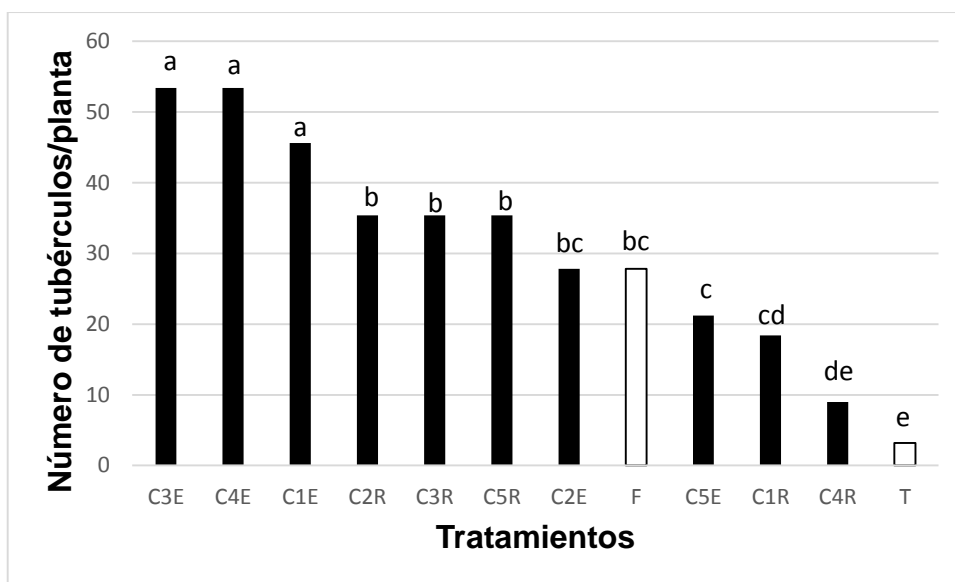


Figura 24. Rangos de significancia de comparación de tratamientos donde se aplicó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis, para la variable número de tubérculos del cultivo de papa (Variedad INIAP-Libertad) inoculadas con cinco cepas: (C1= SPT1 (suelo pasto Espejo); C2= SPT12 (suelo pasto Espejo, muestra 2); C3= SN5 (suelo natural Montufar); C4= SP1 (suelo papa Espejo); C5 = SP3 (suelo papa Huaca), dos tipos de inoculación (Inoculación 1= adición del inóculo por riego e Inoculación 2= semilla empapada con el inóculo) y el uso de dos testigos (F= fertilización química y T= testigo sin ningún tipo de inoculación). Zona 3.

Fuente: Datos de campo

Elaborado por: La Autora

- **Peso tubérculos (g).**

En el variable número de tubérculos el p- valor fue < 0,05 que indica que existen diferencias altamente significativas entre tratamientos.

En la figura 25 se muestra los rangos de significancia de comparación de tratamientos, en el cual, el primer rango se encontró al tratamiento C4E (Cepa 4, inoculación 2); mientras que el último rango presentó el tratamiento T (testigo sin fertilización). De lo que se puede establecer que la aplicación del tratamiento C4E (cepa 4, inoculación 2) es el 94,83% con mejor peso de tubérculos que el testigo

sin fertilización y el 50,35% mejor peso de tubérculos que el tratamiento F (fertilización inorgánica).

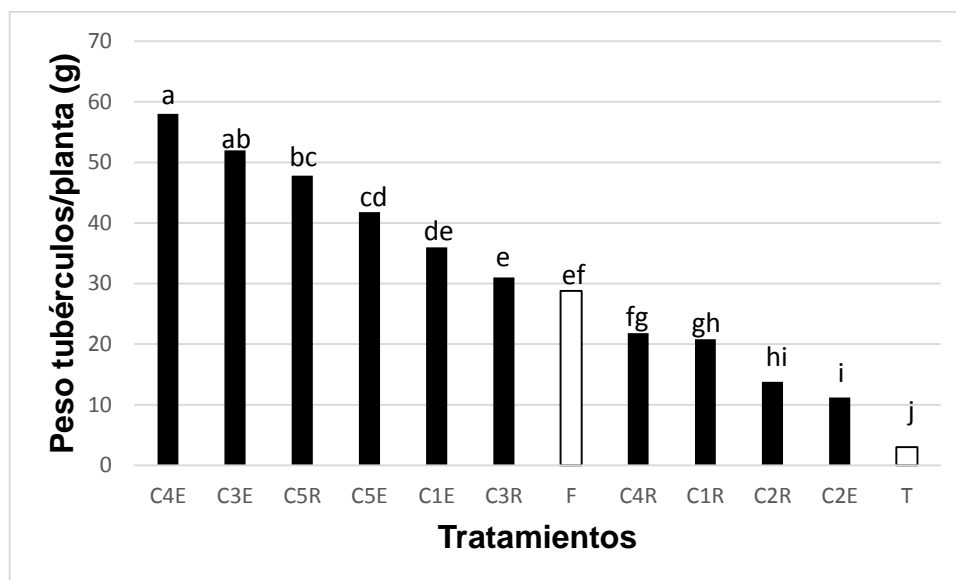


Figura 25. Rangos de significancia de comparación de tratamientos donde se aplicó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis, para la variable peso de tubérculos del cultivo de papa (Variedad INIAP-Libertad) inoculadas con cinco cepas: (C1= SPT1 (suelo pasto Espejo); C2= SPT12 (suelo pasto Espejo, muestra 2); C3= SN5 (suelo natural Montufar); C4= SP1 (suelo papa Espejo); C5 = SP3 (suelo papa Huaca), dos tipos de inoculación (Inoculación 1= adición del inóculo por riego e Inoculación 2= semilla empapada con el inóculo) y el uso de dos testigos (F= fertilización química y T= testigo sin ningún tipo de inoculación). Zona 3.

Fuente: Datos de campo

Elaborado por: La Autora

4.3 Socialización de resultados.

La socialización de resultados se la realizó en la parroquia La Libertad perteneciente al cantón Espejo, provincia del Carchi; se la expuso a los agricultores de la localidad, y se escogió la misma debido a que fue una de las zonas en estudio, esperando que sus resultados sean de beneficio para el adelanto agrícola del lugar.

4.3.1 Proceso de socialización de la investigación.

Se realizó un cuestionario a los asistentes de la socialización, misma que se dio el 12 de abril del 2018, con la presencia de 19 agricultores interesados, la cual permite implementar mejoras en estos procesos de trabajos de investigación.

Se hizo llenar una encuesta que se coloca en el anexo.

Se desarrolló 9 preguntas las cuales se calificaron bajo la siguiente escala:

- **5. MUY ALTO / 4. ALTO / 3. MEDIO / 2. BAJO / 1. NULO**

En la tabla 8 se muestra el resumen de resultados de la socialización del informe final de la presente investigación, en donde se muestra que todos los asistentes calificaron la exposición con una nota de muy alto (5), de lo que se puede concluir que para los agricultores que fueron partícipes de la socialización fue muy enriquecedor la investigación que se realizó; ya que es una alternativa para disminuir los costos de producción de este producto y su vez es una práctica amigable con el ambiente.

Tabla 8

Resumen de resultados de socialización del trabajo de investigación

PREGUNTAS	CALIFICACIONES				
	1 NULO	2 BAJO	3 MEDIO	4 ALTO	5 MUY ALTO
1					X
2					X
3					X
4					X
5					X
6					X
7					X
8					X
9					X

Nota: Los enunciados de la preguntas se encuentran en anexos.

CAPITULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

5.1 CONCLUSIONES.

- En la presente investigación se logró aislar y cuantificar las unidades formadoras de colonias totales encontradas en suelos de diferentes usos de la provincia del Carchi, identificados bajo los códigos: SPT1 (Suelo Pasto Espejo), SPT12 (Suelo Pasto Espejo), SP1 (Suelo Papa Espejo), SN5 (Suelo Natural Montufar), SP3 (Suelo Papa Huaca).
- En laboratorio se identificó macroscópicamente las cinco mejores cepas de hongos solubilizadores de fósforo bajo el indicativo que es la presencia del halo de solubilización, las cuales fueron: C1 (SPT1 Suelo de Pasto de Espejo); C2 (SPT12 Suelo de Pasto de Espejo muestra 2); C3 (SN5 Suelo Natural de Montufar); C4 (SP1 Suelo Papa Espejo); C5 (SP3 Suelo papa Huaca). Para todas las cepas el hongo identificado por técnicas de biología molecular fue *Aspergillus niger*.
- Se evaluó el efecto de los hongos solubilizadores de fósforo, en invernadero bajo condiciones controladas, en donde se los aplicó por dos tipos de inoculación (Inoculación 1: colocación del inóculo a manea de riego; Inoculación 2: Colocación de la semilla empapada con el inóculo), en un cultivo de papa (*Solanum tuberosum*), variedad INIAP Libertad.
- Al evaluar el efecto de los hongos solubilizadores de P, se analizó por zonas, en las cuales para la zona 1 (Espejo), los resultados mostraron a la cepa 5 y el tipo de inoculación 1 con mejor biomasa aérea, y el peor tratamiento al testigo absoluto; en cuanto a rendimiento el mejor tratamiento fue C1R y C3R que comparten el mismo rango y el peor el testigo absoluto.
- Para la zona 2 (Montufar) la biomasa de la raíz y del tallo fue mejor con el tratamiento C5R y el peor el testigo absoluto, el mejor rendimiento se obtuvo con el tratamiento C4E y el peor el testigo absoluto.
- En la zona 3 (Huaca), para la biomasa aérea el mejor tratamiento fue C3E Y C3R y el peor el testigo sin fertilización; en cuanto a rendimiento el mejor fue C3E y el peor el testigo sin fertilización.

- La socialización de resultados de este trabajo de investigación se lo hizo en la parroquia La Libertad del cantón Espejo, con la presencia de 19 agricultores dedicados al cultivo de papa, los cuales se mostraron en su totalidad muy satisfechos con los resultados impartidos.

5.2 RECOMENDACIONES.

- Se debe utilizar las técnicas adecuadas para asilar y cuantificar hongos solubilizadores de fósforo, en la presente investigación la característica para determinar la utilización del hongo fue la presencia del halo de solubilización.
- Al evaluar los resultados del efecto de los hongos solubilizadores de fósforo en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum*) variedad INIAP-Libertad, se recomienda tomar los datos de las variables (longitud de tallo y diámetro) a la misma hora, para tener una información correcta.
- Se recomienda continuar con la investigación, realizando ensayos referentes a esto, para verificar otros tipos de inoculación, y de esta manera poder establecer recomendaciones adecuadas a los agricultores interesados.
- Realizado la presente investigación se recomienda a los agricultores dedicados al cultivo de papa, recurrir a nuevas alternativa, debido a que la excesiva aplicación de controles químicos y fertilización química, produce resistencia en las plagas, contaminación ambiental y por ende aumento de los costos de producción.

BIBLIOGRAFÍA.

- Acuña, O. (2003). El uso de biofertilizantes en la agricultura. *Taller de Abonos Orgánicos. CANIAN/GTZ/UCR/CATIE. Sabanilla, Costa Rica.* 1-9.
- Becerra, J., Quintero, D., Martínez, M. A. R. Í. A., & Matiz, A. (2011). Caracterización de microorganismos solubilizadores de fosfato aislados de suelos destinados al cultivo de uchuva (*Physalis peruviana* L.). *Revista Colombiana deficiencias hortícolas [En línea]*, 5(2). 197-206.
- Beltrán Pineda, M. E. (2014). Hongos solubilizadores de fosfato en suelo de páramo cultivado con papa (*Solanum tuberosum*). *Revista Ciencia en Desarrollo.* 5(2), 145-151.
- Bertsch, G. (2009). Estudios de absorción de nutrientes como apoyo a las recomendaciones de fertilización. Informaciones Agronómicas. *Instituto de la Potasa y el Fósforo*, (57), 1-10. Recuperado de [http://www.ipni.net/ppiweb/iaecu.nsf/\\$webindex/76A0E12D2DF131AB05256FF200587B24/\\$file/Estudios+de+absorci%C3%B3n+de+nutrientes+como+apoyo.pdf](http://www.ipni.net/ppiweb/iaecu.nsf/$webindex/76A0E12D2DF131AB05256FF200587B24/$file/Estudios+de+absorci%C3%B3n+de+nutrientes+como+apoyo.pdf)
- Bobadilla Henao, C., & Rincón Vanegas, S. C. (2008). *Aislamiento y producción de bacterias fosfato solubilizadoras a partir de compost obtenido de residuos de plaza* (Bachelor's thesis, Facultad de Ciencias).
- Bojórquez, A. D. A., Gutiérrez, C. G., Báez, J. R. C., Sánchez, M. Á. A., Montoya, L. G., & Pérez, E. N. (2010). Biofertilizantes en el desarrollo agrícola de México. *Ra Ximhai: revista científica de sociedad, cultura y desarrollo sostenible*, 6(1), 51-56.
- Calvache, M. (2015). *Los Suelos del Ecuador*. VII Congreso de Agronomía. Guayaquil. Ecuador.
- Chuang, C. C., Kuo, Y. L., Chao, C. C., & Chao, W. L. (2007). Solubilization of inorganic phosphates and plant growth promotion by *Aspergillus niger*. *Biology and Fertility of Soils.* 43(5), 575-582. Recuperado de <https://core.ac.uk/download/pdf/41684897.pdf>.

- Ceccon, E. (2010). La revolución verde, tragedia en dos actos. *Ciencias*, (1), 91, 2-10. Recuperado de <http://www.redalyc.org/pdf/644/64411463004.pdf>
- Codell, D., Rosemarin, A., Schroder, J., y Smith, A. (2011). Towards global phosphorus security: a systems framework for phosphorus recovery and reuse options. *Institute for Sustainable Futures, University of Technology*. Recuperado de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21414650>
- Collins, C. (1989). *Métodos Microbiológicos*. Editorial Acribia Zaragoza-España.
- Cruz Flores, G., Tirado Torres, J. L., Alcántar González, G., & Santizo Rincón, J. A. (2001). Eficiencia de uso de fósforo en triticale y trigo en dos suelos con diferente capacidad de fijación de fósforo. *Terra Latinoamericana*. 19(1), 47-54. Recuperado de <http://www.redalyc.org/html/573/57319106/>.
- Cuesta Subía, H. X., Oyarzún, P. J., Andrade-Piedra, J., Kromann, P., Taipe, A., Montesdeoca, F., & Carrera, E. (2014). INIAP-Libertad: Nueva variedad de papa con resistencia a lancha, precocidad y calidad. Recuperado de <http://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/handle/41000/2898/iniapscpl421.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- De La Roza-Delgado, B., Fernández, A. M., & Gutiérrez, A. A. (2011). Determinación de materia seca en pastos y forrajes a partir de la temperatura de secado para análisis. *Pastos*, 32(1), 92-98. Recuperado de <http://polired.upm.es/index.php/pastos/article/viewFile/1308/1312>
- FAO. (2015). Base referencial mundial del recurso suelo 2014, Actualización 2015. Sistema internacional de clasificación de suelos para la nomenclatura de suelos y la creación de leyendas de mapas de suelos. *IUSS Working Group WRB*. Roma. Recuperado de <http://www.fao.org/3/i3794es/l3794es.pdf>
- Fernández, M. (2007). Fósforo: Amigo o Enemigo. *ICIDCA*. 51(2), 51-56. Recuperado de <http://www.redalyc.org/pdf/2231/223114970009.pdf>
- Galantini, J. A., Suñer, L., & Iglesias, J. O. (2007). Sistemas de labranza en el sudoeste bonaerense: efectos de largo plazo sobre las formas de fósforo en el suelo. *Revista Investigaciones Agropecuarias (RIA-INTA)*, 36(1), 63-81.

- García, A., y García, Tapia, Y. (2013). La disponibilidad del fósforo es producto de la actividad microbiana en el suelo en ecosistemas oligotróficos. *Terra Latinoamericana*, 31 (3), 232-237. Recuperado de http://www.inia.org.uy/estaciones/ttres/actividades/2008/aquincke_presentacion.pdf
- Gómez, E. (2013). La agricultura sostenible como alternativa a la agricultura convencional. Recuperado de <file:///C:/Users/user/Downloads/Dialnet-LaAgriculturaSostenibleComoAlternativaALaAgricultu-34808.pdf>
- Grageda-Cabrera, O. A., y Díaz-Franco, A., Peña-Cabriales, J. J., & Vera-Nuñez, J. A. (2012). Impacto de los biofertilizantes en la agricultura. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 3(6), 1261-1274.
- Hernández-Leal, T. I., Carrión, G., & Heredia, G. (2011). Solubilización in vitro de fosfatos por una cepa de *Paecilomyces lilacinus* (Thom) Samson. *Agrociencia*. 45(8), 881-890. Recuperado de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952011000800003
- INEC., (2012). Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua 2012: Usos del suelo en el Ecuador. Recuperado de http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_agropecuarias/espac/espac_2012/InformeEjecutivo.pdf
- INIAP, (2015). Papa (*Solanum tuberosum*). Recuperado de <http://www.tecnologia.iniap.gob.ec/index.php/explore-2/mraiz/rpapa>
- Kaur, G., & Reddy, M. S. (2017). Improvement of crop yield by phosphate-solubilizing *Aspergillus* species in organic farming. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 63(1), 24-34.
- LAL, R. SHUKLA, M. (2004) Principles of Soil Physics. Marcel Dekker Inc, New York. EEUU. 18 p.
- Lucero Pintado, H. (2011). Manual del cultivo de papa la Sierra sur. *INIAP. Ecuador*.
- Mallarino, A. P., Stewart, B. M., Baker, J. L., Downing, J. D., & Sawyer, J. E. (2002). Phosphorus indexing for cropland: Overview and basic concepts of the Iowa phosphorus index. *Journal of Soil and Water Conservation*, 57(6), 440-445.

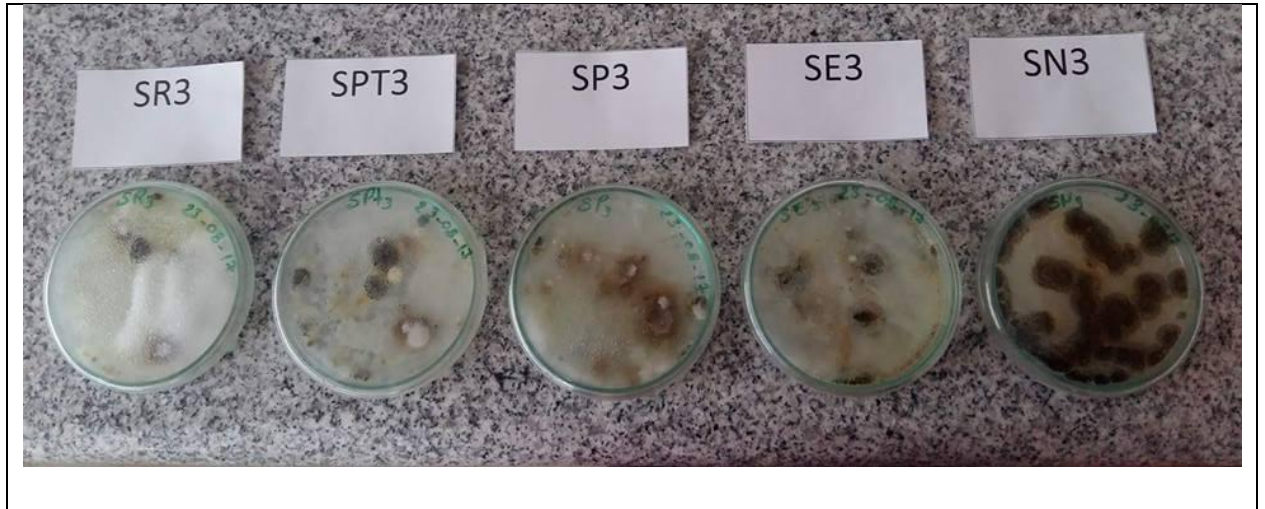
- Monteros, A. (2016). Rendimiento de papa en el Ecuador primer ciclo 2016. *Dirección de Análisis y Procesamiento de la Información, Coordinación General del Sistema de Información Nacional Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca Quito, Ecuador*. Recuperado de http://sipa.agricultura.gob.ec/pdf/estudios_agroeconomicos/rendimiento_papa2016.pdf
- Orea, D. G., y Villarino, M. T. G. (2013). *Evaluación de impacto ambiental*. Mundi-Prensa Libros. Recuperado de: <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=9VOuAwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA15&dq=la+agricultura+y+la+contaminaci%C3%B3n+ambiental&ots=POafoTtzpk&sig=MN8K-FT20pn8CF7KppO5YLpU9jg#v=onepage&q&f=false>
- Ortiz, C., y Gutiérrez, M. (2014). "Claves para la taxonomía de suelos". Washington, USA: 10^o segunda edición.
- Parfitt, R.L., M. Russell y G.E. Orbell. (1983). Weathering sequence of soils from volcanic ash involving allophane and halloysite. *Geoderma* 29: 41-57.
- Parsons, D. (2010). *Papas, Manual para la educación agropecuaria*. Mexico: *Grafs*.
- Patiño, C., y Sanclemente, O. (2014). Los microorganismos solubilizadores de fósforo: Una alternativa biotecnológica para una agricultura sostenible. *Entramado*. 10 (2), 288-296. Recuperado de <http://www.redalyc.org/pdf/2654/265433711018.pdf>
- Paul, R., Singh, R. D., Patra, A. K., Biswas, D. R., Bhattacharyya, R., & Arunkumar, K. (2018). Phosphorus dynamics and solubilizing microorganisms in acid soils under different land uses of Lesser Himalayas of India. *Agroforestry Systems*. 92(2), 449-458.
- Pérez, H., Valencia, H., y Useche, Y. (2008). Caracterización de bacterias y hongos solubilizadores de fosfatos bajo tres usos de suelo en el sur del trapecio amazónico. *Departamento de Biología, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá*. "Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas Sinchi, Colombia. 9 (2), 129-130. Recuperado de <http://revistas.unal.edu.co/index.php/actabiol/article/viewFile/27408/27668>

- Pel, H. J., de Winde, J. H., Archer, D. B., Dyer, P. S., Hofmann, G., Schaap, P. J., & Andersen, M. R. (2007). Genome sequencing and analysis of the versatile cell factory *Aspergillus niger* CBS 513.88. *Nature biotechnology*, 25(2), 221. Recuperado de <https://www.nature.com/articles/nbt1282>
- Picone, L., & Zamuner, E. (2002). Fósforo orgánico y fertilidad fosfórica. *Informaciones agronómicas del cono sur*, 16, 11-15.
- Poore, M., y Fries, C., (2000). Efectos ecológicos de los eucaliptos. *FAO*. Recuperado de <http://www.fao.org/docrep/016/ap415s/ap415s00.pdf>
- Potash y Phosphate Institute. (2000). *Manual Internacional de Fertilidad de Suelos*. Quito. Ecuador. Casilla Postal.
- Pumisacho, M., & Sherwood, S. (2002). *El cultivo de la papa en Ecuador*. Editorial Abya Yala.
- Pumisacho, M., & Velásquez, J. (2009). Manual del cultivo de papa para pequeños productores. *Quito. INIAP, COSUDE*.
- Rausch, C., Daram, P., Brunner, S., Jansa, J., Laloi, M., Leggewie, G., y Bucher, M. (2001). A phosphate transporter expressed in arbuscule-containing cells in potato. *Nature*. 414(6862), 460-470.
- Recalde, E. (2015). *Anuario Agroclimático*. Mérida, Venezuela: Editorial Gráficas el Portatítulo.
- Salgado, S., Buitrón, G., Boada C., y Tobar, C. (2003). Composición y diversidad de la flora y la fauna en cuatro localidades de la provincia del Carchi. *EcoCiencia. Quito*. 109-115. *INIA*. 29-41.
- Sanzano, A. (2000). El Fósforo del suelo. *Química del suelo*. 1-3.
- Schuster, E., Dunn-Coleman, N., Frisvad, J. C., & Van Dijck, P. W. (2002). On the safety of *Aspergillus Niger*—a review. *Applied microbiology and biotechnology*, 59(4-5), 426-430. Recuperado de https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/37000369/Aniger_safe_review.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1532665253&Signature=z%2F7nuPJnBs%2F07IOUsCVbV%2FI2RUI%3D&response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DMINI-REVIEW.pdf

- SPAC. (2016). Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continúa. INEC. Recuperado de http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_agropecuarias/espac/espac-2016/Presentacion%20ESPAC%202016.pdf
- Squella, F. (2008). Manejo de praderas permanentes en sistemas silvopastoriles localizados en el secoano centro-sur.
- Tucuch Pérez, M. A., Hernández Pérez, A., Valdez Aguilar, L. A., Pérez Arias, G. A., García Santiago, J. C., & Alvarado Carrillo, D. (2017). Aplicaciones de aluminio mantienen el crecimiento de fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.) suplementada con roca fosfórica en condiciones de cultivo sin suelo. *Terra Latinoamericana*. 35(3).
- UNAM, (2014). Biofertilizantes ventajas y usos de una opción ecológica. Recuperado de <http://www.fundacionunam.org.mx/ecologia/biofertilizantes-ventajas-y-usos-de-una-opcion-ecologica/>

ANEXOS:

EVIDENCIAS FOTOGRÁFICAS.



Fotografía 1. Aislamiento de microorganismos de suelo de las zonas Espejo, Montufar, Huaca.

Fuente: Fase experimental del ensayo.

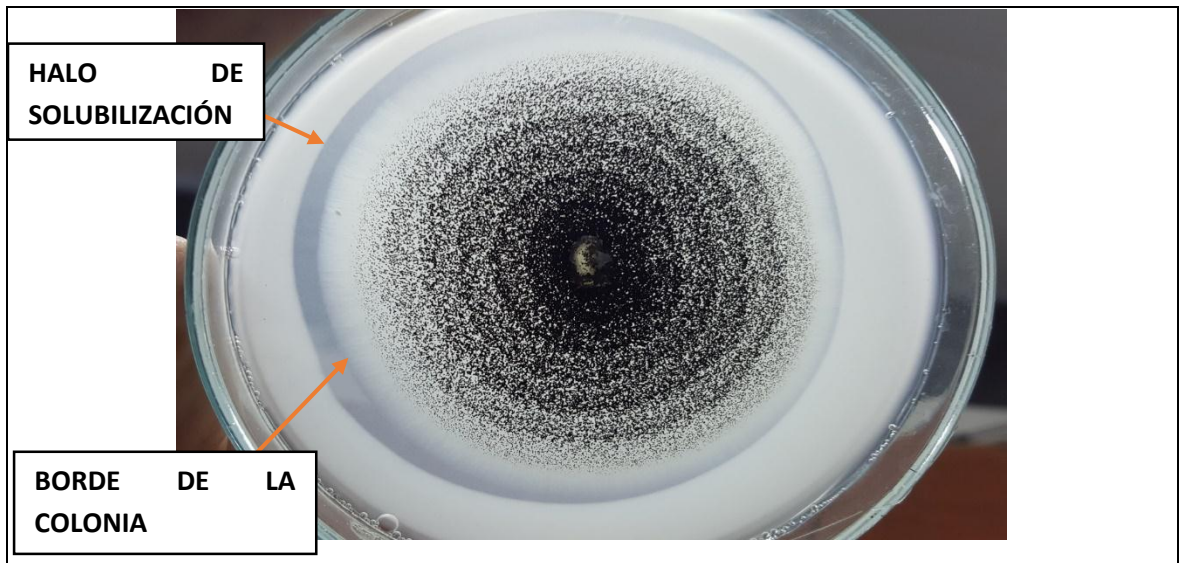
Elaborado por: La Autora



Fotografía 2. Cuantificación de unidades formadoras de colonias totales.

Fuente: Fase experimental del ensayo.

Elaborado por: La Autora



Fotografía 3. Inoculación de la cepas de hongos solubilizadores de fósforo, observación del crecimiento del halo solubilizador.

Fuente: Fase experimental del ensayo.

Elaborado por: La Autora



Fotografía 4. Aislamiento de hongos solubilizadores de fósforo, utilizando el equipo: cámara de flujo laminar.

Fuente: Fase experimental del ensayo.

Elaborado por: La Autora



Fotografía 5. Ceba de hongos solubilizadores de fósforo. 4A SPT1.

Fuente: Fase experimental del ensayo.

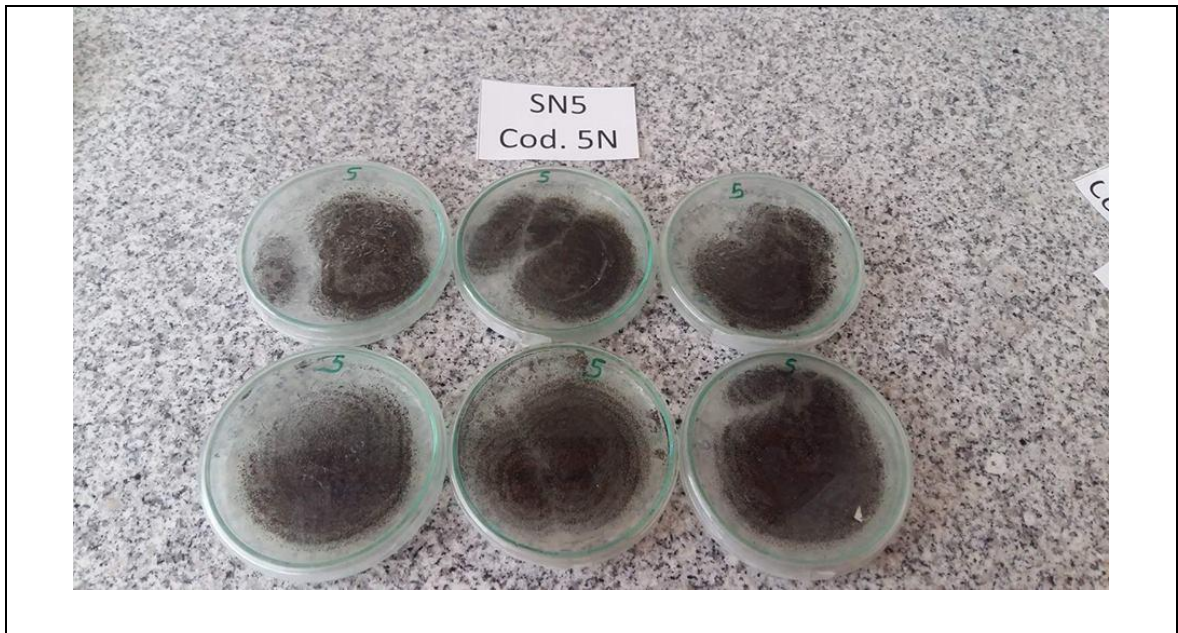
Elaborado por: La Autora



Fotografía 6. Ceba de hongos solubilizadores de fósforo. 4B SPT1.

Fuente: Fase experimental del ensayo.

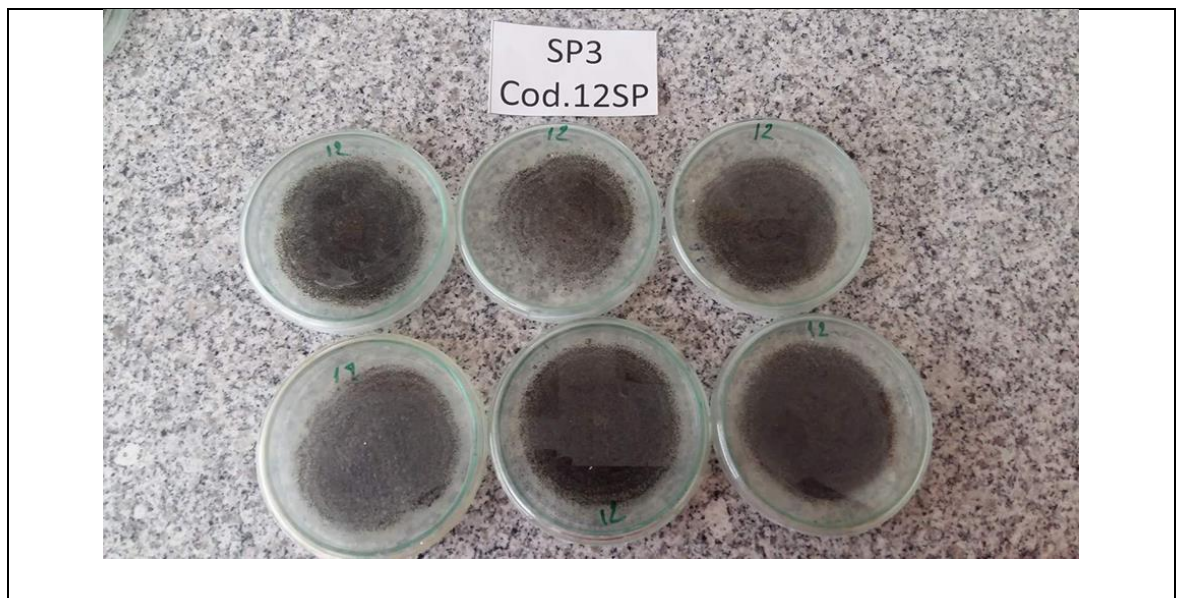
Elaborado por: La Autora



Fotografía 7. Cepa de hongos solubilizadores de fósforo. 5N SN5.

Fuente: Fase experimental del ensayo.

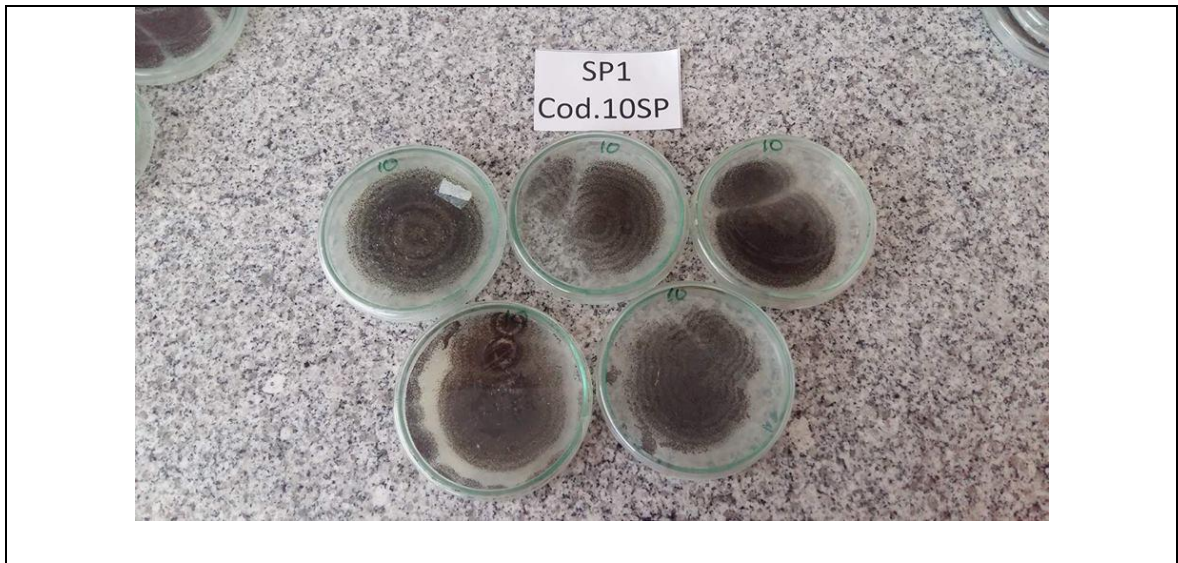
Elaborado por: La Autora.



Fotografía 8. Cepa de hongos solubilizadores de fósforo. 12SP SP3.

Fuente: Fase experimental del ensayo.

Elaborado por: La Autora.



Fotografía 9. Ceba de hongos solubilizadores de fósforo. 10SP SP1.

Fuente: Fase experimental del ensayo.

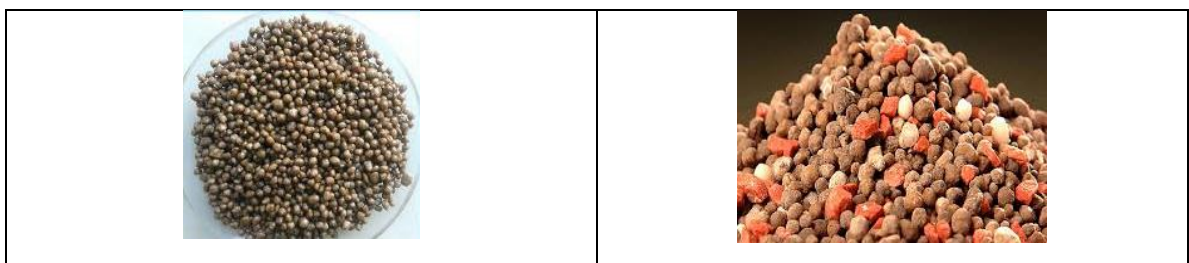
Elaborado por: La Autora.



Fotografía 10. Materiales utilizados para la preparación del inóculo, goma arábica, agua destilada esterilizada, azúcar.

Fuente: Fase experimental del ensayo.

Elaborado por: La Autora.



Fotografía 11. Materiales utilizados para la preparación del inóculo, goma arábica, agua destilada esterilizada, azúcar.

Fuente: Fase experimental del ensayo.

Elaborado por: La Autora.



Fotografía 12. Crecimiento del cultivo de papa; ensayo de evaluación de hongos solubilizadores de fósforo.

Fuente: Fase experimental del ensayo.

Elaborado por: La Autora.



Fotografía 13. Aplicación de control etológico en el ensayo para el control de la mosca blanca.

Fuente: Fase experimental del ensayo.

Elaborado por: La Autora.



Fotografía 14. Crecimiento del cultivo de papa variedad INIAP-Libertad; los tratamientos están ubicados completamente al azar. Bloque 1.

Fuente: Fase experimental del ensayo.

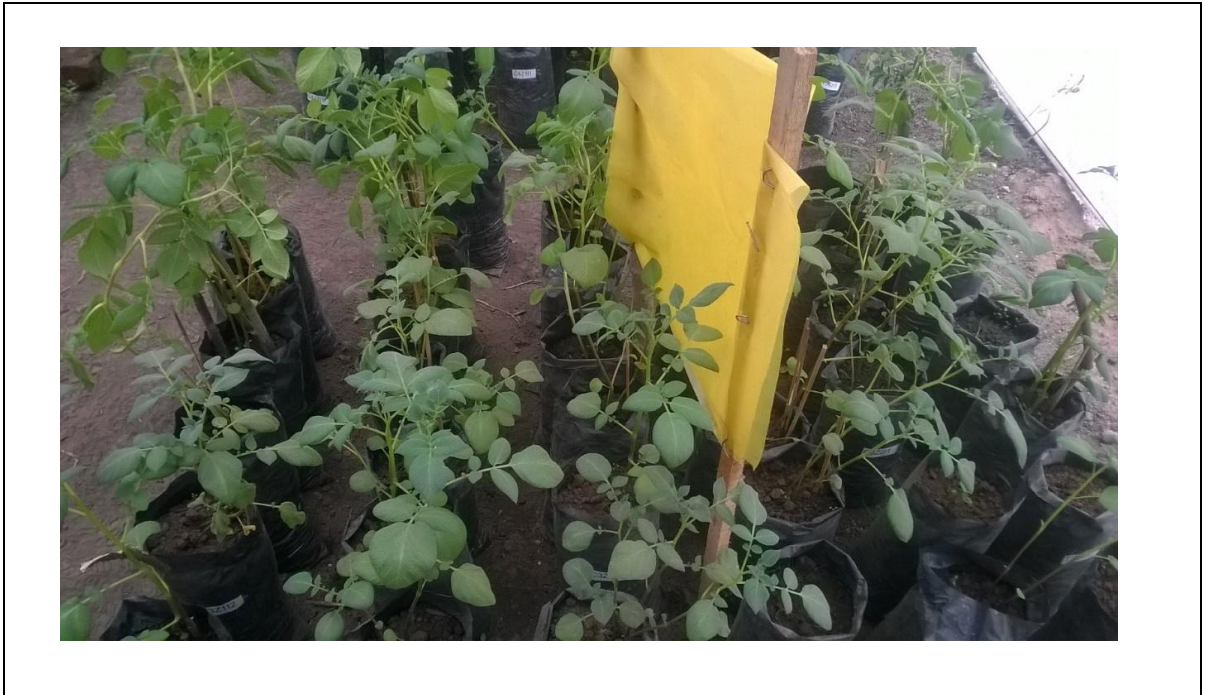
Elaborado por: La Autora.



Fotografía 15. Crecimiento del cultivo de papa variedad INIAP-Libertad; los tratamientos están ubicados completamente al azar. Bloque 2.

Fuente: Fase experimental del ensayo.

Elaborado por: La Autora.



Fotografía 16. Crecimiento del cultivo de papa variedad INIAP-Libertad; los tratamientos están ubicados completamente al azar. Bloque 3.

Fuente: Fase experimental del ensayo.

Elaborado por: La Autora.



Fotografía 17. Crecimiento del cultivo de papa variedad INIAP-Libertad; los tratamientos están ubicados completamente al azar. Bloque 4.

Fuente: Fase experimental del ensayo.

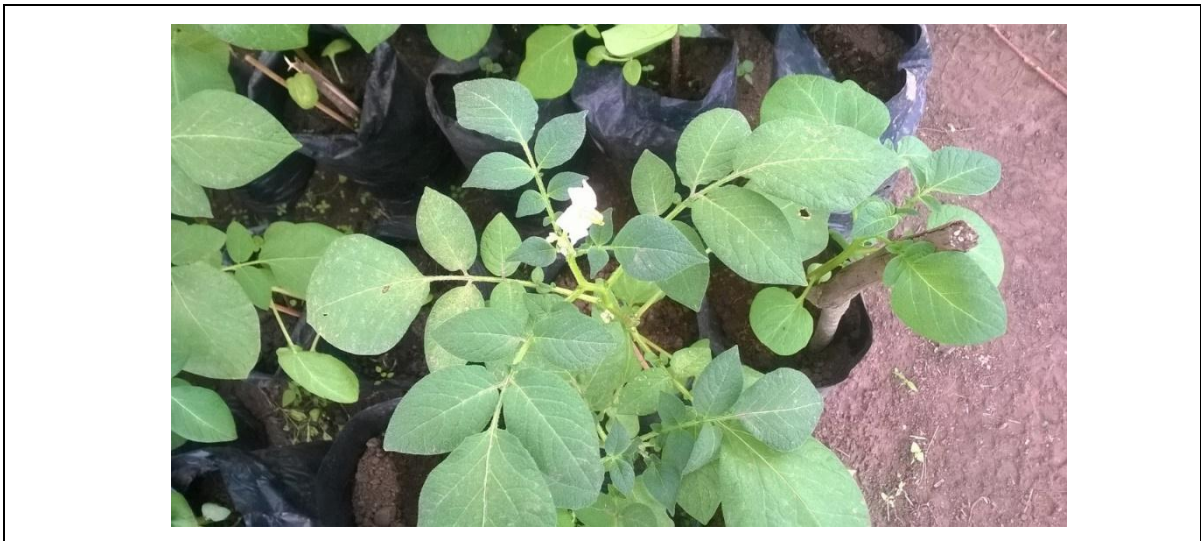
Elaborado por: La Autora.



Fotografía 18. Crecimiento del cultivo de papa variedad INIAP-Libertad; los tratamientos están ubicados completamente al azar. Bloque 5.

Fuente: Fase experimental del ensayo.

Elaborado por: La Autora.



Fotografía 19. Floración del cultivo de papa variedad INIAP-Libertad.

Fuente: Fase experimental del ensayo.

Elaborado por: La Autora.



Fotografía 20. Aplicación de riego por el piso del cultivo de papa variedad INIAP-Libertad.

Fuente: Fase experimental del ensayo.

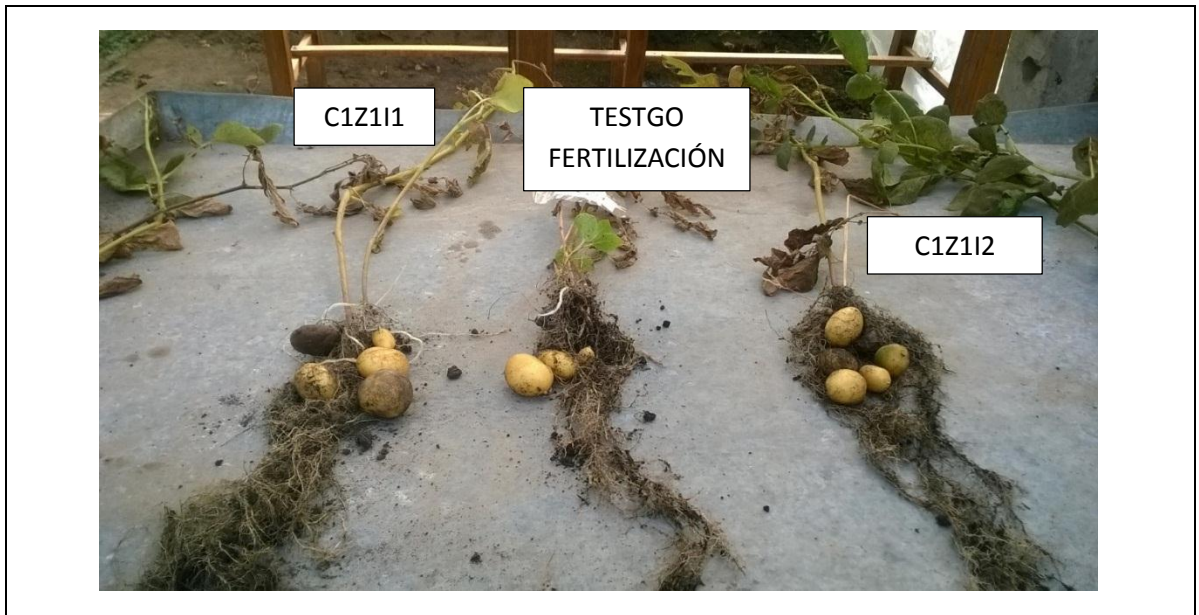
Elaborado por: La Autora



Fotografía 20. Maduración del cultivo de papa variedad INIAP-Libertad. Ensayo en estado de cosecha.

Fuente: Fase experimental del ensayo.

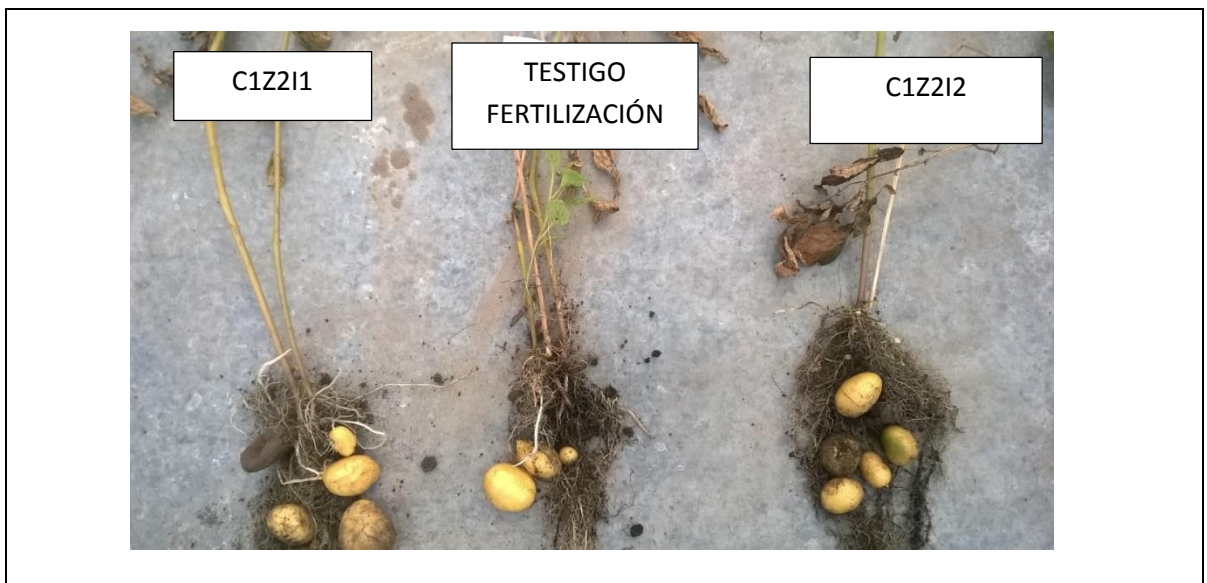
Elaborado por: La Autora



Fotografía 20. Comparación entre tratamientos C1Z111 (Cepa 1, zona 1, inoculación 1). Testigo Fertilización. C1Z112 (Cepa 1, zona 1, inoculación 2).

Fuente: Fase experimental del ensayo.

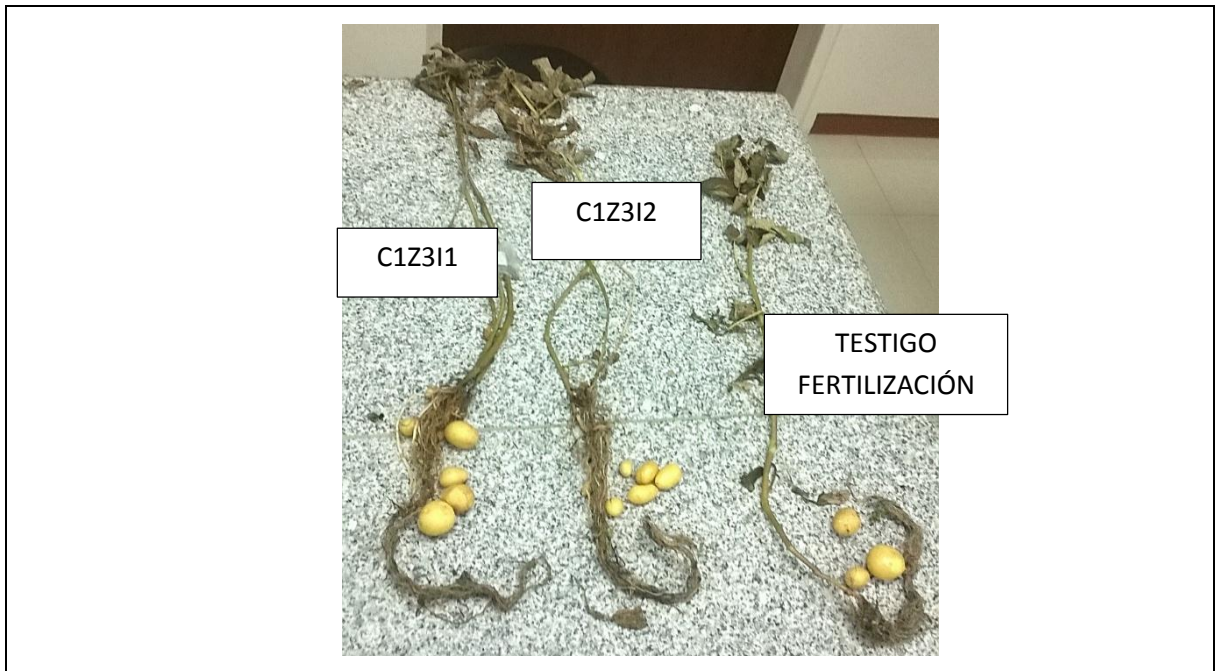
Elaborado por: La Autora



Fotografía 21. Comparación entre tratamientos C1Z211 (Cepa 1, zona 2, inoculación 1). Testigo Fertilización. C1Z212 (Cepa 1, zona 2, inoculación 2).

Fuente: Fase experimental del ensayo.

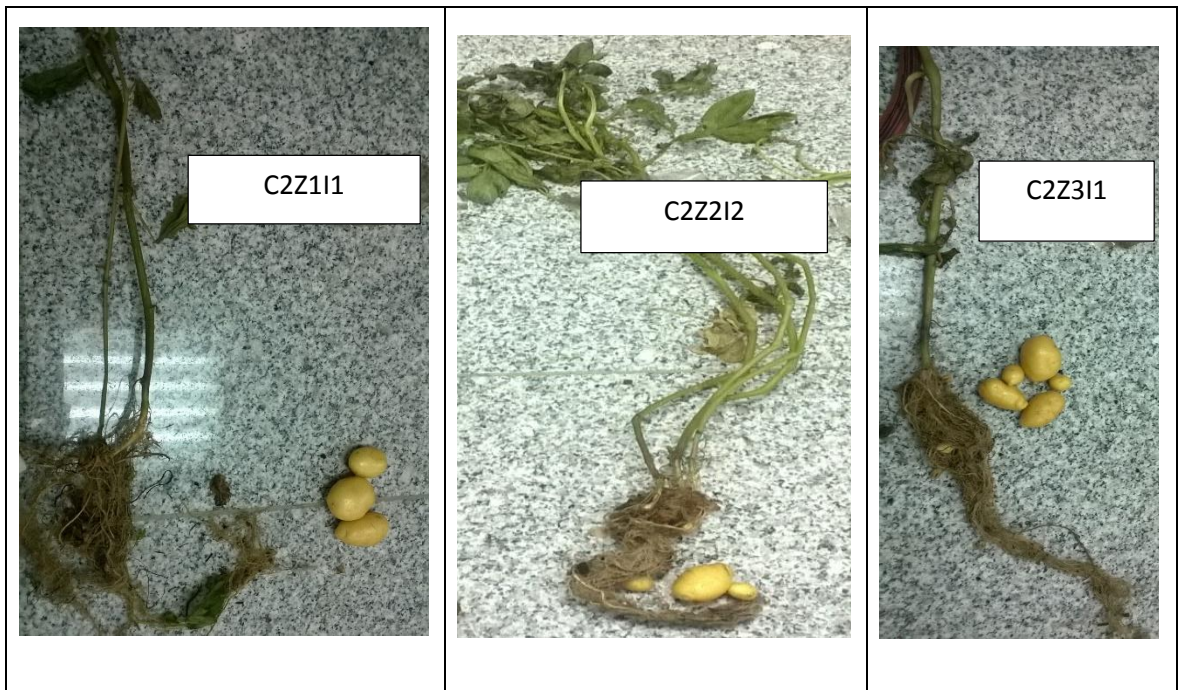
Elaborado por: La Autora



Fotografía 22. Comparación entre tratamientos C1Z311 (Cepa 1, zona 3, inoculación 1). Testigo Fertilización. C1Z312 (Cepa 1, zona 3, inoculación 2).

Fuente: Fase experimental del ensayo.

Elaborado por: La Autora



Fotografía 23. Comparación entre tratamientos C2Z111 (Cepa 2, zona 1, inoculación 1). C2Z212 (Cepa 2, zona 2, inoculación 2). C2Z311 (Cepa 2, zona 3, inoculación 1).

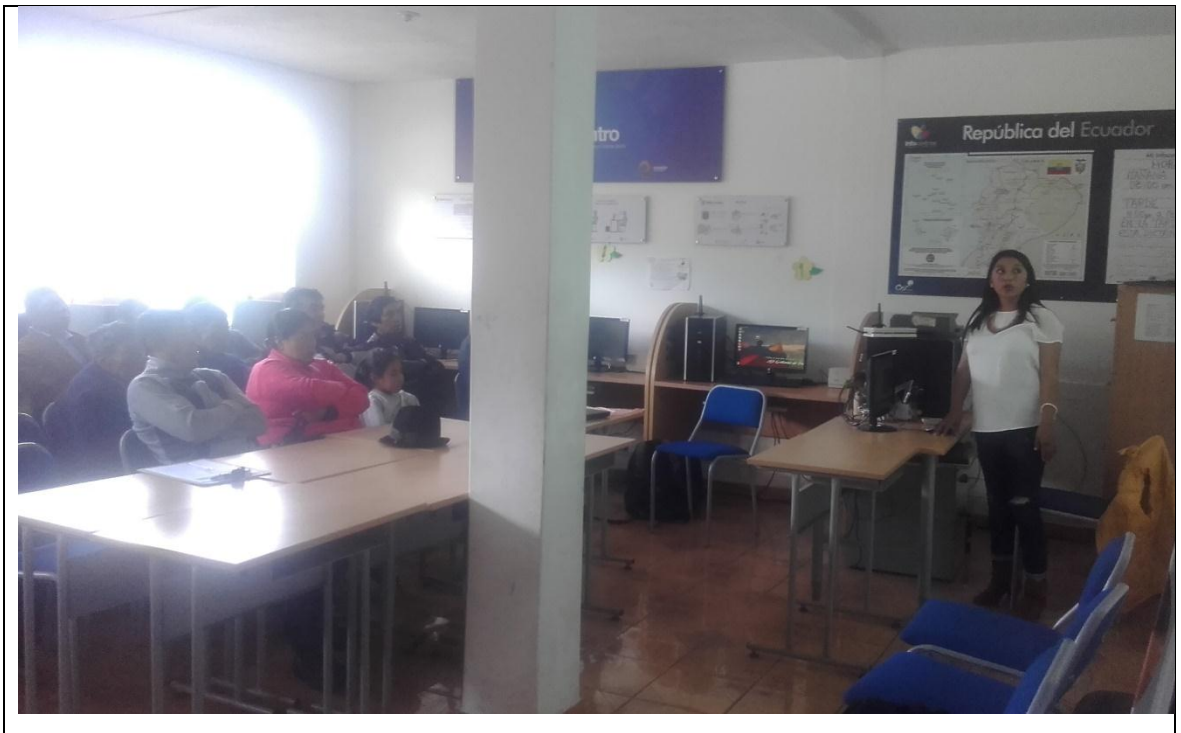
Fuente: Fase experimental del ensayo.

Elaborado por: La Autora.



Fotografía 24. Socialización de resultados a los agricultores de la zona Espejo (parroquia La Libertad)

Fuente: La Autora



Fotografía 25. Socialización de resultados a los agricultores de la zona Espejo (parroquia La Libertad).

Fuente: La Autora.

Anexo 1: Ingredientes del Agar Pikovskaya.

Reactivo	g/l
Extracto de levadura	0.50
Dextrosa	10.00
Fosfato de calcio	5.00
Sulfato de amonio	0.50
Cloruro de potasio	0.20
Sulfato de magnesio	0.10
Sulfato de manganeso	0.0001
Sulfato ferroso	0.0001
Agar	15.00

Fuente: Fabricante; (SIGMA)