UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES
FACULTAD DE INGENIERÍA
Escuela Profesional de Agronomía

TESIS

INFLUENCIA DE PISOS ALTITUDINALES Y CEPAS MICROBIANAS EN EL RENDIMIENTO Y PROPIEDADES BIOQUÍMICAS EN LA PAPA NATIVA CULTIVAR AMACHI (*Solanum tuberosum subesp. andigena*) EN SAÑAYCA – AYMARAES

Presentado por:

YUDY BAZAN ANCCO

Para optar el título profesional de

INGENIERO AGRÓNOMO

Abancay – Apurímac – Perú

2022

Tesis

Influencia de pisos altitudinales y cepas microbianas en el rendimiento y propiedades bioquímicas en la papa nativa cultivar Amachi (*Solanum tuberosum subesp. andigena*) en Sañayca – Aymaraes

Línea de Investigación:

Agricultura y Ambiente

Asesor

Dr. Francisco Medina Raya

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA

INFLUENCIA DE PISOS ALTITUDINALES Y CEPAS MICROBIANAS EN EL RENDIMIENTO Y PROPIEDADES BIOQUÍMICAS EN LA PAPA NATIVA CULTIVAR AMACHI (*Solanum tuberosum subesp. andigena*) EN SAÑAYCA – AYMARAES

Presentado por: **YUDY BAZAN ANCCO** para optar el título profesional de:

Ingeniero Agrónomo.

Sustentado y aprobado el 14 de enero del 2022 ante el jurado:

Presidente	:	Dr. Ely Jesús Acosta Valer
Primer miembro	:	Ing. Rosa E. Marrufo Montoya
Segundo miembro	:	Mag. Lucio Martínez Carrasco
Asesor	:	Dr. Francisco Medina Raya

DEDICATORIA

A mis padres Pascual y Margarita, quienes gracias a sus esfuerzos pude cumplir mis objetivos profesionales.

A mis hermanos Samuel, Ruth, José y Raquel quienes en todo momento me apoyaron de manera incondicional.

A mis hijos Italy, Caleb y Etán que son el motivo para uno poder sobresalir ante cualquier adversidad.

A Freddy Alex Carrizales Vilchez, mi gran amor y compañero de vida por siempre estar atento a mis dudas, por su gran disposición, y sobre todo por su amor al conocimiento.

Yudy.

AGRADECIMIENTOS

A los ingenieros de la Escuela Profesional de Agronomía de la facultad de Ingeniería de la Universidad Tecnológica de los Andes, quienes, en su condición de docentes, son agentes claves en la formación de futuros Ingenieros Agrónomos en la región Apurímac con el sólido compromiso de convertirlos en agentes de cambio promoviendo el desarrollo sostenible.

- Dr. Ely Acosta Valer.
- Mag. Braulio Pérez Campana.
- Mag. Lucio Martínez Carrasco.
- Mg Sc. Juan Alarcón Camacho.
- Ing. Jaher Menacho Morales.
- Ing. Rosa E. Marrufo Montoya.

Al Dr. Francisco Medina Raya, quien, en su calidad de asesor, me brindo las pautas metodológicas necesarias para el desarrollo y culminación de la presente investigación.

Yudy.

ÍNDICE DE CONTENIDO

PORTADA ..... **i**

POST PORTADA ..... **ii**

PÁGINAS PRELIMINARES

DEDICATORIA ..... **iv**

AGRADECIMIENTOS ..... **v**

ÍNDICE DE CONTENIDO ..... **vi**

ÍNDICE DE TABLAS ..... **x**

ÍNDICE DE FIGURAS ..... **xii**

RESUMEN ..... **xiv**

ABSTRACT ..... **xv**

INTRODUCCIÓN ..... **xvi**

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Realidad problemática 1

1.2. Planteamiento del problema 3

1.2.1. Problema general 3

1.2.2. Problemas específicos 3

1.3. Justificación 3

1.4. Objetivos 6

1.4.1. Objetivo general 6

1.4.2. Objetivos específicos 6

1.5. Delimitación de la investigación 7

1.5.1. Espacial 7

1.5.2. Temporal 8
1.5.3. Conceptual 8

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación 9
2.1.1. A nivel internacional 9
2.1.2. A nivel nacional 11
2.2. Base teórica 12
2.2.1. Pisos altitudinales 12
2.2.2. La papa nativa 13
2.2.3. Cultivar Amachi 20
2.2.4. Propiedades bioquímicas 21
2.2.5. Antocianinas en papa nativa 25
2.2.6. Cepas microbianas 29
2.3. Marco conceptual 44
2.3.1. Hábitat de la papa nativa 44
2.3.2. Manejo agronómico de la papa nativa 45
2.3.3. Plagas y enfermedades 47

CAPITULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Hipótesis 49
3.1.1. General 49
3.1.2. Específica 49
3.2. Método 49
3.3. Tipo de investigación 49
3.4. Nivel o alcance de la investigación 50
3.5. Diseño de la investigación 50
3.6. Operacionalización de variables 50
3.7. Población, muestra y muestreo 51
3.8. Técnicas e instrumentos 51

3.9. Consideraciones éticas 52
3.10. Procedimiento estadístico 52
3.10.1. Análisis descriptivo de los datos 52
3.10.2. Análisis exploratorio de los datos 53
3.10.3. Diseño estadístico 53
3.10.4. Labores agronómicas realizadas 60

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. RESULTADOS 62
4.1.1. Rendimiento 62
4.1.2. Propiedades bioquímicas 67
4.2. DISCUSIONES 77
4.2.1. Rendimiento 77
4.2.2. Propiedades bioquímicas 83

CONCLUSIONES 87

RECOMENDACIONES 88

BIBLIOGRAFÍA 89

ANEXOS 111

Prueba de normalidad 112

1.1. Rendimiento 112
1.2. Antocianinas 115
1.3. Polifenoles totales 118
Mapa de ubicación 121

Fotografías 122

Análisis de laboratorio 124

Recopilación de datos 127

Costo de producción 129

Matriz de consistencia 133

Matriz de operacionalización de variables 135

GLOSARIO DE TÉRMINOS 136

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Especies de papa nativa. 15

Tabla 2. Composición química de tubérculos de papa nativa. 20

Tabla 3. Compuestos fenólicos de origen vegetal. 25

Tabla 4. Análisis de varianza para el rendimiento. 62

Tabla 5. Prueba de Tukey – rendimiento teniendo como factor LOCALIDAD. 64

Tabla 6. Prueba de Tukey – rendimiento teniendo como factor TRATAMIENTO.. 65

Tabla 7. Análisis de varianza para el contenido de antocianinas. 68

Tabla 8. Prueba de Tukey – concentración de antocianinas factor LOCALIDAD.. 70

Tabla 9. Prueba de Tukey – concentración de antocianinas factor TRATAMIENTO. 71

Tabla 10. Análisis de varianza para el contenido de polifenoles. 73

Tabla 11. Prueba de Tukey – polifenoles totales factor LOCALIDAD. 74

Tabla 12. Prueba de Tukey – polifenoles totales factor TRATAMIENTO. 75

Tabla 13. Rendimientos por localidad y de acuerdo a tratamiento. 77

Tabla 14. Prueba de Tukey – polifenoles totales factor TRATAMIENTO. 79

Tabla 15. Comparativo de estudios sobre biofertilización en el rendimiento. 80

Tabla 16. Propiedades bioquímicas: concentración de antocianinas. 84

Tabla 17. Propiedades bioquímicas: concentración de polifenoles totales. 84

Tabla 18. Comparativo de estudios sobre biofertilización en el rendimiento. 85

Tabla 19. Test de normalidad para el rendimiento. 113

Tabla 20. Test de homocedasticidad para el rendimiento. 114

Tabla 21. Test de normalidad para el contenido de antocianinas. 116

Tabla 22. Test de homocedasticidad para el contenido de antocianinas. 117

Tabla 23. Test de normalidad para el contenido de polifenoles totales. 119

Tabla 24. Test de homocedasticidad para el contenido de polifenoles totales. ... 120

Tabla 25. Recopilación de datos provenientes de la localidad de Huarquiza. 127

Tabla 26. Recopilación de datos provenientes de la localidad de Sañayca. 127

Tabla 27. Recopilación de datos provenientes de la localidad de Pucahuasi. 128

Tabla 28. Costo de producción/Ecoterra - Nivel tecnológico: Medio. 129

Tabla 29. Costo de producción/Alicerce - Nivel tecnológico: Medio. 131

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Célula bacteriana de Bacillus megaterium. 33

Figura 2. Colonia de Bacillus megaterium. 34

Figura 3. Colonia de Bacillus subtilis. 35

Figura 4. Bacillus subtilis con esporas. 36

Figura 5. Bacillus subtilis con esporas. 37

Figura 6. Azotobacter chroococcum. 40

Figura 7. Pseudomonas fluorescens. 43

Figura 8. Disposición de los tratamientos en estudio. 56

Figura 9. Prueba tukey - rendimiento factor LOCALIDAD. 64

Figura 10. Prueba tukey - rendimiento factor TRATAMIENTO. 66

Figura 11. Gráfica de barras para el rendimiento. 67

Figura 12. Prueba tukey - concentración de antocianinas factor LOCALIDAD..... 70

Figura 13. Gráfico de barras para concentración de antocianinas. 72

Figura 14. Prueba Tukey – polifenoles totales factor LOCALIDAD. 75

Figura 15. Gráfico de barras para concentración de polifenoles totales. 76

Figura A. 1. Independencia para el rendimiento. 112

Figura A. 2. Normalidad de residuos para el rendimiento. 113

Figura A. 3. Histograma + Curva normal teórica - rendimiento. 114

Figura A. 4. Independencia para el contenido de antocianinas. 115

Figura A. 5. Normalidad de residuos para el contenido de antocianinas. 116

Figura A. 6. Histograma + Curva normal teórica - contenido de antocianinas..... 117

Figura A. 7. Independencia para el contenido de polifenoles totales. 118
Figura A. 8. Normalidad de residuos para el contenido de polifenoles..... 119
Figura A. 9. Histograma + Curva normal teórica - contenido de polifenoles..... 120

Figura B. 1. Ubicación del experimento..... 121

Figura C. 1. Selección del terreno para la siembra de papa. 122
Figura C. 2. Siembra del cultivo de papa cultivar Amachi. 122
Figura C. 3. Monitoreo participativo de las parcelas experimentales. 123
Figura C. 4. Tubérculos de papa nativa cultivar Amachi listo para ser enviado a laboratorio. 123

Figura D. 1. Análisis de suelos. 124
Figura D. 2. Análisis microbiológico del suelo. 125
Figura D. 3. Análisis de antocianinas en tubérculos de papa nativa cv Amachi. . 126
Figura D. 4. Análisis de polifenoles totales en tubérculos de papa nativa cv Amachi. 126

RESUMEN

Se realizó un estudio cuyo objetivo fue evaluar la influencia de pisos altitudinales y cepas microbianas en el rendimiento y propiedades bioquímicas en la papa nativa cultivar Amachi. Para ello se aplicó el Diseño de Bloques Completamente al Azar (DBCA) en parcelas divididas. Entre los resultados más importantes se tiene que los mejores promedios en rendimiento de tubérculos aplicando el tratamiento ECOTERRA se logró en Pucahuasi alcanzando 429.67 g/planta (12276.29 kg/ha). En el caso del contenido de antocianinas, con la aplicación del tratamiento ECOTERRA se obtuvo la mayor concentración de antocianinas en tubérculos de papa nativa cosechadas en el sector de Pucahuasi con concentraciones de 1570.49 mg/100g BS y el contenido de polifenoles totales, la aplicación del tratamiento ECOTERRA reporta los mayores valores en concentración de polifenoles totales presentes en tubérculos de papa nativa cosechadas en el sector Pucahuasi con un valor de 2655.23 mg/100g BS[1].

De estos resultados obtenidos se concluye que la influencia de los pisos altitudinales y la aplicación de cepas microbianas favorecen el rendimiento y en las propiedades bioquímicas en el cultivo de papa nativa. Teniendo en cuenta esto, se recomienda que los productores del distrito de Sañayca dentro de su planificación agrícola consideren sembrar papa nativa por encima de los 3700 metros sobre el nivel del mar empleando con biofertilizantes las cepas microbianas.

Palabras claves: Cepas microbianas, Antocianinas, Polifenoles totales, Sañayca.

[1] Base seca

ABSTRACT

A study was carried out whose objective was to evaluate the influence of altitudinal floors and microbial strains on the yield and biochemical properties of the native potato cultivar Amachi. For this, the Completely Randomized Block Design (DBCA) was applied in divided plots. Among the most important results, the best averages in tuber yield applying the ECOTERRA treatment were achieved in Pucahuasi, reaching 429.67 g/plant (12276.29 kg/ha). In the case of the content of anthocyanins, with the application of the ECOTERRA treatment, the highest concentration of anthocyanins was obtained in native potato tubers harvested in the Pucahuasi sector with concentrations of 1570.49 mg/100g BS and the content of total polyphenols, the application of the ECOTERRA treatment reports the highest values in concentration of total polyphenols present in native potato tubers harvested in the Pucahuasi sector with a value of 2655.23 mg/100g BS[2].

From these results obtained, it is concluded that the influence of altitudes and the application of microbial strains favor yield and biochemical properties in native potato cultivation. Taking this into account, it is recommended that producers in the district of Sañayca consider planting native potatoes above 3,700 meters above sea level within their agricultural planning, using microbial strains with biofertilizers.

Keywords: Microbial strains, Anthocyanins, Total polyphenols, Sañayca.

[2] Dry base

INTRODUCCIÓN

A nivel de Latinoamérica, solo Colombia y Bolivia han prestado cierto interés en determinar estudios que permitan incrementar el contenido de nutrientes en los tubérculos de papas nativas, pero primordialmente destinan estudios para determinar la tecnología acorde que permita incrementar los rendimientos y resistencia de estos cultivos a plagas y enfermedades.

El mismo contexto ocurre en nuestro país, los trabajos de fitomejoramiento han sido orientados en incrementar los rendimientos de los cultivos y hacerlos más resistentes a las condiciones de estrés producto de la inclemencia del clima, así como del ataque de plagas y enfermedades, no obstante, el interés por producir cultivos con alto valor nutritivo sigue siendo de poco interés; sin embargo, hubo estudios que tuvieron como propósito el incrementar las propiedades nutricionales en los cultivos mediante elevadas concentraciones de fertilización química pero los resultados no fueron los esperados.

Se sabe que el cultivo de papa nativa generalmente prospera dentro de los 2400 a 3700 metros sobre el nivel de mar, por tanto, la altitud sería un factor influyente sobre el contenido total de polifenoles presentes en los tubérculos de papa nativa; sin embargo, son pocas las investigaciones que abordan la relación proporcional entre el contenido de polifenoles y la altitud en donde son sembrados los cultivos. En Colombia, se ha encontrado información no tan concluyente que indicarían que a menor altitud se tiene la mayor concentración de polifenoles en cultivos de café, por lo tanto, este hecho fue un precedente para investigar en la papa nativa.

De otra parte, la producción de papas nativas en condiciones naturales del suelo sin fertilización alguna no garantiza la disponibilidad en cantidades suficientes de los macro y micronutrientes suficientes que permita cubrir las exigencias que demanda este cultivo para una mayor productividad. En tal sentido, el empleo de cepas microbianas que tienen la capacidad de ser promotores del crecimiento vegetal, característica que le permite ser empleado en la agricultura como una alternativa sostenible de producción. De acuerdo a **Bharti *et al*., (2013)**, ciertas variedades de cepas promotoras del crecimiento vegetal pertenecientes a *Bacillus, Enterobacter, Burkholderia, Acinetobacter, Alcaligenes, Arthrobacter, Azospirillium, Azotobacter, Beijerinckia, Erwinia, Flavobacterium, Rhizobium* y *Serratiaahora* se utilizan en todo el mundo con el objetivo de mejorar la productividad de los cultivos.

Desde esta perspectiva, la producción sostenible mediante el empleo de cepas microbianas promotoras del crecimiento vegetal puede contribuir no solo a incrementar los rendimientos agrícolas sino también mejorar las propiedades bioquímicas de la papa nativa cultivar Amachi.

Dada la necesidad de abordar la falta de estrategias de innovación y tecnología agrícola que repercuten en los bajos rendimientos y menores concentraciones de las propiedades bioquímicas de la papa nativa cultivar Amachi, se realizó el estudio sobre el rendimiento y la calidad nutricional del cultivo de papa nativa cultivar “Amachi” teniendo en consideración la influencia de los distintos pisos altitudinales sumado con el empleo de cepas microbianas llegando a concluir que la influencia del factor altitudinal y la aplicación de cepas microbianas incrementan los rendimientos y las concentraciones de antocianinas y polifenoles totales.

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Realidad problemática

Actualmente existe un interés creciente en las propiedades bioquímicas - de manera específica en las antocianinas y polifenoles totales - presente en los tubérculos de las papas nativas debido a que es un cultivo con alto potencial de ser aprovechado en la actividad agro industrial.

Es bajo este escenario que instituciones no gubernamentales, como es el caso de la ONG Caritas Abancay, han venido desarrollando proyectos de desarrollo con el sólido propósito de preservar este importante cultivo que compone un pilar de mucha importancia para la supervivencia, la sostenibilidad rural y la seguridad alimentaria de las futuras generaciones del distrito de Sañayca.

La ONG Caritas Abancay realizó un diagnóstico en las comunidades rurales del distrito de Sañayca, previo a la formulación y ejecución del proyecto de desarrollo, en donde se logró identificar muchas variedades de papa nativa. De las variedades identificadas, se dio especial atención a aquellas que presentan la pigmentación azul en sus tubérculos específicamente la del cultivar Amachi; este cultivar según refieren los productores fue introducido años atrás por el Instituto Nacional de Innovación Agraria - Cusco con el propósito de brindarles un nuevo material genético que les permita obtener una oferta alimentaria de calidad.

De acuerdo con la revisión bibliográfica existente, la coloración azul en los tubérculos indica como particularidad en sus propiedades bioquímicas la

presencia de antocianinas y polifenoles totales; tanto la antocianina como los polifenoles totales puede ser aprovechados como reemplazantes competitivos de los colorantes artificiales de alimentos que usados actualmente en la industria.

A pesar de que los colorantes artificiales o sintéticos son aceptados por múltiples reglamentos sanitarios a lo largo del mundo, no han estado libres de controversia debido a la existencia de casos clínicos y estudios científicos que señalan como causantes de originar alergias y favorecer el desarrollo de enfermedades; por tanto, esta situación latente despertó el interés por promover el cultivo de las papas nativas con fines industriales.

El diagnóstico realizado señala además que los agricultores dedicados a este cultivo han venido trabajando desde una perspectiva de producción tradicional, es decir alejado de la tecnificación y tecnología agrícola, sin prestar atención a obtener tubérculos con propiedades bioquímicas de calidad con alto valor diferenciado en el mercado. También se ha detectado que los rendimientos obtenidos por unidad productiva en estas comunidades se sitúan por debajo de la media regional.

En ese sentido, la falta de adopción de estrategias de innovación y tecnología agrícola trae como problema bajos rendimientos y las menores concentraciones en las propiedades bioquímicas (de las antocianinas y polifenoles totales) presentes en los tubérculos.

Tanto a nivel internacional como nacional, los antecedentes de estudios sobre alternativas tecnológicas de mejoras, muy aparte de trabajos en fitomejoramiento, en las propiedades bioquímicas del cultivo de papa nativa

son mínimas y sobre todo datan de las décadas de los 80 a pesar que en la actualidad el nivel de revaloración alcanzado por este cultivo la sitúa como un producto agrícola muy importante y beneficioso para la salud.

Los estudios realizados para tratar de incrementar las propiedades nutricionales se basan por lo general en incrementar las dosis de los fertilizantes químicos, sin embargo, los resultados no han sido muy alentadores.

1.2. Planteamiento del problema

1.2.1. Problema general

Se ha formulado la siguiente interrogante como problema general: ¿Cómo influye los pisos altitudinales y la aplicación de cepas microbianas en el rendimiento y propiedades bioquímicas en el cultivo de papa nativa cultivar Amachi?

1.2.2. Problemas específicos

- ¿Cómo influye los pisos altitudinales y la aplicación de cepas microbianas en el rendimiento del cultivo de papa nativa cultivar Amachi?
- ¿Cómo influye los pisos altitudinales y la aplicación de cepas microbianas en las propiedades bioquímicas del cultivo de papa nativa cultivar Amachi?

1.3. Justificación

Este estudio sobre la influencia de pisos altitudinales y cepas microbianas en el rendimiento y propiedades bioquímicas en la papa nativa cultivar Amachi

nos permitirá determinar si la producción sostenible, considerando la influencia de los pisos altitudinales y la aplicación de cepas microbianas, resulta una alternativa viable en la producción de papa nativa con el fin de incrementar los rendimientos y la concentración de propiedades bioquímicas (antocianinas y polifenoles totales) presente en los tubérculos.

Así, el presente trabajo de investigación en concordancia con los nuevos enfoques que resalta la necesidad de desarrollar y encaminar modelos que articulen la agricultura, la salud humana, nutrición y la generación de ingresos económicos en los agricultores permitirá el fortalecimiento de la agricultura desarrollada en el distrito de Sañayca contribuyendo a implementar mejoras en los procesos de producción con una mirada integradora sobre la gestión ambiental.

En ese sentido, el proyecto de investigación es **importante** porque plantea una alternativa de producción sostenible permitiendo al agricultor en primer lugar reducir su vulnerabilidad a la inseguridad alimentaria y en segundo plano, convertir su incipiente agricultura en una fuente de ingresos económicos porque tendrá un producto con alto valor nutricional lo que significará una ventaja económica para el productor: su producto podrá ser apreciado como colorantes naturales dentro de la industria alimenticia, pues sus pigmentos de tonos variados podrían aplicarse en yogures, gelatinas, caramelos, bebidas, etc.; esto no ha sido ajeno a las intenciones del país vecino, Chile, que actualmente - después de haber estudiado 40 variedades de papa nativa y habiéndose determinado que 8 variedades son las más aptas con potencial agroindustrial - están estudiando distintos

procedimientos para la extracción de los compuestos antocianinas y polifenoles totales para ser usado en la industria alimentaria. Se espera que el resultado de esas investigaciones permita saber si las antocianinas y polifenoles totales resultan mejor presentarlas como un polvo o como un líquido, y cuál es la presentación que más le acomoda a la industria. Seguidamente se usará estos compuestos en preparaciones lácteas y pastelería.

A nivel distrital Sañayca cuenta con condiciones propicias para el desarrollo de la actividad agrícola sobre todo de papa nativa, sin embargo, el plan de desarrollo concertado distrital eje temático agrícola no se ha elaborado sobre una línea de base con acciones que se adecuen a la realidad y necesidades de sus territorios; también la falta de sensibilización y colaboración de los sectores vinculados al sector agrícola es una de las principales debilidades observadas. Este escenario ha conllevado que se acreciente enfermedades como la anemia y desnutrición crónica debido a la insuficiencia de obtener alimentos con alto contenido nutricional.

Por ello, la **razón** de este trabajo es de promover un disfrute pleno del derecho de estos agricultores y pobladores a tener alimentos en cantidad y de calidad adecuadas para llevar una vida saludable y activa.

Esta investigación resulta **pertinente** porque hace frente ante los incrementos de enfermedades neurodegenerativos, cardiovasculares y cancerígenos a través del consumo de papas nativas con alta concentración de antocianinas y polifenoles totales que tienen la propiedad de neutralizar los radicales libres que causan estas enfermedades.

El **aporte** de esta investigación es brindar un modelo integrado de producción para los productores dedicados al cultivo de papa nativa del distrito de Sañayca en donde se tenga definido bajo qué condiciones ambientales y tipo de tecnología les permita obtener una producción agrícola no solo enfocada a maximizar los rendimientos sino también incrementar las propiedades bioquímicas de los tubérculos.

Así mismo, este trabajo despierta el **interés científico** en demostrar la existencia de microorganismos benéficos que podrían ser utilizados para influenciar en el contenido nutricional de cultivos agrícolas en general contribuyendo a la suficiencia de proteínas - calorías en la dieta humana.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Evaluar la influencia de pisos altitudinales y cepas microbianas en el rendimiento y propiedades bioquímicas en la papa nativa cultivar Amachi (*Solanum tuberosum subesp. andigena*) en Sañayca – Aymaraes.

1.4.2. Objetivos específicos

- Determinar la influencia de distintos pisos altitudinales y cepas microbianas sobre el rendimiento del cultivo de papa nativa cultivar Amachi.
- Determinar la influencia de distintos pisos altitudinales y cepas microbianas en las propiedades bioquímicas del cultivo de papa nativa cultivar Amachi.

1.5. Delimitación de la investigación

1.5.1. Espacial

La investigación tuvo lugar en el distrito de Sañayca en la provincia de Aymaraes de la región Apurímac, específicamente en los sectores de Pucahuasi, Huarquiza y Sañayca pertenecientes a la comunidad campesina de Sañayca. Su ubicación dentro del sistema de coordenadas geográficas UTM es la siguiente:

a) Sector de Pucahuasi

Este: 675220.

Norte: 8425422.

Altitud: 4119 msnm.

Piso ecológico o altitudinal: Puna

b) Sector de Sañayca

Este: 675197.

Norte: 8424795.

Altitud: 3981 msnm.

Piso ecológico o altitudinal: Suni

c) Sector de Huarquiza

Este: 677348.

Norte: 8424299.

Altitud: 3768 msnm.

Piso ecológico o altitudinal: Suni.

1.5.2. Temporal

Se realizó en la campaña agrícola, temperada de lluvia para la siembra, del año 2016 al 2017.

1.5.3. Conceptual

Se abordará los conceptos de pisos altitudinales, cepas microbianas además del rendimiento y las propiedades bioquímicas del cultivo de papa nativa cv Amachi

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. A nivel internacional

Mamani *et al*. (2012) en su trabajo de investigación titulado "Uso de microorganismos nativos como promotores de crecimiento y supresores de patógenos en el cultivo de la papa en Bolivia" evaluó la aplicación de microorganismos nativos de manera consecutiva (2007 al 2010) empleando el Diseño por Bloques Completos al Azar (DBCA) con cuatro repeticiones. Los resultados de los tres años de evaluación permiten afirmar que el *Bacillus subtilis* incrementa de manera significativa el rendimiento del cultivo de papa alcanzando en promedio 40000 kg/ha y sin la aplicación de este logra unos 32000 kg/ha.

Dimitrijevic et al., (2011), llevaron a cabo estudios sobre la variabilidad y la estabilidad de los componentes del rendimiento para múltiples genotipos divergentes de trigo blando originados en diferentes instituciones mundiales de mejoramiento. El objetivo fue evaluar la interacción genotipo x ambiente, en diferentes condiciones ambientales y para cumplirlo se empleó un diseño de bloques al azar en tres repeticiones en el campo experimental en diferentes condiciones ambientales (dos localidades) y durante tres campañas agrícolas analizando un total de 60 plantas en plena madurez. Los cultivares analizados mostraron diferencias muy significativas en los valores medios de los caracteres analizados. A modo de conclusión se puede afirmar

que las dos localidades presentaron la mayor fuente de variación para los parámetros agronómicos que los años donde fueron instalados.

Hernández-Castillo *et al.* (2007) en su trabajo de investigación denominado "Potencial antifúngico de cepas de *Bacillus* spp. y extracto de *Larrea tridentata* contra *Rhizoctonia solani* en el cultivo de la papa (*Solanum tuberosum* L.)" en condiciones de laboratorio, invernadero y campo definitivo planteándose los siguientes objetivos: (1) analizar el efecto antifúngico de tres cepas de bacterias del género Bacillus contra *R. solani*, además de su efecto promotor del crecimiento en plantas de papa; (2) determinar el efecto de un extracto resinoso obtenido de hojas de *Larrea tridentata* contra el hongo R. solani, y (3) establecer si existe un efecto sinérgico al mezclar las cepas de Bacillus con el extracto de *L. tridentata*. Los resultados alcanzados indican que las bacterias empleadas en este estudio tienen propiedades antifúngica, al igual que el extracto de *L. tridentata*. Por otro lado, las cepas de Bacillus sobresalieron además por su efecto estimulador del crecimiento reportando rendimientos de 17500 kg/ha.

Estudios llevados a cabo por **Burke (2003)** sobre crecimiento del cultivo de papa, llega a demostrar que el rendimiento de tubérculos en cultivos de papa se ve influenciado por la acumulación de radiación fotosintéticamente activa que es interceptada por las hojas, debido a la eficiencia con que la radiación interceptada y luego transformada en materia seca y por consiguiente esta proporción acumulada de materia seca será translocada hacia los tubérculos.

Prescott et al., (2002), en sus estudios conducidos sobre microbiología sostienen que existe una relación directa de las características físicas y químicas del entorno ambiental sobre el desarrollo de los microorganismos considerando además de que la temperatura afecta intensamente a esos seres vivos.

Jiménez *et al.* (2001), en sus estudios que realizaron en la ciudad de México denominado “Bacterias promotoras del crecimiento de plantas” se plantearon como objetivo la aplicación de cepas microbianas de *Bacillus subtilis* en la producción de tubérculos de papa mediante un Diseño por Bloques Completamente Aleatorizado (DBCA), los resultados indican que con este microorganismos o cepa inoculada en las parcelas alcanzó la mayor cantidad y calidad de tubérculos cosechados concluyendo que Bacillus subtilis resulta un buen complemento a la fertilización tradicional.

2.1.2. A nivel nacional

Palomino (2017) en su estudio sobre mejoramiento genético participativo en un contexto de cambio climático en el cultivo de papa nativa cv Amachi, tuvo como objetivo obtener tubérculos con alto contenido de polifenoles totales, de los resultados alcanzados se evidencio valores promedios de 2836.20 mg/100g BS.

Fonseca *et al*. (2014) en trabajos sobre papa nativa cv Amachi, entre sus hallazgos obtienen 1440.21 mg/100 BS para contenido de antocianinas y 2638.78 mg/100g BS para polifenoles.

Huarancca (2013) en su estudio intitulado "Comparativo de Rendimiento de Cinco clones híbridos (andigena x andigena), de papa y un Testigo en tres Localidades de K'ayra - Cusco", tuvo como objetivo realizar la evaluación de las fases fenológicas y el rendimiento de clones híbridos de papa nativa ubicados en los tres pisos altitudinales (localidades). Dentro de su metodología, aplicó un Diseño de Bloques Completamente al Azar (DBCA) para cada localidad de estudio, en donde cada parcela contaba con 6 surcos y a una distancia de 0.90 m entre surcos y 0.30 m entre golpes. De los resultados obtenidos se observó que el mayor rendimiento total de tubérculos le corresponde al clon KlxSC-298 con 18090.00 kg/ha en el piso altitudinal mientras que para el piso altitudinal medio este clon alcanzó valores de 6470.00 kg/ha. El investigador concluye que los pisos altitudinales influyen significativamente en los rendimientos de los clones de papa.

2.2. Base teórica

2.2.1. Pisos altitudinales

Quevedo (2005), los pisos altitudinales son estratos ubicados a diferentes alturas terrestres y presentan características vinculadas con el clima y la flora. Cuando sucede un aumento de la altitud dentro de una misma región latitudinal origina que la temperatura disminuya progresivamente.

Sin embargo, en nuestro país no hay un consenso sobre cuál debería ser la manera correcta de clasificar la gran diversidad pisos ecológicos existentes.

En ese sentido, la clasificación de pisos ecológicos de mayor difusión es la propuesta por Pulgar Vidal en donde clasifica al Perú en 8 pisos ecológicos o altitudinales, siendo estos:

- Piso ecológico: Costa o Chala, que abarca hasta los 500 msnm.
- Piso ecológico: Yunga, que abarca desde los 500 a 2300 msnm.
- Piso ecológico: Quechua, que abarca desde los 2300 a 3500 msnm.
- Piso ecológico: Suni o Jalca, que abarca desde los 3500 a 4000 msnm.
- Piso ecológico: Puna, que abarca desde los 4000 a 4800 msnm.
- Piso ecológico: Janca o Cordillera, que abarca desde los 4800 a 6788 msnm.
- Piso ecológico: Selva Alta o Rupa rupa, que abarca desde los 400 a 1000 msnm.
- Piso ecológico: Selva Baja u Omagua, que abarca desde los 80 a 400 msnm

En ese sentido, podemos indicar que la definición de piso altitudinal corresponde al espacio geográfico en relación al nivel del mar expresado en metros sobre el nivel del mar y en donde la flora y fauna están influenciadas por las características climáticas presentes.

Por tanto, la configuración del relieve en el distrito de Sañayca permite tener micro climas con características específicas propicias para el desarrollo de cultivos andinos, por ejemplo, la producción de papa nativa quinua, kiwicha entre otros.

2.2.2. La papa nativa

2.2.2.1. Origen

Otazú (1999), existe registros que confirman que el cultivo de papa se siembra en los andes hace 7000 años. Los investigadores **Spooner *et al***.

(2005), señalan que estudios confirmados recientemente, ubican el origen de la papa (*Solanum tuberosum*) en el sur del Perú, específicamente al norte del lago Titicaca. Así, muchas de las papas cultivadas se originaron y evolucionaron en los andes peruano – boliviano de los cuales un grupo deriva en las papas nativas, que agrupan a muchos cultivares de (*S. tuberosum subesp. andigena*). La papa común, a diferencia de lo que se conoce como papas nativas, tuvo su origen y evolución en un contexto geográfico totalmente distinto.

Egusquiza (2000), sostiene que los antiguos habitantes del Perú se alimentaban de papa; las pruebas arqueológicas de las cerámicas de las culturas Mochica y Chimú lo confirman. También manifiesta que restos de tubérculos se hallaron en tumbas ubicadas en la zona costera del Perú de 7000 años antigüedad, además algunas cerámicas evidencian que los antiguos peruanos consumían “moraya” y “chuño” que se obtenían previa deshidratación de la papa.

Amorós *et al*. (2008), señala que las papas mejoradas y nativas se desarrollan por la acción del hombre y son representados por 8 especies de entre las más de 4000 variedades existentes.

También el **Centro Internacional de la Papa (2008)**, sostiene que las papas cultivadas se clasifican en 8 especies, tal como se señala en la tabla 1:

Tabla 1. Especies de papa nativa.

Especie	Sub especie	Ploidía	N° de entradas
Solanum tuberosum	tuberosum	2n = 4x = 48	147
Solanum tuberosum	andigena	2n = 4x = 48	2864
Solanum goniocalyx		2n = 2x = 24	87
Solanum stenotomum		2n = 2x = 24	267
Solanum chaucha		2n = 3x = 36	163
Solanum phureja		2n = 2x = 24	196
Solanum juzepczukii		2n = 3x = 36	36
Solanum curtilobum		2n = 5x = 60	6
Solanum ajanhuirii		2n = 2x = 24	14

Fuente: Centro Internacional de la papa (2008).

Pero, a nivel de Latinoamérica, la mayor aceptación respecto a la clasificación de la papa la tiene **Ochoa (1990, 1999)**, quien las clasifica en 9 especies. En donde incluye y describe por primera vez a *S. hygrothermicum*, a inicio de los años 80.

Más adelante, en los años 90 y contrario a la propuesta de Ochoa, **Hawkes (1990)** plantea dentro de la clasificación taxonómica del cultivo de papa, son siete especies y señala que *S. goniocalyx* es considerada ssp. de *S. stenotomum*, a la par que la ssp. *stenotomum*. De igual forma, no concuerda en que a *S. phureja* la dividan en tres subespecies (*phureja, estradae e hygrothermicum*). Cabe mencionar que esta propuesta ha tenido gran aceptación por otros investigadores de gran renombre internacional.

Teniendo en consideración los estudios realizados por **Huaman** y **Spooner (2002)**, en base a los resultados del nSSR, proponen la reclasificación de las papas cultivadas en cuatro especies con distintos niveles de ploidía: *S. tuberosum* (diploide, triploide y tetraploide), *S. ajanjuiri* (diploide), *S. juzepezukii* (triploide), *S. curtilobum* (pentaploide). También, dividen a *S. tuberosum* en dos grupos de cultivares: grupo andigenum que involucra a todos los cultivares primitivos de las zonas altas de los andes (diploides, triploides y tetraploides) y finalmente el grupo chilotanum que contiene a los cultivares primitivos chilenos tetraploides.

Siguiendo la misma línea de investigación, los investigadores **Spooner *et al.* (2007)**, llegaron a demostrar que la mayoría de entradas de *S. phureja* fueron consideradas como poliploides; razón por la cual estos investigadores sostienen que el reconocimiento de *S. phureja* ya sea como especie o grupo de cultivares no es sostenible debido a que no son absolutamente diploide, no es exclusivo en presentar baja dormancia, no están adaptados en su mayoría a días cortos y morfológicamente no son coherentes.

2.2.2.2. Potencial de rendimiento y calidad

Otazú (1999), un grupo numerosos de papas nativas se caracteriza por presentar bajos rendimientos en comparación con la papa común. No obstante, su calidad es muy valorada compensando ampliamente sus bajos rendimiento, puesto que el atributo de tener mejor calidad es apreciado en el mercado con precios estables y bien pagados.

Sin embargo, **Rodríguez *et al.* (2012)**, manifiestan que, de forma general, los rendimientos de los tubérculos de papas nativas son altamente variables. Se han reportado rendimientos experimentales de 5 Tm/ha.

INCOPA (2011), señala que en el contexto nacional no se tiene mucha información de los rendimientos de papas nativas, en tal sentido se realizó un análisis acerca de este cultivo, el punto de referencia fue por encima de los 3800 metros sobre el nivel del mar, considerando las estadísticas del año 2009 se tienen rendimientos mayores respecto a los reportados entre los años 2000 - 2005 y para validar esta información se tuvo en cuenta los pisos altitudinales en donde hay mayor probabilidad de encontrar papa nativa. Por consiguiente, llegaron a concluir de estos resultados que Junín, Cerro de Pasco y Apurímac fueron las regiones que alcanzaron los mayores rendimientos durante el año 2009 reportando 15.8, 12.2 y 10.7 Tm/ha respectivamente.

2.2.2.3. Influencia del ambiente en el desarrollo y rendimiento del cultivo de papa

Lister y **Monro (2000)**, son los genes quienes gobiernan los mayores componentes de la papa, no obstante, también la influencia de la edad y la madurez de los tubérculos, las condiciones agroambientales y las prácticas culturales realizadas por los agricultores tienen efectos directos sobre los nutrientes de este cultivo. Del mismo modo **Ewing (1997)**, afirma que la genética condiciona el desarrollo y crecimiento del cultivo de papa y también está el medio ambiente (clima y suelo). Además, señala que esta especie se cataloga como un cultivo adaptado a condiciones frígidas,

con tolerancias moderadas a la presencia de heladas, alcanzando rendimientos significativos en temperaturas ubicadas entre los 15°C a 20°C.

Los investigadores **Pumisancho** y **Sherwood (2002)**, mencionan que la temperatura mortal de frío se da cuando la temperatura ocasiona que el tejido vegetal se congele pausando el proceso fotosintético; los efectos de temperatura por lo general son más graves en zonas más bajas y llanas de las unidades productivas. Normalmente este nivel de temperatura se ubica entre los 1°C y 5°C, temperatura que se alcanza entre las tres y seis de la mañana.

Egusquiza (2000), afirma que la planta de papa debe recibir el estímulo de temperaturas bajas; estas temperaturas se ubican entre los 10°C y 20°C.

Este investigador también señala que los días cortos influyen de manera directa en el crecimiento y rendimiento de esta especie. Esta susceptibilidad a la extensión del día está en función a la clase de cultivo; los días cortos hacen más precoz la tuberización y madurez del cultivo.

Kooman (1995), indica que incrementos en la irradiación se traduce en aumentos sobre los rendimientos al final del cultivo, sin embargo, elevados niveles de irradiación se asocian con temperaturas altas y déficit de presión de vapor que ocasionan la merma de rendimientos en el cultivo.

En cuanto al pH del suelo, **Pumisancho** y **Sherwood (2002)**, expresa que esta especie cuando es sembrado en suelos ácidos presenta la dificultad en absorber la gran cantidad de nutrientes que exige este cultivo.

También, **Thompson** y **Troeh (1988)**, refieren que el efecto común del pH en el crecimiento de los cultivos sucede en la nutrición; en ese sentido, influye sobre liberación de elementos nutricionales producto de la meteorización. Además, el pH es un buen indicador para saber qué elementos minerales podrían encontrarse en pocas cantidades.

2.2.2.4. Composición química de tubérculos de papa

Estrada (1999), los tubérculos de papa nativa presentan composiciones bioquímicas muy variables y están íntimamente relacionada por factores ambientales (por ejemplo: abonamiento, clima, suelo, enfermedades, etc.) y el almacenaje.

Lu *et al.* (2001), sostiene que los tubérculos de papa se caracterizan por ser ricos en proteínas, presenta vitaminas del complejo B y C, carotenoides, minerales como: zinc, cobre, calcio y hierro. En Estados Unidos y Europa se ha venido investigando el potencial de antioxidantes de las papas mejoradas que provienen de *S. phureja* y *S. stenotomum*.

Brown *et al*. (2003), producto de sus investigaciones determinó que las concentraciones de antioxidantes en tubérculos de papa de carne morada o roja (propias de las papas nativas) resultaron mayores a los de la papa blanca. La acumulación total de antocianinas en variedades nativas de pulpa azul y rojo presentan concentraciones que van desde 5 hasta 35 mg/100g de peso fresco.

López *et al*. (2008), en la tabla 2 nos da a conocer la composición química del tubérculo de papa:

Tabla 2. Composición química de tubérculos de papa nativa.

Constituyente	Variación (%)	Media
Materia seca	13.10 – 36.80	23.70
Almidón	8.00 – 29.40	17.50
Azucares reductores	0.00 – 5.00	0.30
Azucares totales	0.05 – 8.00	0.50
Fibra	0.17 – 3.48	0.71
Sustancias pépticas	0.20 – 41.00	-
Nitrógeno total	0.11 – 0.74	0.32
Proteínas	0.69 – 4.63	2.00
Lípidos	0.02 – 0.20	0.12
Cenizas	0.44 – 1.87	1.10
Ácidos orgánicos	0.40 – 1.00	0.60
Ac. Ascórbico*	1.00 – 54.00	10.00 – 25.00
Alcaloides*	0.20 – 41.00	3.00 – 10.00
Compuestos fenólicos*	5.00 – 30.00	-

*mg/100 g

Fuente: López *et al*. (2008)

2.2.3. Cultivar Amachi

Fonseca *et al*. (2014), sobre el cultivar Amachi resalta sus propiedades bioquímicas muy apreciadas sobre todo en el contenido elevado de antocianinas y compuestos fenólicos totales.

Su descripción morfológica es como sigue:

- Hábito de crecimiento: erecto.
- Color de flor: morado intermedio con blandas blancas.
- Forma del tubérculo: oblongo.
- Profundidad de ojos: medio.

- Color de piel: negruzco.
- Color de pulpa: morado.

2.2.4. Propiedades bioquímicas

2.2.4.1. Compuestos fenólicos en papa nativa

Al respecto, **Lisinska** y **Leszczynski (1989)**, indican que los tubérculos de papa están conformados por: fenoles monohídricos, polifenoles, flavonas, lignina, taninos y cumarinas. **Rodríguez – Saona *et al*. (1998)** y **Lewis *et al*. (1998)** citado por **Reyes *et al.* (2005)**, añaden que de igual forma están presente ácidos fenólicos del tipo cafeico, clorogénico, p – cumárico y protocatechuico, además de muchos otros, identificados en especies de pulpa púrpura y roja con mínimos contenidos de quercetina, rutina, kaempferol, naringenina, miricetina y en diferentes flavonoides. **Andre *et al* (2007)**, manifiesta que por medio de un estudio se determinó que concentraciones de ácidos fenólicos - del tipo clorogénico - mostraron una mayor escala en los genotipos estudiados, con valores de 45% y 90% del total para la concentración de polifenoles. Este estudio contó con la disponibilidad de mil genotipos de papa nativa que fueron facilitados por el Centro Internacional de la Papa, con sede en el Perú.

Brown (2005), señala que en los flavonoides (familia de los polifenoles) se encuentran flavonas, flavanoles, antocianinas y otros. También **Leighton *et al*. (2000)**, afirman que la vitamina C, vitamina E, carotenoides y los compuestos polifenólicos, específicamente flavonoides, cumplen un rol importante en el resguardo contra el cáncer.

Puchau y **Zulet (2010)**, los antioxidantes describen las habilidades que posee las moléculas redox de las comidas además de los sistemas orgánicos en la eliminación de radicales libres siendo esto beneficioso en estudios enfocados en el potencial antioxidante sobre estrés oxidativo.

Prior y **Cao (1999)**, respecto a los antioxidantes señala que su capacidad no depende solo de sus componentes sino además del micro entorno donde se halla el compuesto ya que estos interaccionan produciendo consecuencias sinérgicas o inhibitorias.

Robbins (2003) y **Kähkönen *et al*. (2001)** citado por **Paladino (2008)**, sostienen que los compuestos fenólicos están ligados al color, capacidad nutricional, sabor, astringencia y dureza. También tiene que ver con la capacidad antioxidante de los alimentos de origen vegetal, esto debido a la reacción química del grupo fenol que disponen. Estos compuestos fenólicos se encuentran específicamente en capas superficiales de las verduras, cereales y otros tipos de semillas; con la finalidad de proteger de la oxidación los tejidos que se ubican en las capas inferiores. En su mayoría se destaca su potencia como antioxidante que puede reducir la peroxidación de lípidos, que son vitales para el correcto funcionamiento de las células vegetales y animales. También tienen la propiedad de actuar como antimicrobianos, anticoagulantes, inmunoestimulantes y reguladores de la glucemia y presión arterial.

2.2.4.2. Biosíntesis de compuestos fenólicos

Taiz y **Zeiger (2007)**, argumenta que las biosíntesis de compuestos fenólicos de las plantas son realizadas en distintas rutas, por consiguiente, resultan un grupo heterogéneo desde el punto de vista metabólico. Esto implica la existencia de dos rutas básicas: la ruta del ácido siquímico (responsable de la biosíntesis de la mayoría de fenoles presentes en los vegetales) y la ruta del ácido malónico (fuente principal de fenoles en hongos y bacterias).

Marcano y **Hasegawa (2002)**, sostiene que la biosíntesis de compuestos fenólicos se ha estudiado de manera amplia y se han detectado que existen un número mayoritario de casos en donde las secuencias biogenéticas están involucradas en más de un camino para llegar a un mismo producto fenólico y esta depende del medio biológico sintetizante. Para el caso del ácido p -- hidroxibenzoico se plantea por lo menos tres vías de formación: de manera directa del ácido p -- chorísmico, que toma su inicio a partir del ácido 4 -- oxo -- ciclohexanocarboxílico y a través del ácido p -- cumárico. La presencia del ácido p -- hidroxibenzoico es importante en la sintésis de ubiquinonas y plastoquinonas.

2.2.4.3. Estructura química de los compuestos fenólicos

Martínez - Valverde *et al.* (2000) citado por **Ojeda (2003)**, refiere que desde el punto de vista químico los compuestos fenólicos presentan un anillo benceno y uno aromático ligado a grupos hidróxidos que incluyen derivados funcionales como: ésteres, glicósidos, metil ésteres, etc.). En

relación al grupo hidróxido que está ligado estos compuestos se pueden dividir en polifenoles y monofenoles.

En el caso de los polifenoles, estos contienen entre dos a más grupos hidroxilo en el anillo aromático de benceno y su variación se da con moléculas simples (ácidos fenólicos) incluso con compuestos de elevado peso molecular formado por polimerización.

En los vegetales se encuentran de manera conjugada entre restos de azúcar unidas a grupos hidroxilos, pero, sucede que a veces se producen enlaces de manera directa con moléculas de azúcar y carbono aromático. Esto indica que es común poder hallarlo en el ambiente a través de glicósidos, con la cualidad de ser soluble en solventes orgánicos y agua. Es común y frecuente encontrarlos unidos a glucosa, galactosa, arabinosa, ramnosa, xilosa, ácidos carboxílicos, ácidos orgánicos, lípidos, ácidos glucorónico y galacturónico, aminas y a otros compuestos fenólicos.

En palabras de **Hernández** y **López (2010)**, los compuestos fenólicos agrupan unas de las familias más numerosas y ampliamente distribuidas dentro del reino vegetal. En la actualidad se conocen más de 8000 estructuras químicas de fenoles, además son de interés porque son necesarios para la fisiología y morfología de las plantas. Están íntimamente involucrados en el crecimiento y reproducción; por otra parte, le confiere resistencia a las plantas frente a plagas y enfermedades.

En la tabla 3, se presenta la clasificación de los principales compuestos fenólicos de origen vegetal.

Tabla 3. Compuestos fenólicos de origen vegetal.

Esqueleto carbonado	Clasificación
C_6	Fenoles simples, benzoquinonas
C_6 - C_1	Ácidos fenólicos
$C_6 – C_2$	Ácido fenilacético, acetofenoles
$C_6 – C_3$	Ácido hidroxicinámico, polipropano, cumarina, isocumarina
$C_6 – C_4$	Naftoquinona
$C_6 – C_1 – C_6$	Xantanos
$C_6 – C_2 – C_6$	Estilbeno, antraquinona
$C_6 – C_3 – C_6$	Flavonoides, isoflavonas
$(C_6 – C_3)_2$	Lignanos, neolignano
$(C_6 – C_3 – C_6)_2$	Bioflavonoides
$(C_6 – C_3)_n$	Ligninas
$(C_6)_n$	Melanoidinas
$(C_6 – C_3 – C_6)_n$	Taninos

Fuente: Hernández y López (2010)

2.2.5. Antocianinas en papa nativa

Francis (1978) citado por **Ojeda (2003)**, la palabra antocianina deriva del griego anthos que significa flor y la palabra kyanos que significa azul oscuro. Indican también que, son una clase de pigmentos hidrosolubles de donde la presencia es muy vasto dentro del reino plantae. La pigmentación azul y roja

en los vegetales, frutas y flores se debe a la presencia de antocianinas diluidos en la savia de las células.

Leiva (2009), sostiene que es el pigmento más importante después de la clorofila.

Ramirez *et al*. (2005), coincide en señalar que las antocianinas también agrupan a pigmentaciones de color violeta y rojo.

Brown *et al.* (2003), las antocianinas de mayor importancia presente en papas de coloración rojiza tienen glucósidos acilados de pelargonidina, entre tanto las de color púrpura comprenden mayormente pelargonidina, glucósidos acilados de petunidina y también se añaden en pequeñas concentraciones malvidina y delfidin.

Por su parte, **Brown (2005)**, nos dice que los carotenoides presentes en tubérculos de papas de mayor importancia son violaxantina, zeaxantina y luteina. **Andre *et al*. (2007)** señala que, la anteraxantina, y los caretoides ya mencionados se hallan en distintas proporciones que dependen del genotipo y las condiciones de almacenaje.

Kuskoski *et al.* (2004), en el grupo de las antocianinas existen unas cuantas que tienen mayores propiedades antioxidante respecto a otras, en consecuencia, al igual de sus propiedades colorantes estos grupos de antocianinas tienen propiedades antioxidantes muy potentes.

German y **Walzem (2000)**, agrega que las antocianinas cumplen funciones múltiples que incluyen protección de radiación ultravioleta y la atracción de insectos que cumplen la función de polinizadores. También comenta que ha

despertado mucho interés en la industria debido a las propiedades farmacológicas y terapéuticas que presentan.

En consecuencia, además de ser empleados como colorante en la industria de alimentos, las antocianinas se distinguen como agentes potenciales para obtener productos con un elevado valor comercial.

2.2.5.1. Biosíntesis de antocianinas

Dixon (2005), argumenta que los precursores de la sintetización de las antocianinas son el acetato y la fenilalanina a través de la ruta del fenil propanoide.

Taylor (1998), indica que la biosintetización de antocianinas se da en determinados tejidos y durante ciertas etapas de la vida presente en las plantas; características que son materia de investigaciones tanto en genética como en bioquímica. En ese sentido, **Mueller *et al*. (2000)**, afirma que la sintetización de antocianinas tiene lugar en el citoplasma acumulándose en las vacuolas, aunque el funcionamiento del transporte aún no está definido.

De acuerdo con **Petroni** y **Tonelli (2011)**, la síntesis de antocianinas se regula de manera diferente en las plantas monocotiledóneas y dicotiledóneas.

Como señala **Grotewold (2004)**, la estructura molecular de las antocianinas pueden variar producto de la sustitución glucosílica que contengan (galactosa, xylosa, glucosa, arabinosa y rhamnosa) y a la

acilación de azúcares que tienen ácidos, sobre todo de los ácidos cafeico, acético, oxálico, cumárico, felúrico, malónico y succínico.

2.2.5.2. Estructura y estabilidad de las antocianinas

Lock Sing (1997), las antocianinas están dentro del grupo de los flavonoides debido a que su estructura química es C_6--C_3--C_6 y posee semejante principio biosintético.

Teniendo en cuenta a **Wong (1995)**, las antocianinas están compuestas por una molécula de antocianidina, que se enlaza con un azúcar a través de una unión glucosídica. Su conformación es el ión flavilio, conocido como 2--fenil--benzopirilio que está constituido por dos grupos aromáticos: un anillo fenólico y un benzopirilio.

Badui (1999), afirma que existen más de 20 tipos de antocianinas que principalmente cumplen la función de ayudar en la identificación taxonómica de los vegetales, sin embargo, solo seis son de interés alimenticios: pelargonidina, cianidina, delfinidina, petunidina, peonidina y malvidina. La combinación de estos seis tipos de antocianina con diferentes azúcares da lugar a casi 150 antocianinas.

Lock Sing (1997), enfatiza que la estabilidad de las antocianinas se debe a la temperatura, pH, la presencia de oxígeno que interactúan con los demás componentes presentes en las comidas tales como iones metálicos, ácido ascórbico, copigmentos y azúcares. Las antocianinas por lo general son inestables a la exposición de la luz UV o luz visible en donde muchas son las más agravadas respecto de algunas; las

antocianas que presentan el OH en C--5 sustituido tienen mayor susceptibilidad a la descomposición que aquellas no sustituidas en la posición mencionada. El ácido ascórbico produce la decoloración de antocianinas y es muy probable que se deba a la oxidación causada por el peróxido de hidrógeno que se origina debido a la oxidación aeróbica del ácido ascórbico.

Lewis y **Parker (1998)**, demostraron que durante temporadas con presencia de mínimas temperaturas el contenido de antocianinas fue alto, de otra parte, **Reyes *et al*. (2005)**, señala que las diversas variedades de tubérculos presentan distintas acumulaciones de antocianinas otorgando que las pulpas de los tubérculos tengan muchas tonalidades, por ejemplo, tubérculos rojos presentan dos veces más contenido de flavonoides que cultivos de color amarillo y blanco.

2.2.6. Cepas microbianas

Balmer y **Tanner (2011)**, señala que hay mucha variación en las múltiples áreas de investigación en referencia a los términos “cepa”, “genotipo”, “clon” y “aislamiento”. En términos generales, las cepas son homogéneas dentro de las especies y estás definiciones cambian en función de los rasgos usados y el grado de homogeneidad que se necesita para delinear las cepas; en su mayoría dependen de los métodos disponibles para la discriminación y de las preguntas adecuadas que se planteen en los diversos estudios. Entonces, las cepas son definidas por la homogeneidad presente en sus secuencias de ADN no codificantes (por ejemplo, microsatélites) o por los rasgos específicos genéticamente determinados. En algunas situaciones, también

es viable que se definan en base a las características estructurales (por ejemplo, epítopes) o características clínicas (por ejemplo, síntomas que provocan). En la práctica, el término “cepa” usualmente se emplea como sinónimo de aislamiento (o aislamiento en cultivos).

Sin embargo, definirlo de esta manera trae problemas porque los aislamientos pueden contener diversas cepas genéticas y diferentes aislamientos pueden consistir en poblaciones idénticas de patógenos que comparten la misma secuencia genómica en su descendencia.

2.2.6.1. Potencialidades del género Bacillus

Euzeby (2006), señala que este género agrupa por lo menos a 100 especies y sus integrantes se contemplan ubicuos.

En la opinión de **Krieg** y **Holt (1994)**, para la clasificación de especies del género Bacillus, en la etapa temprana, se considera dos propiedades primordiales: la respuesta positiva a la tinción Gram, crecimiento aerobio, formación de endosporas y la forma de bacilos. Debido a esto, da a lugar que haya muchas especies de este género que ocupan múltiples hábitats. En consecuencia, la heterogeneidad presente en su fisiología, ecología y genética hace dificultoso su correcta clasificación.

Ash *et al*. (1991), tomando en cuenta los estudios moleculares de secuencia del RNAr 16S, se ha podido subdividir al género Bacillus en cuatro grupos. En primer lugar, se tiene a *Bacillus senso stricto* que incluye a *Bacillus subtilis* y unas 27 especies.

En segundo lugar, llamado también sensu lato, que agrupa bacilos que forman esporas redondeadas, *B. cereus*, *B. thuringiensis* y *B. anthracis*

son las especies que destacan de este grupo. Además, **Farrow *et al.* (1994)**, ratifica que en este grupo se incluyen algunos asporógenos como *Exiguobacterium*, *Kurtia*, *Caryphanon* y *Planococcus* a consecuencia de su cierto parecido con *Bacillus subtilis*.

Como plantea **Farrow *et al*. (1994)**, en el tercer grupo hay 10 especies representantes de las que destacan *Bacillus polymyxa* y *Bacillus macerans*, los mismos que se han reclasificado dentro de un nuevo género, *Paenibacillus*.

Ash *et al*. (1993), señala que el último grupo está constituido por especies que han sido reconsiderados en los géneros *Brevibacillus* y *Aneuribacillus*. De igual forma, **Shida *et al*. (1996)**, menciona el nuevo género que ha sido creado y donde se ubica a la especie *Bacillus panthotenicus*. Adicionalmente, **Heyndrickx *et al.* (1998)**, enfatiza que se han caracterizado nueve especies de Bacillus que fueron aislados de diferentes ecosistemas, y estas especies son: *Bacillus mojavensis* y *Bacillus vallismortis* **(Roberts *et al.* 1994)**, mientras que **Kuroshima *et al.* (1996)** a *Bacillus ehimensis* y *Bacillus chitinoluticus*. De igual forma, los investigadores **Boone *et al*. (1995)**, **Fujita *et al*. (1996)** y **Yumoto *et al*. (1998)** para las especies *Bacillus infernus*, *Bacillus carboniphilus* y *Bacillus horti* respectivamente.

Garrity (2014), indica que la clasificación taxonómica de este grupo es la siguiente:

Reino: Bacteria

Filo: Firmicutes

Clase: Bacilli

Orden: Bacillales

Familia: Bacillaceae

Género: Bacillus

2.2.6.1.1. Características principales del género Bacillus

Claus y Berkeley (1986), destaca la amplia variedad de características fisiológicas y destacan propiedades como la destrucción de gran parte de sustratos que derivan de animales y plantas incluyendo almidón, proteínas, celulosa, hidrocarburos, agar, pectina entre muchas más. También resalta las capacidades para la producción de anticuerpos, fijación de nitrógeno y desnitrificación que ponen en manifiesto su alta capacidad de sobrevivencia en cualquier hábitat.

Wang *et al*. (2007), refiere que las especies de Bacillus se distinguen por ser Gram positivos, son bacilos, catalasa positiva pudiendo ser anaerobios facultativos o aerobios estrictos que forman esporas.

Backman *et al*. (1997), señala que el ciclo de vida de estas especies está dividido en dos estadios: crecimiento vegetativo y esporulación. En su primer estado, esta bacteria tiende a crecer de manera exponencial en el momento que está en un ambiente donde las condiciones son propicias. En escasez de nutrientes, la bacteria realiza la esporulación, dando lugar a formaciones de endospora, que tienen la capacidad de permanecer

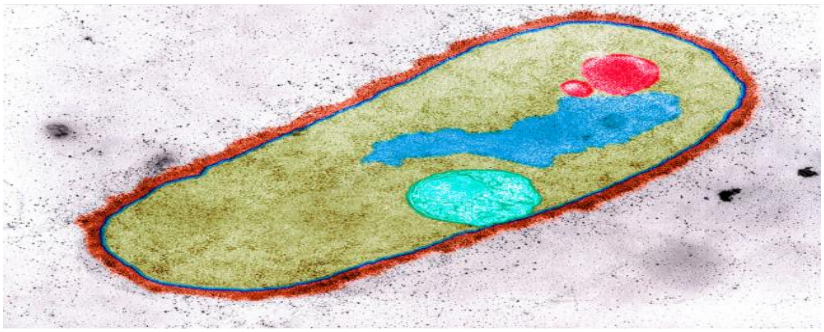
viable en el medio ambiente durante muchos períodos con el fin de retomar su conformación vegetativa.

Adicionalmente, se ha observado que existe una gran distribución de estas endosporas, cuya estructura le otorga propiedades que permiten que sobreviva en ambientes agrestes como por ejemplo pH, desecación y entre muchas más.

2.2.6.1.2. Bacillus megaterium

Eppinger *et al*. (2011), menciona que el nombre de Bacillus megaterium se debe a su gran tamaño de 1.5 por 4 µm, tamaño que le confiere ser el microorganismo de mayor dimensión respecto a los bacilos. También señala que se usaba de *Bacillus megaterium* con fines de estudio en bioquímica y bacteriófagos y posteriormente se empleó el *Bacillus subtilis* como un organismo modelo Gram - positivo.

Figura 1. Célula bacteriana de Bacillus megaterium.

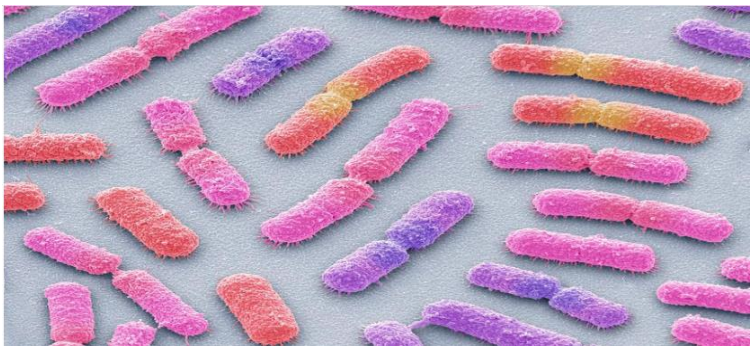


Nota: El cuerpo de inclusión nucleótido (azul), mesosoma (agua), poli-b-hidroxiburato (rosa), membrana plasmática (púrpura) y pared celular (rojo)
Fuente: Slepecky (2018).

Christie *et al*. (2010), manifiesta que debido al gran tamaño celular que presentan *Bacillus megaterium* es utilizado para la investigación en morfología celular, como la pared celular y la biosíntesis de la membrana

citoplásmica, la esporulación, la estructura de esporas y la organización celular, la división del ADN y la ubicación de proteínas.

Figura 2. Colonia de Bacillus megaterium.



Nota: Gran cantidad de bacterias en forma de bacilo presentes en plena división. Fuente: Gschmeissner (2018).

Bunk *et al.* (2010), afirma que *Bacillus megaterium* es de interés general en la industria razón por la cual la biotecnología ha venido desarrollando diversas sustancias.

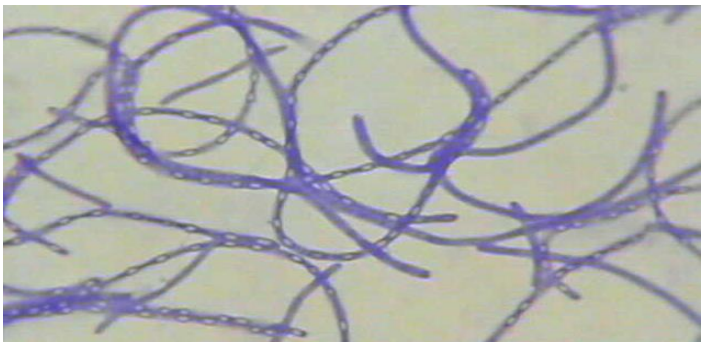
Porwal *et al.* (2009), mostró que *B. megaterium* (con un contenido de G + C de 38 a 39%) solo está relacionado de forma distante con *B. cereus* y *B. subtilis* y que está profundamente enraizado en el árbol filogenético de lo que se tenía conocimiento.

2.2.6.1.3. Bacillus subtilis

Nakamura *et al.* (1999), señala que *Bacillus subtilis* está distribuido ampliamente en el medio natural. La principal característica con la que cuenta es su propiedad de formar esporas circunstancias de estrés, crecer en intervalos amplios de temperatura que van de 15°C a 55°C, presentar mortalidad, aerotaxis y una alta velocidad de crecimiento. Se observa también que este organismo sobrevive en soluciones salinas

hasta un 7% de Cloruro de Sodio, fabricar antibióticos, hidrolizar almidón y caseína además de reducir el nitrato a nitrito.

Figura 3. Colonia de Bacillus subtilis.



Nota: Formación de esporas en colonias de *Bacillus subtilis*.
Fuente: Roberts (1998).

Respecto al ciclo de vida de *Bacillus subtilis*, **Lazazzera (2000)** indica que comprende una fase vegetativa de manera similar a otras bacterias, no obstante, en condiciones donde hay restricción de nutrientes, concentración de población o en condiciones de estrés, se generan un conjunto de señales que articulan el inicio de la esporulación.

Grossman (1995), afirma que, de modo general, solo unas cuantas células no inician la formación de esporas.

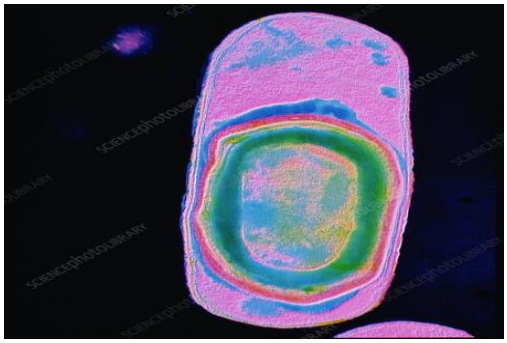
Corrales *et al*. (2011), afirma que el metabolismo de *Bacillus subtilis* es predominantemente respiratorio, donde el oxígeno es el aceptor terminal de electrones.

Por consiguiente, la presencia de oxígeno resulta favorable para el crecimiento con la formación de 2,3-butanodiol, acetoína y CO_2.

En lugares donde la presencia de oxigeno es reducida existe evidencia de que el crecimiento y la fermentación es débil en medios donde hay

glucosa. **Raghavendra y Brian (2005)**, sostiene que el efecto biocontrolador se debe a diversos mecanismos, en los que destaca la antibiosis que acciona *Bacillus subtilis* en la elaboración de lipopéptidos, fosfolípidos y péptidos que son empleados como mediadores terapéuticos en la lucha contra hongos y bacterias.

Figura 4. Bacillus subtilis con esporas.



Nota: En la parte inferior central se ha desarrollado una endospora (rojo, verde) que forma una capa protectora gruesa.
Fuente: Roberts (1998).

2.2.6.1.4. Bacillus licheniformes

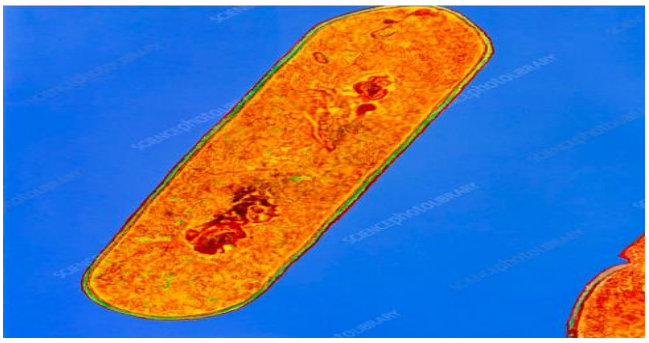
Madslien*, et al.* (2013), indica que *Bacillus licheniformis* es un microorganismo Grampositivo de formación de endosporas que está ampliamente distribuido en la naturaleza y puede aislarse fácilmente de los suelos y del material animal y vegetal.

Voigt *et al.* (2009), señala que sus excelentes capacidades de secreción de proteínas de *Bacillus licheniformis* lo han convertido en un huésped atractivo para la producción a gran escala de enzimas empleadas comercialmente, por ejemplo: amilasas, fitasas, proteasas.

De otra parte, **Prasertsan (1992)**, señala que la especie *Bacillus licheniformis* es valorado ampliamente por su potencial industrial y su

atractiva tasa de crecimiento y desarrollo bajo condiciones extremas; también es atractivo por su capacidad de secretar grandes cantidades de enzimas extracelulares.

Figura 5. Bacillus subtilis con esporas.



Fuente: Lounatmaa (2018).

2.2.6.2. Potencialidades del género Azotobacter

Hernández (1994), el nombre de Azotobacter proviene de la palabra francesa “azoto” que significa nitrógeno y de la palabra griega “bacter” que significa Bacilo.

Premakumar *et al.* (1988), señala que uno de los géneros de bacterias más empleados y estudiados en agricultura pertenecen al de Azotobacter, con especial atención en la especie *Azotobacter vinelandii*.

Para **Kumar *et al*. (2007)**, este género es cosmopolita sin embargo se ha hallado en algunos suelos tropicales cuyas características son: contenido de materia orgánica a nivel medio al igual que los fosfatos y pH cerca a la neutralidad.

Desde la postura de **Kizilkaya (2009)**, refiere que las especies de este género poseen varías actividades del tipo metabólico de gran interés: fijación de nitrógeno de vida libre, producción de fitohormonas

(Tserkovniak *et al*., 2009), degradación de hidrocarburos **(Juarez *et al.*, 2008)**, y solubilización de fósforo **(Garg *et al*., 2001)**.

Kennedy e **Islam (2001)**, indican que su capacidad de fijar nitrógeno por especies de Azotobacter propició a que sean empleados como fertilizantes bacterianos.

Sin embargo, **Becking (2006)**, señala que un grupo de investigadores continuaron investigando e informando efectos importantes favorables de esta bacteria en cultivos vegetales.

Joshi y **Juwarkar (2009)**, especies de este género tienen una alta probabilidad de ser utilizados como bioremediador de suelos, en vista de su propiedad inmovilizadora de cromo, cadmio y otros metales pesados.

Dibut y **Martínez (1990)**, afirman que la clasificación taxonómica es la siguiente:

Reino: Procariota

Grupo: Protista

Clase: Esquizomicetes - Bacterias

Orden: Eubacteriales

Familia: Azotobacteriaceae

Género: Azotobacter

2.2.6.2.1. Características principales sobre el género Azotobacter

Garg *et al*. (2001), al respecto sostienen que las bacterias de este género presentan medidas de 2 a 4 µm de diámetro y *Azotobacter chroococcum* es la de mayor tamaño dentro del grupo y pueden vivir en condiciones donde hay poco oxígeno y su movilidad se debe a flagelos perítricos.

Reusch y **Sadolf (1981)**, afirman que en comparación con otros géneros de la familia Azotobacteraceae, Azotobacter presenta células en reposo que son conocidas como “quistes” y su producción es producto del mecanismo de resistencia por agotamiento de fuentes de carbono y deshidratación, pero al agregar alcohol n - butil o β - hidroxibutirato a cultivos sobre cultivos en pleno crecimiento exponencial pueden influir en el esquistamiento de *A. vinelandii* y *A. chroococcum*.

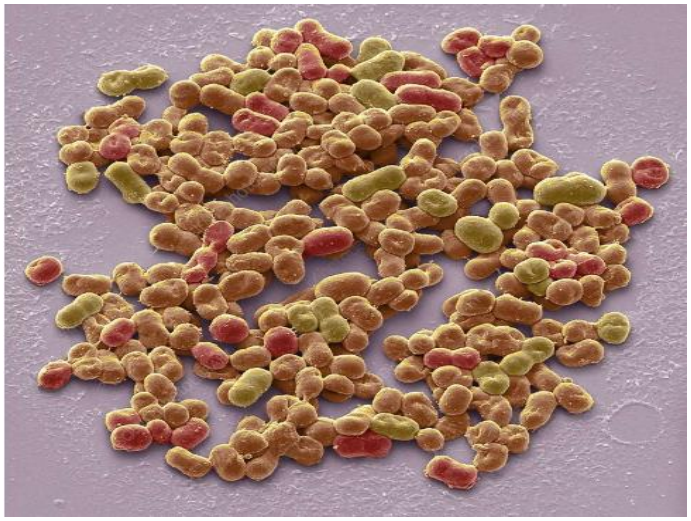
Sabra *et al.* (2001), señala que estos quistes están conformados por capas denominadas “intina” y “exina”, ambos con contenido de alginato. **Nuñez *et al.* (1999)**, afirma que la exina está conformada por múltiples capas con complejos de lipoproteina - lipopolisacárido, lípidos libres y calcio; mientras que la intina está compuesta por dos capas separadas por una membrana de carbohidratos, lípidos libres, proteínas y calcio al igual que la exina.

Sabra *et al.* (2001); **Segura *et al.* (2003)**, durante el proceso de enquistamiento, las especies del género Azotobacter producen grandes cantidades de poli - β - hidroxibutirato como reserva de carbono reducido que toman la forma de gránulos intracelulares, sin que esto llegue a afectar la presión osmótica de la célula.

2.2.6.2.2. Azotobacter chroococcum

Mahato *et al*. (2009), el género Azotobacter incluye 6 especies siendo *Azotobacter chroococcum* la especie que habita en muchos suelos de todo el mundo.

Figura 6. Azotobacter chroococcum.



Fuente: Gschmeissner (2018a).

Kizilkaya (2008), afirma que *Azotobacter chroococcum* cuando se encuentra en medios libres produce una pigmentación color café - negruzco, esto ocurre cuando hay benzoato. También se produce pigmentación de coloración gris - café en medios que contengan una adición de 0.2 % de gluconato. Este autor también refiere que *Azotobacter chroococcum* tienen colonias mucosas opacas que presentan color pigmento claro al inicio sin embargo a medida que la colonia crece se va tornando color café oscuro. Tomando en cuenta a **Juárez *et al*. (2004)**, comenta que esta especie de bacteria aparte de fijar nitrógeno y excretar amonio al ambiente también posee la propiedad de biodegradar compuestos contaminantes muy tóxicos. Se caracteriza por presentar propiedades antagónicas con nemátodos y hongos patógenos también metaboliza los compuestos fenólicos tales como ácidos p - hidroxibenzoico, 4 - hidroxifenilacetico, vanilico, ferulico y cumarico.

2.2.6.3. Potencialidades del género Pseudomonas

Mulet *et al*. (2010), el género Pseudomonas comprende actualmente más de 100 especies nombradas que se han dividido en linajes, grupos y subgrupos basados en el análisis de secuencias multilocus. El mismo autor sostiene que muchas de las cepas comensales de plantas pertenecen al grupo *Pseudomonas fluorescens* que en la actualidad incluye más de cuenta especies nombradas.

Raaijmakers *et al*. (2009), el género Pseudomonas contiene a múltiples especies siendo de las más importantes *Pseudomonas fluorescens*, *Pseudomonas protegens*, *Pseudomonas brassicacearum*, y *Pseudomonas chlororaphis* y son descritos como PGPR debido a su capacidad de suprimir enfermedades de las plantas por agentes patógenos que, de acuerdo con **Capdevila *et al*. (2004)**, ocurre durante la colonización competitiva de los tejidos vegetales.

También está la producción de antibióticos **(Pierson y Pierson, 2010)**, la inducción de respuestas de resistencia sistémica en la planta **(Bakker *et al*., 2007)** y la producción de fitohormonas o metabolitos que modifican el equilibrio hormonal de la planta **(Kang *et al*., 2006)**. Por todas estas propiedades hacen que estas cepas sean particularmente adecuadas en aplicaciones de biocontrol y biofertilización **(Haas y Defago, 2005)**.

Neidig *et al*. (2011), señalan que las Pseudomonas pueden producir cianuro de hidrógeno y esto repele los nematodos bacterívoros.

Madigan y **Martinko (2005)**, manifiestan que la clasificación taxonómica de esta especie se ubica de acuerdo a:

Reino: Bacteria

Filo: Proteobacteria

Clase: Gammaproteobacteria

Orden: Pseudomonales

Familia: Pseudomonadaceae

Género: Pseudomonas

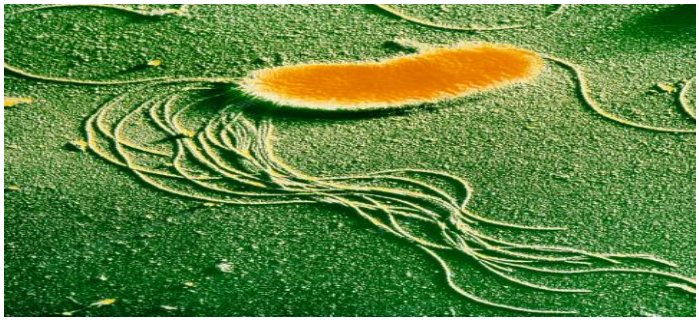
2.2.6.3.1. Características principales del género Pseudomonas

Dwivedi y **Johri (2003)**, las especies del género Pseudomonas son considerados excelentes colonizadores de raíz e investigaciones realizadas reportan su uso como agentes de control en la lucha contra fitopatógenos. Dentro de este grupo se presentan colecciones diversas de cepas no entéricas, Gram negativas, son generalmente aerobias, quimioheterótrofas, no fermentativas y móviles y presentan flagelos polares que les brinda gran movilidad. **Wahyudi *et al*. (2011)**, refiere que este género se caracteriza por ser versátiles en el metabolismo debido a la presencia del sistema enzimático complejo. De acuerdo con **Jawetz *et al*. (2005)**, estas especies del género Pseudomonas se caracterizan por degradar muchos sustratos además de emplear diferentes fuentes de carbono como nutrientes, dándole la capacidad de colonizar diferentes ambientes y nichos ecológicos que difícilmente otros microorganismos podrían colonizar; también intervienen en la degradación y reciclaje de materia orgánica.

2.2.6.3.2. Pseudomonas fluorescens

Se sabe que *Pseudomonas fluorescens* controla patógenos incluidos los hongos, por lo que se puede anticipar los efectos combinados de *P. fluorescens* y hongos mutualistas sobre la resistencia de las plantas serán menos aditivos debido a que los hongos mutualistas sufrirán a causa de *P. fluorescens*. *Pseudomonas fluorescens*, de acuerdo con **Palleroni (1984)**, está compuesto por un grupo de saprófitos no patógenos comunes que están presentes en el suelo, el agua y ambientes donde existe cultivos. Además, tiene requisitos nutricionales muy simples y se desarrolla muy bien en medios de sales minerales complementados con fuentes de carbono. **Frey-Klett *et al*. (2007)**, refieren que *Pseudomonas fluorescens* son bacterias auxiliares de la micorriza para la micorrización tanto ecto como arbuscular.

Figura 7. Pseudomonas fluorescens.



Fuente: Brain (2018).

Cornelis (2008), *Pseudomonas fluorescens* tiene la propiedad de solubilizar fósforo y la realiza mediante las siguientes vías: primeramente, se produce ácidos orgánicos (glucónico, cítrico y oxálico) que influyen en el pH del suelo que mejora la solubilización del fósforo inorgánico y de

esta forma libera el fosfato al suelo. La segunda vía sucede por medio de las fosfatasas, que son enzimas hidrolasas (diesterasas fosfóticas y monoesterasas) que tiene acción sobre los enlaces de esteres, liberando de esta forma los grupos fosfatos presentes en la materia orgánica. En síntesis, las dos vías dan lugar a que suceda mayores cantidades de fosfato apto para ser asimilado por las raíces de los cultivos. **Madigan** y **Martinko (2005)**, manifiesta que la especie *Pseudomonas fluorescens* tiene la propiedad de promover la producción de sustancias estimuladoras de crecimiento (auxinas, giberelinas y citoquininas).

La producción de estas sustancias se ve condicionada siempre y cuando haya una adecuada disponibilidad de materia orgánica presente en el suelo y la suficiente concentración de microorganismos en la rhizosfera.

2.3. Marco conceptual

2.3.1. Hábitat de la papa nativa

Otazú (1999) son en los andes de Perú y Bolivia en donde las papas nativas se desarrollan muy bien, sobre todo en pisos altitudinales que fluctúan entre los 3000 a 4000 metros respecto al mar.

También manifiesta que *S. phureja* se adapta mejor a zonas cercanas al nivel del mar y, en intentos por cultivar papas nativas en ambientes geográficos más bajos que su hábitat ha conllevado que sea propicio a contagiarse de enfermedades víricas, bacteriales y fúngicas por consiguiente su calidad se ha mermado significativamente. Caso contrario ocurre con la papa común

dado que presenta mejores condiciones para adaptarse dentro una mayor variabilidad de climas, razón por la cual está presente en todo el mundo.

2.3.2. Manejo agronómico de la papa nativa

La preparación del terreno agrícola se da con generalidad haciendo uso de la chakitaklla en zonas que aún conservan culturas ancestrales mientras que en otros lugares es el pico la mejor herramienta empleada para la preparación de los terrenos y en muchos casos yunta y maquinaria agrícola. Existe 3 modos de labranza: barbecho, chacmeo y chiwa.

La siembra, en el contexto andino, se caracteriza por ser una actividad en la que participan mujeres y hombres; por su lado el hombre tiene la tarea de abrir hoyos por medio de golpes con la ayuda de la chakitaklla u otro tipo de herramienta agrícola mientras que la mujer pone la semilla en el hoyo aperturado; se depositan de uno a tres tubérculos por golpe en función al tamaño de la semilla. La mayoría de los productores de papa nativa se rigen por las fases lunares para fijar el tiempo correcto de la siembra y los meses que se realiza la siembra se da entre octubre y noviembre, depositando las semillas en cada surco teniendo en cuenta la distancia entre surco a surco que en promedio se sitúa en 80 a 90 centímetros y, la distancia planta a planta que fluctúa en 25 a 30 centímetros; posteriormente se realiza el tapado de la semilla con tierra.

Son las mujeres, de acuerdo a **Gamarra (2010)**, expertas en la actividad de la siembra debido a que han desarrollado alto conocimiento durante las labores de gastronomía y alimentación.

Por su parte, **Falder (2007)**, indica que la preparación de las semillas de papa está en someter al tubérculo al verdeo; el verdeo se da cuando los tubérculos son exhibidos a la acción de la luz directa (difusa) a fin de evitar el brotamiento acelerado.

La primera fertilización en la mayoría de los casos se realiza al momento de sembrar, en su mayoría los agricultores emplean abonos orgánicos - estiércol de sus camélidos y ganado vacuno - en el momento que ocurre la siembra. La cantidad de aporques que recibe el cultivo de papa nativa dependerá del sistema de labranza; en chacmeo corresponde un aporque, en caso de siembras realizadas en barbecho reciben dos aporques.

Bueno (1999), comenta que para la fertilización o abonamiento de fondo debe realizarse en razón de 3 a 5 kg/m^2 de estiércol bien descompuesto; se puede incorporar adicionalmente al suelo cenizas y residuos de cosecha.

Normalmente se realiza el primer aporque 35 días después de la siembra y el segundo 30 días después del primer aporque. El aporque, en palabras de **Berlijn (2000)**, consiste en apilar bastante tierra alrededor de la base de las plantas de papa nativa con el fin de evitar que las raíces o tubérculos no se expongan a la intemperie o para que las plagas no ataquen el cuello de las plantas, raíces o tubérculos.

Por lo general, los controles fitosanitarios realizados a este cultivo son escasos salvo si el fin es la producción comercial, allí se emplean paquetes tecnológicos y en muchos casos se solicita la asistencia técnica.

En cuanto a la cosecha, normalmente ocurre en el mes de mayo en el momento que los tubérculos muestran signos de madurez y la parte foliar

debe presentar una coloración amarilla y la cáscara de la papa tiene que estar adherida a la pulpa siendo difícil retirarla o pelarla.

2.3.3. Plagas y enfermedades

Otazú (1999), dentro de una determinada área ecológica la presencia de plagas y enfermedades es muy variada, en tal sentido, en el contexto agrícola mundial existen plagas señaladas como importantes que afectan al cultivo de papa entre ellas se encuentra la mosca minadora, las polillas, gorgojo de los andes y los nematodos.

Respecto a enfermedades, la phytophthora, marchitez bacteriana, enfermedades víricas, podredumbre blanda, el tizón temprano y marchitez por *Verticillium* son de interés agrícola. De las enfermedades señaladas, la phytophthora es la más letal y se encuentra distribuida a nivel mundial. Existe evidencia que enfermedades como marchitez bacteriana y *Verticillium* ven dificultado su desarrollo en áreas agrícolas donde hay papas nativas.

Por su parte, **Túpac (2001)**, señala que estos cultivos son más susceptibles al ataque de: carbón, roña, phytophtora y la verruga.

Otazú y **Galíndez (1987)**, manifiestan que existen manchas foliares en los cultivos de papa nativa, empero, sus causas difieren a los del tizón temprano.

Para los investigadores **Bertschinger *et al.* (2001)**, los cultivos de papa nativa parece que han aprendido a convivir con las enfermedades virosas.

El Centro Internacional de la Papa concuerda con Otazú y Túpac acerca de que *Epicauta spp*., *Epitrix spp.* y *Premnotrypes spp.* son las plagas de mayor interés en el cultivo de papa debido a los daños que ocasionan. También

menciona que la *Phytophtora infestans* está presente en los campos agrícolas situados por debajo de los 4000 metros sobre el nivel del mar. *Rhizoctonia solani* puede presentarse en zonas agrícolas donde sus suelos son fríos y húmedos.

En una pequeña proporción existen agricultores que suelen emplear fungicidas de síntesis química como medio preventivo y curativo para tratar las enfermedades. De otra parte, hay agricultores que suelen usar sustratos de tipo natural, por ejemplo, orina fermentada para contrarrestar los ataques de la phytophtora. Experiencias recogidas de los agricultores señalan que siembras con varias variedades o chaqru han dado como resultado cultivos mayormente tolerantes

CAPITULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Hipótesis

3.1.1. General

Los pisos altitudinales y cepas microbianas influyen de manera favorable sobre el rendimiento y las propiedades bioquímicas de la papa nativa cultivar Amachi.

3.1.2. Específica

- Los pisos altitudinales y cepas microbianas influyen de manera favorable sobre el rendimiento de la papa nativa cultivar Amachi.
- Los pisos altitudinales y cepas microbianas influyen de manera favorable sobre las propiedades bioquímicas de la papa nativa cultivar Amachi.

3.2. Método

En cuanto al método de investigación corresponde al deductivo, porque se parte de lo general (apoyados del marco teórico) para alcanzar conclusiones específicas **(Supo, 2020)**.

3.3. Tipo de investigación

Esta investigación es del tipo “básica” porque tiene como objeto generar más conocimiento **(Supo, 2020)**, en el caso de esta investigación comprender la influencia de los distintos pisos altitudinales y la aplicación de cepas microbianas en el rendimiento y las propiedades bioquímicas

(concentraciones de antocianinas y polifenoles totales) del cultivo de papa nativa cultivar Amachi.

3.4. Nivel o alcance de la investigación

Por otra parte, esta investigación es de nivel “explicativo” debido a que su propósito es medir la relación funcional causa efecto entre las variables de investigación **(Supo, 2020)** en esta investigación se comprobó que las concentraciones de antocianinas, polifenoles totales y el rendimiento del cultivo de papa nativa cultivar Amachi estuvieron influenciadas por la aplicación de cepas microbianas y los pisos altitudinales en donde se sembró el cultivo.

3.5. Diseño de la investigación

De acuerdo a la intención deliberada de parte del investigador por manipular las variables, corresponde a una investigación con diseño “experimental” **(Supo, 2020)**, por consiguiente, las variables fueron estrictamente controladas con el fin de observar los resultados en el cultivo de papa nativa y la información recabada sea de utilidad sobre el tema de investigación; además de acuerdo al alcance temporal de la investigación corresponde al de corte “transversal” puesto que las observaciones realizadas fueron recolectadas en un momento determinado **(Supo, 2020)**, en este estudio referido la campaña agrícola (2016 - 2017).

3.6. Operacionalización de variables

Ver en anexos.

3.7. Población, muestra y muestreo

La población está conformada por el número total de plantas en el cultivo de papa nativa de la variedad “Amachi” ubicados en las áreas agrícolas del experimento; es decir en las localidades campesinas de Huarquiza, Sañayca y Pucahuasi.

La unidad de muestreo se refiere al número de individuos (plantas) de papa nativa, localizadas en el área donde se realiza el experimento, y que son elegidas teniendo en cuenta los criterios del investigador.

La estimación de la muestra se realizó por conveniencia sin recurrir al muestreo del tipo probabilístico.

3.8. Técnicas e instrumentos

Para la recolección de la información en las distintas variables, se realizó lo siguiente:

1) Rendimiento (peso de tubérculos)

   Al momento de realizar la cosecha, se hizo la selección aleatoriamente de 60 plantas de papa nativa que fueron escogidas de las unidades experimentales de acuerdo al tratamiento asignado. Se empleó como técnica en la recolección de información la “observación”, como instrumento se tuvo una balanza digital para el pesado de los tubérculos empleando el gramo (g) como unidad de medida.

2) Contenido de antocianinas y polifenoles totales

Al finalizar el ciclo fenológico del cultivo, posterior a la cosecha de las 60 plantas escogidas, se hizo la selección de 250 gramos de tubérculos por cada tratamiento para ser llevado de manera inmediata al laboratorio y proceder la determinación de antocianinas y polifenoles totales.

La técnica o método usado para determinar el contenido de antocianinas y polifenoles totales fue por espectrometría.

3.9. Consideraciones éticas

Durante el desarrollo de esta investigación no se ha vulnerado la integridad de los campos agrícolas donde se instaló los cultivos de papa nativa, además, durante todo el proceso se ha socializado con los agricultores a fin de que en el corto plazo puedan apropiarse de esta tecnología. Finalmente, de los resultados obtenidos mediante un cuaderno de campo se compartió la información a los interesados.

3.10. Procedimiento estadístico

3.10.1. Análisis descriptivo de los datos

Apoyados en la estadística descriptiva, con el propósito de caracterizar la muestra que se obtuvo, se pudo determinar lo siguiente:

Medidas de Tendencia Central

La media, moda y mediana nos señalan el resumen a un solo valor de la distribución de los valores obtenidos durante el tiempo que duró la investigación en el cultivo de papa nativa.

Medidas de Variabilidad

La desviación estándar, varianza y el rango, nos ha permitido determinar el grado de dispersión que presentan los datos recolectados respecto a su promedio, en el periodo que se desarrolló la investigación.

3.10.2. Análisis exploratorio de los datos

La información recolectada se organizó y presentó por medio gráficos con el propósito de analizar de manera visual descriptores muy notables: valores atípicos, valores extremos, rangos mínimos y máximos; además se logra efectuar pruebas o test de homogeneidad, normalidad e independencia.

3.10.3. Diseño estadístico

El diseño experimental empleado para el procesamiento estadístico corresponde al “Diseño de Bloques Completamente al Azar (DBCA)” en parcelas divididas, que de acuerdo con **De Mendiburu (2007)**; **Morillo-Velarde (2007)**; **Pedroza** y **Dicovskiy (2006)**, la utilidad de este tipo de diseño con parcelas divididas se da en el momento de analizar estudios en diferentes localidades donde a cada localidad se le ha aplicado un determinado grupo de tratamientos con sus respectivos números de réplicas de unidades experimentales con la finalidad de identificar y cuantificar las causas de un efecto dentro del estudio y comprobar si estos difieren por localidad. El diseño experimental presenta dos factores, el factor A que corresponde al número de localidades (comunidades campesinas de Sañayca, Pucahuasi y Huarquiza) y el factor B a los tratamientos (testigo y los inoculantes biológicos); las 3 parcelas grandes distribuidas en 3 bloques

y cada subparcela dividida en 4 subparcelas. El diseño estadístico empleado matemáticamente es expresado de la siguiente forma:

$$Y_{ijk} = \mu + \tau_i + \alpha_i + \epsilon_{ik} + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \epsilon_{ijk}$$

$$i = 1, 2, 3, \dots, m = nivel\ del\ Factor\ A$$
$$j = 1, 2, 3, \dots, m = nivel\ del\ Factor\ B$$
$$k = 1, 2, 3, \dots, m = nivel\ del\ Bloque$$

donde Y_{ijk} es la k -ésima medición que corresponde al i - ésimo tratamiento; μ es la media global poblacional; τ_j es el efecto debido al k - ésimo bloque, α_i es el efecto del i - ésimo nivel del factor A, ε_{ik} error aleatorio atribuible al factor A, E(a); β_j corresponde al efecto debido al j - ésimo nivel del factor B; $(\alpha\beta)_{ij}$ efecto de la interacción entre los factores A y B; ε_{ijk} efecto aleatorio de variación o error del modelo E(b). Para dar cumplimiento al análisis de varianza respectivo, se supone que los errores presentan distribución normal con media cero y varianza constante δ^2, y que son independientes.

3.10.3.1. Tratamientos

Los tratamientos fueron asignados siguiendo el principio de aleatorización y repetitividad, con las siguientes codificaciones:

- Testigo o control, designado con la clave (T).
- Ecoterra, designado con la clave (E) para su identificación y,
- Alicerce, etiquetado con la clave (A).

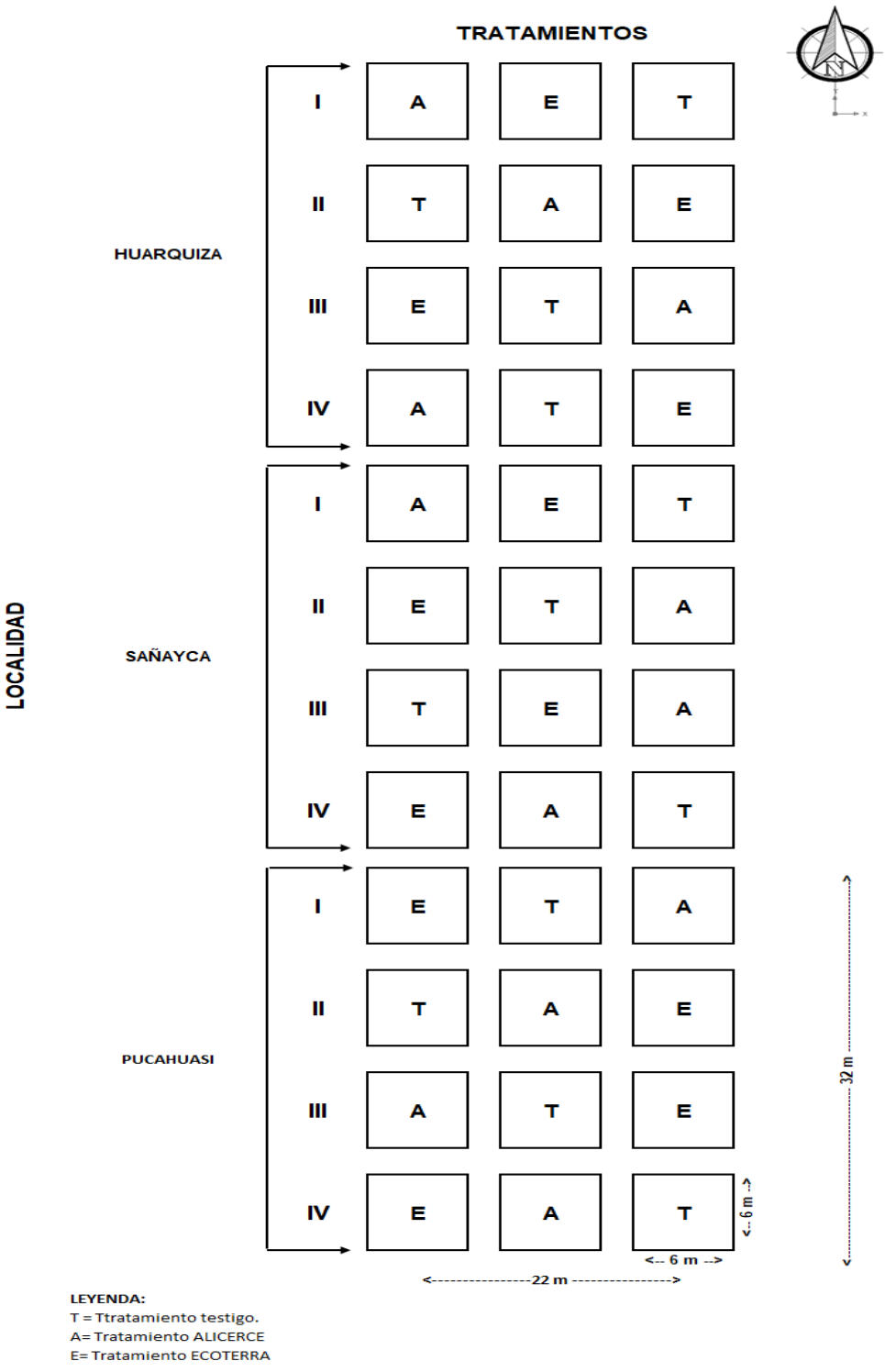
3.10.3.2. Características del campo experimental

En vista que la experimentación se realizó en 3 localidades, cada parcela de investigación por localidad presentó las siguientes dimensiones:

- Área total del experimento: 750 m^2.
- Área útil del experimento: 704 m^2.
- Largo del experimento: 22 m.
- Ancho del experimento: 32 m.
- Área de la unidad experimental: 36 m^2.
- Número de unidades experimentales: 12 unidades.
- Distanciamiento entre surco a surco: 1 m.
- Distanciamiento entre planta a planta: 0.35 m.
- Número de plantas por unidad experimental: 102 unidades.
- Número total de plantas en el experimento: 1224 unidades.

En la figura 8, se detalla el esquema de aleatorización del diseño estadístico empleado; nótese la asignación de los tratamientos en las unidades experimentales además se observa la restricción empleada en ella, que en nuestro caso de estudio resulta los bloques y las localidades.

Figura 8. Disposición de los tratamientos en estudio.



Fuente: Elaboración propia.

3.10.3.3. Antecedentes del cultivo en el área experimental

El campo agrícola designado para realizar la investigación fue elegido porque durante 5 años no hubo cultivo alguno.

De acuerdo a los estudios realizados (ver en anexos) en las comunidades campesinas donde se desarrolló la investigación, se puede afirmar lo siguiente:

a) Sector de Sañayca

Presenta suelos con características texturales edáficas del tipo "franco", materia orgánica en 19.42 % y un pH con una escala 4.18 confiriéndole como un suelo "ácido". El contenido de fósforo y potasio presente en el suelo es de 144.4 ppm y 551 ppm respectivamente; respecto al contenido microbiológico del suelo podemos mencionar la presencia de actinomicetos, bacterias fijadoras de nitrógeno de vida libre y bacterias nitrificantes en concentraciones de 2.00×10^5, 2.30×10^6 y 2.30×10^5 respectivamente.

b) Sector de Pucahuasi

El sector de Pucahuasi presenta suelos también del tipo textural "franco", materia orgánica con un valor porcentual de 14.06 y un pH ácido (4.72). En cuanto al contenido de macronutrientes se tiene: el contenido de fósforo un valor de 146.3 ppm y potasio con 119 ppm. También presenta concentraciones de microorganismos en valores de 1.00×10^5, 4.30×10^5 y 4.30×10^3 para actinomicetos, bacterias fijadoras de nitrógeno de vida libre y bacterias nitrificantes respectivamente.

c) Sector de Huarquiza

En este sector la clase textural característico del suelo es del tipo “franco arenoso”, materia orgánica presente con un valor de 9.48 % y un pH - con escala de 5.34 - del tipo ácido. El contenido de macronutrientes fue de 44.2 ppm para el fósforo y 551 ppm de potasio. Respecto a la microfauna presente del suelo se tiene que existe actinomicetos, bacterias fijadoras de nitrógeno de vida libre y bacterias nitrificantes en cantidades de 1.00×10^6, 2.30×10^4 y 2.30×10^5 respectivamente.

3.10.3.4. Formulación de la hipótesis estadística

La hipótesis de interés fue formulada en base a lo siguiente:

$$H_0 = \bar{x}_1 = \bar{x}_2 = \cdots = \bar{x}_k = \bar{x}$$

$$H_1 = \bar{x}_i \neq \bar{x}_j \; para \; algún \; i \neq j$$

se intentará demostrar que la respuesta del promedio muestral producto de la aplicación de los tratamientos presenta el mismo valor en cada k tratamientos, y por lo tanto cada respuesta promedio $\bar{x}$ es similar a la respuesta promedio poblacional μ.

Otra interpretación de la hipótesis formulada sería que los efectos de los tratamientos de esta investigación sobre la variable dependiente carecen de respuesta alguna, dado que $\gamma_i = \bar{x}_i - \mu = 0$, por consiguiente la respuesta promedio de los tratamientos es igual al promedio global ($\bar{x}_i = \mu$).

3.10.3.5. Análisis de varianza

Para evaluar si los promedios poblacionales en estudio son iguales, se requiere un test de las varianzas muéstrales. El procedimiento que se emplea en su determinación, cuando se ha aplicado un tratamiento específico a una población, es a través de un modelado lineal que recibe el nombre de “Análisis de varianza”. Por consiguiente, este análisis de “varianza” permite contrastar la hipótesis estadística y para ello, y lo más usual es utilizar estadístico F de Fisher - Snedecor con un nivel de significancia seleccionado por el investigador de acuerdo al nivel de precisión buscado. No obstante, en esta investigación se hizo uso del “valor – p” para evidenciar si los datos observados están en contra de la hipótesis planteada. Este “valor – p” es la probabilidad de conseguir, al azar, una diferencia muy grande de lo observado cumpliéndose que no exista diferencia real en la población del cual provienen las muestras. Convenientemente se estableció que si este valor de probabilidad es menor que el 5% (0.05), es lo suficientemente improbable que las diferencias entre las muestras se deba al azar por consiguiente se puede afirmar que la diferencia es “real”. De resultar lo contrario, es decir que este valor - p resulte mayor al 5%, no habrá la confianza que se necesita para poder negar que la diferencia observada sea producto del azar.

El análisis de varianza deberá cumplir ciertos supuestos para que los resultados sean confiables; los supuestos a cumplir serán:

1) Normalidad, determinar que la información recabada en campo se ajusta a una distribución “normal”. En esta investigación, la prueba de Shapiro - Wilk permitió demostrar que la información registrada en campo se ajustan una distribución normal.
2) Independencia, la información recabada muestran independencia entre sí.
3) Varianzas homogéneas, la información de cada unidad experimental producto de los tratamientos bajo estudio presentan varianzas homogéneas.

   Se aplicó el test de Bartlett para contrastar la homogeneidad de las varianzas poblacionales.

También se realizó los contrastes de comparaciones múltiples post – hoc, para el presente caso de estudio, se aplicó el test HSD de “Tukey” con un nivel de significancia del 5%, con el propósito de saber que media difiere de qué otra.

3.10.4. Labores agronómicas realizadas

El 24 de diciembre del año 2016 se ejecutó la siembra y posteriormente el día 15 de junio del año 2017 se llevó a cabo la cosecha. En el tiempo que duró el crecimiento y desarrollo del cultivo se llevaron a cabo las siguientes labores culturales.

- El 24 de diciembre del 2016, antes de sembrar, se realizó la preparación de solución de inoculantes biológicos de las marcas comerciales ALICERCE y ECOTERRA. En el caso del producto

ALICERCE se preparó una solución de 100 gramos por 10.5 litros de agua, mientras que con ECOTERRA la solución fue de 25.2 gramos por 10.5 litros de agua, seguidamente 50 kg de semillas de tubérculos fueron sumergidas - en las soluciones previamente preparadas - de acuerdo a los tratamientos asignados por un espacio de 1/4 de hora; después de haber inoculado las semillas de papa nativa se procedió a sembrar en las unidades experimentales asignadas.

- El día 30 de enero del 2017, de acuerdo al plan de trabajo elaborado, la actividad primordial fue realizar el primer aporque y el deshierbo de mala hierba existente en las unidades experimentales. Posterior al aporque se realizó vía foliar la aplicación de los inoculantes correspondiente a cada tratamiento, exceptuando el testigo. Para ALICERCE se aplicó la dosis de 86.4 gramos por cada 9 litros de agua mientras que en ECOTERRA la dosis fue de 21.6 gramos por cada 9 litros de agua.
- El día 28 de febrero del 2017, dando cumplimiento al plan de trabajo, se realizó el segundo aporque conjuntamente con el deshierbo además de replicar las dosis ya señaladas en el segundo ítem.

Además de lo señalado, no fue pertinente realizar algún tipo de control de plagas y enfermedades en el cultivo de papa nativa instalado.

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. RESULTADOS

4.1.1. Rendimiento

En concordancia con la formulación del objetivo específico de “determinar el efecto de pisos altitudinales y cepas microbianas sobre el rendimiento del cultivo de papa nativa cultivar Amachi”, para confirmar si las variables en estudio han ejercido de manera real en las pruebas realizadas se realizó el análisis de varianza respectivo.

Tabla 4. Análisis de varianza para el rendimiento.

	GL	SC	CM	F - valor	Pr(>F)	Sig.
LOCALIDAD	2	14934	7467	411.147	<9.50e-16	***
TRATAMIENTO	2	144284	72142	3872.277	<2e-16	***
BLOQUES (LOCALIDAD)	9	512	57	3.134	0.0187	*
LOCALIDAD:TRATAMIENTO	4	5066	1266	69.732	<1.05e-10	***
ERROR	18	327	18			
CV: 1.32%						

Significancia: * (0.001), ** (0.01), * (0.05)**

Fuente: Elaboración propia.

Del análisis de varianza reportado en la tabla 4 se afirma que existe influencia, desde el punto de vista estadístico, significativo en las unidades experimentales bajo estudio, que implica el efecto de los factores (LOCALIDAD y TRATAMIENTO) influye en el rendimiento del cultivo de papa nativa. La probabilidad de error para confirmar el nivel de significancia entre los promedios de los tratamientos bajo estudio fue menor al 0.05 (5 %), 0.01

(1 %) y 0.001 (0.1 %) respectivamente. De otra parte, el valor del coeficiente de variabilidad (CV) de 1.32% indica que el diseño estadístico empleado permitió controlar de manera eficiente el error experimental.

Tal como indica los resultados del análisis de varianza realizado, el p - valor para el factor LOCALIDAD es menor a 9.50e-16 que, en contraste a la hipótesis para este factor, indica que por lo menos uno de los promedios del rendimiento en la cosecha se deba a la influencia de las condiciones agroecológicas de las localidades donde se llevó a cabo el estudio. Respecto al factor TRATAMIENTO, el p - valor obtenido resulta menor a 2e-16 que realizando el contraste con la hipótesis correspondiente para este factor, confirma que al menos uno de los promedios del rendimiento obtenidos en la cosecha se ve influenciada por la aplicación de cepas microbianas. Además, en la tabla 4, se observa que fue apropiado realizar el bloqueo respectivo del experimento y esto ayudo en mejorar la precisión del estudio. Cabe mencionar, que cada bloque está anidado a las localidades ya mencionadas. Para afirmar la significancia estadística alcanzada por el factor BLOQUES se hizo el contraste de la hipótesis planteado para este factor comparando el p - valor con el nivel de error del 5 % (0.05).

No obstante, para corroborar la validez del resultado del análisis de varianza se verificó si cumplía los supuestos mencionados en el capítulo III item 3.3.9.6. Análisis de varianza (ANVA). De los cálculos realizados, se concluye que el análisis de varianza realizado si cumplieron con los supuestos exigidos (ver cálculos en anexos: A). Para realizar un análisis más profundo en los factores estudiados y establecer en qué localidad y cuál de las aplicaciones

de cepas microbianas bajo estudio resulto superior frente al resto, se recurrió a la prueba de Tukey. Después de realizar la prueba Tukey en el factor LOCALIDAD, se observa que (ver tabla 5), entre las localidades campesinas en estudio, el que mayor influencia tuvo sobre el rendimiento resultó ser en la localidad o sector de Pucahuasi, seguido de Sañayca y por último Huarquiza.

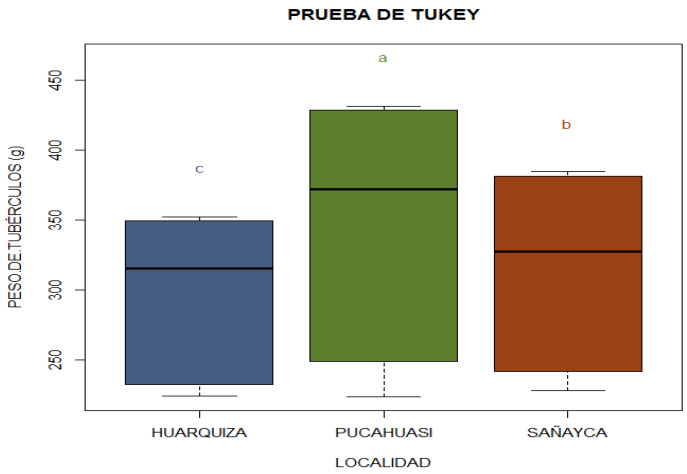
Tabla 5. Prueba de Tukey – rendimiento teniendo como factor LOCALIDAD.

LOCALIDAD	diff	lwr	upr	p adj
PUCAHUASI - HUARQUIZA	49.09333	44.65308	53.53358	0
SAÑAYCA - HUARQUIZA	16.85667	12.41642	21.29692	0
SAÑAYCA - PUCAHUASI	-32.23667	-36.67692	-27.79642	0

Fuente: Elaboración propia.

En forma visual, podemos afirmar que (ver figura 9) hay suficiente evidencia sobre las diferencias de los promedios entre los tratamientos bajo estudio.

Figura 9. Prueba tukey - rendimiento factor LOCALIDAD.



Fuente: Elaboración propia.

La significancia es representada por las distintas letras ubicadas encima de la caja de bigotes, en consecuencia, al realizar la comparación entre las distribuciones de los datos correspondientes al rendimiento en las tres localidades, vemos que la amplitud de la caja y los bigotes es mucho mayor en la localidad de Pucahuasi seguido de Sañayca, por consiguiente, no se puede asumir que exista igual entre las medias de los grupos en estudio. Respecto al factor TRATAMIENTO, la prueba Tukey (ver tabla 6) indica que, la comparación realizada entre las distintas cepas microbianas aplicadas al cultivo de papa nativa el que mayor influencia tuvo en los rendimientos corresponde al inoculante comercial ECOTERRA, seguido de ALICERCE.

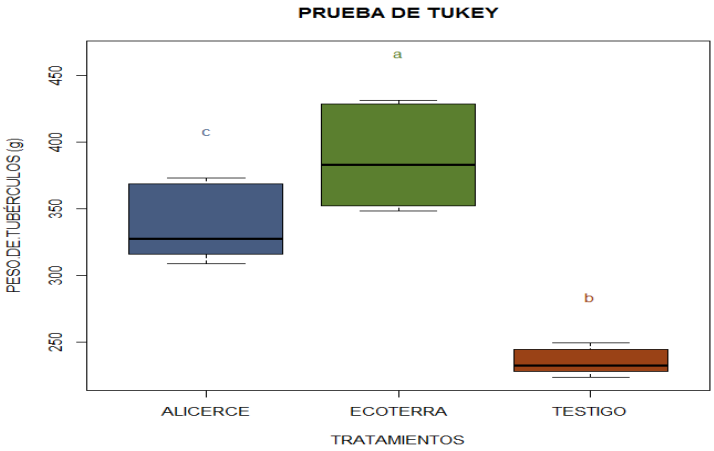
Tabla 6. Prueba de Tukey – rendimiento teniendo como factor TRATAMIENTO.

LOCALIDAD	diff	lwr	upr	p adj
ECOTERRA – ALICERCE	50.74083	46.30058	55.18108	0
TESTIGO – ALICERCE	-101.53333	-105.97358	-97.09308	0
TESTIGO – ECOTERRA	-152.27417	-156.71442	-147.83392	0

Fuente: Elaboración propia.

De manera visual, podemos afirmar lo reportado en la tabla 6, la figura 10 indica la representación estadística de los datos recolectados. Se observa la significancia estadística a través de las distintas letras ubicadas por encima de las gráficas.

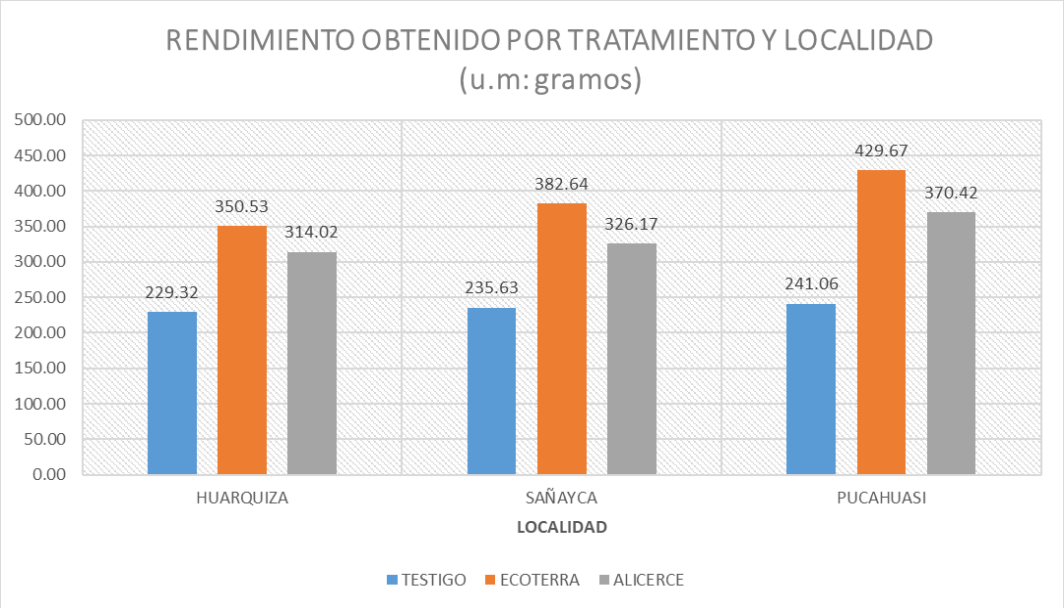
Figura 10. Prueba tukey - rendimiento factor TRATAMIENTO.



Fuente: Elaboración propia.

La representación visual de la figura 10, indica que las cajas y bigotes que corresponde al factor TRATAMIENTO presentan distintas amplitudes, por lo tanto, se puede afirmar que no existen igual de medias, ratificando lo reportado en el análisis de varianza de la tabla 4. En general, los promedios alcanzados a consecuencia de las condiciones agroecológicas de las localidades campesinas y la aplicación de cepas microbianas en el cultivo de papa nativa, se expresan en la figura 11. Nótese los promedios ubicados por encima de cada barra, los cuales están expresados en gramos.

Figura 11. Gráfica de barras para el rendimiento.



Fuente: Elaboración propia.

También se observa que existe diferencias, desde el punto de vista estadístico, significativos en la interacción LOCALIDAD*TRATAMIENTO. El p - valor obtenido es menor a 2e-16 que resulta inferior frente al 5 %. Sin embargo, la interpretación de esta interacción no fue necesaria debido a la significancia estadística reportada para los efectos principales en los factores: LOCALIDAD y TRATAMIENTO.

4.1.2. Propiedades bioquímicas

Cumpliendo con el objetivo específico de esta investigación de “determinar el efecto de pisos altitudinales y cepas microbianas en las propiedades bioquímicas del cultivo de papa nativa cultivar Amachi”, por consiguiente, para confirmar si los factores en estudio han ejercido de manera real en las pruebas realizadas se realizó el análisis de varianza respectivo (ver cumplimiento de supuestos en anexos: A).

4.1.2.1. Contenido de antocianinas

Al realizar el análisis de varianza para el contenido total de antocianinas en el cultivo de papa nativa, ver tabla 7, se evidencia que las diferencias entre las medias muestrales de los grupos observados tienen influencia directa debido a los factores en control del presente estudio.

Tabla 7. Análisis de varianza para el contenido de antocianinas.

	GL	SC	CM	F - valor	Pr(>F)	Sig.
LOCALIDAD	2	812258	406129	397.300	1.28e-15	***
TRATAMIENTO	2	469339	234670	229.568	1.55e-13	***
BLOQUES (LOCALIDAD)	9	4300	478	0.467	0.877787	
LOCALIDAD:TRATAMIENTO	4	33052	8263	8.083	0.000649	***
ERROR	18	18400	1022			
CV: 2.68%						

Significancia: * (0.001), ** (0.01), * (0.05)**
Fuente: Elaboración propia.

Además, el coeficiente de variabilidad (CV) de 2.68% permite corroborar la calidad de los datos, esto implica que el error experimental fue controlado por el diseño estadístico seleccionado.

La significancia estadística para el factor LOCALIDAD, señala que la concentración de antocianinas en tubérculos de papa nativa está directamente influenciada por las condiciones agroecológicas de las localidades campesinas donde fueron cultivadas. El p - valor para realizar el contraste de la hipótesis, que plantea por lo menos uno de los promedios grupales obtenidos para determinar la concentración de

antocianinas se debe a las condiciones agroecológicas de las localidades donde fueron cultivadas, fue de 1.28e-15 que en comparación con el 5%, 1% y 0.01% de probabilidad de error resulta inferior, razón por la cual se afirma su significancia. En el caso del factor TRATAMIENTO, el p - valor obtenido reporta un valor de 1.55e-13 que resulta significativo al contrastar la hipótesis para este factor; donde las diferencias de por lo menos uno de los promedios obtenidos en el análisis de laboratorio para determinar la concentración de antocianinas en tubérculos de papa nativa se deben a la influencia de la aplicación de cepas microbianas. No obstante, es preciso señalar, que el factor BLOQUES no resultó estadísticamente significativo. Respecto a la interacción LOCALIDAD*TRATAMIENTO, el p - valor obtenido para el contraste con la probabilidad de error de 5 %, 1 % y 0.01 % resultó inferior razón por la cual se afirma su significancia estadística, pero, de acuerdo a los efectos principales analizados en los factores LOCALIDAD y TRATAMIENTO, no fue necesaria su interpretación. De otra parte, fue necesario realizar un análisis más exhaustivo en los factores contemplados en el análisis de varianza (ver tabla 7) a fin de averiguar en qué localidad y cuál de las aplicaciones de cepas microbianas en estudio resulto superior frente al resto. Se realizó la prueba de Tukey con el objetivo de seleccionar la mejor respuesta sobre el contenido de antocianinas en tubérculos debido a la influencia de las localidades donde fueron cultivadas. Del resultado obtenido en la tabla 8, se evidencian diferencias estadísticas bien marcadas entre las localidades donde fueron instalados el cultivo de papa

nativa. En primer lugar, se ubica la localidad o sector de Pucahuasi, en segundo lugar, Sañayca y por último Huarquiza.

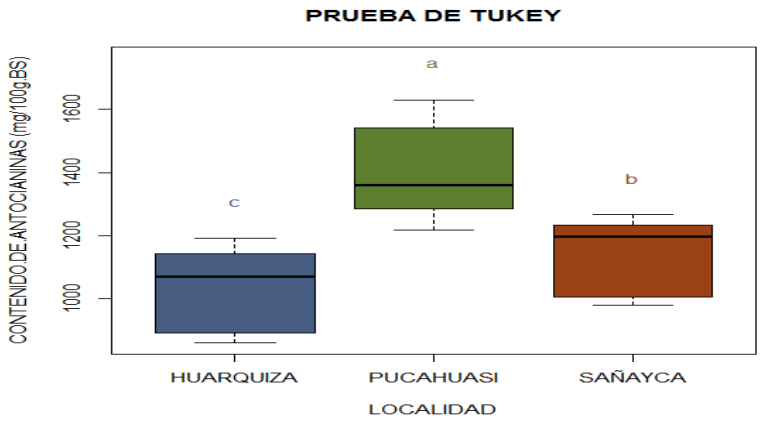
Tabla 8. Prueba de Tukey – concentración de antocianinas factor LOCALIDAD.

LOCALIDAD	diff	lwr	upr	p adj
PUCAHUASI - HUARQUIZA	358.4233	325.1110	391.7357	0e+00
SAÑAYCA - HUARQUIZA	107.2267	73.9143	140.5390	5e-07
SAÑAYCA - PUCAHUASI	-251.1967	-284.5090	-217.8843	0e+00

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 12, de manera visual se aprecia estas diferencias bien marcadas detectadas en la prueba Tukey (tabla 8).

Figura 12. Prueba tukey - concentración de antocianinas factor LOCALIDAD.



Fuente: Elaboración propia.

Nótese la significancia estadística entre los grupos mediante las distintas letras ubicadas en la parte superior de los gráficos de caja, además se observa que no existe una uniformidad en la amplitud de las cajas y bigotes, corroborando los resultados obtenidos en la tabla 7 que señala

la no igualdad de medias, es decir, la significancia estadística del factor **LOCALIDAD**.

Mientras que los análisis realizados en la comparación de promedios muestrales para seleccionar la mejor respuesta en la concentración de antocianinas en tubérculos de papa nativa debido al factor **TRATAMIENTO** se muestran en la tabla 9.

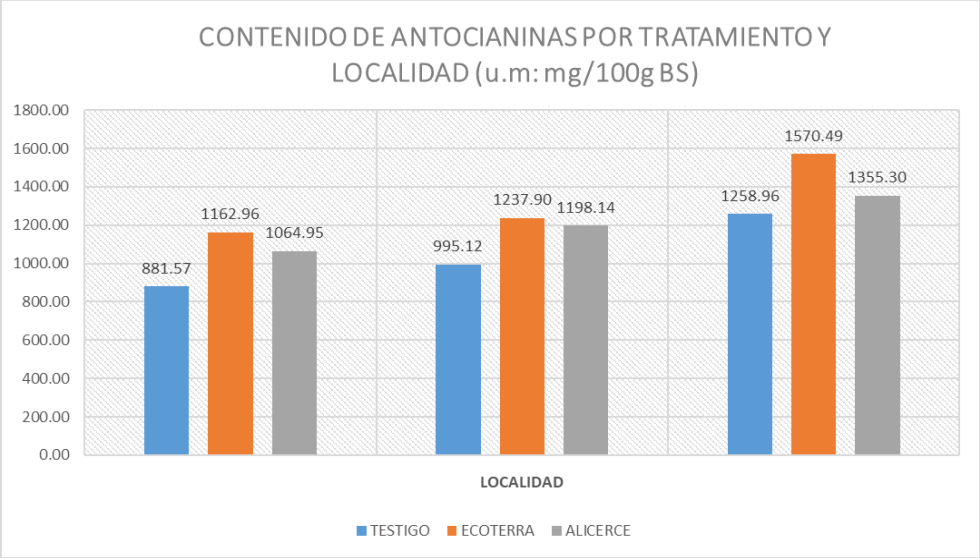
Tabla 9. Prueba de Tukey – concentración de antocianinas factor TRATAMIENTO.

LOCALIDAD	diff	lwr	upr	p adj
ECOTERRA – ALICERCE	117.6533	84.34097	150.9657	1e+07
TESTIGO - ALICERCE	-160.9133	-194.22570	-127.6010	0e+00
TESTIGO - ECOTERRA	-278.5667	-311.87903	-245.2543	0e+00

Fuente: Elaboración propia.

Del análisis de varianza realizado al factor TRATAMIENTO se afirma que la mejor respuesta en la concentración de antocianinas presentes en tubérculos de papa nativa fue por la aplicación del producto comercial ECOTERRA seguido de ALICERCE. Los promedios alcanzados en la concentración de antocianinas en tubérculos de papa nativa debido a la influencia de las localidades y la aplicación de cepas microbianas se aprecian en el gráfico 13 y en ella se evidencia las superioridades de los factores: LOCALIDAD y TRATAMIENTO.

Figura 13. Gráfico de barras para concentración de antocianinas.



Fuente: Elaboración propia.

4.1.2.2. Contenido de polifenoles totales

Para detectar la homogeneidad o heterogeneidad en las medias muestreales grupales correspondiente al contenido total de polifenoles totales presentes en el cultivo de papa nativa se recurrió al análisis de varianza correspondiente. El reporte de la tabla 10, indica que existe diferencias estadísticas entre las medias muestrales de los grupos observados en consecuencia, existe una influencia directa de los factores en control del presente estudio sobre el contenido de polifenoles totales presentes en los tubérculos de papa nativa.

Respecto a la calidad de los datos, en la tabla 10, se observa que el coeficiente de variabilidad (CV) presenta un valor de 1.56% lo cual indica que el error experimental fue controlado debidamente por el diseño estadístico seleccionado.

Tabla 10. Análisis de varianza para el contenido de polifenoles.

	GL	SC	CM	F - valor	Pr(>F)	Sig.
LOCALIDAD	2	3438408	1719204	3141.480	<2e-16	***
TRATAMIENTO	2	1478875	739438	1351.165	<2e-16	***
BLOQUES (LOCALIDAD)	9	7991	888	1.622	0.183	
LOCALIDAD:TRATAMIENTO	4	9851	7249	13.247	3.34e-05	***
ERROR	18	18400	547			
CV: 1.56%						

Significancia: * (0.001), ** (0.01), * (0.05)**

Fuente: Elaboración propia.

De esta tabla se afirma que el factor **LOCALIDAD** resulta desde el punto estadístico significativo, se observa que el p - valor obtenido para el contraste con la probabilidad de error de 5 %, 1 % y 0.01 % resultó inferior razón por la cual se afirma que no existe homogeneidad de varianzas, por consiguiente, es válido mencionar que la concentración de polifenoles totales en tubérculos de papa nativa determinado en el laboratorio se vio influenciada por las localidades donde fueron cultivadas. Lo mismo sucedió en el caso del factor **TRATAMIENTO**, el p - valor obtenido fue menor en comparación con la probabilidad de error de 5 %, 1 % y 0.01 % con lo cual se pone en evidencia que existe diferencia significativa. Este resultado indica que la concentración de polifenoles totales se debe a la influencia directa de la aplicación de cepas microbianas.

Es preciso señalar, que el factor **BLOQUES** que está anidado en el factor **LOCALIDAD** no resultó estadísticamente significativo. También

se pone en evidencia que el análisis de varianza reporta la significancia estadística de la interacción **LOCALIDAD*TRATAMIENTO**, no obstante, su interpretación fue innecesario debido a significancia estadística (ver tabla 10) los efectos principales de los factores **LOCALIDAD** y **TRATAMIENTO** resultaron significativos. Con el propósito de determinar la mejor elección de las condiciones agroecológicas que tiene mayor influencia sobre los promedios grupales del contenido de polifenoles totales en tubérculos de papa nativa se realizó la prueba de Tukey (ver tabla 11).

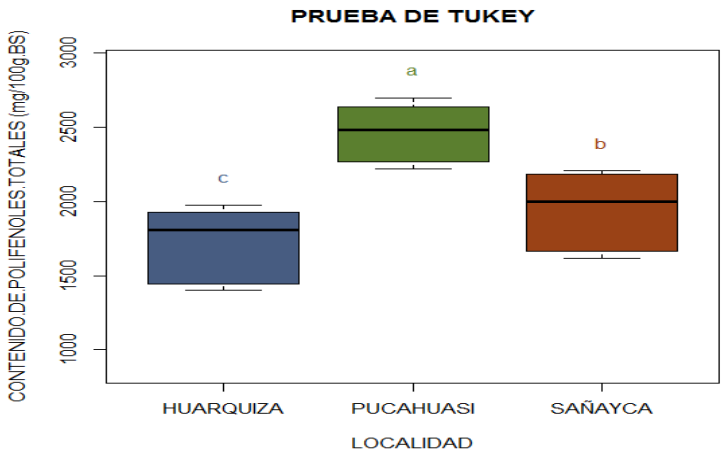
Tabla 11. Prueba de Tukey – polifenoles totales factor LOCALIDAD.

LOCALIDAD	diff	lwr	upr	p adj
PUCAHUASI – HUARQUIZA	737.66	713.2859	762.0341	0
SAÑAYCA – HUARQUIZA	221.54	197.1659	245.9141	0
SAÑAYCA – PUCAHUASI	-516.12	-540.4941	-491.7459	0

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 11 se pone en manifiesto que la mejor elección donde se obtendría las mayores concentraciones de polifenoles totales en los tubérculos de papa nativa corresponde a la localidad o sector de Pucahuasi seguido de Sañayca. De manera visual, la figura 14 indica lo reportado en la prueba Tukey, nótese la diferencia significativa de los grupos representados por las distintas letras ubicadas por encima del gráfico de cajas. Además, se evidencia que la amplitud de la caja y los bigotes son diferentes para cada grupo, corroborando la heterogeneidad de las medias detectado en la tabla 10.

Figura 14. Prueba Tukey – polifenoles totales factor LOCALIDAD.



Fuente: Elaboración propia.

Respecto a la prueba de Tukey realizado, ver en la tabla 12, se puede afirmar que la mayor concentración de polifenoles totales presentes en tubérculos de papa nativa se debió a la aplicación de cepas microbianas, siendo el inoculante ECOTERRA quien alcanzó los mayores promedios seguido de ALICERCE. Estos resultados obtenidos de la tabla 12 permiten realizar la elección de la mejor opción para obtener las mayores concentraciones de polifenoles totales en cultivos de papa nativa.

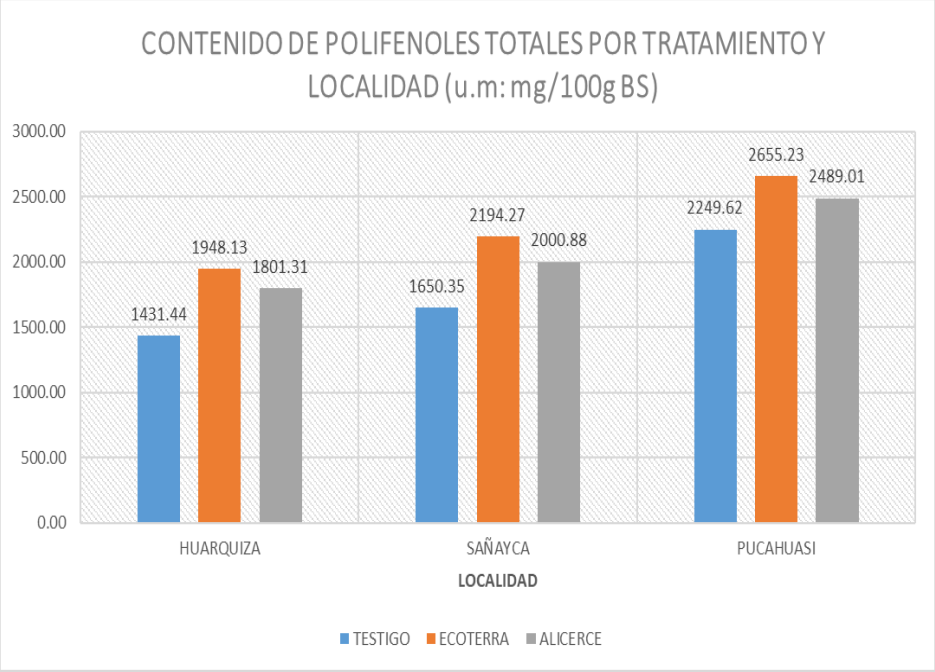
Tabla 12. Prueba de Tukey – polifenoles totales factor TRATAMIENTO.

LOCALIDAD	diff	lwr	upr	p adj
ECOTERRA – ALICERCE	117.6533	84.34097	150.9657	1e+07
TESTIGO - ALICERCE	-160.9133	-194.22570	-127.6010	0e+00
TESTIGO - ECOTERRA	-278.5667	-311.87903	-245.2543	0e+00

Fuente: Elaboración propia.

De manera concreta, la aplicación de las cepas microbianas y la elección del contexto agroecológico donde fueron cultivados las papas nativas permitieron obtener en promedio las siguientes concentraciones de polifenoles totales que se representan en la figura 15. La mejor localidad o sector para cultivar las papas nativas y así obtener la mayor concentración de polifenoles totales fue Pucahuasi que alcanzó en promedio valores de 2655.23 mg/100g BS de polifenoles totales presentes en tubérculos de papa seguido de Sañayca con valores de 2409.81 mg/100g BS. Estos valores fueron alcanzados tomando en cuenta la utilización de cepas microbianas ECOTERRA y ALICERCE respectivamente.

Figura 15. Gráfico de barras para concentración de polifenoles totales.



Fuente: Elaboración propia.

4.2. DISCUSIONES

4.2.1. Rendimiento

Considerando que las temperaturas son factores condicionantes y muy importantes dentro de las condiciones climáticas existentes en la zona de estudio conjuntamente con la distribución espacial de los pisos altitudinales en ejercer una gran influencia sobre el rendimiento del cultivo. Además, se ha sugerido que la disponibilidad de nutrientes del suelo, contenido de materia orgánica, radiación y vientos influyen también de manera favorable en los rendimientos de las especies, en ese sentido, la distribución espacial del cultivo resulta favorable en su desarrollo fenológico. Esto concuerda con los resultados obtenidos en este estudio, en donde los rendimientos alcanzados muestran diferencias muy marcadas. En la tabla 13, se presenta los resultados alcanzados en cuanto al rendimiento - que fue proyectado a rendimientos por hectárea - por cada localidad y de acuerdo al tratamiento asignado en este estudio.

Tabla 13. Rendimientos por localidad y de acuerdo a tratamiento.

	TRATAMIENTO		
LOCALIDAD	TESTIGO	ECOTERRA	ALICERCE
HUARQUIZA	6552 kg/ha	10015.14 kg/ha	8972.00 kg/ha
SAÑAYCA	6732.29 kg/ha	10929.71 kg/ha	9319.14 kg/ha
PUCAHUASI	6887.43 kg/ha	12276.29 kg/ha	10583.43 kg/ha

Fuente: Elaboración propia.

Este comportamiento del rendimiento del cultivo para las tres localidades indica la plasticidad fenotípica para este cultivar, siendo más notorio en la

localidad de Pucahuasi debido principalmente a las condiciones ambientales óptimas presentes sobre todo en la calidad (composición espectral y amplitud) e intensidad (número de fotones por unidad de tiempo) de la luz que se encuentra a disposición del cultivo que, de acuerdo a **Burke (2003)**, el rendimiento de los tubérculos está determinado por la cantidad de radiación fotosintéticamente activa que son interceptadas por el follaje.

Cabe precisar, que esta plasticidad indica que este cultivar no tenga la estabilidad deseada dentro de una amplia matriz ambiental, que en palabras de **Dimitrijevic *et al*. (2011)**, una característica deseable en la producción agrícola es tener cultivares que en distintas condiciones agroecológicas alcanzan rendimientos estables.

Si bien las tres localidades en estudio presentan diferentes condiciones ambientales las cuales serían un factor limitante para el desarrollo de los microorganismos, los resultados obtenidos indican que fueron parte fundamental en el desarrollo del cultivo dando a entender que en estas localidades se cumplieron los requerimientos exigidos por las cepas microbianas evaluadas corroborando lo dicho por **Prescott *et al*. (2002)**, donde manifiesta que el desarrollo de los microorganismos está influenciado de manera directa por las características físicas y químicas del medio ambiente además teniendo en cuenta que la temperatura afecta intensamente a los microorganismos.

Aunque la revisión bibliográfica respecto al rendimiento de este cultivar es limitado, podemos afirmar que hay evidencias en otros estudios donde evaluaron clones de papa nativa en distintos pisos altitudinales. Se tiene los

estudios de **Huarancca (2013)** en las que estudio la influencia del piso altitudinal, entre 3219 msnm y 3570 msnm, sobre el rendimiento de cinco clones híbridos realizado en tres localidades del **"Centro Agronómico K'ayra – Cusco"**, bajo un sistema de producción convencional.

Tabla 14. Comparativo de estudios sobre la influencia altitudinal en el rendimiento.

	PISO ALTITUDINAL		
INVESTIGADOR	Bajo	Medio	Alto
Huarancca (2013)	-	18290.00 kg/ha	20650.00 kg/ha
En esta investigación	10015.14 kg/ha	10929.71 kg/ha	12276.29 kg/ha

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 14 se presenta la comparación de los rendimientos - aquellos que tuvieron una mejor respuesta con los tratamientos asignados - logrados en este estudio versus lo reportado por **Huarancca (2013)**. De esa tabla se observa que los rendimientos conseguidos de este estudio no superan a los resultados del investigador en mención.

Investigaciones realizadas a nivel internacional sobre la aplicación de biofertilizantes o cepas microbianas en el cultivo de papa nativa y comercial lograron reportaron incrementos significativos en el rendimiento. En relación al empleo de cepas microbianas, **Jiménez *et al*. (2001)** señala que *Bacillus subtilis* en las parcelas inoculadas con esta especie se produjo la mayor cantidad y calidad de los tubérculos cosechados.

En la tabla 15 se presentan los resultados de un estudio realizado en Bolivia por **Mamani *et al*. (2012)** sobre un cultivar de papa nativa; su estudio se

centró en la evaluación del uso de microorganismos nativos de la especie *Bacillus subtilis* como biofertilizante. Al concluir con su investigación **Mamani *et al*. (2012)** señala que con la aplicación de Bacillus subtilis obtuvo rendimiento promedio de 40000 kg/ha y sin la aplicación de este microorganismo alcanzó un rendimiento de 32000 kg/ha; estos rendimientos alcanzados superan a los reportados por este autor. De la misma tabla se reporta los estudios realizados en México por **Hernández-Castillo *et al*. (2007)** sobre la evaluación del potencial antifúngico de cepas del genero Bacillus en el rendimiento del cultivo de papa comercial. Con el tratamiento asignado, **Hernández-Castillo *et al*. (2007)** consiguió rendimientos de 11300 kg/ha para el testigo y 17500 kg/ha con la aplicación de cepas microbianas; no obstante, en comparación con los rendimientos logrados por la autora en este estudio resultaron inferiores.

Tabla 15. Comparativo de estudios sobre biofertilización en el rendimiento.

	TRATAMIENTOS	
INVESTIGADOR	TESTIGO	BIOFERTILIZANTES
Mamani *et al*. (2012) - Bolivia	32000 kg/ha	40000 kg/ha
En esta investigación	6887.43 kg/ha	12276.29 kg/ha
Hernández – Castillo *et al*. (2007) - México	11300 kg/ha	17500 kg/ha

Fuente: Elaboración propia.

Trabajos realizados por **Meshram (1984)** en aislamientos de *Azotobacter chroococcum* sobre la inoculación de papa bajo condiciones controladas, reportan rendimientos de 358 g/planta, 560.7 g/planta y 375 g/planta que en

comparación con el testigo (285.7 g/planta) resultaron superiores estadísticamente.

Se han llevado también a cabo estudios sobre la inoculación de cepas microbianas en distintas especies vegetales de interés agronómico en donde se reportan el incremento de los rendimientos esperados. Por ejemplo, en el caso del cultivo de trigo, estudios realizados en Argentina por **García** y **Bach (2003a)** en el análisis de semillas inoculadas con Pseudomonas reportaron rendimientos de 3300 kg/ha frente a los 3080 kg/ha obtenidas para el tratamiento testigo; mientras que en cultivos de maíz los trabajos conducidos por **García** y **Bach (2003b)** reportan rendimientos en promedio de 12000 kg/ha con la inoculación de Pseudomonas en comparación con el testigo que alcanzó un valor de 11300 kg/ha.

De otra parte, la información del análisis de laboratorio realizados en las tres localidades de estudio indica que los suelos son naturalmente ácidos con presencia de Aluminio (Al), pero, a lo largo del experimento el cultivo de papa se desarrolló con total normalidad lo cual explica en parte los beneficios de emplear inoculantes biológicos para mejorar el rendimiento del cultivo de papa nativa en condiciones de estrés por acidez. **Biswas *et al*., (2007)** indican que la acidez está relacionada directamente con la dinámica poblacional microbiana asociada al suelo y plantas; aunque esto no representa un problema para muchos microorganismos tal como señalan **Booth *et al*., (2002)** debido a que mucho de estos microorganismos han desarrollado mecanismos para sobrevivir a la variación ambiental sobre todo a la concentración de iones de hidrógeno (pH), en ese sentido, **Faust (2012)**

y **James (1995)** manifiestan que las interacciones entre los microorganismos influyen en su crecimiento y supervivencia. Esta interacción entre los microorganismos de acuerdo con **Jones *et al*., (2009)**, **Fierer** y **Jackson (2006)** puede establecerse por cómo sus metabolismos cambian el ambiente y reaccionan a esos cambios.

En esta investigación hay muchas razones que podrían haber contribuido a un crecimiento del cultivo de papa nativa en condiciones de bajo pH y presencia de Aluminio; según **Graham *et al.,* (1994)** los microorganismos pueden crecer en condiciones de pH bajo debido a la desposición de lipopolisacáridos en cultivos bacterianos en pH inferior a 4.5, por tanto, la posibilidad de la incorporación de lipopolisacáridos en la pared celular es episódica al pH ácido.

De acuerdo con **Panhwar *et al.,* (2019)** las cepas microbianas pudieron producir algunos polisacáridos que aumentaron el pH del suelo y de quelatar el aluminio. También, **Matsumoto *et al*., (1976)** y **Mullet *et al*., (2001)** afirman que los compuestos fenólicos actúan como fuertes antioxidantes en respuesta al estrés abiótico y **Kidd *et al*., (2001)** sugieren que la exudación activa de fenoles puede jugar un papel importante en la desintoxicación de Aluminio en la rizhosfera que rodea el ápice de la raíz.

Por tanto, en base a lo referido anteriormente y al analizar estos resultados confirmamos que la aplicación de cepas microbianas y la elección idónea del piso altitudinal influyen sobre el rendimiento del cultivo de papa siendo posible que en las comunidades donde se realizó el estudio puedan cultivar papa nativa sin la necesidad de recurrir al uso de fertilizantes de origen

químico lo que implica que sus cosechas sean más saludables para su consumo además de garantizar la sostenibilidad microbiológica del suelo.

4.2.2. Propiedades bioquímicas

El efecto del medio ambiente son los responsables en la composición bioquímica y calidad de los tubérculos, así lo señala **Bonierbale** y **Amorós (1999)**. Por su parte, **Downey** y **Dokoozlian (2006)** afirman que entre los factores ambientales el que más influencia tienen en la producción de compuestos fenólicos, destacan la temperatura, la radiación y la disponibilidad de agua; mientras que en el caso de las antocianinas también influye el termoperiodo, es decir cuando las temperaturas nocturnas son más bajas que las diurnas la acumulación de antocianinas se ve favorecida. Mientras que **De Frenne** y **Brunet (2011)**, agrega que los estudios basados en gradientes ambientales y geográficos, relacionados con la latitud sirven para predecir las respuestas fisiológicas y bioquímicas de los cultivos que también es corroborado por **Yang** y **Zheng (2013)** en estudios llevados a cabo sobre el efecto de la latitud y el clima en la concentración de compuestos fenólicos en especies de grosellero. Por consiguiente, esta variación altitudinal donde se encuentran ubicadas las localidades donde se instalaron el cultivo influenciaron en las concentraciones de antocianinas y polifenoles totales en los tubérculos del cultivar “Amachi”, tal como reportan los resultados en el presente estudio (ver tabla 16 y 17).

Tabla 16. Propiedades bioquímicas: concentración de antocianinas.

	TRATAMIENTO		
LOCALIDAD	TESTIGO	ECOTERRA	ALICERCE
HUARQUIZA	881.57 mg/100g BS	1162.96 mg/100g BS	1064.95 mg/100g BS
SAÑAYCA	995.12 mg/100g BS	1237.90 mg/100g BS	1198.14 mg/100g BS
PUCAHUASI	1258.96 mg/100g BS	1570.49 mg/100g BS	1355.30 mg/100g BS

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 17. Propiedades bioquímicas: concentración de polifenoles totales.

	TRATAMIENTO		
LOCALIDAD	TESTIGO	ECOTERRA	ALICERCE
HUARQUIZA	881.57 mg/100g BS	1162.96 mg/100g BS	1064.95 mg/100g BS
SAÑAYCA	995.12 mg/100g BS	1237.90 mg/100g BS	1198.14 mg/100g BS
PUCAHUASI	1258.96 mg/100g BS	1570.49 mg/100g BS	1355.30 mg/100g BS

Fuente: Elaboración propia.

Sin embargo, el efecto de las diferencias altitudinales sobre la composición de antocianinas y polifenoles totales en el cultivar “Amachi” y otros de papa nativa no ha sido estudiada en los andes peruanos. Resumiendo lo anterior, se puede afirmar que este estudio confirma las conclusiones de otros autores, como por ejemplo **Soltoft *et al*. (2010)** en trabajos realizados en cultivo de papa señala que las condiciones meteorológicas tienen la mayor influencia en los contenidos fenólicos al igual que los trabajos de **Brazinskiene *et al*. (2014)**, donde evalúan la concentración de contenido fenólicos en genotipos de papa cultivadas en diferentes localidades obteniendo las mayores concentraciones de fenoles totales en la localidad con mayor altitud. En lo

que respecta al efecto de cepas microbianas sobre el contenido de fenoles totales en el cultivo de papa aún es limitado, no obstante, se puede mencionar sobre los trabajos de **Ren *et al*. (2001)**, quien añadiendo multibiofertilizantes (*Bacillus megaterium*) en cultivos de espinaca contenía 120% más de actividad antioxidante.

Abd El-Moniem *et al*. (2012), aplicando un biofertilizante con las especies de *Azotobacter chrococcum* y *Bacillus megaterium* en cultivo de brócoli logró un aumento significativo en los contenidos de flavonoides y fenoles totales. **Sousa *et al*. (2008)** sostiene que esto puede explicarse de forma general por el papel que cumplen los biofertilizantes en la biosíntesis que induce en la vía del acetato shikimate, lo que resulta una mayor producción de flavonoides y fenólicos. Se tiene dos estudios específicos sobre el cultivar "Amachi" y su contenido de antocianinas y polifenoles conducidos por **Fonseca *et al*. (2014)** y **Palomino (2017)** cuyos resultados se presentan en la tabla 18.

Tabla 18. Comparativo de estudios sobre biofertilización en el rendimiento.

	PROPIEDADES BIOQUÍMICAS	
INVESTIGADOR	ANTOCIANINAS	POLIFENOLES
Fonseca *et al*. (2014)	1440.21 mg/100 BS	2638.78 mg/100g BS
Palomino (2017)	-	2836.20 mg/100g BS
En esta investigación	1570.49 mg/100g BS	2655.23 mg/100g BS

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados que reporta esta tabla producto de los estudios realizados por **Fonseca *et al*. (2014)** en el cultivar "Amachi", aunque no se especifica bajo qué condiciones agronómicas, sobre el contenido de antocianinas y

polifenoles totales fueron cercanos a los hallados en este trabajo. También la tabla 18 muestra los resultados que obtuvo la autora de esta investigación y los de **Palomino (2017)** en sus estudios llevados a cabo en la región Cusco, en trabajos sobre mejoramiento genético participativo en el contexto del cambio climático en papas nativas del cultivar “Amachi”, reporta para el contenido de polifenoles totales valores cercanos a este estudio, sin embargo, no se precisa el contexto agroecológico ni las prácticas agronómicas con las que fueron cultivadas. Teniendo en cuenta las condiciones climáticas de los lugares donde fueron cultivados, se corrobora lo dicho por **Kumar *et al*. (2007)** que los antioxidantes juegan un papel muy importante en la protección de las plantas que están expuestas a estrés debido a las inclemencias del clima que está fuertemente relacionado con la ubicación de las localidades campesinas y los resultados obtenidos en la concentración de antocianinas y polifenoles totales. De este estudio se desprende que la exposición del cultivo de papa nativa a diferentes condiciones ambientales más la aplicación de cepas microbianas tienen efectos positivos en la capacidad de maximizar la cuantificación de antocianinas y polifenoles totales presentes en los tubérculos. Esta información resulta de utilidad para los productores agroecológicos de papas nativas de las comunidades de Pucahuasi, Sañayca y Huarquiza de tal modo que puedan promover su consumo de manera intensiva además de incentivar su industrialización dado el alto contenido de propiedades bioquímicas que son favorables para la salud humana.

CONCLUSIONES

En esta tesis se determinó la influencia de los distintos pisos altitudinales y cepas microbianas sobre el rendimiento de la papa nativa cultivar Amachi, en base al análisis estadístico, es posible afirmar:

- Con relación al primer objetivo, los pisos altitudinales y la aplicación de cepas microbianas determinan el incremento de los rendimientos en la papa nativa cultivar Amachi, en ese sentido para obtener los mejores rendimientos de este cultivar es imprescindible que la siembra sea llevada a cabo en pisos altitudinales por encima de los 3700 msnm. Por otro lado, al comparar la aplicación de cepas microbianas en el cultivo de papa se observó diferencias entre los rendimientos que oscilan entre 8972.00 y 12276.29 kg/ha.

  En consecuencia, se puede concluir que la influencia de pisos altitudinales y la aplicación de cepas microbianas son factores predominantes en el aumento de los rendimientos del cultivo de papa nativa cultivar “Amachi”.

- En relación al segundo objetivo específico, se determinó la influencia de distintos pisos altitudinales y cepas microbianas en las propiedades bioquímicas del cultivo de papa nativa cultivar Amachi en donde se afirma que las propiedades bioquímicas en el cultivo de papa se ven influenciadas por los pisos altitudinales y la aplicación de cepas microbianas.

  Se han encontrado diferencias en la concentración de antocianinas cuyos valores oscilan entre 1064.95 mg/100g BS y 1570.49 mg/100g BS, estas diferencias también se evidencian en el caso de polifenoles totales en donde

las concentraciones varían entre 1801.31 mg/100g BS y 2655.23 mg/100g BS.

Entonces se afirma la veracidad de la hipótesis de investigación porque tanto el factor altitudinal como la aplicación de cepas microbianas hacen posible obtener mejoras no solo en el rendimiento sino también en las propiedades bioquímicas, incrementando las concentraciones de antocianinas y polifenoles totales presentes en los tubérculos de papa.

Además, en esta investigación se ha evidenciado que las cepas microbianas han prosperado en suelos ácidos y con presencia de aluminio, corroborando que la interacción entre distintos complejos microbianos garantiza no solo su supervivencia sino también su rol de agentes promotores del crecimiento vegetal manifestándose en el normal desarrollo del cultivar Amachi.

RECOMENDACIONES

A fin de no contemplar grandes variaciones en los rendimientos para este cultivar, se recomienda que los productores de papa nativa consideren, dentro de su planificación agrícola, sembrar por encima de los 3700 msnm y el uso de cepas microbianas de los géneros Bacillus, Azotobacter y Pseudomonas.

También se sugiere realizar investigaciones tanto en suelos descansados como en suelos donde actualmente se desarrolla actividades agrícolas con la finalidad de contrastar si existen variaciones en las concentraciones de antocianinas y polifenoles totales.

BIBLIOGRAFÍA

Artículos científicos

Abd El-Moniem, M. N., Farouk K, E.-B., Zeinab, S., Abd El Baky, H., y Alaa, G. (2012). Enhancement of phenolics, flavonoids and glucosinolates of Broccoli (Brassica olaracea, var. Italica) as antioxidants in response to organic and bio-organic fertilizers, UK. Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences, 11:135-142.

Andre, C., Ghislain, M., Berlin, P., Oufir, M., Herrera, M., Hoffmann, L., Hausman, J., Larondelle, Y., y Evers, D. (2007). Andean potato cultivars (Solanum tuberosum L.) as a source of antioxidant and mineral micronutrients, USA. Journal Of Agricultural and Food Chemistry, 55(2):366-378.

Ash, C., Farrow, J. A. E., Wallbanks, S., y Collins, M. D. (1991). Phylogenetic heterogeneity of the genus Bacillus revealed by comparative analysis of small - subunit - ribosomal RNA, Italia. Lett. Appl. Microbiol, 13:202-206.

Ash, C., Priest, F. G., y Collins, M. D. (1993). Molecular identifications of rRNA group bacilli using PCR probe test, Francia. Antonie Van Leeuwenhoek, 64:253-260.

Backman, P. A., Wilson, M. A., y Murphy, J. E. (1997). Bacteria for biological contro l of plant diseases. Environmentally safe approaches to crop disease control, USA. Lewis Publishers, pp. 95-109.

Badui, S. (1999). Química de los alimentos. Longman de México Editores, México. Bakker, P. A., Pieterse, C. M., y Van Loon, L. C. (2007). Induced Systemic Resistance by Fluorescent Pseudomonas spp. Phytopathology, 97(2):239-243.

Balmer, O. y Tanner, M. (2011). Revisión acerca de las infecciones por múltiples cepas microbianas, México. Lancet Infectious Diseases, 11(11):868-878.

Bertschinger, L., Scheidegger, U. C., Luther, K., Pinillos, O., y Hidalgo, A. (2001). La incidencia de virus de papa en cultivares nativos y mejorados en la sierra peruana, Argentina. Revista Latinoamericana de la papa, 3:62-79.

Biswas, A., Dasgupta, S., Das, S., and Abraham, A. (2007). A synergy of differential evolution and bacterial foraging optimization for global optimization. Neural Netw. World 17, 607.

Boone, D. R., Liu, Y., Zhao, Z. J., Balkwill, D. L., Drake, G. R., y Stevens, T. O. (1995). *Bacillus infernus* sp. nov., and Fe (III) - Mn (IV) - reducing anaerobe from the deep terrestrial subsurface, USA. Int. J. Syst. Bacteriol, 45:441-448.

Booth, I. R., Cash, P., and O'Byrne, C. (2002). Sensing and adapting to acid stress. Antonie Van Leeuwenhoek 81, 33–42.

Bharti N, Yadav D, Barnawal D, Maji D, Kalra A. (2013). Exiguobacterium oxidotolerans, a halotolerant plant growth promoting rhizobacteria, improves yield and content of secondary metabolites in Bacopa monnieri (L.) Pennell under primary and secondary salt stress. World J Microbiol Biotechnol. 29:379–387. 10.1007/s11274-012-1192-1.

Brazinskiene, V., Asakaviciute, R., Miezeliene, A., Alencikiene, G., Ivanauskas, L., Jakstas, V., y Razukas, A. (2014). Efects of farming systems on the yield, quality parameters and sensory properties of conventionally and organically grown potato (*Solanum tubersoum* L.) tubers. Food Chemistry, 145:903-909.

Brown, C. (2005). Antioxidants in potato. American Journal of Potato Research, 82:163-172. Brown, C. R., Wrolstad, R., Durst, R., Yang, C. P., y Clevidence, B. (2003). Breeding studies in potatoes containing high concentrations of anthocyanins, USA. Am. J. Potato Res., 80:241-250.

Capdevila, S., Martínez-Granero, F. M., Sánchez-Contreras, M., Rivilla, R., y Martín, M. (2004). Analysis of *Pseudomonas fluorescens* F113 genes implicated in flagellar filament synthesis and their role in competitive root colonization, USA. Microbiology, 150(Pt 11):3889-3897.

Christie, G., Gotzke, H., y Lowe, C. R. (2010). Identification of a receptor subunit and putative ligandbinding residues involved in the *Bacillus megaterium* QM B1551 spore germination response to glucose, USA. J. Bacteriol, 17:4317-4326.

Corrales, L., Sánchez, L., Layton, C., Maldonado, E., y Monroy, L. (2011). Bacillus spp.; perspectiva de su efecto biocontrolador mediante antibiosis en cultivos afectados por fitopatógenos, Chile. Artículo de Revisión, pp. 177-187.

De Frenne, P. y Brunet, J. (2011). Temperature efects on forest herbs assessed by warning and transplant experiments along a latitudinal gradient, USA. Global Change Biology, 17:3240-3253.

Dimitrijevic, M., Knezevic, D., Petrovic, S., Zecevic, V., Boskovic, J., Belic, M., Pejic, B., y Banjac, B. (2011). Stability of yield components in wheat (*Triticum aestivum* L.). Genetika, 43(1):29-39.

Dixon, R. A. (2005). Engineering of plant natural product pathways curr. Op, UK. Plant Biol, 8:329-336.

Downey, M. O. y Dokoozlian, N. K. (2006). Cultural Practice and Environmental Impacts on the Flavonoid Composition of Grapes and Wine: A Review of Recent Research, USA. American Journal of Enology and Viticulture, 57:257-268.

Dwivedi, D. y Johri, B. N. (2003). Antifungals from Fluorescent pseudomonads: biosynthesis and regulation, USA. Current Science, 12:1693-1703.

Eppinger, M., Bunk, B., Johns, M. A., Edirisinghe, J. N., Kutumbaka, K. K., Koenig, S. S., Creasy, H. H., Rosovitz, M. J., Riley, D. R., Daugherty, S., Martin, M., Elbourne, L. D., Paulsen, I., Biedendieck, R., Braun, C., Grayburn, S., Dhingra,

Farrow, J. A. E., Wallbanks, S., y Collins, M. D. (1994). Phylogenetic interrelationship of round - spore - forming bacilli containing cell walls based on lysine and the non - spore - forming genera Caryophanon, Exiguobacterium, Kurthia and Planococcus, Australia. Int. J. Syst. Bacteriol, 44(1):74-82.

Faust K, Raes J. (2012). Microbial interactions: from networks to models. Nat Rev Microbiol. 10: 538–550. pmid:22796884

Fierer N, Jackson RB. (2006). The diversity and biogeography of soil bacterial communities. Proc Natl Acad Sci U S A. 103: 626–631. pmid:16407148

Frey-Klett, P., Garbaye, J., y Tarkka, M. (2007). The mycorrhiza helper bacteria revisited, UK. New Phytol, 176:22-36.

Fujita, T., Shida, O., Takagi, H., Kunugita, K., Pankrushina, A. N., y Matsuhashi, M. (1996). Description Bacillus carboniphilus sp. Nov, Japon. Int. J. Syst. Bacteriol, 46:116-118.

García, R. y Bach, T. (2003a). Efecto de la inoculación con Pseudomonas sobre el rendimiento del cultivo de trigo. Desarrollo y Difusión de Tecnología para la Producción Ecológica, España. pp. 194-199.

García, R. y Bach, T. (2003b). Efecto de rizobacterias promotoras de crecimiento sobre el rendimiento de maíz. Desarrollo y Difusión de Tecnología para la Producción Ecológica, España. pp. 201-207.

Garg, S. K., Bhatnagar, A., Kalla, A., y Narula, N. (2001). In vitro nitrogen fixation, phosphate solubilization, survival and nutrient release by Azotobacter strains in an aquatic system, USA. Bioresour Technol, 80:101-109.

German, J. y Walzem, R. (2000). The health benefits of wine, UK. Annu Rev Nutr, 20:561-593.

Graham PH, Draeger KJ, Ferrey ML, Conroy MJ, Hammer BE, et al. (1994) Tolerancia al pH ácido en cepas de Rhizobium, Bradyrhizobium y estudios iniciales sobre la base de la tolerancia al ácido de Rhizobium tropici UMR 1899. Can J Microbiol 40: 198–207.

Grossman, A. D. (1995). Genetic networks controlling the initiation of sporulation and the development of genetic competence in *Bacillus subtilis*. Ann. Rev. Genetics, 29:477-508.

Grotewold, E. (2004). The challenges of moving chemicals within and out of cells: insights into the transport of plant natural products, Australian. Planta, 219:906-909.

Haas, D. y Defago, G. (2005). Biological control of soil-borne pathogens by fluorescent pseudomonads. Nat. Rev. Microbiol, 3(4):307-319.

Hernández, M., Pereira, M., y Tang, M. (1994). Utilización de microorganismos biofertilizantes en los cultivos tropicales, Argentina. Pastos y forrajes, 17(3):183-192.

Hernández-Castillo, F. D., Lira-Salvador, R. H., Cruz Chavez, L., Gallegos Morales, G., Galindo Cepeda, M., Padrón-Corral, E., y Hernández-Suarez, M. (2007). Potencial antifúngico de cepas de Bacillus spp. y extracto de *Larrea tridentata* contra Rhizoctonia solani en el cultivo de la papa (*Solanum tuberosum* L.), México. Revista Internacional de Botánica Experimental, 77:241-252.

Heyndrickx, M., Lebbe, L., Kersters, K., De Vos, P., Forsyth, G., y A, L. N. (1998). Virgibacillus: a new genus to accmmodate *Bacillus pantothenicus* (Proom and Knight 1950), USA. Emended description of *Virgibacillus pantothenicus*. Int. J. Syst. Bacteriol, 48:99-106.

Huamán, Z. y Spooner, D. M. (2002). Reclassification of landrace populations of cultivated potatoes Solanum sect Petota, USA. Amer. J. Bot., 89:947-965

James GA, Beaudette L, Costerton JW. (1995). Interspecies bacterial interactions in biofilms. J Ind Microbiol. 15: 257–262.

Jones RT, Robeson MS, Lauber CL, Hamady M, Knight R, Fierer N. (2009). A comprehensive survey of soil acidobacterial diversity using pyrosequencing and clone library analyses. ISME J. 2009;3: 442–453. pmid:19129864

Joshi, P. y Juwarkar, A. A. (2009). In vivo studies to Elucidate the role of Extracellular Polymeric Substances from Azotobacter in inmobilization of heavey metals. Environ Sci. Technol, 43(15):5884-5889.

Juarez, M. J., Zafra-Gomez, A., Luzon-Toro, B., Ballesteros-Garcia, O. A., Navalon, A., Gonzalez, J., y Vilchez, J. L. (2008). Gas chromatographic-mass spectrometric study of the degradation of phenolic compounds in wastewater olive oil by Azotobacter Chroococcum, España. Bioresour Technol, 99:2392-2398.

Juárez, B., Martínez, M., y González, J. (2004). Growth of *Azotobacter chroococcum* in chemically defined media containing p - hidroxibenzoic acid and ptotocatechuic acid. Chemosphere, España. 59:1361-1365.

Kang, B. R., Yang, K. Y., Cho, B. H., Han, T. H., Kim, I. S., y Lee, M. C. (2006). Production of indole-3-acetic acid in the plant-beneficial strain *Pseudomonas chlororaphis* O6 is negatively regulated by the global sensor kinase GacS. Curr. Microbiol, USA.52(6):473-476.

Kennedy, I. R. e Islam, N. (2001). The current and potential contribution of asymbiotic nitrogen fixation to nitrogen requirements on farms: A review. Aust. J. Expo, UK. 41:447-457.

Kidd PS, Llugany M, Poschenrieder C,Gunse B, Barcelo J. (2001). The role ofroot exudates in aluminium resistanceand silicon-induced amelioration of aluminium toxicity in three varieties of maize (Zea mays L.). J. Exp. Bot. 52:1339–5

Kizilkaya, R. (2008). Yield response and nitrogen concentrations of spring wheat (*Triticum aestivum*) inoculated with Azotobacter chroococcum, Japan. Ecol. Eng, 33:150-156.

Kizilkaya, R. (2009). Nitrogen fixation capacity of Azotobacter spp. strains isolated from soils in diferent ecosystems and relationship between them and the microbiological properties of soils, USA. J. Environ Biol, 30:73-82.

Krieg, N. R. y Holt, J. (1994). Bergey's Manual of Systematic Bacteriology. Ed. Baltimore, USA. pp. 1105-1139.

Kumar, R., Bathia, R., Kukreja, K., Behl, R. K., Dudeja, S. S., y Narula, N. (2007). Establishment of Azotobacter on plant roots: chemotactic response, development and analysis of root exudates of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) and wheat (Triticum aestivum L.), USA. Basic Microbiol, 47:436-439.

Kuroshima, K. I., Sakane, T., Takata, R., y Yokota, A. (1996). *Bacillus ehimensis* sp. nov., and *Bacillus chitinolytic* members of the genus Bacillus, Japan. Int. J. Syst. Bacteriol, 46:76-80.

Kuskoski, M., Asuero, A., García Parilla, C., Troncoso, A., y Fett, R. (2004). Actividad antioxidante de pigmentos antocianícos. Ciencia y Tecnología de Alimentos, México. 24(4):691-693.

Lazazzera, B. (1995). Quorum sensing and starvation: signals for entry into stationary phase, UK. Curr. Opinion Microbiol, 3:177-182.

Leighton, F., Urquiaga, I., Casanegra, P., Inestrosa, N., y Maiz, A. (2000). Polifenoles y flavonoides. Boletín ciencia vino y salud. Programa bases moleculares de las enfermedades crónicas. Facultad de ciencias biológicas. Pontificia Universidad Católica de Chile, Chile. 4(1):1-2.

Lewis, L. y Walker, J. (1998). Efect of polysaccharides on the color of anthocyanins, USA. Food Chemistry, 54:319-325.

Lu, W., Haynes, K., Wiley, E., y Clevidence, B. (2001). Carotenoid content and color in diploid potatoes, USA. J. Am. Soc. Hort. Sci., 126:722-726.

Madslien, E. H., Ronning, H. T., Lindbäck, T., Hassel, B., y Andersson, M. A. (2013). Lichenysin is produced by most *Bacillus licheniformis* strains, UK. J. Appl. Microbiol.

Mahato, P., Anoop, B., y Chauhan, J. S. (2009). Efect of Azotobacter and Nitrogen on seed germination and early seedling growth in tomato, USA. Researcher, 1(4):62-66.

Mamani, P., Limachi-Villalba, J., y Ortuño-Castro, N. (2012). Uso de microorganismos nativos como promotores de crecimiento y supresores de patógenos en el cultivo de papa en Bolivia, Bolivia. 17(1):75-96.

Matsumoto H, Hirasawa E, Morimura S,Takahashi E. (1976). Localization of aluminum in tea leaves. Plant Cell Physiol.17:627–3.

Meshram, S. (1984). Suppressive efect of *Azotobacter chroococcum* on *Rhizoctonia solani* infestation of potatoes, Netherlands. Netherlands Journal of Plant Pathology, 90(3):127-132.

Mueller, A. L., Goodman, C. D., Silady, R. A., y Walbot, V. (2000). AN9, a petunia glutathione S-transferase required for anthocyanin sequestration, is a flavonoid-binding protein, USA. Plant Physiol., 113:1561-1570.

Mulet, M., Lalucat, J., y García-Valdés, E. (2010). DNA sequence-based analysis of the Pseudomonas species. Environ Microbiol, 12:1513-1530.

Mullet J, Klein R, Klein P. (2001). Sorghumbicolor an important species for com-parative grass genomics and a sourceof beneficial genes for agriculture. Curr.Opin. Plant Biol. 5:118–21.

Nakamura, L. K., Roberts, M. S., y Cohan, F. M. (1999). Relationship of *Bacillus subtilis* clades associated with strains 168 and W23: a proposal for *Bacillus subtilis* subsp. subtilis and Bacillus subtilis subsp. Spizizenii, USA. Int. J. Syst. Bacteriol, 49:1211-1215.

Neidig, N., Paul, R. J., Scheu, S., y Jousset, A. (2011). Secondary metabolites of *Pseudomonas fluorescens* CHA0 drive complex non-trophic interactions with bacterivorous nematodes, UK. Microb. Ecol, 61:853-859.

Nuñez, C., Moreno, S., Sobern Chávez, G., y Espín, G. (1999). *Azotobacter vinelandii* response regulator AlgR is essential for cyst formation, España. J. Bacteriol, 181:141-148.

Palleroni, N. J. (1984). Pseudomonadaceae. Bergey's manual of systematic biology, USA. pp. 141-199.

Panhwar QA, Naher UA, Jusop S, Othman R, Latif MA, et al. (2014) Biochemical and Molecular Characterization of Potential Phosphate-Solubilizing Bacteria in Acid Sulfate Soils and Their Beneficial Effects on Rice Growth. PLOS ONE 9(10): e97241. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0097241

Petroni, K. y Tonelli, C. (2011). Recent advances on the regulation of anthocyanin synthesis in reproductibe organs, USA. Ann. Rev. Plant Sci., 181:219-229.

Pierson, L. S. y Pierson, E. A. (2010). Metabolism and function of phenazines in bacteria: impacts on the behavior of bacteria in the environment and biotechnological processes, USA. Appl. Microbiol Biotechnol, 86(6):1659-1670.

Porwal, S., Lal, S., Cheema, S., y Kalia, V. C. (2009). Phylogeny in aid of the present and novel microbial lineages: diversity in Bacillus, USA. PLoS One 4:e4438.

Prasertsan, P. (1992). Production of cellulolytic enzymes from fungi and use in saccharification of palm cake and palm fibre, USA. World J. Microbiol, 8:536-538.

Premakumar, R., Pau, R. N., Mitchenall, L. A., Easo, M., y Bishop, P. E. (1988). Regulation of the transcriptional activators AnfA and VnfA by metals and ammonium in Azotobacter vinelandii, USA. FEMS Microbiol Lett, 164:63-68.

Prior, R. L. y Cao, G. (1999). In vivo total antioxidant capacity: comparison of diferent analytical methods, UK. Free Rad. Biol. Med.

Puchau, B. y Zulet, M. A. (2010). Dietary total antioxidant capacity is negatively associated with som metabolic sindrome features young adults, UK. Nutrition, 26:534-541.

Raaijmakers, J. M., Paulitz, T. C., Steinberg, C., Alabouvette, C., y Moënne-Loccoz, Y. (2009). The rhizosphere: a playground and battlefield for soilborne pathogens and beneficial microorganisms, USA. Plant Soil, 321(1-2):20.

Ramírez, M. R., Izquierdo, I., Do Carmo Bassols, R., Zuanazzi, J. A., Barros, D., y Henriques, A. T. (2005). Efect of lyophilised vaccinium berries on memory, anxiety and locomotion in adultrats. Pharmacol, USA. Res., 52:457-462.

Ren, H., Bao, H., y Hayashi, T. (2001). Antioxidative and antimicrobial activities and flavonoid contents of organically cultivated vegetables, Japan. Nippon Shokuhin Kagaku Kaishi, 48(4):246-252.

Reusch, R. N. y Sadoff, H. L. (1981). Novel lipid components of the *Azotobacter vinelandii* cyst membrane, Alemania. Nature, 302:268-270.

Reyes, L., Miller, J., y Cisneros Zevallos, L. (2005). Antioxidant capacity, anthocyanins and total phenolics in purple and red fleshed potato (*Solanum tuberosum* L.) genotypes, USA. American Journal of Potato Research, 82:271-277.

Robbins, R. (2003). Phenolic acids in foods: an overview of analytical methodology, USA. J. Agric. Food. Chem., 51:2866-2867.

Roberts, M. S., Nakamora, L. K., y Cohan, F. M. (1994). *Bacillus mojavensis* sp. nov., distinguishable from *Bacillus subtilis* by sexual isolation, divergence in

DNA sequences, and diferences in fatty acid composition, USA. Int. J. Syst. Evol Bacteriol, 44(2):256-274.

Rodríguez, L. E., Tinjaca, R. S., y Cotes, J. M. (2012). Detección de QTLs asociados con potencial de rendimiento y dormancia en tubérculos de Solanum bukasovii x Solanum tuberosum grupo Phureja, Colombia. En XXV Congreso de la Asociación Latinoamericana de la Papa y XIV Encuentro nacional de Producción y Abastecimiento de Batata.

Sabra, W., Zeng, A. P., y Deckwer, W. D. (2001). Bacterial alginate: physiology, product quality and process aspects, USA. Appl. Microbiol Biotechnol, 56:315-325.

Segura, D., Cruz, T., y Espín, G. (2003). Encystment and alkylresorcinol production by Azotobacter vinelandii strains impaired in poly - hydroxybutyrate synthesis. Arch, España. Microbiol, 179:437-443.

Shida, O., Takagi, H., Kadowaki, K., y Komagata, K. (1996). Proposal for two new genera, Brevibacillus gen. nov. and Aneurinibacillus gen. nov, Japan. Int. J. Syst Bacteriol, 46:939-946.

Slepecky, R. (2018). *Bacillus megaterium*. Sciencephotolibrary. Recuperado el 14 de febrero del 2018 de: https://www.sciencephoto.com/media/115675/view/bacillus-megaterium-bacteria-cell-tem.

Soltoft, M., Nielsen, J., Lauren, K., Husted, S., Halekoh, U., y Knuthsen, P. (2010). Efects of organic and conventional growth systems on the content of flavonoids

in onions and phenolic acids in carrots and potatoes, USA. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 58(19):10323-10329.

Sousa, C., Pereira, D. M., Pereira, J. A., Bento, A., A, R. M., Dopico-Garcia, S., Valentao, P., Lopes, G., Ferreres, F., Seabra, R. M., y Andrade, P. B. (2008). Multivariate analysis of tronchuda cabbage (Brassica oleracea L. var. costata DC) phenolics: influence of fertilizers, USA. J. Agric. Food Chem., 56(2008):2231-2239.

Spooner, D. M., McLean, K., Ramsay, G., Waugh, R., y Bryan, G. J. (2005). Soil respiration, methods of soil analysis, chemical and microbiological properties, USA. American Society of Agronomy and Soil Science of America, 2:15.

Spooner, D. M., Núñez, J., Trujillo, G., Gúzman, F., y Ghislain, M. (2007). Extensive simple sequence repeat genotyping of potato landraces supports a major reevaluation of their gene pool structure and classification, USA. PNAS, 104(49):19398-19403.

Tserkovniak, L. S., Bega, Z. T., Ostapchuk, A. N., Kuz'min, V. E., y Kurdish, I. K. (2009). Production of biologically active substances of indol nature by bacteria of Azotobacter genus, Alemania. Ukr Biokhim Zh, 81:122-128.

Voigt, B., Antelmann, H., Albrecht, D., Ehrenreich, A., y Maurer, K. H. (2009). Cell physiology and protein secretion of Bacillus licheniformis compared to Bacillus subtilis, USA. J. Mol Microbiol Biotechnol, 16:53-68.

Wahyudi, A., Astuti, R., Widyawati, A., Meryandini, A., y Nawangsih, A. (2011). Characterization of Bacillus sp. strains isolated from rhizosphere of sybean

plants for their use as potential plant growth for promoting rhizobacteria, Indonesia. Journal of Microbiology and Antimicrobials, 3:34-40.

Wang, L. T., L, L. F., Tai, C. J., y H, K. (1986). Comparison of gyrB gene sequences, 16S rRNA gene sequences and DNA-DBA hybridization in the Bacillus subtilis group, China. International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology, 57:1846-1850.

Yang, B. y Zheng, J. (2013). Efects of Latitude and Weather Conditions on Phenolic Compounds in Currant (Ribes spp) Cultivars, USA. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 61:3117-3532.

Yumoto, I., Yamasaki, K., Sawabe, T., Nakano, K., Kawasaki, K., y Ezura, Y. (1998). Bacillus horti sp. nov., a new Gram - positive alkaphilic: bacillus, Japan. Int. J. Syst. Bacteriol, 48:565-571.

Libros

Amorós, W., Bonierbale, M., y Manrique, K. (2008). Mejoramiento genético de la papa para uso gourmet. Centro Internacional de la Papa, Lima - Perú.

Autoridad Nacional del Agua (2013). Evaluación de los Recursos Hídricos en Cabecera de las Subcuencas de las Provincias de Andahuaylas y Chincheros. Perú.

Berlijn, J. (2000). Protección de cultivos. Editorial Trillas.

Becking, J. H. (2006). The family Azotobacteraceae. The Prokaryotes: a handbook on the biology of bacteria. Dorkin, M and Falkow, S, Springer, Nueva York.

Bonierbale, M. y Amorós, W. (1999). Perspectivas tecnológicas en el uso del germoplasma de papas nativas. International Potato Center, Perú.

Bueno, M. (1999). El huerto integral familiar ecológico. Integral – RBA, Argentina.

Bunk, B., Biedendieck, R., Jahn, D., y Vary, P. S. (2010). *Bacillus megaterium* and other bacilli: industrial applications. Encyclopedia of industrial biotechnology: bioprocess, bioseparation, and cell technology, Hoboken, NJ.

Burke, J. (2003). Growing the potato crop. Teagasc, Irish Agriculture and Food Development Authority.

Centro Internacional de la Papa (2008). Base de datos del Germoplasma de Papa en Latinoamerica y el Caribe. Lima - Perú. Recuperado el 21 de enero del 2018 de: http//sol/appdb/research/Div2GRCC/SEARCH/Search.asp.

Claus, D. y Berkeley, R. C. W. (1986). Genus Bacillus Cohn 1872. Bergey's Manual of Systematic Bacteriology, pp. 1105-1139.

Cornelis, P. (2008). Pseudomonas: Genomics and molecular biology. Caister Academic Press.

De Mendiburu, F. (2007). Estadistica Aplicada a la Foresteria II. Lima - Perú.

Dibut, B. y Martínez, V. (1990). Evaluación de cepas de *Azotobacter chroococcum* de los suelos de Cuba. Revista Ciencias de la Agricultura, La Habana - Cuba.

Egusquiza, B. R. (2000). La papa, producción, transformación, comercialización. Capac - Perú, Lima - Perú.

Ewing, E. (1997). La papa: fisiología de los cultivos vegetales. Cambridge – Londres.

Fálder, A. (2007). Enciclopedia de los alimentos. Paraninfo - España, España.

Fonseca, C., Burgos, G., Rodríguez, F., Muñoa, L., y Ordinola, M. (2014). Catálogo de variedades de papa nativa con potencial para la seguridad alimentaria y nutricional de Apurímac y Huancavelica. Centro Internacional de la Papa, Lima.

Gamarra, M. (2010). Glosario de términos relacionados a conservación de los recursos filogenéticos. Cusco - Perú.

Garrity, G. M. (2014). Bacillus. Bacteriology Insight. Recuperado el 14 de febrero del 2018 de: http://www.catalogueoflife.org/annual-checklist/2014/details/species/id/4257352.

Gschmeissner, S. (2018b). *Bacillus megaterium*. Sciencephotolibrary. Recuperado el 14 de octubre del 2018 de: https://fineartamerica.com/featured/bacillus-megaterium-bacteria-steve-gschmeissnerscience-photo-library. html.

Hawkes, J. G. (1990). The potato: evolution, biodiversity and genetic resources. Belhaven Press, Washington, DC.

Hernandez, A. G. y Lopez, M. D. R. (2010). Tratado de nutricion/Nutrition Treatise: Composicion y calidad nutritiva de los alimentos/Composition and Nutritional Quality of Foods. Tratado de nutrición: Composición y calidad nutritiva de los alimentos. Editorial Médica Panamericana.

INCOPA (2011). Cambios en el sector papa en el Perú en la última década. Centro Internacional de la Papa, Lima - Perú.

Jawetz, S., Melenick, L., y Adelberg, S. (2005). Microbiología Médica. Editorial Manual Moderno, España.

Jiménez, R., Virgen, G., Tabares, S., y Olalde, V. (2001). Bacterias promotoras del crecimiento de plantas. Agro - biotecnología, 20:395-400.

Lisinska, G. y Leszczynski, W. (1989). Potato science and technology. Elsevier science publishers LTD, Ireland.

Lister, C. y Monro, J. (2000). La nada humilde papa. Boletín de la papa, Lima - Perú. Recuperado el 03 de marzo del 2017 de: http://redpapa.org/ boletincincuentasiete.html.

Lock Sing, O. (1997). Colorantes naturales. Pontificia Universidad Católica del Perú, Fondo Editorial, Lima, Perú.

López, R., Barandalla, L., Ritter, E., y Ruíz de Galarreta, J. I. (2008). Evaluación nutricional y culinaria de un conjunto de cultivares antiguos y germoplasma nativo de patata para su incorporación en programas de mejora genética. Instituto Vasco de Investigación y Desarrollo Agrario. Congreso Iberoamericano de Investigación y Desarrollo en patata “Avances en ciencia y desarrollo de la Patata para una agricultura sostenible”, España.

Madigan, M. y Martinko (2005). Brock Biology of Microorganisms. Prentice Hall, Baltimore, USA.

Marcano, D. y Hasegawa, M. (2002). Fitoquímica Orgánica. Cdch Ucv.

Morillo-Velarde, R. (2007). Estadística: Agrupamiento de Ensayos - Análisis Combinatorio. Sevilla - España.

Ochoa, C. M. (1990). The potatoes of South America: Bolivia. Cambridge University Press, Cambridge, UK.

Ochoa, C. M. (1999). Las papas de Sudamérica. CIP, Lima, Perú.

Otazú, V. (1999). Perspectivas tecnológicas en el uso del germoplasma de papas nativas. CIP, Huancavelica - Perú.

Otazú, V. y Galíndez, W. (1987). Distribución ecológica de los organismos causantes de la mancha anular foliar de papa en el centro del Perú. Fitopatología, Perú.

Palomino, L. (2017). Mejoramiento Genético Participativo en el Contexto del Cambio Climático. Cusco - Perú.

Pedroza, H. y Dicovskiy, L. (2006). Sistema de Análisis Estadístico con SPSS. Managua – Nicaragua.

Prescott, M., Harley, J. P., y Klein, D. A. (2002). Microbiología. McGraw Hill. España.

Pumisancho, M. y Sherwood, S. (2002). El cultivo de la papa en Ecuador. INIAP - CIP, Ecuador.

Quevedo, F. (2005). Diccionario Didáctico de Ecología. Editorial de la Universidad de Costa Rica.

Supo, José. (2020). Metodología de la investigación científica. BIOESTADÍSTICO EEDU EIRL: Paucarpata – Arequipa.

Taiz, L. y Zeiger, E. (2007). Fisiología vegetal. Ciencies experimentals/ Experimental Sciences. Universitat Jaume I, Australia.

Thompson, L. y Troeh, F. (1988). Los suelos y su fertilidad. Túpac, A. (2001). Postcosecha y comercialización de tubérculos andinos con énfasis en papas nativas y ollucu. Centro Internacional de la Papa, Lima - Perú.

Wong, D. (1995). Química de los alimentos; mecanismos y teoría. Acribia, S. A, España.

Tesis

Huarancca, R. (2013). Comparativo de rendimiento de cinco clones híbridos (andigena x andigena) de papa y un testigo, en tres localidades de K'ayra - Cusco. Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Perú.

Kooman, P. (1995). Capacidad de rendimiento de la cosecha de papa influenciada por la temperatura y la duración del día. Wageningen, Netherlands. Tesis para optar el grado académico de Doctor. Wageningen Agricultural University, Alemania.

Leiva, D. E. (2009). Determinación de antocianinas, fenoles totales y actividad antioxidante en licores y fruto de mora. Tesis para optar el título profesional de Ingeniero en Alimentos. Universidad Tecnológica de la Mixteca, México.

Ojeda, D. P. (2003). Antocianinas totales, fenólicos totales y actividad antioxidante de las cáscaras de tres variedades de camote morado (*Ipomoea batata* L.). Tesis para optar el título profesional de Ingeniero en Industrias Alimentarias. Universidad Nacional Agraria La Molina, Perú.

Paladino, S. C. (2008). Actividad antioxidante de los compuestos fenólicos contenidos en las semillas de la vid (*Vitis vinifera* L.). Tesis para optar el grado de Maestro, Universidad Nacional de Cuyo, La Rioja, Argentina.

Otras fuentes

Brain, T. (2018). Pseudomonas fluorescens. Sciencephotolibrary. Recuperado el 14 de octubre del 2018 de: https://www.sciencephoto.com/media/11054/view

CNRI, C. (2018). Bacillus subtilis. Sciencephotolibrary. Recuperado el 14 de febrero del 2018 de: https://www.sciencephoto.com/media/11155/view

Estrada, R. (1999). La biodiversidad en el mejoramiento genético de la papa. La Paz, Bolivia. Euzeby, J. P. (2006). List of prokariotic names with standing nomenclature. Recuperado el 03 de abril del 2017 de: http://www.bacterioCict.fr/index.html

Gschmeissner, S. (2018a). *Azotobacter chroococcum*. Sciencephotolibrary. Recuperado el 14 de octubre del 2018 de: https://www.sciencephoto.com/media/931572/view

Lounatmaa, K. (2018). *Bacillus licheniformis*. Sciencephotolibrary. Recuperado el 14 de febrero del 2018 de: https://www.sciencephoto.com/media/11421/view

Raghavendra, J. y Brian, B. (2005). Identification and Characterization of Novel Genetic Markers Associated with Biological Control Activities. Recuperado el 14 de febrero del 2018 de: http://apsjournals.apsnet.org/doi/pdf/10.1094/

Roberts, K. (1998). Bacillus subtilis. Academic. Recuperado el 14 de octubre del 2018 de: http://academic.pgcc.edu/~kroberts/web/spore/bsub.jpe

S., Lukyanchuk, V., Ball, B., Ul-Qamar, R.,Vary, P. S. (2011). Genome sequences of the biotechnologically important Bacillus megaterium strains QM B1551 and DSM319. Journal of bacteriology, 193(16), 4199–4213. https://doi.org/10.1128/JB.00449-11

ANEXOS

Anexos A

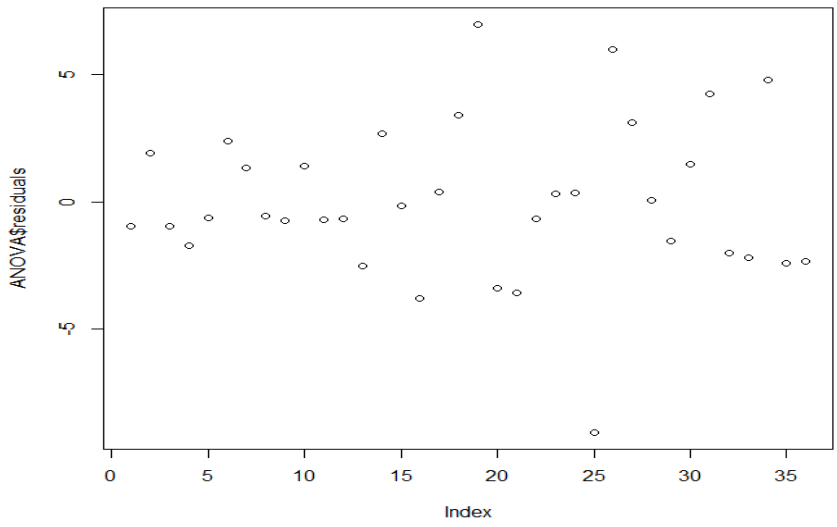
Prueba de normalidad

1.1. Rendimiento

Independencia

De manera visual en la figura A.1, se observa que los datos recolectados no siguen una determinada función funcional.

Figura A. 1. Independencia para el rendimiento.



Fuente: Elaboración propia.

Normalidad

Para constatar si los datos provienen de una distribución normal, se recurrió al uso del test de Shapiro - Wilk. En la tabla 19 indica que los datos provienen de una distribución normal. El valor Pr(>F) está por encima de 0.05 (5 %), que indica que no se rechaza la hipótesis nula la cual plantea “normalidad de los datos”.

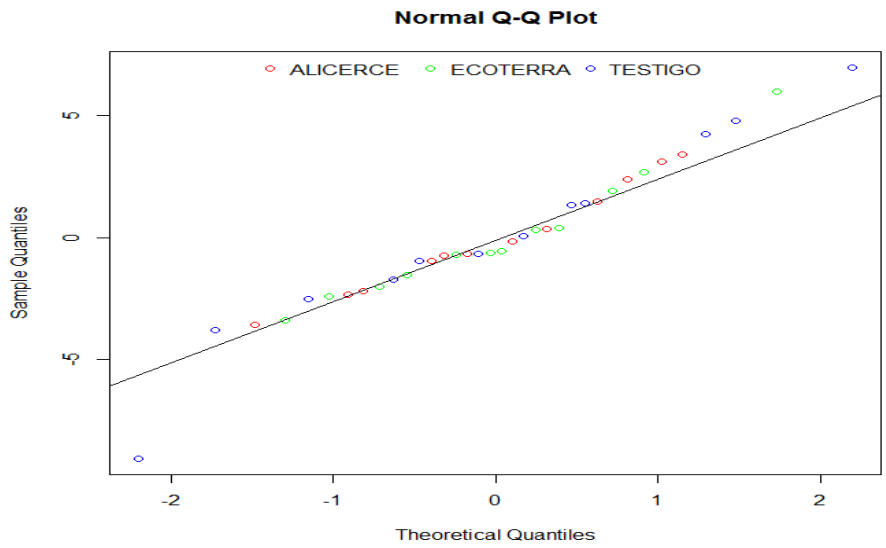
Tabla 19. Test de normalidad para el rendimiento.

	Pr(>F)
Test Shapiro – Wilk	0.2532

Fuente: Elaboración propia.

Así mismo, tomando los residuos como dato de análisis, para verificar el supuesto de distribución normal de los términos de error. Si los errores son normales y no hay otros defectos del modelo, los residuos se alinean sobre una recta a 45° tal como se muestra en la figura A.2.

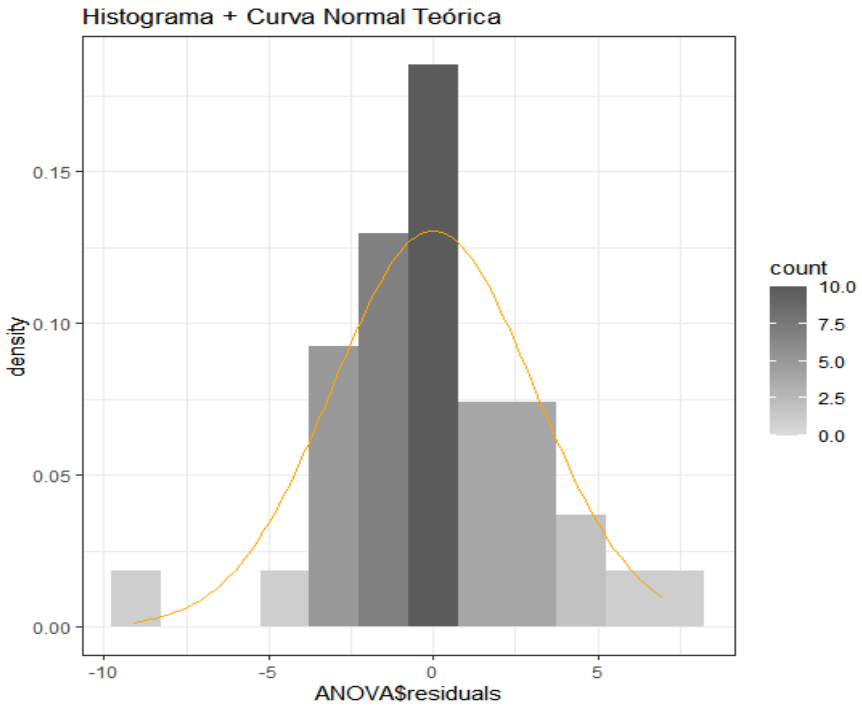
Figura A. 2. Normalidad de residuos para el rendimiento.



Fuente: Elaboración propia.

La figura A.3 permite visualizar mejor acerca de la normalidad de los datos. Se presenta el histograma de los residuos vs la curva de la función normal teórica.

Figura A. 3. Histograma + Curva normal teórica - rendimiento.



Fuente: Elaboración propia.

Homocedasticidad

Con el fin de demostrar que los datos recolectados presentan igualdad de varianzas y cumplan el supuesto de Homocedasticidad (igualdad de varianza) se utilizó el test de Bartlett.

Tabla 20. Test de homocedasticidad para el rendimiento.

	Pr(>F)
Test de Bartlett	0.07108

Fuente: Elaboración propia.

Del resultado obtenido en la tabla 20, se afirma que los datos recolectados presentan igualdad de varianzas. El valor Pr(>F) es de 0.07108, valor que

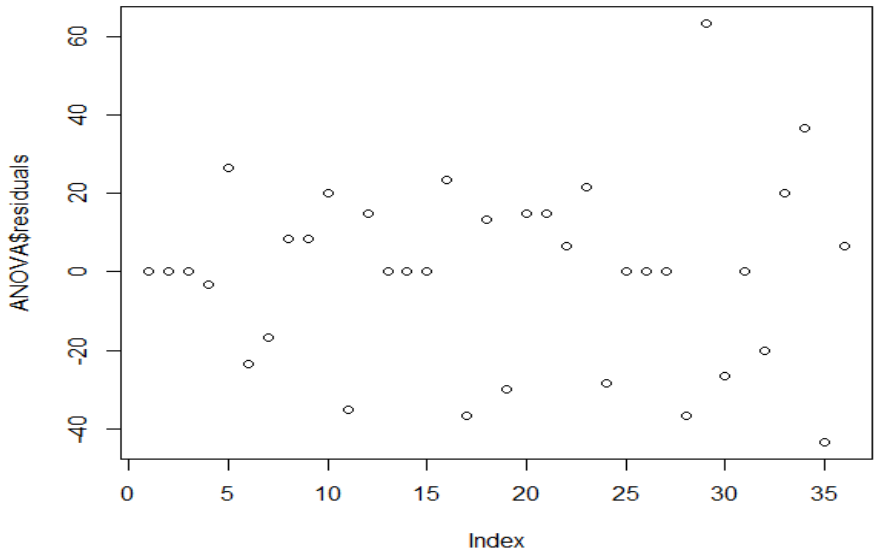
comparado al valor de 0.05 (5 %) resulta superior, por tanto, hay motivos para no rechazar la hipótesis nula de igual de varianzas.

1.2. Antocianinas

Independencia

De manera visual en la figura A.4, se observa que los datos recolectados no siguen una determinada función funcional.

Figura A. 4. Independencia para el contenido de antocianinas.



Fuente: Elaboración propia.

Normalidad

Para constatar si los datos provienen de una distribución normal, se recurrió al uso del test de Shapiro - Wilk. En la tabla 21 indica que los datos provienen de una distribución normal. El valor Pr(>F) está por encima de 0.05 (5 %), que indica que no se rechaza la hipótesis nula la cual plantea “normalidad de

los datos". Teniendo en consideración los residuos como dato de análisis, para verificar el supuesto de distribución normal de los términos de error.

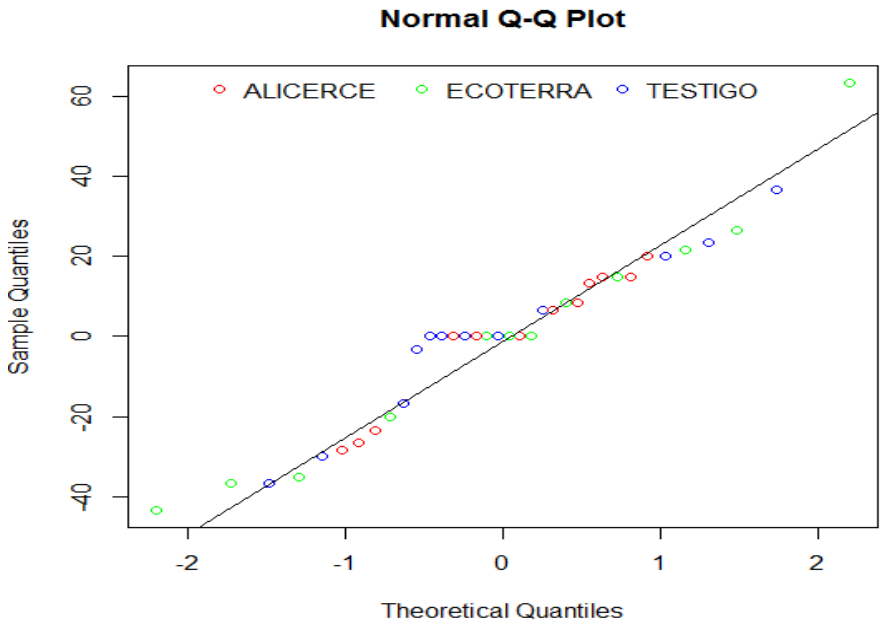
Tabla 21. Test de normalidad para el contenido de antocianinas.

	Pr(>F)
Test de Shapiro - Wilk	0.1137

Fuente: Elaboración propia.

Si los errores son normales y no hay otros defectos del modelo, los residuos se alinean sobre una recta a 45° tal como se muestra en la figura A.5.

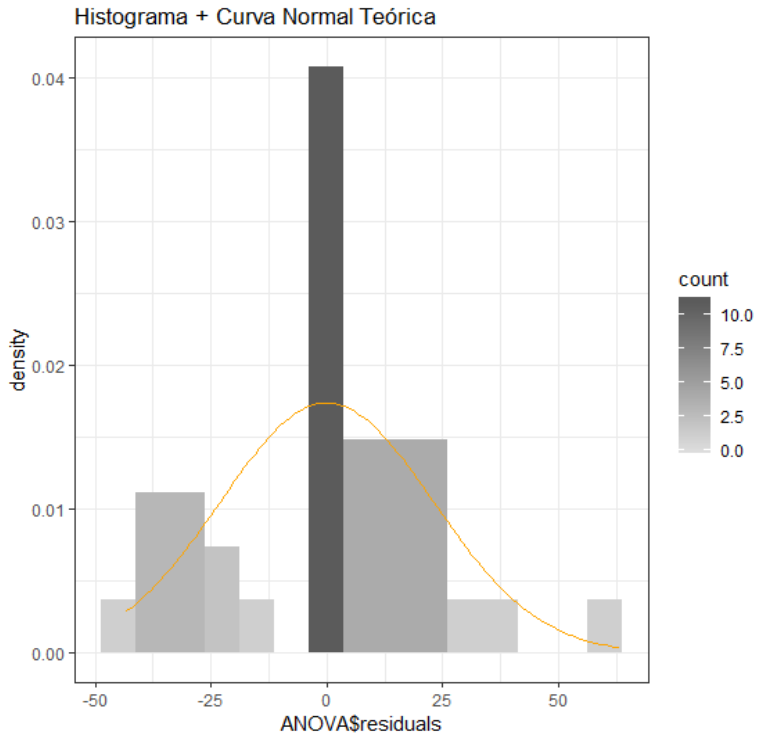
Figura A. 5. Normalidad de residuos para el contenido de antocianinas.



Fuente: Elaboración propia.

De forma visual, en la A.6 permite visualizar mejor acerca de la normalidad de los datos. Se presenta el histograma de los residuos vs la curva de la función normal teórica.

Figura A. 6. Histograma + Curva normal teórica - contenido de antocianinas.



Fuente: Elaboración propia.

Homocedasticidad

Para comprobar que los datos recolectados presentan igualdad de varianzas y cumplan el supuesto de Homocedasticidad (igualdad de varianza) se utilizó el test de Bartlett.

Tabla 22. Test de homocedasticidad para el contenido de antocianinas.

	Pr(>F)
Test de Bartlett	0.1489

Fuente: Elaboración propia.

Del resultado obtenido en la tabla 22, se afirma que los datos recolectados presentan igualdad de varianzas. El valor Pr(>F) es de 0.1489, valor que

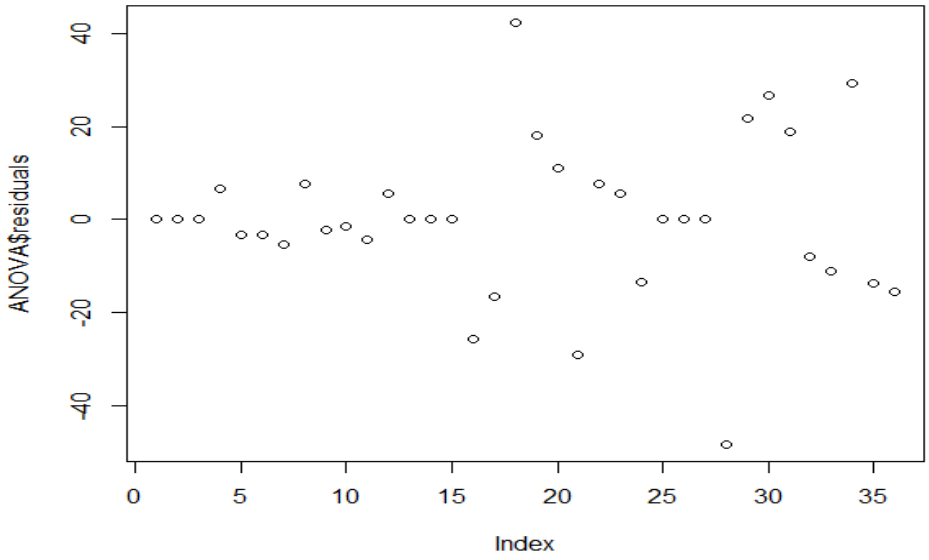
comparado al valor de 0.05 (5 %) resulta superior, por tanto, hay motivos para no rechazar la hipótesis nula de igual de varianzas.

1.3. Polifenoles totales

Independencia

Visualmente en la figura A.7, se observa que los datos recolectados no siguen una determinada función funcional.

Figura A. 7. Independencia para el contenido de polifenoles totales.



Fuente: Elaboración propia.

Normalidad

Para constatar si los datos provienen de una distribución normal, se recurrió al uso del test de Shapiro - Wilk. En la tabla 23 indica que los datos provienen de una distribución normal. El valor Pr(>F) está por encima de 0.05 (5 %), que indica que no se rechaza la hipótesis nula la cual plantea “normalidad de los datos”.

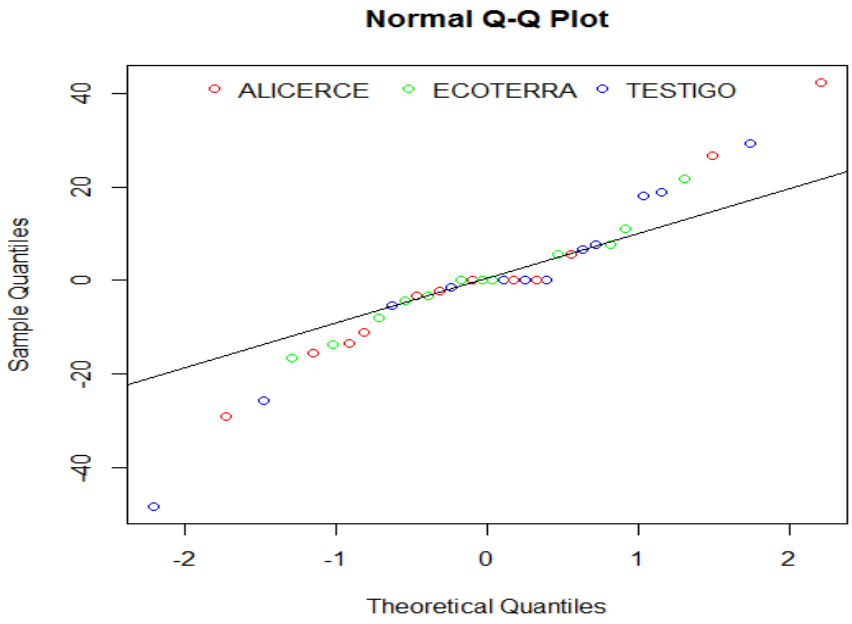
Tabla 23. Test de normalidad para el contenido de polifenoles totales.

	Pr(>F)
Test de Shapiro - Wilk	0.1215

Fuente: Elaboración propia.

Teniendo en consideración los residuos como dato de análisis, para verificar el supuesto de distribución normal de los términos de error. Si los errores son normales y no hay otros defectos del modelo, los residuos se alinean sobre una recta a 45° tal como se muestra en la figura A.8.

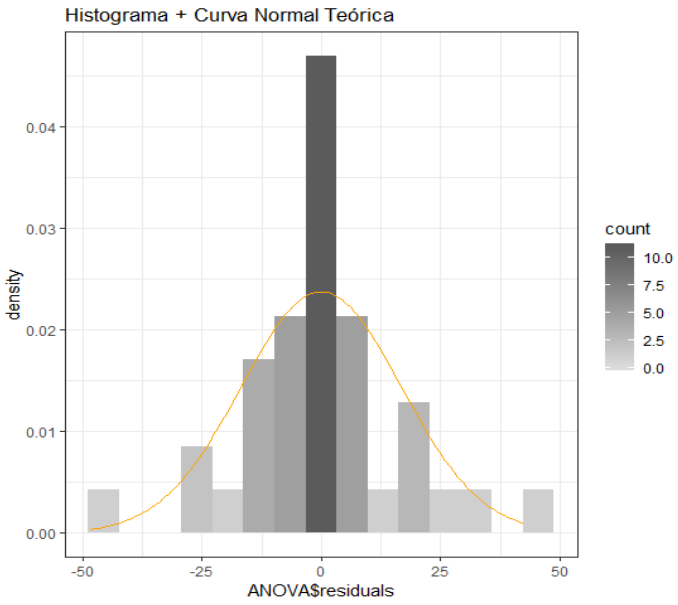
Figura A. 8. Normalidad de residuos para el contenido de polifenoles.



Fuente: Elaboración propia.

De forma visual, en la A.9 permite visualizar mejor acerca de la normalidad de los datos. Se presenta el histograma de los residuos vs la curva de la función normal teórica.

Figura A. 9. Histograma + Curva normal teórica - contenido de polifenoles.



Fuente: Elaboración propia.

Homocedasticidad

Para comprobar que los datos recolectados presentan igualdad de varianzas y cumplan el supuesto de Homocedasticidad (igualdad de varianza) se utilizó el test de Bartlett.

Tabla 24. Test de homocedasticidad para el contenido de polifenoles totales.

	Pr(>F)
Test de Bartlett	0.09798

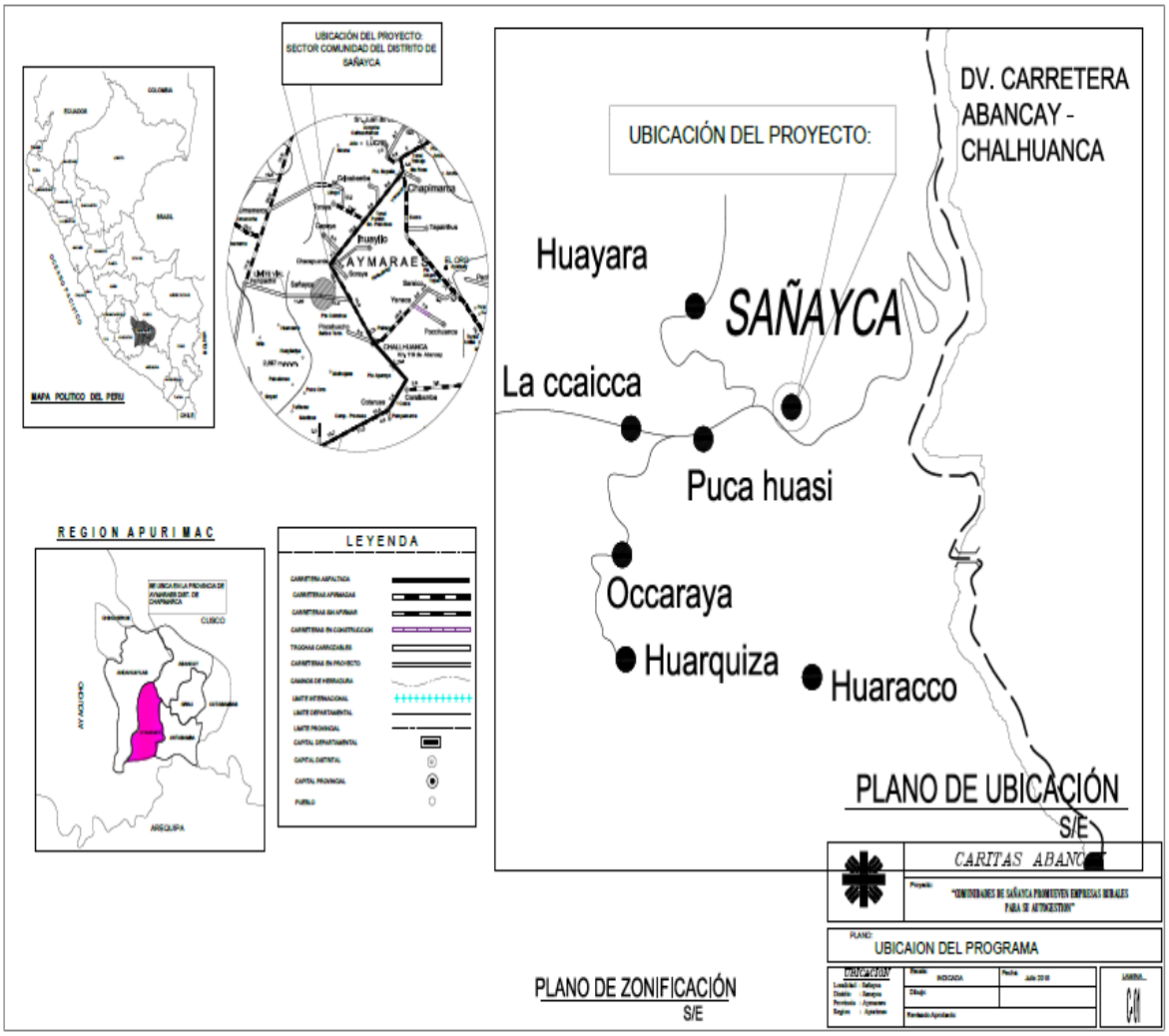
Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 24, se afirma que los datos recolectados presentan igualdad de varianzas. El valor Pr(>F) es de 0.09798, valor que comparado al valor de 0.05 (5 %) resulta superior, por tanto, hay motivos para no rechazar la hipótesis nula de igual de varianzas.

Anexos B

Mapa de ubicación

Figura B. 1. Ubicación del experimento.



Fuente: Elaboración propia.

Anexos C

Fotografías

Figura C. 1. Selección del terreno para la siembra de papa.

Fuente: Recopilación propia.

Figura C. 2. Siembra del cultivo de papa cultivar Amachi.

Fuente: Recopilación propia.

Figura C. 3. Monitoreo participativo de las parcelas experimentales.

Fuente: Recopilación propia.

Figura C. 4. Tubérculos de papa nativa cultivar Amachi listo para ser enviado a laboratorio.

Fuente: Recopilación propia.

Anexos D

Análisis de laboratorio

Figura D. 1. Análisis de suelos.

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE AGRONOMIA - DEPARTAMENTO DE SUELOS
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES

ANALISIS DE SUELOS : CARACTERIZACION

Solicitante : CARITAS ABANCAY

Departamento : APURIMAC
Distrito : SAÑAYCA
Referencia : H.R. 57188-191C-16

Fact.: 37341

Provincia : ABANCAY
Predio :
Fecha : 11/01/17

Número de Muestra		pH	C.E.	$CaCO_3$	M.O.	P	K	Análisis Mecánico			Clase Textural	CIC	Cationes Cambiables					Suma de Cationes	Suma de Bases	% Sat. De Bases
Lab	Claves							Arena	Limo	Arcilla			Ca^{+2}	Mg^{+2}	K^{+}	Na^{+}	$Al^{+3}+H^{+}$			
		(1:1)	(1:1) dS/m	%	%	ppm	ppm	%	%	%		meq/100g								
16579	Parcela Sañayca	4.18	0.74	0.00	19.42	144.4	180	44	43	13	Fr.	34.56	4.42	0.38	0.38	0.05	1.80	7.03	5.23	15
16580	Parcela Pucahuasi	4.72	0.17	0.00	14.06	146.3	119	38	47	15	Fr.	34.88	3.01	0.37	0.31	0.10	1.70	5.48	3.78	11
16581	Parcela Huarquiza	5.34	0.24	0.00	9.48	44.2	551	54	27	19	Fr.A.	30.88	14.00	1.87	1.22	0.05	0.20	17.33	17.13	55

A = Arena ; A.Fr. = Arena Franca ; Fr.A. = Franco Arenoso ; Fr. = Franco ; Fr.L. = Franco Limoso ; L = Limoso ; Fr.Ar.A. = Franco Arcillo Arenoso ; Fr.Ar. = Franco Arcilloso;
Fr.Ar.L. = Franco Arcillo Limoso ; Ar.A. = Arcillo Arenoso ; Ar.L. = Arcillo Limoso ; Ar. = Arcilloso

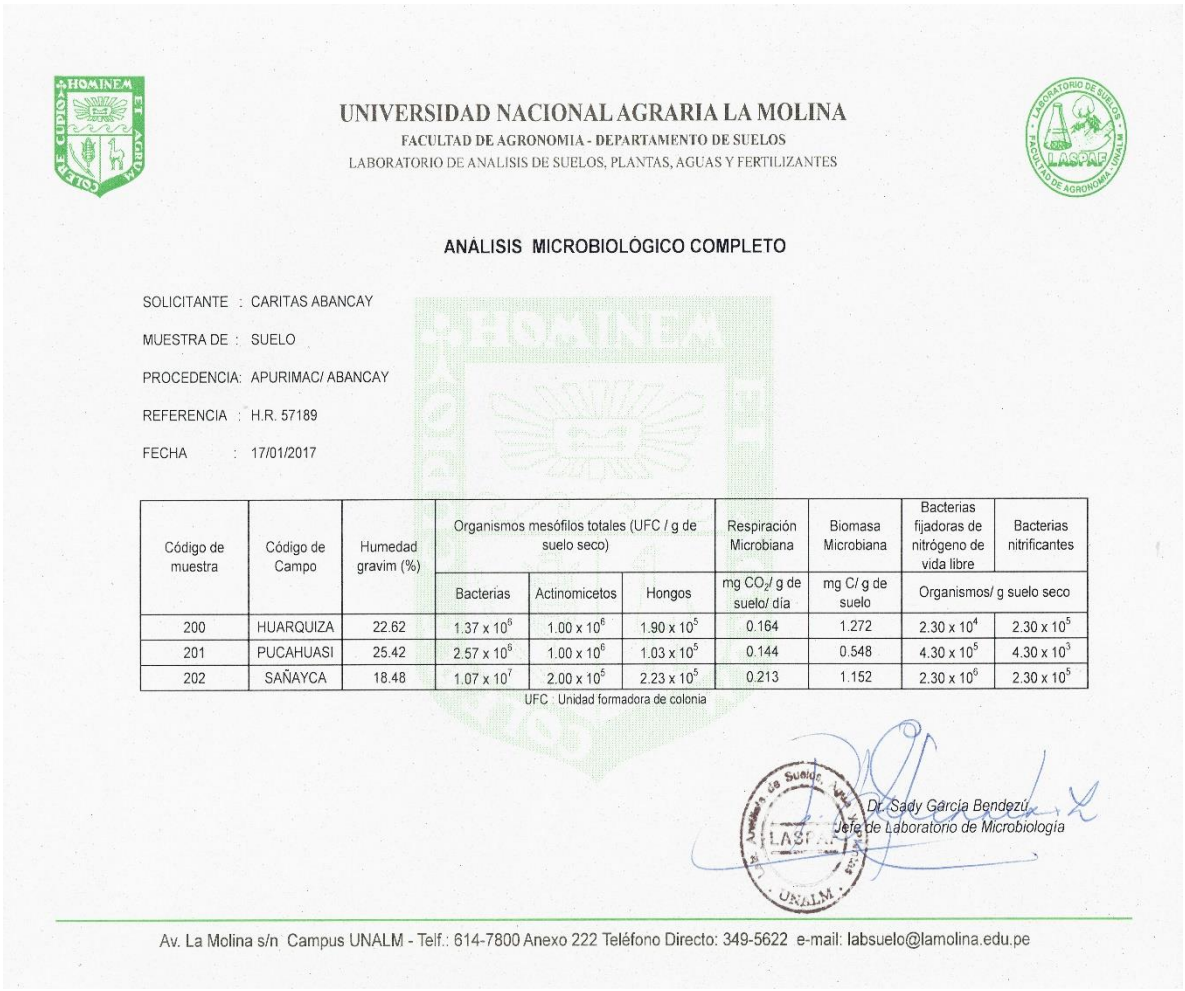
Número de Muestra		B	Cu	Fe	Mn	Zn	C Total
Lab.	Claves	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	%
16579	Parcela Sañayca	1.76	0.20	257.05	40.60	1.40	10.13
16580	Parcela Pucahuasi	0.14	0.20	95.10	17.20	1.10	7.85
16581	Parcela Huarquiza	1.22	3.90	297.90	42.40	6.60	4.66

Dr. Sady García Bendezú
Jefe del Laboratorio

Av. La Molina s/n Campus UNALM - Telf.: 614-7800 Anexo 222 Teléfono Directo: 349-5622 e-mail: labsuelo@lamolina.edu.pe

Fuente: UNALM.

Figura D. 2. Análisis microbiológico del suelo.



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE AGRONOMIA - DEPARTAMENTO DE SUELOS
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES

ANALISIS MICROBIOLÓGICO COMPLETO

SOLICITANTE : CARITAS ABANCAY
MUESTRA DE : SUELO
PROCEDENCIA: APURIMAC/ ABANCAY
REFERENCIA : H.R. 57189
FECHA : 17/01/2017

Código de muestra	Código de Campo	Humedad gravim (%)	Organismos mesófilos totales (UFC / g de suelo seco)			Respiración Microbiana	Biomasa Microbiana	Bacterias fijadoras de nitrógeno de vida libre	Bacterias nitrificantes
			Bacterias	Actinomicetos	Hongos	mg CO_2/ g de suelo/ día	mg C/ g de suelo	Organismos/ g suelo seco	
200	HUARQUIZA	22.62	1.37×10^6	1.00×10^6	1.90×10^5	0.164	1.272	2.30×10^4	2.30×10^5
201	PUCAHUASI	25.42	2.57×10^6	1.00×10^6	1.03×10^5	0.144	0.548	4.30×10^5	4.30×10^3
202	SAÑAYCA	18.48	1.07×10^7	2.00×10^5	2.23×10^5	0.213	1.152	2.30×10^6	2.30×10^5

UFC : Unidad formadora de colonia

Dr. Sady García Bendezú
Jefe de Laboratorio de Microbiología

Av. La Molina s/n Campus UNALM - Telf.: 614-7800 Anexo 222 Teléfono Directo: 349-5622 e-mail: labsuelo@lamolina.edu.pe

Fuente: UNALM.

Figura D. 3. Análisis de antocianinas en tubérculos de papa nativa cv Amachi.

	FORMATO DE REGISTRO DE CUANTIFICACION DE COMPUESTOS FENOLICOS TOTALES EN PAPA	UNIDAD DE LABORATORIO DE CIENCIAS
	CIP-QNL-01/F-17	Revisión 00 Setiembre 2017

Pág 1 de 1

Muestra: Papa Nativa - Evaluación de Cepas Microbianas en el Contenido de antocianinas y polifenoles totales en cultivos de papa nativa
Lugar Cosecha: Sañayca - Apurimac
Fecha Siembra: 23 Diciembre 2016
Fecha Cosecha: 31 Julio 2017
Fecha Preparación: 12 Setiembre 2017
Tipo muestra: Crudo con cáscara
Análisis: Antocianinas y CFT
Responsable: Yudy Bazan (Caritas Abancay)

Fecha	Numeración	Clon o nombre de la variedad	Código del clon	Repetición	Tratamiento	Cod Lab	CFT (mg/100g BS)	%MS
02-10-2017	1	AMACHI	AMACHI(1)	3	E	7280	1162.96	22.66
02-10-2017	2	AMACHI	AMACHI(1)	3	A	7281	1064.95	20.79
02-10-2017	3	AMACHI	AMACHI(1)	3	T	7282	881.57	18.70
02-10-2017	4	AMACHI	AMACHI(2)	3	E	7283	1237.90	24.15
02-10-2017	5	AMACHI	AMACHI(2)	3	A	7284	1198.14	22.94
02-10-2017	6	AMACHI	AMACHI(2)	3	T	7285	995.12	19.34
02-10-2017	7	AMACHI	AMACHI(3)	3	E	7286	1570.49	26.32
02-10-2017	8	AMACHI	AMACHI(3)	3	A	7287	1355.30	24.24
02-10-2017	9	AMACHI	AMACHI(3)	3	T	7288	1258.96	22.35

Leyenda:
Huarquiza (1)
Sañayca (2)
Pucahuasi (3)

Fuente: Centro Internacional de la Papa (CIP).

Figura D. 4. Análisis de polifenoles totales en tubérculos de papa nativa cv Amachi.

	FORMATO DE REGISTRO DE CUANTIFICACION DE COMPUESTOS FENOLICOS TOTALES EN PAPA	UNIDAD DE LABORATORIO DE CIENCIAS
	CIP-QNL-01/F-17	Revisión 00 Setiembre 2017

Pág 1 de 1

Muestra: Papa Nativa - Evaluación de Cepas Microbianas en el Contenido de antocianinas y polifenoles totales en cultivos de papa nativa
Lugar Cosecha: Sañayca - Apurimac
Fecha Siembra: 23 Diciembre 2016
Fecha Cosecha: 31 Julio 2017
Fecha Preparación: 12 Setiembre 2017
Tipo muestra: Crudo con cáscara
Análisis: Polifenoles y CFT
Responsable: Yudy Bazan (Caritas Abancay)

Fecha	Numeración	Clon o nombre de la variedad	Código del clon	Repetición	Tratamiento	Cod Lab	CFT (mg/100g BS)	%MS
02-10-2017	1	AMACHI	AMACHI(1)	3	E	7280	1948.13	22.66
02-10-2017	2	AMACHI	AMACHI(1)	3	A	7281	1801.31	20.79
02-10-2017	3	AMACHI	AMACHI(1)	3	T	7282	1431.44	18.70
02-10-2017	4	AMACHI	AMACHI(2)	3	E	7283	2194.27	24.15
02-10-2017	5	AMACHI	AMACHI(2)	3	A	7284	2000.88	22.94
02-10-2017	6	AMACHI	AMACHI(2)	3	T	7285	1650.35	19.34
02-10-2017	7	AMACHI	AMACHI(3)	3	E	7286	2655.23	26.32
02-10-2017	8	AMACHI	AMACHI(3)	3	A	7287	2489.01	24.24
02-10-2017	9	AMACHI	AMACHI(3)	3	T	7288	2249.62	22.35

Leyenda:
Huarquiza (1)
Sañayca (2)
Pucahuasi (3)

Fuente: Centro Internacional de la Papa (CIP).

Anexos E

Recopilación de datos

Tabla 25. Recopilación de datos provenientes de la localidad de Huarquiza.

LOCALIDAD	BLOQUES	TRATAMIENTO	RENDIMIENTO (g)
Huarquiza	I	Testigo	224.22
Huarquiza	I	Ecoterra	348.31
Huarquiza	I	Alicerce	308.93
Huarquiza	II	Testigo	227.61
Huarquiza	II	Ecoterra	349.32
Huarquiza	II	Alicerce	316.42
Huarquiza	III	Testigo	232.79
Huarquiza	III	Ecoterra	352.12
Huarquiza	III	Alicerce	315.42
Huarquiza	IV	Testigo	232.66
Huarquiza	IV	Ecoterra	351.76
Huarquiza	IV	Alicerce	315.31

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 26. Recopilación de datos provenientes de la localidad de Sañayca.

LOCALIDAD	BLOQUES	TRATAMIENTO	RENDIMIENTO (g)
Sañayca	I	Testigo	228.21
Sañayca	I	Ecoterra	380.42
Sañayca	I	Alicerce	321.08
Sañayca	II	Testigo	230.82
Sañayca	II	Ecoterra	382.03
Sañayca	II	Alicerce	328.57
Sañayca	III	Testigo	247.59
Sañayca	III	Ecoterra	384.23
Sañayca	III	Alicerce	327.57
Sañayca	IV	Testigo	235.90
Sañayca	IV	Ecoterra	383.87
Sañayca	IV	Alicerce	327.46

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 27. Recopilación de datos provenientes de la localidad de Pucahuasi.

LOCALIDAD	BLOQUES	TRATAMIENTO	RENDIMIENTO (g)
Pucahuasi	I	Testigo	223.79
Pucahuasi	I	Ecoterra	427.45
Pucahuasi	I	Alicerce	365.33
Pucahuasi	II	Testigo	242.06
Pucahuasi	II	Ecoterra	429.06
Pucahuasi	II	Alicerce	372.82
Pucahuasi	III	Testigo	248.91
Pucahuasi	III	Ecoterra	431.26
Pucahuasi	III	Alicerce	371.82
Pucahuasi	IV	Testigo	249.48
Pucahuasi	IV	Ecoterra	430.90
Pucahuasi	IV	Alicerce	371.71

Fuente: Elaboración propia.

Anexos F

Costo de producción

Costo de producción – Tratamiento Ecoterra

Tabla 28. Costo de producción/Ecoterra - Nivel tecnológico: Medio.

Actividad	Unidad	Cant.	C. U (S/.)	Total (S/.)
A. COSTO DIRECTO				
1. Preparación del terreno				
Arado	Horas/tractor	2	70.00	140.00
Rastra	Horas/tractor	2	70.00	140.00
Surcado	Horas/tractor	1	70.00	70.00
2. Siembra				
Desinfección	Jornal	2	40.00	80.00
Siembra	Jornal	12	40.00	80.00
1er abonamiento	Jornal	3	40.00	120.00
3. Labores culturales				
1er y 2do aporque	Jornal	32	40.00	1280.00
Control fitosanitario	Jornal	4	40.00	160.00
4. Cosecha				
Corte del follaje	Jornal	4	40.00	160.00
Apertura de surcos	Jornal	12	40.00	160.00
Recojo de tubérculos	Jornal	10	40.00	400.00
Selección y clasificación	Jornal	5	40.00	200.00
5. Insumos				
Adquisición de semilla	kg	1600	2.50	4000.00
cepa microbiana ECOTERRA	kg	4	250.00	1000.00
B. COSTO INDIRECTO				
Gastos generales (10%)				799.00
TOTAL				**8789.00**

Fuente: Elaboración propia.

El costo unitario de este tratamiento asignado por cada localidad es como sigue:

- Pucahuasi, en la localidad de Pucahuasi se proyecta un rendimiento por hectárea de 12276.29 kilogramos lo que resulta un costo por cada kilogramo de S/. 0.72 soles.

- Sañayca, en la localidad de Sañayca se proyecta un rendimiento por hectárea de 10929.71 kilogramos lo que resulta un costo por cada kilogramo de S/. 0.80 soles.
- Huarquiza, en la localidad de Huarquiza se proyecta un rendimiento por hectárea de 10015.14 kilogramos lo que resulta un costo por cada kilogramo de S/. 0.88 soles.

Costo de producción – Tratamiento Alicerce

Tabla 29. Costo de producción/Alicerce - Nivel tecnológico: Medio.

Actividad	Unidad	Cant.	C. U (S/.)	Total (S/.)
A. COSTO DIRECTO				
1. Preparación del terreno				
Arado	Horas/tractor	2	70.00	140.00
Rastra	Horas/tractor	2	70.00	140.00
Surcado	Horas/tractor	1	70.00	70.00
2. Siembra				
Desinfección	Jornal	2	40.00	80.00
Siembra	Jornal	12	40.00	80.00
1er abonamiento	Jornal	3	40.00	120.00
3. Labores culturales				
1er y 2do aporque	Jornal	32	40.00	1280.00
Control fitosanitario	Jornal	4	40.00	160.00
4. Cosecha				
Corte del follaje	Jornal	4	40.00	160.00
Apertura de surcos	Jornal	12	40.00	160.00
Recojo de tubérculos	Jornal	10	40.00	400.00
Selección y clasificación	Jornal	5	40.00	200.00
5. Insumos				
Adquisición de semilla	kg	1600	2.50	4000.00
cepa microbiana ALICERCE	kg	4	200.00	800.00
B. COSTO INDIRECTO				
Gastos generales (10%)				790.00
TOTAL				**8580.00**

Fuente: Elaboración propia.

El costo unitario de este tratamiento asignado por cada localidad es como sigue:

- Pucahuasi, en la localidad de Pucahuasi se proyecta un rendimiento por hectárea de 10583.43 kilogramos lo que resulta un costo por cada kilogramo de 0.81 soles.
- Sañayca, en la localidad de Sañayca se proyecta un rendimiento por hectárea de 9319.14 kilogramos lo que resulta un costo por cada kilogramo de 0.92 soles.

- Huarquiza, en la localidad de Huarquiza se proyecta un rendimiento por hectárea de 8972.00 kilogramos lo que resulta un costo por cada kilogramo de 0.96 soles.

Matriz de consistencia

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	METODOLOGÍA
Problema general ¿Cómo influye los pisos altitudinales y la aplicación de cepas microbianas en el rendimiento y propiedades bioquímicas en el cultivo de papa nativa cultivar Amachi? **Problemas específicos** ¿Cómo influye los pisos altitudinales y la aplicación de cepas microbianas en el rendimiento del cultivo de papa nativa cultivar Amachi? ¿Cómo influye los pisos altitudinales y la aplicación de cepas microbianas en las propiedades bioquímicas del cultivo de papa nativa cultivar Amachi?	**Objetivo general** Evaluar la influencia de pisos altitudinales y cepas microbianas en el rendimiento y propiedades bioquímicas en la papa nativa cultivar Amachi (*Solanum tuberosum subesp. andigena*) en Sañayca – Aymaraes. **Objetivos específicos** Determinar la influencia de distintos pisos altitudinales y cepas microbianas sobre el rendimiento del cultivo de papa nativa cultivar Amachi. Determinar la influencia de distintos pisos altitudinales y cepas microbianas en las propiedades bioquímicas del cultivo de papa nativa cultivar Amachi.	**Hipótesis general** Los pisos altitudinales y cepas microbianas influyen de manera favorable sobre el rendimiento y las propiedades bioquímicas de la papa nativa cultivar Amachi **Hipótesis específica** Los pisos altitudinales y cepas microbianas influyen de manera favorable sobre el rendimiento de la papa nativa cultivar Amachi. Los pisos altitudinales y cepas microbianas influyen de manera favorable sobre las propiedades bioquímicas de la papa nativa cultivar Amachi.	**Variable dependiente** • Rendimiento • Propiedades bioquímicas **Indicador:** • Peso de tubérculos obtenidos por superficie sembrada. • Concentración de antocianinas y polifenoles totales por 100g/BS **Variable independiente** • Pisos altitudinales. • Cepas microbianas. **Indicador:** • Cultivo de papa establecido a una altitud referente al nivel del mar. • Dosis por cada litro de agua.	**Tipo de investigación** En cuanto al método de investigación corresponde al deductivo, porque se parte de lo general (apoyados del marco teórico) para alcanzar conclusiones específicas **(Supo, 2020)** **Nivel de investigación** Por otra parte, esta investigación es de nivel "explicativo" debido a que su propósito es medir la relación funcional causa efecto entre las variables de investigación **(Supo, 2020)** en esta investigación se comprobó que las concentraciones de antocianinas, polifenoles totales y el rendimiento del cultivo de papa nativa cultivar Amachi estuvieron influenciadas por la aplicación de cepas microbianas y los pisos altitudinales en donde se sembró el cultivo. **Diseño de investigación** De acuerdo a la intención deliberada de parte del investigador por manipular las variables, corresponde a una investigación

				con diseño “experimental” **(Supo, 2020)**, por consiguiente, las variables fueron estrictamente controladas con el fin de observar los resultados en el cultivo de papa nativa y la información recabada sea de utilidad sobre el tema de investigación

Matriz de operacionalización de variables

Variable	Naturaleza de la variable	Forma de medir	Indicadores	Escala de medición	Instrumento y procedimiento de medición
Rendimiento	Cuantitativa	Directa	Gramos por planta	De razón	El instrumento a emplear será la balanza en el cual serán pesados los tubérculos una vez cosechados por cada unidad experimental.
Propiedades bioquímicas.	Cuantitativa	Directa	Contenido de antocianinas y polifenoles totales en 100g/BS .	De razón	Después de la cosecha, serán enviados al laboratorio para que por medio de la espectrometría se pueda determinar el contenido de polifenoles y antocianinas presentes en los tubérculos de papa nativa
Pisos altitudinales	Cuantitativa	Directa	Cultivo de papa establecido a una altitud referente al nivel del mar.	De razón	Con la ayuda de un GPS se selecciona los pisos altitudinales donde posteriormente serán instalados los cultivos.
Cepas microbianas	Cuantitativa	Directa	Dosis por cada litro de agua.	De razón	Con la ayuda de un dosificador se procedió la aplicación de las cepas microbianas al cultivo de papa nativa.

GLOSARIO DE TÉRMINOS

Bioquímica, la bioquímica es la encargada de estudiar la composición química de todo ser vivo.

Comercialización, consiste en la promoción de un producto agrícola determinado que va desde la propaganda, relaciones públicas, distribución y venta entre los demandantes (mercados).

Cuenca hidrográfica, forma hidrográfica que ocasiona que un determinado territorio progresivamente pierda altura en la medida que se acerca al mar.

Experimentación, la experimentación es el estudio de fenómenos particulares empleando el método científico.

Labores culturales, son las actividades que se realizan para darle el respectivo cuidado y mantenimiento necesario en los cultivos agrícolas durante su proceso fenológico hasta alcanzar la cosecha.

Seguridad alimentaria, la seguridad alimentaria es la disponibilidad de alimentos en el tiempo oportuno y de fácil acceso por las personas.

Semillas, existen dos tipos, la primera es una semilla botánica, que es el ovulo fecundado y que se encuentra maduro. En su parte interna se encuentra el embrión en estado latente listo para dar origen a una nueva vida; de otra parte, se tiene la semilla vegetativa que puede ser cualquier órgano de la planta que tiene la capacidad de multiplicarse para dar origen a una nueva planta.

Textura del suelo, la textura del suelo comprende la cantidad y tamaño de las sustancias inorgánicas. Estas sustancias inorgánicas comprenden limo, arcilla y arena; de acuerdo al contenido de estas dependen sus propiedades físicas que resultan de mayor importancia en la actividad agrícola.