

UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS DE APURÍMAC
FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



Tesis

Caracterización morfológica y cinéticas de compuestos orgánicos en papa nativa cacho de toro, cultivadas en aeroponía y suelo en invernadero

Presentado por:

Katerin Stefany Medrano Quispecahuana

Frank Luis Sierra Taipe

Para optar el título de Ingeniero Agroindustrial

Abancay, Perú

2024



UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS DE APURÍMAC
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



TESIS

Caracterización morfológica y cinéticas de compuestos orgánicos en papa nativa cacho de toro, cultivadas en aeroponía y suelo en invernadero

Presentado por **Katerin Stefany Medrano Quispecahuana** y **Frank Luis Sierra Taipe**, para optar el título de: Ingeniero Agroindustrial

Sustentado y aprobado el 09 de Setiembre de 2024, ante el jurado evaluador:

Presidente:



Dr. Juan Silver Barreto Carbajal

Primer Miembro:



Ing. Jorge Beltrán Mendoza Cáceres

Segundo Miembro:



M.Sc. Jinmer Bravo Apaza

Asesores:



M. Sc. Victor Hugo Sarmiento Casavilca



Dra. Guadalupe Chaquilla Quilca



CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD N° 146-2024

La Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac, a través de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería declara que, la Tesis intitulada **“Estudio de la caracterización morfológica y cinéticas de generación de compuestos orgánicos en papa nativa variedad cacho de toro, cultivadas en sistemas aeropónico y tradicional”**, presentado por la Bach. **Katerin Stefany Medrano Quispecahuana**, Para optar el Título de **Ingeniero Agroindustrial**; ha sido sometido a un mecanismo de evaluación y verificación de similitud, a través del Software Turnitin, siendo el índice de similitud **ACEPTABLE de (13%)** por lo que, cumple con los criterios de originalidad establecidos por la Universidad.

Abancay, 26 de agosto del 2024

 UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS
DE APURIMAC

Dr. Lintor Contreras Salas
DIRECTOR(E) DE LA UNIDAD DE INVESTIGACION
FACULTAD DE INGENIERIA

C. c.
Archivo
REG. N° 586



CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD N° 147-2024

La Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac, a través de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería declara que, la Tesis intitulada **“Estudio de la caracterización morfológica y cinéticas de generación de compuestos orgánicos en papa nativa variedad cacho de toro, cultivadas en sistemas aeropónico y tradicional”**, presentado por el Bach. **Frank Luis Sierra Taipe**, Para optar el Título de **Ingeniero Agroindustrial**; ha sido sometido a un mecanismo de evaluación y verificación de similitud, a través del Software Turnitin, siendo el índice de similitud **ACEPTABLE de (13%)** por lo que, cumple con los criterios de originalidad establecidos por la Universidad.

Abancay, 26 de agosto del 2024

 UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS
DE APURIMAC

Dr. Lirio Contreras Salas
DIRECTOR(E) DE LA UNIDAD DE INVESTIGACION
FACULTAD DE INGENIERIA

C. c.
Archivo
REG. N° 587

Agradecimiento

Agradecemos a la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Agroindustrial, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac. A nuestros queridos docentes de aulas universitarias, quienes nos han brindado la oportunidad de compartir y mejorar los conocimientos mediante una educación de calidad. A nuestros asesores M.Sc. Victor Hugo Sarmiento Casavilca y Dra. Guadalupe Chaquilla Quilca, de igual manera al Ing. Justo Flavio Arias Motta., por su acompañamiento durante la elaboración de esta tesis.

Esta tesis fue ganadora y financiada parcialmente, a través del Vicerrectorado de Investigación de la UNAMBA, mediante el V Concurso de Investigación Científica y Tecnológica de Proyectos de Tesis de Pregrado, financiado con Fondos de Canon, Sobre canon y Regalías mineras 2023.



Dedicatoria

Agradezco a Dios por haberme permitido llegar hasta este momento de mi formación profesional y por haberme brindado la salud necesaria para alcanzar mis objetivos. Su infinita bondad y amor han sido mi guía. A mis queridos padres, Santosa y Ronald, quienes han sido el pilar más importante y en mi vida. Siempre me han demostrado un amor incondicional y un apoyo constante, lo cual me ha impulsado a culminar una meta en mi camino. También quiero agradecer a la madre Indhira, mi primo Celestino y a mi hermanos, Liliana y Antony, por estar presentes en los momentos significativos de mi vida.

Katerin Stefany Medrano Quispecahuana

Dedico esta tesis a mi madre Benigna quien me brinda su bendición y su apoyo incondicional en este camino de la vida, que me deja la educación como herencia. A mi padre quien desde el cielo me protege y guía mi sendero. Agradezco el apoyo de mis hermanos Elmer, Fredy, Soledad y Nilda, con quienes crecí, me guiaron, me apoyaron, y de alguna manera también me dieron una cultura, valores y respeto.

Frank Luis Sierra Taipe



Estudio de la caracterización morfológica y cinéticas de generación de compuestos orgánicos en papa nativa variedad cacho de toro, cultivadas en sistemas aeropónico y suelo

Línea de Investigación: Caracterización, desarrollo de procesos e innovación en la agroindustria

Esta publicación está bajo una Licencia Creative Commons



ÍNDICE

	Pág.
INTRODUCCIÓN	1
RESUMEN	3
ABSTRACT	4
CAPÍTULO I	5
PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA	5
1.1 Descripción del problema	5
1.2 Enunciado del problema	6
1.2.1 Problema general	6
1.2.2 Problemas específicos.....	6
1.3 Justificación de la investigación	6
CAPÍTULO II	8
OBJETIVOS E HIPÓTESIS	8
2.1 Objetivo de la investigación.....	8
2.1.1 Objetivo general	8
2.1.2 Objetivos específicos	8
2.2 Hipótesis de la investigación	8
2.2.1 Hipótesis general	8
2.2.2 Hipótesis específicas.....	9
2.3 Operacionalización de variables	10
CAPÍTULO III	11
MARCO TEÓRICO REFERENCIAL	11
3.1 Antecedentes	11
3.1.1 Internacional	11
3.1.2 Nacional.....	12
3.1.3 Local	13
3.2 Marco teórico	14
3.2.1 Papas nativas.....	14
3.2.2 Sistema de producción.....	21
3.2.3 Colorimetría CIE	26
3.2.4 Compuestos fenólicos.....	26
3.2.5 Antioxidantes.....	28
3.2.6 Técnicas instrumentales.....	31
3.3 Marco conceptual.....	33



CAPÍTULO IV	34
METODOLOGÍA	34
4.1 Tipo y nivel de investigación	34
4.2 Diseño de la investigación	34
4.3 Población y muestra	36
4.3.1 Población	36
4.3.2 Muestra	37
4.4 Procedimiento	37
4.5 Técnica e instrumentos	55
4.5.1 Utensilios de laboratorio.....	55
4.5.2 Utensilio aeropónico.....	55
4.5.3 Equipos de laboratorio.....	57
4.5.4 Equipos de aeroponía.....	57
4.5.5 Reactivos	58
4.5.6 Solventes.....	58
4.5.7 Otros materiales	58
4.5.8 Técnicas estadísticas.....	58
4.6 Análisis estadístico.....	59
CAPÍTULO V	60
RESULTADOS Y DISCUSIONES	60
5.1 Análisis de resultados	60
5.1.1 Resultados emergentes de diseño y construcción del invernadero para el cultivo del sistema aeropónico y suelo.....	60
5.1.2 Determinación de caracterización morfológica.....	62
5.1.3 Determinación de generación de color de tubérculos de papa cacho de toro.....	68
5.1.4 Determinación de características fisicoquímicas.....	69
5.1.5 Determinación de propiedades funcionales	72
5.2 Contratación de hipótesis	81
5.3 Discusiones	84
5.3.1 Caracterización morfológica.....	84
5.3.2 Generación de color.....	87
5.3.3 Características fisicoquímicas	88
5.3.4 Propiedades funcionales	90
CAPÍTULO VI	95
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	95
6.1 Conclusiones	95
6.2 Recomendaciones	96



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	97
ANEXOS	112



ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 — Variables descriptivas	10
Tabla 2 — Cultivares de la papa.....	16
Tabla 3 — Cualidades de la papa nativa “cacho de toro”.....	18
Tabla 4 — Composición nutricional de la papa nativa.....	21
Tabla 5 — Capacidad Antioxidante en tubérculos andinos.....	29
Tabla 6 — Diseño de investigación para la evaluación por 158, 187 y 201 días los cultivos de aeroponía y en suelo.....	35
Tabla 7 — Diseño experimental de papa cacho de toro cultivada por aeroponía y suelo	35
Tabla 8 — Diseño de investigación	36
Tabla 9 — Datos de análisis de suelo para el cultivo en suelo	39
Tabla 10 — Análisis de agua para la preparación de solución nutritiva.....	39
Tabla 11 — Dosis de nutrientes para 1000 L de agua después de trasplante de plántulas al contenedor aeropónico	45
Tabla 12 — Análisis de solución nutritiva para aeroponía.....	45
Tabla 13 — Datos de las concentraciones para la obtención de la curva patrón de polifenoles totales	51
Tabla 14 — Formulación de curva patrón de Trolox.....	53
Tabla 15 — Concentraciones de Trolox y etanol para la curva.....	54
Tabla 16 — Datos de color de papa nativa variedad cacho de toro cosechadas a los 158, 187 y 201 días	68
Tabla 17 — Interpretación FTIR del tubérculo papa cacho de toro	77
Tabla 18 — Interpretación FTIR del extracto papa cacho de toro.....	81
Tabla 19 — Comparación de dimensiones de plantas y grosor de tallo en cultivos aeropónicos y suelos.....	126
Tabla 20 — Análisis fisicoquímicos de cultivos en aeroponía y suelo a los 158, 187 y 201 días	127
Tabla 21 — ANOVA para tamaño de la planta de los dos cultivos: aeroponía y suelo	128
Tabla 22 — ANOVA para grosor de tallo de los dos cultivos: aeroponía y suelo	128
Tabla 23 — Análisis de varianza para tamaño polar (longitud) por tratamientos	129

Tabla 24 — Pruebas de múltiples rangos de Tukey para tamaño polar por tratamiento	129
Tabla 25 — Análisis de varianza para tamaño ecuatorial (diámetro) por tratamientos.....	130
Tabla 26 — Pruebas de múltiples rangos de Tukey para tamaño ecuatorial por tratamiento	130
Tabla 27 — Análisis de varianza para peso por tratamientos.....	131
Tabla 28 — Pruebas de múltiples rangos de Tukey para peso por tratamiento.....	131
Tabla 29 — Análisis de varianza para porcentaje de humedad por tratamientos.....	132
Tabla 30 — Pruebas de múltiples rangos de Tukey para porcentaje humedad por tratamiento	132
Tabla 31 — Análisis de varianza para % ceniza por tratamientos.....	133
Tabla 32 — Pruebas de múltiples rangos de Tukey para % ceniza por tratamiento.....	133
Tabla 33 — Análisis de varianza para % acidez por tratamientos.....	134
Tabla 34 — Pruebas de múltiples rangos de Tukey para % acidez por tratamiento.....	134
Tabla 35 — Análisis de varianza para pH por tratamientos	135
Tabla 36 — Pruebas de múltiples rangos de Tukey para pH por tratamiento	135
Tabla 37 — Análisis de varianza para polifenoles por tratamientos	136
Tabla 38 — Pruebas de múltiples rangos de Tukey para polifenoles por tratamiento	136
Tabla 39 — Análisis de varianza para DPPH por tratamientos.....	137
Tabla 40 — Pruebas de múltiples rangos de Tukey para DPPH por tratamientos	137
Tabla 41 — Análisis de varianza para ABTS por tratamientos.....	138
Tabla 42 — Pruebas de múltiples rangos de Tukey para ABTS por tratamiento.....	139
Tabla 43 — Prueba de Kruskal-Wallis para tamaño de la planta (cm) por días.....	140
Tabla 44 — Prueba de Kruskal-Wallis para grosor del tallo (cm) por días.....	141
Tabla 45 — Prueba de Kruskal-Wallis para tamaño polar por tratamiento.....	143
Tabla 46 — Prueba de Kruskal-Wallis para tamaño ecuatorial por tratamiento	143
Tabla 47 — Prueba de Kruskal-Wallis para peso por tratamiento	144
Tabla 48 — Prueba de Kruskal-Wallis para humedad por tratamiento	144
Tabla 49 — Prueba de Kruskal-Wallis para ceniza por tratamiento.....	144
Tabla 50 — Prueba de Kruskal-Wallis para acidez por tratamiento.....	145
Tabla 51 — Prueba de Kruskal-Wallis para pH por tratamiento.....	145
Tabla 52 — Prueba de Kruskal-Wallis para polifenoles por tratamiento	146
Tabla 53 — Prueba de Kruskal-Wallis para DPPH por tratamiento.....	146
Tabla 54 — Prueba de Kruskal-Wallis para ABTS por tratamiento.....	146
Tabla 55 — Pruebas de normalidad para tamaño de la planta.....	147

Tabla 56 — Pruebas de normalidad para grosor del tallo.....	148
Tabla 57 — Pruebas de normalidad para tamaño polar.....	149
Tabla 58 — Pruebas de normalidad para tamaño ecuatorial.....	150
Tabla 59 — Pruebas de normalidad para peso del tubérculo.....	151
Tabla 60 — Pruebas de normalidad para humedad.....	152
Tabla 61 — Pruebas de normalidad para ceniza.....	153
Tabla 62 — Pruebas de normalidad para acidez.....	154
Tabla 63 — Pruebas de normalidad para pH.....	155
Tabla 64 — Pruebas de normalidad para polifenoles.....	156
Tabla 65 — Pruebas de normalidad para DPPH.....	157
Tabla 66 — Pruebas de normalidad para ABTS.....	158



ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 — Etapas fenológicas de la papa <i>Solanum sp.</i>	17
Figura 2 — Sistema Aeropónico	22
Figura 3 — Cultivo en suelo.....	23
Figura 4 — El diagrama del espacio de color CIELAB	26
Figura 5 — Estructuras de compuestos fenólicos.....	27
Figura 6 — Estructura del DPPH antes y después de la reacción con el antioxidante.....	30
Figura 7 — Estructura del ABTS antes y después de la reacción con el antioxidante.....	31
Figura 8 — Partes de la espectrofotometría UV-visible.....	32
Figura 9 — Diagrama de bloques de componentes del FTIR.....	32
Figura 10 — Dimensiones del invernadero	40
Figura 11 — Plano del invernadero.....	41
Figura 12 — Construcción de contenedor aeropónico, uso de tornillos.....	42
Figura 13 — Especificaciones y sus medidas del contenedor aeropónico	43
Figura 14 — Diagrama de flujo de obtención de extracto de papa nativa.....	50
Figura 15 — Esquema del sistema invernadero 3D tipo capilla.....	61
Figura 16 — Tamaño del crecimiento de planta de cultivo de aeroponía y suelo.....	62
Figura 17 — Grosor del tallo de la planta del cultivo aeropónico y suelo	63
Figura 18 — Tamaño polar (longitud) del tubérculo de la papa cultivada por aeroponía y el suelo	64
Figura 19 — Tamaño ecuatorial (diámetro) del tubérculo de la papa nativa por aeroponía y el suelo	65
Figura 20 — Peso del tubérculo de papa nativa cultivada por aeroponía y el suelo	66
Figura 21 — Rendimiento total de producción de papa nativa cacho de toro cultivada por aeroponía y suelo	67
Figura 22 — Porcentaje de humedad de papa cacho de toro cosechadas a los 158 días, 187 días y 201 días.....	69
Figura 23 — Porcentaje de ceniza de papa cacho de toro cosechadas a los 158 días, 187 días y 201 días.....	70

Figura 24 — Porcentaje de acidez de papa cacho de toro cosechadas a los 158 días, 187 días y 201 días	71
Figura 25 — Potencial de hidrogeniones (pH) de papa cacho de toros cosechados a los 158 días, 187 días y 201 días	72
Figura 26 — Compuestos de polifenoles totales por tratamientos	73
Figura 27 — Gráfico de interacciones de los dos cultivos por el método DPPH.....	74
Figura 28 — Gráfico de interacciones de los dos cultivos por el método ABTS.....	75
Figura 29 — Estructura molecular de amidas primarias	76
Figura 30 — Estructura molecular de hidrocarburos alifáticos	76
Figura 31 — Espectros del tubérculo cacho de toro cultivada por aeroponía y suelo a los 201 días	78
Figura 32 — Estructura molecular de ésteres alifáticos	79
Figura 34 — Vista aérea del invernadero	113
Figura 35 — Vista aérea del invernadero para cultivo suelo y aeropónico	114
Figura 36 — Vista trasera del invernadero	114
Figura 37 — Vista lateral del invernadero para el cultivo aeropónico y suelo	115
Figura 38 — Esquema 3D de contenedor de la aeroponía	116
Figura 39 — Resultados de análisis de suelo realizado en la investigación.....	117
Figura 40 — A) Cultivo del suelo (antes) y B) Cultivo del suelo (después).....	118
Figura 41 — A) Cultivo del suelo en cosecha (antes) y B) Cultivo del suelo en cosecha (después).....	118
Figura 42 — A) Sistema aeropónico (antes) y B) Sistema aeropónico (después).....	119
Figura 43 — A) Raíces del sistema aeropónico (antes) y B) Sistema aeropónico (después)	119
Figura 44 — Visita de los asesores al invernadero del sistema aeropónico y del suelo.....	120
Figura 45 — B1) Cosecha del suelo repetición 1, B2) Cosecha de suelo repetición 2 y B3) Cosecha de suelo repetición 3.....	120
Figura 46 — B1) Cosecha del cultivo de suelo repetición 1 y B2) Cosecha del cultivo de suelo repetición 2.....	121
Figura 47 — B3) Cosecha del cultivo de suelo repetición 3 y A3) Cosecha del cultivo aeropónico repetición 4.....	121
Figura 48 — A1) Cosecha aeropónico rep: 1 y A2) Cosecha aeropónico rep: 2	122
Figura 49 — A3) Cosecha aeropónico rep: 3 y B1) Cosecha de suelo rep: 1	122
Figura 50 — B2) Cosecha de suelo rep: 2 y B3) Cosecha de suelo rep: 3	122

Figura 51 — Análisis de humedad de aeroponía y suelo	123
Figura 52 — Uso del colorímetro para detección de color	123
Figura 53 — Extracto de cultivo del suelo en la I cosecha (158 días) y B) cultivo aeropónico y del suelo en la II cosecha (187 días)	123
Figura 54 — A) Extracto de cultivo del aeropónico en la III cosecha (201 días) y B) del suelo en la III cosecha (201 días)	124
Figura 55 — A) Evaluación de polifenoles y B) Evaluación de DPPH	124
Figura 56 — Evaluación de ABTS	124
Figura 57 — Curva de calibración para la determinación de compuestos fenólicos.....	125
Figura 58 — Curva de calibración para la evaluación de la capacidad antioxidante mediante el método DPPH	125
Figura 59 — Curva de calibración para la cuantificación de la capacidad antioxidante usando el método ABTS	126
Figura 60 — Medias de Tukey para tamaño polar	129
Figura 61 — Medias de Tukey para tamaño ecuatorial del tubérculo	130
Figura 62 — Medias de Tukey para peso del tubérculo	131
Figura 63 — Medias de Tukey para humedad del tubérculo.....	132
Figura 64 — Medias de Tukey para ceniza del tubérculo	133
Figura 65 — Medias de Tukey para ceniza del tubérculo	134
Figura 66 — Medias de Tukey para pH del tubérculo	135
Figura 67 — Medias de Tukey para polifenoles del tubérculo.....	136
Figura 68 — Interacciones del % inhibición de DPPH de aeroponía y suelo	138
Figura 69 — Medias de Tukey para DPPH del tubérculo	138
Figura 70 — Interacciones de % inhibición de ABTS de aeroponía y suelo	139
Figura 71 — Medias de Tukey para DPPH del tubérculo	140
Figura 72 — Histograma para tamaño de planta (cm).....	147
Figura 73 — Gráfica cuantil-cuantil de tamaño de la planta (cm)	148
Figura 74 — Histograma para grosor de la planta (cm)	148
Figura 75 — Gráfica cuantil-cuantil de grosor de la planta (cm).....	149
Figura 76 — Histograma para tamaño polar	149
Figura 77 — Gráfica cuantil-cuantil de tamaño polar	150
Figura 78 — Histograma para tamaño ecuatorial	150
Figura 79 — Gráfica cuantil-cuantil de tamaño ecuatorial.....	151
Figura 80 — Histograma para peso del tubérculo	151

Figura 81 — Gráfica cuantil-cuantil de peso del tubérculo.....	152
Figura 82 — Histograma para humedad del tubérculo.....	152
Figura 83 — Gráfica cuantil-cuantil de humedad del tubérculo	153
Figura 84 — Histograma para ceniza del tubérculo	153
Figura 85 — Gráfica cuantil-cuantil de ceniza del tubérculo.....	154
Figura 86 — Histograma para acidez del tubérculo	154
Figura 87 — Gráfica cuantil-cuantil de acidez del tubérculo.....	155
Figura 88 — Histograma para pH del tubérculo.....	155
Figura 89 — Gráfica cuantil-cuantil de acidez del tubérculo.....	156
Figura 90 — Histograma para polifenoles del tubérculo.....	156
Figura 91 — Gráfica cuantil-cuantil de polifenoles del tubérculo	157
Figura 92 — Histograma para DPPH del tubérculo	157
Figura 93 — Gráfica cuantil-cuantil de DPPH del tubérculo.....	158
Figura 94 — Histograma para ABTS del tubérculo	158
Figura 95 — Gráfica cuantil-cuantil de ABTS del tubérculo.....	159



INTRODUCCIÓN

La papa nativa (*Solanum tuberosum sp.*), es un tubérculo originario de la Cordillera del Sur de América, proveniente de las regiones de Perú y Bolivia, estas regiones poseen condiciones naturales geográficas que permitieron desarrollar características particulares en forma y composición química en la papa (MINAGRI et al., 2017).

En la actualidad, la papa nativa es apreciada por su alto contenido de antocianinas y polifenoles, lo que le confiere propiedades nutritivas y resaltan sus cualidades en cuanto al sabor, por esta razón son enormemente valoradas por agricultores, consumidores y nutricionistas (Monteros et al., 2005). Al mismo tiempo Fuenzalida (2008), menciona que las antocianinas como agente antioxidante normaliza el equilibrio homeostático, y se le atribuye propiedades que reducen la aparición de cáncer y enfermedades cardiovasculares.

La aplicación de nuevas tecnologías en la agricultura y la necesidad de reducir el impacto ambiental de la agricultura intensiva ha permitido experimentar con nuevas técnicas de cultivo como es la aeroponía, en esta técnica se exponen las raíces de las plantas a microgotas saturadas de solución nutritiva, esto logra en los tubérculos grandes ventajas en cuanto a la calidad del producto, el crecimiento de las plantas, ahorro en el consumo de agua, etc. (Dávila Y Santos, 2014).

El sistema aeropónico reduce el uso de agua en un 98%, el uso de fertilizantes en un 60% y elimina el uso de pesticidas. Se ha comprobado que las plantas cultivadas en un sistema aeropónico absorben más minerales y vitaminas, haciéndolas más sanas y nutritivas (NASA Spinoff, 2008). En Perú este método de cultivo es escaso y carece de automatización, asimismo en el sector agrícola se utiliza agua en gran cantidad (riego por inundación), mayoritariamente se práctica el cultivo en suelo que este depende mucho de la tierra en grandes extensiones, ocasionando como consecuencia el incremento de la deforestación y la erosión del suelo.

En el contexto de esta investigación, se diseñó y construyó un invernadero en el cual se instalaron sistemas aeropónicos y suelos para obtener semillas pre-básicas. Se utilizó una única



variedad de papa nativa, el cacho de toro (*Solanum tuberosum sp.*). Al transcurrir los 158, 187 y 201 días, se determinó la caracterización morfológica del desarrollo de los tubérculos. Además, se realizó una caracterización fisicoquímica y colorimétrica utilizando el método CIELab, así como la identificación de compuestos orgánicos mediante espectrofotometría UV-Visible y FTIR en los laboratorios de Análisis de Productos Agroindustriales y Biotecnología Agroindustrial de la UNAMBA.



RESUMEN

El objetivo de este estudio fue evaluar las características de las semillas pre-básicas de papas de la variedad cacho de toro (*Solanum tuberosum sp.*), cultivadas en condiciones aeropónicas y en suelo, y cosechadas a los 158, 187 y 201 días. Se analizaron aspectos como morfología, colorimetría, propiedades fisicoquímicas, contenido de polifenoles totales, capacidad antioxidante e identificación de compuestos orgánicos mediante FTIR. Los datos fueron analizados utilizando un Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA) con tres repeticiones y análisis de varianza (ANOVA) simple. Los propiedades morfológicas, colorimétricas, fisicoquímicas y funcionales de los seis tratamientos mostraron variaciones significativas: el tamaño polar osciló entre 3.08 y 3.86 cm, el tamaño ecuatorial entre 1.48 y 2.16 cm, y el peso entre 4.39 y 8.92 g. Los valores de color de pulpa y cáscara presentaron valores de L*, a* y b*; tonos más oscuros, rojizos y amarillos, con humedad del 77.02 al 90.38 %, ceniza del 7.11 al 13.37 %, acidez de 0.13 a 0.42 mg de ácido ascórbico/100 g, pH de 5.96 a 6.35, polifenoles totales de 278.04 a 557.89 mg EAG/100 g (B.S), capacidad antioxidante por DPPH del 38.77 al 56.59 % e inhibición por ABTS del 8.20 al 36.45 %. El análisis FTIR identificó compuestos como almidón, carbohidratos, polifenoles, antocianinas, lípidos y proteínas amidas I y II en el tubérculo. Los resultados indicaron que el cultivo en suelo a los 158 días mostró valores más altos en comparación con la aeroponía a los 201 días.

Palabras clave: *Aeroponía, colorimetría, compuestos orgánicos, morfología, semillas pre-básicas, Solanum tuberosum.*



ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the characteristics of pre-basic seeds of the cacho de toro potato variety (*Solanum tuberosum* sp.), cultivated under aeroponic conditions and in soil, and harvested at 158, 187, and 201 days. Aspects such as morphology, colorimetry, physicochemical properties, total polyphenol content, antioxidant capacity, and identification of organic compounds using FTIR were analyzed. The data were analyzed using a Completely Randomized Block Design (DBCA) with three replications and simple analysis of variance (ANOVA). The morphological, colorimetric, physicochemical, and functional properties of the six treatments showed significant variations: the polar size ranged from 3.08 to 3.86 cm, the equatorial size from 1.48 to 2.16 cm, and the weight from 4.39 to 8.92 g. The color values of the flesh and skin presented L*, a*, and b* values; darker, reddish, and yellowish tones, with moisture content ranging from 77.02% to 90.38%, ash content from 7.11% to 13.37%, acidity from 0.13 to 0.42 mg of ascorbic acid/100 g, pH from 5.96 to 6.35, total polyphenols from 278.04 to 557.89 mg EAG/100 g (B.S.), antioxidant capacity by DPPH from 38.77% to 56.59% inhibition, and ABTS inhibition from 8.20% to 36.45%. The FTIR analysis identified compounds such as starch, carbohydrates, polyphenols, anthocyanins, lipids, and amide proteins I and II in the tuber. The results indicated that the soil cultivation at 158 days showed higher values compared to aeroponics at 201 days.

Keywords: *Aeroponics, colorimetry, organic compounds, morphology, pre-basic sedes, Solanum tuberosum.*



CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA

1.1 Descripción del problema

Las papas nativas poseen antioxidantes, compuestos químicos que ayudan a combatir enfermedades degenerativas e inflamatorias (López et al., 2019). La producción de semillas prebásicas utilizando técnicas de aeroponía y cultivo en suelo en invernadero presenta un reto importante: entender como los radicales libres, que se generan durante el crecimiento de las plantas, pueden afectar su desarrollo y calidad. Estos radicales son responsables de diversas enfermedades y pueden causar daños en el ADN, lo que pone en riesgo de la viabilidad y salud de las semillas. Por lo tanto, es esencial explorar como los antioxidantes que se encuentran en las plantas pueden ayudar a mitigar los efectos adversos de la oxidación. Esto no solo favorecería un entorno más propicio para la producción de semillas, sino que también contribuiría a prevenir problemas de salud en los cultivos y sus productos. En la actualidad, la búsqueda de diversas fuentes de antioxidantes para contrarrestar la presencia de radicales libres es de gran interés para prevenir el desarrollo de enfermedades relacionadas con el estrés oxidativo (Nguyen et al., 2018).

En las zonas rurales de las regiones de Apurímac y Huancavelica, los niños consumen 200 g de papa al día, especialmente las variedades nativas (Fonseca et al., 2014).

Aunque el Perú cuenta con condiciones adecuadas para el cultivo de papas nativas, existen una serie de problemas que limitan esta actividad. Entre ellos se encuentran la deforestación, que genera grandes espacios al talar bosques para adecuar terrenos; la erosión del suelo debido al uso de químicos y fertilizantes y sistemas de riego inadecuados (Egúsquiza, 2013).

Dado que no existen evidencias de estudios que hayan evaluado el contenido de polifenoles, la capacidad antioxidante, las características morfológicas, fisicoquímicas y la colorimetría de papa cacho de toro (*Solanum tuberosum sp.*) cultivada en aeroponía y en suelo, esta investigación propone construir un invernadero para el cultivo de estas papas. Dentro de esta infraestructura, se plantea implementar tanto el sistema en suelo como el sistema aeropónico a una altitud de 2400 m s.n.m. Esto proporcionará información valiosa



a los agricultores sobre el momento óptimo para la cosecha, basada en la evaluación de los diferentes sistemas de cultivo.

1.2 Enunciado del problema

1.2.1 Problema general

¿Cómo afecta el método de cultivo aeropónico y suelo bajo invernadero, así como su interacción con diferentes momentos de evaluación (158, 187 y 201 días después de la cosecha), en las características morfológicas, colorimetría, propiedades fisicoquímicas y composición de compuestos orgánicos de la variedad de papa “cacho de toro” (*Solanum tuberosum sp.*)?

1.2.2 Problemas específicos

- ¿Cuál será la caracterización morfológica de la papa nativa (*Solanum tuberosum sp.*) producida mediante un sistema aeropónico y el suelo según tamaño, peso y rendimiento?
- ¿Cuál será la colorimetría de la papa nativa (*Solanum tuberosum sp.*) en pulpa y cáscara cultivada mediante un sistema aeropónico y suelo?
- ¿Cuál será la caracterización fisicoquímica de la papa nativa (*Solanum tuberosum sp.*) cultivada mediante sistema aeropónico y suelo según humedad, ceniza, acidez titulable y pH?
- ¿Cuál es la cinética de generación de compuestos antioxidantes en la papa cacho de toro (*Solanum tuberosum sp.*), cultivada en sistemas aeropónicos y en suelo?

1.3 Justificación de la investigación

La aeroponía ofrece ventajas significativas en el cultivo de papas nativas, maximiza la eficiencia en el uso de agua y nutrientes al suministrar directamente una solución nutritiva en forma de niebla, lo que mejora la absorción. Además, proporciona un control preciso del entorno radicular, optimizando el crecimiento en condiciones controladas. Al eliminar el suelo, reduce las enfermedades transmitidas por este, lo que es crucial para las papas nativas. También acelera el ciclo de cultivo, permitiendo cosechas más frecuentes, y facilita la experimentación con distintas variedades, beneficiando la conservación y mejora genética de las papas nativas (Esquivel, 2017).



Según Nichols (2005), la aeroponía reduce los costos de producción al eliminar la necesidad de tierra y minimizar el uso de agua y fertilizantes, lo que baja los gastos operativos. Permite una mayor rentabilidad al incrementar el rendimiento por unidad de superficie y facilita el acceso a mercados premium con papas de alta calidad. Además, acelera el ciclo de cultivo para cosechas más frecuentes y disminuye el riesgo financiero, protegiendo la inversión y asegurando ingresos más estables.

La aeroponía, según Nichols (2005), mejora la seguridad alimentaria al permitir a los agricultores producir papas nativas de manera eficiente durante todo el año, garantizando un suministro constante. También puede aumentar los ingresos al permitir el cultivo de papas de alta calidad con menos riesgos y recursos. Fomenta la innovación y sostenibilidad, posicionando a los agricultores como líderes en prácticas avanzadas y atrayendo apoyo para el desarrollo agrícola. Además, reduce la pobreza rural al mejorar la eficiencia y disminuir los costos de insumos, permitiendo una mayor producción en espacios reducidos. Finalmente, promueve el empoderamiento comunitario al facilitar la cooperación y el intercambio de conocimientos entre agricultores.

Salas y Tovalino (2018) destacan que la aeroponía reduce significativamente el consumo de agua al aplicar una solución nutritiva en forma de niebla, lo que también disminuye los costos en regiones con agua limitada. Al eliminar el suelo, previene la erosión y mantiene la salud del ecosistema. Además, disminuye el uso de agroquímicos, reduciendo costos y contaminación. La aeroponía también reduce la huella de carbono al requerir menos espacio y fomenta la sostenibilidad con ciclos de cultivo más rápidos, beneficiando a los agricultores al optimizar recursos y minimizar impactos ambientales.

Considerando lo expuesto anteriormente, resulta de gran relevancia investigar la caracterización morfológica, fisicoquímica, colorimétrica y la generación de compuestos antioxidantes mediante los métodos CIELab y espectrofotométricos UV-Visible en las papas nativas variedad cacho de toro (*Solanum tuberosum* sp.). Estas papas se obtuvieron tanto de un sistema aeropónico como de un sistema del suelo, evaluando diferentes cosechas a los 158, 187 y 201 días.



CAPÍTULO II OBJETIVOS E HIPÓTESIS

2.1 Objetivo de la investigación

2.1.1 Objetivo general

Determinar la influencia de tipo de cultivo (aeropónico y en suelo) y los diferentes tiempos de cosecha (158, 187 y 201 días) en un entorno de invernadero controlado sobre las características morfológicas, parámetros colorimétricos, las propiedades fisicoquímicas y la composición de compuestos orgánicos de la variedad de papa “cacho de toro” (*Solanum tuberosum sp.*).

2.1.2 Objetivos específicos

- Determinar la caracterización morfológica de papa cacho de toro (*Solanum tuberosum sp.*) producidas en dos sistemas de cultivo aeropónico y suelo según tamaño, peso y rendimiento.
- Monitorear la cinética de generación de color (pulpa y cáscara) en papa cacho de toro (*Solanum tuberosum sp.*) cultivada mediante un sistema aeropónico y suelo.
- Determinar la caracterización fisicoquímica de papa cacho de toro (*Solanum tuberosum sp.*) producida bajo el sistema aeropónico y suelo según humedad, ceniza, acidez titulable y pH.
- Comparar la cinética de generación de compuestos antioxidantes en la papa cacho de toro (*Solanum tuberosum sp.*) en sistemas aeropónico y suelo.

2.2 Hipótesis de la investigación

2.2.1 Hipótesis general

La variación en el tipo de cultivo (aeropónico y en suelo) y los diferentes tiempos de cosecha (158, 187 y 201 días) en un entorno de invernadero controlado influyen significativamente en las características morfológicas, los parámetros colorimétricos, las propiedades fisicoquímicas y la composición compuestos orgánicos en la variedad de papa “cacho de toro” (*Solanum tuberosum sp.*).



2.2.2 Hipótesis específicas

- El sistema de cultivo aeropónico y suelo, influye en la caracterización morfológica de papa cacho de toro (*Solanum tuberosum sp.*).
- El tipo de cultivo (aeropónico y suelo), influye significativamente la generación de color en la pulpa y la cáscara de la papa cacho de toro (*Solanum tuberosum sp.*).
- El sistema de cultivo aeropónico y suelo, influye en la caracterización fisicoquímica de papa cacho de toro (*Solanum tuberosum sp.*).
- El sistema aeropónico y suelo, influyen en la cinética de generación de compuestos antioxidantes de papa cacho de toro (*Solanum tuberosum sp.*).



2.3 Operacionalización de variables

Tabla 1 — Variables descriptivas

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ÍTEM/UNIDAD	INSTRUMENTO
Variables Independientes						
Sistema de cultivo de papa nativa	El sistema de cultivo combina aeroponía y prácticas del suelo para mejorar la cantidad y calidad de los tubérculos producidos (CIP, 2015).	Se examinaron dos métodos de cultivo: el aeropónico y el suelo, analizando su impacto en las papas nativas, dentro del invernadero.	Tipos de sistema	<ul style="list-style-type: none"> • Aeroponía • Suelo 	Nominal Nominal	Guía de observación
Tiempo de cosecha de papa nativa	El ciclo de cultivo de las papas nativas abarca desde la siembra hasta la cosecha, y durante este periodo se evalúan los efectos del transcurso del tiempo en la calidad del cultivo (CIP, 2015).	Se registró el periodo transcurrido en días desde la siembra hasta la cosecha, comparando distintos intervalos de crecimiento, dentro del invernadero.	Tiempos	<ul style="list-style-type: none"> • 158 • 187 • 201 	Días Días Días	Registro de campo
Variables Dependientes						
Caracterización morfológica de tubérculos de papa nativa (<i>Solanum tuberosum</i> sp.)	Las características externas de las papas nativas, como su tamaño, forma y color, se ven afectadas tanto por el sistema de cultivo utilizado como por el momento en que se realizó la cosecha de la cosecha (Majeed y Waseem, 2022).	Se analizaron las propiedades morfológicas de las papas, incluyendo el tamaño de la planta, el grosor del tallo, los tamaños polares y ecuatoriales, el peso y el rendimiento, en diferentes sistemas de cultivo.	Morfología	<ul style="list-style-type: none"> • Tamaño de planta • Grosor de tallo • Tamaño polar • Tamaño ecuatorial • Peso del tubérculo • Rendimiento total 	cm cm cm cm g Rendimiento. x N° de plantas	Cinta métrica Calibrador vernier Balanza gramera
Colorimetría de tubérculos de papa nativa (<i>Solanum tuberosum</i> sp.) por el método CIE-Lab	La valoración del color tanto de la cáscara como de la pulpa de las papas nativas es un factor crucial para su aceptación en el mercado (Natividad et al., 2022).	Se analizó el color la pulpa y cáscara de las papas utilizando el sistema CIELab para examinar las variaciones entre los distintos sistemas de cultivo.	Colorimetría	L* a* b*	Nominal Nominal Nominal	Colorímetro (CIELab)
Características fisicoquímicas de tubérculos de papa nativa (<i>Solanum tuberosum</i> sp.)	Las características como la humedad, las cenizas, la acidez y el pH, en las papas nativas experimentan variaciones en función del sistema de cultivo y el momento de la cosecha (Cerón et al., 2018).	Se examinaron los parámetros fisicoquímicos en las papas cultivadas tanto en sistemas aeropónicos como en sistemas del suelo.	Fisicoquímica	<ul style="list-style-type: none"> • Humedad • Ceniza • Acidez titulable • pH de la papa 	% % mg de ácido ascórbico/100 g de muestra 1-14	Estufa Mufla Titulador Potenciómetro
Generación de compuestos orgánicos con capacidad antioxidante en tubérculos de papa nativa (<i>Solanum tuberosum</i> sp.)	La capacidad antioxidante de las papas nativas se debe a su eficacia en neutralizar los radicales libres en el cuerpo una función que está asociada a la presencia de compuestos como los polifenoles, los cuales ayudan a proteger contra el daño oxidativo (Natividad et al., 2022).	Se evaluó las propiedades funcionales de las papas nativas como polifenoles totales y capacidad antioxidante utilizando los métodos DPPH y ABTS en muestras procedentes de ambos sistemas de cultivo.	Propiedad funcional	<ul style="list-style-type: none"> • Contenido de polifenoles totales • Capacidad antioxidante DPPH y ABTS 	mg EAG/100 g de muestra % Inhibición	Espectrofotometría UV-VIS

CAPÍTULO III MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

3.1 Antecedentes

3.1.1 Internacional

- a. En el estudio realizado por Ritter et al. (2001) titulado: **“Comparison of hydroponic and aeroponic cultivation systems for the production of potato minitubers”**, se evaluaron tres variedades de papas in vitro: AU1, AU2 y CV. Estos cultivares se sometieron a dos tipos de cultivo: hidroponía y aeroponía. Los resultados revelaron que la altura final del tallo de la planta fue significativamente mayor en el sistema de aeroponía, alcanzando los 202 cm, mientras que, en el sistema de hidroponía, se obtuvo un valor más modesto, oscilando entre 90 y 100 cm.
- b. En la investigación de Hafizur et al. (2024) titulado: **“Effect of light quality on seed potato (*Solanum tuberosum L.*) tuberization when aeroponically grown in a controlled greenhouse”**, se evaluaron dos cultivares de papas in vitro: unification y N-198. Estos cultivares fueron sometidos al método aeropónico. Los resultados mostraron que el grosor del tallo osciló entre 0.70 y 1.18 cm.
- c. Qiu et al. (2018), en su investigación titulada: **“Degradation kinetics and antioxidant capacity of anthocyanins in air impingement jet dried purple potato slices”**. Se ha estudiado la papa morada proveniente de un cultivo de suelo, se evaluó su capacidad antioxidante utilizando el método de secado por chorro de aire a distintas temperaturas (50, 65 y 80 °C). Los hallazgos indicaron que la temperatura de 65 °C proporcionó los mejores resultados tanto en la inhibición de DPPH (75.64 ± 0.19 %) como en la inhibición de ABTS (45.15 ± 0.31 %).
- d. Según lo mencionan Ligarda et al. (2023), en su trabajo de investigación: **“Bioactive compounds and sensory quality in chips of native potato clones**



(Solanum tuberosum spp. Andigena) grown in the high andean región of Peru”, se examinaron seis clones de papa nativa provenientes de cultivo del suelo, utilizando dos métodos: fresco y frito. Al analizar los clones de papa fresca mediante FTIR, no se observaron diferencias significativas a grandes rasgos (p -valor < 0.05). Sin embargo, se identificaron picos específicos en el espectro: uno a 3492 cm^{-1} , que podría estar relacionado con los enlaces O-H en las cadenas de alcohol, y otro a 1642 cm^{-1} , asociado al grupo carbonilo. Además, se detectó un pico a 1157 cm^{-1} , que podría indicar estiramiento simétrico y asimétrico perteneciendo al grupo de ésteres.

3.1.2 Nacional

- a. En la tesis de Magallán et al. (2018): **“Evaluación del rendimiento de semilla prebásica de tres variedades de papa (*Solanum tuberosum*) en un sistema aeropónico, distrito de Luya Viejo-región Amazonas”**. Tuvo como objetivo determinar el rendimiento óptimo mediante aeroponía de semilla prebásica de tres variedades de papa (Yungay, Huayro y Canchán), con el propósito de mejorar la producción de cultivo. Los resultados demostraron que la variedad de papa Huayro Amozonense tuvo el mejor rendimiento en peso, con 15.06 g, mientras que la variedad Yungay tuvo el mayor tamaño de planta, con un valor de 53.47 cm.
- b. En el trabajo de investigación por Lizarraga (2023) titulado: **“Características físicas, fisicoquímicas, morfológicas, antocianinas, polifenoles totales y capacidad antioxidante de genotipos de papas de diferentes pisos ecológicos”**, se analizaron seis genotipos de papa de cultivo del suelo: Qochani ACAN 4, Llanchoqmayo ACAN 4, Qochani ACAN 5, Llachomayo ACAN 5, Llachoqmayo ACAN (N) y Llachoqmayo ACAN (N1). Los resultados mostraron lo siguiente: Llachoqmayo ACAN (N) tuvo el mejor porcentaje de humedad, con un valor del 72.12 %. Respecto al peso, oscilaron entre 56.10 a 154.90 g, la longitud varió de 4.50 a 10.74 cm y el diámetro estuvo en el rango 4.37 a 5.05 cm.
- c. Según los investigadores Serrano y Castro (2020) titulada: **“Caracterización fisicoquímica de cinco (5) variedades de papa nativa de la región del Pantano de Arce (Subachoque, Cundinamarca)”**. Se ha estudiado la humedad



en diferentes variedades de papa de cultivo tradicional: Criolla negra, Estrella de los andes morada, Pepina manzana, Puca shungo y Yana shungo. Durante la evaluación, se encontró que la variedad Puca shungo obtuvo el mayor porcentaje de humedad, con un 84.07 %, mientras que la variedad Estrella de los Andes registró el menor porcentaje, con un 77 %.

- d. Según Natividad et al. (2022), en su trabajo denominado: **“Caracterización fisicoquímica de cuatro variedades de papas nativas (*Solanum tuberosum*) con aptitud para fritura, cultivadas en dos zonas en Huánuco”**, se evaluaron cuatro variedades de papa de cultivo tradicional: Huevo de indio, Kitipsho, Azúcar cantina y Tinkuy, provenientes de zonas de Cahuac y Huallmish. Los resultados mostraron que la variedad Huevo de indio tuvo mayor tamaño en longitud, con 8.84 ± 1.17 cm, mientras que la variedad Kitipsho tuvo el mayor diámetro y peso, con 6.57 ± 0.73 cm y 164.27 ± 48.63 g respectivamente de la zona Cahuac. En cuanto a los valores de color medidos en el espacio CIELab, la variedad Azúcar cantina de la zona Huallmish tuvo el mayor valor de luminosidad (L^*), con 80.02 ± 2.10 . La variedad Kitipsho de la zona Cahuac presentó el mayor valor en la coordenada a^* (24.62 ± 0.82), mientras que la variedad Azúcar cantina de la zona Huallmish tuvo el mayor valor en la coordenada b^* (21.70 ± 1.97). En cuanto a los polifenoles totales la variedad Tinkuy de la zona Huallmish, con 632.60 ± 12.82 mg EAG/100 g BS.

3.1.3 Local

- a. Lozano et al. (2023), en su investigación titulada: **“Morphological, nutritional characteristics, and antioxidant compounds of ten (10) native potato varieties from Apurímac-Perú región”**. Las variedades evaluadas procedentes de cultivo tradicional incluyeron: puka huayro machu, qequrani, sangre de toro, amachi, uchu kuta, yawar manto, cuchi aca, winqu, yahuar huayco y puka phokkoya. Los resultados destacaron lo siguiente: el contenido compuesto de polifenoles mostró diferencias significativas ($p\text{-value} < 0.05$) entre las variedades de papa. Las variedades Yawar manto y Amachi tuvieron los mejores resultados, con valores que oscilaron entre 304.81 y 1254.09 mg EAG/100 g MS, en términos de tamaño el mejor fue la variedad Puka huayro machu, con una longitud y diámetro de 9.55 cm y 3.98 cm, y un peso de 101.06 g. Por otro lado, la variedad Amachi fue más pequeña, con un peso de 39.60 g. En el análisis de

color de la cáscara de papa utilizando el método CIELab, la papa Qequirani mostró el color ligeramente más oscuro con un valor de $L=59.83^*$, mientras que la variedad Puka huayro machu presentó un color más oscuro con $L= 33.45^*$. En la coordenada a^* , las variedades Amachi, Winqu y Cuchi tuvieron valores bajos (3.12, 4.64 y 6.14 respectivamente), lo cual indica tonos rojizos. Del mismo modo, la coordenada b^* , las variedades Cuchi aca, Puka huayro machu y Amachi tuvieron los valores más bajos (5.87, 7.24, 7.23 y 7.13 respectivamente), exponiendo tonos amarillos.

3.2 Marco teórico

3.2.1 Papas nativas

La papa es el cuarto alimento que se siembra más, después del arroz, el maíz y el trigo, debido a su aporte de gran cantidad de carbohidratos a la dieta humana (Graves, 2006). La FAO del 2008, menciona que la papa se consideraba una hierba anual que alcanza el metro y produce tubérculos comestibles. Esta planta se subdivide en dos especies apenas diferentes; la *Andígena* que crece en zonas climáticas más frías y días con pocas horas de luz, mientras que la *Tuberosum* es la más cultivada mundialmente y se cree que esta especie es una introducción y adaptación de las papas nativas en Europa, las cuales se adaptaron a días con horas de luz más largos (Catire, 2019).

Las papas nativas tienen más de 8 000 años de desarrollo, detallan que existen más de 4 000 variedades de papas nativas en Perú, que están bajo el cargo del CIP (Centro Internacional de la Papa) y a su vez se encargan de recolectar, preservar, investigar, promover y desarrollar nuevas variedades de papa. Se volvió muy popular al salvar de la hambruna en Europa, a consecuencia de ello se están llevando investigaciones en este alimento y cultivarlas en condiciones del planeta Marte, llevados en conjunto con la NASA y el CIP (Ministerio de Cultura de Cusco, 2016).

Las papas del grupo andina o andino exhiben una amplia variedad de texturas, formas y colores; que pueden ser rojos, rosados, morados, amarillos o azules. Algunas incluso tienen formas que recuerdan a las patas de un puma, las garras de un gato o las narices de una alpaca. Las papas nativas de la variedad cacho de toro, llamado así por tener la forma de astas o cuernos de toro (Jaffrey, 2018).



Se mencionan, algunas de las variedades que más representan al Perú (PromPerú, 2017):

- El consumo de papas nativas proporciona una fuente significativa de energía, caracterizada por un bajo contenido de grasas, similar a otros grupos de alimentos como frutas y verduras, debido a su riqueza en carbohidratos.
- Estas variedades de papa son reconocidas por su alto contenido de vitamina C, un nutriente esencial que desempeña un papel crucial en la salud inmune y en la prevención de enfermedades.
- Además, las papas nativas representan una valiosa fuente de minerales, como el potasio, que ha demostrado ser efectivo en la regulación de la presión arterial. Los micronutrientes como el hierro y el zinc son fundamentales para la salud pública, contribuyendo a la reducción de la desnutrición vulnerable.
- Los carotenoides y polifenoles presentes en las papas nativas actúan como antioxidantes, desempeñando un papel protector frente a enfermedades degenerativas. En particular, las variedades con pulpa de color amarillo intenso poseen concentraciones elevadas de zeaxantina, un carotenoide que se ha asociado con la mejora de la salud visual.
- Por otra parte, las variedades de pulpa morada y roja son ricas en antocianinas, compuestos que no solo aportan un color característico, sino que también exhiben propiedades antioxidantes significativas. La fibra dietética contenida en estas papas contribuye a la salud digestiva, ayudando a prevenir diversos trastornos gastrointestinales.
- Asimismo, las antocianinas presentes en las variedades de pulpa morada y roja han mostrado potencial en la protección contra el cáncer gástrico, subrayando el valor nutricional y funcional de las papas nativas en la dieta humana (PromPerú, 2017).

3.2.1.1 Taxonomía de papa cultivada cacho de toro

La clasificación de la taxonomía de la papa se basa en los patrones florales (Egúsquiza, 2013; Dávila y Santos, 2014):

Reyno: *Vegetal*

División: *Spermatophyta*

Clase: *Dicotyledoneas*

Orden: Solanales-Tubiflorales



Familia: *Solanaceae*

Género: *Solanum*

Sub género: *Potatoe*

Sección: *Petota*

Serie: *Tuberosa*

Especie: *Solanum tuberosum*

En el grupo de cultivares se clasifican por ploidía o rasgo predominante; según CIP et al. (2021); mencionan que las sub especies *ssp. tuberosum* son las más cultivadas en todo el mundo y las demás sub especies son cultivadas en los países andinos donde se encuentran las variedades nativas en cantidades.

La clasificación spp de las papas, en términos de subespecies considera las diferentes variedades dentro del género *Solanum*. Según Graves (2006), generalmente se reconocen 8 especies cultivadas, y entre ellas, *Solanum tuberosum* se divide en 2 subespecies: *tuberosum* y *andígena*, como se muestra a continuación:

Tabla 2 — Cultivares de la papa

Especie	Subespecie	Ploidía		N° de entradas
<i>Solanum ajanhuiri</i>		2n = 2x = 24	Diploide	14
<i>Solanum chaucha</i>		2n = 3x = 36	Triploide	163
<i>Solanum curtilobum</i>		2n = 5x =	Pentaploide	6
<i>Solanum goniocalix</i>		2n = 2x = 24	Diploide	87
<i>Solanum juzepczukii</i>		2n = 3x = 36	Triploide	36
<i>Solanum phureja</i>		2n = 4x = 48	Diploide	196
<i>Solanum tuberosum</i>	<i>Tuberosum</i>	2n = 4x = 48	Tetraploide	147
	<i>Andigena</i>	2n = 4x = 48	Tetraploide	2864
<i>Solanum stenotomun</i>		2n = 2x = 24	Diploide	267
Total				3780

FUENTE: Juli y Arias, 2011

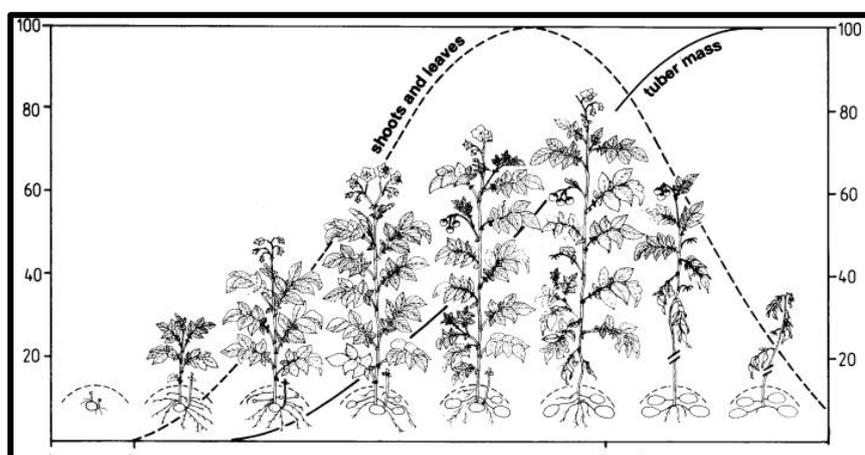


3.2.1.2 Fenología del cultivo de papa

Las papas o patatas son una especie de la familia de solanáceas (son plantas que viven con caras al sol o viven de ellas), las de esta familia tienen bayas que son alcaloides altamente tóxicos. Además, las solanáceas también se caracterizan por tener hojas alternas y simples como es la papa (Medina, 2014).

Las fases fenológicas de la papa en su parte aérea pueden relacionarse con el desarrollo de los tubérculos, pasando por varias etapas de interés: la diferenciación y formación del tubérculo, el crecimiento acelerado del mismo, y finalmente, su llenado y madurez (Meier, 2001).

A continuación, se presentan las fases fisiológicas de la papa, como se muestra en la Figura 1.



FUENTE: Meier, 2001

Figura 1 — Etapas fenológicas de la papa *Solanum sp.*

3.2.1.3 Función morfológica del tubérculo

Según Dogliotti et al., (2011), establece que la planta de papa posee:

Por encima del suelo:

- a) **Los tallos y las hojas.** Cumplen funciones esenciales en las plantas. Las hojas realizan la fotosíntesis, convirtiendo la energía solar en energía para el metabolismo vegetal. En cuanto a los tallos, su color puede variar entre verde, marrón-rojizo y morado.
- b) **Las flores y los frutos.** Cumplen la función de mejorar la genética para el origen de nuevas variedades. La flor sirve para obtener semillas sexuales, además, las flores ayudan a diferenciar las variedades y también tienen el rol de producir el polen para que el viento o los insectos puedan fecundar el óvulo. Los frutos son bayas pequeñas,



redondas u ovaladas, de color verde amarillento o castaño rojizo y en su interior alberga 200-300 semillas (Huincho, 2021).

Por debajo del suelo:

- c) **Estolones.** Son unos tallos con nudos y en los extremos tienen la apariencia de un gancho que se desplazan por el suelo, que luego estos nudos pasarán a formar los tubérculos. Sirven de transporte de nutrientes que las hojas producen y almacenan en los nudos que con el paso del tiempo se volverán tubérculos.
- d) **Tubérculos.** Son los tallos que evolucionaron de los estolones para almacenar las reservas (almidón), proteínas y carbohidratos que posteriormente le servirán para la siguiente generación.
- e) **Raíces adventicias.** Son tallos minúsculos, fibrosos y ramificados que se desarrollaron de la semilla de papa para proveer de nutrientes, absorber agua y además servir de soporte o anclaje a la planta. Pueden abarcar hasta 80 cm de profundidad.

3.2.1.4 Cualidades de la papa nativa cacho de toro

Tabla 3 — Cualidades de la papa nativa “cacho de toro”

Nombre	Características
Nombre general	Cacho de toro
Sinónimo y significado	Wenccos, tiene la forma aparente de los cachos del buey.
Dato general	
Especie	<i>Solanum tuberosum ssp. andigena</i>
Distribución	Abundante
Ploidía	$2n = 4x = 48$
Definición morfológica	
Comportamiento de crecimiento	Semi-erecto
Color de tallo	Cerca de morado oscuro a casi negro
Forma de las alas del tallo	Recto
Forma de hoja	Lanceolada
Número de folíolos laterales	4 pares



Nombre	Características
Color primario en flor	Rojo morado intenso
Color de baya	Verde pigmentado con pocos puntos blancos
Forma de la baya	Globosa
Forma de tubérculo	Reniforme
Tipo de cáscara	Lisa
Grado de floración	Profusa
Color primario de la cáscara del tubérculo	Morado
Color secundario de la cáscara del tubérculo	Ausente
Color primario de la carne del tubérculo	Morado
Color secundario de la carne del tubérculo	Blanco, después de la cáscara
Comportamiento agronómico	
Época de recolección	Abril Mayo Junio
Rendimiento (Ton/Ha)	18
Periodo vegetativo (días)	150 – 180
Altitud de crecimiento (m s.n.m.)	3100 - 4100
Textura	Harinosa, cremosa
Calidad industrial	Demandada en hojuelas
Materia seca	37 %
FUENTE: Medina, 2014	

3.2.1.5 Factores naturales que afectan el cultivo de papa nativa

a) Factores climáticos

Se cultiva en climas templado-frío, desde niveles 2300 m s.n.m. hasta mayor de los 4000 m s.n.m. Sin embargo, con las últimas décadas, el cambio climático va haciendo variar la altitud en la que normalmente crecen estas papas, haciendo que la siembra se haga a más altitud y corriendo el riesgo de las heladas. Para buen rendimiento las temperaturas diurnas deben ser de 20 a 25 °C y las mínimas entre 8 y



12 °C, además de una luminosidad de 12 - 16 horas de luz por día para una buena tuberización en la llegada de la cosecha (MINAGRI et al., 2017).

b) Suelos

En cuanto a los suelos, se recomienda que sean de tipo franco arenoso, francos, franco-limoso o franco arcilloso, con un buen drenaje y una profundidad superior a 0.50 m. Esto permite que los estolones y los tubérculos tengan espacio para crecer adecuadamente y obtener una nutrición óptima. Además, un pH del suelo ideal se encuentra en el rango de 5.50 a 6 (Molina et al., 2004).

3.2.1.6 Plagas y enfermedades en la papa

Son plagas que causan daños económicos a los productores de papa porque reducen el rendimiento y también dañan la calidad en las cosechas, estos daños son ocasionados por insectos, hongos, bacterias, nematodos y virus que deterioran hojas, tallos o tubérculos y en el periodo vegetativo de la planta causa malformación o pudrición (Egúsqiza, 2013).

- **Rancha o tizón tardío (*Phytophthora infestans*)**

Las plantas presentan lesiones de aspecto húmedo en las hojas, al pasar los días se convierten color castaño al estar secas o negras al recibir humedad. Esta enfermedad se desarrolla en la planta cuando el agua se condensa en el follaje por más de 1 hora. El tizón tardío podría matar a todas las plantas en 2 o 3 semanas, para ello se debe usar fungicidas ni bien esté empezado indicio de esta enfermedad (Andrade et al., 2015; Egúsqiza, 2013).

- **La roña (*Spongospora subterranea*)**

Las señales no se pueden percibir en la parte aérea de la planta, solo se puede dar cuenta al encontrar unas ampollas pequeñas de color claro en el borde del tubérculo. Más adelante, las raíces forman agallas de hasta 15 mm. Por lo general la enfermedad se desarrolla entre 3200 y 3800 m s.n.m. Normalmente se encuentra en los suelos, pero son las raíces de las plantas la que lo estimulan, para combatir se puede usar fungicidas (Egúsqiza, 2013).



3.2.1.7 Composición nutricional

Es un alimento de gran valor nutricional, aparte de contener gran cantidad de carbohidratos, también tiene otros nutrientes que aportan en los beneficios de la salud. Las papas nativas son excelentes para la entrega de antioxidantes (antocianinas y polifenoles). Este tubérculo produce más alimento en menor cantidad de terreno (Graves, 2006).

Los valores presentados en la siguiente Tabla 4, se basan principalmente en catálogos publicados por el Centro Internacional de la Papa en colaboración con otras instituciones que han estudiado las variedades “cacho de toro” en las regiones de Apurímac, Huancavelica y Junín.

Tabla 4 — Composición nutricional de la papa nativa

Componentes	Promedio (%)	Rango (%)
Agua	73.20	65.70 – 78.60
Proteínas	2.00	1.20 – 3.00
Carbohidratos totales	23.20	17.60 – 29.10
Fibra cruda	5.80	4.30 – 7.10
Cenizas	1.20	1.10 – 1.60
FUENTE: MINSA, 2017		

3.2.1.8 Plántulas in vitro de papa nativa

Las plántulas in vitro de papa nativa se desarrollan a partir de tejidos vegetales en un entorno controlado y estéril, utilizando técnicas de cultivo in vitro. Este método permite la propagación de plantas libres de enfermedades y con características genéticas específicas. Además, es una herramienta clave para la conservación de variedades nativas y la producción de semilla prebásica, contribuyendo a la sostenibilidad agrícola. Según estudios, el cultivo in vitro es crucial para mantener la diversidad genética y mejorar la producción de cultivos (Jones, 1994).

3.2.2 Sistema de producción

3.2.2.1 Sistema aeropónico

La aeroponía es un sistema en el cual las raíces de las plantas se desarrollan en el aire, dentro de cajas cerradas (también conocidas como contenedores) y se alimentan con una solución nutritiva que se nebuliza y circula, lo que permite su reutilización (Andrade et al., 2015).



Entre las ventajas de la aeroponía se encuentran la recirculación eficiente de la solución nutritiva y la posibilidad de implementar cultivos verticales. Además, este método permite múltiples cosechas en cultivos perennes. Sin embargo, también presenta desafíos fitosanitarios, como la rápida propagación de problemas en las plantas afectadas (Lakhiar et al., 2018). Por otro lado, la aeroponía tiene algunas desventajas, como la necesidad de equipos de riego avanzados y la preparación de la mano de obra para evitar pérdidas totales en caso de accidentes (Andrade et al., 2015). Además, el funcionamiento de la bomba puede generar pérdida de energía (Buckseth et al., 2016), y la inversión inicial puede ser alta en sistemas de gran escala (Lakhiar et al., 2018).



FUENTE: Agraria, 2017

Figura 2 — Sistema Aeropónico

3.2.2.2 Sistema en suelo

El cultivo en suelo de las plántulas in vitro de papas nativas, es un proceso fundamental que implica la adaptación de estas plantas a las condiciones del campo. Para lograr un desarrollo óptimo y evitar la competencia por nutrientes, se recomienda plantar las papas nativas a distancias adecuadas (Djaman et al., 2022). Por lo general, la separación entre plantas en un mismo surco puede variar entre 25 a 35 cm entre plantas (Suquilanda,



2009). Estos valores dependen de factores como la variedad de papa, las características del suelo y la disponibilidad de maquinaria agrícola. Estas medidas contribuyen a maximizar la captación de luz solar y a utilizar eficientemente el agua, lo que favorece el crecimiento y la producción de tubérculos de alta calidad (Djaman et al., 2022).

En la preparación del sustrato para el cultivo de papas, la proporción de humus de lombriz con respecto a la tierra puede variar según las condiciones específicas. Sin embargo, se ha observado que una mezcla de humus y tierra en una proporción de 1:1 beneficia la fertilidad del suelo, la retención de humedad y la disponibilidad de nutrientes para el desarrollo óptimo de las plántulas de papa (Sawicka et al., 2022).



FUENTE: Redagrícola, 2022

Figura 3 — Cultivo en suelo

Según el CIP (2015), es recomendable que el cultivo de papas nativas utilizando técnicas de aeroponía y suelo se realice en un invernadero. Este entorno controlado permite optimizar las condiciones de crecimiento, garantizando una mayor producción y calidad del cultivo. Además, el invernadero protege las plantas de factores climáticos adversos y plagas, favoreciendo un desarrollo más saludable y sostenible de las papas nativas.

A. Solución nutritiva

La calidad del agua es muy importante, para conocer los valores de macronutrientes, micronutrientes, potencial hidrógeno (pH), sales y nutrientes que ayudan a determinar cómo utilizar este tipo de agua. El rango de pH normal para el agua antes de la preparación de nutrientes es de 6.50 a 8.4 (Benítez et al., 2015).

La conductividad eléctrica (CE) y el pH son indicadores útiles. La CE no tiene que superar de 2.0 mS/cm para evitar la fitotoxicidad y el pH óptimo para la aeroponía es levemente ácido a intervalos 6.5 y 6.8. Las plantas requieren de macronutrientes: fósforo (P), nitrógeno (N), calcio (Ca), potasio (K) y magnesio (Mg); asimismo los micronutrientes: manganeso (Mn), hierro (Fe), zinc (Zn), azufre (S), boro (B), cobre (Cu) y molibdeno (Mo) con el fin de su desarrollo normal (Otazú, 2010).

La solución nutritiva debe cambiarse cada dos semanas. En la aeroponía se usan habitualmente dos soluciones nutritivas: para la inicial (se sostiene del trasplante hasta el aporque, o sea los 35 a 40 días) y para finalizar (se usan luego del aporque hasta acabar el cultivo) (Benítez et al., 2015).

B. Guía integral para el cultivo y manejo de plántulas de papa

- **Contenedor:** La altura de contenedor debe ser entre 0.8 a 1 m y el ancho debe ser entre 1 a 1.2 m, su estructura del contenedor debe realizarse con listones de madera de 7 x 4 cm. Para drenar y devolver la solución nutritiva al tanque, el contenedor debe tener doble inclinación: longitudinal (3 a 4 %) y transversal (2 a 3 %). El contenedor debe tener una ventana lateral de 50 x 50 cm, para permitir la cosecha de minitubérculo (Andrade et al., 2015).
- **Plántulas:** En aeroponía se utilizó plántulas in vitro vigorosas, sanas y en óptimas condiciones fisiológicas. Se acondicionan para aclimatar al ambiente del invernadero y se deja para que su sistema radicular se desarrolle y su tallo se endurezca, antes de trasplantar se debe seleccionar las plantas más vigorosas (Andrade et al., 2015).



- **Enraizamiento:** La base de bandeja debe tener orificios para permitir la salida de agua, la arena debe estar húmeda para cubrir el campo y compactar, hacer un agujero con un dedo o con un tubo de ensayo de 3 a 4 cm entre las plantas y un fondo de 4 cm. Posteriormente, trasplantar las plántulas en los agujeros y regar la arena con la solución nutritiva al 50 % (Andrade et al., 2015).
- **Crecimiento de plántulas:** Se requiere un sustrato húmedo para que las plántulas echen raíces. Las plántulas enraizadas deben esperar de 12 a 15 días antes de ser trasplantadas al contenedor aeropónico (Andrade et al., 2015).
- **Trasplante de plántulas:** Las plántulas se tienen que mantener en una malla protegido de la sombra a una temperatura de 15 a 20 °C y una humedad relativa del 80 a 90 % durante 10 y 21 días. Al trasplantar, es necesario observar las normas de higiene, separar con cuidado, usar pinzas grandes, purificar sus raíces de las plántulas con hipoclorito de sodio al 0.1 % o calcio. Después, lávalos con agua potable.

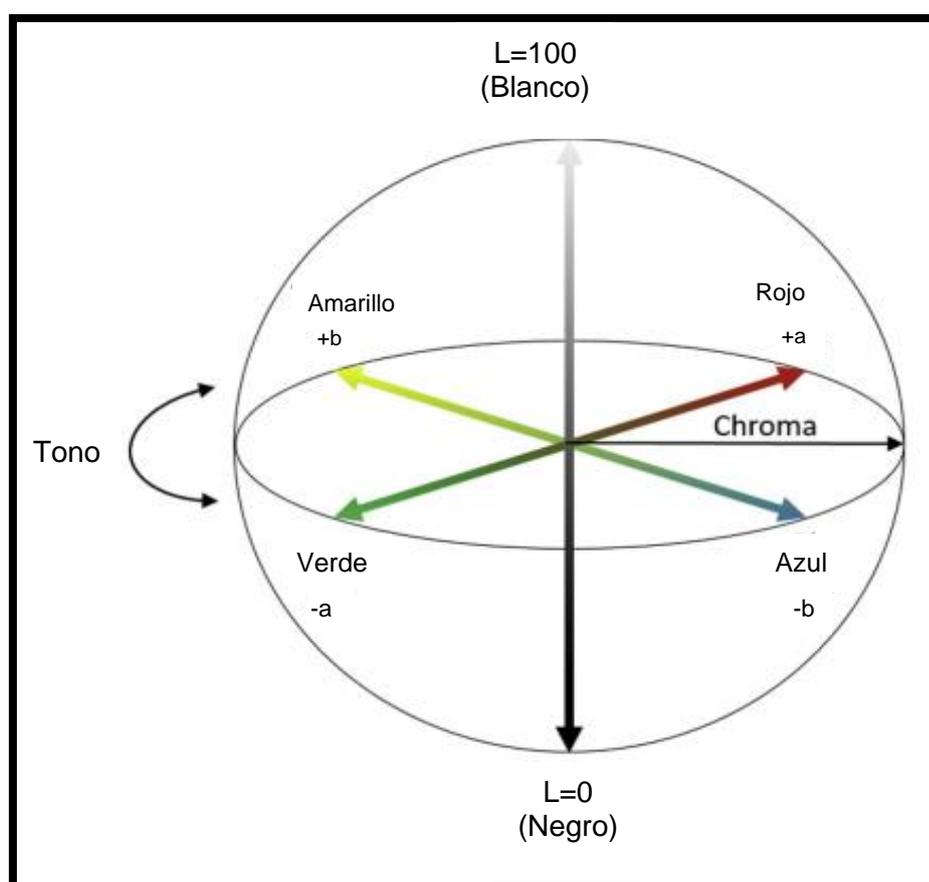
Para ello, es necesario contar con dos baldes de 15 litros: uno es agua potable y el otro es una solución de hipoclorito de calcio o hipoclorito de sodio. Posteriormente, se debe colocarse en el contenedor de aeroponía con una esponja y un vaso de plástico y retirarse después de dos semanas (Andrade et al., 2015).

- **Riego:** El temporizador debe programarse para 15 segundos cada 15 minutos, las 24 horas del día. Durante los primeros tres días, las plantas se tienen que rociar con una solución nutritiva al 50 % de concentración. Por consiguiente, las soluciones nutritivas deben utilizarse en sus dosis habituales (Andrade et al., 2015).
- **Poda:** Corta las hojas principales o basales de la plántula, dejando un espacio vacío en el tallo para colocar la esponja que sostiene la plántula en el cajón (Andrade et al., 2015).
- **Cosecha y almacenamiento de minitubérculos:** La cosecha se realiza a intervalos de una a dos semanas hasta que el fruto alcanza de 2 a 3 cm de diámetro y de 8 a 10 g. Este tamaño y peso lo hacen

ideal para usar como material de siembra en el campo (Andrade et al., 2015).

3.2.3 Colorimetría CIE

El sistema CIELab, o CIE $L^* a^* b^*$, es un espacio tridimensional que consta de tres ejes (Figura 4). En el CIELab la variable L^* representa la diferencia de luminosidad entre claro ($L^* = 100$) y oscuro ($L^* = 0$), las variables a^* y b^* representan valores de color en los ejes rojo/verde y amarillo/azul, respectivamente (Ly et al., 2020). La luminosidad en a^* , calibra la inclinación al rojo (varía desde +60, rojo a -60, verde) y b^* inclina al amarillo (varía desde +60, amarillo a -60, azul).



FUENTE: Ly et al., 2020

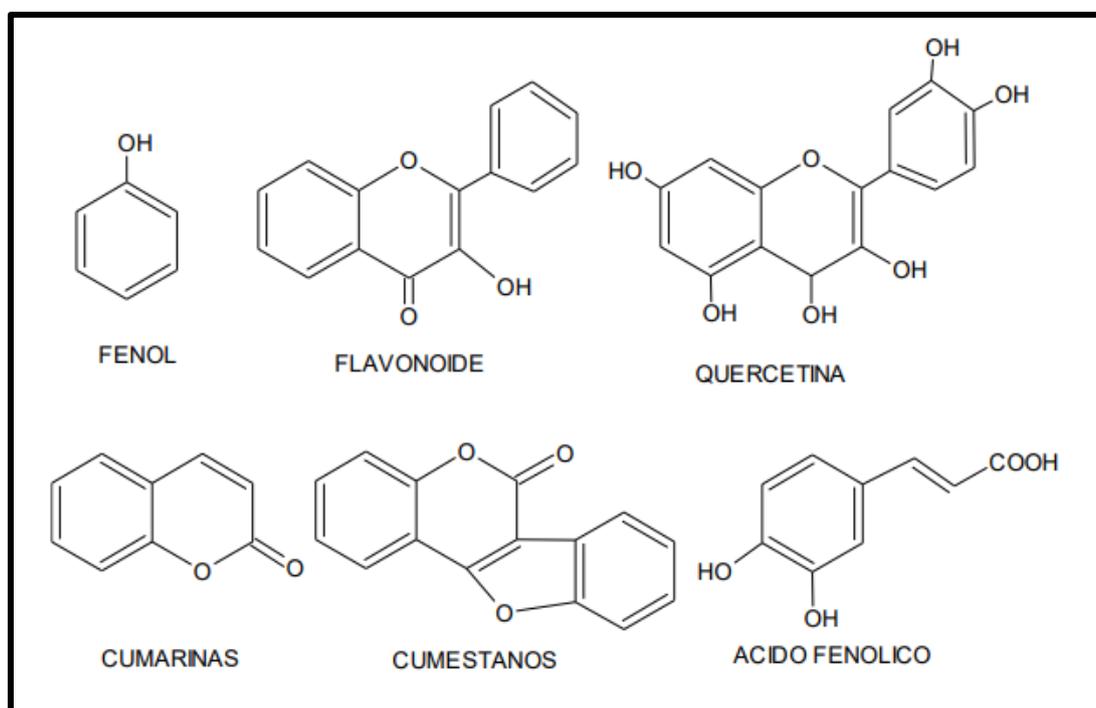
Figura 4 — El diagrama del espacio de color CIELAB

3.2.4 Compuestos fenólicos

Según las investigaciones de Badui (2013), los compuestos fenólicos abarcan una amplia variedad de metabolitos secundarios, como antocianinas, flavonoides, isoflavonas, flavonoles (catequinas), taninos y lignanos. Estos compuestos poseen propiedades antioxidantes, antiinflamatorias, cardioprotectores y antibacterianos. Las frutas y verduras de nuestra dieta contienen más de 8 000 variedades de

familias. En promedio, una persona consume alrededor de un gramo diario de estos compuestos a través de su alimentación habitual (Shahidi y Ambigaipalan, 2015). Históricamente, se ha reconocido la importancia de estos compuestos en las plantas debido a su influencia en el sabor y el color, especialmente en el proceso de pardeamiento enzimático (Damodaran et al., 2010).

Según Muñoz et al. (2017), el ensayo del reactivo Folin Ciocalteu (RFC) se desarrolló originalmente para identificar las tirosinas en las proteínas. Sin embargo, con el tiempo, se ha modificado para permitir el análisis de compuestos polifenólicos presentes en diversos extractos de plantas. Investigaciones anteriores han demostrado que los compuestos fenólicos presentes en las papas no solo tienen efectos antioxidantes, sino que también ofrecen beneficios adicionales, como propiedades antimutagénicas, anticancerígenas y antiglicémicas (Segura, 2004).



FUENTE: Soto, Palma y García, 2017

Figura 5 — Estructuras de compuestos fenólicos

Las papas de variedades nativas presentan una amplia diversidad en formas, colores y tamaños. Los tonos cremas, anaranjados y amarillos indican la presencia de carotenoides, mientras que los colores rosa, rojo, azul, morado y violeta sugieren la existencia de compuestos fenólicos, como las antocianinas. Estos compuestos, presentes en las papas nativas, actúan como antioxidantes naturales al atrapar los



radicales libres generados durante el estrés oxidativo en las células (Peña y Restrepo, 2013).

Diversos factores ambientales influyen en la concentración de fenoles en las papas. Por ejemplo, la temperatura baja, las precipitaciones elevadas y los días largos durante el período de crecimiento del tubérculo, así como la altitud de plantación, contribuyen a la presencia de este compuesto en las papas (Hamouz et al., 1999; Reyes et al., 2004). En un estudio sobre el contenido fenólico y la capacidad antioxidante de las papas moradas, se observó que el daño físico de insectos condujo a la acumulación de compuestos fenólicos con propiedades antioxidantes (Fuenzalida, 2008).

3.2.5 Antioxidantes

Los antioxidantes cumplen dos requisitos fundamentales. En primer lugar, en concentraciones bajas en comparación con el sustrato que se oxida, pueden retrasar o prevenir la autooxidación o la oxidación mediada por radicales libres. En segundo lugar, no participan en la oxidación posterior, más bien, al convertirse en radicales libres inactivos, detienen el proceso de oxidación (Rice et al., 1996; Fennema y Tannenbaum, 2000; Cartagena, 2022).

Los radicales libres se generan como resultado de la oxidación celular. Inicialmente, sus efectos limitados y controlados son beneficiosos para el organismo, ya que desempeñan un papel en el sistema inmunológico al eliminar microorganismos. Sin embargo, un aumento en su cantidad y su inestabilidad puede tener consecuencias negativas, como enfermedades degenerativas que afectan el sistema circulatorio, el sistema nervioso, el cáncer, el SIDA e incluso el proceso de envejecimiento, debido a cambios en el ADN de las células (Mcewen, 1998).

3.2.5.1 Capacidad antioxidante

Los estudios epidemiológicos indican que la dieta puede desempeñar un papel protector contra enfermedades como el cáncer y las enfermedades cardiovasculares, gracias a la presencia de compuestos biológicamente activos en alimentos vegetales, especialmente en frutas y verduras. Estos compuestos forman una compleja mezcla de antioxidantes y compuestos fenólicos (Padilla et al., 2008).



En el proceso de oxidación, una especie cede electrones a otra, la cual se reduce. Cuando los antioxidantes evitan esta oxidación al unirse a otras moléculas, los radicales libres, sustancias altamente oxidantes, tienen el potencial de causar daño al cuerpo (Lim et al., 2007).

La capacidad antioxidante de frutas y hortalizas es un tema relevante. Está influenciada por varios factores, como el tipo de cultivo, la zona geográfica y las horas de iluminación. Estos elementos desempeñan un papel crucial en la formación de los compuestos antioxidantes presentes en estos alimentos (Rodrigo et al., 2006).

Tabla 5 — Capacidad Antioxidante en tubérculos andinos

	Fenoles (mg g⁻¹)	Antocianinas (mg g⁻¹)	ABTS (µgTE g⁻¹)
Papa nativa	0.64 - 2.32	0.08 – 0.80	860 – 3750
Oca	0.71 - 1.32	0.14 – 1.30	1637 – 4771
Mashua	0.92 - 3.37	0.50 – 2.05	955 – 9800
Olluco	0.41 - 0.77	-	483 – 1524
FUENTE: Campos et al., 2006			

3.2.5.2 Métodos para la determinación de capacidad antioxidante

Diversos métodos se utilizan para evaluar la capacidad antioxidante total, y su elección depende de factores como la vía de absorción, el punto final de prevención de reacciones y el cálculo isobárico. En el caso de las moléculas de muestra, se ha observado que presentan una sensibilidad reducida (Roginsky y Lissi, 2005).

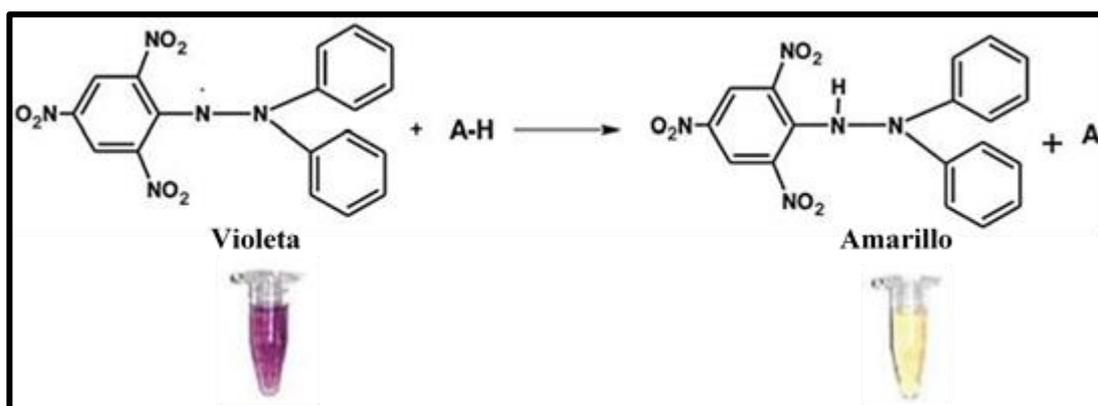
En esta investigación, se emplearon los métodos DPPH y ABTS para determinar la capacidad antioxidante. A continuación, se describen:

A. Método DPPH

El DPPH es el nombre que recibe el radical libre 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl; la deslocalización de un electrón desapareado en la superficie da como resultado un estado en el que permanece libre estable. Una molécula completa no sufre dimerización, a diferencia de las enzimas, donde la mayoría de los radicales son radicales libres. La

deslocalización del electrón también es un factor importante. Cuando el radical absorbe metanol, se produce un intenso color violeta que se intensifica a una longitud de onda de 515-517 nm.

El sustrato antioxidante interactúa con la solución de DPPH, permitiendo la donación de un átomo de hidrógeno. A medida que transcurre el tiempo, el color violeta se desvanece, como se ilustra en la Figura 6. La determinación de la molécula se realiza mediante métodos espectrofotométricos y parámetros de actividades antioxidantes (Mishra et al., 2012).



FUENTE: Alam et al., 2013

Figura 6 — Estructura del DPPH antes y después de la reacción con el antioxidante

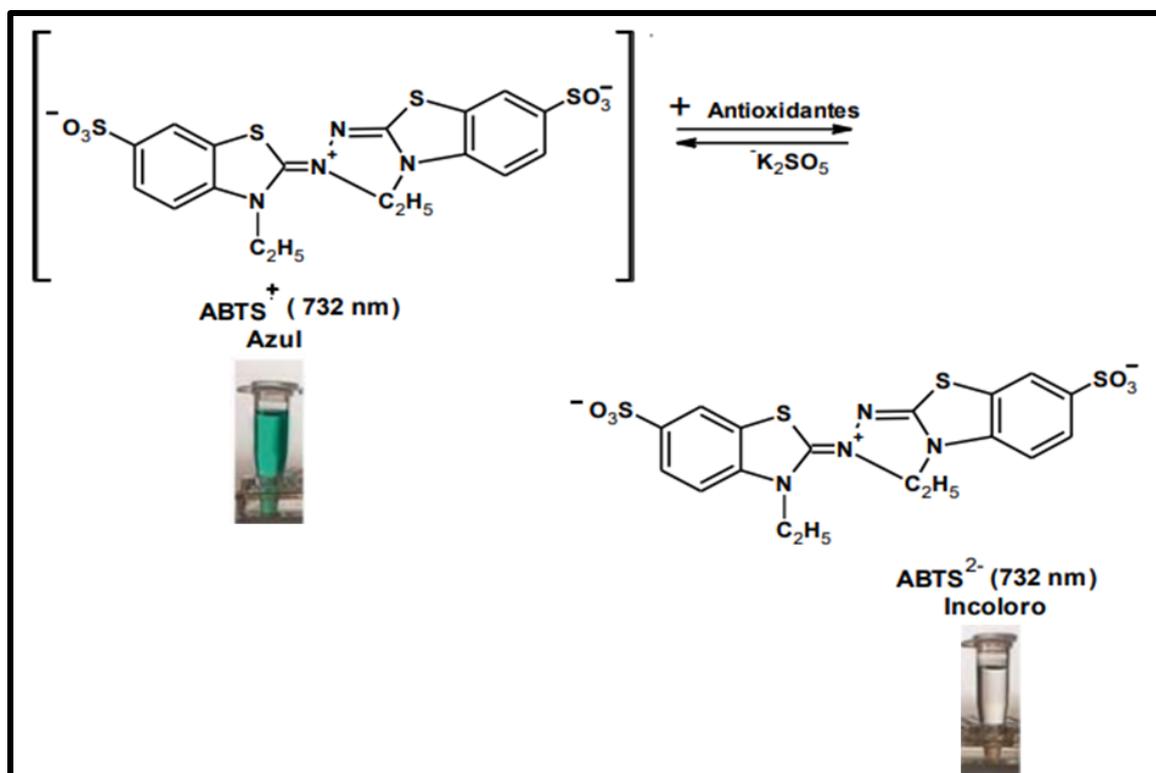
B. Método ABTS

La producción de radical ABTS (2,2'-azino-bis-3-ethylbenzthiazoline-6-sulfonic acid) forma la base de uno de los métodos de la actividad antioxidante, se puede medir mediante pruebas de espectrometría el total de soluciones y mezclas acuosas (Re et al., 1999; citado por Chintha et al., 2023).

El método superior para generar el catión radical ABTS implica que el cromóforo verde-azul, ABTS se produce directamente a partir de la reacción ABTS y persulfato de potasio ($K_2S_2O_8$) son intercambiables. Se caracteriza por tener tres longitudes de onda de absorción 645 nm, 734 nm y 815 nm. La reducción de ABTS ocurre cuando los antioxidantes se integran al radical preformado. Luego, se mide el grado de decoloración como porcentaje de la inhibición del catión



radical, utilizando la concentración y el tiempo como parámetros. El estándar de comparación de este proceso es el Trolox (Tovar, 2013).



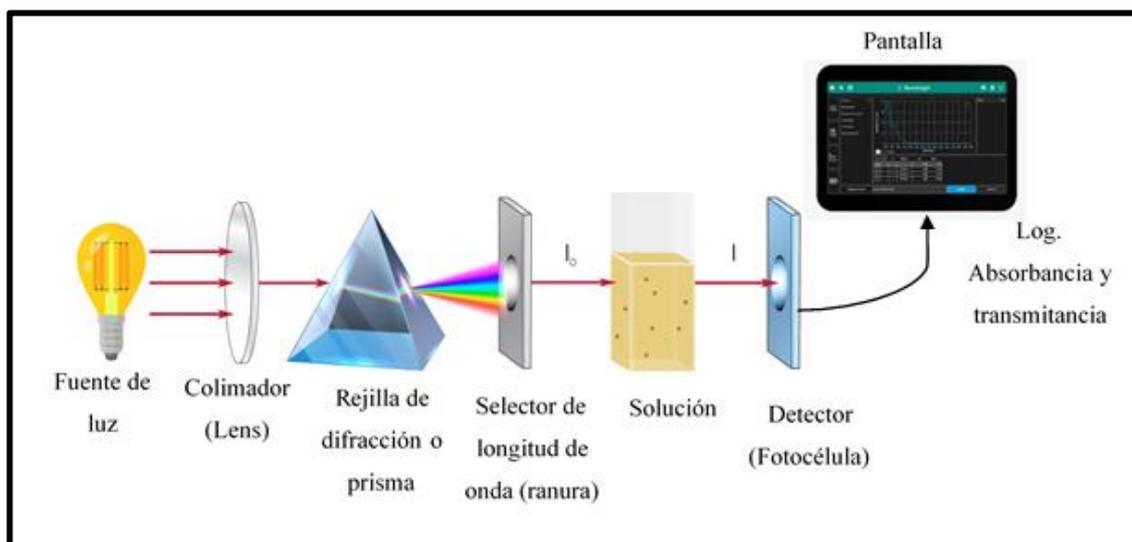
FUENTE: Zulueta et al., 2009

Figura 7 — Estructura del ABTS antes y después de la reacción con el antioxidante

3.2.6 Técnicas instrumentales

3.2.6.1 Espectroscopia ultravioleta-visible (UV-Vis)

La espectroscopia UV visible es un método analítico para determinar la concentración de un compuesto en solución. Se basa en el hecho de que las partículas absorben radiación electromagnética y radiación electromagnética y la cantidad de luz absorbida depende linealmente de la concentración. Para este tipo de medición se utiliza un espectrofotómetro. Se puede elegir la longitud de onda de la luz que atraviesa la solución y medir la cantidad de luz absorbida por la solución (Laimé, 2016).

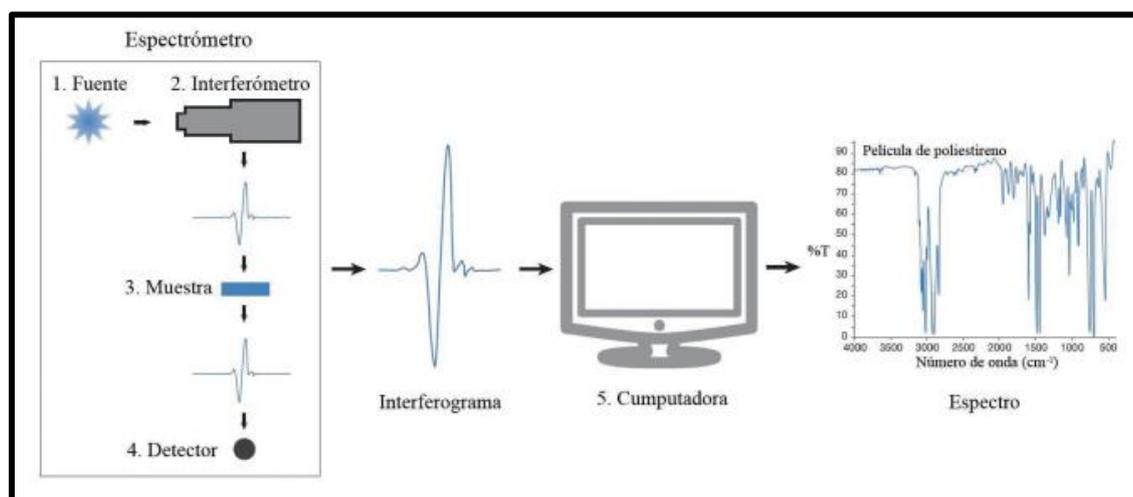


FUENTE: IMPLEN, 2021

Figura 8 — Partes de la espectrofotometría UV-visible

3.2.6.2 Espectrómetro de Infrarrojo con Transformada de Fourier (FTIR)

La espectroscopía infrarroja se trata de un método sencillo y económico que no utiliza ningún reactivo ni etiquetas (Magalhães et al., 2021); mide la interacción de la radiación infrarroja con la materia mediante absorción, emisión o reflexión. Al dirigir un haz de luz infrarroja hacia una muestra, las longitudes de onda absorbidas están relacionadas con las vibraciones moleculares de la sustancia. A partir de la absorbancia infrarroja, es posible determinar información química y estructural de la muestra (Glassford et al., 2013).



FUENTE: López, 2023

Figura 9 — Diagrama de bloques de componentes del FTIR

3.3 Marco conceptual

- a) **Aeropónico.** Es un procedimiento de cultivar plantas en un ambiente aéreo y con niebla sin usar el suelo (He y Zhang, 2018).
- b) **Contenedor.** Un bloque de trozos de madera o metal que gracias a esta se puede acondicionar el sistema aeropónico (Bacigalupo, 2016).
- c) **Plántulas.** Se conoce a la planta desde sus primeros días de desarrollo, es decir desde que germina hasta que aparecen las primeras hojas (Meyer y Fuchs, 2016).
- d) **Variedad.** Se le conoce con este término a un grupo definido de plantas, a partir de las cuales, mediante un delicado trato de selección e investigación, se consigue una variedad mejorada (Rogers, 2007).
- e) **Ploidía.** Es la cantidad de juego completo de cromosomas que tiene una célula o individuo. En el caso de la papa tiene más de dos juegos de estos cromosomas a las cuales se les llama: diploide, triploide, tetraploide, pentaploide y hexaploide (Kloosterman y Visser, 2008).
- f) **Semilla pre básica.** También llamada semilla genética, pre básica o élite. Es una semilla con un 99.99% de pureza varietal. Es decir, está libre de portar patógenos y es la mejor para producir la semilla básica (Duncan y Denson, 2012).
- g) **Semilla básica.** Es la semilla obtenida de la semilla pre básica también libre de plagas y enfermedades, con la diferencia de que ahora está adaptada al suelo y puede ser cultivada en campo desafiando los retos de la naturaleza como el clima y las plagas (Khan y Sultana, 2013).



CAPÍTULO IV METODOLOGÍA

4.1 Tipo y nivel de investigación

El desarrollo del presente trabajo de investigación se llevó a cabo bajo un enfoque cuantitativo y es de tipo experimental, ya que tuvo la finalidad de medir, pesar, evaluar e identificar estadísticamente las características morfológicas, fisicoquímicas, color, el contenido de capacidad antioxidante y polifenoles totales por cultivo en suelo y aeroponía de papa cacho de toro (*Solanum tuberosum sp.*). Las muestras de papas nativas se recolectaron cada 158, 187 y 201 días con la ayuda de equipos e instrumentos de análisis. El estudio corresponde al nivel de investigación exploratorio y descriptivo, por la manipulación de las variables.

4.2 Diseño de la investigación

El diseño de la presente investigación pertenece al diseño de bloques completamente aleatorizada (DBCA) de 2x3, con 6 tratamientos y 2 bloques. Cada tratamiento tiene 3 repeticiones, lo que da un total de 18 observaciones, como se muestra en la Tabla 6 y 7. Con este diseño experimental se pudo determinar y evaluar estadísticamente los efectos causados en el contenido de polifenoles totales, capacidad antioxidante, color, características morfológicas (tamaño polar y ecuatorial, peso del tubérculo y rendimiento total) y características fisicoquímicas (pH, acidez titulable, humedad, ceniza) por dos medios de cultivo en suelo y aeropónico de variedad papa nativa cacho de toro (*Solanum tuberosum sp.*) utilizando el Software estadístico Statgraphics Centurión versión 2015, Excel y Origin versión 2024.

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \varepsilon_{ij} \dots \dots \dots \text{Ec. (1)}$$

Donde:

Y_{ij} , es la variable de respuesta del j -ésimo tratamiento para el i -ésimo bloque;

μ , es la media poblacional de la variable respuesta;

τ_i , es el efecto del i -ésimo tratamiento en la respuesta;



β_j , es el efecto del bloque j-ésimo en la respuesta;

ε_{ij} , error aleatorio por observación.

Tabla 6 — Diseño de investigación para la evaluación por 158, 187 y 201 días los cultivos de aeroponía y en suelo

Bloques	Tratamientos	Descripción
1	A1	Papa cacho de toro cultivada en sistema aeropónico y evaluada a los 158 días.
1	A2	Papa cacho de toro cultivada en sistema aeropónico y evaluada a los 187 días.
1	A3	Papa cacho de toro cultivada en sistema aeropónico y evaluada a los 201 días.
2	B1	Papa cacho de toro cultivada en sistema del suelo y evaluada a los 158 días.
2	B2	Papa cacho de toro cultivada en sistema del suelo y evaluada a los 187 días.
2	B3	Papa cacho de toro cultivada en sistema del suelo y evaluada a los 201 días.

Tabla 7 — Diseño experimental de papa cacho de toro cultivada por aeroponía y suelo

		t: Días de cosecha			
		t ₁ : 158 días	t ₂ : 187 días	t ₃ : 201 días	Total Y _i
Método de cultivo	A: Aeroponía	Y _{1,1} Y _{1,2} Y _{1,3}	Y _{2,1} Y _{2,2} Y _{2,3}	Y _{3,1} Y _{3,2} Y _{3,3}	9 observaciones
	B: Suelo	Y _{4,1} Y _{4,2} Y _{4,3}	Y _{5,1} Y _{5,2} Y _{5,3}	Y _{6,1} Y _{6,2} Y _{6,3}	9 observaciones
Total Y _j		6 observaciones	6 observaciones	6 observaciones	Y_{ij}= 18 observaciones

Donde (A) es el método aeropónico y (B) es el método del suelo, (t) representa los días de cosecha 158, 187 y 201 días y (Y): número de repeticiones. Cada tratamiento indica que tanto el cultivo en aeroponía como del suelo tuvieron sus respectivas repeticiones triplicadas. A partir de esto, se determinaron las características morfológicas, la



colorimetría, las características fisicoquímicas, el contenido de polifenoles y la capacidad antioxidante.

Tabla 8 — Diseño de investigación

Variable de interés	Selección	Cultivo	Crecimiento	Análisis	Producto final
Plántulas in vitro de papa nativa		Aeroponía A1 A2 A3 Suelo B1 B2 B3			Papa nativa
Parámetro		- Aeroponía con solución nutritiva - Suelo con humus	t ₁ = 158 días t ₂ = 187 días t ₃ = 201 días	Temperaturas del invernadero: Día= 18 y 25 °C Noche= 8 y 15 °C	
Control	- Forma - Color - Tamaño	- Humedad - Temperatura - pH suelo - Acidez del suelo	- Peso - Actividad antioxidante - Polifenoles - Forma - Color - pH - Acidez titulable	- Color - Actividad antioxidante - Rendimiento - Dimensiones morfológicas - pH - Acidez - Ceniza	- Comparación de datos

4.3 Población y muestra

4.3.1 Población

La población de esta investigación está compuesta por plántulas in vitro de variedad de papa “Cacho de toro” (*Solanum tuberosum sp.*), originaria del departamento de Junín, provincia de Jauja. Se consideraron 80 plántulas in vitro por la posibilidad de daños físicos durante el transporte desde Jauja hasta Abancay o en la manipulación de las plántulas, de las cuales se utilizaron 54. De estas, 27 plántulas se cultivaron en suelo y 27 plántulas en un sistema de aeroponía.



4.3.2 Muestra

En esta investigación, se empleó un muestreo probabilístico aleatorio para seleccionar los tubérculos de papa, los cuales se cosecharon en tres tiempos distintos: a los 158 días, 187 y 201 días.

Las plántulas in vitro se consideraron con un tamaño aproximado de 8 a 9 cm. De las 27 cultivadas en suelo, se mantuvieron 15, mientras que en el sistema de aeroponía, de las 27 plántulas, se conservaron 16.

Se llevaron a cabo recolecciones de muestras de cultivo en un sistema aeropónico y en suelo en una cama experimental. A los 158 días, se realizó la cosecha únicamente del cultivo en suelo. Posteriormente, a los 187 días, se cosechó una repetición del cultivo aeropónico y tres repeticiones del cultivo en suelo. Finalmente, a los 201 días, se cosecharon tres repeticiones del cultivo aeropónico y tres del cultivo en suelo, lo que resultó en un total de 13 plantas de papa cacho de toro de todas las áreas experimentales. Los tubérculos obtenidos fueron evaluados mediante análisis morfológico en la instalación del invernadero, así como análisis fisicoquímico y de capacidad antioxidante en el laboratorio de Análisis de Productos Agroindustriales. Además, se realizaron estudios de colorimetría y compuestos orgánicos en el laboratorio de Biotecnología, y se llevó a cabo un análisis FTIR en el laboratorio de Química General.

En cuanto a la solución nutritiva utilizada en el presente estudio, fueron de procedencia de la Universidad Nacional Agraria La Molina de Lima. La solución nutritiva fue adquirida en polvo.

4.4 Procedimiento

El procedimiento de la investigación se basa de tres etapas, se muestra en la siguiente información:

ETAPA I: Construcción del invernadero y contenedor aeropónico para el cultivo de papa cacho de toro (*Solanum tuberosum* sp.)

A. Características del terreno del experimento

- **Localización**

El presente estudio se ejecutó en terreno de la urbanización Aymas, distrito de Abancay y provincia de Abancay.



Ubicación geográfica

Latitud: 13°38'27"

Longitud: 72°52'4"

Altitud: 2 400 m s.n.m.

Área: 25.8 m²

B. Características del suelo:

El estudio de suelo, se realizó en el laboratorio de Análisis de agua y suelo en la Universidad Nacional Agraria La Molina (Ver Anexo 6, P.113), se encontró los siguientes compuestos, tal como se muestra en la Tabla 9:



Tabla 9 — Datos de análisis de suelo para el cultivo en suelo

Análisis mecánico				Saturación %	pH suelo: agua (1:3)	C.E. dS m ⁻¹	MO %	P ppm	K ppm	CaCO ₃ %	Cambiables						PSI
Arena %	Limo %	Arcilla %	Textura								CIC total	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	Al ⁺³ +H ⁺¹	
											Cmol (+) Kg ⁻¹						
58.80	21.00	20.20	Franco Arcillo Arenoso	67.00	6.90	1.37	5.60	64.70	647.20	1.33	17.56	12.42	2.13	0.08	0.76	-	0.45
CATIONES SOLUBLES (meq l ⁻¹)					ANIONES SOLUBLES (meq l ⁻¹)						Yeso soluble %	Boro soluble %	Microelementos solubles			Cd soluble ppm	Pm %
Ca ⁺⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺⁺	SUMA	Cl ⁻	SO ₄ ⁼	CO ₃ ⁼	HCO ₃ ⁼	NO ₃	SUMA			Fe ppm	Zn ppm	Mn ppm		
7.80	3.33	0.74	1.85	13.73	1.85	10.30	0.00	1.43	0.04	13.63	0.04	1.21	19.39	2.51	1.13	0.20	9.11

C. Características de agua

En la Tabla 10, se muestran los resultados del análisis del agua realizado en el laboratorio de Análisis de Productos Agroindustriales en la Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac, utilizando el equipo conductímetro HANNA HI 9835. Además, se contrastaron los datos con las recomendaciones propuestas por la guía de Otazú (2010). Basado en estos resultados, se implementó la preparación de solución nutritiva. A continuación, se detallan los hallazgos obtenidos:

Tabla 10 — Análisis de agua para la preparación de solución nutritiva

Análisis de agua	Valores
Conductividad Eléctrica (C.E) [mS cm ⁻¹]	0.15 ± 0.001
pH	7.80 ± 0.22
T (°C)	16.34± 1.18



D. Construcción del invernadero, antecámara y contenedor aeropónico

- **Construcción del invernadero**

Se diseñó, construyó e instaló un invernadero de tipo capilla en Urb. Aymas-Abancay. Esta estructura se eligió por su alta resistencia al viento y su capacidad para aprovechar la luz diurna, lo cual beneficia el crecimiento de las plantas. El área total del invernadero fue de 25.8 m².

En la Figura 10, se describen las dimensiones del terreno del invernadero de manera singular. El largo es de 600 cm, el ancho es de 430 cm, la altura de los costados es de 460 cm y la altura al centro es de 510 cm. Se descontaron 60 cm para colocar la base en la tierra. La estructura se fabricó con listones de madera circular de 10 cm de diámetro, y los soportes del techo se hicieron con listones de madera de 1x1 ½ pulgada. Además, para la construcción de la antecámara se utilizó madera circular de 10 cm de diámetro.

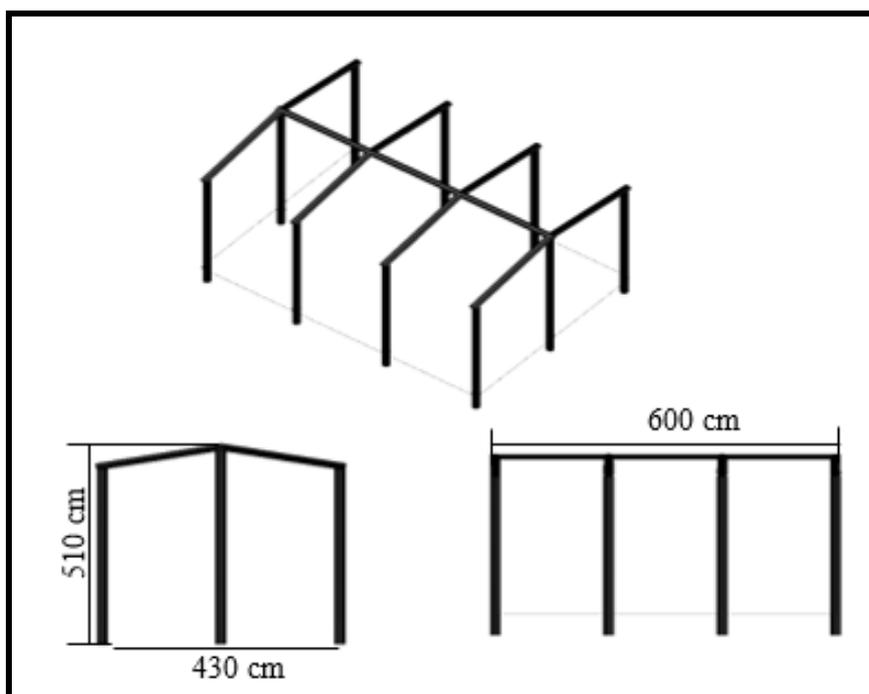


Figura 10 — Dimensiones del invernadero

Para establecer el invernadero, se utilizaron brocas de 5 mm, clavos, tirafones y tornillos para unir los listones de madera. Durante el proceso de construcción, se tomaron las siguientes medidas para su cubierta y protección, se utilizó agrofilm como material para la cubierta del techo. Para ajustar, se envolvió con listones delgados y se fijó con clavos de 1 pulgada. En caso de elevación frontal, elevación derecha, lateral izquierda y posterior se protegieron con malla antiáfida. La base del invernadero se cubrió con plástico transparente y yute, a una altura de 70 cm.

Además, el techo también se cubrió con malla raschel de 65 % para proporcionar sombra dentro del invernadero y reducir la temperatura.

Las determinaciones del invernadero para su construcción se muestran a continuación:

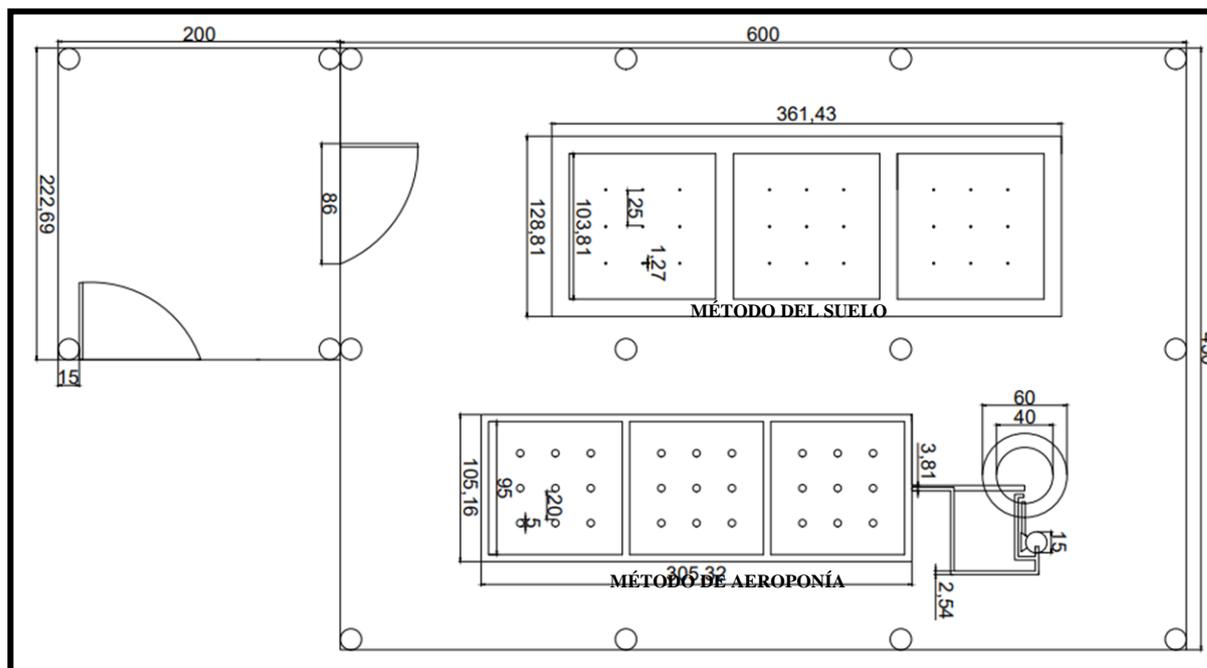


Figura 11 — Plano del invernadero

- **Construcción de antecámara**

El invernadero conforma de una antecámara de asepsia de largo 200 cm y ancho 220 cm, de altura trasera 240 cm y la altura delantera 220 cm. Esta fue construida con listones de madera circular de 10 cm. El material que se utilizó fue malla raschel de 80 %, plástico agrofílm liviana y malla antiáfida.

- **Construcción de contenedor aeropónico**

Se construyó un contenedor de 305 cm de largo por 105 cm de ancho por 100 cm de altura procurando la presencia de ventanas laterales con una medida de 45 x 60 cm y la distancia entre sí es de 50 cm, para facilitar la cosecha permanente.

La pendiente de inclinación transversal del 2 al 3 % permite que el líquido regrese al tanque por gravedad. Luego, se perforaron agujeros utilizando un taladro con una broca de 3/16 pulgadas y se colocaron los tornillos según se muestra en la Figura 12.





Figura 12 — Construcción de contenedor aeropónico, uso de tornillos

Conexión y empalme

Después de haber utilizado el taladro, los listones se prosiguieron a realizar el correspondiente empalme del armazón y conexión usando los tornillos de 6 mm x 100 mm.

Cobertura con plástico negro

Para la protección del interior se utilizó plástico negro para evitar que la luz llegue al sistema radicular de las plantas, tanto el piso como la parte lateral se cubrieron con un plástico negro grueso para prevenir filtraciones. Por ello, las cortinas de las ventanas laterales también se cubrieron con plástico negro delgado.

Instalación del Tecnopor

Se utilizaron planchas de tecnopor para cubrir todo el contenedor aeropónico, dejando espacio para las ventanas. Posteriormente, se diseñó la parte superior del tecnopor perforando agujeros de 1 pulgada cada 20 cm en total 27 agujeros, distribuidos en 3 filas.

Instalación de la malla hexagonal y manguera

Se colocó una malla hexagonal a 5 cm de la parte superior del contenedor para sostener las plántulas. Asimismo, se instaló una manguera de riego de 16 mm junto con los nebulizadores.

Cobertura con plástico blanco

El tecnopor de la parte superior se protegió con plástico blanco para reflejar la luz y minimizar la temperatura en el interior del contenedor.

Las especificaciones y medidas del contenedor se muestran en la Figura 13.

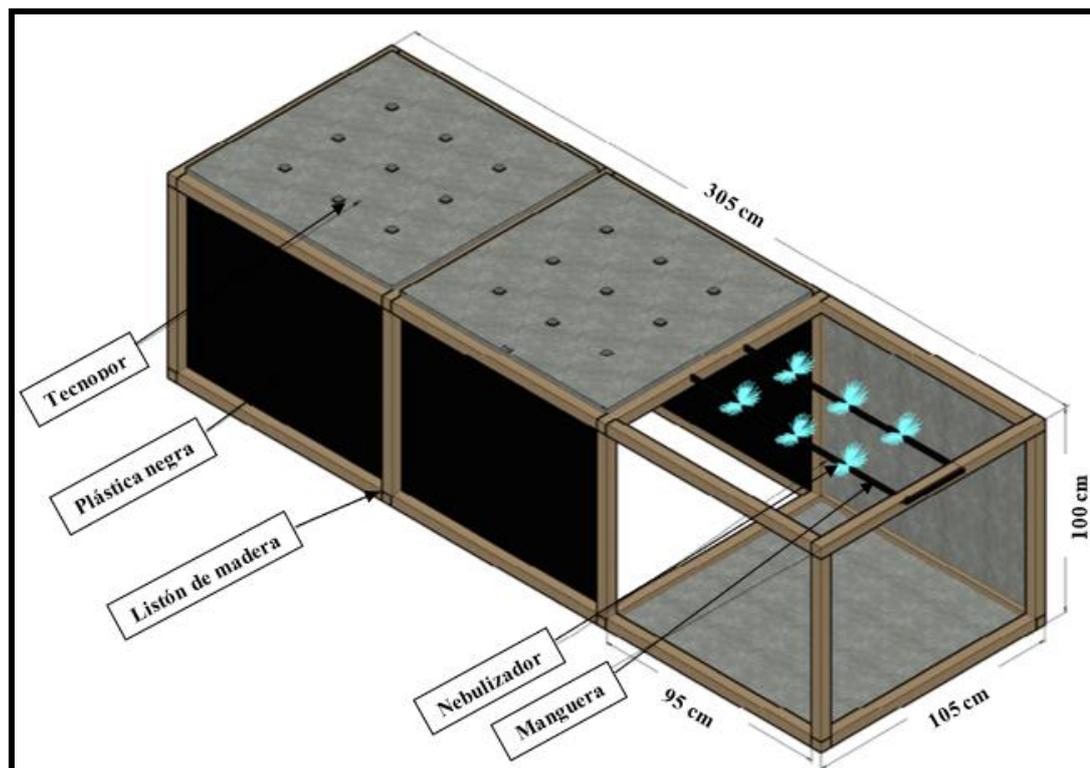


Figura 13 — Especificaciones y sus medidas del contenedor aeropónico

Instalación del riego

Se instaló la conexión eléctrica para el contenedor aeropónico. Luego, se colocó la electrobomba, conectándose al tanque que contiene la solución nutritiva mediante tubos de PVC de 1 pulgada y una manguera de 16 mm. Se equipó para que haya suficiente presión y pueda distribuir la solución nutritiva a través de los nebulizadores del contenedor, teniendo en cuenta que la parte superior quedará fuera para poder conectar la electrobomba y para la salida del desagüe. La salida del desagüe del contenedor aeropónico se diseñó con una pendiente del 2 %, utilizando tubos de PVC de 1 ½ pulgada de diámetro, con el objetivo de que el líquido retornara por gravedad al tanque y pueda recircular nuevamente.

El programador Timer se instaló por medio de una adecuada calibración, de este modo se manejó con los siguientes tiempos, durante el día, cada 15 minutos en un período de 5 minutos de riego, por las noches se programó para que riegue solo por 15 minutos. Al interior del invernadero, las temperaturas durante el día fueron de 18 a 25 °C y durante la noche de 8 a 15 °C. La humedad relativa osciló entre el 70 y el 90%.



ETAPA II: Instalación de las plántulas de papa al contenedor aeropónico y cama en suelo

A. Cultivo por medio de aeroponía

- **Acondicionamiento y selección de plántulas**

Para acondicionar las plántulas de papa provenientes del departamento de Junín, provincia de Jauja, se realizó por un lapso de dos días en la fundación del invernadero para aclimatar. Luego, se seleccionaron las plántulas sanas.

- **Preparación del sustrato y contenedor aeropónico**

Para desinfectar el sustrato, se utilizó arena del río. Primero, se desinfectó hirviendo con agua durante 10 minutos y luego se lavó varias veces. Después, se colocó en una bandeja de plástico y se dejó secar a temperatura ambiente durante dos días. Se aplicó una solución nutritiva al 50 % y se mantuvo durante 20 días para que las raíces se desarrollarán. Por otro lado, se limpió y desinfectó el contenedor aeropónico.

- **Trasplante**

Después de que las plántulas de papa desarrollaron sus raíces, se seleccionaron aquellas con rasgos de buen tamaño, hojas de color saludable y vigor. Con cuidado, se retiró para evitar daños y se lavaron y secaron con papel toalla para eliminar restos del sustrato. En cuanto al trasplante al contenedor, se cubrió el cuello de la plántula con una esponja y se ubicó en la canastilla con sus medidas respectivas, evitando así la radiación de luz al interior del contenedor. Además, se aseguró que las raíces estuvieran sujetas a la solución nutritiva mediante la nebulización.

Una vez que las plántulas de papa desarrollaron sus raíces, se seleccionaron aquellas con rasgos de buen tamaño, hojas de color saludable y vigor. Con cuidado, se las retiró para evitar daños y se lavaron y se secaron con papel toalla para eliminar restos del sustrato. En cuanto al trasplante al contenedor, se cubrió el cuello de la plántula con un sorbete y se ubicó al agujero con sus medidas respectivas, evitando así la radicación de luz al interior del contenedor. Además, se aseguró de que las raíces estuvieran sujetas a la solución nutritiva mediante la nebulización.

- **Solución nutritiva**

En la aeroponía, se utilizó una solución nutritiva que contiene macronutrientes y micronutrientes para el desarrollo de las plantas. Para alimentar a las raíces, se



emplearon micro nebulizadores, riego de cada 15 minutos con retraso de 5 minutos. La dosis se detalla en la Tabla 11.

Tabla 11 — Dosis de nutrientes para 1000 L de agua después de trasplante de plántulas al contenedor aeropónico

Solución concentrada (A)			
Superfosfato triple de calcio	Nitrato de potasio	Nitrato de amonio (primer y segundo mes)	Nitrato de amonio (pasado los dos meses)
280 g	540 g	350 g	175 g
Solución concentrada (B)			
Micronutrientes (Fetrilon combi)		Quelato de hierro	Sulfato de magnesio
12 g		9 g	240 g
FUENTE: UNALM, 2015			

Se consideró la fórmula de la Tabla 11, teniendo en cuenta que durante los dos primeros meses después del trasplante de las plántulas, se redujo el nitrato de amonio al 50 %, mientras que la cantidad de los demás nutrientes se mantuvo constante. La aplicación de la solución nutritiva se controló mediante un programador. Al principio, el cambio de riego se realizaba cada dos semanas. Sin embargo, debido a que los tallos crecieron y absorben más la solución, se decidió cambiar la solución cada semana.

En la Tabla 12, aparecen los resultados del análisis de la solución nutritiva para el riego óptimo en aeroponía. Este análisis se llevó a cabo en el laboratorio de Análisis de Productos Agroindustriales, utilizando el equipo conductímetro HANNA HI 9835. Además, se compararon los datos con las recomendaciones de la guía de Otazú (2010). Con base en estos resultados, se procedió a trabajar en el riego de manera adecuada.

Tabla 12 — Análisis de solución nutritiva para aeroponía

Análisis de solución nutritiva	Valores
Conductividad Eléctrica (C.E) [mS cm ⁻¹]	1.42 ± 0.27
pH	7.33 ± 0.44
T (°C)	22.30 ± 0.45

- **Aporque – hundimiento**

Para fomentar un mayor número de estolones y, en consecuencia, producir una mayor cantidad de tubérculos, se bajaron los tallos debajo de la tapa del invernadero para inhibir la entrada de luz. Este proceso se llevó a cabo un mes después del trasplante al contenedor.

- **Podas**

En esta operación, para manipular las plántulas, se tomó la precaución de limpieza y desinfección de las manos con alcohol de 70 %. Luego, se cortaron de 3 a 4 hojas inferiores de cada plántula utilizando un bisturí. Posteriormente, se permitió que las heridas cicatricen durante 2 o 3 días. Asimismo, se insertaron de 8 a 12 cm de tallo en el contenedor.

- **Tutorado**

Después de 4 semanas de haber realizado el aporque y la poda, se procedió al tutorado utilizando cordeles blancos para prevenir que los brotes laterales se lesionen. Este paso es crucial para mantener la integridad y el crecimiento adecuado de las plantas.

- **Cosecha**

En este proceso de cosecha, se llevó a cabo de forma escalonada, es decir, a los 158, 187 y 201 días para sus respectivas evaluaciones morfológicas, fisicoquímicas, colorimetría y espectrofotometría UV-Visible y FTIR-IR.

B. Cultivo en suelo

La cama se preparó con dimensiones de 129 cm de ancho, 361 cm de largo y 45 cm de profundidad. En el contorno y la división, se colocaron ladrillos con un diámetro de 12.5 cm. La distancia de siembra entre las plantas fue de 25 cm, utilizando un total de 27 plántulas de papa. Como sustrato, se empleó el humus de lombriz, combinando un 50 % de humus con un 50 % de tierra de la chacra. El riego en este método fue cada tres o cuatro días. Para los análisis, se cosecharon estadísticamente de manera aleatoria cada 158, 187 y 201 días.

ETAPA III: Obtención y análisis de muestras de tubérculos variedad cacho de toro

Se analizó morfológicamente el tubérculo de papa cacho de toro (*Solanum tuberosum* sp.), considerando el tamaño polar y ecuatorial, el peso del tubérculo y el rendimiento de peso del tubérculo y, tamaño de planta y grosor de planta. Estos análisis se llevaron a cabo en la



instalación del invernadero y en el laboratorio de Biotecnología. Además, se realizaron análisis fisicoquímicos, incluyendo la medición del pH, la acidez titulable, la ceniza y la humedad, en el laboratorio de Análisis de Productos Agroindustriales. También se evaluó el color, la actividad antioxidante y los polifenoles totales de papa cacho de toro en el mismo laboratorio de Análisis de Productos Agroindustriales y Biotecnología.

A. Análisis morfológico del tubérculo papa cacho de toro

En el invernadero, se utilizó calibre vernier y cintas métricas para analizar el tamaño y grosor de la planta. En el laboratorio de biotecnología también se midieron el tamaño polar y ecuatorial, el peso de los tubérculos y el rendimiento del tubérculo. Se siguió este proceso para recopilar información sobre las distintas variables:

- **Tamaño y grosor de planta**

Se registraron los tamaños y el grosor de las plantas utilizando una cinta métrica y un calibrador vernier, siguiendo el método propuesto por Majeed y Waseem (2022). Es relevante mencionar que evaluamos cada método en tres plantas seleccionadas al azar para verificar su reproducibilidad en cada repetición.

- **Tamaño polar y ecuatorial**

Los tubérculos de cada planta se registraron utilizando calibradores según el método Majeed y Waseem (2022). Cabe mencionar que cada método fue evaluado sobre 3 plantas seleccionadas al azar por su respectiva reproducibilidad.

- **Peso de tubérculo**

Durante el estudio, se aplicó el método propuesto por Majeed y Waseem (2022), para registrar el peso de los tubérculos. Para llevar a cabo esta medición, se utilizó una balanza gramera. Además, se evaluaron los mismos tubérculos de cada planta, considerando sus respectivas repeticiones para cada método. La selección de los tubérculos se realizó de manera aleatoria.

- **Rendimiento total**

En este estudio, se aplicó el método recomendado por el Ministerio de Agricultura y Ganadería (2019), para registrar el rendimiento total de los tubérculos. A continuación, se expresa la fórmula utilizada para calcular dicho rendimiento:

$$\text{Rendimiento por planta} = \text{número de minitubérculos por planta} \times \text{peso de un minitubérculo} \dots \text{Ec.(2)}$$

$$\text{Rendimiento total} = \text{rendimiento por planta} \times \text{número total de planta} \dots \text{Ec.(3)}$$



B. Análisis de color

Para cuantificar el color de la papa cacho de toro, se empleó la metodología de PCE Instruments (2015). Se utilizó el colorímetro PCE-CSM7. Se seleccionaron muestras de papa para medir el color tanto en la parte externa e interna. Se trabajó con seis repeticiones de cada método de cultivo aeroponía y en suelo. Se obtuvieron valores de L, a y b (parámetros de medición de color). Luego, se determinó el promedio final y se optimizó el color real. La evaluación se realizó cada 158, 187 y 201 días para ambos métodos.

C. Análisis fisicoquímico del tubérculo papa cacho de toro

Se realizaron evaluaciones en el laboratorio de Análisis de productos Agroindustriales de la Escuela Académica Profesional de Ingeniería Agroindustrial de la UNAMBA. Para recopilar datos de diferentes variables, se siguió el siguiente procedimiento:

- **Determinación de potencial de hidrogeniones (pH)**

Para medir el pH de la papa nativa “cacho de toro”, se aplicó el método descrito en la norma 981.12 (A.O.A.C., 2006). Inicialmente, se congeló la papa durante 1 hora y luego se permitió que descongele aproximadamente 1 hora antes de exprimirla. Finalmente, se realizó la lectura directa sumergiendo el electrodo en la muestra.

- **Determinación de acidez titulable**

Para la determinación de acidez titulable, se utilizó el método 942.15 de A.O.A.C. (1990), que se basa en la concentración de un ácido mediante NaOH al 0.1N. Cabe recalcar que se congeló la papa nativa cacho de toro durante 1 hora y luego se descongeló. Después se exprimió y se separó por triplicado, agregando a cada muestra 40 mL de agua destilada. Se utilizaron 3-5 gotas de fenolftaleína como indicador.

Para hallar el porcentaje de acidez titulable, se empleó la siguiente ecuación:

$$\% \text{Acidez titulable} = \frac{(\text{ml NaOH gastado})(N \text{ del NaOH})(0.0587)}{\text{g de muestra}} \times 100 \dots\dots\dots \text{Ec. (4)}$$

- **Determinación de humedad**

Para determinar el contenido de humedad, se siguió el método de desecación descrito en la norma 934.01 de (A.O.A.C., 1990). Se pesó una placa Petri para registrar su peso inicial. Luego, se añadieron 5 g de rodajas de papa a la placa Petri y se pesó nuevamente utilizando una balanza analítica. La muestra se colocó en una estufa a 100°C al 80 % de humedad relativa durante aproximadamente 8 horas, hasta alcanzar un peso constante. Después de la desecación, se sacó la muestra al



dsecador y se procedió a pesarla nuevamente. Los resultados se expresaron como porcentaje de humedad de la papa y se calcularon utilizando la siguiente ecuación:

$$\% \text{Humedad} = \frac{\text{Peso muestra húmeda} - \text{Peso muestra seca}}{\text{Peso muestra húmeda}} \times 100 \dots\dots\dots \text{Ec. (5)}$$

• **Determinación de ceniza**

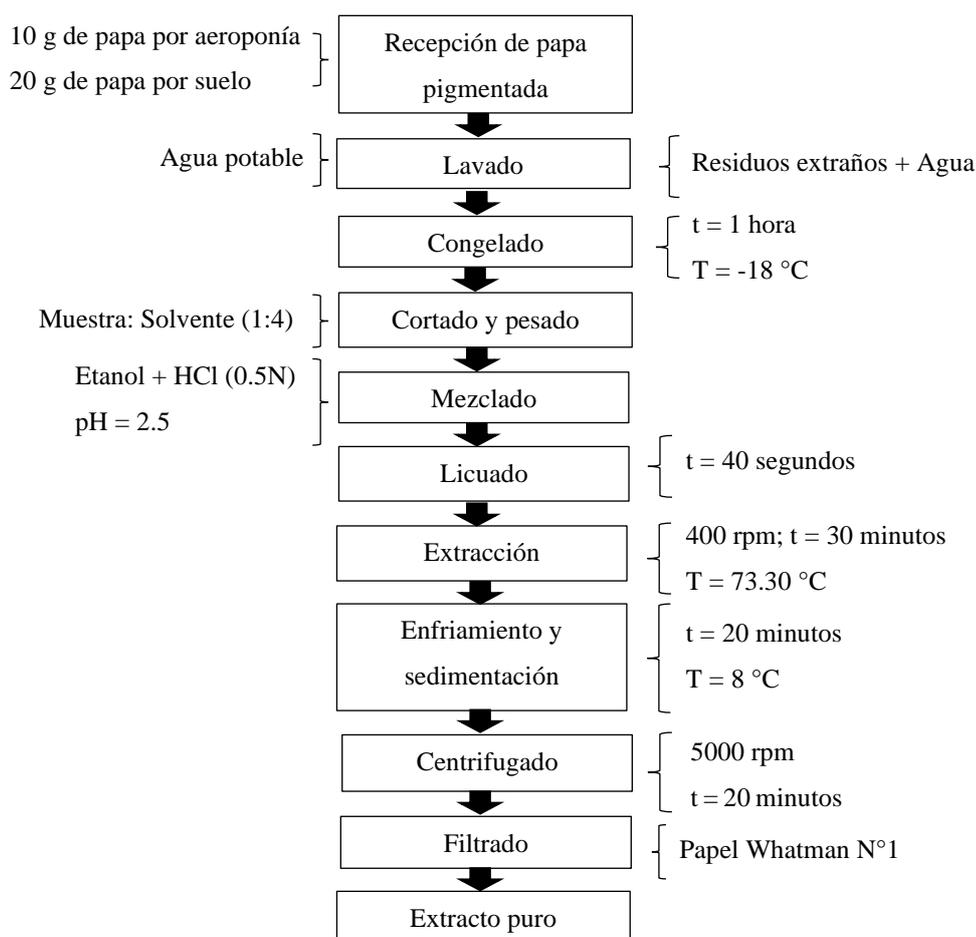
Para analizar las cenizas presentes en la papa, se siguió el procedimiento descrito en la norma 923.03 de (A.O.A.C., 1990). Se pesó el crisol por diferencia utilizando una balanza analítica. Se mantuvo un peso constante de 4 g de muestra de papa previamente picada en tamaños pequeños. Luego, el crisol con la muestra se colocó en la mufla y se calibró a una temperatura de 600 °C durante 6 horas. La incineración permitió eliminar la materia orgánica y dejar solo las cenizas. Después de apagar la mufla y esperar a que la temperatura bajara a 200 °C, se trasladó el crisol al desecador. Finalmente, se pesó nuevamente en la balanza analítica a temperatura ambiente.

$$\% \text{Cenizas} = \frac{\text{g de residuo fijo}}{\text{muestra}} \times 100 \dots\dots\dots \text{Ec. (6)}$$

D. Determinación de polifenoles totales de papa cacho de toro

En la Figura 14, se muestra el proceso de obtención de extracto de papa nativa:





FUENTE: Salas y Tovalino, 2018 — Modificado por el autor

Figura 14 — Diagrama de flujo de obtención de extracto de papa nativa

Procedimiento de obtención de extracto de papa nativa:

1. Las papas nativas se seleccionaron sin magulladuras y previamente fueron lavadas y secadas. Luego, se congelaron durante 1 hora a una temperatura de -18 °C .
2. Estas muestras se cortaron en láminas y se pesaron: 20 g en el método del suelo y 10 g en aeroponía. Se agregó una solución acuosa de etanol al 50 % en una proporción de 1:4 (muestra: solvente), diluida hasta alcanzar un pH de 2.50 con HCl 0.5N.
3. Se utilizó una licuadora manual para triturar las muestras respectivas.
4. Posteriormente, se llevaron al agitador magnético a 400 rpm y 73.30 °C durante 30 minutos. Luego, se colocaron en la refrigeradora a 8 °C durante 20 minutos, con el fin de separar la fase sólido-líquido (sedimentación).



5. Inmediatamente después, se colocó en la centrífuga a 5000 rpm durante 20 minutos para mejorar la sedimentación y purificar el sobrenadante.
6. Por último, el sobrenadante se filtró utilizando papel Whatman, empleando un embudo Büchner y una bomba de vacío a presión limitada, hasta obtener soluciones incoloras de la muestra total.

Para la preparación de polifenoles totales, se siguió el método de Singleton y Rossi (1965). Se utilizó el reactivo ácido gálico como estándar.

Preparación de la curva estándar de calibración para la determinación de polifenoles totales

Se prepararon seis tubos, cada uno con una concentración diferente de una solución (3.125, 6.25, 12.5, 25, 50 y 100 mg/L). De cada tubo, se tomó una muestra de 0.50 mL. A cada muestra se le añadió 0.50 mL de reactivo Folin y 2 mL de Carbonato de sodio. Se utilizó un tubo blanco como control. En este tubo, se mezclaron 5 mL de metanol al 80 %, 2.50 mL de reactivo Folin y Carbonato de sodio. Luego, se dejó reposar en la oscuridad durante 1 hora a temperatura ambiente. Finalmente, se midió la absorbancia a 740 nm. Cabe mencionar que se trabajó con seis réplicas (sextuplicado) de cada muestra. En cada réplica, se tomó 0.50 mL de muestra y se añadieron 2.50 mL de reactivo Folin y 2 mL de Carbonato de sodio. Tal como se muestra en la Tabla 13.

Tabla 13 — Datos de las concentraciones para la obtención de la curva patrón de polifenoles totales

Estándares ppm ácido gálico (mg/L)	Estándar (mL)	Reactivo Folin (mL)	Solución Na₂CO₃ al 7.5% (mL)
0 (Blanco)	0.50 (metanol 80%)	2.50	2.00
100	0.50	2.50	2.00
50	0.50	2.50	2.00
25	0.50	2.50	2.00
12.5	0.50	2.50	2.00
6.25	0.50	2.50	2.00
3.13	0.50	2.50	2.00

Los resultados de polifenoles totales son expresados en equivalente de Ácido Gálico en mg/mL de extracto; (EAG/mL).

$$\text{PFT} \left(\frac{\text{mg ácido gálico}}{\text{litro}} \right) = \left[\frac{\text{Abs.muestra}-A}{B} \right] \times \text{FD} = \text{FT1} \dots\dots\dots \text{Ec. (7)}$$

Donde:

PFT: Polifenoles Totales

Abs_{muestra}: Absorbancia de la muestra

A: Intercepto

B: Pendiente

FD: Factor de dilución

FT1: Cuantificación de los compuestos fenólicos (mg EAG/100 g muestra)

E. Determinación de la capacidad antioxidante

- **Método DPPH (2,2 diphenyl-1-picrylhydrazyl)**

Para la determinación de la capacidad antioxidante de las muestras, se empleó por el método DPPH según Brand et al. (1995), se realizaron ciertas modificaciones al procedimiento según Barragán et al. (2018):

Procedimiento

Se preparó una solución DPPH pesando 3.9 mg del compuesto. Luego, se enrasó con 100 mL de metanol al 80 %. Seguidamente, la mezcla resultante se guardó en una fiola, cubriéndose con papel aluminio. Después, se realizaron 6 réplicas de cada método de cultivo. Se tomó 360 µL de muestra del extracto obtenido con etanol al 50 % con proporción de (1:4). A esta muestra se le añadieron 5.8 mL de DPPH. La mezcla se agitó de arriba abajo y se guardó en la oscuridad durante 30 minutos a temperatura ambiente. Finalmente, se realizó una lectura de absorbancia a 517 nm.

Preparación de la curva patrón Trolox

Para la preparación de la solución madre de Trolox, pesaron 25 mg de Trolox. Estos 25 mg se diluyeron en 100 mL de metanol al 80 %, obteniendo una concentración de 1000 µM (solución madre). La solución madre se transfirió a una fiola y se cubrió con papel aluminio para proteger de la luz. Luego, se prepararon cinco tubos con diferentes diluciones de Trolox (1.25, 2.50, 5, 10 y 15 mL). Cada uno de estos tubos se enrasó a 25 mL con metanol al 80 %, como se muestra en la Tabla 14.



Tabla 14 — Formulación de curva patrón de Trolox

Concentración ($\mu\text{mol/mL}$)	Volumen de solución Trolox (mL)	Metanol al 80 % (mL)
50	1.25	23.75
100	2.50	22.50
200	5.00	20.00
400	10.00	15.00
600	15.00	10.00

La inhibición de DPPH se calculó mediante la ecuación 8:

$$\% \text{Inhibición DPPH} = \left[1 - \frac{\text{Amuestra} - \text{Ablanco}}{\text{Areferencia}} \right] \times 100 \dots\dots\dots \text{Ec. (8)}$$

Donde:

Amuestra: Absorbancia de la muestra

Ablanco: Absorbancia de blanco

Areferencia: Absorbancia de referencia

- **Método ABTS (2,2'-azino-bis-3-ethylbenzthiazoline-6-sulfonic-acid)**

La técnica ABTS (ácido 2,2'-azinobis-3-etilbenzotiazolina 6-sulfónico) es ampliamente utilizada para evaluar la capacidad antioxidante de compuestos y extractos naturales. En este estudio, se empleó el método de Barragán et al. (2018) con algunas adaptaciones. Se produjo el radical libre del cromóforo ABTS verde-azul mediante la reacción entre ABTS (7 mM en agua) y Persulfato de Potasio ($\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$, 2,45 mM) en condiciones de oscuridad durante 12-16 h a temperatura ambiente, la absorbancia se midió a una longitud de onda de 732 nm.

Preparación de la curva de calibración de Trolox para la determinación de actividad antioxidante mediante el ensayo ABTS

Para la preparación de la solución madre de Trolox, se pesaron 12.5 mg de Trolox. Estos 12.5 mg se disolvieron en etanol absoluto hasta alcanzar un volumen final de 10 mL, obteniendo así la solución madre. La solución madre se homogeneizó adecuadamente y se protegió de la luz cubriéndola con papel aluminio. Posteriormente, se prepararon cuatro tubos de ensayo, en los cuales se



añadieron las cantidades especificada de Trolox y etanol, según se muestra en la Tabla 15.

Tabla 15 — Concentraciones de Trolox y etanol para la curva

Concentración (μM)	Volumen de Trolox (μL)	Volumen de ABTS diluido (μL)
50	50	4950
100	100	4900
150	150	4850
200	200	4800

Primero, se añadieron 300 μL de concentrado junto con 2700 μL de ABTS para cada concentración de Trolox (solución madre). La lectura se realizó a 732 nm después de 6 minutos. Por otro lado, se llevó a cabo un procedimiento similar con la misma cantidad de ABTS, pero en lugar de etanol, se utilizó extracto de papa. Sin embargo, en este caso, las lecturas se tomaron al inicio (tiempo 0) y nuevamente después de 6 minutos. Los cálculos se efectuaron tomando de Re et al. (1999), citado por Chinth et al. (2023), con la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Inhibición ABTS} = \left[\frac{(A_c - A_m)}{A_c} \right] \times 100 \dots\dots\dots \text{Ec. (9)}$$

Donde:

A_c: Absorción de control

A_m: Absorción muestra

F. Identificación de grupos funcionales por espectrofotometría FTIR-ATR

Para la medición de los espectros infrarrojos mediante por transformada de Fourier (FTIR) en las papas nativas cultivadas mediante aeroponía y el suelo, se utilizó el procedimiento de López (2023); el modo de reflectancia total atenuada (ATR) con un equipo Espectrómetro Nicolet iS20 FTIR de la marca Thermo Scientific. Los datos se analizaron en el rango IR medio, desde 4000 hasta 400 cm^{-1} de longitud de onda, utilizando el software OMNIC SPECTA.

Se tomaron aproximadamente 5 gramos de muestra del tubérculo de la variedad cacho de toro de la tercera cosecha, tanto para el cultivo aeropónico como para el suelo. Estas muestras se colocaron en el equipo para obtener los espectros. Además, también se



leyeron los extractos de la segunda y tercera cosecha de ambos cultivos, tanto aerónico como suelo.

4.5 Técnica e instrumentos

Para la obtención de datos experimentales, se realizó cada una de las siguientes etapas, procediendo la secuencia de la investigación.

4.5.1 Utensilios de laboratorio

- Placas Petri
- Pinza de punta curva
- Cisoles de porcelana
- Vidrio de reloj
- Tubos de ensayo 13x100
- Gradillas metálicas
- Pipetas de 1 mL, 5 mL y 10 mL
- Micropipeta escala 100 a 1000 μ L
- Bagueta de vidrio
- Bisturí
- Matraces aforados
- Vasos de precipitado de 250 mL
- Propipeta de goma
- Celdas de vidrio
- Piseta
- Mortero y pilón
- Probeta de capacidad de 10 mL, 15 mL, 100 mL y 250 mL.
- Fiola de capacidad de 250 mL.

4.5.2 Utensilio aerónico

- Malla antiáfida
- Malla raschel 65 %
- Pintura industrial
- Cobertor agrofílm
- Listones de madera circular 6"x6 m
- Listones de madera circular 3"x5 m
- Listones de madera 2"x2x3 m



- Listones de madera 1 ½"x1 ½"x3 m
- Alambre galvanizado
- Clavos 5"
- Plancha de tecnopor 2.40x1.20 m x2"
- Enchufes industriales
- Válvulas 1"
- Unión tipo codo (PVC) de 1 ½"x90°
- Unión universal con rosca de 1 ½"
- Unión tipo T (PVC) de 1"x90°
- Unión tipo codo (PVC) de 1"x90°
- Unión universal de 1"
- Cinta teflón
- Calibrador vernier
- Plástica negra gruesa
- Plástico blanco
- Grapadora
- Grapas 5/16"
- Tirafones de ¼
- Broca 5/16
- Manguera 16 mm
- Ollas de red 3"
- Esponjas zebras
- Nebulizadores
- Punzón para perforar
- Rafia
- Bidón
- Cable eléctrico
- Cortador PVC
- Cinta métrica
- Cordeles
- Pegamento de PVC (4fl. Oz 118 mL)
- Pico
- Alicata



- Sierra de mano
- Pala
- Bandejas de plástico
- Tubo PVC 1 ½”
- Tubo PVC 1”

4.5.3 Equipos de laboratorio

- Balanza analítica marca ENTRIS, modelo 224-15d de capacidad 10 kg.
- Refrigeradora marca BOSCH, modelo KDNA42bw121/03, voltaje 2200VAC.
- Mufla marca THERMOONCEPT, modelo KLE 05/11, serie 1502103, capacidad 30 kg.
- Colorimetría PCE-CSM7
- Espectrofotómetro de marca THERMOFISHER SCIENTIFIC, modelo G10SUV-VIS, serie 2L5S3114201.
- Desecador
- Titulación potenciométrica
- Estufa marca MEMMERT, modelo UN30, serie B113.1463.
- Potenciómetro marca SI ANALYTICS, modelo 850.
- Centrifuga marca CENTURION SCIENTIFIC, serie C2, modelo c 2006.
- Licuadora manual marca PHILIPS WALITA, modelo RI1604/00, potencia 250 W.
- Agitador magnético marca CAT, modelo M6, serie 60266-00-0156, tipo D-79219 Staufen.
- Bomba de vacío con manómetro marca VACUUBRAND, modelo ME 2 NT, serie 39667108.
- Purificador de agua marca THERMO SCIENTIFIC, modelo Smsrt 6, voltaje UV/UF.
- Colorímetro marca PORTABLE COLORIMETER, modelo PCE-CSM 7.
- Espectrofotómetro de marca SPECTROQUANT PHARO 300, serie 13281592
- Conductímetro de marca HANNA IN 9835.
- Espectro marca Nicolet iS20, software OMNIC SPECTA.

4.5.4 Equipos de aeroponía

- Taladro
- Bomba periférica de agua
- Programador tiempo (Tiempo digital)



- Balanza gramera
- Termohigrómetro marca JERS, modelo HTC-2

4.5.5 Reactivos

- Solución nutritiva [Solución A: KNO_3 , NH_4NO_3 , $Ca(H_2PO_4)_2$ y solución B: $MgSO_4$, Fetrilon combi (Mn , B , Zn , Cu , Mo), $C_{18}H_{16}N_2O_6NaFe$]
- Fenolftaleína $C_{20}H_{14}O_4$
- Hidróxido de sodio $NaOH$
- Trolox (6-hydroxy-2,5,7,8-tetramethylchroman-2-carboxylic acid) $C_{14}H_{18}O_4$
- DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) (Sigma-Aldrich)
- ABTS (2,2'-azino-bis-3-ethylbenzthiazoline-6-sulfonic acid) (Sigma-Aldrich)
- Carbonato de sodio Na_2CO_3
- Ácido gálico $C_4H_6O_5$
- Folin ciocalteu 2N (Merck)
- Persulfato de potasio $K_2S_2O_8$

4.5.6 Solventes

- Agua destilada
- Metanol absoluto CH_3OH
- Etanol absoluto C_2H_5OH

4.5.7 Otros materiales

- Papel aluminio
- Papel tissue
- Caja de tecnopor
- Papel toalla
- Papel Whatman N° 1.

4.5.8 Técnicas estadísticas

La prueba de hipótesis se llevó a cabo mediante el análisis del estadístico de Tukey. Se formularon hipótesis nulas y alternativas para cada variable, considerando los tratamientos y bloques. Este planteamiento permitió tomar la decisión de rechazar o aceptar las hipótesis.

Se formuló de acuerdo con los siguientes criterios:

a) Hipótesis: para el tratamiento:

Ha: $\mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \mu_4 \neq \mu_5 \neq \mu_6$; (Existe un efecto asociado a los tratamientos en la variable X_i)



Ho: $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5 = \mu_6$; (El efecto de los tratamientos en la variable Xi no es diferente; es igual)

Donde:

Ha: Hipótesis alterna

Ho: Hipótesis nula

μ_1 : Promedio de la variable Xi en el tratamiento 1

μ_2 : Promedio de la variable Xi en el tratamiento 2

μ_3 : Promedio de la variable Xi en el tratamiento 3

μ_4 : Promedio de la variable Xi en el tratamiento 4

μ_5 : Promedio de la variable Xi en el tratamiento 5

μ_6 : Promedio de la variable Xi en el tratamiento 6

b) Hipótesis: para el bloque

Ha: $\beta_1 \neq \beta_2$; (Existe un efecto significativo de los bloques sobre la variable Xi)

Ho: $\beta_1 = \beta_2$; (Los efectos de los bloques no difieren significativamente en relación con la variable Xi)

Donde:

β_1 : Promedio de las variables Xi en el bloque 1

β_2 : Promedio de las variables Xi en el bloque 2

4.6 Análisis estadístico

Para el análisis estadístico, se utilizó un diseño en bloques completamente al azar (DBCA) de 2x3. El factor evaluado fue el tipo de cultivo, que incluyó dos modalidades: suelo y aeropónico, con 3 repeticiones por tratamiento. Las evaluaciones se realizaron en diferentes períodos: 158, 187 y 201 días, utilizando una sola variedad de papa nativa denominada cacho de toro. Las variables de respuesta incluyeron características morfológicas, fisicoquímicas, colorimetría, contenido de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante. Los datos obtenidos fueron sometidos a un análisis de varianza (ANOVA), y para la comparación de medias se aplicó la prueba de Tukey al 5 % de significancia ($\alpha=0.05$), con el objetivo de identificar las mejores condiciones de tratamiento.

Además, se aplicaron la prueba de Shapiro-Wilk para evaluar la normalidad de los datos y la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis para analizar características morfológicas (tamaño polar, ecuatorial y peso del tubérculo), fisicoquímicas (humedad, ceniza, acidez y pH), así como los niveles de polifenoles y la capacidad antioxidante (DPPH y ABTS). Todos los análisis estadísticos se llevaron a cabo utilizando Microsoft Excel, Origin 2024 y el Software Statgraphics Centurión 2015.



CAPÍTULO V RESULTADOS Y DISCUSIONES

5.1 Análisis de resultados

5.1.1 Resultados emergentes de diseño y construcción del invernadero para el cultivo del sistema aeropónico y suelo

En la Figura 15, se presenta un modelo de construcción tridimensional del invernadero de área 25.8 m^2 y volumen de 109.65 m^3 , se utilizaron materiales específicos que contribuyen a su funcionalidad y durabilidad. La estructura está fabricada con madera, que proporciona resistencia y estabilidad. Se emplearon mallas raschel y mallas antiáfida para proteger los cultivos de plagas, permitiendo al mismo tiempo la circulación de aire y luz. Además, se utilizó agrofilms de calibre 10, que ofrecen una excelente cobertura y protección contra condiciones climáticas adversas. El piso de cascajo permite un buen drenaje, evitando la acumulación de agua y contribuyendo a un ambiente saludable para las raíces de las plantas. En conjunto, estas características y materiales hacen del invernadero tipo capilla una opción altamente eficiente y sostenible para la producción agrícola.



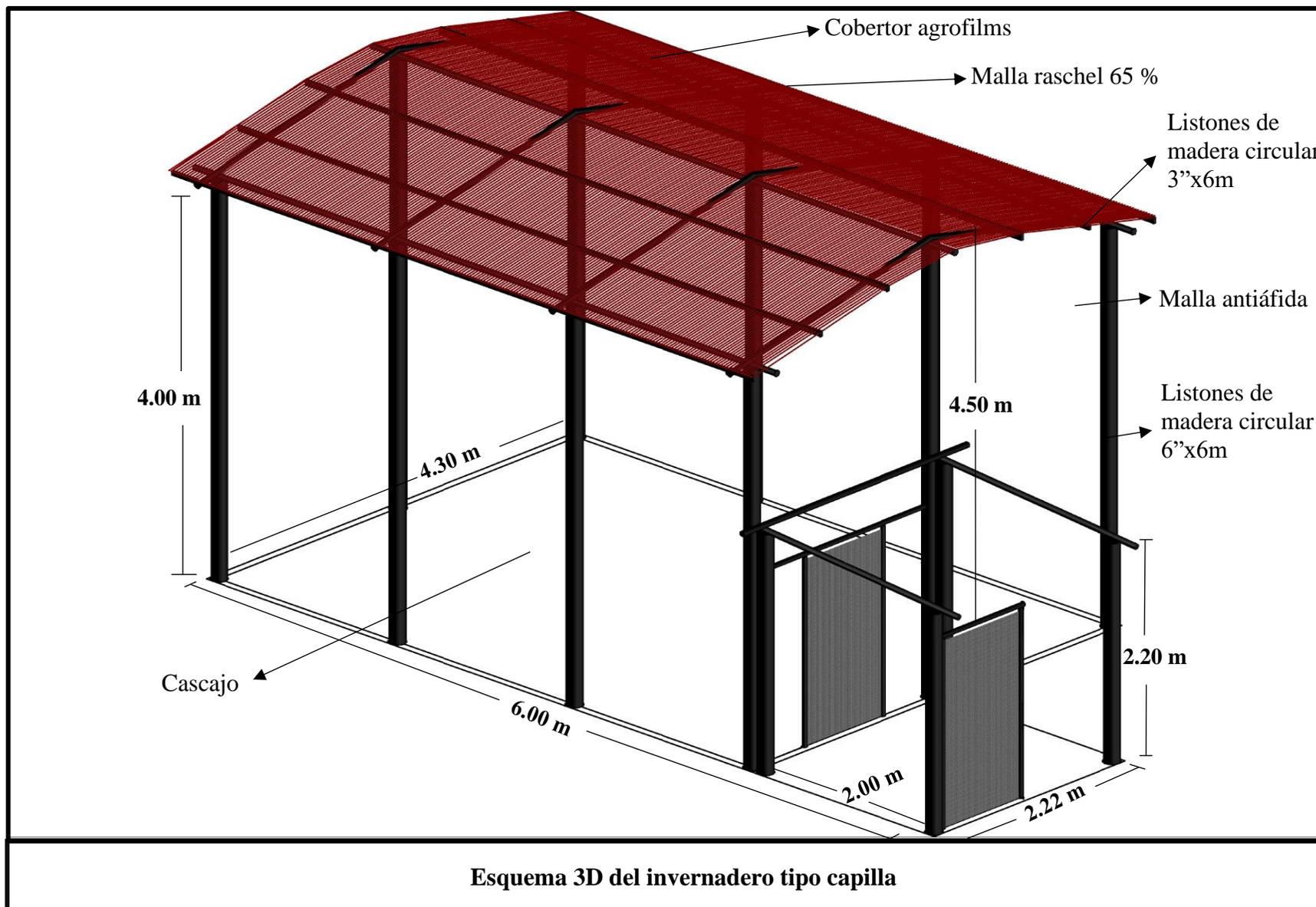


Figura 15 — Esquema del sistema invernadero 3D tipo capilla

5.1.2 Determinación de caracterización morfológica

A. Tamaño del crecimiento de la planta

En la Figura 16, se evidencia la evaluación realizada a lo largo de 177 días, durante las cuales se llevaron a cabo 44 mediciones. Los resultados muestran diferencias con significancia estadística ($p < 0.05$) (no cumple normalidad) (Ver Anexo 19, a, P.128 y Anexo 24, P.147). En el cultivo aeropónico, el tamaño de las plantas aumentó de manera constante a lo largo de las 44 mediciones, alcanzando un tamaño de aproximadamente 20 cm al final del periodo de evaluación. En contraste, en el cultivo en suelo, aunque también se observó un aumento en el tamaño de las plantas, este fue a un ritmo ligeramente menor que en el sistema aeropónico, con un tamaño de aproximadamente 4 cm a los 177 días. En resumen, el cultivo aeropónico resultó en un mayor tamaño de planta en comparación con el cultivo en suelo durante todo el periodo de medición.

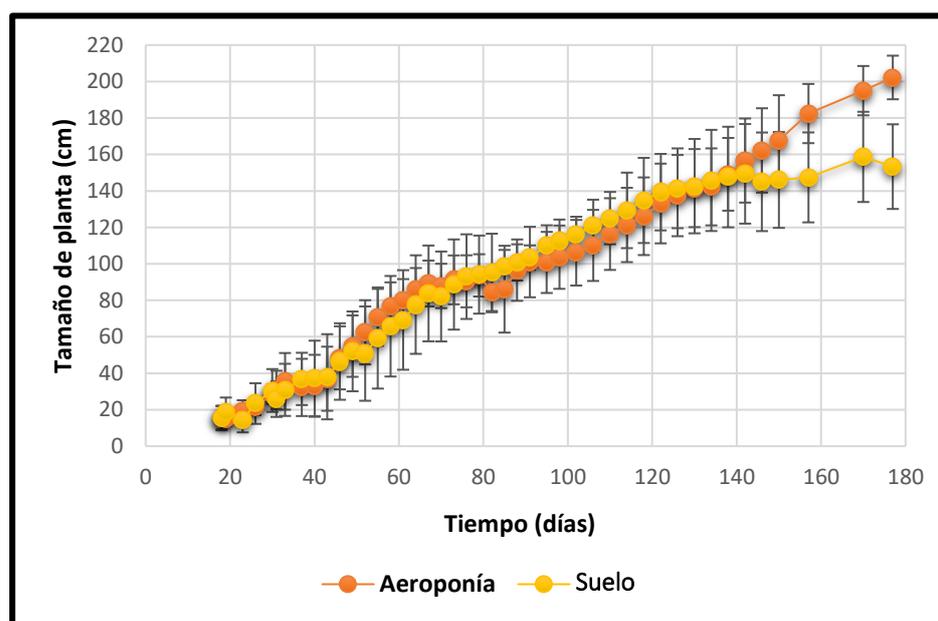


Figura 16 — Tamaño del crecimiento de planta de cultivo de aeroponía y suelo

B. Grosor del tallo de planta

En la Figura 17, se observa el diámetro o grosor del tallo de las plantas, evaluado a lo largo de 44 mediciones en diferentes momentos hasta los 177 días. Los resultados presentan diferencias con significancia estadística

($p < 0.05$) (no cumple normalidad) (Ver Anexo 19, b, P.128 y Anexo 24, P.148). En el cultivo aeropónico, el grosor del tallo aumentó de manera constante a lo largo de las 44 mediciones, alcanzando un grosor promedio de aproximadamente 0.80 cm al final del período de evaluación. En contraste, en el cultivo en suelo, aunque también se observó un aumento en el grosor del tallo, este fue a un ritmo ligeramente menor que en el sistema aeropónico, con un grosor de aproximadamente 0.60 cm a los 177 días. En resumen, el cultivo aeropónico resultó en un mayor grosor del tallo en comparación con el cultivo en suelo durante todo el periodo de medición.

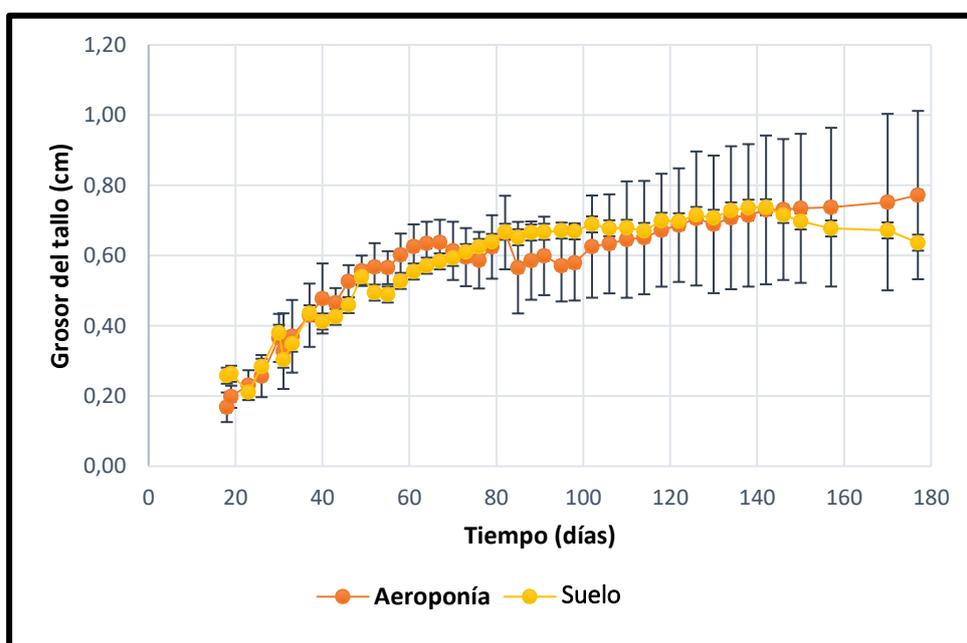


Figura 17 — Grosor del tallo de la planta del cultivo aeropónico y suelo

C. Tamaño polar (longitud)

En la Figura 18, se observan diferencias significativas ($p < 0.05$) (no se cumple normalidad) (Ver Anexo 19, c, P.129 y Anexo 24, P.149). Se presenta el tamaño polar (longitud) de los tubérculos, evaluado a lo largo de tres tiempos de cultivo: 158, 187 y 201 días. En el cultivo aeropónico, el tamaño polar de los tubérculos aumentó de manera constante durante estos tres períodos. A los 158 días, no se evidenció un aumento, ya que no se realizó la cosecha en ese momento. Sin embargo, a los 187 días, el tamaño promedio fue de alrededor de 1.00 cm, y a los 201 días, continuó creciendo hasta alcanzar aproximadamente 1.20 cm. Por otro lado, en el



cultivo en suelo, el tamaño polar de los tubérculos también mostró un aumento, aunque a un ritmo ligeramente menor que en el cultivo aeropónico. A los 158 días, el tamaño promedio fue de aproximadamente 0.60 cm; a los 187 días, aumentó a alrededor de 0.80 cm y a los 201 días, continuó creciendo hasta aproximadamente 1.00 cm. En resumen, el cultivo en suelo resultó en un mayor tamaño polar de los tubérculos en comparación con el cultivo aeropónico a lo largo de los tres tiempos de evaluación.

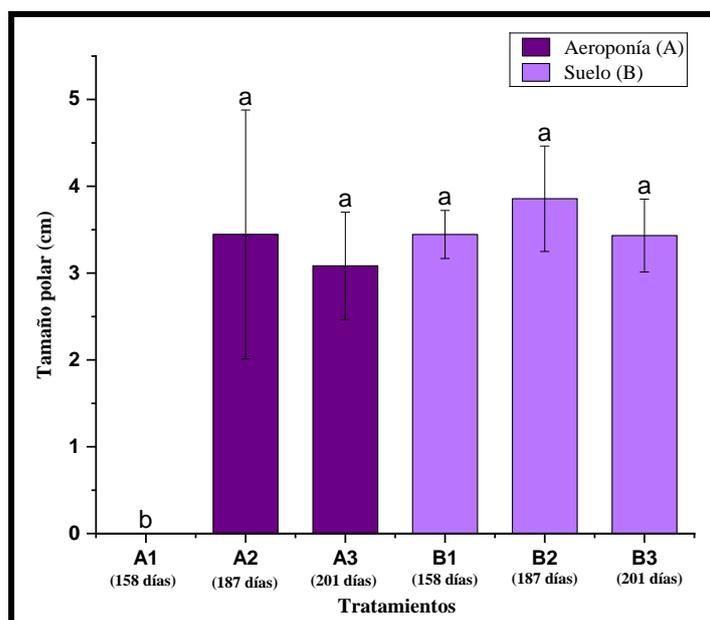


Figura 18 — Tamaño polar (longitud) del tubérculo de la papa cultivada por aeroponía y el suelo

D. Tamaño ecuatorial (diámetro)

En la Figura 19, se presentan diferencias con significancia estadística ($p < 0.05$) (no se cumple normalidad) (Ver Anexo 19, d, P.130 y Anexo 24, P.150). Se evaluó el tamaño ecuatorial (diámetro) de los tubérculos a lo largo de tres tiempos de cultivo: 158, 187 y 201 días. En el cultivo aeropónico, a los 158 días, no se evidenció un aumento en el tamaño debido a que no se realizó la cosecha en ese momento. A los 187 días, el tamaño fue de aproximadamente 1.20 cm, y a los 201 días, continuó creciendo hasta alcanzar aproximadamente 1.4 cm. En contraste, en el cultivo en suelo, a los 158 días, el tamaño promedio del tubérculo fue de aproximadamente 1.20 cm; a los 187 días, aumentó a alrededor de 1.40



cm, y a los 201 días, continuó creciendo hasta aproximadamente 1.60 cm. En resumen, el cultivo en suelo resultó en un mayor tamaño ecuatorial de los tubérculos en comparación con el cultivo aeropónico a lo largo de los tres tiempos de evaluación.

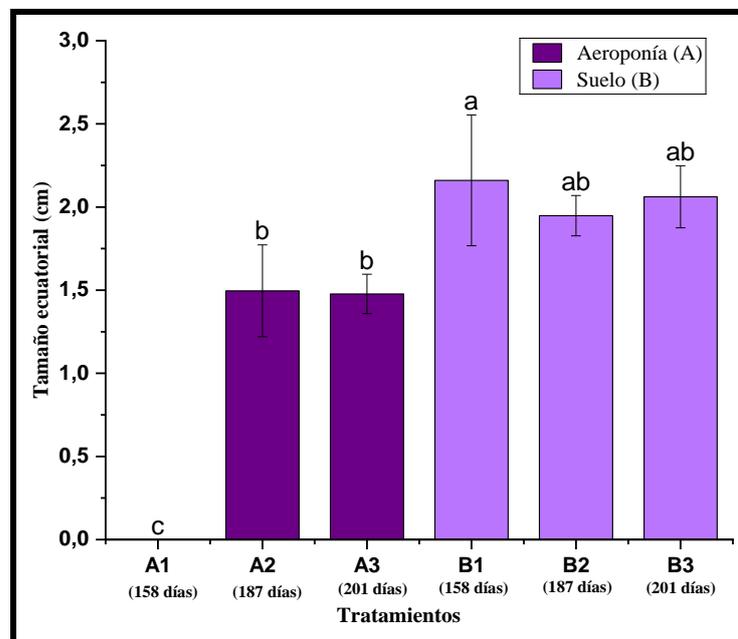


Figura 19 — Tamaño ecuatorial (diámetro) del tubérculo de la papa nativa por aeroponía y el suelo

E. Peso del tubérculo

En la Figura 20, se aprecian diferencias con significancia estadística ($p < 0.05$) (si cumple normalidad) (Ver Anexo 19, e, P.131 y Anexo 24, P.151). Se estimaron los resultados a lo largo de tres tiempos de cultivo: 158, 187 y 201 días.

En el cultivo aeropónico, a los 158 días no se observó crecimiento significativo, ya que no se realizó la cosecha. A los 187 días, el peso de los tubérculos aumentó a aproximadamente 4 gramos, y a los 201 días continuó creciendo hasta alcanzar cerca de 6 gramos. Por otro lado, en el cultivo en suelo, a los 158 días, el peso promedio del tubérculo fue de aproximadamente 1.20 gramos; a los 187 días, aumentó a alrededor de 2.00 gramos, y a los 201 días, se incrementó hasta aproximadamente 3.00 gramos. En conclusión, el cultivo en suelo resultó en un mayor peso de los



tubérculos en comparación con el cultivo aeropónico a lo largo de los tres tiempos de cultivo.

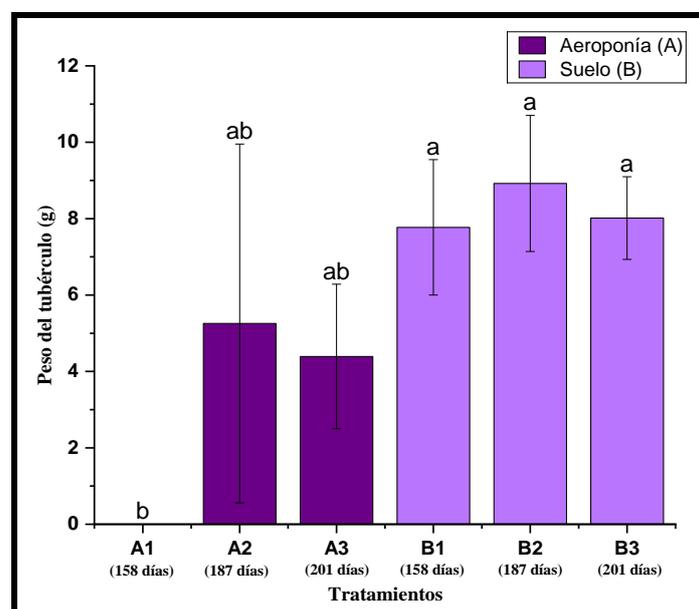


Figura 20 — Peso del tubérculo de papa nativa cultivada por aeroponía y el suelo

F. Rendimiento total

En la Figura 21, se muestran los resultados de dos tipos de cultivo: el suelo y el aeropónico. Estos datos fueron recolectados a lo largo de toda la cosecha, incluyendo los períodos de 158, 187 y 201 días. El cultivo aeropónico mostró un rendimiento total superior, calculado a partir del rendimiento por planta y el número total de plantas, que fue de 16 plantas y 640 tubérculos, alcanzando un valor de 3301.49 g. En contraste, el cultivo en suelo logró un rendimiento total con 15 plantas y 385 tubérculos, obteniendo un valor de 3138.36 g a lo largo de los tres períodos de evaluación.

Es importante señalar que el menor rendimiento observado en el cultivo aeropónico podría haberse visto afectado por fallas técnicas en la electrobomba, así como por variaciones climáticas, como la lluvia y el calor, que impactaron negativamente los estolones de la papa variedad cacho de toro. Según la teoría, se espera que el rendimiento en aeroponía sea al menos cuatro veces mayor que el obtenido con el método del suelo.



En resumen, los resultados indican que la aeroponía superó al método del suelo en términos de rendimiento total. Estos hallazgos son relevantes para la investigación agrícola y la producción de alimentos.

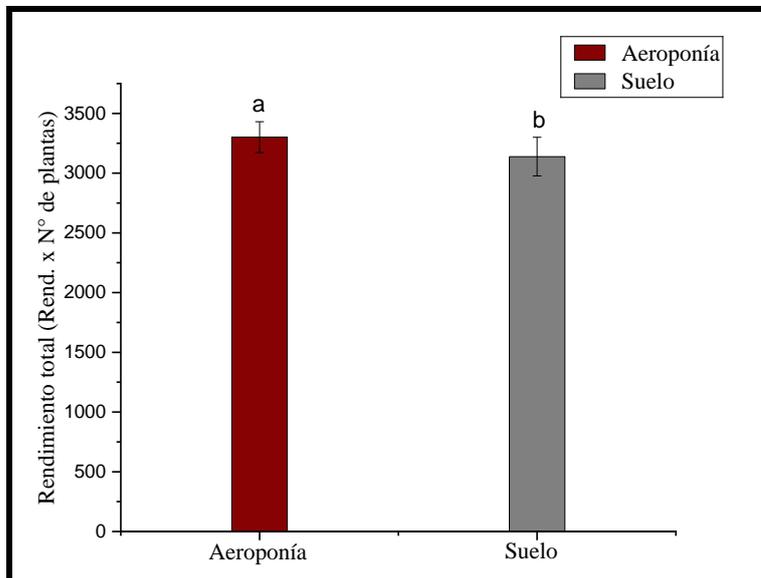


Figura 21 — Rendimiento total de producción de papa nativa cacho de toro cultivada por aeroponía y suelo

5.1.3 Determinación de generación de color de tubérculos de papa cacho de toro

En la Tabla 16, se presentan los resultados de color del tubérculo obtenidos mediante el método CIELab en la cáscara y pulpa de la papa nativa variedad cacho de toro. Se observan diferencias significativas ($p < 0.05$) en las coordenadas de L^* , a^* y b^* tanto en la cáscara como en la pulpa en las cosechas realizadas a los 158, 187 y 201 días.

Asimismo, en la Tabla 16, se muestra el color de la pulpa, y se observaron diferencias significativas ($p < 0.05$), en el valor L^* (luminosidad) tienen una tendencia oscura en ambos métodos de cultivo. Sin embargo, el método aeropónico mostró valores más altos de a^* , que indican una intensidad mayor en el color rojo, en comparación con el método del suelo. Se encontraron diferencias significativas en el componente b^* , que se acerca al color amarillo, en ambos métodos. Por otro lado, en el color de la cáscara, se observa que el método del suelo tuvo valores más altos de L^* y b^* en comparación con el método aeropónico. No se encontraron diferencias significativas en el componente b^* entre los dos métodos. La cáscara de papa cacho de toro cultivada aeropónicamente tiende a ser más oscura, rojiza y ligeramente amarilla.

Tabla 16 — Datos de color de papa nativa variedad cacho de toro cosechadas a los 158, 187 y 201 días

Cosecha	Método	Tratamiento	Color de la pulpa			Color de la cáscara		
			L^*	a^*	b^*	L^*	a^*	b^*
I cosecha (158 días)	Suelo	B1	$30,57 \pm 8,05^{ab}$	$11,48 \pm 4,63^b$	$23,13 \pm 3,95^{bc}$	$14,61 \pm 4,08^{ab}$	$33,83 \pm 9,38^{ab}$	$13,55 \pm 2,49^a$
II cosecha (187 días)	Aeroponía	A2	$10,19 \pm 4,56^{cd}$	$43,83 \pm 14,58^a$	$28,37 \pm 4,86^{ab}$	$12,25 \pm 10,13^{ab}$	$48,58 \pm 29,26^a$	$21,35 \pm 10,34^a$
	Suelo	B2	$38,33 \pm 10,23^a$	$10,10 \pm 2,52^b$	$29,32 \pm 6,94^{ab}$	$18,08 \pm 7,96^a$	$30,53 \pm 20,21^{ab}$	$15,87 \pm 6,11^a$
III cosecha (201 días)	Aeroponía	A3	$39,32 \pm 8,92^a$	$11,42 \pm 2,03^a$	$36,80 \pm 3,16^a$	$15,95 \pm 5,40^a$	$33,02 \pm 12,80^{ab}$	$14,53 \pm 3,37^a$
	Suelo	B3	$22,53 \pm 4,50^{bc}$	$13,15 \pm 4,50^b$	$18,20 \pm 3,67^c$	$16,24 \pm 6,38^a$	$32,07 \pm 12,34^{ab}$	$15,96 \pm 3,64^a$
NOTA								
Media \pm desviación estándar; n=6. Las letras subíndice en las columnas indican diferencias significativas ($p < 0.05$)								

5.1.4 Determinación de características fisicoquímicas

A. Contenido de humedad

En la Figura 22, se muestra el porcentaje de humedad de dos factores: el cultivo aeropónico (A) y suelo (B) por tres tiempos de cosecha 158, 187 y 201 días. Los resultados obtenidos presentaron diferencias significativas ($p < 0.05$) (no se cumple normalidad) (Ver Anexo 20, a, P.132 y Anexo 24, P.152).

El porcentaje de humedad se mantuvo más o menos constante alrededor del 40% durante tres períodos de cultivo (158, 187 y 201 días). Esto sugiere que el sistema aeropónico logró mantener una humedad estable a lo largo de todo el proceso de cultivo. En contraste, en el método del suelo, a los 158 días la humedad era aproximadamente del 36 %, a los 187 días, disminuyó hasta cerca del 30 % y a los 201 días, siguió bajando a aproximadamente el 16 %. Estos datos señalan que en el cultivo del suelo hubo una reducción significativa en la humedad conforme avanzaba el tiempo.

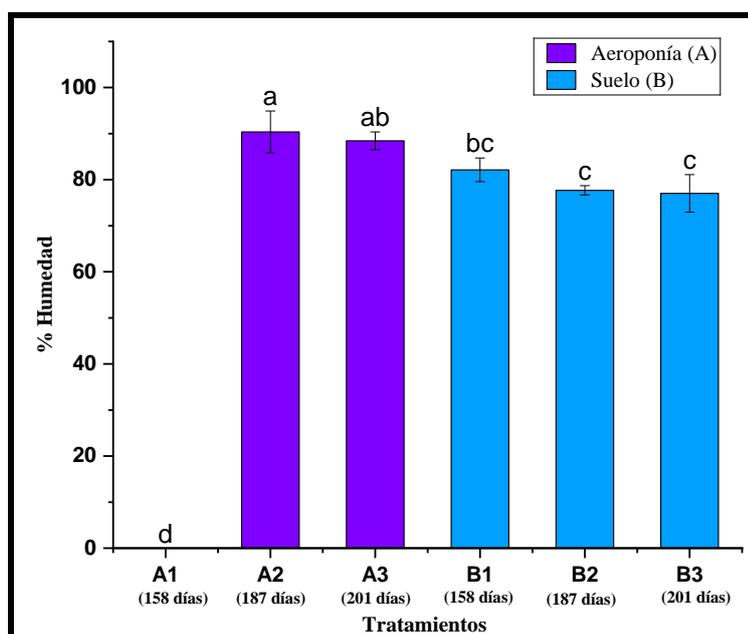


Figura 22 — Porcentaje de humedad de papa cacho de toro cosechadas a los 158 días, 187 días y 201 días

B. Contenido de ceniza

En la Figura 23, se presenta el porcentaje de ceniza para los dos métodos de cultivo: aeroponía y suelo, en tres momentos de cosecha (158, 187 y 201 días).

Los resultados obtenidos mostraron diferencias significativas ($p < 0.05$) (si cumple normalidad) (Ver Anexo 20, b, P.133 y Anexo 24, P.153).

En el cultivo aeropónico, el porcentaje de ceniza se mantuvo relativamente estable en torno a valores bajos a lo largo de los tres tiempos de cultivo. No se observaron diferencias significativas entre los tiempos de cultivo en términos de contenido de ceniza. Por el contrario, a los 187 días, el porcentaje de ceniza fue de aproximadamente 1.2 % y a los 201 días, continuó aumentando a aproximadamente 1.6 %. Es decir, el cultivo aeropónico y el suelo mostraron diferencias mínimas en el contenido de ceniza a lo largo del tiempo, pero el cultivo del suelo tuvo un ligero aumento en el porcentaje de ceniza.

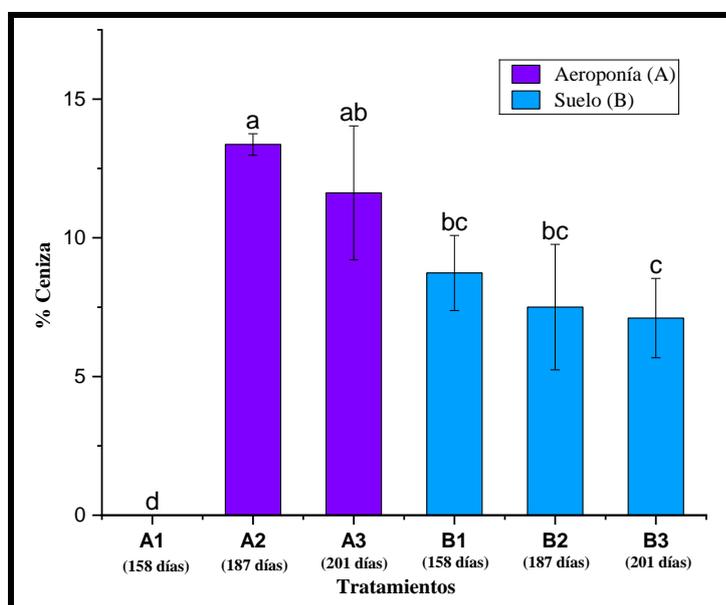


Figura 23 — Porcentaje de ceniza de papa cacho de toro cosechadas a los 158 días, 187 días y 201 días

C. Contenido de acidez

Según se muestra en la Figura 24, se observaron diferencias significativas ($p < 0.05$) (si cumple normalidad) (Ver Anexo 20, c, P.134 y Anexo 24, P.154). Se analizó tres tiempos: 158, 187 y 201 días. En el cultivo aeropónico a los 187 y 201 días, se mantuvo en torno al 1.36 %. En cambio, en el cultivo en suelo, a los 158, 187 y 201 días, el porcentaje de acidez se mantuvo en torno al 3.19 %. En conclusión, el cultivo en suelo mostró niveles más altos de acidez en comparación con el cultivo aeropónico a lo largo de los tres tiempos de cultivo.



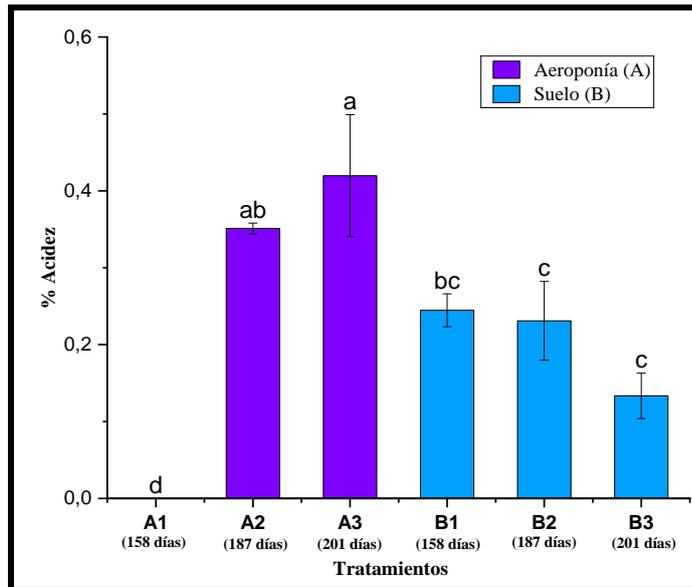


Figura 24 — Porcentaje de acidez de papa cacho de toro cosechadas a los 158 días, 187 días y 201 días

D. Potencial de hidrogeniones (pH)

En la Figura 25, se muestra el pH de los tratamientos obtenidos de los cultivos de aeroponía y suelo, cosechados por tres tiempos evidenciaron diferencias significativas ($p < 0.05$) (no cumple normalidad) (Ver Anexo 20, d, P.135 y Anexo 24, P.155).

En el cultivo aeropónico, a los 187 días, aumentó el nivel de pH en comparación con el día 158 y a los 201 días, cayó ligeramente, manifestando el valor más elevado que el día 187. Sin embargo, en el cultivo del suelo, a los 187 días, también aumentó hubo un aumento en los niveles de pH en comparación con el día 158 indica que, a los 201 días, se mantuvo estable o disminuyó ligeramente en relación con el día 187. En pocas palabras, ambos métodos de cultivo experimentaron incrementos constantes en el nivel de pH a lo largo del tiempo, pero el cultivo del suelo mostró un crecimiento más pronunciado.



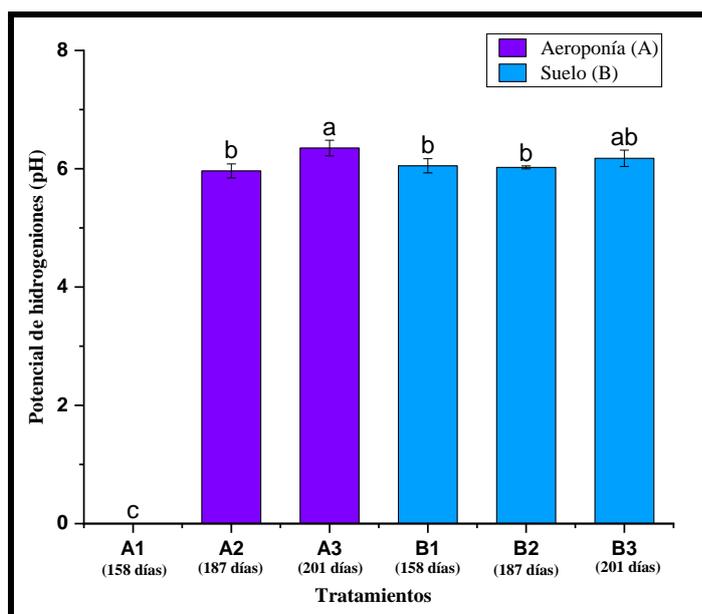


Figura 25 — Potencial de hidrogeniones (pH) de papa cacho de toros cosechados a los 158 días, 187 días y 201 días

5.1.5 Determinación de propiedades funcionales

A. Determinación de compuestos fenólicos

En la Figura 26, presentan los resultados de los compuestos fenólicos en los cultivos aeropónico y suelo a lo largo de tres periodos de cultivo: 158, 187 y 201 días. Los resultados muestran diferencias significativas mediante prueba Tukey ($p < 0.05$) (si cumple normalidad) (Ver Anexo 21, P.136 y Anexo 24, P.156).

En el sistema de cultivo aeropónico, después de 187 días, se observó un contenido de polifenoles cercano al 1.2 %, y para el día 201, este valor aumentó hasta 1.6 %. En contraste, en el sistema de cultivo del suelo a los 158 días, se registró una disminución en los niveles de polifenoles en comparación con el día 187, con aproximadamente un 1.0 %, y para el día 201, aumentaron a alrededor del 1.4 %. En resumen, ambos métodos mostraron incrementos en los niveles de polifenoles con el tiempo; sin embargo, se observó un crecimiento más notable en el cultivo aeropónico. Además, cabe destacar que mientras que la cosecha del suelo fue exitosa a los 158 días, no hubo producción en el cultivo aeropónico debido a problemas de tuberización tardío.

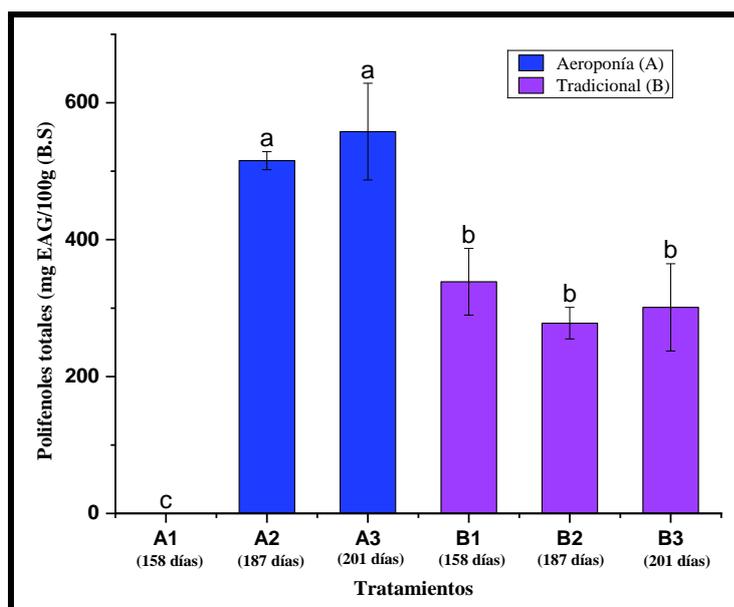


Figura 26 — Compuestos de polifenoles totales por tratamientos

B. Capacidad antioxidante

• Método DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl)

La Figura 27 muestra la capacidad antioxidante, evaluada mediante el método DPPH, expresada como porcentaje de inhibición de los distintos tratamientos de papa cacho de toro cultivados en sistemas aeropónicos y en suelo, cosechados en diferentes momentos. Los resultados se obtuvieron a partir de sextuplicados, considerando que la medida de absorbancia se realizó a una longitud de onda de 517 nm. Los resultados del porcentaje de inhibición por DPPH mostraron diferencias significativas ($p < 0.05$) (no cumple normalidad), según la prueba Tukey (Ver Anexo 22, a, P.137 y Anexo 24, P.157).

Inicialmente, los valores de DPPH (indicador de capacidad antioxidante) fueron más bajos en el cultivo aeropónico. Sin embargo, alrededor del día 187, se observó un aumento significativo en los valores de DPPH, alcanzando su punto máximo. Posteriormente, los valores de DPPH disminuyeron hasta el día 201. En el caso del cultivo en suelo, también se registró un aumento en los valores de DPPH desde el día 158 hasta el 187, con un pico máximo en ese momento. Al igual que en el cultivo aeropónico, los valores de DPPH disminuyeron después del día 187. En resumen, ambos tratamientos

mostraron un aumento en la actividad antioxidante (medida por DPPH) durante el periodo evaluado. Aunque inicialmente la aeroponía presentó valores más bajos, posteriormente superó al método del suelo en el pico máximo. Al final del periodo evaluado, el método del suelo mostró valores ligeramente superiores.

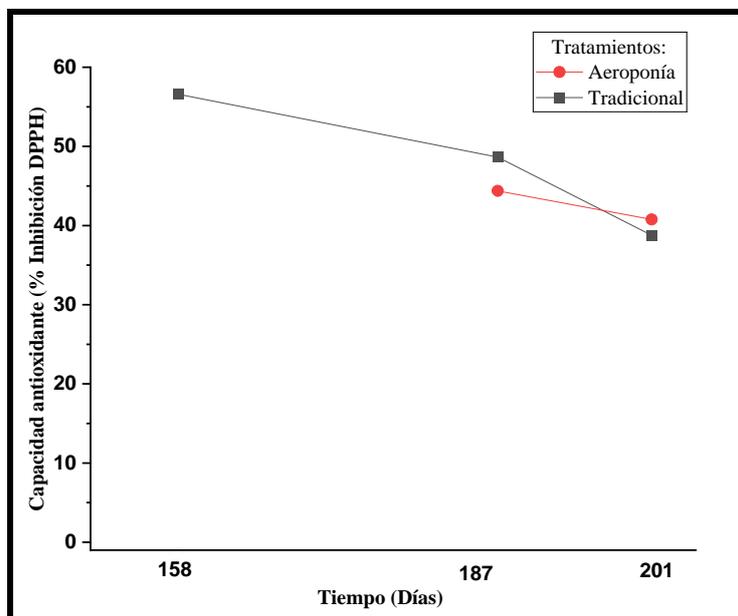


Figura 27 — Gráfico de interacciones de los dos cultivos por el método DPPH

- **Método ABTS (2,2'-azino-bis-3-ethylbenzthiazoline-6-sulfonic acid)**

La Figura 28 presenta la capacidad antioxidante evaluada mediante el método ABTS, expresada como porcentaje de inhibición y comparada entre los distintos tratamientos de papa cacho de toro. Estos tratamientos incluyen cultivos aeropónicos y en suelo, con cosechas realizadas en diferentes momentos: 158, 187 y 201 días. Los resultados se obtuvieron por triplicado, y la absorbancia se midió a una longitud de onda de 732 nm.

Los análisis estadísticos indican que hubo diferencias significativas en el porcentaje de inhibición por ABTS ($p < 0.05$) (no se cumple normalidad) (Ver Anexo 22, b, P.138 y Anexo 24, P.158). En el cultivo aeropónico, no se produjeron tubérculos hasta los 158 días, mientras que en el método en suelo se obtuvieron resultados desde el inicio. Ambos tratamientos mostraron un aumento en los valores de ABTS desde el día 158 hasta el 187, alcanzando



un pico máximo en ese momento. Sin embargo, después del día 187, los valores de ABTS disminuyeron en ambos tratamientos hasta el día 201.

En resumen, al inicio del experimento, la aeroponía presentó valores más bajos que el método de cultivo en suelo; sin embargo, posteriormente superó al cultivo en suelo durante el pico máximo. Al final del periodo evaluado, el tratamiento en suelo mostró valores ligeramente superiores. En otras palabras, la aeroponía parece tener un efecto positivo en los niveles de antioxidantes (medidos por ABTS) en las papas cacho de toro, aunque este efecto puede variar según el momento de la cosecha.

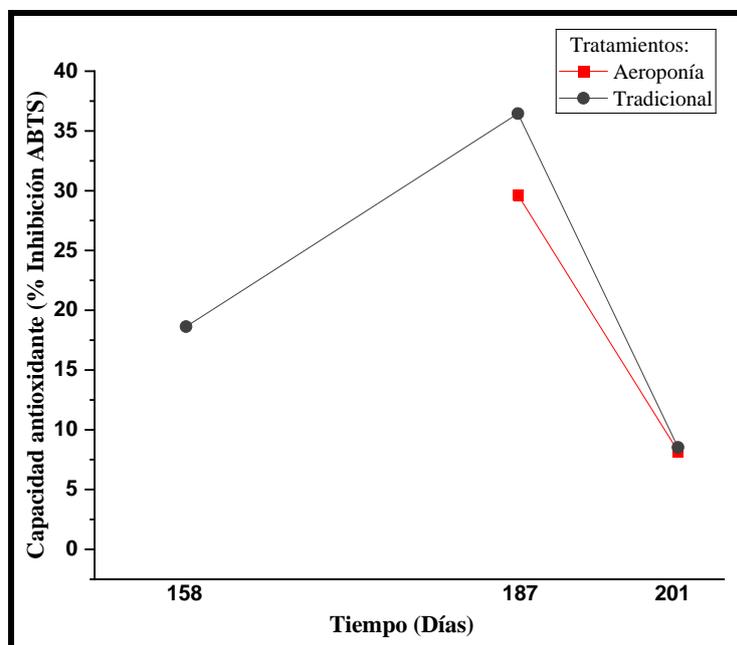


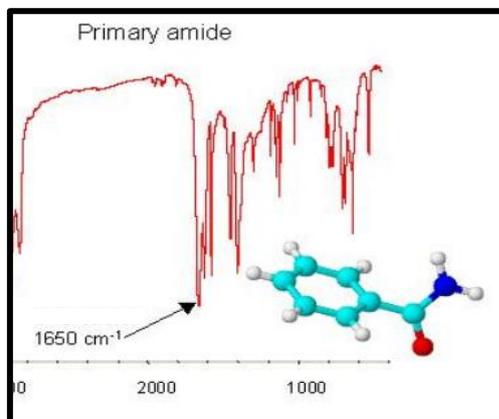
Figura 28 — Gráfico de interacciones de los dos cultivos por el método ABTS

- **Identificación de grupos funcionales con FTIR (Espectroscopía Infrarroja por Transformada de Fourier)**

El espectro FTIR se realizó para confirmar la presencia de compuestos antioxidantes en el tubérculo de la variedad cacho de toro, cultivado tanto en aeroponía como en suelo. En el cultivo aeropónico se utilizó una solución nutritiva establecida, mientras que para el cultivo en suelo se empleó humus de lombriz.



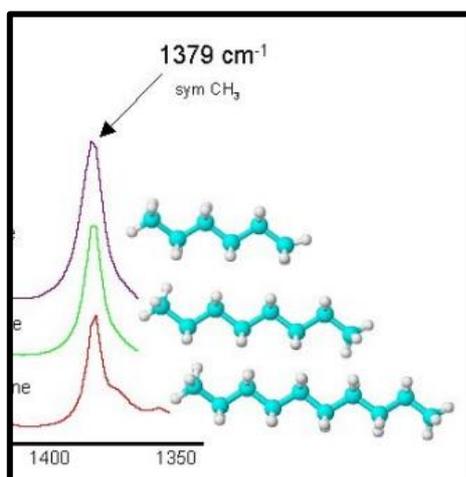
El barrido de lectura se llevó a cabo en el rango de 4000 a 400 cm^{-1} . Los resultados sobre los valores y la identificación de grupos funcionales se presentan en la Tabla 17. En la Figura 31, se exhibe el espectro FTIR del tubérculo de papa cacho de toro.



FUENTE: Thermo Fisher Scientific, 2009

Figura 29 — Estructura molecular de amidas primarias

Se destaca un pico a 3278 cm^{-1} , que corresponde al estiramiento del enlace OH, indicando la presencia de alcoholes y fenoles. Además, se ha identificado otro pico a 1635 cm^{-1} , relacionado con las amidas primarias (como se muestra en la Figura 29), específicamente con la deformación del grupo NH_2 .



FUENTE: Thermo Fisher Scientific, 2009

Figura 30 — Estructura molecular de hidrocarburos alifáticos

En la Figura 30, se muestra la estructura molecular de los hidrocarburos alifáticos. Se destaca un pico a 1373.90 cm^{-1} , identificado en el tubérculo

cosechado a los 201 días mediante el método del suelo. Este pico está específicamente relacionado con la vibración de deformación simétrica del grupo CH₃.

Tabla 17 — Interpretación FTIR del tubérculo papa cacho de toro

Nº	Número de onda cm ⁻¹ [Resultados de muestra]	Número de onda cm ⁻¹ [Artículo de referencia] FUENTE: Ponce et al., 2023	Grupo funcional	Identificación de compuestos químicos
1	3270.24 [Aeroponía]	3420-3250	Estiramiento OH	Alcoholes y fenoles
	3278.03 [Suelo]			
2	1635.91 [Aeroponía]	1650 - 1620	Deformación NH ₂	Amidas alifáticas [amidas primarias]
	1635.59 [Suelo]			
3	1373.90 [Suelo]	1380 - 1370	Deformación simétrica CH ₃	Hidrocarburos alifáticos
4	1019.50 [Aeroponía]	1065 - 1015	Estiramiento C-O	Alcoholes [alcoholes cíclicos]
	1050.11 [Suelo]			

NOTA
El número de onda de la segunda columna se tomó referencia de un autor para identificar los grupos funcionales e identificación de los compuestos químicos.
FUENTE: Ponce et al., 2023

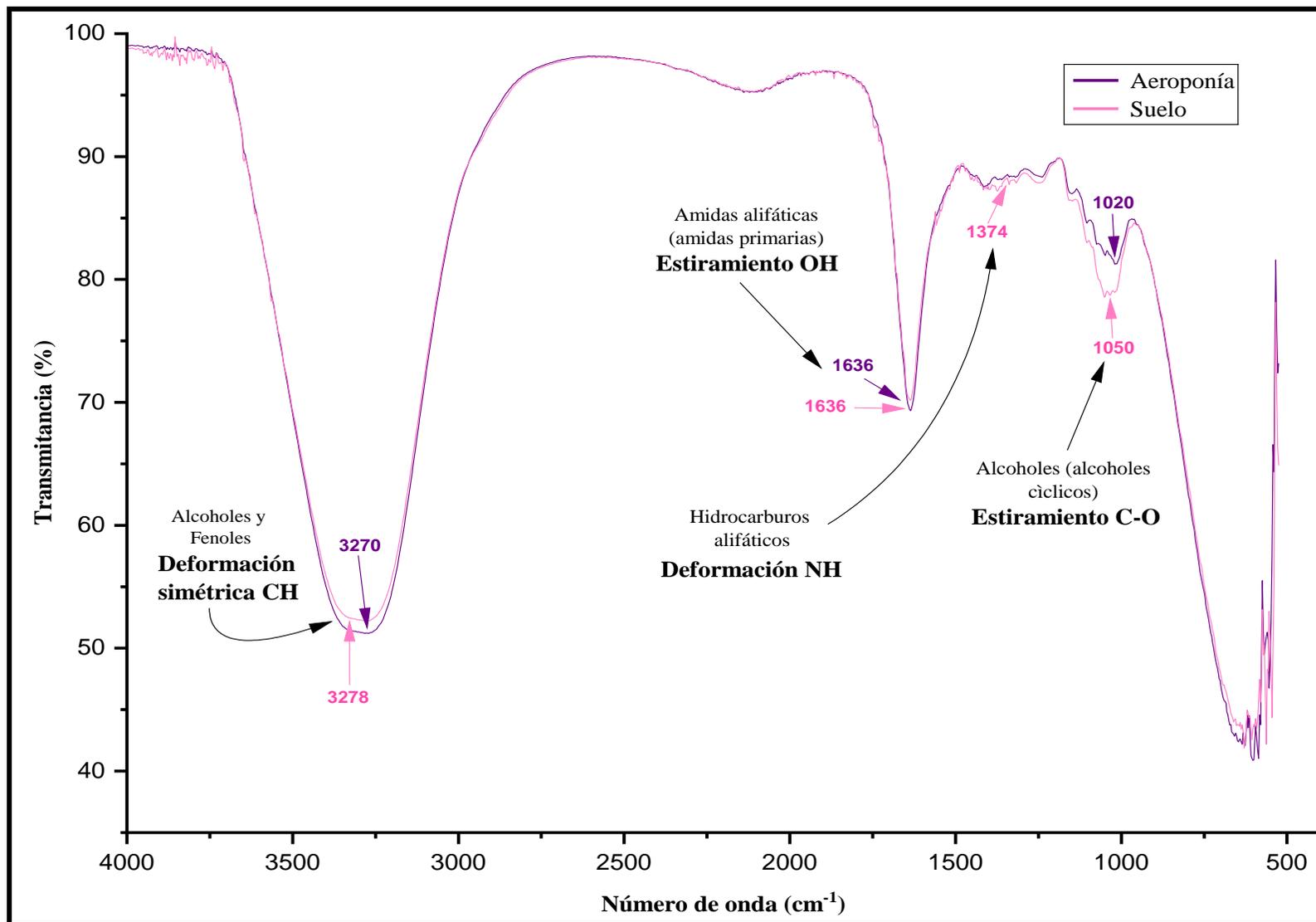
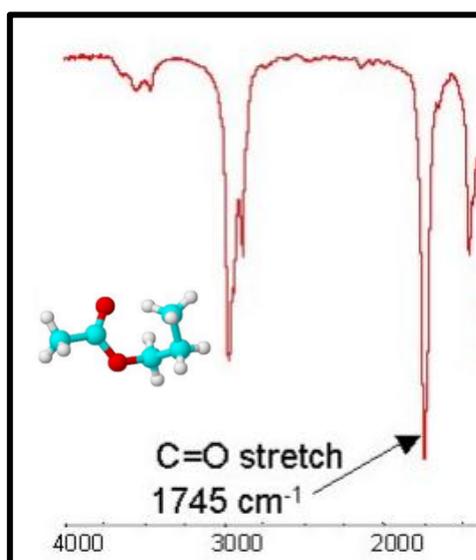


Figura 31 — Espectros del tubérculo cacho de toro cultivada por aeroponía y suelo a los 201 días

El espectro FTIR de los extractos de papa cacho de toro, obtenidos en las segundas y terceras cosechas utilizando etanol y ácido clorhídrico, se presenta en la Tabla 18 y en la Figura 33. En este espectro, se observan los siguientes picos: a 3648 cm^{-1} , 3273 cm^{-1} y 3271 cm^{-1} , los cuales están relacionados con el estiramiento del enlace OH, indicando la presencia de alcoholes y fenoles. Además, se identificó un pico a 2981 cm^{-1} , que se relaciona con los grupos alifáticos, específicamente con el estiramiento antisimétrico y simétrico del enlace CH.



FUENTE: Thermo Fisher Scientific, 2009

Figura 32 — Estructura molecular de ésteres alifáticos

En la Figura 32, se presenta la estructura molecular de los ésteres alifáticos. Se destaca un pico alrededor de $\sim 1748\text{ cm}^{-1}$, identificado en el extracto obtenido por los métodos de cultivo aeropónico y en suelo, correspondiente a la segunda y tercera cosecha. Este pico se asocia específicamente con el estiramiento del enlace C=O.

La presencia de ácidos carboxílicos se confirma por el pico a 1704 cm^{-1} , que corresponde al estiramiento del enlace C=O. La banda a 1416 cm^{-1} podría deberse a la flexión del enlace OH en el plano del grupo ácido carboxílico. Además, se detectaron bandas relacionadas con compuestos aromáticos a 877.04 cm^{-1} y 876.76 cm^{-1} , que se asocia con el estiramiento del enlace P-O.



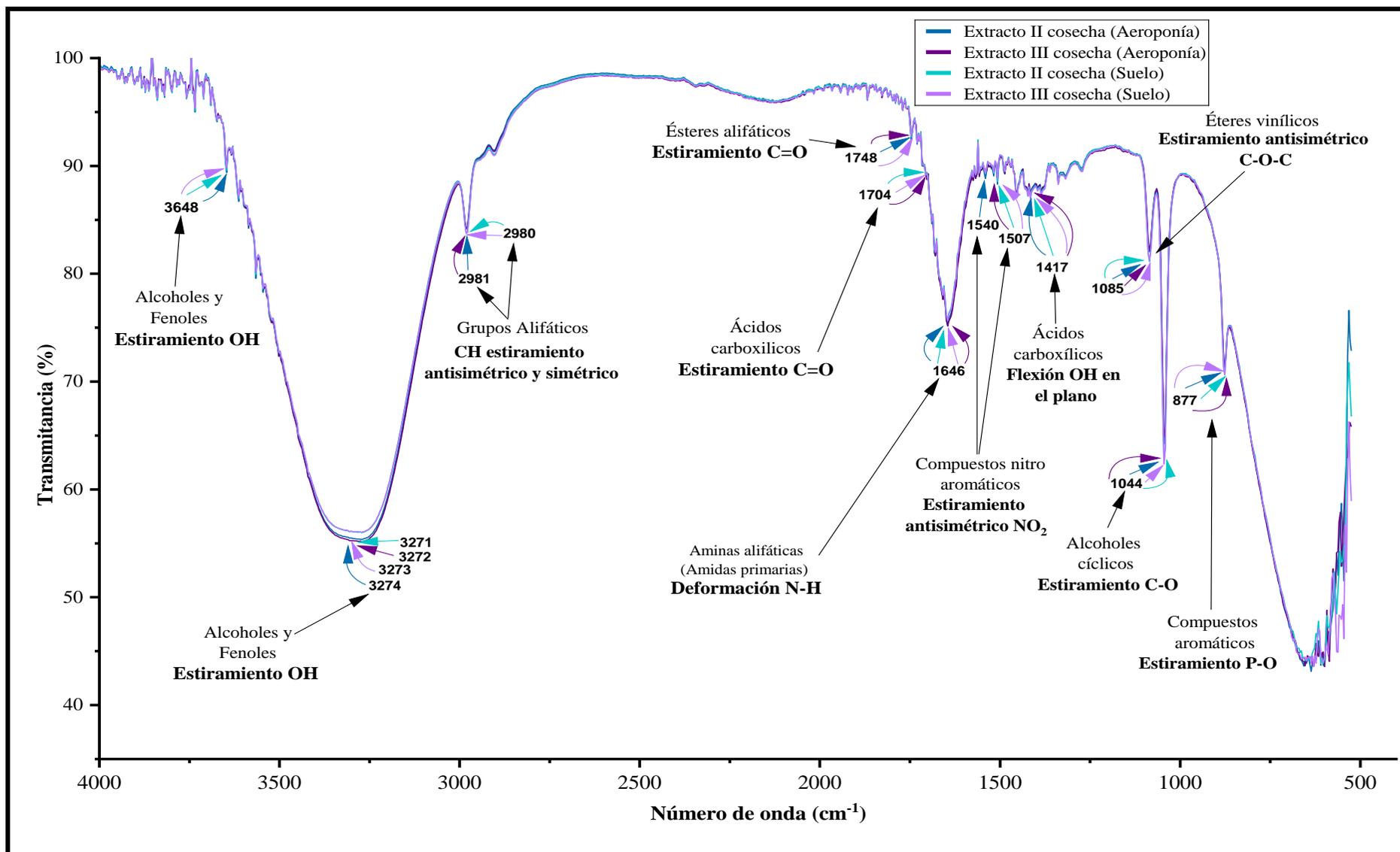


Figura 33 — Espectros del extracto de papa cacho de toro cultivado por aeroponía y suelo de la segunda y tercera cosecha

En la Figura 29, se presenta la estructura molecular de las amidas alifáticas, específicamente, amidas primarias. De manera similar, en la Figura 33, se muestra el espectro del extracto de papa cacho de toro, donde se ha detectado un pico a 1646 cm^{-1} . Este pico podría estar relacionado con la deformación del enlace N-H.

Tabla 18 — Interpretación FTIR del extracto papa cacho de toro

Nº	Número de onda cm^{-1} [Resultados de muestra]	Número de onda cm^{-1} [Artículo de referencia] FUENTE: Ponce et al., 2023	Grupo funcional	Identificación de compuestos químicos
1	3648.01 - 3647.99	3700 - 3600	Estiramiento OH	Alcoholes y fenoles
2	3273.75 - 3270.73	3420 - 3250	Estiramiento OH	Alcoholes y fenoles
3	2980.90 - 2980.36	2990 - 2850	CH estiramiento antisimétrico y simétrico	Grupos alifáticos
4	1747.61 - 1747.57	1750 - 1730	Estiramiento C=O	Ésteres alifáticos
5	1704.35 - 1704.29	1710 - 1690	Estiramiento C=O	Ácidos carboxílicos
6	1646.51 - 1646.45	1650 - 1620	Deformación N-H	Amidas alifáticas [amidas primarias]
7	1539.90 - 1506.96	1550 - 1490	Estiramiento antisimétrico NO_2	Compuestos nitro aromáticos
8	1416.97 - 1416.89	~ 1400	Flexión OH en el plano	Ácidos carboxílicos
9	1085.54 - 1085.23	1200 - 1015	Estiramiento antisimétrico C-O-C	Éteres vinílicos
10	1043.83 - 1043.69	1065 - 1015	Estiramiento C-O	Alcoholes cíclicos
11	877.04 - 876.76	1050 - 870	Estiramiento P-O	Compuestos aromáticos

NOTA
El número de onda de la segunda columna se tomó referencia de un autor para identificar los grupos funcionales y los compuestos químicos.
FUENTE: Ponce et al., 2023

5.2 Contrastación de hipótesis

Hipótesis general: El sistema aeropónico y del suelo a los 158, 187 y 201 días, influye significativamente en la caracterización morfológica, fisicoquímica, color, compuestos fenólico y capacidad antioxidante de papa cacho de toro (*Solanum tuberosum sp.*).



A. Características morfológicas

Hipótesis específica: La caracterización morfológica (tamaño de la planta, grosor del tallo, tamaño polar y ecuatorial, peso y rendimiento) de papa cacho de toro (*Solanum tuberosum sp.*) influye por el sistema aeropónico y suelo.

Ho: No existen diferencias significativas de las características morfológicas de papa cacho de toro con diferentes tiempos de cosecha.

Ha: Existen diferencias significativas en las características morfológicas de papa cacho de toro debido a diferentes tiempos de cosecha.

Nivel de significancia $\alpha = 0.05$

p-valor para tamaño de la planta: $0.0066 = < 0.05$ (Ver Anexo 19, a, P.128)

p-valor para grosor del tallo: $0.000 = < 0.05$ (Ver Anexo 19, b, P.128)

p-valor para tamaño polar: $0.0002 = < 0.05$ (Ver Anexo 19, c, P.129)

p-valor para tamaño ecuatorial: $0.000 = < 0.05$ (Ver Anexo 19, d, P.130)

p-valor para peso del tubérculo: $0.0055 = < 0.05$ (Ver Anexo 19, e, P.131)

Se acepta la hipótesis alterna para valores de $p < 0.05$, rechazándose la hipótesis nula.

B. Generación de color

Hipótesis específica: El cultivo aeropónico y del suelo influyen en el monitoreo de generación de color en papa cacho de toro (*Solanum tuberosum sp.*).

Ho: No existen diferencias significativas en la generación de color de papa cacho de toro debido a diferentes tiempos de cosecha.

Ha: Existen diferencias significativas en la generación de color de papa cacho de toro debido a diferentes tiempos de cosecha.

Nivel de significancia $\alpha = 0.05$

p-valor para color: $0.000 = < 0.05$

Se acepta la hipótesis alterna para valores de $p < 0.05$, rechazándose la hipótesis nula.



C. Características fisicoquímicas

Hipótesis específica: La caracterización fisicoquímica (humedad, ceniza, pH y acidez) de papa cacho de toro (*Solanum tuberosum sp.*) influye en sistema aeropónico y suelo.

Ho: No existen diferencias significativas en las características fisicoquímicas de papa cacho de toro con diferentes tiempos de cosecha.

Ha: Existen diferencias significativas en las características fisicoquímicas de papa cacho de toro con diferentes tiempos de cosecha.

Nivel de significancia $\alpha = 0.05$

p-valor para humedad: 0.000 = < 0.05 (Ver Anexo 20, a, P.132)

p-valor para ceniza: 0.000 = < 0.05 (Ver Anexo 20, b, P.133)

p-valor para acidez: 0.000 = < 0.05 (Ver Anexo 20, c, P.134)

p-valor para pH: 0.000 = < 0.05 (Ver Anexo 20, d, P.135)

Se acepta la hipótesis alterna para valores de $p < 0.05$, rechazándose la hipótesis nula.

D. Propiedades funcionales

Hipótesis específica: El establecimiento de la cinética de generación de compuestos antioxidantes (compuestos fenólicos totales y capacidad antioxidante) de papa cacho de toro (*Solanum tuberosum sp.*) influye en cultivo aeropónico y suelo.

Ho: No existen diferencias significativas de los contenidos de compuestos fenólicos totales y capacidad antioxidante de papa cacho de toro con diferentes tiempos de cosecha.

Ha: Existen diferencias significativas de los contenidos de compuestos fenólicos totales y capacidad antioxidante de papa cacho de toro con diferentes tiempos de cosecha.

Nivel de significancia $\alpha = 0.05$

p-valor para polifenoles: 0.000 = < 0.05 (Ver Anexo 21, P.136)

p-valor para DPPH: 0.014 = < 0.05 (Ver Anexo 22, a, P.137)

p-valor para ABTS: 0.0008 = < 0.05 (Ver Anexo 22, b, P.138)

Se acepta la hipótesis alterna para valores de $p < 0.05$, rechazándose la hipótesis nula.



5.3 Discusiones

5.3.1 Caracterización morfológica

A. Tamaño de la planta

En la Figura 16 y el Anexo 17, se presentan los valores obtenidos para el tamaño de las plantas en el cultivo aeropónico y suelo de la papa variedad cacho de toro. Estos valores fueron evaluados hasta los 177 días. En el cultivo aeropónico, las plantas alcanzaron una altura de 202 cm, mientras que, en el cultivo del suelo, la altura fue de 153.33 cm. Según la investigación de Ritter et al. (2001), quienes estudiaron plántulas in vitro utilizando el método hidropónico, el tamaño osciló entre 90 a 100 cm. En el caso del cultivo aeropónico, el tamaño varió en un rango de 150 a 180 cm, valores similares a los obtenidos en el cultivo aeropónico de un tamaño final de 202 cm y en caso de suelo tuvo similitud con hidroponía.

Además, los autores Malladi y Burns (2007) sugieren que los días cortos (con noches largas) pueden propiciar el desarrollo temprano de tubérculos en el cultivo del suelo de papa. Esto se relaciona con la tuberización precoz en las plantas. Por otro lado, Postic et al. (2012) indican que los días cortos también estimulan el alargamiento del tallo en las plantas de papa. Este proceso afecta los niveles de giberelina, una hormona vegetal importante. Asimismo, Skiryecz y Inzé (2010) mencionan que las plantas, como parte de su mecanismo adaptativo, pueden desarrollar mayor resistencia frente a factores de estrés. Sin embargo, esta adaptación puede influir en la eficiencia general de la planta.

B. Grosor del tallo

En la Figura 17 y el Anexo 17, se muestran los valores obtenidos para el grosor del tallo de las plantas. Estos valores fueron evaluados hasta los 177 días. En el cultivo del suelo, el grosor de las plantas alcanzó 0.64 cm, mientras que, en el cultivo aeropónico, el grosor de las plantas llegó hasta 0.77 cm. Otro estudio realizado por Hafizur et al. (2024) analizaron plántulas in vitro de papa de las variedades “unification” y N-198, utilizando el método de aeroponía. El grosor del tallo osciló entre 0.70 a 1.18 cm, valores similares a los obtenidos en el cultivo aeropónico.



Además, en una investigación adicional, Hafizur et al. (2021) evaluaron dos variedades, “love gold valley” y V48, utilizando el método de aeroponía, encontrando un valor de 0.45 a 0.70 cm, también similares e inferiores a los obtenidos en el cultivo aeropónico y del suelo. En otro estudio, García et al. (2021) analizaron la papa variedad Fianna cultivada mediante aeroponía, polvo de coco y suelo; estos valores son similares a los obtenidos en el cultivo aeropónico y son inferiores a los del cultivo del suelo en comparación con el suelo. Por otro lado, Islam et al. (2017) y Jahirul et al. (2021) mencionan que la luz desempeña un papel fundamental en el crecimiento de las plantas, y su influencia varía según la calidad espectral, la intensidad, la duración y la dirección. Estos factores pueden generar respuestas tanto en situaciones de estrés como en condiciones normales durante procesos de crecimiento y establecimiento de las plantas.

C. Tamaño polar (longitud) y ecuatorial (diámetro)

En la Figura 18 y la Figura 19, se registran las mediciones del tamaño polar y ecuatorial de los tubérculos de la variedad cacho de toro, cosechados en tres tiempos. Los valores oscilaron entre 3.08 a 3.86 cm para el tamaño polar y entre 1.48 a 2.16 cm para el tamaño ecuatorial. Estos resultados son similares a los obtenidos por Chiipanthenga et al. (2013), quienes estudiaron cuatro genotipos de plántulas in vitro de papas cultivadas en aeroponía. El tamaño polar (longitud) de los mini tubérculos varió entre 2.29 a 2.88 cm, mientras que el tamaño ecuatorial (diámetro) estuvo en un rango de 1.55 a 1.92 cm. Además, estos valores coinciden con los reportados por García et al. (2021), quienes obtuvieron minitubérculos en aeroponía con un tamaño polar de 2.51 cm y tamaño ecuatorial de 5 cm. En otro estudio realizado por la NASA (2013), se encontró que el diámetro del tubérculo de papa madre in vitro fue de 1.5 cm, lo cual es similar o incluso inferior a los valores obtenidos en este estudio.

Por lo tanto, Mateus et al. (2013) mencionan que en el sistema de cultivo aeropónico, la mayor producción de estolones se debe a las condiciones específicas de humedad y oscuridad que se presentan en la base del tallo de las plantas. Estas condiciones inducen la síntesis de hormonas como el ácido giberélico, el ácido abscísico y el ácido indolacético, lo que estimula el



desarrollo de estas estructuras y, en última instancia, conduce a la producción de un mayor número de minitubérculos.

D. Peso del tubérculo

En la Figura 20 y Anexo 19, se reportan el peso promedio de los tubérculos de la variedad cacho de toro, cosechados en los tres momentos. En el cultivo aeropónico, los valores oscilaron entre 4.39 a 5.26 g, y de suelo estuvo en un rango de 7.77 a 8.92 g. Estos resultados son similares a los obtenidos por Khalil y Hamed (2020), quienes evaluaron tres variedades utilizando dos métodos: en aeroponía, el peso promedio varió entre 1.9 a 3.0 g, mientras que en sustrato o del suelo, osciló entre 4.8 a 8.2 g. Se hicieron observaciones similares por Chiipanthenga et al. (2013), que analizaron cuatro genotipos de papa in vitro cultivados por aeroponía, que oscilaron de 6.02 a 9.49 g.

En otro estudio, según NASA (2013), el peso de las papas madre in vitro cultivadas por aeroponía fue de 1.7 g, lo cual es inferior a los encontrados en este estudio. Los investigadores Ritter et al. (2001), en base a sus resultados en el cultivo aeropónico tuvo mayor rendimiento de minitubérculos, el peso de estos fue inferior debido al crecimiento vegetativo extendido en las plantas de papa en aeroponía, lo que resultó en un retraso en la producción de tubérculos, lo cual se relaciona con la aeroponía en este estudio de investigación.

E. Rendimiento total

En la Figura 21, se exponen los resultados del estudio sobre rendimiento total de los cultivos aeropónico y del suelo, cosechados en los tres tiempos el total de las plantas de papa cacho de toro. En el cultivo aeropónico, el valor total resultó en 3301.49 g, mientras que en el método del suelo fue de 3138.36 g. En la investigación realizada por García et al. (2021), se analizó la variedad Fianna en tres métodos de cultivo. En el sistema de aeroponía, la producción de minitubérculos fue de 4.4 veces mayor que en los demás métodos. Sin embargo, los datos obtenidos en esta investigación fueron inferiores en comparación con los resultados esperados. Esta discrepancia podría justificarse considerando las recomendaciones del CIP (2015), a la vez los invernaderos para el sistema aeropónico deben ubicarse a una altitud superior a 2600 m s.n.m. Sin embargo, en esta investigación, se decidió probar a una altitud de 2400 m s.n.m. en la parte



baja de Abancay para la producción de minitubérculos. Esta variación de altitud podría haber influido en la menor producción detectada. Además, se observó la presencia de pudrición blanda en los estolones de la papa, posiblemente relacionada con las fluctuaciones de temperatura.

Por otro lado, el tizón tardío (causado por el microorganismo *Phytophthora infestans*), conocido como “rancha”, afectó las plantas durante las épocas de lluvia. Las esporas de este patógeno ingresaron al invernadero a través de la malla durante condiciones húmedas. En el proceso de desinfección del contenedor, se determinó que eliminar al 100 % de los microorganismos no era factible. Las plantas requieren ciertas bacterias para llevar a cabo procesos vitales, como la fijación de nitrógeno (según Jones, 1990, citado por NASA, 1991). Además, la NASA (2023) señala que tanto los invernaderos en el espacio como en la Tierra enfrentan un problema con el etileno, un gas liberado por las plantas que acelera la maduración y la descomposición. Este factor también podría haber afectado el rendimiento de los minitubérculos de la variedad cacho de toro cultivados mediante aeroponía.

5.3.2 Generación de color

En la Tabla 16, se exhiben los valores obtenidos para el color de cáscara y la pulpa de la papa variedad cacho de toro, cultivada tanto por aeroponía como por método del suelo, en tres tiempos de estudio.

Estos valores están expresados en el sistema CIE-Lab. En análisis de color de la pulpa en los tres momentos de cosecha, se evidenció un ligero cambio de color. Los valores de color para la papa nativa cultivada por aeroponía y suelo fueron los siguientes: L* que osciló entre 10.19 a 39.32, de a* resultó en un rango de 10.10 a 43.83 y b* tuvo un rango de 18.20 a 36.80. De acuerdo con la investigación de Lozano et al. (2023), quienes estudiaron diez variedades de papa nativa frescas obtenida de cultivo tradicional, el color de la pulpa en L* varió entre 4.82 a 50.13, mientras que el valor de a* se encontró entre 11.75 a 50.03, y la coordenada b* osciló entre -7.43 a 20.02. Las muestras de estudio mostraron valores más oscuros e intensos en L*, más rojiza en a* y tonos más amarillos en b*.



En una investigación similar, los autores Natividad et al. (2022) estudiaron cuatro variedades de papa en Huánuco provenientes del cultivo tradicional, específicamente en la zona Huallmish. Encontraron que los valores de L^* estuvieron en un rango de 34.00 a 80.02, lo que indica tonos más intensos o más oscuros. El valor de a^* varió entre -3.11 a 24.34, lo que sugiere tonos ligeramente verdes, y la coordenada b^* tuvo un rango de 4.10 a 21.70, correspondiente a tonos ligeramente amarillos. Estos valores son similares o inferiores a los obtenidos en el estudio del color de la pulpa de la papa nativa.

En cuanto al color de la cáscara de la papa nativa variedad cacho de toro estudiada en los tres tiempos de cosecha, cultivada por aeroponía y del suelo, los valores de las coordenadas fueron los siguientes: L^* osciló entre 12.25 a 18.08, indicando tonos más oscuros, en el valor de a^* varió entre 30.53 a 48.58, correspondiendo a tonos más rojizos y el valor b^* tuvo un rango de 13.55 a 21.35, sugiriendo tonos ligeramente amarillos. Estos resultados son similares a los informados por Lozano et al. (2023), quienes estudiaron la cáscara de las diez variedades de papa nativa de Apurímac obtenidas de cultivo tradicional.

En su investigación, el valor de L^* osciló entre 33.45 a 59.83, el valor de a^* varió entre 4.64 a 16.49, y la coordenada b^* estuvo en un rango 5.87 a 26.88, todos indicando tonos oscuros e intensos, ligeramente rojizos y ligeramente amarillos, respectivamente. En un estudio similar, Cerón et al. (2022) evaluaron el color de cáscara en tres variedades de papa en 4 municipios del departamento de Nariño proveniente de cultivo en suelo. Encontraron los siguientes valores: L^* , indicando tonos intensos, un valor de a^* en un rango de 1.15 a 7.55, correspondiendo a tonos ligeramente rojos, y b^* con un rango de 24.48 a 34.89, sugiriendo tonos amarillos.

5.3.3 Características fisicoquímicas

A. Humedad (%)

Los resultados obtenidos, en el estudio sobre el porcentaje de humedad de todos los tratamientos de papa cacho de toro, cultivados mediante aeroponía y métodos en suelo, oscilan en un rango de 90.40 a 88.40 y con 82.40 a 77 %. Estos valores son menores o iguales a lo reportado por Lizarraga (2023), quien



menciona un porcentaje de humedad entre 59.08 % y 72.17 % para las seis variedades de papas nativas obtenidas de cultivo en suelo.

En la misma línea de investigación, Serrano y Castro (2020) obtuvieron humedades entre 77 y 84.07 % para las variedades de papas Puca shungo y Estrella de los andes morada, respectivamente provenientes de cultivo tradicional. El autor señala que la humedad debe estar en un rango de 72 a 75 %, y si supera este valor, podría afectar las propiedades sensoriales, la consistencia y la vida anaquel del producto. En los datos de aeroponía, se obtuvo un porcentaje mayor al 80%, lo que indica que estas papas son adecuadas para semillas pre-básicas. Además, están sometidas a riego con solución nutritiva cada 15 minutos, con un retardo de 5 minutos.

B. Ceniza (%)

En los resultados de la variedad de papa cacho de toro, cultivada mediante aeroponía y métodos del suelo cosechados por tres tiempos diferentes, reveló porcentajes de ceniza a base seca (B.S) que fluctuaron entre 13.4 a 11.6 y de 8.7 a 7.1 %, respectivamente. Estas mediciones de ceniza en base seca muestran similares con los hallazgos de Singh y Kaur (2009), que identificaron porcentajes de cenizas de 1.09 a 14.5 % en base seca (B.S) para diferentes variedades de papas provenientes de cultivo del suelo. En un estudio relacionado, Cerón et al. (2018) reportaron el porcentaje de ceniza en un rango de 3.6 a 13 % en base seca (B.S) provenientes de un cultivo del suelo, lo cual es similar o menor a lo descubierto en esta investigación.

De igual manera, un análisis realizado por el MINSA (2017) sobre distintas variedades de papa de cultivo del suelo con 2.26 a 6.83 % en ceniza en base seca (B.S), lo que está en concordancia con los valores encontrados en los estudios actuales. El método de cultivo utilizado en la investigación evidencia una amplia variabilidad en el contenido mineral, influenciado en parte por las condiciones nutricionales de la tierra acondicionada con humus en el cultivo del suelo y solución nutritiva proporcionada en la aeroponía.



C. Acidez (%)

Los resultados obtenidos en el estudio sobre el porcentaje de acidez de todos los tratamientos del cultivo aeropónico y del suelo, cosechados por tres momentos diferentes, oscilan en un rango de 0.13 a 0.42 % (mg de ácido ascórbico/100 g muestra). Estos valores son menores o iguales a los reportados por Moscoso (2014), quien analizó cinco genotipos diferentes provenientes del cultivo del suelo, en un rango de 0.24 a 0.36 %. Sin embargo, en la última cosecha, tanto en aeroponía como en el cultivo del suelo, se obtuvieron valores fuera de rango: 0.42 % a 0.13 % respectivamente (mg de ácido ascórbico/100 g muestra). En la misma línea de investigación, la investigadora Hernández (2014) obtuvo del cultivo del suelo las papas del cual reportó un valor de porcentaje de acidez de 0.21 % (mg de ácido ascórbico/100 g muestra), similar a los encontrados en este estudio.

Además, Duarte (2019), quien analizó la variedad Diacol capiro obtenida de cultivo del suelo, obtuvo un porcentaje de acidez expresado en ácido ascórbico con un valor de 0.35 %, dato similar al encontrado en esta investigación.

D. Potencial de hidrogeniones (pH)

El análisis reciente ha demostrado que el pH de todos los tratamientos aplicados en cultivos del suelo y de aeroponía, cosechados en tres diferentes tiempos, varía entre 5.96 a 6.35. Estas cifras son superiores o iguales a los reportados por Moscoso (2014), quien examinó cinco genotipos de distintos clones en cultivo del suelo con valores entre 6.26 a 6.72, lo cual es comparable al pH de 6.35 observado en el cultivo del suelo durante la segunda cosecha a los 187 días. Paralelamente, Duarte (2019) investigó la variedad Diacol capiro que obtuvo de cultivo de suelo y encontró un pH de 6.46, que es levemente superior a los valores previamente reportados.

5.3.4 Propiedades funcionales

En esta sección, se analizan los polifenoles presentes en la papa nativa “cacho de toro” y se discuten los métodos de capacidad antioxidante: DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) y ABTS (2,2'-azino-bis-3-ethylbenzthiazoline-6-sulfonic acid).



Además, se aborda el análisis mediante FTIR (Espectroscopía de Infrarrojo por Transformada de Fourier).

A. Polifenoles totales

Los valores promedio de contenido de polifenoles totales en la papa variedad cacho de toro, cultivada mediante aeroponía y suelo y cosechada por tres tiempos, se situaron entre 515.42 a 557.89 mg EAG/100 g en base seca (B.S) para la aeroponía, y entre 338.53 a 278.04 mg EAG/100 g en base seca (B.S) para el cultivo del suelo. Estos valores son similares a los valores descritos por Saini et al. (2023), quienes encontraron 165.44 y 562.80 mg EAG/100 g base seca (B.S) en la variedad LR y PP-1901 de papas frescas proveniente del cultivo del suelo. Asimismo, Natividad et al. (2022) examinaron cuatro variedades de papa: Huevo de indio, Kitipsho, Azúcar cantina y Tinkuy obtenidas de un cultivo tradicional, y registraron valores que fluctuaron entre 43.23 a 623.60 mg EAG/100 g en base seca (B.S), cifras que se asemejan a las de este estudio.

En un trabajo similar, Lozano et al. (2023) estudiaron diez variedades de papas nativas cultivadas tradicionalmente, encontrando un rango de polifenoles totales de 304.81 a 1254.09 mg EAG/100 g base seca (B.S), similares e inferiores a los encontrados en esta investigación. Es decir, lo cual es comparable o menor a lo observado en esta investigación. Se destaca que los compuestos fenólicos presentes en la variedad cacho de toro cultivada por aeroponía mostraron valores altos desde su segunda cosecha, a diferencia del cultivo del suelo cuyos valores disminuyeron desde la primera cosecha.

Además, es importante mencionar que la cantidad y estabilidad de los polifenoles totales están influenciadas por diversos factores como el riego, los nutrientes y las condiciones climáticas; es relevante señalar que ambos métodos de cultivo se llevaron a cabo dentro en un invernadero.

B. Capacidad antioxidante evaluada mediante las pruebas de DPPH y ABTS

Los datos obtenidos mediante el método DPPH para la papa “cacho de toro”, cultivada tanto en aeroponía como del suelo cosechada en tres momentos distintos, mostraron los siguientes rangos de inhibición en el cultivo aeropónico



del 44.39 % al 40.78 % y en el cultivo del suelo del 56.59 % al 38.79 %. Estos valores están alineados con los rangos encontrados por Bahadori et al. (2023), en 42 genotipos diferentes cultivados en el suelo. Además, otros estudios, como el de Rodríguez et al. (2021), también identificaron rangos de inhibición del 0.38 % al 46.40 % similares en variedades de papa Fianna y Fontane provenientes de cultivo del suelo.

En otro estudio, Soto et al. (2014) analizaron variedades como papa amarilla y huevo de indio obtenidas de cultivo del suelo, encontrando un rango de inhibición del DPPH que varió entre el 36.80 % y el 74.72 %, cifras que también se ajustan a los rangos observados en el presente investigación. Estos hallazgos sugieren que los niveles de antocianinas presentes en la papa nativa cacho de toro disminuyen su capacidad para neutralizar radicales libres a medida que transcurre el tiempo desde la cosecha.

En la Figura 28 y el Anexo 22, se muestran los resultados de la capacidad antioxidante mediante el método ABTS en papas cacho de toro cultivadas tanto por aeroponía como por el método del suelo. Estas papas fueron cosechadas en tres momentos diferentes. Los valores de porcentaje de inhibición para la aeroponía oscilaron entre 29.64 % y 8.20 %, mientras que, para el método del suelo, variaron entre 18.63 % y 8.52 %. Comparando con otros estudios, Mehtab et al. (2019) encontraron valores de porcentaje de inhibición de ABTS en la papa “Favorita”, provenientes de cultivo del suelo en un rango de 5.7 a 69.85 %, similares a los resultados de nuestro estudio.

Además, en la misma línea de investigación similar, Jeddou et al. (2018) obtuvieron un valor de 14.84% de inhibición por ABTS en la papa variedad “Spunta” obtenida de cultivo del suelo, también similar a nuestros hallazgos. Por otro lado, Chintha et al. (2023), al estudiar dos variedades de papa provenientes de cultivo del suelo, encontraron valores de inhibición por ABTS en un rango de 2.5 % a 8.1 %, los cuales son similares e incluso inferiores a los valores de este estudio.



La discrepancia en los valores de DPPH y ABTS podrías atribuirse a la presencia de compuestos lipofílicos en las papas, como señalaron Lee et al. (2017). Por otro lado, según Van et al. (2000), citado por Mercado et al. (2013), se ha observado que el DPPH solo se disuelve en medios orgánicos, lo que sugiere que mide principalmente la capacidad antioxidante de compuestos poco polares. En contraste, el método ABTS puede evaluar la actividad de compuestos tanto hidrofílicos como lipofílicos.

En este contexto, se podría afirmar que el ABTS detectó la presencia de compuestos lipofílicos en la variedad de papa cacho de toro, lo que explica la variabilidad de los valores obtenidos en el estudio de investigación, sin encontrar diferencias significativas.

C. Grupos funcionales por espectros FTIR-ATR (cm^{-1})

En la Tabla 17 y la Figura 31, se registran los resultados de los picos detectados mediante FTIR en los tubérculos de la variedad de papa cacho de toro, cultivada tanto por aeroponía como por el suelo, y cosechada a los 201 días (tercera cosecha). La presencia de polifenoles totales se confirma mediante la detección de sus grupos funcionales por espectrofotometría FTIR-ATR, tal como describen Ponce et al. (2023). Se observaron números de onda de 3270.03 y 3278.24 cm^{-1} del método del suelo y aeroponía respectivamente. Estas bandas se atribuyen al estiramiento OH y se asocian con las vibraciones de carbohidratos y agua, según Wiercigroch et al. (2017). En otras palabras, los tubérculos de papa nativa cacho de toro contienen almidón, tanto en el cultivo por aeroponía como en el suelo.

Además, se observó una banda que oscila entre 1019.50 y 1050.11 cm^{-1} en ambos métodos de cultivo, atribuida al estiramiento C-O y asociada con la flexión del almidón. Estos datos son similares con los estudios realizados en cinco variedades de papa que obtuvieron de cultivo del suelo, según lo informado por Di Donato et al. (2020). Las bandas de absorción entre 1635.59 y 1635.91 cm^{-1} en los cultivos del suelo y de aeroponía se asocian con la deformación NH_2 , regiones que presentan proteínas de amidas I y II, según Warren et al. (2016).



En la Tabla 18 y Figura 33, se presentan los espectros adquiridos mediante FTIR-ATR de los extractos de papa variedad cacho de toro en la segunda y tercera cosecha, tanto en cultivo aeropónico como en cultivo del suelo. En los cuatro espectros, se logra apreciar una banda que oscila entre 3648.01 y 3647.99 cm^{-1} y otra entre 3273.75 a 3270.73 cm^{-1} , pertenecientes al grupo de alcoholes y fenoles (O-H) y amidas (N-H), según lo reportado por Deng y Li (2012), esto indica presencia de polifenoles y antocianinas. Además, se detectaron números de onda en el rango de 2980.36 a 2980.90 cm^{-1} , atribuidos a las vibraciones de estiramiento antisimétrico y simétrico del enlace C-H, tal como los autores Ligarda et al. (2023) encontraron en su investigación, mencionando que están relacionados con el almidón y el agua. Las bandas de absorción en los valores de 1704.35 a 1704.29 cm^{-1} y 1747.57 a 1747.61 cm^{-1} en ambos cultivos se asignaron al estiramiento C=O, perteneciente a los ácidos grasos libres y lípidos, según lo reportan los investigadores Schulz y Baranska (2007).

Por otro lado, se observaron picos en números de onda en el rango 876.76 a 877.04 cm^{-1} de ambos cultivos, asignados al estiramiento P-O, vibración de los enlaces de fósforo y oxígeno, según lo reportado por Shurvell (2006). Esto indicaría que la papa nativa cacho de toro cultivada de manera del suelo contiene fósforo en el suelo, corroborando la información con la Tabla 15. Además, en el cultivo aeropónico, se agregó una solución nutritiva que incluía superfosfato triple de calcio tal como se muestra en la Tabla 9, lo que también explica la detección de este pico.



CAPÍTULO VI CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

- Este estudio caracterizó morfológicamente las papas de la variedad cacho de toro cultivadas en sistemas aeropónicos y en suelo, encontrando diferencias significativas en todas las variables. El cultivo aeropónico fue superior en crecimiento de la planta, grosor del tallo y rendimiento total, mientras que el cultivo en suelo destacó en el tamaño polar y ecuatorial, y peso del tubérculo. Se recomienda cosechar a los 6 meses en cultivos de suelo, dado que mostró mejores resultados a los 187 días.
- El análisis del espacio de color CIELab permitió evaluar la evolución del color en las papas de la variedad cacho de toro, cultivadas sistemas aeropónicos y en suelo. A los 201 días, los tubérculos del sistema aeropónico mostraron un color más oscuro en la pulpa, con matices rojizos y amarillos, aunque los mejores valores se registraron a los 187 días. De manera similar, la piel de los tubérculos también presentó tonos más oscuros y rojizos en el método aeropónico. Estos resultados sugieren que los valores óptimos de color se alcanzan a los 187 días, respaldando la recomendación de cosechar estas papas a los seis meses.
- Las características fisicoquímicas (% humedad, % ceniza, acidez titulable y pH) de los tratamientos de papa cacho de toro fueron evaluadas, encontrando diferencias significativas ($p < 0.05$) en todas las variables. A los 201 días, el cultivo aeropónico mostró valores en evolución, similares a los del cultivo en suelo a los 187 días. La cosecha óptima para el cultivo en suelo se recomienda a los 187 días, con valores de humedad de 77.69 ± 2.35 , ceniza de 7.50 ± 0.56 , acidez de 0.23 ± 0.01 y pH de 6.35 ± 0.13 . Se aconseja a los agricultores realizar la cosecha en este período (6 meses).
- El cultivo aeropónico de papa cacho de toro presentó el mayor contenido de polifenoles a los 201 días, alcanzando 557.89 ± 10.17 mg EAG/100 g. A los 187 días, se obtuvieron los mejores resultados en las pruebas de DPPH y ABTS, con inhibiciones del 44.39 ± 0.72 % y 29.64 ± 0.32 %, respectivamente. En contraste. El cultivo en suelo mostró valores óptimos de polifenoles y DPPH a los 158 días, con concentraciones de 338.528



± 0.98 mg EAG/100 g y una inhibición del 56.59 ± 0.22 %. El valor más alto de ABTS se registró a los 187 días, con una inhibición del 36.45 ± 3.87 %. Se recomienda a los agricultores cosechar a los 158 y 187 días en el cultivo en suelo (5 y 6 meses) y a los 187 y 201 días en el aeropónico (6 y 6.5 meses). Además, el análisis FTIR-IR identificó la presencia de almidón, agua, carbohidratos, polifenoles, amidas I y II, antocianinas, lípidos y otros compuestos en las papas.

6.2 Recomendaciones

- Se recomienda llevar a cabo investigaciones en el cultivo de papa utilizando la técnica de aeroponía a altitudes superiores a 2400 m s.n.m.
- Es fundamental tener precaución con la electrobomba y asegurarse de que funcione correctamente para mantener un riego continuo. Incluso una hora de mal funcionamiento puede afectar negativamente la fase de crecimiento en el cultivo aeropónico, debilitando la planta y aumentando el riesgo de plagas.
- Se recomienda realizar la limpieza del sistema dos o tres veces por semana en el área exterior del contenedor y una vez por semana en su interior.
- Investigar las implicaciones en la producción relacionadas con las características de la raíz de la papa nativa.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGRARIA, 2017. Primer Festival de Sostenibilidad mostró al público la técnica de la aeroponía para producir semillas de papa. *Agraria.pe Agencia Agraria de Noticias* [en línea]. [Consulta: 23 noviembre 2022]. Disponible en: <https://agraria.pe/noticias/primer-festival-de-sostenibilidad-mostro-al-publico-la-14339>.

ALAM, Md.N., BRISTI, N.J. y RAFIQUZZAMAN, Md., 2013. Review on in vivo and in vitro methods evaluation of antioxidant activity. *Saudi Pharmaceutical Journal*, vol. 21, no. 2, pp. 143-152. ISSN 1319-0164. DOI 10.1016/j.jsps.2012.05.002.

ANDRADE, J. (CIP-E., BARONA, D. (CIP-P., BENÍTEZ, J. (INIAP), CHUQUILLANQUI, C. (CIP-P., GARCÍA, M. (CIP-P., KROMANN, P. (CIP-E., MATEUS, J. (CORPOICA), MONTESDEOCA, F. (INIAP), OTAZÚ, V. (CIP-P. y POTOSÍ, B. (CIP-E.), 2015. *Manual para la producción de semilla de papa usando aeroponía: diez años de experiencias en Colombia, Ecuador y Perú* [en línea]. 1ra. Lima-Perú: International Potato Center. [Consulta: 27 septiembre 2020]. ISBN 978-92-9060-455-6. Disponible en: <https://hdl.handle.net/10568/76513>.

A.O.A.C., 1990. Official Methods of Analysis. *Chemical and Functional Properties of Food Saccharides*, vol. 1, pp. 73-80. ISSN 00035769. DOI 10.7312/seir17116-004.

A.O.A.C., 2006. *Official methods of analysis of AOAC International*. 18. ed., current through rev. 1, 2006. Gaithersburg, Md: AOAC International. ISBN 978-0-935584-77-6.

BADUI, S., 2013. *Química de los alimentos* [en línea]. 5ta. México: Cámara Nacional de la Industria Editorial Mexicana. 1031. ISBN 978-607-32-1508-4. Disponible en: <file:///C:/TESIS/definicion/quimica-de-los-alimentos-5ed.pdf>.

BAHADORI, S., GIGLOU, M.T., ESMAIELPOUR, B., DEHDAR, B., ESTAJI, A., HANO, C., GOHARI, G., VERGINE, M. y VITA, F., 2023. Antioxidant Compounds of Potato Breeding Genotypes and Commercial Cultivars with Yellow, Light Yellow, and White Flesh in Iran. *Plants*, vol. 12, no. 8, pp. 1707. ISSN 2223-7747. DOI 10.3390/plants12081707.

BARRAGÁN, M., ARO, J.M., HUAMANÍ, V. y CARTAGENA, R., 2018. Antocianinas, compuestos fenólicos y capacidad antioxidante del mio-mio (*Coriaria ruscifolia* L.). *Revista de*



Investigaciones Altoandinas, vol. 20, no. 4, pp. 419-428. ISSN 2306-8582. DOI 10.18271/ria.2018.419.

BENÍTEZ, J., BARONA, D., CHUQUILLANQUI, C., GARCÍA, M., KROMANN, P. y MONTESDEOCA, F., 2015. *Manejo del cultivo aeropónico de papa*. Lima-Perú: s.n.

BRAND, W., CUVELIER, M.E. y BERSET, C., 1995. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT - Food Science and Technology*, vol. 28, no. 1, pp. 25-30. ISSN 00236438. DOI 10.1016/S0023-6438(95)80008-5.

BUCKSETH, T., SHARMA, A.K., PANDEY, K.K., SINGH, B.P. y MUTHURAJ, R., 2016. Methods of pre-basic seed potato production with special reference to aeroponics-A review. *Scientia Horticulturae*, vol. 204, pp. 79-87. ISSN 03044238. DOI 10.1016/j.scienta.2016.03.041.

CAMPOS, D., NORATTO, G., CHIRINOS, R., ARBIZU, C., ROCA, W. y CISNEROS, L., 2006. Antioxidant capacity and secondary metabolites in four species of Andean tuber crops: native potato (*Solanum sp.*), mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruis & Pavón), Oca (*Oxalis tuberosa* Molina) and ulluco (*Ullucus tuberosus* Caldas). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, vol. 86, no. 10, pp. 1481-1488. ISSN 0022-5142, 1097-0010. DOI 10.1002/jsfa.2529.

CARTAGENA, Y., 2022. *Isotermas de adsorción, capacidad antioxidante y color de la harina de dos variedades de papa nativa (Solanum tuberosum)*. Tesis de posgrado. Cusco-Perú: Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco.

CATIRE, R., 2019. *Producción de papa, variedad Yungay (Solanum tuberosum - Yungay), bajo condiciones de invernadero, empleando módulo aeropónico*. Ciudad universitaria (UNASAM). Huaraz, 2018. Tesis de grado. Huaraz-Perú: Universidad Nacional «Santiago Antunez de Mayolo».

CENTRO INTERNACIONAL DE LA PAPA (CIP), 2015. *Manual para la producción de semilla de papa usando aeroponía: diez años de experiencias en Colombia, Ecuador y Perú* [en línea]. 1ra. Lima-Perú: International Potato Center. [Consulta: 11 octubre 2022]. ISBN 978-92-9060-455-6. Disponible en: <https://hdl.handle.net/10568/76513>.



CENTRO INTERNACIONAL DE LA PAPA (CIP), GRUPO YANAPAI, GOBIERNO REGIONAL DE HUANCVELICA, (AGUAPAN) y ASOCIACIÓN DE GUARDIANES DE PAPA NATIVA DEL CENTRO DEL PERÚ, 2021. *Catálogo - Línea de Base de la Diversidad de Papa Nativa del Microcentro Yauli - Paucará, Huancavelica, Perú* [en línea]. 1ra. Lima-Perú: International Potato Center. [Consulta: 26 septiembre 2022]. ISBN 978-92-9060-600-0. Disponible en: <https://hdl.handle.net/10568/113985>.

CERÓN, M., ALZATE, A.F., ROJANO, B.A. y ÑUZTEZ-LOPEZ, C.E., 2018. Composición Fisicoquímica y Propiedades Antioxidantes de Genotipos Nativos de Papa Criolla (*Solanum tuberosum* Grupo Phureja). *Información tecnológica*, vol. 29, no. 3, pp. 205-216. ISSN 0718-0764. DOI 10.4067/S0718-07642018000300205.

CERÓN, M., PRIETO, L., GARNICA, A. y ORTEGA, J., 2022. *Papa nativa diploide: en busca de fortalecer el sistema productivo en Colombia* [en línea]. Bogotá-Colombia: Universidad de La Salle. Ediciones Unisalle. [Consulta: 21 junio 2024]. ISBN 978-9942-33-626-2. Disponible en: <https://ciencia.lasalle.edu.co/libros/100/>.

CHIIPANTHENGGA, M., MALIRO, M., DEMO, P., NJOLOMA, J. y KHUMAR, N., 2013. Performance of different potato genotypes under aeroponics system. *Journal of Applied Horticulture*, vol. 15, no. 02, pp. 142-146. ISSN 09721045. DOI 10.37855/jah.2013.v15i02.28.

CHINTHA, P., SARKAR, D., RAMAKRISHNA, R., DOGRAMACI, M., LULAI, E.C. y SHETTY, K., 2023. Biological elicitors to enhance wound healing responses in cut potato tubers. *Scientia Horticulturae*, vol. 319, pp. 112152. ISSN 03044238. DOI 10.1016/j.scienta.2023.112152.

DAMODARAN, S., FENNEMA, O.R. y PARKIN, K., 2010. *FENNEMA: química de los alimentos*. 3ra. España: Acribia. ISBN 978-84-200-1142-4.

DÁVILA, A. y SANTOS, G., 2014. *Diseño, construcción e instalación de un módulo aeropónico para el cultivo de plántulas de papa (*Solanum tuberosum* l.) en las instalaciones del fundo «la banda» Huasacache, Jacobo Hunter, Arequipa*. Tesis de grado. Arequipa-Perú: Universidad Católica de Santa María.

DENG, S. y LI, X., 2012. Inhibition by Ginkgo leaves extract of the corrosion of steel in HCl and H₂SO₄ solutions. , no. 55, pp. 407-415. DOI doi:10.1016/j.corsci.2011.11.005.



DI DONATO, F., DI CECCO, V., TORRICELLI, R., D'ARCHIVIO, A.A., DI SANTO, M., ALBERTINI, E., VERONESI, F., GARRAMONE, R., AVERSANO, R., MARCANTONIO, G. y DI MARTINO, L., 2020. Discrimination of Potato (*Solanum tuberosum* L.) Accessions Collected in Majella National Park (Abruzzo, Italy) Using Mid-Infrared Spectroscopy and Chemometrics Combined with Morphological and Molecular Analysis. *Applied Sciences*, vol. 10, no. 5, pp. 1630. ISSN 2076-3417. DOI 10.3390/app10051630.

DJAMAN, K., KOUBODANA, H., HOUTETA, D., AMINOU y SAMUEL, E., 2022. Tillage Practices in Potato (*Solanum tuberosum* L.) Production: A Review. *American Journal of Potato Research*, vol. 99, no. 1, pp. 1-12. DOI <https://doi.org/10.1007/s12230-021-09860-1>.

DOGLIOTTI, S., COLNAGO, P., GALVÁN, G. y ALDABE, L., 2011. Bases Fisiológicas del crecimiento y desarrollo de los principales cultivos hortícolas. [en línea]. Paysandú-Uruguay: Universidad de la República. Disponible en: https://olericultura.files.wordpress.com/2014/12/fisio-y-crec-papa_toma_ceb.pdf.

DUARTE, Y., 2019. *Desarrollo de un producto fortificado y deshidratado como alternativa para la generación de valor agregado a la papa (Solanum tuberosum) variedad Diacol Capiro*. Tesis de posgrado. Medellín-Colombia: Universidad de Antioquía.

EGÚSQUIZA, R., 2013. Manejo Integrado de Plagas y Enfermedades en el Cultivo de Papa. [en línea]. Paucartambo-Perú: Agrobanco. Disponible en: <https://www.agrobanco.com.pe/data/uploads/ctecnica/032-d-papa.pdf>.

ESQUIVEL, E., 2017. *Aeroponía*. Tesis de grado. Torreon-México: Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

FENNEMA, O.R. y TANNENBAUM, S.R., 2000. *Química de Alimentos*. 2da. Massachusetts-EE.UU: Acribia S.A. ISBN 978-84-200-0914-8.

FONSECA, C., BURGOS, G., RODRIGUEZ, 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*. 1ra. Lima-Perú: Centro Internacional de la Papa (CIP). ISBN 978-92-9060-454-9.



FUENZALIDA, N.C., 2008. *Determinación de la cantidad de fenoles totales y la actividad antioxidante en papas nativas pigmentadas*. Tesis de grado. Valdivia-Chile: Universidad Austral de Chile.

GARCÍA, D., VALDEZ, L., RAMÍREZ, H., ZERMEÑO, A. y CADENA, M., 2021. Producción de mini tubérculos de papa en aeroponía en comparación con suelo y polvo de coco. , vol. 39, pp. 53-55. ISSN 0187-5779. DOI <https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.902>.

GLASSFORD, S.E., BYRNE, B. y KAZARIAN, S.G., 2013. Recent applications of ATR FTIR spectroscopy and imaging to proteins. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Proteins and Proteomics*, vol. 1834, no. 12, pp. 2849-2858. ISSN 15709639. DOI 10.1016/j.bbapap.2013.07.015.

GRAVES, C., 2006. *La papa, tesoro de los Andes*. 2da. Lima-Perú: Centro Internacional de la Papa.

HAFIZUR, R., JAHIRUL, I., HABIBA, U., RYEOL, B., DAE, J., KALAM, M., JU, E. y SEOK, Y., 2024. Effect of light quality on seed potato (*Solanum tuberosum* L.) tuberization when aeroponically grown in a controlled greenhouse. , vol. 13, no. 5, pp. 2-15. DOI <https://doi.org/10.3390/plants13050737>.

HAFIZUR, R., JAHIRUL, I., KALAM, O., SOYEL, R., RYEOL, B. y SEOK, Y., 2021. LED Light pre-treatment improves pre-basic seed potato (*Solanum tuberosum* L. cv. Golden King) production in the aeroponic system. , vol. 11, no. 8, pp. 2-14. DOI <https://doi.org/10.3390/agronomy11081627>.

HAMOUIZ, K., LACHMAN, J., VOKÁL, B. y PIVEC, V., 1999. Influence of environmental conditions and way of cultivation on the polyphenol and ascorbic acid content in potato tubers. *Rostlinna Vyroba-UZPI*,

HERNÁNDEZ, D., 2014. *Evaluación tecnológica de snacks de papa (*Solanum tuberosum* L.) obtenidos mediante la aplicación combinada ingeniería de matrices y fritura al vacío*. Tesis de posgrado. Medellín-Colombia: Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín.

HUINCHO, W., 2021. *Identificación de Híbridos de Pulpa Coloreada Variedad Papa Nativa Yana Dusis (*Solanum goniocalyx*) Promisorios en Rendimiento, en UDEA-Lircay*. Tesis de grado. Lircay-Perú: Universidad para el Desarrollo Andino.



IMPLEN, 2021. UV-Vis Spectrophotometers | How UV/Vis Spectrophotometer Works | Implen. [en línea]. [Consulta: 2 julio 2023]. Disponible en: <https://www.implen.de/uv-vis-spectrophotometer/>.

ISLAM, M.J., HASSAN, M.K., SARKER, S.R., RAHMAN, A.B. y FAKIR, M.S.A., 2017. Light and temperature effects on sprout yield and its proximate composition and vitamin C content in lignosus and mung beans. *Bangladesh Agricultural University System*, vol. 15, no. 2, pp. 248-254. ISSN 2408-8684. DOI 10.3329/jbau.v15i2.35070.

JAFFREY, M., 2018. The New York Times delighted by Peruvian potatoes. *Andina agencia peruana de noticias* [en línea]. [Consulta: 9 abril 2022]. Disponible en: <https://andina.pe/ingles/noticia-the-new-york-times-delighted-by-peruvian-potatoes-707799.aspx>.

JAHIRUL, I., RYEOL, B., KALAM, O., RAHMAN, H., JU, E., DAE, J. y SEOK, Y., 2021. Cannabinoids accumulation in hemp (*Cannabis sativa* L.) plants under LED light spectra and their discrete role as a stress marker. , vol. 10, no. 8, pp. 2-20. DOI <https://doi.org/10.3390/biology10080710>.

JEDDOU, K.B., BOUAZIZ, F., HELBERT, C.B., NOURI, O., MAKTOUF, S., ELLOUZ, S. y ELLOUZ, R., 2018. Structural, functional, and biological properties of potato peel oligosaccharides. *International Journal of Biological Macromolecules*, vol. 112, no. 1, pp. 1146-1155. ISSN 01418130. DOI 10.1016/j.ijbiomac.2018.02.004.

JONES, E.E., 1990. Interpersonal perception. . New York: W. H. Freeman and Company.

JONES, M., 1994. In vitro Culture of Potato. *Plant Cell and Tissue Culture*, pp. 363-378. DOI https://doi.org/10.1007/978-94-017-2681-8_15.

JULI, D. y ARIAS, E., 2011. *Antocianinas, polifenoles totales y capacidad antioxidante en dos clones de papa nativa del género Solanum de pulpa azul y roja*. Tesis de grado. Sicuani-Cusco-Perú: Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco.

KHALIL, M.M. y HAMED, A.H., 2020. Pre-basic seed potato production in aeroponic cultures. *Menoufia J. Plant Prod.*, vol. 5, no. 1, pp. 253-263.



LAIME, S., 2016. *Propuesta de análisis de Wolfram en minerales de baja ley por espectrofotometría UV-Visible* [en línea]. Tesis de grado. La Paz-Bolivia: Universidad Mayor de San Andrés. Disponible en: <https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/11713/EG-1855-Laime%20Mita%2c%20Silvia%20Eugenia.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

LAKHIAR, I.A., GAO, J., SYED, T.N., CHANDIO, F.A. y BUTTAR, N.A., 2018. Modern plant cultivation technologies in agriculture under controlled environment: a review on aeroponics. *Journal of Plant Interactions*, vol. 13, no. 1, pp. 338-352. ISSN 1742-9145, 1742-9153. DOI 10.1080/17429145.2018.1472308.

LEE, W., YEO, Y., OH, S., CHO, K.-S., PARK, Y.-E., PARK, S.K., LEE, S.M., CHO, H.S. y PARK, S.-Y., 2017. Compositional analyses of diverse phytochemicals and polar metabolites from different-colored potato (*Solanum tuberosum* L.) tubers. *Food Science and Biotechnology*, vol. 26, no. 5, pp. 1379-1389. ISSN 1226-7708, 2092-6456. DOI 10.1007/s10068-017-0167-2.

LIGARDA, C.A., PALOMINO, H., CHOQUE, D., MOSCOSO, E., ARÉVALO, J.C., HUAMÁN, M.L., QUISPE, U.R., MUÑOZ, J.C., GUTIÉRREZ, E., CABEL, D.J., SUCARI, R., AROQUIPA, Y. y GARCÍA, A.J., 2023. Bioactive Compounds and Sensory Quality in Chips of Native Potato Clones (*Solanum tuberosum* spp. andigena) Grown in the High Andean Region of PERU. *Foods*, vol. 12, no. 13, pp. 2511. ISSN 2304-8158. DOI 10.3390/foods12132511.

LIM, Y.Y., LIM, T.T. y TEE, J.J., 2007. Antioxidant properties of several tropical fruits: A comparative study. *Food Chemistry*, vol. 103, no. 3, pp. 1003-1008. ISSN 03088146. DOI 10.1016/j.foodchem.2006.08.038.

LIZARRAGA, F., 2023. *Característica física, fisicoquímicas, morfológicas, antocianinas, polifenoles totales y capacidad antioxidante de genotipos de papas de diferentes pisos ecológicos* [en línea]. Tesis de posgrado. Huancayo-Perú: Universidad Nacional del Centro del Perú. Disponible en: https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/9271/T010_20063478_M.pdf?sequence=1.



LOPEZ, E., MOSTACERO, J., GIL, A., LÓPEZ, A., DE LA CRUZ, A. y VILLENNA, L., 2019. Efecto sinérgico del ácido giberélico y del ácido indolacético en la propagación in vitro de *Solanum tuberosum* L. «papa nativa de pulpa de color». *REBIOL*, vol. 39, no. 2, pp. 49-57. ISSN 23133171. DOI 10.17268/rebiol.2019.39.02.05.

LÓPEZ, J., 2023. *Espectroscopia Raman y FTIR: principios y aplicaciones en ciencias de la tierra* [en línea]. Tesis de grado. Colombia: Universidad de Caldas. Disponible en: <https://repositorio.ucaldas.edu.co/bitstream/handle/ucaldas/19653/Monograf%C3%ADa.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

LOZANO, F., CHAQUILLA, G., PÉREZ, L.F., TERÁN, F., SOTELO, A.H. y VILCANQUI, F., 2023. Morphological, Nutritional Characteristics, and Antioxidant Compounds of Ten (10) Native Potato Varieties from Apurímac-Perú Region. *Potato Research*, vol. 67, no. 2, pp. 603-619. ISSN 0014-3065, 1871-4528. DOI 10.1007/s11540-023-09658-0.

LY, B.C.K., DYER, E.B., FEIG, J.L., CHIEN, A.L. y DEL BINO, S., 2020. Research Techniques Made Simple: Cutaneous Colorimetry: A Reliable Technique for Objective Skin Color Measurement. *Journal of Investigative Dermatology*, vol. 140, no. 1, pp. 3-12. ISSN 0022202X. DOI 10.1016/j.jid.2019.11.003.

MAGALHÃES, S., GOODFELLOW, B.J. y NUNES, A., 2021. FTIR spectroscopy in biomedical research: how to get the most out of its potential. *Applied Spectroscopy Reviews*, vol. 56, no. 8-10, pp. 869-907. ISSN 0570-4928, 1520-569X. DOI 10.1080/05704928.2021.1946822.

MAGALLÁN, L., ANGULO, G., LILY, J., SILVA, G. y LEIVA, S., 2018. Evaluación del rendimiento de semilla prebásica de tres variedades de papa (*Solanum tuberosum*) en un sistema aeropónico, distrito de Luya Viejo-región Amazonas. *Revista de investigación agroproducción sustentable*, vol. 2, no. 3, pp. 61-68. ISSN 2520-9760. DOI 10.25127/aps.20183.405.

MAJEED, Y. y WASEEM, M., 2022. Postharvest Handling Systems. *Encyclopedia of Smart Agriculture Technologies*, pp. 1-9. DOI https://doi.org/10.1007/978-3-030-89123-7_125-1.



MALLADI, A. y BURNS, J., 2007. Communication by Plant Growth Regulators in Roots and Shoots of Horticultural Crops. , vol. 42, no. 5, pp. 1113-1117. ISSN 2327-9834. DOI <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.42.5.1113>.

MATEUS, J.R., DE HAAN, S., ANDRADE, J.L., MALDONADO, L., HAREAU, G., BARKER, I., CHUQUILLANQUI, C., OTAZÚ, V., FRISANCHO, R., BASTOS, C., PEREIRA, A.S., MEDEIROS, C.A., MONTESDEOCA, F. y BENÍTEZ, J., 2013. Technical and Economic Analysis of Aeroponics and other Systems for Potato Mini-Tuber Production in Latin America. *American Journal of Potato Research*, vol. 90, no. 4, pp. 357-368. ISSN 1099-209X, 1874-9380. DOI 10.1007/s12230-013-9312-5.

MCEWEN, B.S., 1998. Protective and Damaging Effects of Stress Mediators. *New England Journal of Medicine*, vol. 338, no. 3, pp. 171-179. ISSN 0028-4793, 1533-4406. DOI 10.1056/NEJM199801153380307.

MEDINA, S., 2014. *Evaluación del rendimiento de 10 variedades de papas nativas en la producción de mini-tubérculos bajo el sistema aeropónico*. Tesis de grado. Andahuaylas-Perú: Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco.

MEHTAB, M., KARANJA, J.K., SULEIMAN, K., MADIHA, Z., MAHPARA, F. y JUNAITE, B., 2019. Antioxidant Capacity of In-vitro generated *Solanum tuberosum* L. Cultivar (Favorita). , vol. 3, no. 1, pp. 19-29. ISSN 2523-9252.

MEIER, U., 2001. *Estadios de las plantas mono-y dicotyledóneas*. 2da. Alemania: Centro Federal de Investigaciones Biológicas para Agricultura y Silvicultura.

MERCADO, G., DE LA ROSA, L., WALL, A., LÓPEZ, J. y ÁLVAREZ, E., 2013. Compuestos polifenólicos y capacidad antioxidante de especias típicas consumidas en México. *NUTRICION HOSPITALARIA*, vol. 28, no. 1, pp. 36-46. ISSN 0212-1611. DOI 10.3305/nh.2013.28.1.6298.

MINISTERIO DE AGRICULTURA Y GANADERÍA, 2019. Informe de rendimientos objetivos de papa en el Ecuador 2018. . Quito-Ecuador: Agricultura.

MINISTERIO DE AGRICULTURA Y RIEGO (MINAGRI), YANAPAI, GRUPO (INIA), AGRARIA, INNOVACIÓN, INSTITUTO NACIONAL DE (CIP) y CENTRO INTERNACIONAL DE LA PAPA, 2017. *Catálogo de variedades de papa nativa del sureste*



del departamento de Junín - Perú [en línea]. 1ra. Junín-Perú: International Potato Center. [Consulta: 11 octubre 2022]. ISBN 978-92-9060-208-8. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10568/89110>.

MINISTERIO DE CULTURA CUSCO, 2016. La papa es oriunda del Perú. [en línea]. [Consulta: 24 septiembre 2022]. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=XRHLmjwldJA>.

MINISTERIO DE SALUD (MINSAL), C.E., 2017. Tablas Peruanas de Composición de Alimentos. . 10ma. Lima-Perú: s.n., pp. 142. ISBN 978-612-310-117-6.

MISHRA, K., OJHA, H. y CHAUDHURY, N., 2012. Estimation of antiradical properties of antioxidants using DPPH assay: A critical review and results. *Food Chemistry*, vol. 130, no. 4, pp. 1036-1043. ISSN 0308-8146. DOI 10.1016/j.foodchem.2011.07.127.

MOLINA, J. de D., SANTOS, B.M. y AGUILAR, L., 2004. *Guía MIP en el Cultivo de la papa*. 1ra. Managua-Nicaragua: INTA-Managua.

MONTEROS, C., CUESTA, X., JIMÉNEZ, J. y LÓPEZ, G., 2005. *Las papas nativas en el Ecuador*. 1ra. Quito-Ecuador: s.n.

MOSCOSO, E., 2014. *Determinación de la capacidad antioxidante y compuestos bioactivos de cinco clones de papa nativa (Solanum tuberosum) y del puré deshidratado*. Tesis de grado. Andahuaylas-Perú: Universidad Nacional José María Arguedas.

MUÑOZ, Ó.A., TORRES, G.A., NÚÑEZ, J.A., DE LA ROSA, L.A., RODRIGO, J., AYALA, J.F. y ÁLVAREZ, E., 2017. Nevo acercamiento a la interacción del reactivo de foli-ciocalteu con azúcares durante la cuantificación de polifenoles totales. *Revista Especializada en Ciencias Químicas-Biológicas*, vol. 20, no. 2, pp. 23-28. ISSN 1405-888X. DOI 10.1016/j.recqb.2017.04.003.

NASA SPINOFF, 2008. Experiments Advance Gardening at Home and in Space. *NASA Technology Transfer Program* [en línea]. [Consulta: 15 febrero 2021]. Disponible en: https://spinoff.nasa.gov/Spinoff2008/ch_3.html.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION (NASA), 1991. Desing of Biomass management systems and components for closed loop life support systems. [en línea].



Reporte final de investigación. Florida-EE.UU: NASA-Universities Space Research Association. Disponible en: <https://acortar.link/dtrhMD>.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION (NASA), 2013. Space experiment on tuber development & starch accumulation for CELSS. , vol. 1, no. 1, pp. 1-8.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION (NASA), 2023. Space farming Yields a crop of benefits for earth. [en línea]. Disponible en: <https://acortar.link/7GqDPI>.

NATIVIDAD, Á.D., MUÑOZ, S.G., VILLANUEVA, J.E., ROJAS, R.M., CHAMORRO, R.E., CUETO, C.R., BRAVO, J.M., BERAUN, J.R. y MENDOZA, A., 2022. Caracterización fisicoquímica de cuatro variedades de papas nativas (*Solanum tuberosum*) con aptitud para fritura, cultivadas en dos zonas en Huánuco. *Revista de la Sociedad Química del Perú* [en línea], vol. 88, no. 3. [Consulta: 19 mayo 2024]. ISSN 2309-8740, 1810-634X. DOI 10.37761/rsqp.v88i3.400. Disponible en: <https://revistas.sqperu.org.pe/index.php/revistasqperu/article/view/400>.

NGUYEN, H.T., RADÁCSI, P., GOSZTOLA, B., RAJHÁRT, P. y NÉMETH, É.Z., 2018. Accumulation and composition of essential oil due to plant development and organs in wormwood (*Artemisia absinthium* L.). *Industrial Crops and Products*, vol. 123, pp. 232-237. ISSN 09266690. DOI 10.1016/j.indcrop.2018.06.076.

NICHOLS, M.A., 2005. Aeroponics and potatoes. *Acta Horticulturae*, no. 670, pp. 201-206. ISSN 0567-7572, 2406-6168.

OTAZÚ, V., 2010. *Manual on quality seed potato production using aeroponics*. 1ra. Lima-Perú: International Potato Center (CIP). ISBN 978-92-9060-392-4.

PADILLA, F.C., RINCÓN, A.M. y BOU, L., 2008. Contenido de polifenoles y actividad antioxidante de varias semillas y nueces. *Archivos Latinoamericanos de Nutricion*, vol. 58, no. 3, pp. 303-308. ISSN 00040622.

PCE INSTRUMENTS, 2015. Instrucciones de uso Colorímetro PCE-CSM 7. [en línea]. Santiago-Chile: PCE Ibérica S.L. Disponible en: www.pce-instruments.com%0D.



PEÑA, C.B. y RESTREPO, L.P., 2013. Compuestos fenólicos y carotenoides en la papa: revisión. *SAN*, vol. 14, no. 1, pp. 25-32.

PONCE, P., ESCOBEDO, M., GONZÁLEZ, M., LARA, R. y NÚÑEZ, D., 2023. *Espectroscopia de infrarrojo análisis e interpretación de compuestos*. 1ra ed. México-Durango: Editorial Ujed. ISBN 978-607-503-260-3.

POSTIC, D., MOMIROVIC, N., BROČIĆ, Z., DOLIĆANOVIC, Z. y ALEKSIC, G., 2012. The evaluation of biological viability of potato seed tubers grown at different altitudes. , vol. 7, no. 20, pp. 3073-3080. ISSN 1991-637X. DOI 10.7251/AGREN1204583J.

PROMPERÚ, 2017. Papa nativa Peruana: el legado andino que alimenta al mundo. *Productos oriundos* [en línea]. [Consulta: 10 abril 2022]. Disponible en: <https://peru.info/es-pe/gastronomia/noticias/2/12/natural-y-saludable--nuestras-papas-nativas>.

QIU, G., WANG, D., SONG, X., DENG, Y. y ZHAO, Y., 2018. Degradation kinetics and antioxidant capacity of anthocyanins in air-impingement jet dried purple potato slices. *Food Research International*, vol. 105, pp. 121-128. ISSN 09639969. DOI 10.1016/j.foodres.2017.10.050.

RE, R., PELLEGRINI, N., PROTEGGENTE, A., PANNALA, A., YANG, M. y RICE-EVANS, C., 1999. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology and Medicine*, vol. 26, no. 9-10, pp. 1231-1237. ISSN 08915849. DOI 10.1016/S0891-5849(98)00315-3.

REDAGRICOLA, 2022. Sistema multimarca permite que pequeños y medianos productores accedan a agricultura de precisión. [en línea]. Disponible en: <https://redagricola.com/sistema-multimarca-permite-que-pequenos-y-medianos-productores-accedan-a-agricultura-de-precision/>.

REYES, L.F., MILLER, J.C. y CISNEROS, L., 2004. Environmental conditions influence the content and yield of anthocyanins and total phenolics in purple- and red-flesh potatoes during tuber development. *American Journal of Potato Research*, vol. 81, no. 3, pp. 187-193. ISSN 1874-9380. DOI 10.1007/BF02871748.



RICE, C.A., MILLER, N.J. y PAGANGA, G., 1996. Structure-antioxidant activity relationships of flavonoids and phenolic acids. *Free Radical Biology and Medicine*, vol. 20, no. 7, pp. 933-956. ISSN 08915849. DOI 10.1016/0891-5849(95)02227-9.

RITTER, E., ANGULO, B., RIGA, P., HERRÁN, C., RELLOSO, J. y SAN JOSE, M., 2001. Comparison of hydroponic and aeroponic cultivation systems for the production of potato minitubers. *Potato Research*, vol. 44, pp. 127-135.

RODRIGO, J., ÁLVAREZ, E., DE LA ROSA, L., MERCADO, G. y HERRERA, B., 2006. *Valoración de la capacidad antioxidante y actividad polifenol oxidasa en duraznos de diferentes áreas de producción*. Tesis de grado. Juárez-México: Universidad Autónoma de Ciudad Juárez Instituto de Ciencias Biomédicas.

RODRÍGUEZ, B., GULLÓN, B. y YÁÑEZ, R., 2021. Identification and Recovery of Valuable Bioactive Compounds from Potato Peels: A Comprehensive Review. *Antioxidants*, vol. 10, no. 10, pp. 1630. ISSN 2076-3921. DOI 10.3390/antiox10101630.

ROGINSKY, V. y LISSI, E., 2005. Review of methods to determine chain-breaking antioxidant activity in food. *Food Chemistry*, vol. 92, no. 2, pp. 235-254. ISSN 03088146. DOI 10.1016/j.foodchem.2004.08.004.

SAINI, R., KAUR, S., AGGARWAL, P. y DHIMAN, A., 2023. The influence of conventional and novel blanching methods on potato granules, phytochemicals, and thermal properties of colored varieties. *Frontiers in Nutrition*, vol. 10, pp. 1178797. ISSN 2296-861X. DOI 10.3389/fnut.2023.1178797.

SALAS, D. y TOVALINO, S., 2018. *Obtención de antocianinas de papa nativa "Yawar Wayku" (Solanum Stenotomum) para la elaboración de un colorante natural aplicable a alimentos*. Tesis de grado. Lima-Perú: Universidad San Ignacio de Loyola.

SAWICKA, B., PSZCZOLKOWSKI, P., WOJCIKOWSKA, A., SKIBA, D. y BARBAS, P., 2022. Impact of the Cultivation System and Pre-Sprouting of Selected Potato Cultivars on the Physico-Chemical Properties and Enzymatic Activity of Soil in the Conditions of Central-Eastern Poland. *Agronomy*, vol. 12, no. 9, pp. 1-19. DOI <https://doi.org/10.3390/agronomy12092207>.



SCHULZ, H. y BARANSKA, M., 2007. Identification and quantification of valuable plant substances by IR and Ramam spectroscopy. *Vibrational Spectroscopy*, vol. 43, no. 1, pp. 13-25. DOI <https://doi.org/10.1016/j.vibspec.2006.06.001>.

SEGURA, D., 2004. *Evaluación de la potencialidad funcional en 15 genotipos de papa nativa (Solanum sp.)*. Tesis de grado. Lima-Perú: Universidad Nacional Agraria La Molina.

SERRANO, G. y CASTRO, L., 2020. *Caracterización fisicoquímica de cinco (5) variedades de papa nativa de la región del Pantano de Arce (Subachoque, Cundinamarca)*. Tesis de grado. Bogotá: Universidad Nacional Abierta y a Distancia.

SHAHIDI, F. y AMBIGAIPALAN, P., 2015. Phenolics and polyphenolics in foods, beverages and spices: Antioxidant activity and health effects – A review. *Journal of Functional Foods*, vol. 18, pp. 820-897. ISSN 1756-4646. DOI 10.1016/j.jff.2015.06.018.

SHURVELL, H.F., 2006. Spectra– Structure Correlations in the Mid- and Far-Infrared. En: , *Handbook of Vibrational Spectroscopy*, pp. 34. DOI 10.1002/0470027320.s4101.

SINGH, J. y KAUR, L., 2009. *Advances in potato chemistry and technology*. 1ra. EE.UU: Elsevier Inc. ISBN 978-0-12-374349-7.

SINGLETON, V.L. y ROSSI, J.A.Jr., 1965. Colorimetry to total phenolics with phosphomolybdic acid reagents. *American journal of enology and viniculture*, vol. 16, no. 48, pp. 144-58.

SKIRY CZ, A. y INZÉ, D., 2010. More from less: plant growth under limited water. *Current Opinion in Biotechnology*, vol. 21, no. 2, pp. 197-203. ISSN 09581669. DOI 10.1016/j.copbio.2010.03.002.

SOTO, M., PALMA, M. y GARCÍA, R., 2017. *Phenolic Compounds: Natural Sources, Importance and Applications*. México: BoD – Books on Demand. ISBN 978-953-51-2957-8.

SOTO, M., RUESTA, J. y MEREGILDO, R., 2014. Capacidad antioxidante invitro de cuatro variedades de tubérculos de *Solanum tuberosum* L. «papa» (cruda y cocida, con y sin cáscara) frente al 2, 2-difenil-1-picrilhidrazil. , vol. 6, no. 2, pp. 243-259. ISSN 1997-3985/2014.

SUQUILANDA, M., 2009. *Producción orgánica de cultivos andinos*. 1ra. Cotopaxi-Ecuador: s.n.



THERMO FISHER SCIENTIFIC, 2009. Infrared Spectral Interpretation. *Infrared Spectral Interpretation*. EE.UU: s.n., pp. 81.

TOVAR, J., 2013. *Determinación de la actividad antioxidante por DPPH y ABTS de 30 plantas recolectadas en la ecoregión cafetera*. Tesis de grado. Pereira-Colombia: Universidad Tecnológica de Pereira.

VAN, R., R. M. M., G., VAN, H., VAN, W. y BAST, A., 2000. The predictive value of the antioxidant capacity of structurally related flavonoids using the Trolox equivalent antioxidant capacity (TEACT) assay. , vol. 70, pp. 391-395. DOI [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(00\)00092-3](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(00)00092-3).

WARREN, F., GIDLEY, M. y FLANAGAN, B., 2016. Infrared spectroscopy as a tool to characterise starch ordered structure a joint FTIR-ATR, NMR, XRD and DSC. *Carbohydrate Polymers*, vol. 139, pp. 35-42. DOI <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2015.11.066>.

WIERCIGROCH, E., SZAFRANIEC, E., CZAMARA, K., PACIA, M.Z., MAJZNER, K., KOCHAN, K., KACZOR, A., BARANSKA, M. y MALEK, K., 2017. Raman and infrared spectroscopy of carbohydrates: A review. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, vol. 185, pp. 317-335. ISSN 13861425. DOI [10.1016/j.saa.2017.05.045](https://doi.org/10.1016/j.saa.2017.05.045).

ZULUETA, A., ESTEVE, M.J. y FRÍGOLA, A., 2009. ORAC and TEAC assays comparison to measure the antioxidant capacity of food products. *Food Chemistry*, vol. 114, no. 1, pp. 310-316. ISSN 03088146. DOI [10.1016/j.foodchem.2008.09.033](https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.09.033).



ANEXOS



Anexo 1 — Vista aérea del invernadero del cultivo del sistema aeropónico y suelo

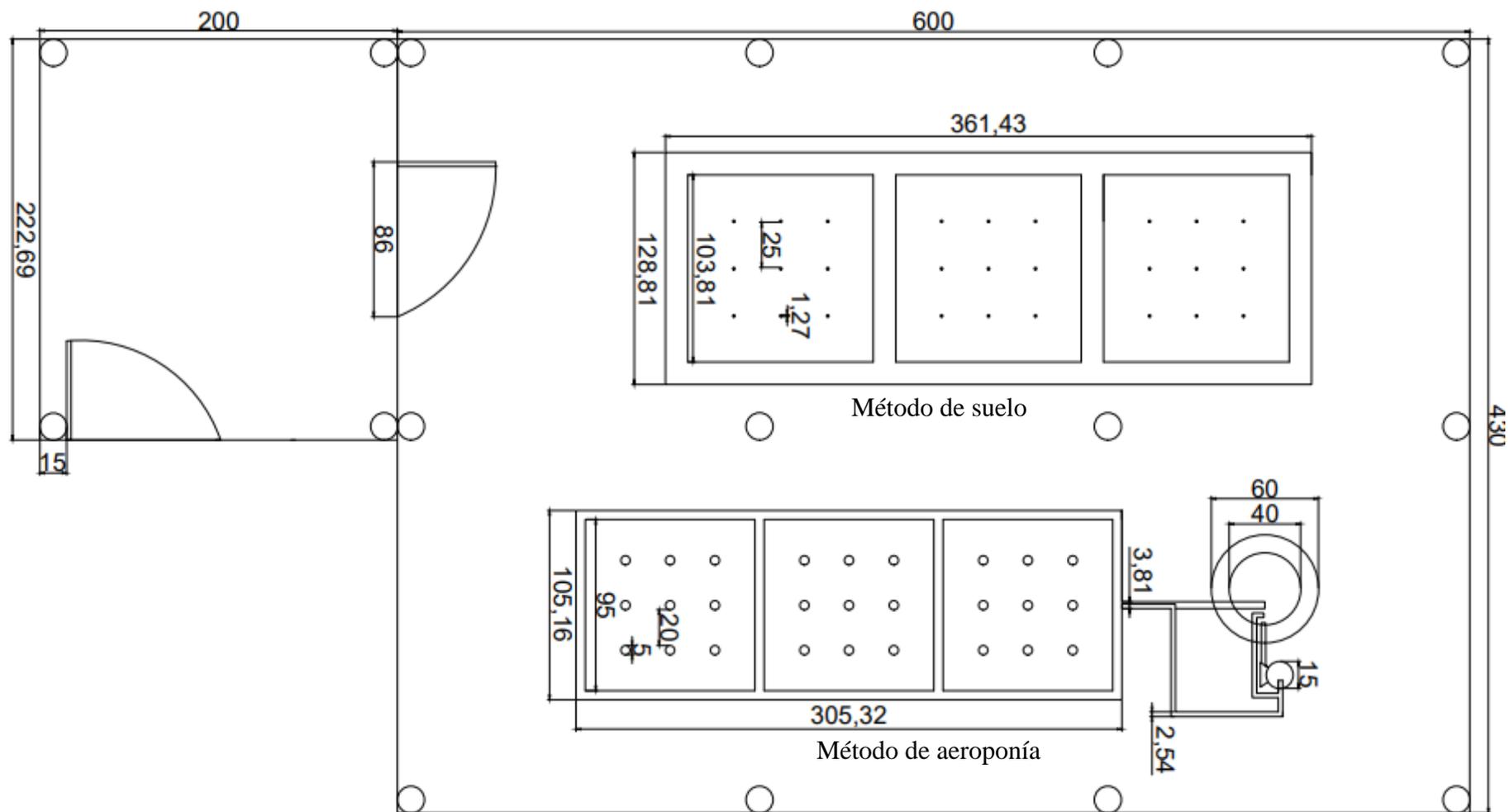


Figura 34 — Vista aérea del invernadero

Anexo 2 — Esquema de vista aérea del sistema invernadero

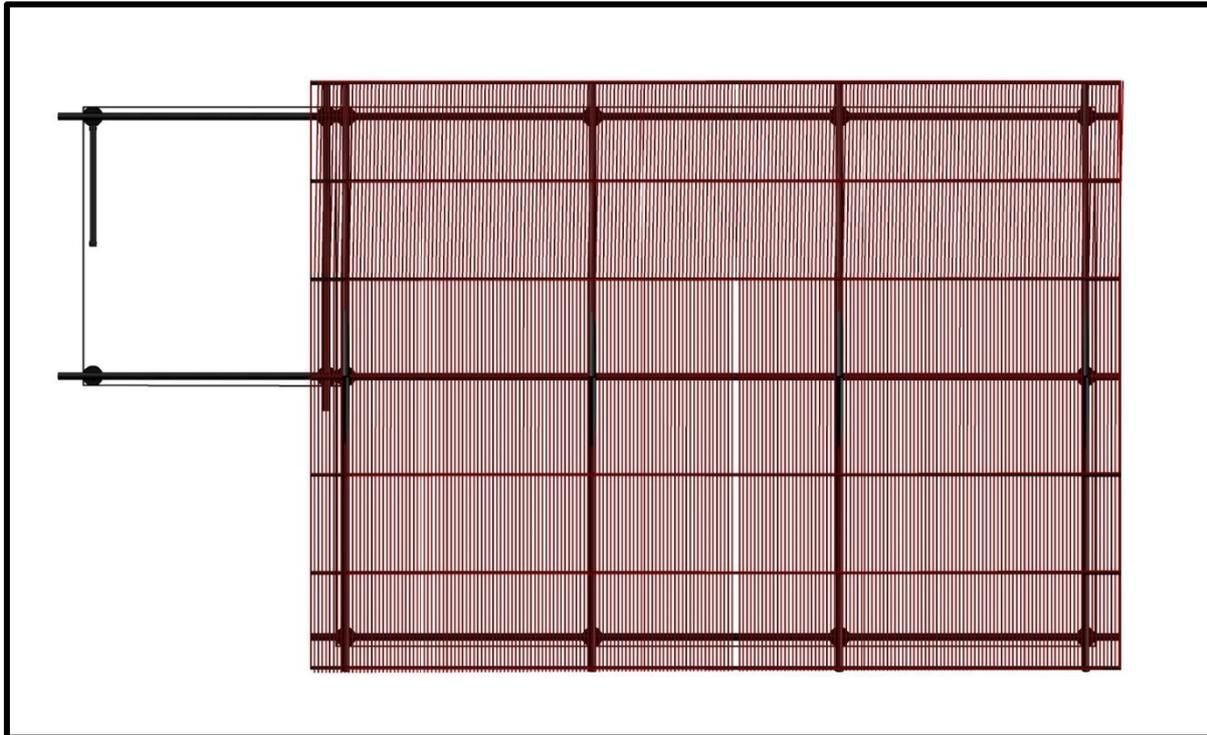


Figura 35 — Vista aérea del invernadero para cultivo suelo y aeropónico

Anexo 3 — Esquema de vista trasera del sistema invernadero

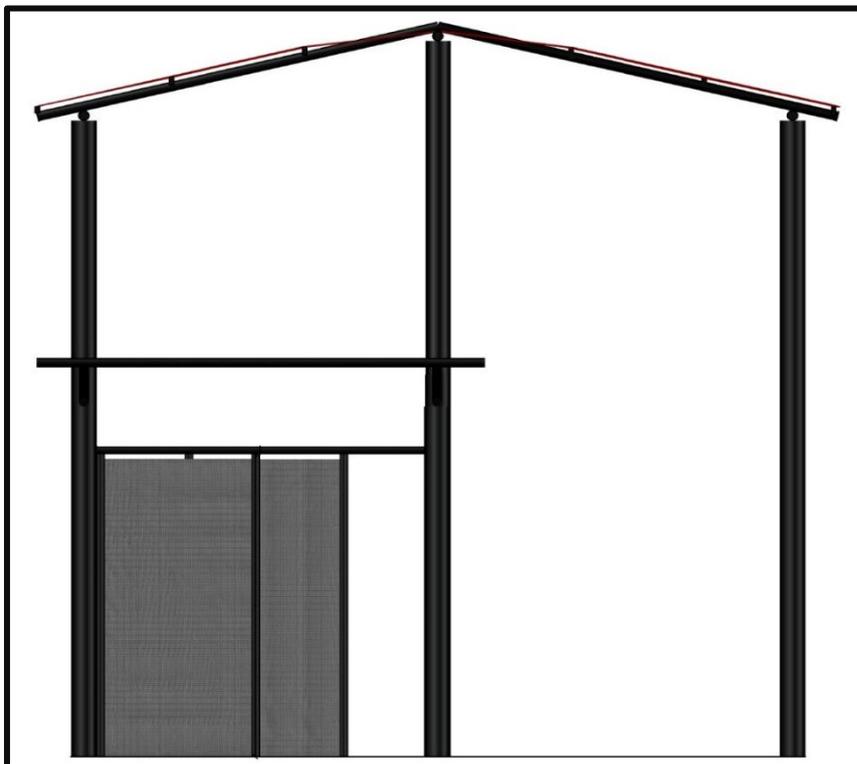


Figura 36 — Vista trasera del invernadero

Anexo 4 — Vista lateral del sistema aeropónico

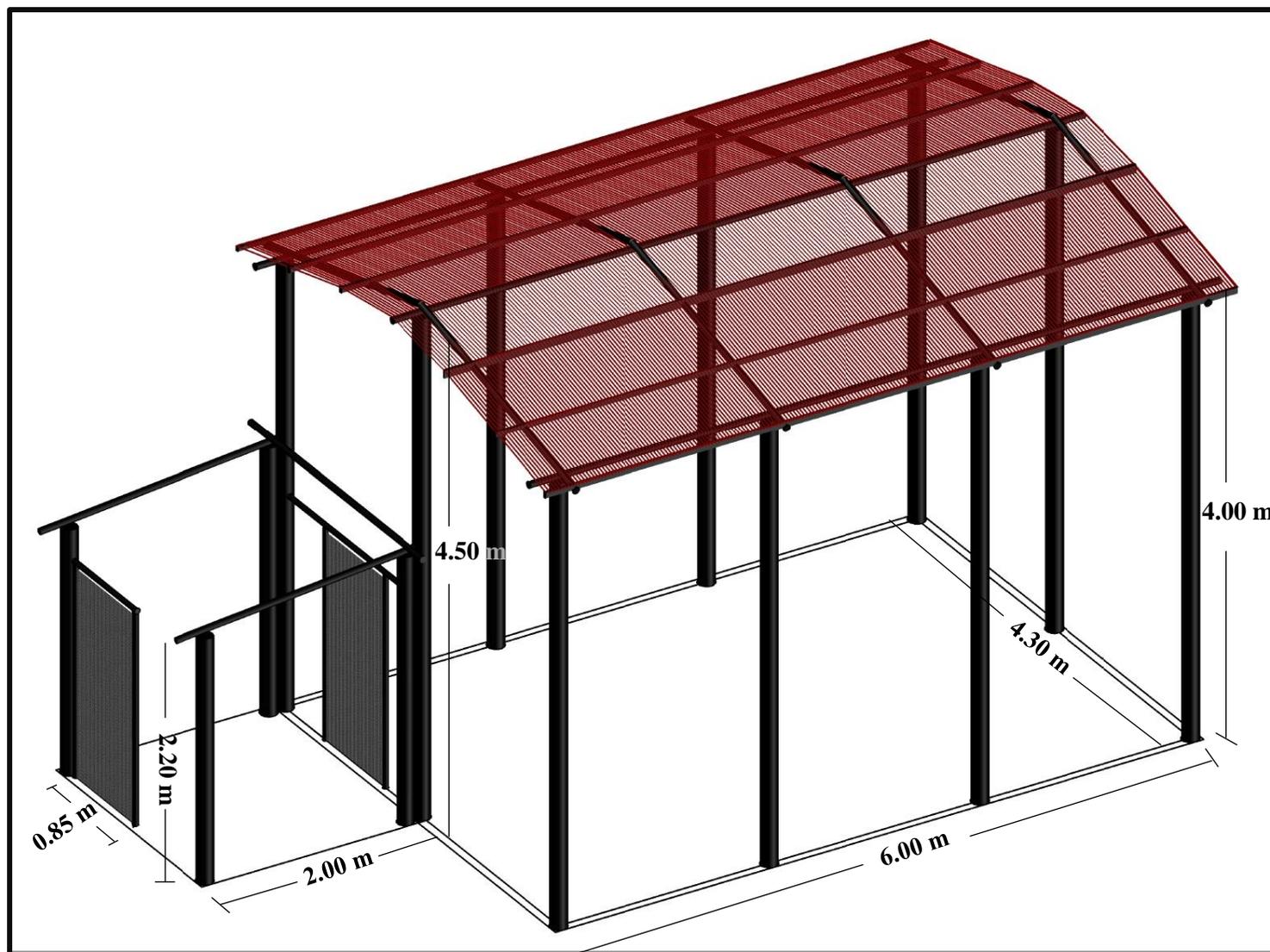


Figura 37 — Vista lateral del invernadero para el cultivo aeropónico y suelo

Anexo 5 — Esquema 3D del contenedor aeropónico

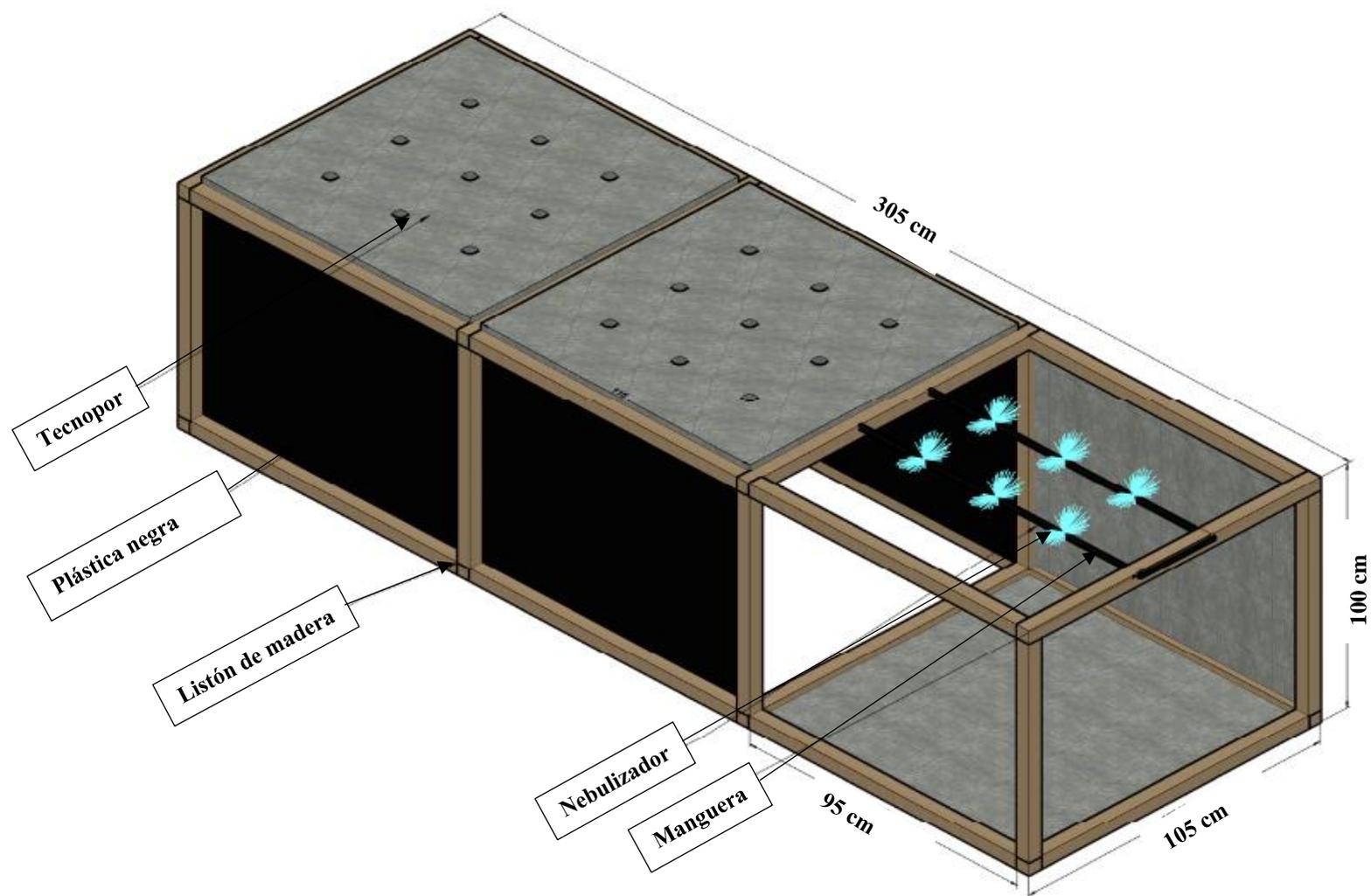


Figura 38 — Esquema 3D de contenedor de la aeroponía

Anexo 6 — Resultados de análisis de suelo



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA
DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DRH
LABORATORIO DE AGUA, SUELO, MEDIO AMBIENTE Y FERTIRRIEGO
 Av. La Molina s/n teléf.: 614 7800 anexo 226 / 349 3969 E mail: las-fia@lamolina.edu.pe



Nº 020395

ANÁLISIS DE SUELO - SALINIDAD Y SODICIDAD

SOLICITANTE : KATERIN STEFANY MEDRANO QUISPECAHUANA
 UBICACIÓN : Abancay; Urb. Aymas s/n
 RESP. ANÁLISIS : Ing. Elizabeth Monterrey Porras
 FECHA DE ANÁLISIS : La Molina, 04 de marzo de 2024

Número de muestra	Análisis Mecánico				MO %	P ppm	K ppm	CaCO ₃ %	Cambiables						PSI
	Arena %	Limo %	Arcilla %	Textura					CIC total	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	Al ³⁺ +H ⁺	
20395	58.80	21.00	20.20	Franco arcillo arenoso	5.60	64.70	647.20	1.33	17.56	12.42	2.13	0.08	0.76	-	0.45

MUESTRA Lab	Saturación %	pH Suelo : Agua 1:3	C.E. dS m ⁻¹ 1:3	CATIONES SOLUBLES (meq l ⁻¹)					ANIONES SOLUBLES (meq l ⁻¹)					Yeso Soluble %	Boro Soluble ppm	
				Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺	SUMA	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻			SUMA
suelo	67.00	6.90	1.37	7.80	3.33	0.74	1.85	13.73	1.85	10.30	0.00	1.43	0.04	13.63	0.04	1.21

Microelementos solubles			Cd soluble ppm	Pm %
Fe ppm	Zn ppm	Mn ppm		
19.39	2.51	1.13	0.20	9.11

LABORATORIO DE ANALISIS DE AGUA Y SUELO

Rocio Pastor Jauregui
 Dra. Rocio Pastor Jauregui
 JEFA DE LABORATORIO



Figura 39 — Resultados de análisis de suelo realizado en la investigación



Anexo 7 — Panel fotográfico del cultivo del suelo y aeropónico

a. Sistema del suelo



Figura 40 — A) Cultivo del suelo (antes) y B) Cultivo del suelo (después)

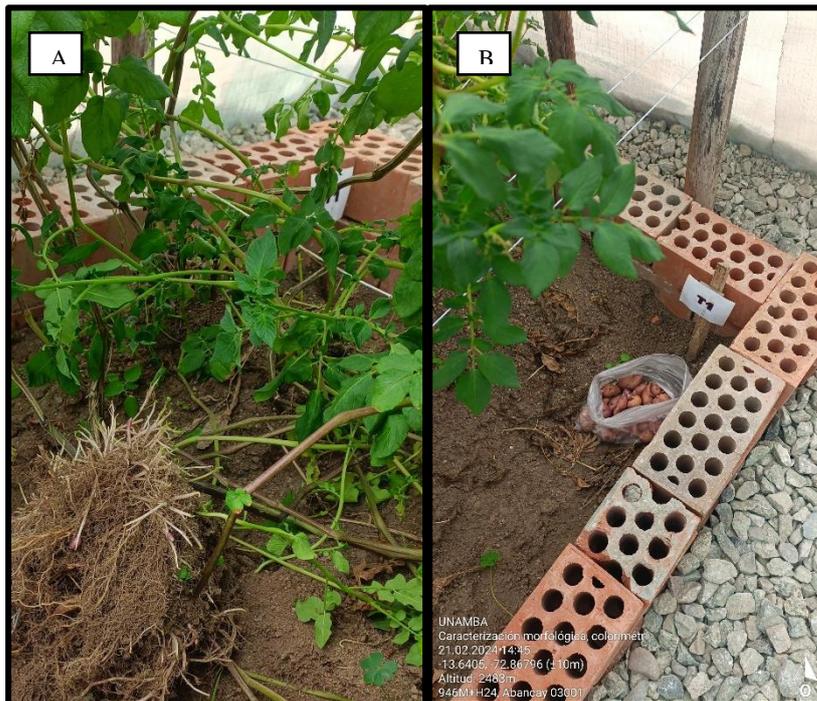


Figura 41 — A) Cultivo del suelo en cosecha (antes) y B) Cultivo del suelo en cosecha (después)

b. Sistema aeropónico



Figura 42 — A) Sistema aeropónico (antes) y B) Sistema aeropónico (después)

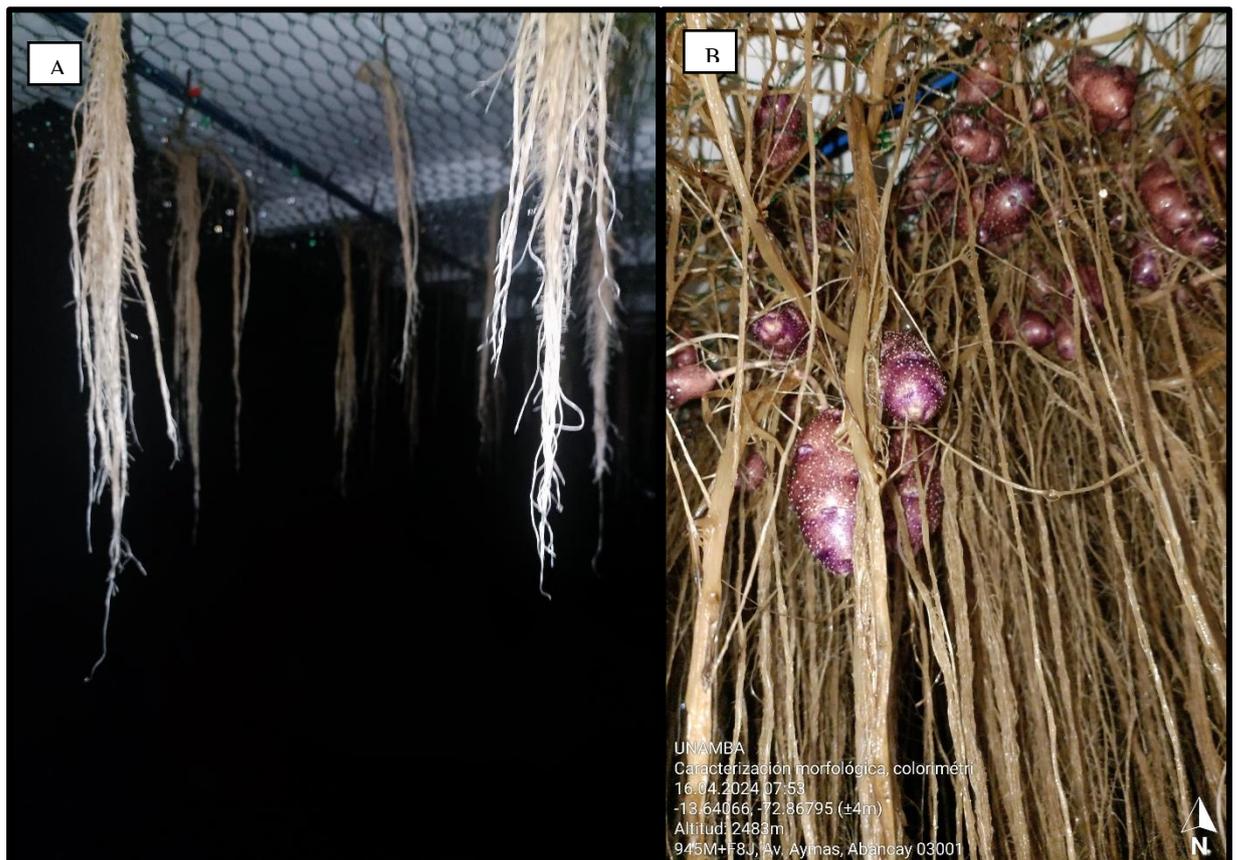


Figura 43 — A) Raíces del sistema aeropónico (antes) y B) Sistema aeropónico (después)

Anexo 8 — Fotografía de la visita de asesores



Figura 44 — Visita de los asesores al invernadero del sistema aeropónico y del suelo

Anexo 9 — Panel fotográfico de las cosechas de cultivos del suelo y aeropónico a los 158 días, 187 días y 201 días

a. Cosecha de cultivo del suelo y aeropónico a los 158 días



Figura 45 — B1) Cosecha del suelo repetición 1, B2) Cosecha de suelo repetición 2 y B3) Cosecha de suelo repetición 3

b. Cosecha de cultivo del suelo y aeropónico a los 187 días



Figura 46 — B1) Cosecha del cultivo de suelo repetición 1 y B2) Cosecha del cultivo de suelo repetición 2



Figura 47 — B3) Cosecha del cultivo de suelo repetición 3 y A3) Cosecha del cultivo aeropónico repetición 4

c. Cosecha de cultivo del suelo y aeropónico a los 201 días



Figura 48 — A1) Cosecha aeropónico rep: 1 y A2) Cosecha aeropónico rep: 2



Figura 49 — A3) Cosecha aeropónico rep: 3 y B1) Cosecha de suelo rep: 1



Figura 50 — B2) Cosecha de suelo rep: 2 y B3) Cosecha de suelo rep: 3

Anexo 10 — Panel fotográfico de análisis de fisicoquímicos del cultivo aeropónico y suelo



Figura 51 — Análisis de humedad de aeroponía y suelo

Anexo 11 — Fotografía de color del cultivo de suelo y aeropónico



Figura 52 — Uso del colorímetro para detección de color

Anexo 12 — Panel fotográfico de polifenoles totales del cultivo del suelo y aeropónico

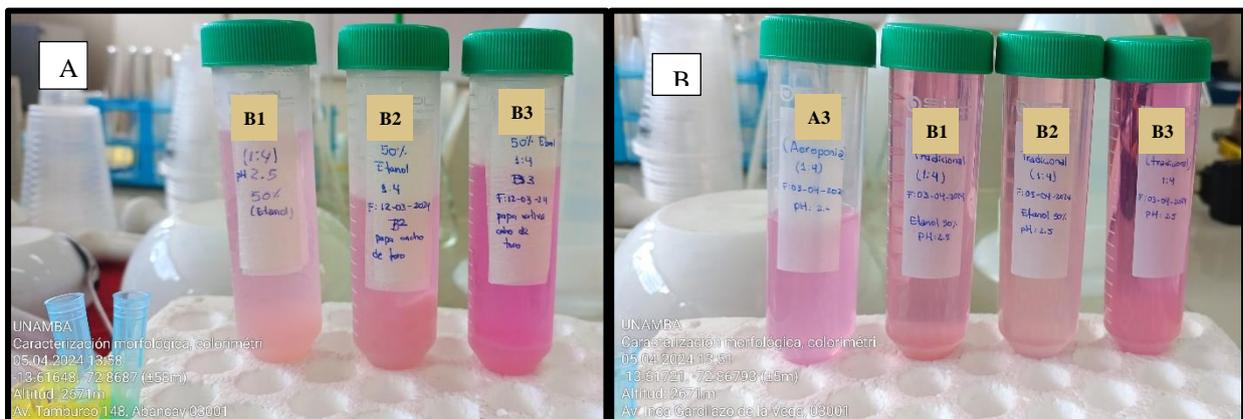


Figura 53 — Extracto de cultivo del suelo en la I cosecha (158 días) y B) cultivo aeropónico y del suelo en la II cosecha (187 días)

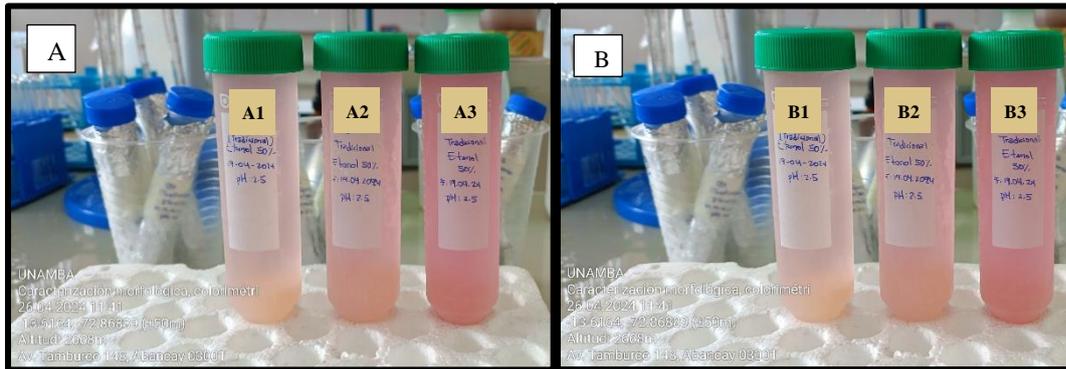


Figura 54 — A) Extracto de cultivo del aeropónico en la III cosecha (201 días) y B) del suelo en la III cosecha (201 días)

Anexo 13 — Panel fotográfico de polifenoles y capacidad antioxidante de cultivo del suelo y aeropónico

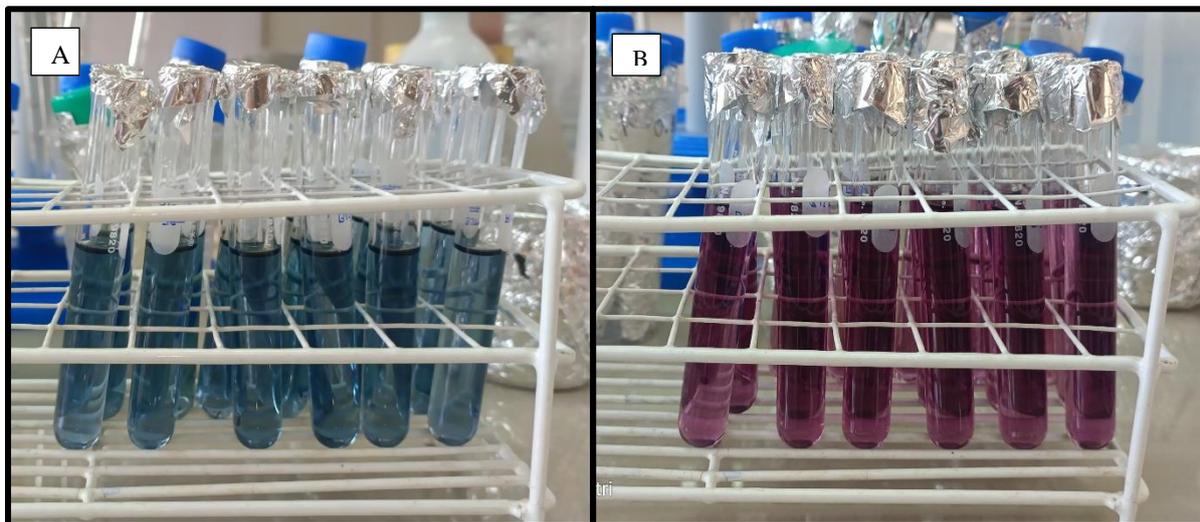


Figura 55 — A) Evaluación de polifenoles y B) Evaluación de DPPH

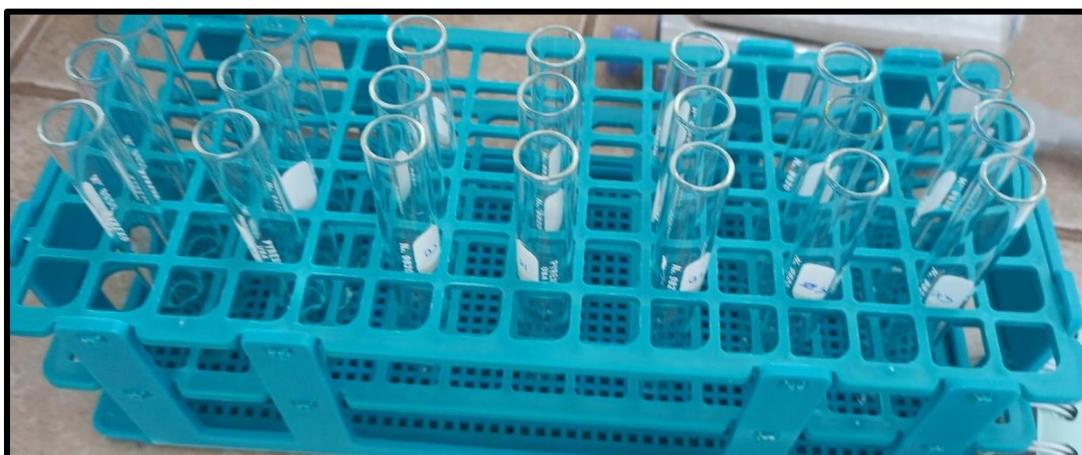


Figura 56 — Evaluación de ABTS

Anexo 14 — Curva patrón para cuantificación de compuestos fenólicos

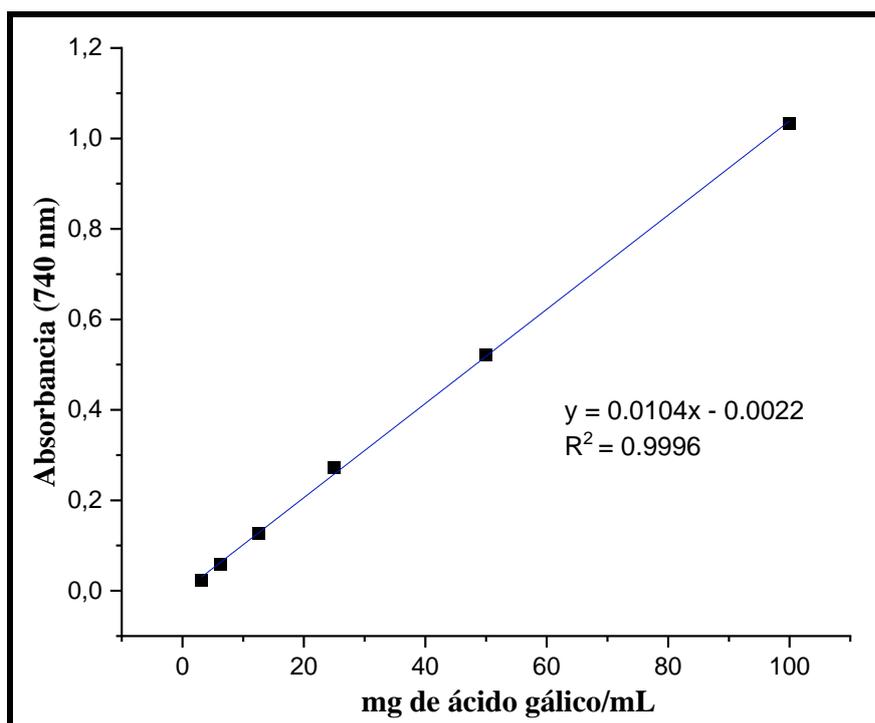


Figura 57 — Curva de calibración para la determinación de compuestos fenólicos

Anexo 15 — Curva patrón para cuantificación de capacidad antioxidante por DPPH

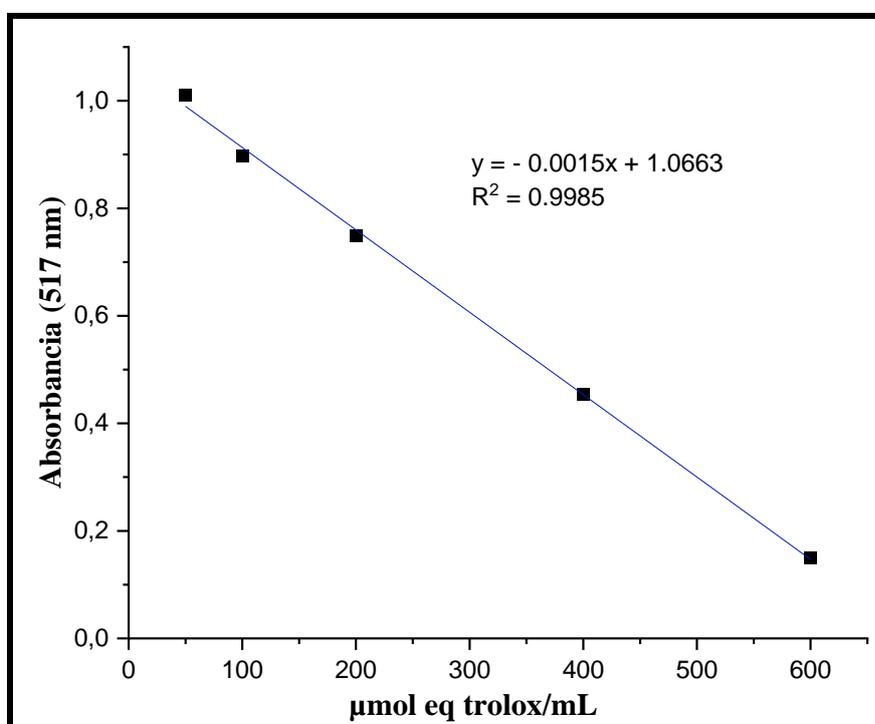


Figura 58 — Curva de calibración para la evaluación de la capacidad antioxidante mediante el método DPPH

Anexo 16 — Curva patrón para cuantificación de capacidad antioxidante por ABTS

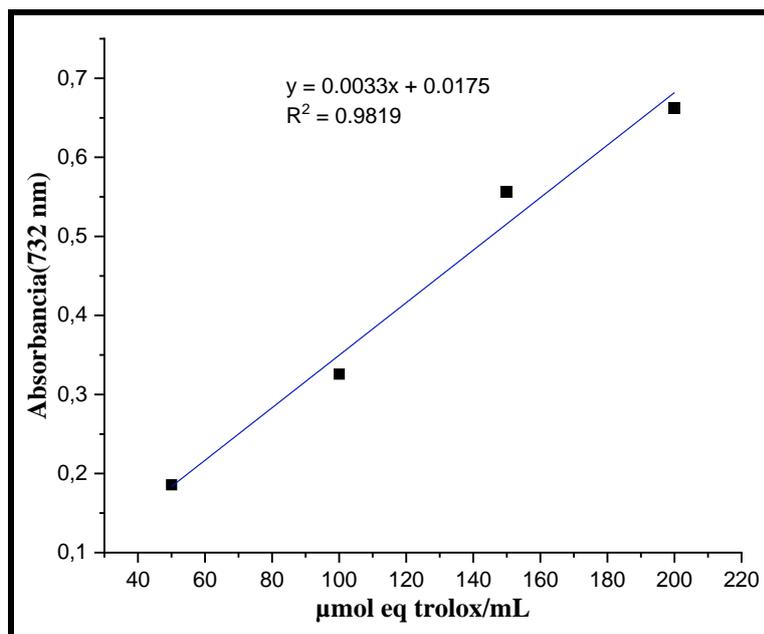


Figura 59 — Curva de calibración para la cuantificación de la capacidad antioxidante usando el método ABTS

Anexo 17 — Datos de tamaño de la planta y grosor del tallo cultivado por aeroponía y suelo

Tabla 19 — Comparación de dimensiones de plantas y grosor de tallo en cultivos aeropónicos y suelos

Tiempo		Aeroponía (A)		Suelo (B)	
Fecha	Días	Tamaño de planta (cm) [$\bar{X} \pm SD$]	Grosor (cm) [$\bar{X} \pm SD$]	Tamaño de planta (cm) [$\bar{X} \pm SD$]	Grosor (cm) [$\bar{X} \pm SD$]
16/10/2023	18	15.611 ± 6.373	0.168 ± 0.042	15.444 ± 6.729	0.258 ± 0.141
17/10/2023	19	15.222 ± 3.768	0.198 ± 0.032	18.889 ± 7.801	0.263 ± 0.092
21/10/2023	23	19.444 ± 5.763	0.231 ± 0.042	14.278 ± 6.699	0.211 ± 0.069
24/10/2023	26	21.556 ± 4.531	0.257 ± 0.060	23.389 ± 11.152	0.283 ± 0.121
28/10/2023	30	28.556 ± 5.341	0.366 ± 0.068	30.556 ± 11.738	0.380 ± 0.140
29/10/2023	31	30.778 ± 10.592	0.328 ± 0.108	25.778 ± 9.731	0.303 ± 0.111
31/10/2023	33	35.556 ± 15.549	0.370 ± 0.104	30.889 ± 14.304	0.349 ± 0.115
04/11/2023	37	32.222 ± 15.699	0.430 ± 0.090	36.889 ± 14.339	0.436 ± 0.132
07/11/2023	40	33.111 ± 16.996	0.478 ± 0.100	37.167 ± 20.709	0.412 ± 0.182
10/11/2023	43	37.000 ± 17.578	0.466 ± 0.042	38.078 ± 23.356	0.426 ± 0.159
13/11/2023	46	48.444 ± 17.300	0.527 ± 0.046	46.444 ± 20.977	0.459 ± 0.138
16/11/2023	49	54.889 ± 16.848	0.557 ± 0.043	52.000 ± 21.880	0.540 ± 0.111
19/11/2023	52	62.444 ± 17.601	0.568 ± 0.068	50.778 ± 25.874	0.494 ± 0.137
22/11/2023	55	70.667 ± 15.604	0.566 ± 0.047	59.333 ± 27.744	0.489 ± 0.108
25/11/2023	58	76.889 ± 12.985	0.602 ± 0.060	65.778 ± 27.581	0.528 ± 0.127

28/11/2023	61	80.222 ± 11.421	0.626 ± 0.063	69.222 ± 27.307	0.554 ± 0.111
01/12/2023	64	86.222 ± 11.487	0.634 ± 0.062	77.667 ± 27.037	0.571 ± 0.102
04/12/2023	67	89.222 ± 12.587	0.638 ± 0.064	83.778 ± 26.272	0.583 ± 0.092
07/12/2023	70	87.889 ± 12.170	0.613 ± 0.083	82.111 ± 24.660	0.593 ± 0.090
10/12/2023	73	91.222 ± 13.405	0.596 ± 0.083	88.667 ± 24.744	0.610 ± 0.066
13/12/2023	76	90.444 ± 14.258	0.587 ± 0.081	93.000 ± 23.216	0.624 ± 0.065
16/12/2023	79	93.667 ± 11.608	0.624 ± 0.090	94.111 ± 21.415	0.639 ± 0.064
19/12/2023	82	84.333 ± 10.886	0.666 ± 0.105	95.333 ± 21.219	0.668 ± 0.061
22/12/2023	85	86.111 ± 23.819	0.566 ± 0.130	98.778 ± 18.813	0.652 ± 0.058
25/12/2023	88	96.556 ± 16.838	0.586 ± 0.111	100.778 ± 17.297	0.666 ± 0.054
28/12/2023	91	101.000 ± 19.326	0.599 ± 0.112	103.444 ± 16.942	0.668 ± 0.054
01/01/2024	95	100.778 ± 16.754	0.571 ± 0.102	110.000 ± 19.494	0.671 ± 0.064
04/01/2024	98	103.667 ± 17.364	0.579 ± 0.107	112.556 ± 20.851	0.669 ± 0.070
08/01/2024	102	106.111 ± 17.989	0.626 ± 0.146	116.111 ± 19.745	0.689 ± 0.078
12/01/2024	106	110.111 ± 19.496	0.633 ± 0.141	120.889 ± 18.851	0.678 ± 0.071
16/01/2024	110	116.333 ± 19.660	0.646 ± 0.166	125.111 ± 19.088	0.679 ± 0.071
20/01/2024	114	121.333 ± 20.390	0.651 ± 0.161	129.333 ± 17.664	0.670 ± 0.066
24/01/2024	118	126.111 ± 21.304	0.672 ± 0.161	134.778 ± 17.887	0.699 ± 0.062
28/01/2024	122	133.111 ± 21.860	0.687 ± 0.162	139.333 ± 17.313	0.698 ± 0.069
01/02/2024	126	137.444 ± 22.283	0.706 ± 0.191	141.444 ± 15.645	0.716 ± 0.085
05/02/2024	130	141.556 ± 21.407	0.689 ± 0.196	142.625 ± 13.773	0.708 ± 0.062
09/02/2024	134	142.222 ± 21.123	0.708 ± 0.204	145.75 ± 15.040	0.729 ± 0.065
13/02/2024	138	149.111 ± 19.946	0.714 ± 0.203	147.625 ± 14.735	0.736 ± 0.075
17/02/2024	142	156.667 ± 23.060	0.730 ± 0.212	149.375 ± 13.469	0.738 ± 0.079
21/02/2024	146	162.222 ± 23.134	0.731 ± 0.201	145.000 ± 9.220	0.716 ± 0.059
25/02/2024	150	167.778 ± 24.727	0.734 ± 0.212	146.000 ± 9.557	0.697 ± 0.077
03/03/2024	157	182.444 ± 16.234	0.738 ± 0.226	147.429 ± 11.208	0.677 ± 0.085
16/03/2024	170	195.000 ± 13.528	0.752 ± 0.251	158.667 ± 11.708	0.672 ± 0.112
23/03/2024	177	202.222 ± 11.956	0.772 ± 0.240	153.333 ± 20.656	0.637 ± 0.085

Anexo 18 — Datos de análisis fisicoquímicos por aeroponía y suelos cultivados a los 158, 187 y 201 días

Tabla 20 — Análisis fisicoquímicos de cultivos en aeroponía y suelo a los 158, 187 y 201 días

Método	Tiempo de cosecha (días)	%Humedad (B.H) [X̄ ± SD]	% Ceniza (B.S) [X̄ ± SD]	pH [X̄ ± SD]	% acidez [X̄ ± SD]
Aeroponía	158	-	-	-	-
	187	90.384 ± 4.543 ^d	13.366 ± 0.387 ^d	6.050 ± 0.118 ^b	0.351 ± 0.007 ^{ab}
	201	88.430 ± 0.873 ^{cd}	11.620 ± 0.326 ^{cd}	5.960 ± 0.120 ^b	0.420 ± 0.011 ^a
Suelo	158	82.136 ± 3.715 ^{bc}	8.734 ± 0.578 ^{bc}	6.020 ± 0.030 ^b	0.245 ± 0.007 ^{bc}
	187	77.688 ± 2.353 ^b	7.503 ± 0.556 ^{bc}	6.350 ± 0.130 ^a	0.231 ± 0.006 ^c
	201	77.018 ± 2.454 ^b	7.108 ± 0.713 ^b	6.180 ± 0.140 ^{ab}	0.133 ± 0.007 ^c



Media \pm desviación estándar; n=3. Las letras subíndice en las columnas indican diferencias significativas ($p < 0.05$).

Anexo 19 — Análisis de varianza con un factor (ANOVA) con la prueba de Tukey para características morfológicas del cultivo aeropónico y suelo

a) Tamaño de la planta (cm)

Tabla 21 — ANOVA para tamaño de la planta de los dos cultivos: aeroponía y suelo

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: Días	1.52499E6	43	35465.0	50.50	0.0000
B: Tratamiento	11408.4	5	2281.67	3.25	0.0066
RESIDUOS	518244	738	702.228		
TOTAL (CORREGIDO)	2.05823E6	786			

Donde GL= grados de libertad.

La Tabla ANOVA para tamaño de la planta de los dos cultivos: aeroponía y suelo, demuestran que existe diferencias significativas puesto que el valor ($p < 0.05$) y un valor $F=3.25$.

b) Grosor del tallo (cm)

Tabla 22 — ANOVA para grosor de tallo de los dos cultivos: aeroponía y suelo

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: Días	17.162	43	0.399117	30.57	0.0000
B: Tratamiento	0.6009	5	0.12018	9.20	0.0000
RESIDUOS	9.49296	727	0.0130577		
TOTAL (CORREGIDO)	27.2845	775			

Donde GL= grados de libertad.

La Tabla ANOVA para grosor de tallo de los dos cultivos: aeroponía y suelo, demuestran que existe diferencias significativas puesto que el valor ($p < 0.05$) y un valor $F=9.20$.



c) **Tamaño polar (longitud)**

Tabla 23 — Análisis de varianza para tamaño polar (longitud) por tratamientos

Fuente	Suma de Cuadrados	GI	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	3.07111E7	5	6.14222E6	12.05	0.0002
Intra grupos	6.11732E6	12	509777		
Total (Corr.)	3.68284E7	17			

Donde GL= grados de libertad.

La Tabla ANOVA para tamaño polar de los dos cultivos: aeroponía y suelo, demuestran que existe diferencias significativas puesto que el valor ($p < 0.05$) y un valor $F=12.05$.

Tabla 24 — Pruebas de múltiples rangos de Tukey para tamaño polar por tratamiento

Tratamiento	Casos	Media	Grupos Homogéneos
A1	3	0.0	B
A3	3	3084.0	A
B3	3	3433.33	A
B1	3	3444.67	A
A2	3	3447.0	A
B2	3	3857.0	A

Las medias que no comparten el mismo nivel son significativamente diferentes.

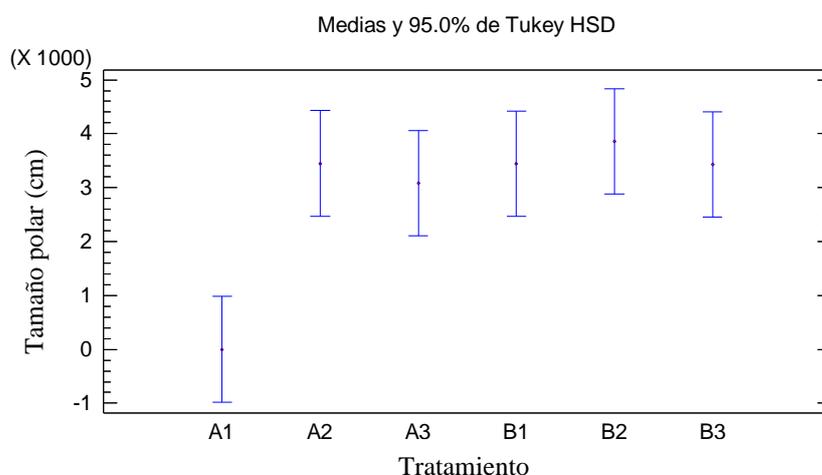


Figura 60 — Medias de Tukey para tamaño polar



d) Tamaño ecuatorial (diámetro)

Tabla 25 — Análisis de varianza para tamaño ecuatorial (diámetro) por tratamientos

Fuente	Suma de Cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	9.59796E6	5	1.91959E6	39.15	0.0000
Intra grupos	588452.	12	49037.7		
Total (Corr.)	1.01864E7	17			

Donde GL= grados de libertad.

La Tabla ANOVA para tamaño ecuatorial de los dos cultivos: aeroponía y suelo, muestran que existen diferencias significativamente puesto que el valor ($p < 0.05$) y un valor $F=39.15$.

Tabla 26 — Pruebas de múltiples rangos de Tukey para tamaño ecuatorial por tratamiento

Tratamiento	Casos	Media	Grupos Homogéneos
A1	3	0.0	C
A3	3	1477.33	B
A2	3	1496.0	B
B2	3	1948.0	AB
B3	3	2061.67	AB
B1	3	2160.33	A

Las medias que no comparten el mismo nivel son significativamente diferentes.

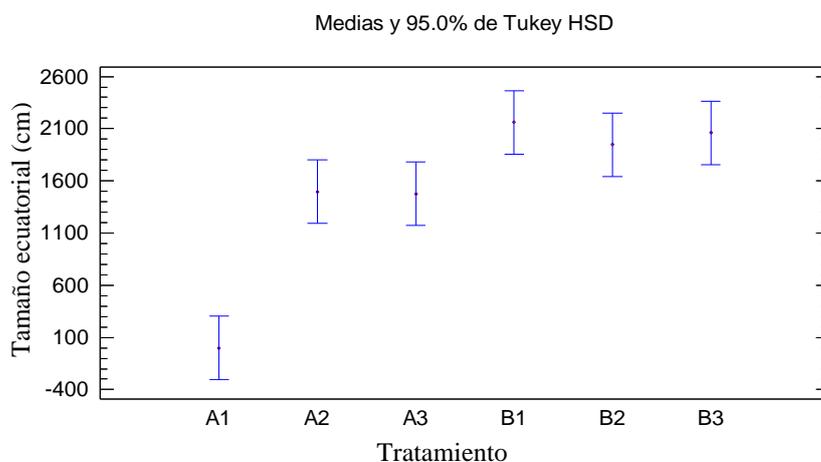


Figura 61 — Medias de Tukey para tamaño ecuatorial del tubérculo



e) **Peso del tubérculo**

Tabla 27 — Análisis de varianza para peso por tratamientos

Fuente	Suma de Cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	1.63271E8	5	3.26543E7	5.91	0.0055
Intra grupos	6.62504E7	12	5.52086E6		
Total (Corr.)	2.29522E8	17			

Donde GL= grados de libertad.

La Tabla ANOVA para peso de los dos cultivos: aeroponía y suelo, presentan diferencias significativas puesto que el valor ($p < 0.05$) y un valor $F=5.91$.

Tabla 28 — Pruebas de múltiples rangos de Tukey para peso por tratamiento

Tratamiento	Casos	Media	Grupos Homogéneos
A1	3	0.0	B
A3	3	4392.67	AB
A2	3	5256.0	AB
B1	3	7772.33	A
B3	3	8015.67	A
B2	3	8921.0	A

Las medias que no comparten el mismo nivel son significativamente diferentes.

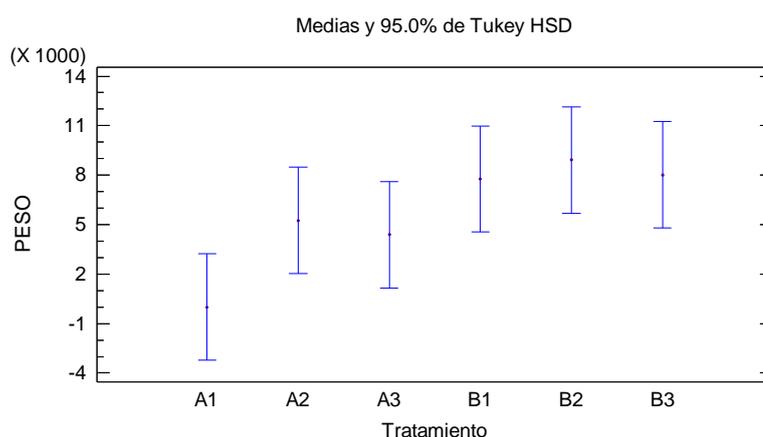


Figura 62 — Medias de Tukey para peso del tubérculo



Anexo 20 — Análisis de varianza con un factor (ANOVA) con la prueba de Tukey para características fisicoquímicas del cultivo aeropónico y suelo

a) Humedad (%)

Tabla 29 — Análisis de varianza para porcentaje de humedad por tratamientos

Fuente	Suma de Cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	1.7723E10	5	3.5446E9	437.22	0.0000
Intra grupos	9.72865E7	12	8.10721E6		
Total (Corr.)	1.78203E10	17			

Donde GL= grados de libertad.

La Tabla ANOVA para humedad de los dos cultivos: aeroponía y suelo, demuestran que existe diferencias significativas puesto que el valor ($p < 0.05$) y un valor $F = 437.22$.

Tabla 30 — Pruebas de múltiples rangos de Tukey para porcentaje humedad por tratamiento

Tratamiento	Casos	Media	Grupos Homogéneos
A1	3	0.0	D
B3	3	77018.0	C
B2	3	77688.3	C
B1	3	82136.0	BC
A3	3	88430.0	AB
2	3	90384.0	A

Las medias que no comparten el mismo nivel son significativamente diferentes.

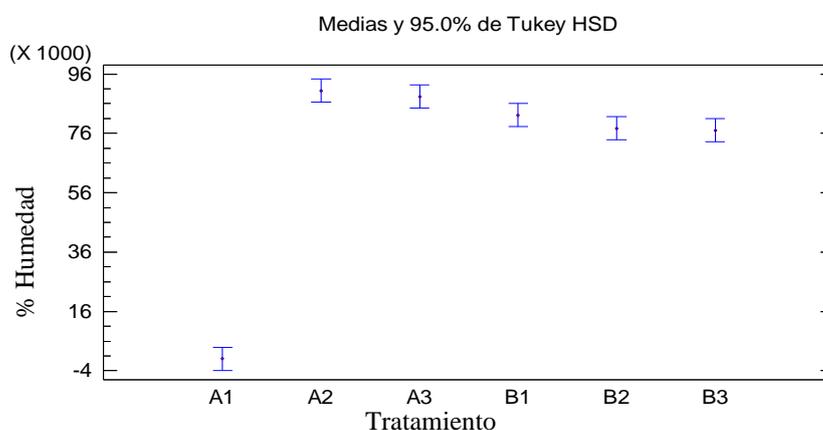


Figura 63 — Medias de Tukey para humedad del tubérculo



b) Ceniza (%)

Tabla 31 — Análisis de varianza para % ceniza por tratamientos

Fuente	Suma de Cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	3.22384E8	5	6.44768E7	25.84	0.0000
Intra grupos	2.99446E7	12	2.49538E6		
Total (Corr.)	3.52329E8	17			

Donde GL= grados de libertad.

La Tabla ANOVA para cenizas de los dos cultivos: aeroponía y suelo, demuestran que existe diferencias significativas puesto que el valor ($p < 0.05$) y un valor $F = 25.84$.

Tabla 32 — Pruebas de múltiples rangos de Tukey para % ceniza por tratamiento

Tratamiento	Casos	Media	Grupos Homogéneos
A1	3	0.0	D
B3	3	7107.67	C
B2	3	7503.33	BC
B1	3	8733.67	BC
A3	3	11620.0	AB
A2	3	13366.0	A

Las medias que no comparten el mismo nivel son estadísticamente distintas.

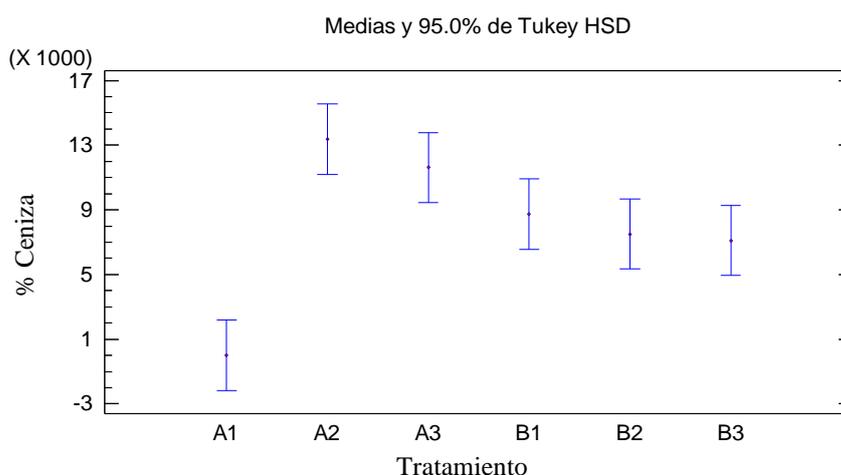


Figura 64 — Medias de Tukey para ceniza del tubérculo



c) Acidez (%)

Tabla 33 — Análisis de varianza para % acidez por tratamientos

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0.339225	5	0.067845	39.58	0.0000
Intra grupos	0.020572	12	0.00171433		
Total (Corr.)	0.359797	17			

Donde GL= grados de libertad.

La Tabla ANOVA para la acidez de los dos cultivos: aeroponía y suelo, demuestran que existe diferencias significativas puesto que el valor ($p < 0.05$) y un valor $F= 39.58$.

Tabla 34 — Pruebas de múltiples rangos de Tukey para % acidez por tratamiento

Tratamiento	Casos	Media	Grupos Homogéneos
A1	3	0	D
B3	3	0.133333	C
B2	3	0.231	C
B1	3	0.244667	BC
A2	3	0.351	AB
A3	3	0.419667	A

Las medias que no comparten el mismo nivel son estadísticamente distintas.

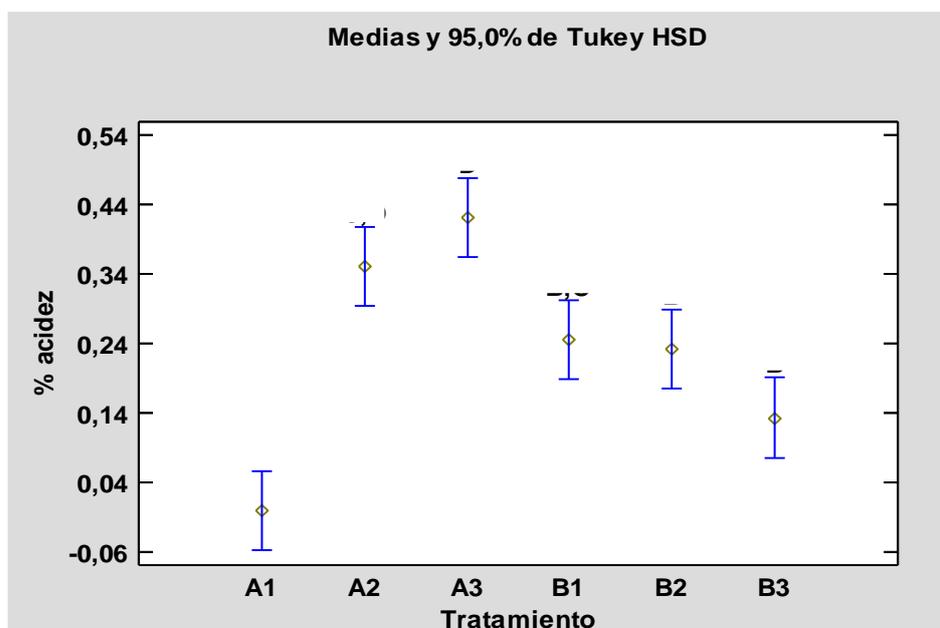


Figura 65 — Medias de Tukey para ceniza del tubérculo



d) Potencial de hidrogeniones (pH)

Tabla 35 — Análisis de varianza para pH por tratamientos

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	93.6956	5	18.7391	1713.94	0.0000
Intra grupos	0.1312	12	0.0109333		
Total (Corr.)	93.8268	17			

Donde GL= grados de libertad.

La Tabla ANOVA para pH de los dos cultivos: aeroponía y suelo, demuestran que existe diferencias significativas puesto que el valor ($p < 0.05$) y un valor $F= 1713.94$.

Tabla 36 — Pruebas de múltiples rangos de Tukey para pH por tratamiento

Tratamiento	Casos	Media	Grupos Homogéneos
A1	3	0	C
A2	3	5.96333	B
B2	3	6.02333	B
B1	3	6.05	B
B3	3	6.17667	AB
A3	3	6.35	A

Las medias que no comparten el mismo nivel son estadísticamente distintas.

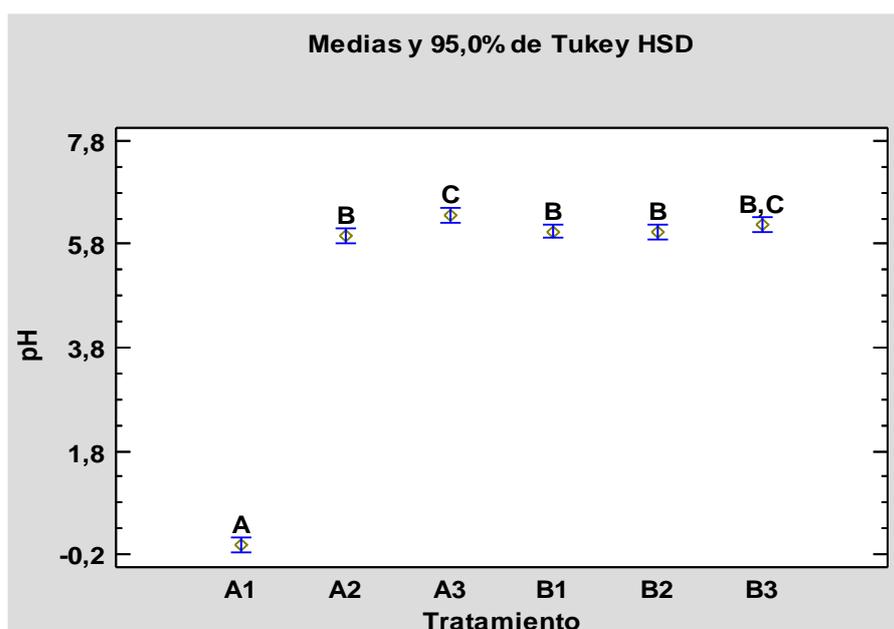


Figura 66 — Medias de Tukey para pH del tubérculo

Anexo 21 — Análisis de varianza con un factor (ANOVA) con la prueba de Tukey para compuestos fenólicos del cultivo aeropónico y suelo

Tabla 37 — Análisis de varianza para polifenoles por tratamientos

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	5.96411E11	5	1.19282E11	58.96	0.0000
Intra grupos	2.42787E10	12	2.02323E9		
Total (Corr.)	6.20689E11	17			

Donde GL= grados de libertad.

La Tabla ANOVA para compuestos fenólicos de los dos cultivos: aeroponía y suelo, demuestran que existe diferencias significativas puesto que el valor ($p < 0.05$) y un valor $F= 58.96$.

Tabla 38 — Pruebas de múltiples rangos de Tukey para polifenoles por tratamiento

Tratamiento	Casos	Media	Grupos Homogéneos
A1	3	0.0	C
B2	3	278039	B
B3	3	301104	B
B1	3	338528	B
A2	3	515423	A
A3	3	557891	A

Las medias que no comparten el mismo nivel son significativamente diferentes.

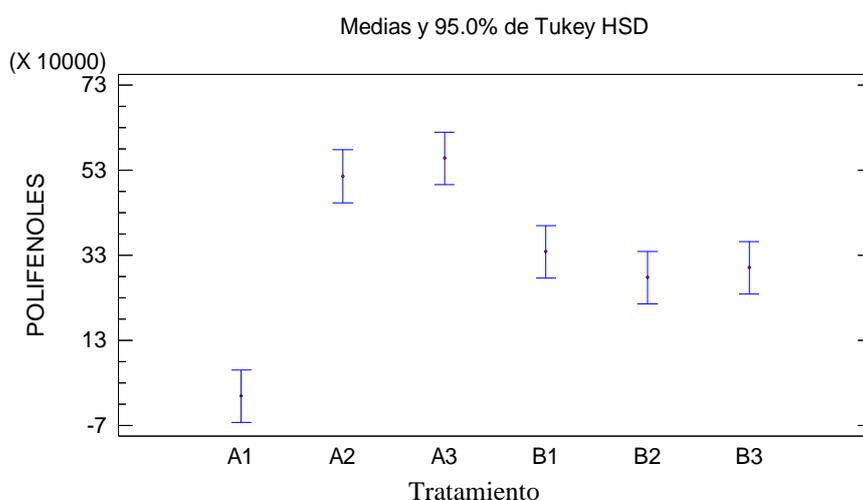


Figura 67 — Medias de Tukey para polifenoles del tubérculo



Anexo 22 — Análisis de varianza con un factor (ANOVA) con la prueba de Tukey para capacidad antioxidante del cultivo aeropónico y suelo

a) DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl)

Tabla 39 — Análisis de varianza para DPPH por tratamientos

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: Días	1.01874E9	2	5.09372E8	11.85	0.0014
B: Tratamiento	1.73099E9	1	1.73099E9	40.28	0.0000
INTERACCIONES					
AB	3.10537E9	2	1.55269E9	36.13	0.0000
RESIDUOS	5.15701E8	12	4.29751E7		
TOTAL (CORREGIDO)	6.37081E9	17			

Donde GL= grados de libertad.

La Tabla ANOVA, se analiza la interacción de la capacidad antioxidante por inhibición de DPPH entre los dos métodos de cultivo: aeroponía y suelo, en diferentes momentos de cosecha (158, 187 y 201 días). Los resultados indican diferencias significativas, ya que el valor ($p < 0.05$). Además, se observa una interacción de $F = 36.13$.

Tabla 40 — Pruebas de múltiples rangos de Tukey para DPPH por tratamientos

Días	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
158	6	28293.2	2676.29	A
201	6	39771.7	2676.29	B
187	6	46517.2	2676.29	B

Las medias que no comparten el mismo nivel son significativamente diferentes.



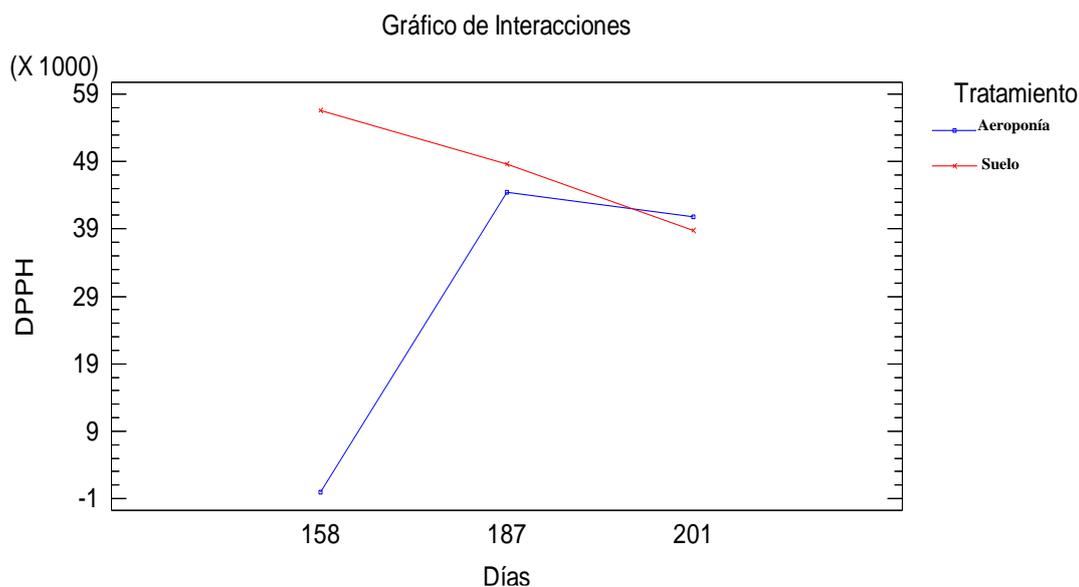


Figura 68 — Interacciones del % inhibición de DPPH de aeroponía y suelo

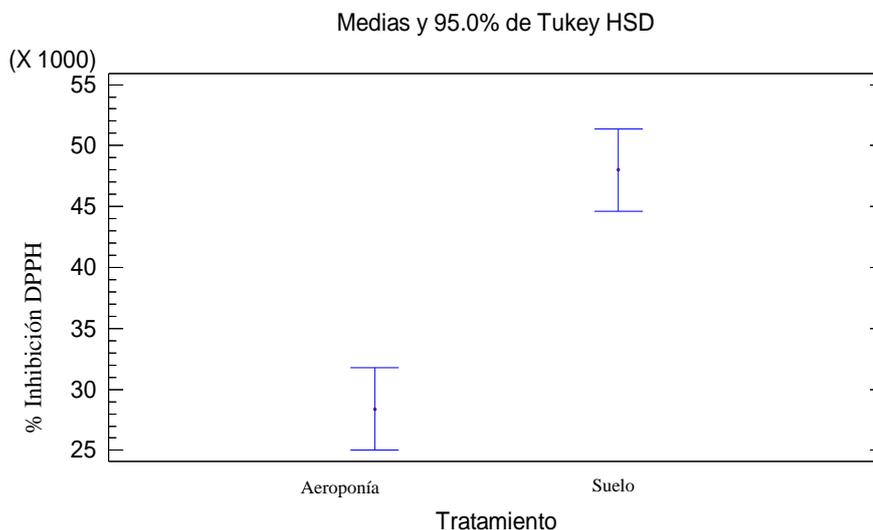


Figura 69 — Medias de Tukey para DPPH del tubérculo

b) ABTS (2,2'-azino-bis-3-ethylbenzthiazoline-6-sulfonic acid)

Tabla 41 — Análisis de varianza para ABTS por tratamientos

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFECTOS PRINCIPALES					
A: Días	2.34626E9	2	1.17313E9	13.81	0.0008
B: Tratamiento	3.31626E8	1	3.31626E8	3.90	0.0716
INTERACCIONES					



AB	2.58455E8	2	1.29227E8	1.52	0.2577
RESIDUOS	1.0192E9	12	8.49334E7		
TOTAL (CORREGIDO)	3.95554E9	17			

Donde GL= grados de libertad.

La Tabla ANOVA, se analiza la interacción de la capacidad antioxidante por inhibición de ABTS entre los dos métodos de cultivo: aeroponía y suelo, en diferentes momentos de cosecha (158, 187 y 201 días). Los resultados indican que no se encuentran diferencias significativas, ya que el valor p es mayor a 0.05. Además, se observa un valor de interacción de $F = 1.52$.

Tabla 42 — Pruebas de múltiples rangos de Tukey para ABTS por tratamiento

Días	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
201	6	8364.17	3762.39	A
158	6	9313.17	3762.39	A
187	6	33043.8	3762.39	B

Las medias que no comparten el mismo nivel son significativamente diferentes.

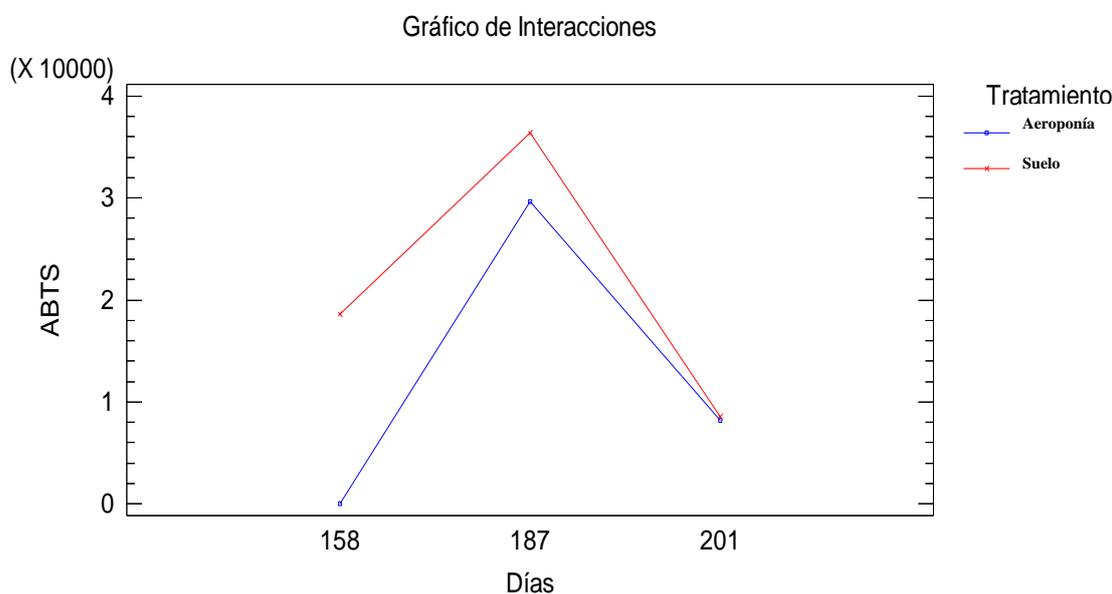


Figura 70 — Interacciones de % inhibición de ABTS de aeroponía y suelo



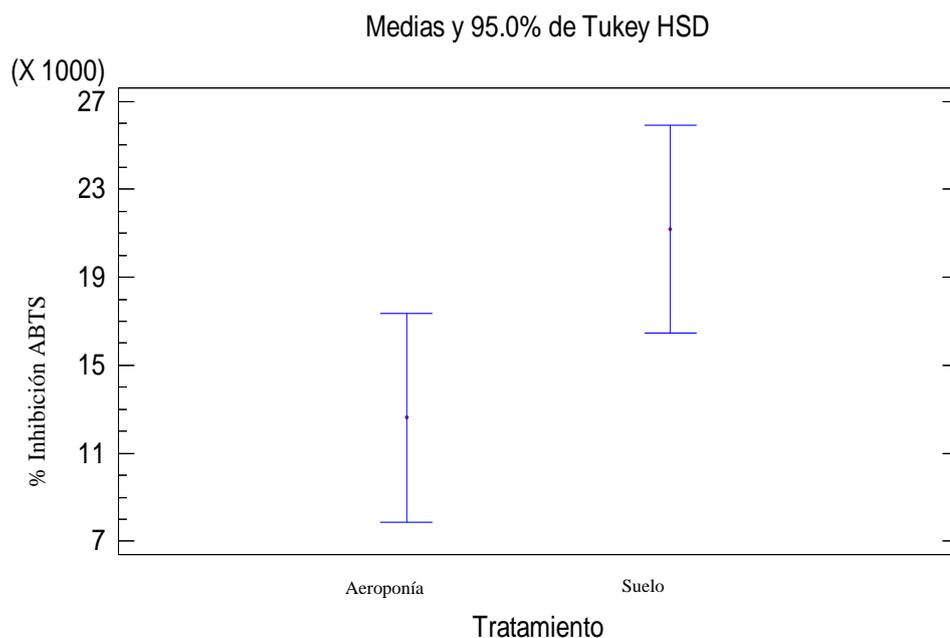


Figura 71 — Medias de Tukey para DPPH del tubérculo

Anexo 23 — Prueba de Kruskal-Wallis para los datos

A. Características morfológicas

- **Tamaño de la planta (cm)**

Tabla 43 — Prueba de Kruskal-Wallis para tamaño de la planta (cm) por días

Días	Tamaño Muestra	Rango Promedio
18	18	44.4722
19	18	54.1667
23	18	52.7222
26	18	85.5278
30	18	124.806
31	18	116.25
33	18	135.306
37	18	141.361
40	18	138.056
43	18	147.611
46	18	192.75
49	18	215.167
52	18	226.583
55	18	260.139



58	18	288.333
61	18	304.278
64	18	341.556
67	18	364.611
70	18	354.417
73	18	380.556
76	18	387.583
79	18	398.639
82	18	375.833
85	18	396.278
88	18	424.583
91	18	443.861
95	18	458.639
98	18	471.528
102	18	485.778
106	18	508.333
110	18	534.306
114	18	556.694
118	18	581.778
122	18	608.194
126	18	622.639
130	17	634.059
134	17	642.353
138	17	660.118
142	17	673.471
146	16	675.438
150	16	684.781
157	16	703.344
170	15	735.733
177	15	730.2

Estadístico = 677.445 Valor-P = 0.000

- **Grosor del tallo (cm)**

Tabla 44 — Prueba de Kruskal-Wallis para grosor del tallo (cm) por días

Días	Tamaño Muestra	Rango Promedio
18	18	45.4722
19	18	52.4167
23	18	48.4722
26	18	74.6389
30	18	141.611
31	18	108.806
33	18	130.139
37	18	185.917
40	18	216.444
43	18	199.306
46	18	247.222
49	18	325.056
52	18	313.111
55	18	299.389
58	18	362.083
61	18	398.194
64	18	415.278
67	18	431.333
70	18	418.389
73	18	412.111
76	18	416.389
79	18	460.333
82	18	534.75
85	18	436.583
88	18	456.361
91	18	470.5
95	18	449.639
98	18	453.028
102	18	493.111
106	18	492.917
110	18	501.611
114	18	496.944
118	18	543.944
122	18	557.333



126	18	569.056
130	17	561.618
134	17	581.529
138	17	587.118
142	17	587.0
146	16	581.094
150	16	570.406
157	16	545.688
170	15	533.967
177	15	538.4

Estadístico = 444.132 Valor-P = 0.000

- **Tamaño polar (longitud)**

Tabla 45 — Prueba de Kruskal-Wallis para tamaño polar por tratamiento

Tratamiento	Tamaño Muestra	Rango Promedio
A1	3	2.0
A2	3	10.6667
A3	3	8.33333
B1	3	11.0
B2	3	14.0
B3	3	11.0

Estadístico = 8.8494 Valor-P = 0.115224

- **Tamaño ecuatorial (diámetro)**

Tabla 46 — Prueba de Kruskal-Wallis para tamaño ecuatorial por tratamiento

Tratamiento	Tamaño Muestra	Rango Promedio
A1	3	2.0
A2	3	6.66667
A3	3	6.33333
B1	3	14.6667
B2	3	13.0
B3	3	14.3333

Estadístico = 14.4397 Valor-P = 0.0130449



- **Peso del tubérculo**

Tabla 47 — Prueba de Kruskal-Wallis para peso por tratamiento

Tratamiento	Tamaño Muestra	Rango Promedio
A1	3	2.0
A2	3	9.33333
A3	3	6.66667
B1	3	12.0
B2	3	14.0
B3	3	13.0

Estadístico = 10.8929 Valor-P = 0.0535449

B. Características fisicoquímicas

- **Humedad (%)**

Tabla 48 — Prueba de Kruskal-Wallis para humedad por tratamiento

Tratamiento	Tamaño Muestra	Rango Promedio
A1	3	2.0
A2	3	15.6667
A3	3	15.3333
B1	3	10.6667
B2	3	6.33333
B3	3	7.0

Estadístico = 15.4263 Valor-P = 0.00868824

- **Ceniza (%)**

Tabla 49 — Prueba de Kruskal-Wallis para ceniza por tratamiento

Tratamiento	Tamaño Muestra	Rango Promedio
A1	3	2.0
A2	3	16.0
A3	3	14.3333
B1	3	9.66667



B2	3	8.0
B3	3	7.0

Estadístico = 13.782 Valor-P = 0.0170549

- **Acidez (%)**

Tabla 50 — Prueba de Kruskal-Wallis para acidez por tratamiento

Tratamiento	Tamaño Muestra	Rango Promedio
A1	3	2.0
A2	3	14.6667
A3	3	16.3333
B1	3	10.0
B2	3	9.0
B3	3	5.0

Estadístico = 15.896 Valor-P = 0.0714735

- **Potencial de hidrogeniones (pH)**

Tabla 51 — Prueba de Kruskal-Wallis para pH por tratamiento

Tratamiento	Tamaño Muestra	Rango Promedio
A1	3	2.0
A2	3	7.0
A3	3	16.3333
B1	3	9.83333
B2	3	8.66667
B3	3	13.1667

Estadístico = 13.0751 Valor-P = 0.022685



C. Polifenoles

Tabla 52 — Prueba de Kruskal-Wallis para polifenoles por tratamiento

Tratamiento	Tamaño Muestra	Rango Promedio
A1	3	2.0
A2	3	15.0
A3	3	16.0
B1	3	10.0
B2	3	6.33333
B3	3	7.66667

Estadístico = 15.0504 Valor-P = 0.0101491

D. Capacidad antioxidante

✚ DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl)

Tabla 53 — Prueba de Kruskal-Wallis para DPPH por tratamiento

Tratamiento	Tamaño Muestra	Rango Promedio
A1	3	2.0
A2	3	11.0
A3	3	7.0
B1	3	15.6667
B2	3	13.3333
B3	3	8.0

Estadístico = 12.6546 Valor-P = 0.02684

- **ABTS (2,2'-azino-bis-3-ethylbenzthiazoline-6-sulfonic acid)**

Tabla 54 — Prueba de Kruskal-Wallis para ABTS por tratamiento

Tratamiento	Tamaño Muestra	Rango Promedio
A1	3	2.0
A2	3	16.0
A3	3	6.0
B1	3	11.3333



B2	3	14.6667
B3	3	7.0

Estadístico = 15.5437 Valor-P = 0.00827519

Anexo 24 — Corroboración de normalidad de prueba de datos

A. Características morfológicas

- **Tamaño de la planta (cm)**

Tabla 55 — Pruebas de normalidad para tamaño de la planta

Prueba	Estadístico	Valor-P
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0.969262	1.05451E-11

Debido a que el valor-P más pequeño de las pruebas realizadas mayor a 0.05, no se puede rechazar la idea de que tamaño de la planta proviene de una distribución normal con 95% de confianza.

Nota: En caso de Tamaño de la planta no cumple con la condición de normalidad.

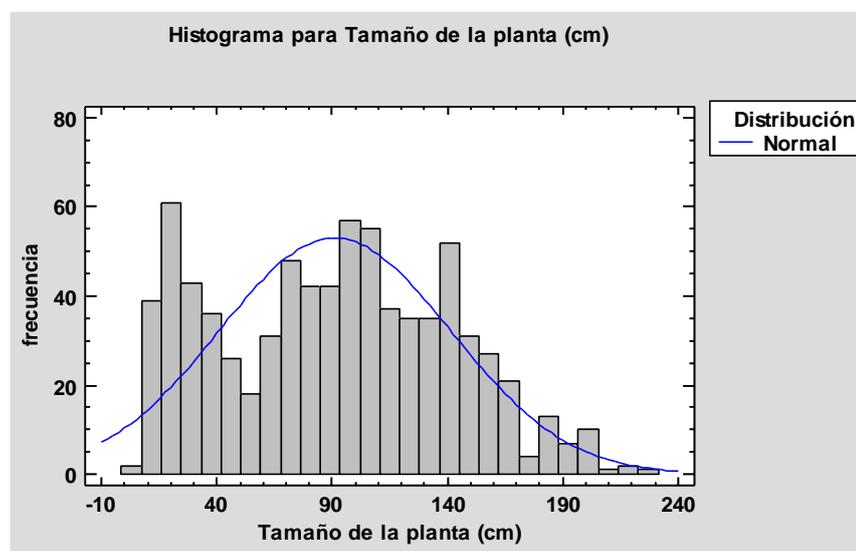


Figura 72 — Histograma para tamaño de planta (cm)

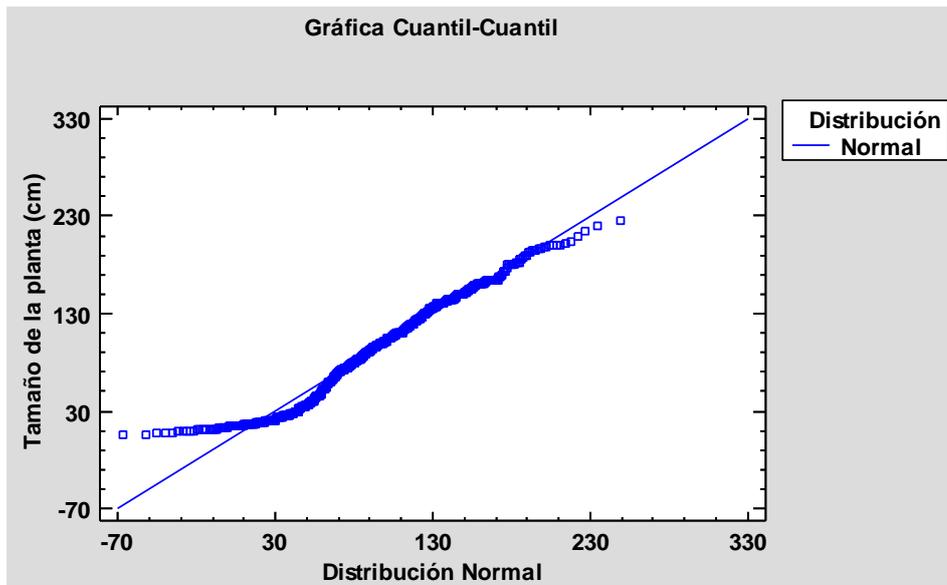


Figura 73 — Gráfica cuantil-cuantil de tamaño de la planta (cm)

- Grosor del tallo (cm)

Tabla 56 — Pruebas de normalidad para grosor del tallo

Prueba	Estadístico	Valor-P
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0.958806	6.06182E-14

Debido a que el valor-P más pequeño de las pruebas realizadas mayor a 0.05, no se puede rechazar la idea de que el grosor del tallo proviene de una distribución no normal con 95% de confianza.

Nota: En caso del grosor del tallo no cumple con la condición de normalidad.

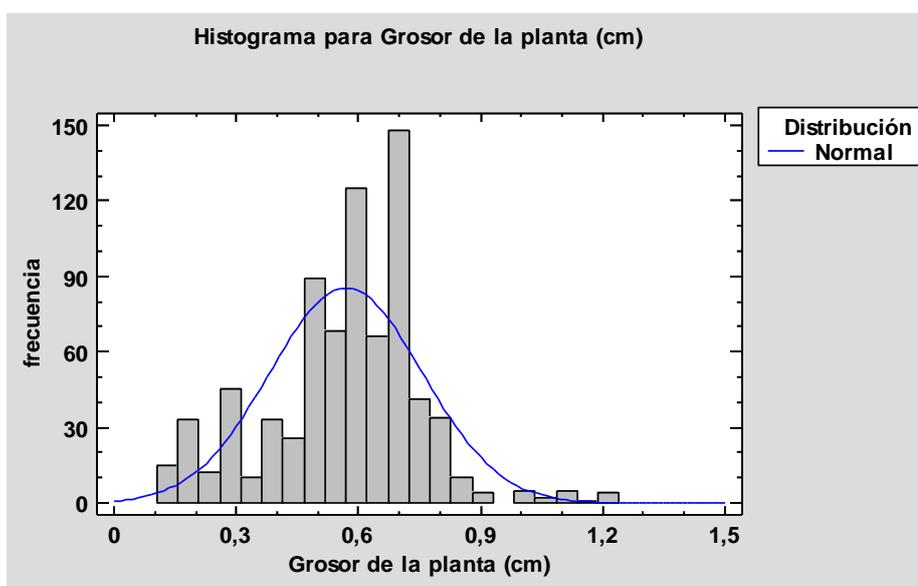


Figura 74 — Histograma para grosor de la planta (cm)

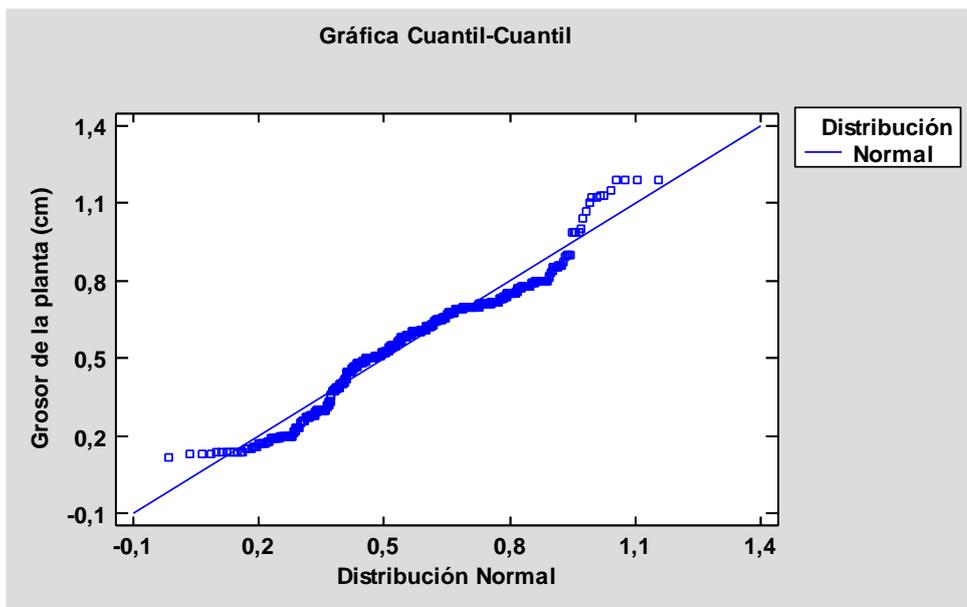


Figura 75 — Gráfica cuantil-cuantil de grosor de la planta (cm)

- **Tamaño polar (longitud)**

Tabla 57 — Pruebas de normalidad para tamaño polar

Prueba	Estadístico	Valor-P
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0.83526	0.00415577

Debido a que el valor-P más pequeño de las pruebas realizadas es menor a 0.05, se puede rechazar la idea de que tamaño polar proviene de una distribución normal con 95% de confianza.

Nota: En caso de Tamaño polar no cumple con la condición de normalidad.

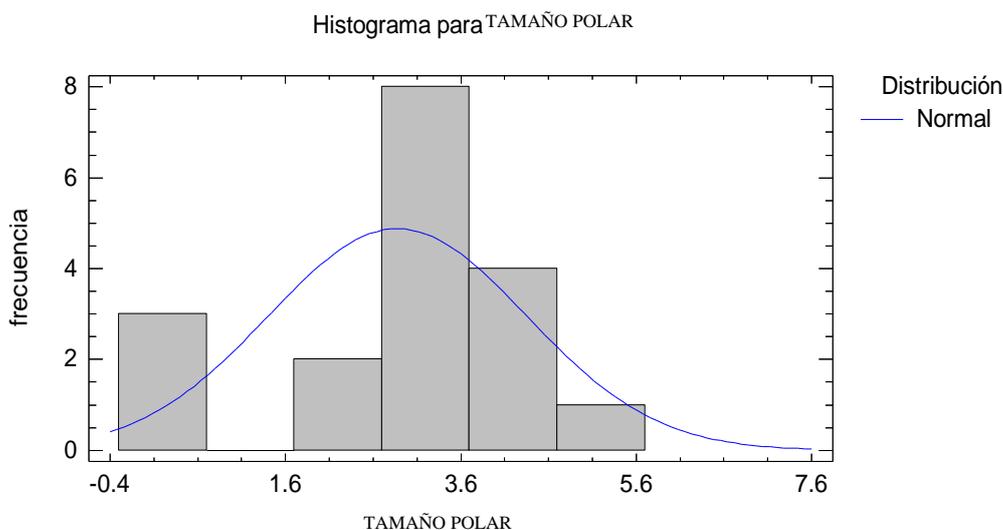


Figura 76 — Histograma para tamaño polar

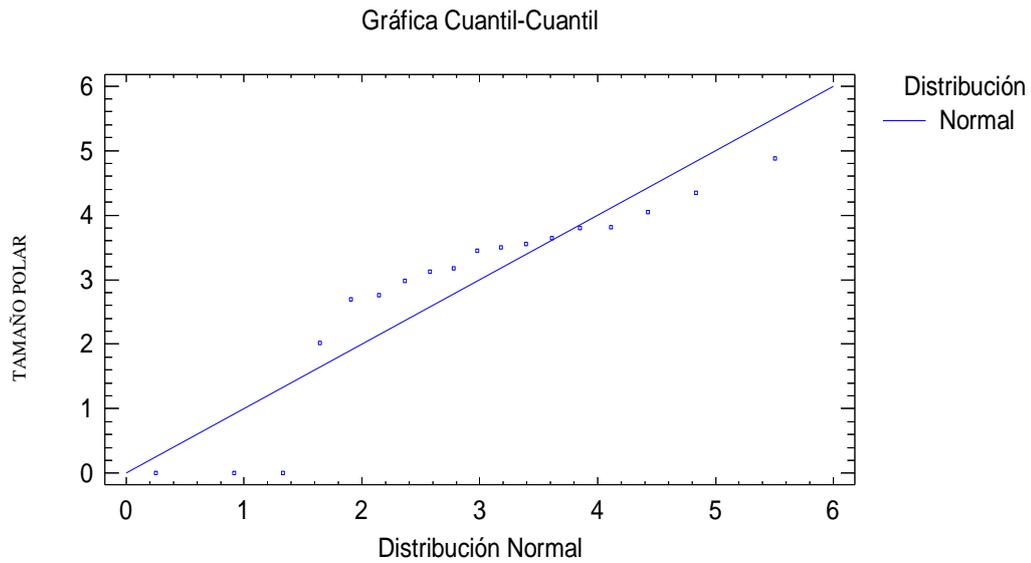


Figura 77 — Gráfica cuantil-cuantil de tamaño polar

- **Tamaño ecuatorial (diámetro)**

Tabla 58 — Pruebas de normalidad para tamaño ecuatorial

Prueba	Estadístico	Valor-P
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0.83242	0.00371805

Debido a que el valor-P más pequeño de las pruebas realizadas es menor a 0.05, se puede rechazar la idea de que tamaño ecuatorial proviene de una distribución normal con 95% de confianza.

Nota: En caso de tamaño ecuatorial no cumple con la condición de normalidad.

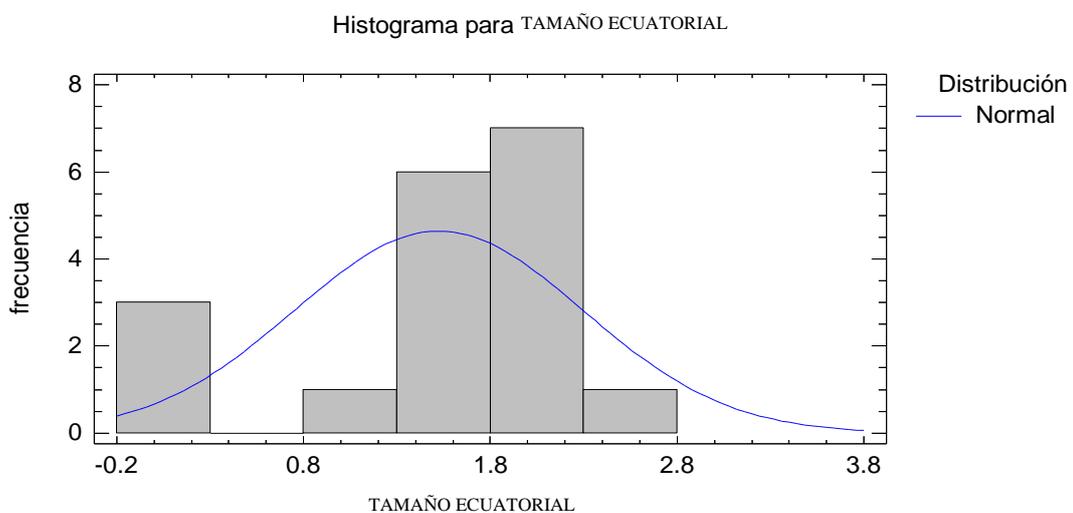


Figura 78 — Histograma para tamaño ecuatorial



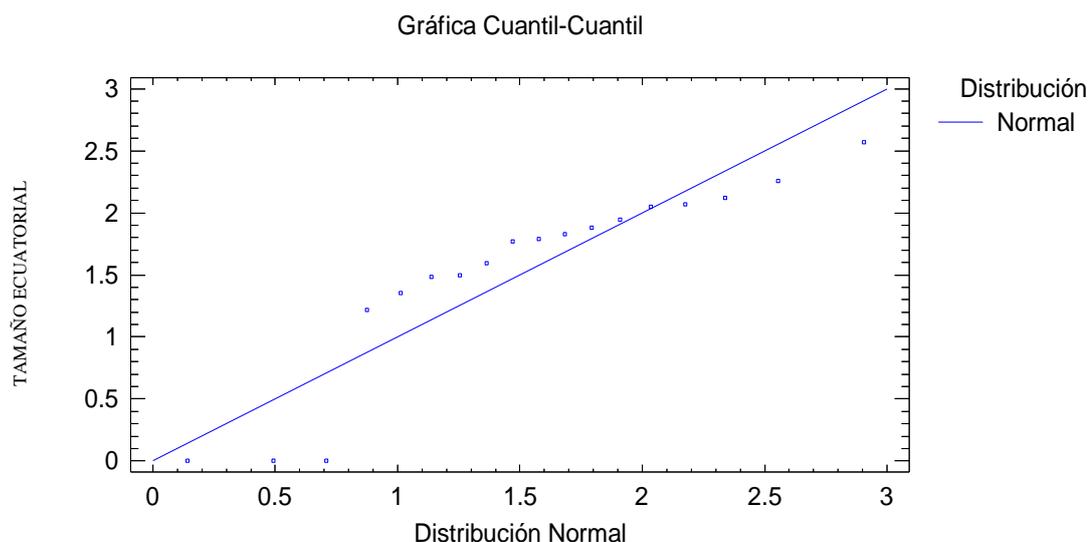


Figura 79 — Gráfica cuantil-cuantil de tamaño ecuatorial

- **Peso del tubérculo**

Tabla 59 — Pruebas de normalidad para peso del tubérculo

Prueba	Estadístico	Valor-P
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0.901102	0.0604791

Debido a que el valor-P más pequeño de las pruebas realizadas es mayor o igual a 0.05, no se puede rechazar la idea de que el peso del tubérculo proviene de una distribución normal con 95% de confianza.

Nota: En caso de peso del tubérculo cumple con la condición de normalidad.

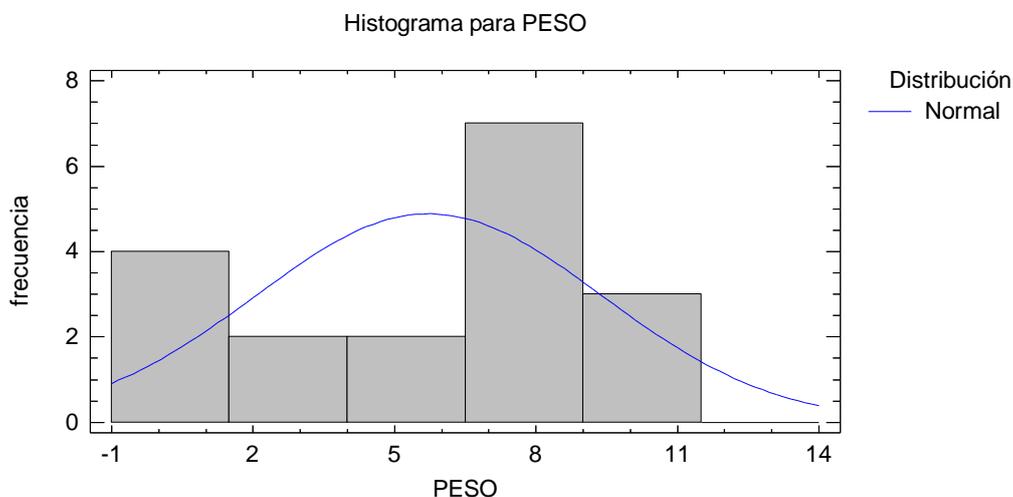


Figura 80 — Histograma para peso del tubérculo



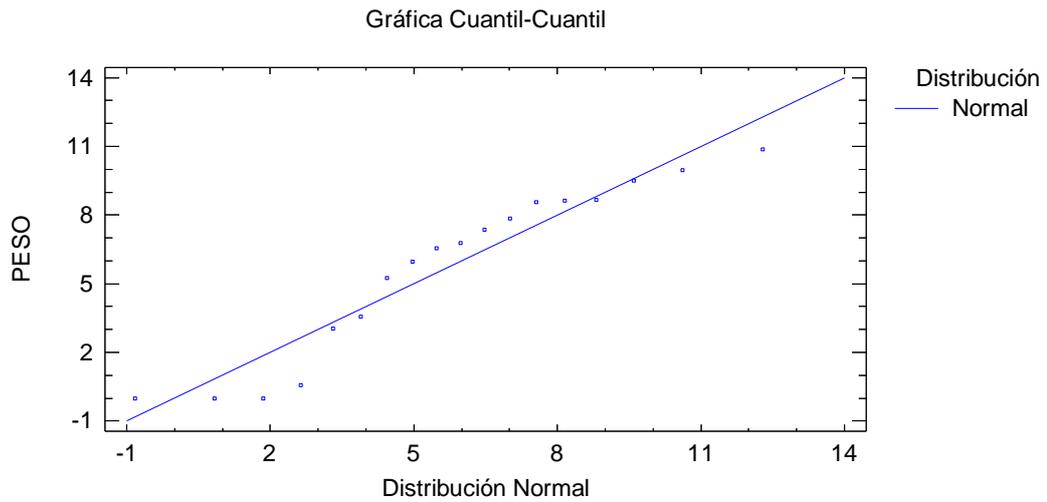


Figura 81 — Gráfica cuantil-cuantil de peso del tubérculo

B. Características fisicoquímicas

- **Humedad (%)**

Tabla 60 — Pruebas de normalidad para humedad

Prueba	Estadístico	Valor-P
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0.622083	0.00000276551

Debido a que el valor-P más pequeño de las pruebas realizadas es menor a 0.05, se puede rechazar la idea de que la humedad proviene de una distribución normal con 95% de confianza.

Nota: En caso de humedad no cumple con la condición de normalidad.

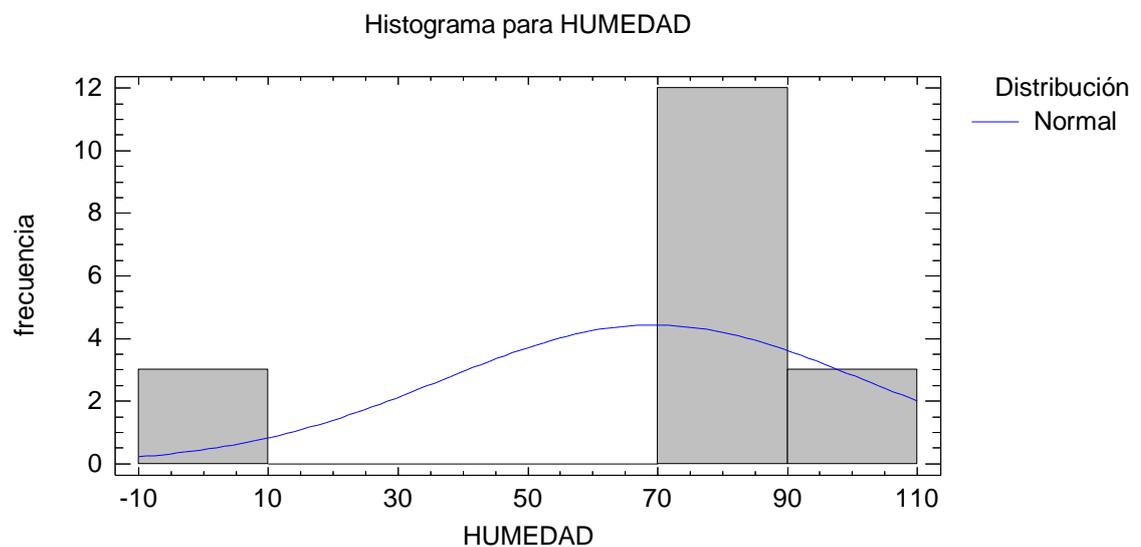


Figura 82 — Histograma para humedad del tubérculo



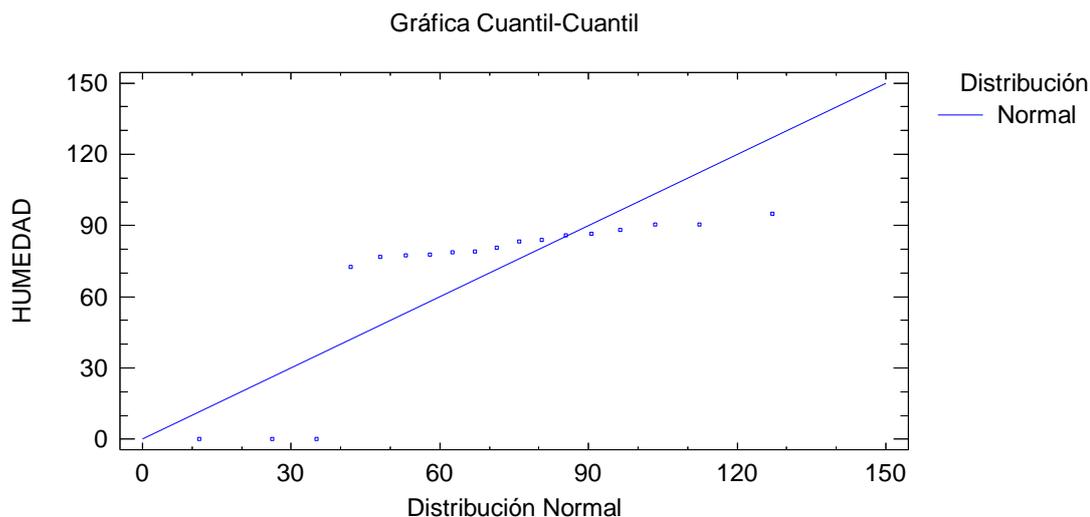


Figura 83 — Gráfica cuantil-cuantil de humedad del tubérculo

- **Ceniza (%)**

Tabla 61 — Pruebas de normalidad para ceniza

Prueba	Estadístico	Valor-P
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0.913356	0.0986081

Debido a que el valor-P más pequeño de las pruebas realizadas es mayor o igual a 0,05, no se puede rechazar la idea de que la ceniza proviene de una distribución normal con 95% de confianza.

Nota: En caso de ceniza cumple con la condición de normalidad.

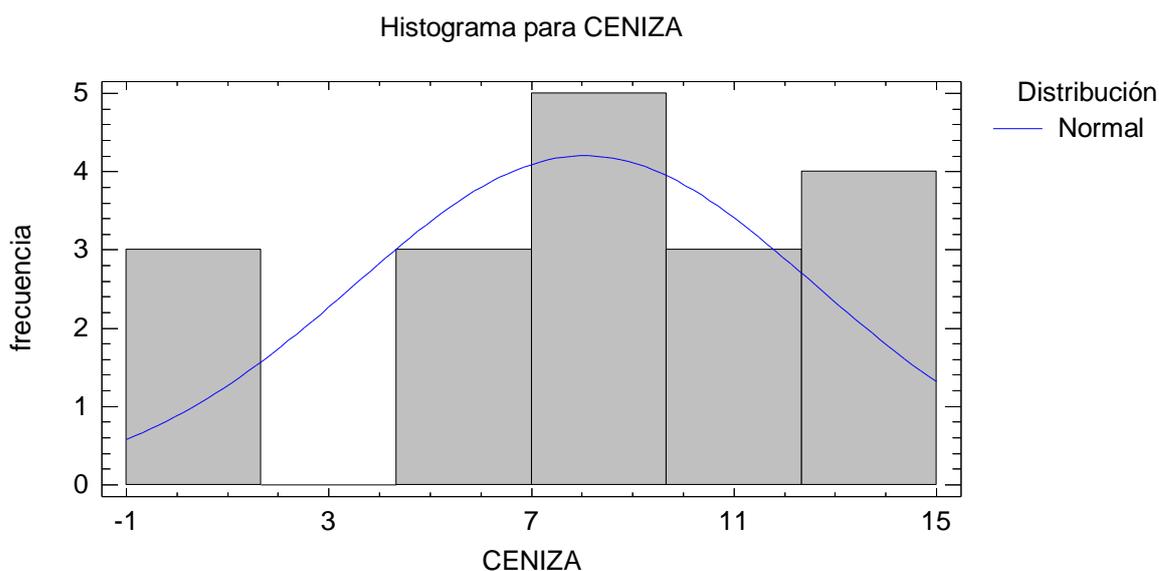


Figura 84 — Histograma para ceniza del tubérculo



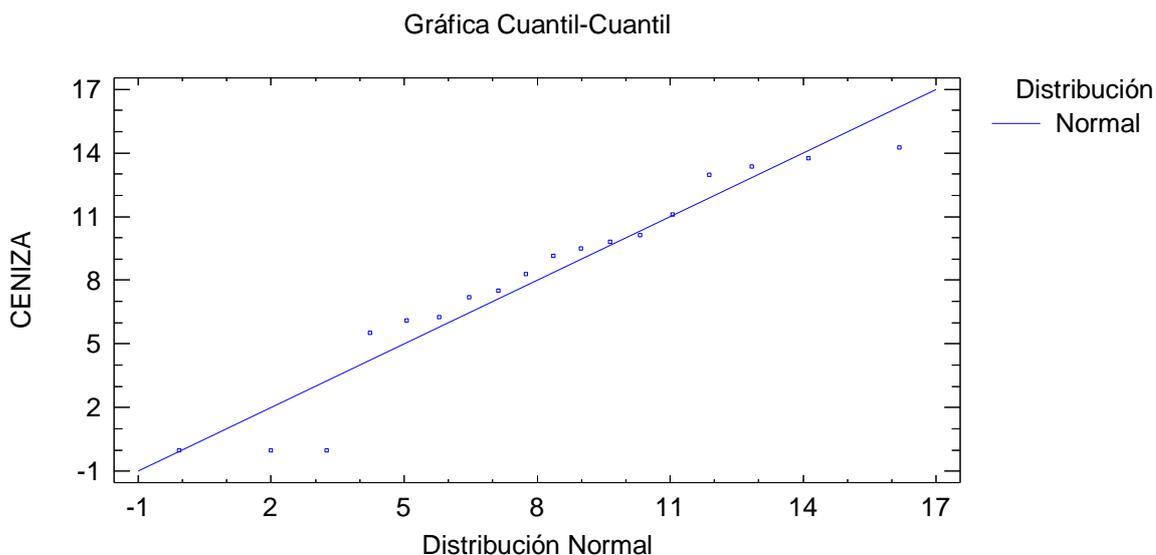


Figura 85 — Gráfica cuantil-cuantil de ceniza del tubérculo

- % Acidez

Tabla 62 — Pruebas de normalidad para acidez

Prueba	Estadístico	Valor-P
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0.957013	0.545154

Debido a que el valor-P más pequeño de las pruebas realizadas es mayor o igual a 0,05, no se puede rechazar la idea de que la acidez proviene de una distribución normal con 95% de confianza.

Nota: En caso de acidez cumple con la condición de normalidad.

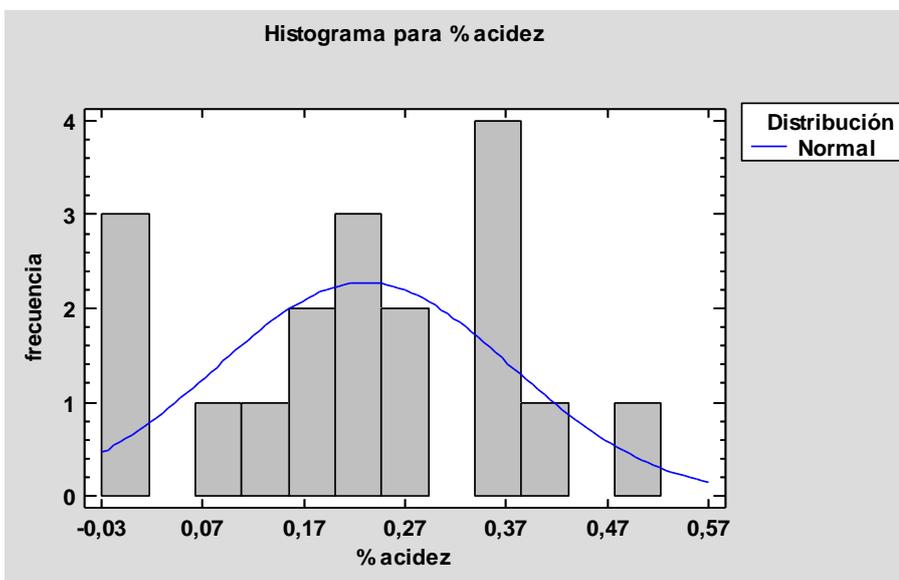


Figura 86 — Histograma para acidez del tubérculo



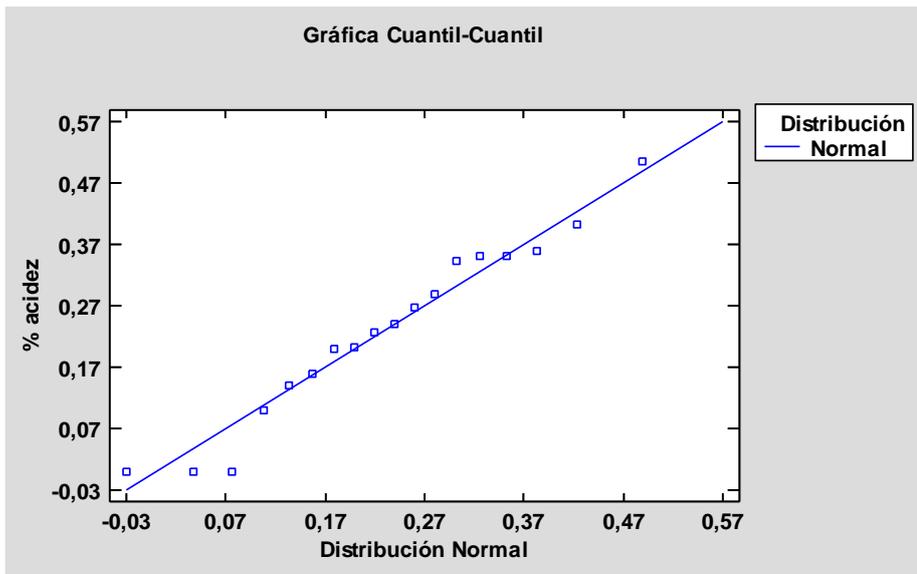


Figura 87 — Gráfica cuantil-cuantil de acidez del tubérculo

- **Potencial de hidrogeniones (pH)**

Tabla 63 — Pruebas de normalidad para pH

Prueba	Estadístico	Valor-P
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0.520762	0.0000012216

Debido a que el valor-P más pequeño de las pruebas realizadas es menor a 0,05, se puede rechazar la idea de que pH proviene de una distribución normal con 95% de confianza.

Nota: En caso de pH no cumple con la condición de normalidad.

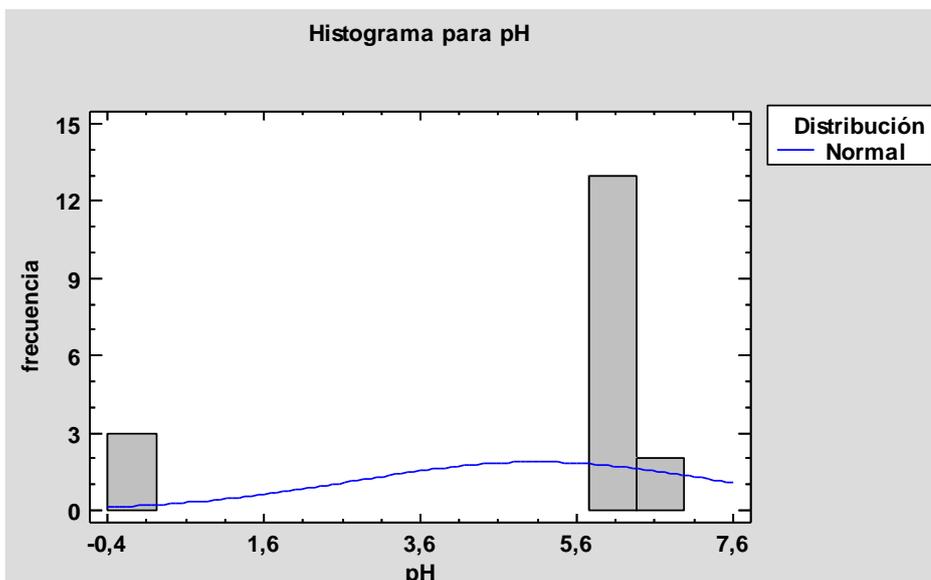


Figura 88 — Histograma para pH del tubérculo



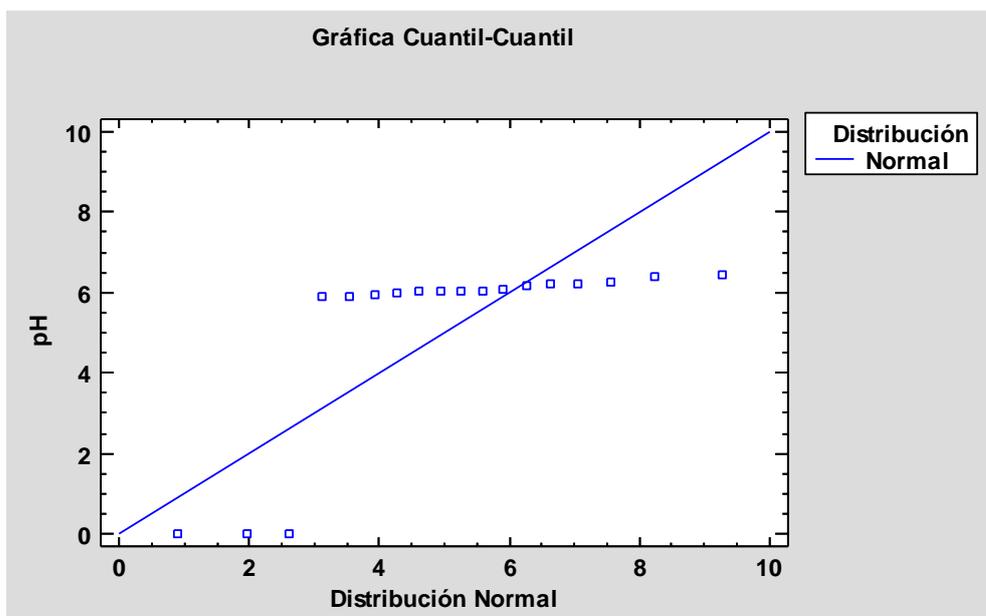


Figura 89 — Gráfica cuantil-cuantil de acidez del tubérculo

C. Polifenoles

Tabla 64 — Pruebas de normalidad para polifenoles

Prueba	Estadístico	Valor-P
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0.917657	0.120107

Debido a que el valor-P más pequeño de las pruebas realizadas es mayor o igual a 0.05, no se puede rechazar la idea de que polifenoles proviene de una distribución normal con 95% de confianza.

Nota: En caso de polifenoles cumple con la condición de normalidad.

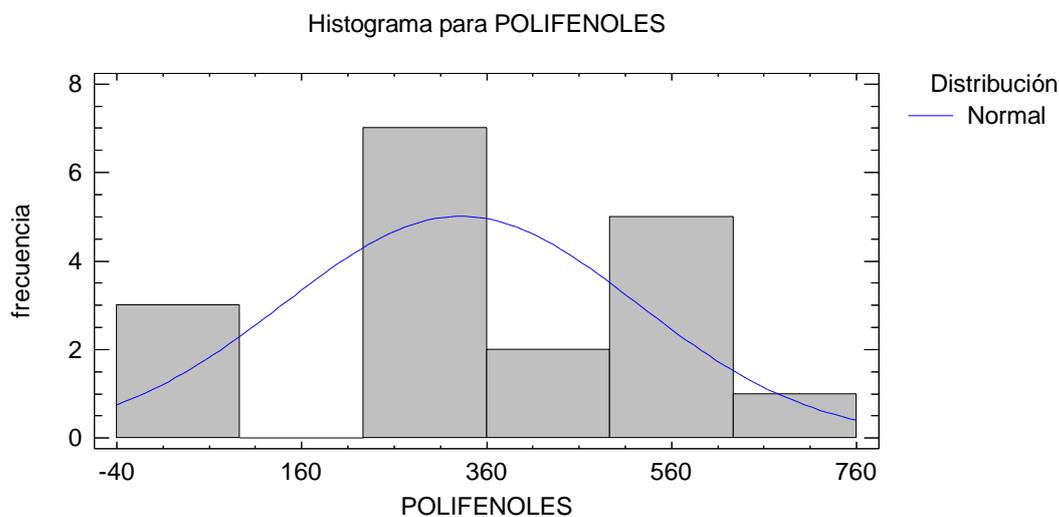


Figura 90 — Histograma para polifenoles del tubérculo



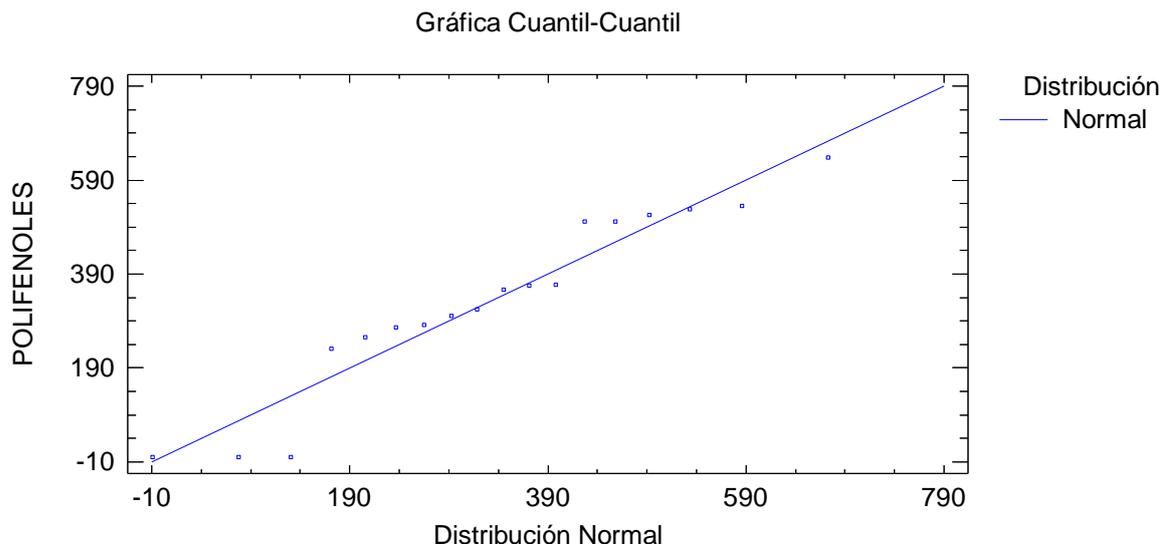


Figura 91 — Gráfica cuantil-cuantil de polifenoles del tubérculo

D. Capacidad antioxidante

- **DPPH**

Tabla 65 — Pruebas de normalidad para DPPH

Prueba	Estadístico	Valor-P
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0.818084	0.00213337

Debido a que el valor-P más pequeño de las pruebas realizadas es menor a 0.05, se puede rechazar la idea de que DPPH proviene de una distribución normal con 95% de confianza.

Nota: En caso de DPPH no cumple con la condición de normalidad.

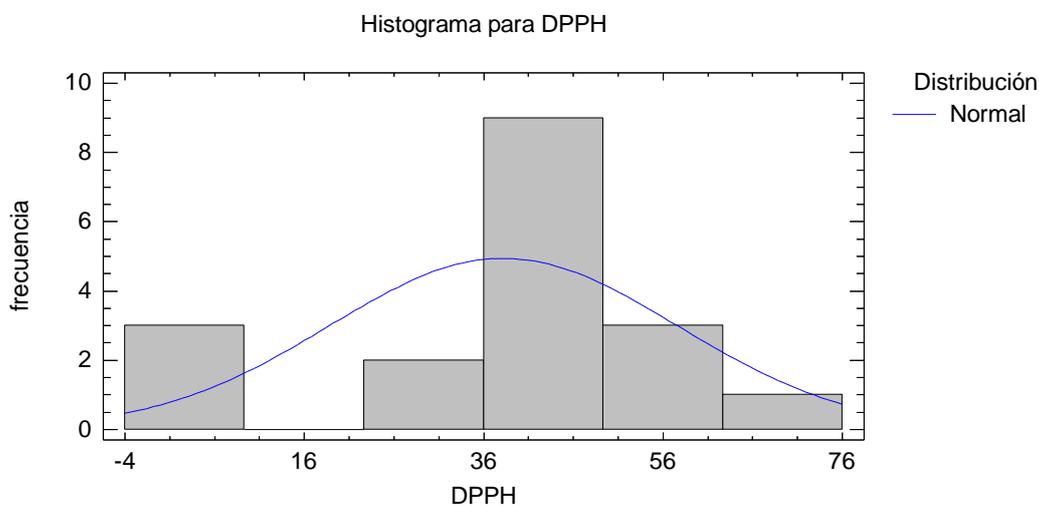


Figura 92 — Histograma para DPPH del tubérculo



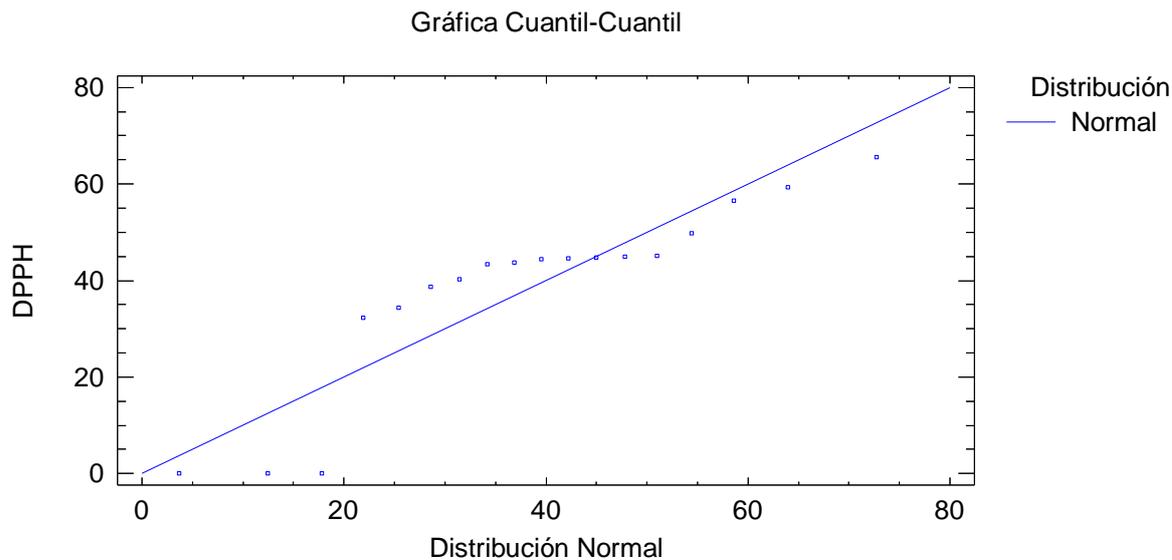


Figura 93 — Gráfica cuantil-cuantil de DPPH del tubérculo

- **ABTS (2,2'-azino-bis-3-ethylbenzthiazoline-6-sulfonic acid)**

Tabla 66 — Pruebas de normalidad para ABTS

Prueba	Estadístico	Valor-P
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0.869906	0.016666

Debido a que el valor-P más pequeño de las pruebas realizadas es menor a 0.05, se puede rechazar la idea de que ABTS proviene de una distribución normal con 95% de confianza.

Nota: En caso de ABTS no cumple con la condición de normalidad.

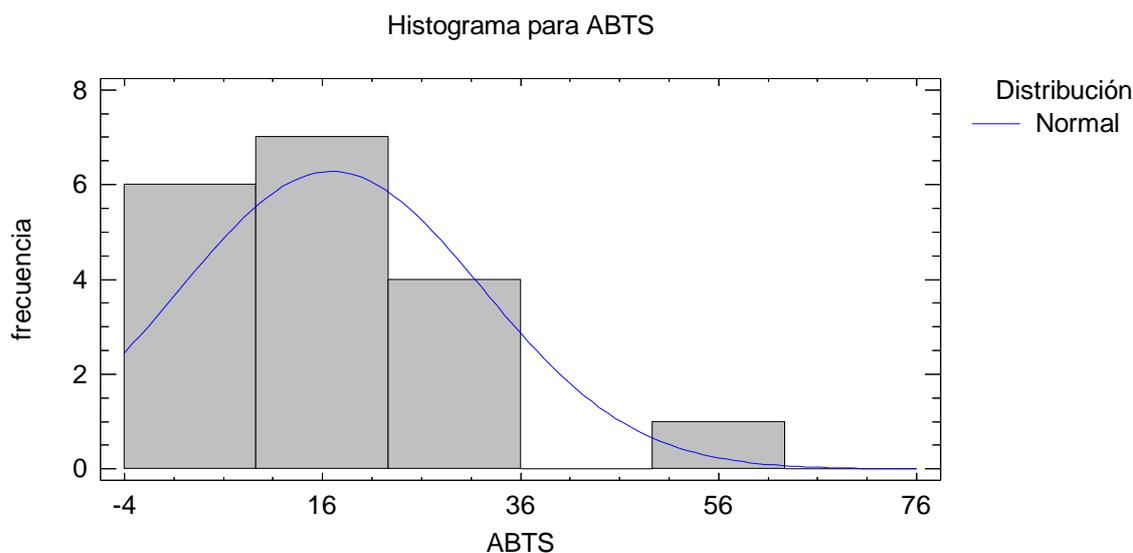


Figura 94 — Histograma para ABTS del tubérculo



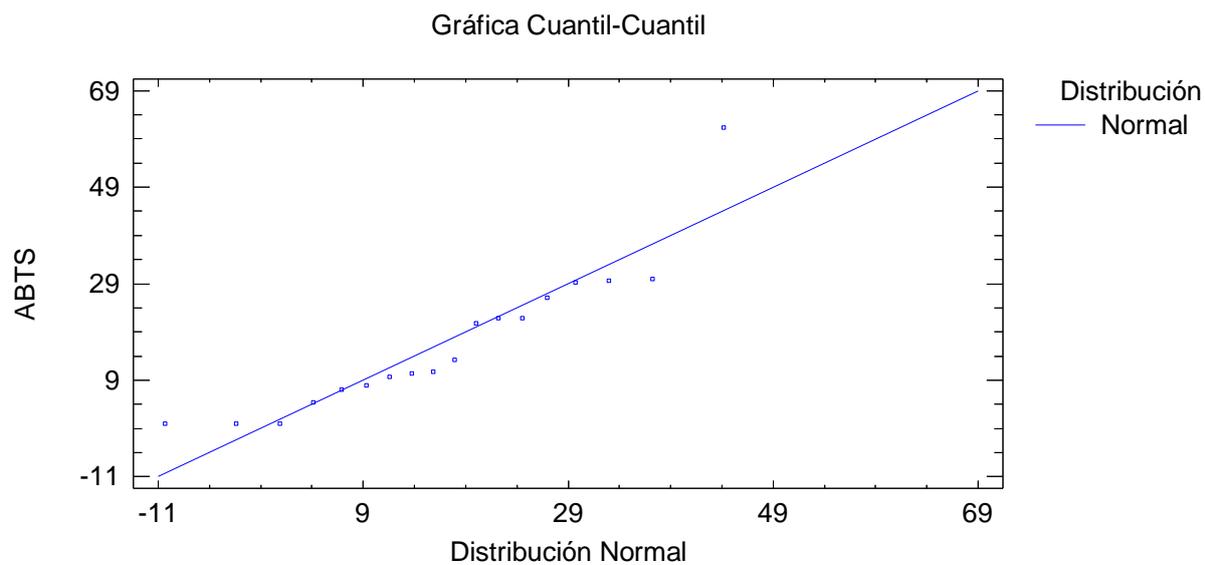


Figura 95 — Gráfica cuantil-cuantil de ABTS del tubérculo