

UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCABELICA

(Creada por Ley N° 25265)



FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

TESIS

**“INFLUENCIA DEL TIEMPO DE SOLEADO SOBRE LA
CONCENTRACIÓN DE AZÚCARES REDUCTORES Y CAPACIDAD
ANTIOXIDANTE DE LA MASHUA (*Tropaeolum tuberosum*)
ECOTIPO NEGRA”**

LINEA DE INVESTIGACIÓN

CIENCIA Y TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AGROINDUSTRIAL

PRESENTADO POR EL BACHILLER:

Bezalio Victor, AGUADO QUISPE

ACOBAMBA – HUANCABELICA

2017

The logo of the Universidad Nacional de Huancavelica, Peru, is a circular emblem. It features a central shield divided into three sections. The top section shows a sun with rays. The middle section contains the text 'WANKA WILLKA' in red. The bottom section depicts a landscape with a llama on the left, a central mountain peak, and a figure on the right. The shield is surrounded by a yellow border with the text 'UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCavelica' and 'PERU' at the bottom.

ASESOR

Ing. VALDERRAMA PACHO, Virgilio

CO-ASESOR

Ing. CHAGUA RODRÍGUEZ, Perfecto

ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS

En la ciudad universitaria de " Común Era", auditorio de la facultad de Ciencias Agrarias, a los 20 días del mes de Diciembre del año 2017, a horas 10:30 am, se reunieron; el Jurado Calificador, conformado de la siguiente manera:

PRESIDENTE : M.Sc. Roberto Carlos, CHUQUILIN GOICOCHEA
SECRETARIO : Ing. Edson Elvis, RAMIREZ TIXE
VOCAL : Ing. Pedro Pablo, ARTEAGA LLACZA
ACCESITARIO : Mg. Alfonso, RUIZ RODRIGUEZ

Designado con la Resolución N° 042-2016-D-FCA-UNH, del proyecto de investigación TITULADO: "INFLUENCIA DEL TIEMPO DE SOLEADO SOBRE LA CONCENTRACIÓN DE AZÚCARES REDUCTORES Y CAPACIDAD ANTIOXIDANTE DE LA MASHUA (*Tropaeolum tuberosum*) ECOTIPO NEGRA"

Cuyo autor es el graduado:

BACHILLER : Bezalio Victor, AGUADO QUISPE
ASESOR : Ing. Virgilio, VALDERRAMA PACHO
CO-ASESOR : Mg. Perfecto, CHAGUA RODRIGUEZ

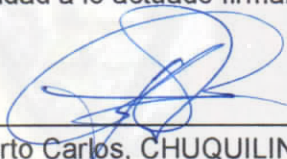
A fin de proceder con la evaluación y calificación de la sustentación de la tesis, antes citado.

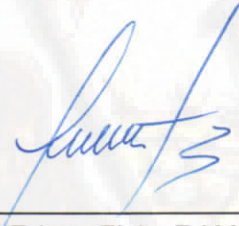
Finalizado la evaluación; se invitó al público presente y al sustentante abandonar el recinto; y, luego de una amplia deliberación por parte del jurado, se llegó al siguiente el resultado:

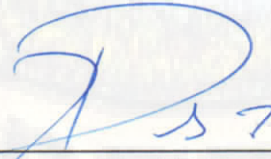
APROBADO ☒ POR... MAYORIA

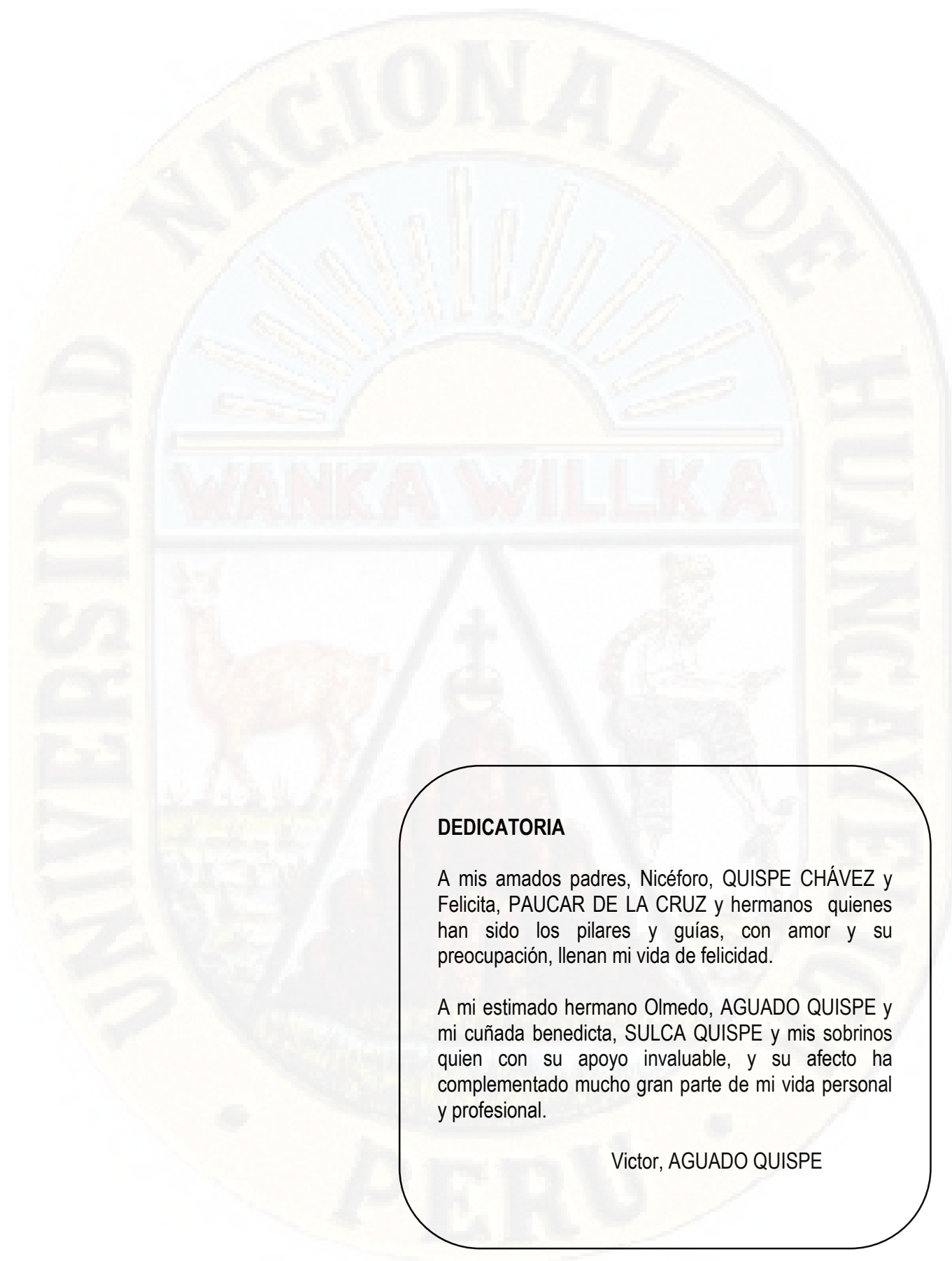
DESAPROBADO ☐

En conformidad a lo actuado firmamos al pie.


M.Sc. Roberto Carlos, CHUQUILIN GOICOCHEA
PRESIDENTE


Ing. Edson Elvis, RAMIREZ TIXE
SECRETARIO


Ing. Pedro Pablo, ARTEAGA LLACZA
VOCAL



DEDICATORIA

A mis amados padres, Nicéforo, QUISPE CHÁVEZ y Felicita, PAUCAR DE LA CRUZ y hermanos quienes han sido los pilares y guías, con amor y su preocupación, llenan mi vida de felicidad.

A mi estimado hermano Olmedo, AGUADO QUISPE y mi cuñada benedicta, SULCA QUISPE y mis sobrinos quien con su apoyo invaluable, y su afecto ha complementado mucho gran parte de mi vida personal y profesional.

Victor, AGUADO QUISPE

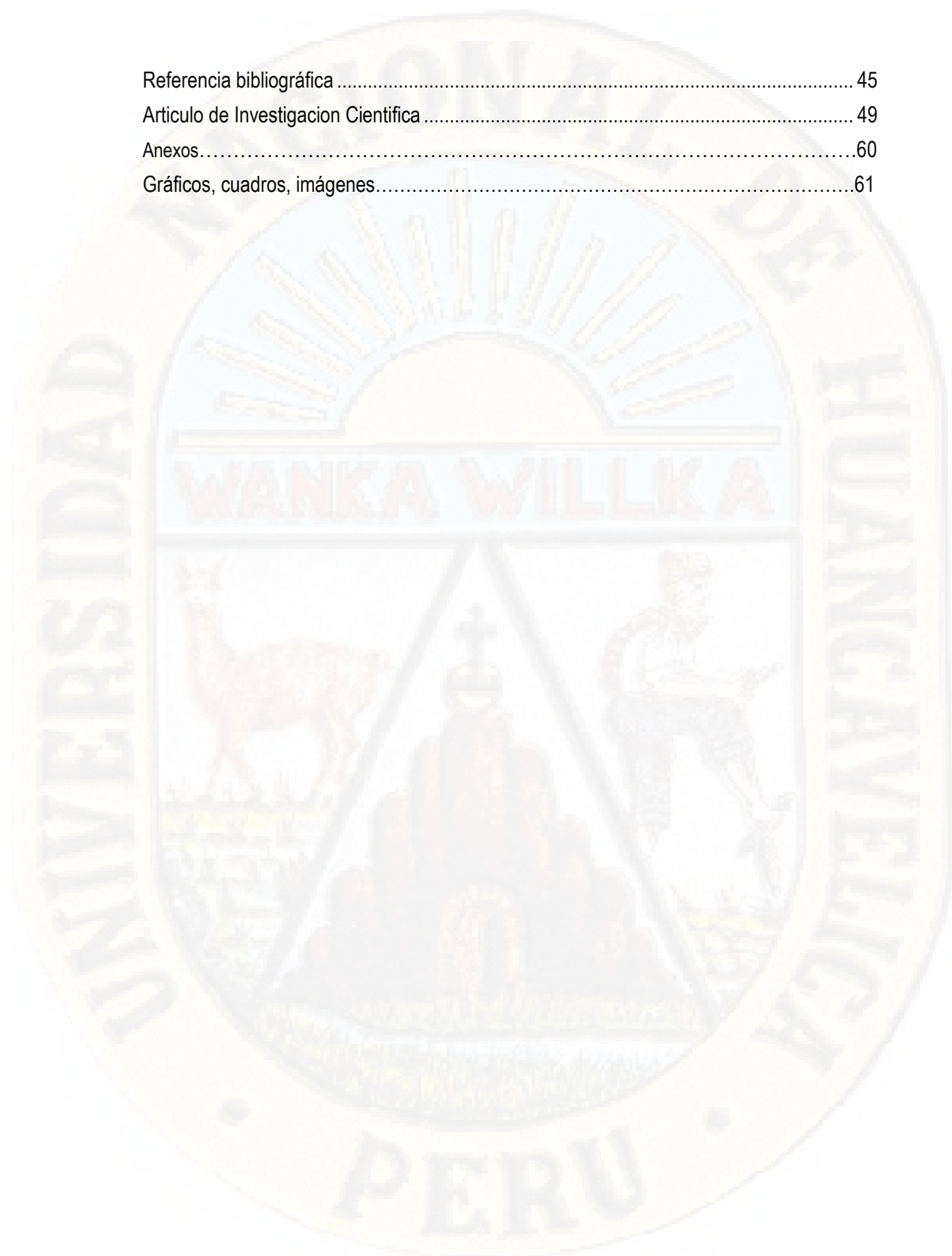
AGRADECIMIENTO

- A mi alma mater, la Universidad Nacional de Huancavelica, en cuyas aulas fue testigo de mi compañerismo con mis colegas y mi formación profesional.
- A mis asesores: Ing. Virgilio, VALDERRAMA PACHO e Ing. Perfecto, CHAGUA RODRIGUEZ por brindarme su amistad, apoyo constante, disposición de servicio y profesionalismo, han hecho posible alcanzar esta etapa de mi formación académica profesional en la planificación y ejecución del presente trabajo de investigación.
- A mis abuelos que hoy en día me vigilan día a día desde lo más lejos donde se encuentra Dios.
- A mi tío Raúl, PAUCAR DE LA CRUZ por su apoyo y cariño en toda mi época escolar.
- De una manera muy especial a los docentes de esta casa de estudios sin excepción alguna no solo por ser docentes sino también amigos.
- A todos mis familiares, quienes me ayudaron en mi estudio universitario incondicionalmente.
- A mis colegas de estudio; que leyeron, corrigieron, en todo o en parte y sugirieron mejoras e ideas para seguir adelante.
- A mi hermano Olmedo, AGUADO QUISPE y sobrinos: Aderli, CURASMA SULCA, Omar Olmedo, AGUADO SULCA, Mirla Nayarit, AGUADO SULCA y amigos: Al Ing. Roberto Carlos, CHUQUILIN GOICOCHEA, Al Ing. Pedro Pablo, ARTEGA LLACZA por tener esa paciencia y amabilidad con mi persona todo el tiempo que está en la provincia y amigos en general con quienes compartí momentos alegres y tristezas, a ustedes mis más sinceros agradecimientos.

ÍNDICE

Dedicatoria	i
Agradecimiento.....	ii
Índice.....	iii
Índice de tablas	v
Índice de figuras	vi
Índice de fotografías	vii
Resumen	viii
Astract.....	ix
Introducción.....	x
Capítulo I: Problema.....	1
1.1. Planteamiento del Problema.....	1
1.2. Formulación del Problema	2
1.3. Objetivos: General y Especifico	2
1.4. Justificación	2
Capítulo II: Marco Teórico	4
2.1. Antecedentes.....	4
2.2. Bases Teóricas	10
2.3. Hipótesis.....	20
2.4. Variables de estudio	20
Capítulo III: Metodología de la Investigación	22
3.1. Ambito de estudio	22
3.2. Tipo de Investigación	22
3.3. Nivel de Investigación	22
3.4. Método de Investigación	22
3.5. Diseño de Investigación.....	22
3.6. Población, Muestra y Muestreo.....	23
3.7. Técnica e Instrumentos de Recolección de datos.....	23
3.8. Procedimiento de Recolección de Datos	24
3.9. Técnica de Procesamiento y Análisis de Datos	27
Capítulo IV: Resultados.....	30
4.1. Presentación de Resultados	30
4.2. Discusiones	40
Conclusiones	43

Referencia bibliográfica	45
Artículo de Investigación Científica	49
Anexos.....	60
Gráficos, cuadros, imágenes.....	61



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 01. Composición nutricional de la mashua	13
Tabla 02. Composición química de la mashua	14
Tabla 03. Parámetros físicos y químicos de la mashua	15
Tabla 04. Definición operativa de las variables	21
Tabla 05. Tabla de análisis de varianza para un DBCA	27
Tabla 06. Distribución de tratamientos de estudio	28
Tabla 07. Datos para las cinéticas de reacción	28
Tabla 08. Orden de reacción	28
Tabla 09. Resultados de la Capacidad Antioxidante	30
Tabla 10. Análisis de varianza de la capacidad antioxidante (ABTS)	30
Tabla 11. Prueba de Tukey (5%) de la capacidad antioxidante (ABTS)	31
Tabla 12. Análisis de regresión lineal simple de la capacidad antioxidante (ABTS)	32
Tabla 13. Resultados de la Azúcares reductores	32
Tabla 14. Análisis de varianza de azúcares reductores	33
Tabla 15. Prueba de Tukey (5%) de azúcares reductores	34
Tabla 16. Análisis de regresión lineal simple de azúcares reductores	34
Tabla 17. Resultados de la Acidez	35
Tabla 18. Análisis de varianza de acidez (expresado en ácido ascórbico)	36
Tabla 19. Análisis de regresión lineal simple de acidez (en ácido ascórbico)	36
Tabla 20. Resultados de pH	37
Tabla 21. Análisis de varianza del pH	38
Tabla 22. Análisis de regresión lineal simple del pH	38
Tabla 23. Resultados de los °Brix (Sólidos solubles)	39

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 01. Pasos para determinación de la capacidad antioxidante por el radical ABTS ..	25
Figura 02. Gráfica de primer orden para capacidad antioxidante ($n = 1$).....	31
Figura 03. Gráfica de ecuación de segundo orden ($n = 2$) de los azúcares reductores.....	33
Figura 04. Gráfica de primer orden para acidez	35
Figura 05. Ecuación de primer orden ($n = 1$) que describe el comportamiento del pH.....	37
Figura 06. Ecuación de orden cero para el °Brix.....	39

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 01. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	25
---	----

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 01. Muestras de mashua negra soleadas.....	62
Fotografía 02. Medida de los grados brix de mashua negra soleadas	62
Fotografía 03. Medida del pH de las muestras de mashua negra soleadas	63
Fotografía 04. Caracterización de muestras de mashua negra soleadas.....	63
Fotografía 05. Extracción del zumo de mashua negra soleadas.....	64
Fotografía 06. Rotulado del zumo de mashua negra soleadas.....	64

RESUMEN

En esta investigación se evaluó el efecto del tiempo de soleado en la capacidad antioxidante, contenido de azúcares reductores, acidez, pH y grados brix de mashua (*Tropaeolum tuberosum*) ecotipo negra. Se usó un diseño completo al azar y se evaluó el orden de reacción ($n = 0, 1$ y 2). La capacidad antioxidante siguió una cinética de reacción de segundo orden con respecto al tiempo de soleado ($R^2 = 0.999$, $p = 0.001$) y del mismo modo, el contenido de azúcares reductores ($R^2 = 0.136$, $p = 0.136$). El tiempo de soleado redujo la capacidad antioxidante (de 138.78 a $41.69 \mu\text{mol Trolox equiv.g}^{-1}$ en base húmeda) y el contenido en azúcares reductores (de 11.7 a 8.84% en base húmeda) de la mashua negra. Tanto la acidez y el pH no mostraron un orden de reacción. El tiempo de soleado no influye significativamente ($p > 0.05$) en la acidez ni en el pH. Finalmente, los grados Brix se incrementan con el tiempo de soleado, siguiendo una reacción de orden cero ($R^2 = 0.9167$ y $p = 0.036$) en la mashua negra. El soleado de la mashua negra se usa con el fin de mejorar su sabor y palatabilidad; sin embargo, influye negativamente en su capacidad antioxidante.

Palabras clave: *Tropaeolum tuberosum*, mashua, Capacidad antioxidante, ABTS, azúcares reductores.

ABSTRACT

In this investigation it was evaluated the effect of sunny weather in the antioxidant capacity, content of reducing sugars, acidity, pH and degrees brix of mashua (*Tropaeolum tuberosum*) black ecotype. A complete random design was used and the order of reaction was evaluated ($n=0,1$ and 2). The antioxidant capacity followed a kinetics of reaction of second order with respect to the sunny weather ($R^2=0.999$, $p=0,001$) and in the same way, the content of reducing sugars ($R^2=0.136$, $p=0.136$). The time of sunny reduced the antioxidant capacity (of 138.78 to $41.69 \mu\text{mol Trolox equiv.g}^{-1}$ on wet basis) and the content in reducing sugars (of 11.7 a 884% in wet basis) of the black mashua. Both the acidity and the pH they did not show a reaction order. The time of sunny not influences significantly ($p > 0.05$) in the acidity or in the ph. Finally, the degrees brix is increased with time the sunny, following a reaction from order zero ($R^2=0.9167$ y $p=0.036$) in the mashua black. The sunny of the mashua black is used for the purpose from improve its taste and palatability; without embargo influences negatively in its antioxidant capacity.

Keyword: *Tropaeolum tuberosum*, mashua, capacity antioxidant, ABTS, sugars reducers.

INTRODUCCIÓN

Existe un creciente interés en el uso de antioxidantes para la prevención y el tratamiento de enfermedades, es por esto que juega un papel importante las dietas ricas en antioxidantes que previenen el desarrollo de algunas enfermedades patológicas.

Estudios anteriores y actuales indican que el tubérculo *Tropaeolum tuberosum* conocido como Mashua es una fuente importante de actividad antioxidante siendo comparado con frutas como la tuna y arándano que tiene un alto contenido de antioxidantes como flavonoides y polifenoles determinando por esto ser excelentes en términos de nutrición.

Es importante y ventajoso el secado en los alimentos porque reduce el contenido de humedad, previene el crecimiento de los microorganismos y minimizan las demás reacciones que la deterioran, además reduce el peso y en algunos casos el volumen lo que incluye una reducción importante en los costos de empaque, almacenamiento y transporte.

Los productos secos permiten además permanecer a temperatura ambiente por largos periodos de tiempo. Sin embargo, durante el proceso de los alimentos se debe tomar en cuenta la posible pérdida de actividad antioxidante, debido a su baja resistencia contra el oxígeno, catálisis ion de metal, temperaturas altas que degradan, luz, secado, grado higrométrico; por esta razón, se debe buscar parámetros óptimos de secado para minimizar la pérdida de estos compuestos bioactivos.

En consecuencia, la Mashua puede desempeñar un papel preponderante en el desarrollo sustentable del área alimenticia, implementándose procesos tecnológicos que sean aprovechados en beneficio y bienestar de nuestros pueblos.

CAPÍTULO I: PROBLEMA

1.1. Planteamiento del problema

Existe un creciente interés en el aprovechamiento de los antioxidantes de origen natural para la prevención y tratamiento de enfermedades, es por esto que juega un papel importante en las dietas ricas en azúcares y antioxidantes que previenen el desarrollo de algunas enfermedades patológicas.

Estudios anteriores y actuales indican que el tubérculo (*Tropaeolum tuberosum*) conocido como la mashua es una fuente importante de capacidad antioxidante siendo comparado con frutas como la tuna y arándano que tiene un alto contenido de antioxidantes como flavonoides y polifenoles determinando por esto ser excelente en términos de nutrición.

Así mismo la serranía de Acobamba en la región Huancavelica, cuenta con una amplia biodiversidad, razón por la cual es productora de mashua (*Tropaeolum tuberosum*), una planta que en los últimos años ha cobrado importancia en la agricultura de la región debido a las posibilidades agroindustriales y medicinales que posee. Por ello se ha ido incrementando su producción y demanda de la mashua, lo que motiva a los productores a expandir el campo agrícola de dicha planta.

La mashua contiene compuestos fotoquímicos, los mismos que son asociados a una capacidad antioxidante; que desempeña un papel muy importante en la nutrición humana debida a las actividades de captación de radicales libres, ya que se ha reportado evidencias cada vez más frecuentes, de enfermedades crónicas y degenerativas vinculadas al desorden alimenticio, hábito de tabaquismo, contaminación, estrés, poca actividad física, etc. Los mismos que incrementan la incidencia de radicales libres, quienes son los encargados de ocasionar el envejecimiento celular a consecuencia del daño oxidativo de los radicales libres sobre el organismo.

1.2. Formulación del problema

¿Cuál será el efecto del tiempo de soleado en la capacidad antioxidante, concentración de azúcares reductores, acidez, pH y grados brix de la mashua (*Tropaeolum tuberosum*)?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Evaluar el efecto del tiempo de soleado en la capacidad antioxidante, concentración de azúcares reductores, acidez, pH y grados brix de la mashua (*Tropaeolum tuberosum*).

1.3.2. Objetivo Especifico

- Evaluar el efecto del tiempo de soleado en la capacidad antioxidante, concentración de azúcares reductores de la mashua (*Tropaeolum tuberosum*).
- Evaluar el efecto del tiempo de soleado en la acidez, pH y grados brix de la mashua (*Tropaeolum tuberosum*)

1.4. Justificación e importancia

El valor teórico del presente trabajo de investigación se ampara en la ausencia de un conocimiento sobre el efecto del tiempo de soleado en la capacidad antioxidante, concentración de azúcares reductores, acidez, pH y grados brix de la mashua (*Tropaeolum tuberosum*). El soleado (deshidratado directo al sol) permiten controlar la temperatura de la mashua, por largos periodos de tiempo. Sin embargo durante el proceso de los alimentos se debe tomar en cuenta la posible pérdida de capacidad antioxidante debido a su baja resistencia contra el oxígeno, catálisis ion de metal, temperaturas altas que degradan al producto mediante la luz solar, secado, grado higrométrico; por esta razón, se debe buscar parámetros óptimos de secado para minimizar la pérdida de estos compuestos bioactivos.

Es importante y ventajoso el soleado en los alimentos porque reduce el contenido de humedad, previene el crecimiento de los microorganismos y minimizan las demás reacciones que la deterioran, además reduce el peso y en algunos casos el volumen lo

que incluye una reducción importante en los costos de empaque, almacenamiento y transporte¹.

La aplicación práctica de esta investigación se enfoca en la mashua (*Tropaeolum tuberosum*), que es un producto con deficiente difusión en nuestra región, es una excelente alternativa para elaborar subproductos y/o derivados con carácter funcional, con ello incrementar la presencia de este tipo de productos en el mercado local. Para proporcionar al consumidor una gamma de alternativas para la prevención de distintas enfermedades.

En tal sentido es necesario estudiar el efecto que podría causar el soleado sobre la concentración de azúcares reductores de la mashua (*Tropaeolum tuberosum*); que servirá para su conocimiento y su posible industrialización tanto como materia prima en la industria alimentaria y nutraceuticas.

El gran potencial, y excelente capacidad antioxidante, el cual es valioso debido a que puede ayudar a las personas que las consumen a combatir enfermedades crónicas provocadas por una reacción de radicales libres o especies reactivas del oxígeno, nitrógeno o hierro. Los radicales libres, son perjudiciales para el organismo, desencadenando un fenómeno conocido como estrés oxidativo. Dicho fenómeno ha sido recientemente asociado a enfermedades tales como el cáncer, además de algunas enfermedades cardiovasculares, debido al mecanismo de peroxidación lipídica, daño al DNA y proteínas, etc.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del estudio

Según Cárdenas ², la región de los andes es el único lugar donde se han domesticado tubérculos para la alimentación humana. Además de las desconocidas especies del género *solanum*, se logró la domesticación de un grupo de especies que han sido menos estudiados. La domesticación de oca, ulluco y mashua es muy antigua, como lo evidencian las representaciones cerámicas. La oca fue la primera en ser domesticada y luego siguieron el ulluco y finalmente la mashua.

Johns y Towers³ realizaron el análisis de los isotiocianatos derivados de la hidrólisis enzimática de los extractos de glucosinolato de (*Tropaeolum tuberosum*) apoya la evaluación de dos sub especies. Las semillas, tubérculos, hojas y flores de (*Tropaeolum tuberosum*) sub sp, produjeron isotiocianato de p-metoxibencilo. La sub especie silvestre produjo isotiocianatos de bencilo, 2-propilo y 2-butilo. Se detectó N, N-Di (4-metoxibencil) tiourea en extractos de tubérculos de sub sp, (*Tropaeolum tuberosum*) por cromatografía líquida de alta performance (HPLC).

Cuatro especies de tubérculos comestibles endémicos y domesticados en los Andes, papa nativa (*Solanum sp.*), mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz & Pavón), oca (*Oxalis tuberosa* Molina) y ulluco (*Ullucus tuberosum* Caldas), fueron estudiados por Campos *et al.*⁴ por su actividad antioxidante y metabolitos secundarios asociados. La capacidad antioxidante fue medida con el ensayo ABTS y el contenido de fenoles totales, carotenoides, antocianinas, betaxantinas y betacianina también fueron caracterizados. La capacidad antioxidante encontrada en los cultivos estudiados fue de 483 a 9800 µg trolox equiv.g⁻¹, el contenido de fenoles estuvo en el rango de 0.41 a 3.37 mg ácido clorogénico equiv.g⁻¹, el contenido de antocianinas estuvo en un rango de 0.08 a 2.05 mg cianidina 3 glucósido g⁻¹ y el contenido de carotenoides estuvo en un rango de 1 a 25 µg β-caroteno

g⁻¹. El contenido de compuestos bioactivos fue alto y variable entre los cultivos y dentro de los genotipos estudiados. En general, el tubérculo de la mashua mostró la mayor capacidad antioxidante y contenido fenólico, antociánico y carotenoide en comparación con otros cultivos. El olluco fue el único cultivo que contenía betalaínas en forma ácida de betaxantinas (22–96 µg.g⁻¹) y betacianinas (64 µg.g⁻¹) sin presencia de carotenoides o antocianinas.

Esta fue la primera publicación sobre la capacidad antioxidante de los metabolitos secundarios asociados en los tubérculos andinos. Esta información puede ser útil en la identificación de especies y genotipos de tubérculos andinos con valor potencial como una nueva fuente dietética de antioxidantes para alimentos y también para uso medicinal.

Chirinos *et al.*⁵ describe la mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz & Pavón), como un tubérculo andino con una alta actividad antioxidante, que ha despertado el interés debido a su uso en medicina tradicional. Ellos evaluaron la composición antociánica para tres genotipos de mashua morada y su contribución a la actividad antioxidante total del tubérculo. El contenido de antocianinas en mashua fue de 45.5 a 131.9 mg de cianidina 3-glucósido equivalentes/100 g en base húmeda, el contenido de fenoles totales estuvo en un rango de 174.9 a 275.5 mg de ácido gálico equivalentes/100 g en base húmeda, y el ensayo de 2,2'-azinobis (3-etilbenzotiazolina-6-ácido sulfónico) (ABTS) presentó una actividad antioxidante en un rango de 16.2 a 45.7 µmol equivalente de Trolox /g en base húmeda. La cromatografía líquida de alta performance con detector de arreglo de fotodiodos (HPLC-DAD) y HPLC-ionización por electros espectrometría de masas (ESI/MS-MS) revelaron en sus perfiles cromatográficos la presencia de 11 diferentes antocianinas. Los dos mayores pigmentos (56.4–73.0% del área a 520 nm) fueron identificados como delfinidina 3-glucósido-5-acetilrhamnosido y delfinidina 3-sophorosido-5-acetilrhamnosido. Otros pigmentos fueron delfinidina 3-glucósido-5-rhamnosido, delfinidina 3-sophorosido-5-rhamnosido, delfinidina 3-glucósido, cianidina 3-sophorosido, y cianidina 3-sophorosido-5-rhamnosido. La cianidina 3-glucósido y cianidina 3-rutinosido fueron encontradas sólo en dos genotipos, mientras que la pelargonidina 3-sophorosido y

pelargonidina 3-sophorosido-5-ramnosido fueron solo encontrados en uno de los tres genotipos. Las antocianinas de mashua contribuyeron en mayor proporción al valor de ABTS para solo uno de los tres genotipos, lo que sugiere que otros compuestos fenólicos presentes están desempeñando un papel importante en el poder antioxidante de los tubérculos de mashua. Los resultados de este estudio proporcionan información importante para el mercado de Alimentos Nutracéuticos y Funcionales para el uso de las antocianinas mashua no sólo como fuente de colorantes naturales, sino también como una fuente de fitonutrientes.

Chirinos *et al.*⁶ determinaron en diferentes etapas de maduración el total de compuestos fenólicos, antocianinas, flavan 3-oles, carotenoides y capacidad antioxidante de mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz & Pavón) de los tubérculos de 10 cultivares amarillos y morados (de 5 a 7.5 meses después de la plantación) y períodos de almacenamiento después de la cosecha (de 7 a 35 días). Tanto la capacidad antioxidante (ensayos ORAC y ABTS) como el contenido de los compuestos bioactivos probados variaron notablemente entre los cultivares. Las variedades púrpuras alcanzaron la mayor capacidad antioxidante durante el desarrollo del tubérculo (271–446 μmol Trolox equiv g⁻¹ DM, en el ensayo ORAC). La cinética de acumulación o desaparición de los compuestos bioactivos ensayados durante la maduración dependía tanto del cultivar como del compuesto considerado. Para las antocianinas, hubo un marcado aumento durante la maduración en todos los cultivares púrpura. Durante el período de almacenamiento después de la cosecha, los cambios en la capacidad antioxidante (ensayo ABTS) y el contenido de los compuestos bioactivos probados también variaron entre los cultivares. Se observó una marcada disminución de las antocianinas en los cultivares que contienen antocianina. En general, la correlación entre la capacidad antioxidante y el contenido de compuestos bioactivos varió notablemente entre los cultivares. La capacidad antioxidante en variedades púrpura se correlacionó con fenoles totales o 3-ol de flavan, mientras que sólo en algunas variedades amarillas la capacidad antioxidante se correlacionó con compuestos fenólicos totales.

Chirinos *et al.*⁷ determinaron las condiciones óptimas para la extracción de compuestos fenólicos, antocianinas, flavonoles y actividad antioxidante (ORAC) para dos genotipos mashua usando el método convencional líquido-sólido. Los contenidos fenólicos y la actividad antioxidante se vieron afectados por el tipo de disolvente, el nivel de pH, la relación solvente-agua y el tiempo de extracción. En general, no se observaron diferencias significativas en la recuperación fenólica total y los valores de ORAC cuando se utilizaron metanol al 90% o metanol / acetona / agua (45/45/10), ambos con HCl al 0,1%. Por el contrario, la solución de metanol al 90% con HCl al 0,1% extrajo el nivel más alto de antocianinas, mientras que la mezcla de disolventes extrajo el nivel más alto de flavonoles. Los extractos purificados de los genotipos de mashua presentaron contenidos fenólicos totales y ORAC dentro de los intervalos 14,4-18,7 mg de equivalentes de ácido gálico / g de materia seca de mashua (DM) y 221-359 μ mol de equivalentes de trolox / g de mashua DM, respectivamente. Los perfiles fenólicos de HPLC-DAD obtenidos para los extractos fenólicos purificados para ambos genotipos mashua mostraron diferencias en proporciones (% área total a 280 y 520 nm) dependiendo de los disolventes seleccionados en este estudio. El alto contenido de compuestos fenólicos y la actividad antioxidante encontrados en los extractos purificados para ambos genotipos mashua indicaron que los extractos de mashua podrían ser considerados como una fuente potencial de nutraceuticos en el futuro.

Chirinos *et al.*⁸ realizaron una cromatografía líquida de alta resolución cualitativa con detección de diodos (HPLC-DAD) para caracterizar compuestos fenólicos de no antocianicos en tres genotipos mashua de diferentes colores. También evaluaron la actividad antioxidante (método ORAC) en los tubérculos relacionados con el tipo de compuestos fenólicos presentes. Los compuestos fenólicos se analizaron separándolos en cuatro fracciones principales: la fracción I se obtuvo por medio de una separación líquido-líquido con acetato de etilo y las fracciones II, III y IV se obtuvieron por elución en una columna Sephadex LH-20. La fracción I reveló la presencia de ácido gálico, galocatequina, procianidina B₂ y epigallocatequina. Otros compuestos fenólicos tales

como derivados de ácido hidroxi- cinámico e hidroxibenzoico, derivados de rutina y / o de miricetina también estaban presentes en la fracción I. La fracción II estaba compuesta principalmente por derivados de epicatequina, hidroxicinámico e hidroxibenzoico. La fracción III presentó principalmente antocianinas para los tubérculos mashua de color púrpura y rutina, ácido hidroxicinámico y derivados del ácido hidroxibenzoico para el genotipo de color amarillo. La fracción IV estaba compuesta de proantocianidinas. La hidrólisis alcalina y ácida de las diferentes fracciones reveló la presencia de galocatequina, epicatequina, ácido p-cumárico, ácido o-cumárico, ácido cinámico, ácido protocatequídico, rutina y quercetina como los principales restos fenólicos presentes. Las fracciones de proantocianidina fueron los principales contribuyentes a la actividad antioxidante ORAC de los tubérculos mashua para dos de los tres genotipos (34,7-39,2%). Los resultados obtenidos en el presente estudio confirman que los tubérculos de mashua constituyen una fuente prometedora de compuestos fenólicos antioxidantes y potencialmente podrían ser considerados como un alimento funcional con efectos benéficos para la salud.

Chirinos *et al.*⁹ ensayaron extractos de mashua purificados (PME) de cuatro genotipos de mashua de diferentes colores para la prevención del daño oxidativo. Se hicieron tres ensayos in vitro para daño oxidativo a estructuras biológicas ricas en ácidos grasos poliinsaturados (PUFA), tales como lipoproteínas de baja densidad (LDL) y eritrocitos: ensayo con sustancias reactivas al ácido tiobarbitúrico (TBARS) inducido por 2,20-azobis (2-amidinopropane) dihydrochloride (AAPH) y ensayo de dienos conjugados inducido por Cu^{2+} para la oxidación de LDL y hemólisis oxidativa inducida por 2,20-azobis (2-amidinopropane) dihydrochloride (AAPH) de eritrocitos. Además, se evaluó la capacidad antioxidante usando el ensayo Capacidad de absorción de radicales de oxígeno (ORAC), los compuestos fenólicos totales (TP), los flavonoides totales (TFA) y las antocianinas totales (TA). En presencia de 5 μM de equivalentes de ácido gálico (GAE), las inhibiciones de oxidación de LDL para el extracto de mashua purificado (PME) oscilaron entre 29,1% a 34,8% y de 51,8% a 58,1% cuando se realizaron los ensayos TBARS y

dienos conjugados, respectivamente. El PME inhibió la hemólisis de los eritrocitos dentro del rango 20,8-25,1%. Así, los extractos fenólicos de mashua son capaces de eliminar radicales peroxilo, así como que los iones de metal redox *in vitro*. La protección de ORAC y LDL (TBARS y ensayos de dienos conjugados) mostró buenas correlaciones con TP y TFA, lo que sugiere que estos compuestos tienen una buena capacidad para proteger las moléculas de LDL en las condiciones empleadas. Por el contrario, la inhibición de la hemólisis no mostró ninguna correlación con los ensayos fenólicos evaluados (TP, TA, TFA) o con cualquiera de los ensayos LDL oxidativos evaluados, lo que sugiere una acción específica de algunos compuestos no evaluados presentes en la PME. Los resultados de este estudio indican que los extractos de polifenoles de mashua mostraron buenas propiedades antioxidantes contra el daño oxidativo en estructuras biológicas ricas en PUFA. Las propiedades antioxidantes mostradas podrían aplicarse en el campo de la industria alimentaria o cosmética.

Chirinos *et al.*¹⁰ realizaron la determinación de los compuestos fenólicos totales (TPC) y las actividades antioxidantes utilizando diferentes ensayos (DPPH, ABTS y ORAC) en frutos, granos, hojas, semillas, raíces y tubérculos de 27 plantas andinas peruanas diferentes utilizadas en medicina popular y / o como alimento por la población nativa. Hicieron esta evaluación con el fin de utilizar estos como compuestos antioxidantes naturales. También determinaron flavonoides totales (TFA), flavonoides totales (TFO) y antocianinas totales (TA). En general, las muestras con los valores más altos de TPC tuvieron las mayores actividades antioxidantes. (P. Ej., *Tropaeolum tuberosum*) y semillas (p. Ej., *Lupinus mutabilis*) provocaron atención debido a su alto TPC (por ejemplo, *Alnus acuminado*, *Clinopodium bolivianum*, *Lepechinia meyenii* (Walp) y *Mutisia acuminata*) y sus actividades antioxidantes. Los resultados de este estudio ponen en relieve la biodiversidad de la Región Andina del Perú, donde crecen plantas con altas TPC y propiedades antioxidantes. Por lo tanto, estas plantas pueden ser consideradas como fuentes prometedoras de fitoquímicos antioxidantes.

Ayala y Amílcar¹¹ evaluaron la pérdida de capacidad antioxidante hidrofílico de la mashua cultivar “zapallo amarillo”, posterior al secado en tipo de bandeja y por atomización. Para evaluar la pérdida de capacidad antioxidante hidrofilia de las rodajas de Mashua “cultivar zapallo amarillo” de 2 mm de espesor fueron sometidas al secado en tipo bandeja a tres temperaturas de trabajo 40°C, 50°C y 60°C y velocidad de aire constante de 1,4m/s. De acuerdo a los métodos estadísticos aplicados, mediante el diseño completo al azar (DCA). El análisis de varianza (ANVA) con un nivel de significación de $p < 0,05$; indica que existe alta significación entre los tres niveles de temperatura sobre la pérdida de capacidad antioxidante hidrofilia correspondiente al tratamiento para 40°C. Con respecto al secado por atomización con tres factores, cada factor con dos niveles: encapsulante 10% y 15%, temperatura 160°C y 180°C y velocidad del atomizador 30000 rpm y 35000 rpm y con un promedio de alimentación constante de 12,5 ml/min. De acuerdo a los métodos estadísticos aplicados, indica que existe alta significación entre los niveles de encapsulante, temperatura y velocidad del atomizador, sobre la pérdida de actividad antioxidante hidrofílica. Resultando la mayor retención correspondientes con los siguientes niveles: encapsulante 10%; temperatura entre 160°C y velocidad del atomizador de 30000 rpm. El método de secado por atomización resulto con mayor retención de la actividad antioxidante hidrofílica en contraste con el método de secado en bandeja que dio la menor retención. Estos resultados, podrían ser útiles para valorar el efecto de los métodos de secado y que sus efectos benéficos podrían ser interesantes para la industria alimentaria.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Mashua (*Tropaeolum tuberosum*)

a. Aspectos Generales

La mashua (*Tropaeolum tuberosum*), es uno de los tubérculos más importantes después de la papa, olluco y oca; se cultiva en los valles húmedos de la zona andina de Perú, Colombia, Argentina, Ecuador y Bolivia. La planta es hereditaria de la

Meseta Peruano-Boliviano. Ahora puede encontrarse en lugares como Canadá, Europa y Nueva Zelanda¹².

Entre los tubérculos andinos, la mashua es de mayor rendimiento, se encuentra entre 9 y 70 TM/ha. Crece en alturas de 3000 a 3900 msnm, pero la planta produce sus mejores cosechas y alto rendimiento entre 3500 y 3800 msnm, así mismo los rendimientos de la mashua supera a la papa de dos por uno y crece en suelos pobres y sin fertilizantes¹³.

b. Descripción taxonómica

La clasificación taxonómica de la mashua (*Tropaeolum tuberosum*) es como sigue:

Reino	Vegetal
División	Espermatofita
Subdivisión	Angiospermas
Clase	Dicotiledóneas
Súper orden	Dicifloras
Orden	Geraniales (Gruinales)
Suborden	Geraniínes
Familia	Tropaeolaceae
Género	Tropaeolum
Especie	<i>Tropaeolum tuberosum</i>
Nombres comunes	Isaño, aña, apiña, anyu

Fuente: Tapia¹⁴.

c. Descripción botánica

Según Tapia¹⁴, la mashua es una planta herbácea de 20 a 80 cm de alto, de tallos aéreos, cilíndricos y delgados de 2 a 4 mm de diámetro, ramificados de color púrpura. Tiene hojas de color verde oscuro brillante en el haz y verde claro en el envés, las flores son solitarias de diferentes colores que van de anaranjadas o rojizas Las flores son bisexuales tienen matices que van del naranja al escarlata y es polinizada por insectos y por pájaros.

d. Variedades nativas

Existen más de 100 variedades que han sido reconocidos actualmente. No existen estudios profundos sobre la variación en (*Tropaeolum tuberosum*) algunos autores los clasifican de acuerdo al tipo y distribución de colores ¹⁵. Según Delgado¹⁶, menciona que, a los clones y/o ecotipos de mashua lo diferencian de acuerdo al color del tubérculo en idioma quechua:

- Occe aña : Plomizo
- Yana aña : Negruzco
- Puca aña : Rojizo
- Muru aña : Morado
- Chchece aña: Gris
- Zapallo aña : Amarillo
- Yurac aña : Blanco

Existe gran variabilidad de ecotipos en cuanto a la forma y coloración, siendo los más cultivados los ecotipos “Kello”, “Yana Ñawi”, “Zapallo Amarillo” y en menor proporción el “Cheqchi” ¹⁷.

e. Usos

Más allá de su utilidad como repelentes de muchos insectos, nematodos y otros patógenos. La mashua se destina una cierta cantidad para el consumo animal y otra cantidad se destina para el consumo humano, y se utiliza como ingredientes en sopas, guisos, encurtidos, mermelada, postres, néctares, harinas, etc.¹⁸.

Por su valor diurético y nutritivo es consumida con agrado por adultos y niños del área rural sancochada en una pachamanca, o en el horno, adquiere un sabor especial semejante al camote ¹⁹.

Actualmente la mashua es muy escasa debido a que tiene poco valor comercial, ya que no es muy apetecido por el hombre porque tiene un sabor picante cuando está cruda, debido a los isotiocianatos (aceite de mostaza); en cocido pierde esta característica, pero aún es rechazada por las personas de sexo masculino porque se

dice que es anafrodisiaco; aunque estudios realizados en ratas muestran que no afecta la fertilidad sin embargo hay un descenso en los niveles de testosterona¹⁶.

f. Valor nutritivo

La mashua es muy nutritiva y contiene cerca de 20% de sólido y proteína alrededor de 16% en materia seca, y que podría ser usada como alimento de cerdos y terneros, y que podría volverse un alimento valioso y barato debido a su alto rendimiento. Sin embargo, la proteína es altamente variable, dependiendo mucho de la variedad¹³.

La mashua contiene una cantidad elevada de aminoácidos esenciales como lisina, aminoácido limitante en muchos cereales y leguminosas²⁰.

Tabla 01. Composición nutricional de la mashua (*Tropaeolum tuberosum*).

Factor Nutricional	Contenido g/100 g
Humedad (%)	86
Carbohidratos (g)	11
Proteínas (g)	1.6
Grasa (g)	0.6
Cenizas (g)	0.8
Fibras (g)	0.8
Fósforo (mg)	42
Calcio (mg)	7
Hierro (mg)	1.2
Vitamina A (mg)	15
Tiamina (mg)	0.06
Riboflavina (mg)	0.08
Niacina (mg)	0.6
Vitamina C (mg)	67

Fuente: Meza *et al.*²¹.

2.2.2. Composición química y nutricional de la Mashua

La Mashua es muy nutritiva contiene cerca de 20% de sólido y proteína alrededor de 16% en materia seca, es un alimento valioso y barato debido a su alto rendimiento. Sin embargo, la proteína es altamente variable, dependiendo mucho de la variedad¹³. La Mashua contiene unas cantidades elevadas de aminoácidos esenciales como lisina, aminoácido limitante en muchos cereales y leguminosos. La Mashua cuyo nombre botánico es (*Tropaelum tuberosum*) presenta la composición química que se indica en el cuadro:

Tabla 02. Composición química de la mashua.

Componentes	Base húmeda		Base seca
	Promedio (1)	Promedio (2)	Promedio (3)
Humedad (%)	87.4	86	-
Carbohidratos (g)	9.8	11	-
Proteínas (g)	1.5	1.6	11.4
Grasas (g)	0.7	0.6	4.3
Ceniza (g)	0.6	0.8	5.7
Fibra (g)	0.9	0.8	-
Azúcares (g)	7.35	-	-
Potasio (mg)	1.52	-	-
Fósforo (g)	29	42	300
Calcio (mg)	12	7	50
Hierro (mg)	1	1.2	8.6
Vitaminas A (mg)	-	1.5	214
Tiamina (mg)	0.1	0.06	0.46
Riboflavina (mg)	0.12	0.08	0.57
Niacina (mg)	0.67	0.6	4.3
Vitamina C (mg)	77.5	67	476

(1) Tapia¹⁴.

(2) Meza *et al.*²¹

(3) National Reasearch Council¹³.

Debido a la cantidad de agua variable entre especies, 86% y 92%, es necesario expresar los valores en base a la materia seca o presentar de manera simultánea el contenido de humedad. Es importante señalar que otros factores aparte de la variabilidad genética como son las prácticas culturales, el clima y el tipo de suelo, pueden influir en las características del material en estudio.

Tabla 03. Parámetros físicos y químicos de la mashua.

Parámetros	Base húmeda (bh)	Base seca (bs)
	$\bar{x} \pm DS$	$\bar{x} \pm DS$
Ácido ascórbico	55.97 ± 0.198	470.35 ± 16.639
Azúcares reductores	7.2 ± 0.24	60.5 ± 1.332
pH	6.22	
Sólidos solubles	8.5	

$\bar{x}$ = promedio, DS = desviación estándar.

En este cuadro, se observa el contenido de Vitamina C (ácido ascórbico) con un valor promedio de $55.97 - 0.198$ mg/100 g (bh) para la mashua que contiene valores por encima de la oca (38,4); arracacha (27,1); papa blanca (14,0); camote morado (13,6); camote blanco (12,9); olluco (11,5); papa amarilla (9,0) y maca (2,5). Todos expresados en mg/100 g de los tubérculos, expresado en base húmeda, tal como lo reporta Collazos et al.²². Otros resultados como el contenido de sólidos solubles, expresados en grados Brix (8,5) y de azúcares reductores expresado en base húmeda para la mashua “zapallo amarillo” ($7.2\% - 0.24$); estos se encuentran dentro del rango ($1.73\% - 13.48\%$) reportado para la mashua por Brito y Espín²³.

Reinoso *et al.* (1997) citado por Sarmiento ²⁴ menciona que, el contenido de sólidos solubles de 8 grados Brix y de azúcares reductores 5.7% (bh) lo hace propicio para las operaciones de concentración y secado de colorante.

2.2.3. Azúcares reductores

Aguirre-Obando y Morales-Álvarez²⁵ señalan que, los azúcares reductores son aquellos azúcares que poseen su grupo carbonilo (grupo funcional) intacto, y que a través del mismo pueden reaccionar como reductores con otras moléculas.

Todos los disacáridos son azúcares reductores, ya que al menos tienen un -OH hemiacetálico libre (grupo -OH adyacente al enlace del oxígeno), por lo que dan positivo a la reacción con reactivo de Fehling, a la reacción con reactivo de Tollens, a la Reacción de Maillard y la Reacción de Benedict. Otras formas de decir que son reductores es decir que presentan equilibrio con la forma abierta, presentan mutarrotación (cambio espontáneo entre las dos formas cicladas α (alfa) y β (beta)), o decir que forma osazonas. Los azúcares reductores provocan la alteración de las proteínas mediante la reacción de glucosilación no enzimática también denominada reacción de Maillard o glicación. Esta reacción se produce en varias etapas: las iniciales son reversibles y se completan en tiempos relativamente cortos, mientras que las posteriores transcurren más lentamente y son irreversibles. Se postula que tanto las etapas iniciales como las finales de la glucosilación están implicadas en los procesos de envejecimiento celular y en el desarrollo de las complicaciones crónicas de la diabetes.

La glucosa es el azúcar reductor más abundante en el organismo. Su concentración en la sangre está sometida a un cuidadoso mecanismo de regulación en individuos sanos y, en personas que padecen diabetes, aumenta sustancialmente. Esto lleva a que éste sea el azúcar reductor generalmente considerado en las reacciones de glucosilación no enzimática de interés biológico. Sin embargo, cualquier azúcar que posea un grupo carbonilo libre puede reaccionar con los grupos amino primarios de las proteínas para formar bases de Schiff.

La reactividad de los distintos azúcares está dada por la disponibilidad de su grupo carbonilo. Se sabe que la forma abierta o extendida de los azúcares no es muy estable, a tal punto que, por ejemplo, en la glucosa representa sólo el 0,002 %. Las moléculas de azúcar consiguen estabilizarse a través de un equilibrio entre dicha forma abierta y por lo menos dos formas cerradas (anómeros cíclicos) en las que el grupo carbonilo ha

desaparecido. En 1953, el grupo de Aaron Katchalsky, en el entonces recientemente creado Instituto Weizmann de Israel, demostró que existe una correlación entre la velocidad de la reacción de glicación y la proporción de la forma abierta de cada azúcar²⁶.

De hecho, los azúcares fosfato, que son azúcares reductores de gran importancia en el interior celular, poseen mayor capacidad glucosilante que la glucosa dada su mayor proporción de forma carbonílica (abierta). La sacarosa es un disacárido que no posee carbonos anoméricos libres por lo que carece de poder reductor y la reacción con el licor de Fehling es negativa.

Los azúcares reductores que más favorecen la reacción de Maillard son, en primer término, las pentosas, y en segundo las hexosas; asimismo, las aldosas actúan más fácilmente que las cetosas, y los monosacáridos son más efectivos que los disacáridos. De acuerdo con ello y en términos generales, la xilosa es el azúcar más activo, seguido de la galactosa, la glucosa, la fructosa, la lactosa y la maltosa; por su parte, la sacarosa, que carece de poder reductor, interviene sólo si se hidroliza previamente, lo cual es muy sencillo. Este ordenamiento no es estricto, ya que en sistemas específicos, como el freído de papas, la fructosa es más activa que la glucosa ^{27, 28} y en otros esta situación se invierte. Los ácidos nucleicos también intervienen, porque contienen ribosa altamente reactiva. En los sistemas modelo de caseína se ha demostrado que esta transformación se lleva a cabo a diferentes velocidades, de acuerdo con el azúcar que se emplea²⁹.

2.2.4. Antioxidantes

Un antioxidante es una molécula capaz de retardar o prevenir la oxidación de otras moléculas. La oxidación es una reacción química de transferencia de electrones de una sustancia a un agente oxidante. Las reacciones de oxidación pueden producir radicales libres que comienzan reacciones en cadena que dañan las células. Los antioxidantes terminan estas reacciones quitando intermedios del radical libre e inhiben otras reacciones de oxidación oxidándose ellos mismos²¹.

2.2.5. Conceptos básicos de cinética química

Avery³⁰ señala lo siguiente:

Cinética Química. Es el estudio de las velocidades y mecanismos de las reacciones químicas.

Velocidad de reacción: Es una medida de la rapidez con la que se forman los productos o se consumen los reactivos.

Mecanismo de reacción: Es la secuencia detallada de los pasos simples, elementales, que van desde los reactivos a los productos.

a) Reacciones de orden cero: En este caso la velocidad de formación del producto viene dada por una ecuación del tipo:

$$\frac{dP}{dt} = k$$

Cuya integración conduce a:

$$[P] = [P]_0 + kt$$

Y por tanto, a una variación lineal de la concentración con el tiempo. Las reacciones de orden cero se encuentran frecuentemente en catálisis heterogénea, cuando la reacción se lleva a cabo sobre una superficie saturada de reactivo. Y en reacciones catalizadas con suficiente exceso de sustrato para saturar el catalizador.

b) Reacciones de primer orden: Corresponden a procesos elementales unimoleculares:



La ley de velocidad es del tipo:

$$\frac{d[A]}{dt} = -k[A]$$

La integración de esta ecuación conduce a una expresión logarítmica:

$$\ln[A] = \ln[A]_0 - kt$$

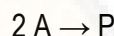
Representando $\ln [A]$ frente al tiempo se obtiene una recta de pendiente igual a $-k$ y con ordenada en el origen igual a $\ln [A]_0$. En procesos gobernados por leyes de

primer orden la concentración de reactivo, A, disminuye exponencialmente y, de manera simultánea, la concentración de producto aumenta también exponencialmente:

$$[A] = [A]_0 \cdot e^{-kt}$$

c) Reacciones de segundo orden: Pueden darse dos casos, dependiendo de que la ecuación de velocidad sea función de la concentración de un solo reactivo o de dos.

i. El primer caso corresponde a una reacción elemental del tipo:



Que podrá describirse mediante la ecuación de velocidad de segundo orden siguiente:

$$\frac{d[A]}{dt} = -k \cdot [A]^2$$

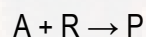
La integración de esta ley de velocidad conduce a:

$$\frac{1}{[A]} = kt + \frac{1}{[A]_0}$$

Por tanto, la representación de $1/[A]$ frente al tiempo da lugar a una recta de pendiente k y ordenada en el origen $1/[A]_0$. La concentración de A experimenta una variación hiperbólica con el tiempo:

$$[A] = \frac{[A]_0}{(1 + [A]_0 \cdot k \cdot t)}$$

ii. El otro tipo de reacción de segundo orden viene representado por el proceso elemental:



Que está gobernado por la ecuación de velocidad:

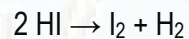
$$\frac{d[A]}{dt} = -k \cdot [A] \cdot [R]$$

Si llamamos x a la concentración de A que ha reaccionado en el tiempo t , la ley de velocidad integrada será:

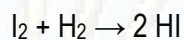
$$\frac{1}{[R]_0 - [A]_0} \ln \left[\frac{[R]_0([A]_0 - x)}{[A]_0([R]_0 - x)} \right] = -k \cdot t$$

Algunos ejemplos de reacciones de segundo orden son:

- Disociación del ácido iodhídrico:



- Síntesis del ácido iodhídrico:



- Hidrólisis de un éster:



2.3. Hipótesis

Existe efecto del tiempo de soleado en la capacidad antioxidante, concentración de azúcares reductores y características fisicoquímica.

2.4. Identificación de variables

2.4.1. Independiente

Tiempo de soleado: 5, 10 y 15 días.

2.4.2. Dependiente

- Capacidad antioxidante.
- Concentración de azúcares totales.
- Características fisicoquímicas (Acidez, pH y °Brix).

2.5. Definición operativa de variables e indicadores

Tabla 04. Definición operativa de las variables.

Definición de variables	Definición operativa	Indicadores	Unidad
Tiempo de soleado	Independiente	Tiempo	Días
Capacidad antioxidante	Dependiente	% de inhibición de radicales libres – ABTS	μmol equiv. Trolox/g
Azúcares reductores	Dependiente	Contenido de azúcares reductores	mg/l
Acidez (en ácido ascórbico)	Dependiente	Contenido de ácido ascórbico	mg/l
pH	Dependiente	Escala pH	Adimensional
Grados °Brix	Dependiente	Sólidos solubles expresados en % de sacarosa	°Brix

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Ámbito de estudio

La recolección de un ecotipo (negro) de mashua se realizará en el distrito de Paucará de la provincia de Acobamba - Huancavelica, los análisis de las muestras para evaluar la concentración de azúcares, capacidad antioxidante y la determinación de los análisis fisicoquímicos presentes en una variedad de mashua, se realizaran en la UNH y la UNALM.

3.2. Tipo de estudio

La presente investigación es de tipo aplicada, ya que, buscó la aplicación o utilización de los conocimientos adquiridos, a la vez que se adquieren otros, después de implementar y sistematizar la práctica basada en investigación³¹.

3.3. Nivel de investigación

El nivel de investigación en el presente trabajo fue experimental ya que, se manipularon las diferentes variables independientes y se observó su efecto en variables de respuesta³¹.

3.4. Método de investigación

El método que se aplicará en el presente trabajo será el hipotético - deductivo, se analizará la concentración de azúcares y la capacidad antioxidante de ecotipo negro de mashua y posteriormente se realizará los análisis fisicoquímica de la mashua³².

3.5. Diseño de investigación

Se aplicó el diseño de bloques completamente al azar (DBCA), Campos ³³ con tres repeticiones, evaluando la concentración de azúcares reductores, la capacidad antioxidante y las características fisicoquímicas de la mashua. Para la comparación de medias se empleará la prueba de tukey al 5% de nivel de significación. Los datos obtenidos serán analizados mediante el programa Minitab V. 16. Además se hizo un

análisis correlación lineal ³³ para determinar la relación entre las variables independientes y dependientes estudiadas mediante un diseño correlacional.

3.6. Población, muestra y muestreo

3.6.1. Población

La población está conformada por la producción de mashua del distrito de Paucará, provincia de Acobamba, Huancavelica.

3.6.2. Cantidad de Muestra

La muestra estuvo constituida por 50 kg de mashua de ecotipo negra proveniente del distrito de Paucará, Acobamba, Huancavelica.

3.6.3. Muestreo

Se realizó el tipo de muestreo al azar.

3.7. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Cuadro 01. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.

Técnicas	Instrumentos	Recolección de datos
Observación directa	Ficha de observación, libretas de campo.	Estado de madurez del ecotipo de mashua (negro)
Mediciones	Balanza digital, refractómetro, pH metro, etc.	Mashua ecotipo negro Índice de madurez, pH y acidez.
Recolección de información	Revisión bibliográfica de libros, impresos y virtuales.	Referencias bibliográficas del ecotipo de mashua negra.
Evaluación de la concentración de azúcares totales	Método espectrofotometría	Determinación de concentración de Azúcares totales de la mashua negra.
Evaluación de la capacidad antioxidante	Método ABTS	Determinación del % de inhibición de radicales libres
Análisis fisicoquímico	Método (A. O. A. C)	°Brix, Acidez, pH.

3.8. Procedimiento de recolección de datos

El proceso para la recolección de la información de las materias primas e insumos a emplear será a través de la investigación de datos por medio de libros especializados y la búsqueda en internet.

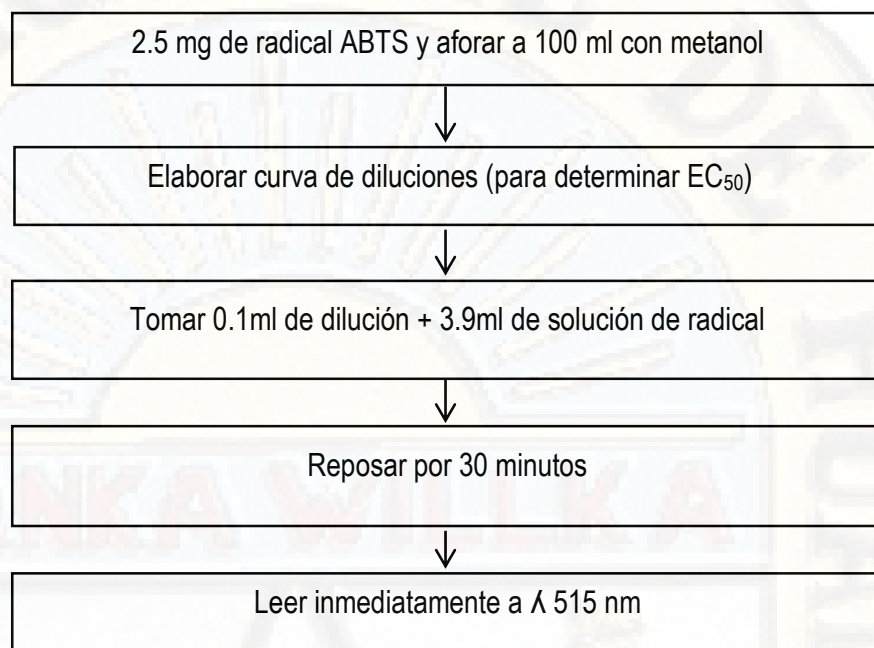
3.8.1. Determinación de la capacidad antioxidante de la mashua

Según Campos *et al.*³³ y Ríos³⁴, describen el proceso de determinación de la siguiente manera:

Método: ABTS.

Fundamento: Se basa en una reacción con el Ácido 2,2-azinobis(3-etilbenzotiazolin)-6-sulfónico (ABTS). Los resultados se expresan en porcentaje de inhibición de radicales libres. Se da la lectura de la absorbancia.

- a) Preparación del reactivo ABTS.
- b) Solución madre: Disolver 2.4 mg. De ABTS en una fiola volumétrica de 100ml. En metanol, esta solución obtenida es la solución madre; la cual se debe cubrir con papel de aluminio y se guarda en refrigeración, su uso no debe extenderse por más de una semana.
- c) Solución de trabajo: De la solución madre y una vez aatemperado a ambiente, se extrae 10ml; y se añade a esta 45ml de metanol; se deberá medir la absorbancia a 515nm (llevando el espectrofotómetro a cero con metanol) y esta no debe estar alrededor de $1,1 \pm 0.02$, esta solución debe taparse y cubrir con papel de aluminio.



Fuente: Campos *et al.*³³.

Figura 01. Paso para determinación de la capacidad antioxidante por el radical ABTS.

3.8.2. Determinación de la concentración de azúcares reductores en mashua negra

Método: Espectrofotometría

Fundamento: El contenido de azúcares reductores totales se determinó aplicando el método Miller o DNS (ácido dinitrosalicílico), reactivo que tiene la capacidad de oxidar a los azúcares reductores dando resultados colorimétricos que se pueden medir con una longitud de onda de 575 nm, recomendado por Miller³⁵.

3.8.3. Acidez

Método: Acidez titulable (A.O.A.C.³⁶)

Fundamento: Neutralización de la acidez producida por la muestra en dilución acuosa con soda utilizando fenolftaleína como indicador.

3.8.4. pH

Método: Potenciómetro (A.O.A.C. ³⁶).

Fundamento: Evaluación de las diferencias de potencial entre un electrodo estándar de colomel previamente calibrados usando sus sales amortiguadoras.

3.8.5. Sólidos solubles

Método: Refractometría (A.O.A.C. ³⁶)

Fundamento: Expresado en °Brix que indican la concentración de sacarosa en una solución pura y a temperatura ambiente de 20°C.

3.8.6. Cálculo de la Evapotranspiración Potencial mediante la fórmula de Hargreaves

La fórmula de Hargreaves³⁷ para evaluar la Evapotranspiración Potencial necesita solamente datos de temperaturas y de Radiación Solar. La expresión general es la siguiente:

$$E_{T0} = 0.0135(t_{med} + 17.78)R_s$$

Dónde:

E_{T0} = evapotranspiración potencial diaria, mm/día.

t_{med} = Temperatura promedio de la máxima y mínima (°C).

R_s = radiación solar incidente, convertida en mm/día

Para convertir unidades tomar en cuenta: 1 mm/día = 2,45 MJ·m⁻²·día⁻¹.

En Acobamba, durante el mes de noviembre del año 2016, en que se hizo el experimento se tuvo los siguientes datos promedio diarios, extraídos de la estación experimental de Senamhi sede Acobamba:

E_{T0} = 58.70 mm/día.

t_{min} = 4.4 °C.

t_{max} = 19.1 °C.

t_{med} = 11.75 °C.

Entonces, la radiación promedio diaria para el mes de noviembre del 2016 fue:

$$R_s = \frac{E_{T0}}{0.0135(11.75 + 17.78)} = 147.245 \text{ mm/día}$$

Convirtiendo las unidades la radiación solar incidente sería:

$$R_s = 147.245 * 2.45 = 360.75 \text{ MJ/m}^2.\text{día}$$

3.9. Técnicas de procesamiento de análisis de datos

La evaluación de la concentración de azúcares, capacidad antioxidante y análisis físicoquímico que se realiza en 03 tratamientos. En el siguiente cuadro se detalla el esquema a seguir. El modelo matemático a realizar es el diseño estadístico de bloques completamente al azar (DBCA) ³²:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + B_j + \varepsilon_{ij}$$

Dónde:

Y_{ij} = Cualquier observación de la variables de respuestas.

μ = Mediente poblacional.

T_i = Efecto del i-ésimo del tratamiento (tiempo).

B_j = Efecto del j-ésimo del bloque (repetición).

ε_{ij} = Error aleatorio del experimento.

Tabla 05. Tabla de análisis de varianza para un DBCA.

Fuente de variación	Grados de Libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor F	Valor p
Tratamiento	k - 1	SCTr	CMTr	F_T	p_T
Bloque	b - 1	SCB	CMB	F_B	p_B
Error	bk - 1	SCE	CME		
Total	n - 1	SCT			

Fuente: Gutiérrez y De la Vara³².

Tabla 06. Distribución de tratamientos de estudio.

Análisis	T ₁ Mashua 5 días de soleado	T ₂ Mashua 10 días de soleado	T ₃ Mashua 15 días de soleado
CAT			
CA			
AFQ			

Dónde: CA= Concentración de azúcares totales, CA= Capacidad antioxidante, AFQ= Análisis Fisicoquímicos.

Tabla 07. Datos para las cinéticas de reacción.

Tiempo	Capacidad Antioxidante	Concentración de azúcares	Acidez	pH	°Brix
T ₁	CA ₁	°Brix ₁	% ₁	pH ₁	°Bx ₁
T ₂	CA ₂	°Brix ₂	% ₂	pH ₂	°Bx ₂
T ₃	CA ₃	°Brix ₃	% ₃	pH ₃	°Bx ₃

Fuente: Elaboración propia.

Se evaluó la concentración versus el tiempo con los datos experimentales, los mismos que serán ajustados a ecuaciones de orden cero, primero y segundo orden, como se muestra en el cuadro:

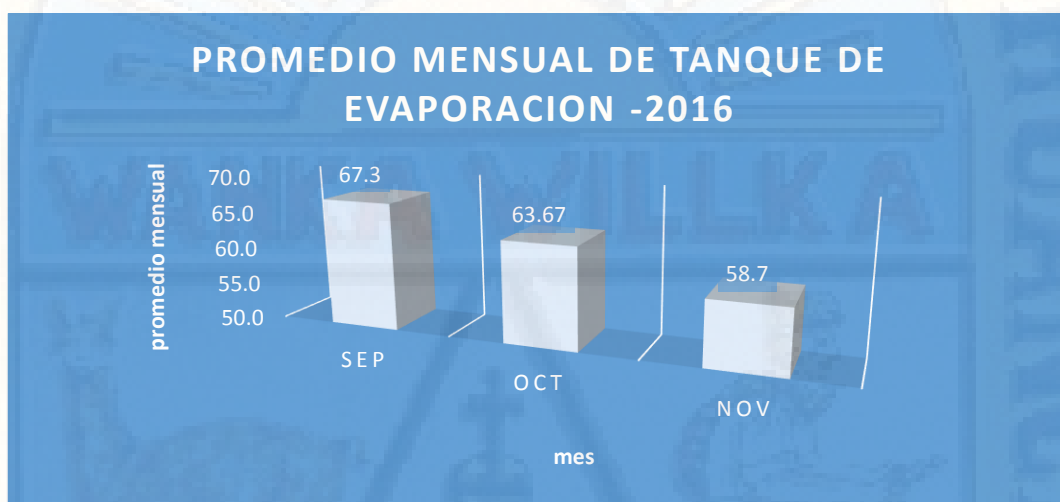
Tabla 08. Orden de reacción.

Orden de reacción	Por ecuación	Por ecuación
n	A	B
0	$A_0 - A = Kt$	$B - B_0 = Kt$
1	$\ln(A_0/A) = Kt$	$\ln(B - B_0) = Kt$
n≠1	$1/A^{n-1} - 1/A_0^{n-1} = (n-1)Kt$	$1/B_0^{n-1} - 1/B^{n-1} = (n-1)Kt$

Fuente: Avery³⁰.

Se eligió aquella ecuación que posea un coeficiente de determinación (R²) cercano a 1 o 100%.

AÑO/2016/MES	PROMEDIO MENSUAL
SETIEMBRE	67.3
OCTUBRE	63.67
NOVIEMBRE	58.7



CAPÍTULO IV: RESULTADOS

4.1. Presentación de Resultados

4.1.1. Capacidad Antioxidante

La determinación de la Capacidad Antioxidante de la Mashua negra soleada a 5, 10 y 15 días fue desarrollada en el Instituto de Biotecnología Industrial (IBT) de la Universidad Nacional Agraria La Molina, que a continuación se presentan:

Tabla 09. Resultados de la Capacidad Antioxidante

Tratamiento	Capacidad antioxidante ABTS (μmol de equi. Trolox/g)
T1: Soleado 5 días	133.78
T2: Soleado 10 días	63.49
T3: Soleado 15 días	41.69

Fuente: Resultados de Análisis. IBT – UNALM.

4.1.1.1. Análisis de regresión lineal simple

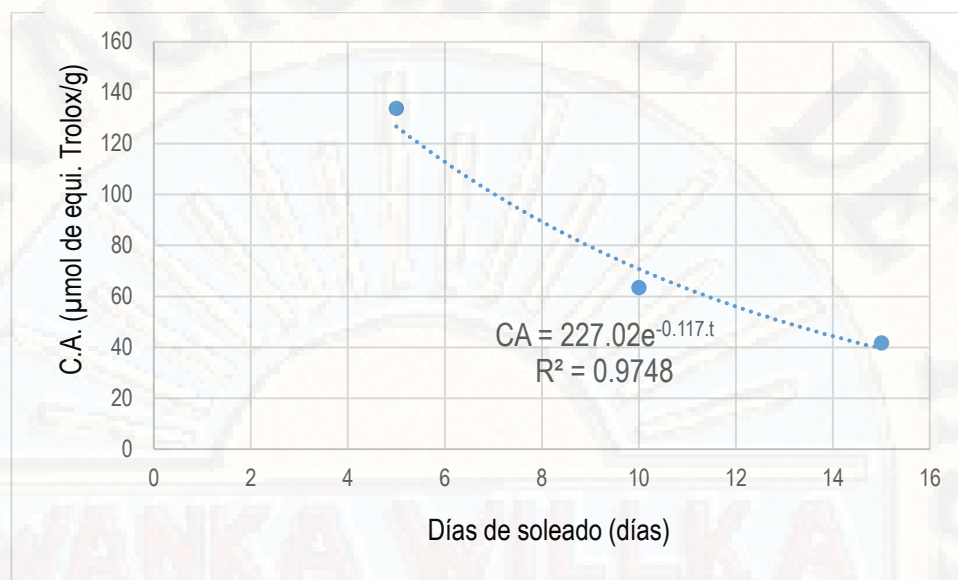
Tabla 10. Análisis de regresión lineal simple de la capacidad antioxidante (ABTS)

Orden de reacción (n)	Ecuación de regresión	R ²
0	CA = -9.209.t + 171.74	0.9154
1	CA = 227.02 e^{-0.117.t}	0.9748*
2	1/CA = 0.0017.t-0.0008	0.9999

*De acuerdo a los antecedentes el orden adecuado de la ecuación sería n = 1.

CA: capacidad antioxidante.

t: tiempo



C.A.: capacidad antioxidante.

Figura 02. Gráfica de primer orden para capacidad antioxidante (n = 1).

4.1.1.2. Predicción de datos de capacidad antioxidante

Tabla 11. Tabulación de datos con la ecuación de primer orden para capacidad antioxidante.

Tiempo (día)	Capacidad Antioxidante ABTS (μmol de equi. Trolox/g)
1	201.95
2	179.65
3	159.82
4	142.17
5	126.47
6	112.51
7	100.09
8	89.04
9	79.20
10	70.46
11	62.68
12	55.76
13	49.60
14	44.13
15	39.25

4.1.2. Azúcares reductores

La determinación de Azúcares reductores de la Mashua negra soleada a 5, 10 y 15 días fue desarrollada en el Instituto de Biotecnología Industrial (IBT) de la Universidad Nacional Agraria La Molina, que a continuación se presentan:

Tabla 12. Resultados de Azúcares reductores

Tratamiento	Azúcares Reductores (%)
T1: Soleado 5 días	11.70
T2: Soleado 10 días	9.57
T3: Soleado 15 días	8.84

Fuente: Resultados de Análisis. IBT – UNALM.

4.1.2.1. Análisis de regresión lineal simple

Tabla 13. Análisis de regresión lineal simple de azúcares reductores (AR).

Orden de reacción (n)	Ecuación de regresión	R ²
0	$AR = -0.286.t + 12.897$	0.9260
1	$AR = 13.19 e^{-0.028.t}$	0.9410
2	$1/AR = 0.0028.t + 0.0734$	0.9550*

*De acuerdo al R² la ecuación es de segundo orden (n = 2).

AR: azúcares reductores

t: tiempo

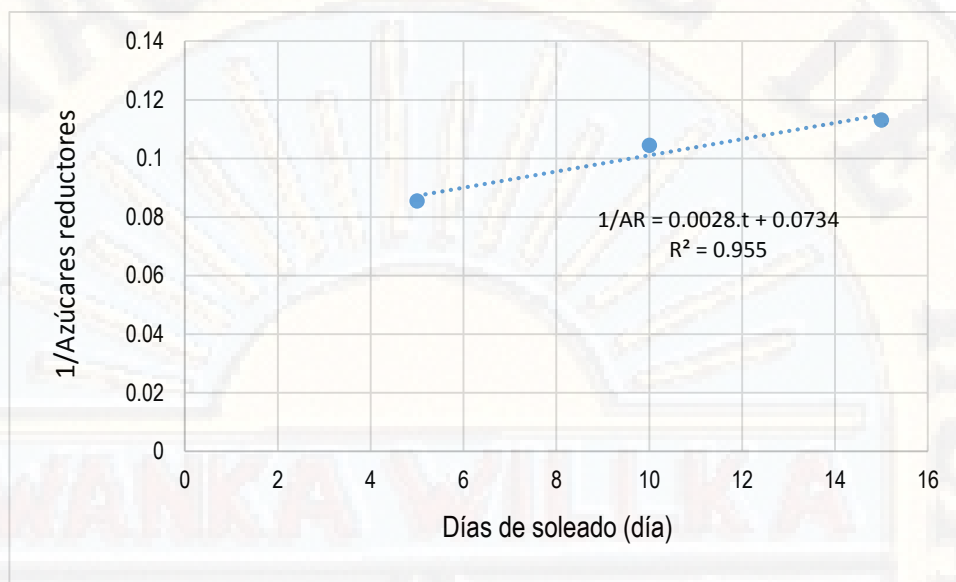


Figura 03. Gráfica de ecuación de segundo orden (n = 2) de los azúcares reductores.

4.1.2.2. Predicción de datos de azúcares reductores

Tabla 14. Tabulación de datos con la ecuación de segundo orden para azúcares reductores.

Tiempo (día)	Azúcares Reductores (%)
1	13.12
2	12.66
3	12.22
4	11.82
5	11.44
6	11.09
7	10.75
8	10.44
9	10.14
10	9.86
11	9.60
12	9.35
13	9.11
14	8.88
15	8.67

4.1.3. Acidez

La determinación de Acidez de la Mashua negra soleada a 5, 10 y 15 días fue desarrollada en el Instituto de Biotecnología Industrial (IBT) de la Universidad Nacional Agraria La Molina, que a continuación se presentan:

Tabla 15. Resultados de la Acidez

Tratamiento	Acidez (g ácido ascórbico/100 g)
T1: Soleado 5 días	1.006
T2: Soleado 10 días	0.933
T3: Soleado 15 días	1.035

Fuente: Resultados de Análisis. IBT – UNALM.

4.1.3.1. Análisis de regresión lineal simple

Tabla 16. Análisis de regresión lineal simple de acidez (exp. en ácido ascórbico).

Orden de reacción (n)	Ecuación de regresión	R ²
0	$Az = 0.0029.t + 0.9623$	0.0761
1	$Az = 0.9626 e^{0.0028.t}$	0.0702
2	$1/Az = -0.0028.t + 1.0385$	0.0647

*De acuerdo al R² la ecuación sería orden cero (n = 0).

Az: acidez

t: tiempo

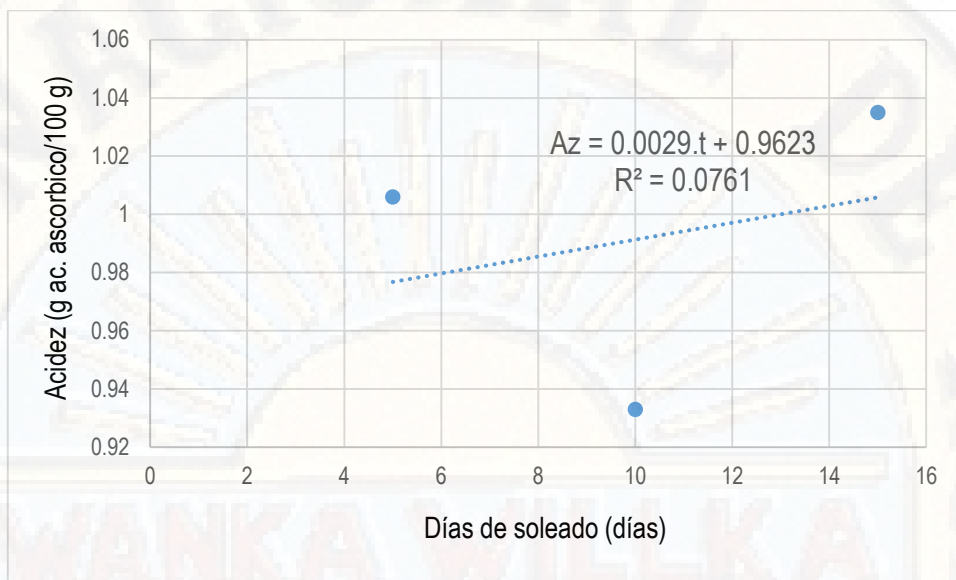


Figura 04. Gráfica de primer orden para Acidez.

4.1.3.2. Predicción de datos de acidez

Tabla 17. Tabulación de datos con la ecuación de primer orden para acidez.

Tiempo (día)	Acidez (expresado en ác. ascórbico)
1	0.9652
2	0.9681
3	0.971
4	0.9739
5	0.9768
6	0.9797
7	0.9826
8	0.9855
9	0.9884
10	0.9913
11	0.9942
12	0.9971
13	1
14	1.0029
15	1.0058

4.1.4. pH

La determinación del pH de la Mashua negra soleada a 5, 10 y 15 días fue desarrollada en el laboratorio de Análisis de Productos Agroindustriales de la EPIAG – UNH, que a continuación se presentan:

Tabla 18. Resultados del pH

Tratamiento	pH
T1: Soleado 5 días	5.37
T2: Soleado 10 días	5.38
T3: Soleado 15 días	5.40

El soleado de la mashua no mostro efecto significativo en la acidez, probablemente la transformación de ácidos orgánicos fue mínima. Y del mismo modo tampoco hubo efecto en el pH, pues como es sabido tiene una relación estrecha de contenido de ácidos orgánicos (acidez) Romero³⁸.

4.1.4.1. Análisis de regresión lineal simple

Tabla 19. Análisis de regresión lineal simple del pH.

Orden de reacción (n)	Ecuación de regresión	R ²
0	$\text{pH} = 0.0033.t + 5.3522$	0.9643
1	$\text{pH} = 5.3534.e^{0.0006.t}$	0.9645*
2	$1/\text{pH} = -0.0001.t + 0.1868$	0.9648

*De acuerdo al R² la ecuación sería mejor primer orden (n = 1).

pH

t: tiempo

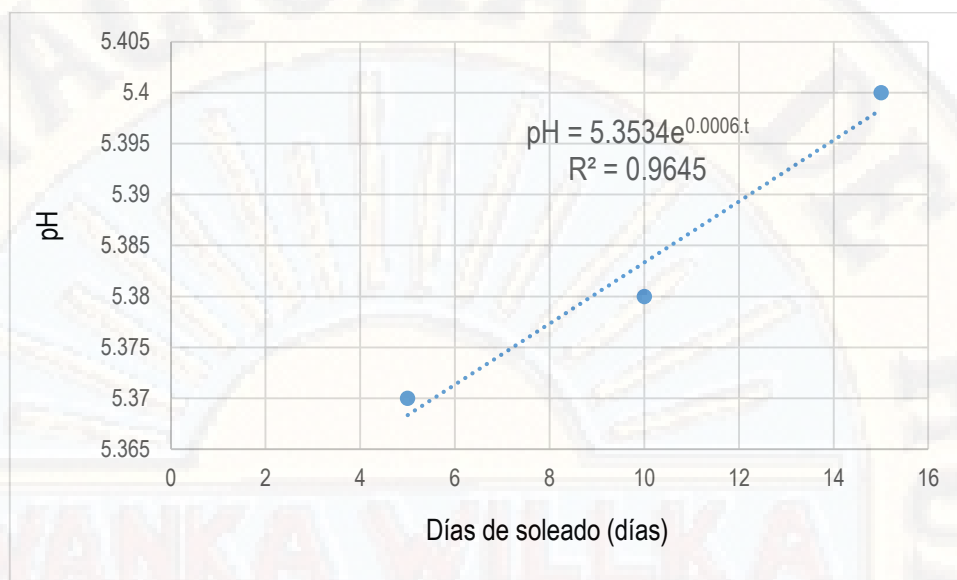


Figura 05. Ecuación de primer orden ($n = 1$) que describe el comportamiento del pH.

4.1.4.2. Predicción de datos de pH

Tabla 20. Tabulación de datos con la ecuación de primer orden para pH.

Tiempo (día)	pH (adimensional)
1	5.36
2	5.36
3	5.36
4	5.37
5	5.37
6	5.37
7	5.38
8	5.38
9	5.38
10	5.39
11	5.39
12	5.39
13	5.40
14	5.40
15	5.40

4.1.5. Azúcares Solubles (°Brix)

La determinación del pH de la Mashua negra soleada a 5, 10 y 15 días fue desarrollada en el laboratorio de Análisis de Productos Agroindustriales de la EPIAG – UNH, que a continuación se presentan:

Tabla 21. Resultados de los °Brix (Sólidos solubles)

Tratamiento	°Brix
T1: Soleado 5 días	10.27
T2: Soleado 10 días	12.17
T3: Soleado 15 días	14.03

Dentro de los sólidos solubles los componentes más abundantes son los azúcares y los ácidos orgánicos.

4.1.5.1. Análisis de regresión lineal simple

Tabla 22. Análisis de regresión lineal simple del °Brix.

Orden de reacción (n)	Ecuación de regresión	R ²
0	$Bx = 0.3767.t + 8.7111$	0.9167*
1	$Bx = 9.049.e^{0.0313.t}$	0.9005
2	$1/Bx = -0.0026.t + 0.1077$	0.8843

*De acuerdo al R² la ecuación sería mejor orden cero (n = 0).

Brix: grados brix

t: tiempo

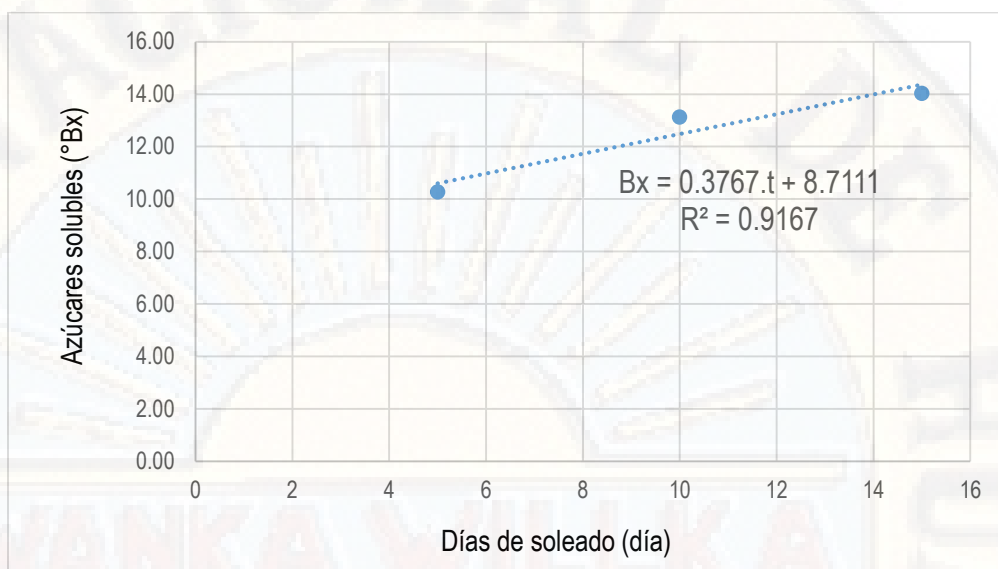


Figura 06. Ecuación de orden cero para el °Brix.

4.1.5.2. Predicción de datos de sólidos solubles

Tabla 23. Tabulación de datos con la ecuación orden de cero para sólidos solubles.

Tiempo (día)	Sólidos solubles (°Brix)
1	9.0878
2	9.4645
3	9.8412
4	10.2179
5	10.5946
6	10.9713
7	11.348
8	11.7247
9	12.1014
10	12.4781
11	12.8548
12	13.2315
13	13.6082
14	13.9849
15	14.3616

4.2. Discusión

El experimento se llevó a cabo en la ciudad de Acobamba, Huancavelica; entre los días 15 y 30 de noviembre del año 2016, las condiciones de soleado en cuanto a radiación solar incidente se calculó con la fórmula de Haegres³⁷, la misma que usó los datos proporcionados por el Senamhi dando como resultado un valor promedio diario de 360.75 MJ/m².día.

La tabla 12 muestra el análisis de regresión lineal simple de la capacidad antioxidante (ABTS), el mismo que indica que, el tiempo de soleado y la capacidad antioxidante de la mashua tienen una relación de segundo orden; sin embargo, se tomó la ecuación de primer orden, ya que los antecedentes sugieren que es la tendencia que sigue la degradación de la capacidad antioxidante^{1,2}. La relación de primer orden se observa en la Figura 2. Una reacción de primer orden según explica Avery³⁰, se da cuando depende de la cantidad inicial de reactante, en este caso, la capacidad antioxidante se fue degradando en función al tiempo de soleado, a partir de una cantidad inicial de antioxidantes. Por otro lado, un trabajo similar al presente, es el de Chirinos *et al.*⁶ que, determinaron en diferentes etapas de maduración el total de compuestos fenólicos, antocianinas, flavon 3-oles, carotenoides y capacidad antioxidante de mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz & Pavón) de los tubérculos de 10 cultivares amarillos y morados (de 5 a 7.5 meses después de la plantación) y períodos de almacenamiento después de la cosecha (de 7 a 35 días), ellos encontraron que las variedades púrpuras alcanzaron la mayor capacidad antioxidante durante el desarrollo del tubérculo (271 – 446 $\mu\text{mol Trolox equiv g}^{-1}$ en base seca, en el ensayo ORAC), en este trabajo la capacidad antioxidante es comparable a este rango, ya que se redujo de 138.78 a 41.69 $\mu\text{mol Trolox equiv g}^{-1}$ en base húmeda. En general, la correlación entre la capacidad antioxidante y el contenido de compuestos bioactivos varió notablemente entre los cultivares⁶. La capacidad antioxidante en variedades púrpura se correlacionó con fenoles totales o 3-ol de flavon, mientras que sólo en algunas variedades amarillas la capacidad antioxidante se correlacionó con compuestos fenólicos totales ⁶.

La tabla 16 muestra el análisis de regresión lineal simple de azúcares reductores, en el que se puede apreciar que, el tiempo de soleado y el contenido en azúcares reductores de la mashua tienen una relación de segundo orden. Dicha relación se puede apreciar en la Figura 3. Una reacción de segundo orden según explica Avery ³⁰ pueden darse dos casos, dependiendo de que la ecuación de velocidad sea función de la concentración de un solo reactivo o de dos, en este caso, es probable que, los azúcares reductores como glucosa entre otros, se hayan unido para convertirse en almidón por efecto del soleado. En el caso de algunos tubérculos como la papa (patata), la sacarosa (y algo de glucosa y de fructosa) se sintetiza a partir del almidón por acción enzimática amilolítica que se favorece a temperaturas inferiores a 12 °C, lo que provoca la transformación de almidón en glucosa ³⁸. Cuando la α -amilasa actúa sobre un sol de amilosa, se observa una rápida disminución de la viscosidad, con escaso incremento de la concentración de grupos reductores ²³. Esto explica, que al solear el producto los azúcares reductores, se vean disminuidos.

La tabla 19 muestra el análisis de regresión lineal simple de acidez (expresado en ácido ascórbico), y se puede apreciar que, el tiempo de soleado y la acidez de la mashua no tienen una relación. La mashua es la especie más rica en ácido ascórbico, con un valor medio de 77,37 mg de ácido ascórbico por cada 100 g de materia fresca. Se ha identificado a la accesión ECU-1128 con un aporte de 96,62 mg de ácido ascórbico en 100 g de materia fresca, como la más sobresaliente ²³.

La tabla 22 muestra el análisis de regresión lineal simple del pH, y se puede apreciar que, el R^2 es casi similar en los tres tipos de reacción. Los valores de pH no variaron mucho, estuvieron en un rango de 5.37 y 5.40. Esto está estrechamente relacionado con el pH, que no mostró un ajuste a ninguno de los tres modelos estudiados, pero se eligió al modelo de primero orden, por la evidencia mostrada en los antecedentes.

La tabla 26 muestra el análisis de regresión lineal simple del contenido en sólidos solubles, y se puede apreciar que, el tiempo de soleado y el contenido en sólidos solubles de la mashua tienen una relación de orden cero. La ecuación de orden cero se observa en la Figura 5.

Según Avery ³⁰ las reacciones de orden cero se encuentran frecuentemente en catálisis heterogénea, cuando la reacción se lleva a cabo sobre una superficie saturada de reactivo. Los °Brix son una unidad de cantidad y sirven para determinar el cociente total de sólidos solubles (generalmente azúcares) disueltos en un líquido. Una solución de 25 °Brix contiene 25 g de sólido disuelto por 100 g de disolución total. Es probable, que su incremento durante el tiempo de soleado, siguiendo una reacción de orden cero obedezca, a la actividad enzimática de las amilasas que degradan el almidón en azúcares simples. A medida que avanza la hidrólisis, la α -amilasa libera maltosa y algo de D-glucosa. La α -amilólisis de cadenas largas es un proceso al azar, aunque puede existir cierta preferencia en cuanto al lugar de ataque cuando el sustrato contiene cadenas más cortas. Cuando se somete la amilosa a la acción prolongada de la α -amilasa, la mayor parte de ella se transforma en glucosa y maltosa y sólo una pequeña proporción queda como una mezcla de polisacáridos de cadena corta que no sufren una posterior hidrólisis. Esta mezcla recibe el nombre de dextrina límite α de la amilosa ²³.

El almidón es después de la celulosa, es la principal sustancia glucídica sintetizada por los vegetales superiores a partir de la energía solar. Debido a que los gránulos de almidón ejercen una presión osmótica muy baja, las plantas pueden almacenar grandes cantidades de D-glucosa en una forma muy accesible, sin romper el balance de agua de sus tejidos. Los diferentes tipos de almidones se diferencian entre sí, por el tamaño de los gránulos, su apariencia microscópica, sus características físicas y su constitución química, pues existen almidones que están constituidos por una mayor cantidad de amilosa y otros de amilopectina; los primeros tienen importancia en el campo de las fibras y plásticos, y los segundos en el campo alimenticio ³⁸.

CONCLUSIONES

- Se determinó que, la capacidad antioxidante sigue una cinética de reacción de primer orden con respecto al tiempo de soleado ($R^2 = 97.48\%$). Se puede afirmar que, el tiempo de soleado reduce la capacidad antioxidante (de 138.78 a 41.69 $\mu\text{mol Trolox equiv g}^{-1}$ en base húmeda) de la mashua negra.
- Se determinó que, el contenido en azúcares reductores presentó una reacción de segundo orden ($R^2 = 95.50\%$).
- Se halló que, la acidez no tuvo correlación con el tiempo de soleado. Se puede afirmar que, el tiempo de soleado no afectó la acidez de la mashua negra.
- Se halló que, los grados brix se incrementan con el tiempo de soleado, siguiendo una reacción de orden cero ($R^2 = 0.9167$ y $p = 0.036$) en la mashua negra.
- Se halló que, el pH se incrementan con el tiempo de soleado (de 5.37 a 5.40), siguiendo una reacción de primer orden ($R^2 = 96.45$) en la mashua negra.
- El soleado de la mashua negra se usa con el fin de mejorar su sabor y palatabilidad; sin embargo, influye negativamente en su capacidad antioxidante.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda solear el tubérculo de mashua negra para mejorar su sabor y su palatabilidad.
- Se recomienda evitar el soleado, si la mashua negra será usada para extraer compuestos bioactivos que se usen como antioxidante.
- Realizar investigaciones con tiempos de soleado más prolongados, que permitan validar las ecuaciones halladas.
- Desarrollar productos con la mashua negra que, permita retener la capacidad antioxidante y con una alta demanda comercial.

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

1. Zalamea-Molina LF. Elaboración del Tubérculo Mashua (*Tropaeolum tuberosum*) troceada en miel y determinación de la capacidad antioxidante. Guayaquil, Ecuador: Universidad de Guayaquil; 2014.
2. Cárdenas. Instituto Nacional de investigación Agraria y Agroindustrial. 1969.
3. Johns T, Towers GHN. Isothiocyanates and Thioureas in Enzyme Hydrolysates of *Tropaeolum tuberosum*. *Phytochemistry*. 1981; 20 (12): 2687-2689.
4. Campos D, Noratto G, Chirinos R, Arbizu C, Roca W, Cisneros-Zevallos L. Antioxidant capacity and secondary metabolites in four species of Andean tuber crops: native potato (*Solanum* sp.), mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz & Pavón), Oca (*Oxalis tuberosa* Molina) and ulluco (*Ullucus tuberosum* Caldas). *Science of Food and Agriculture*. 2006; 86 (10): 1481 – 1488.
5. Chirinos R, Campos D, Betalleluz I, Giusti M, Schwartz SJ, Tian Q, Pedreschi R, Larondelle Y. High-Performance Liquid Chromatography with Photodiode Array Detection (HPLC-DAD)/HPLC–Mass Spectrometry (MS) Profiling of Anthocyanins from Andean Mashua Tubers (*Tropaeolum tuberosum* Ruíz and Pavón) and Their Contribution to the Overall Antioxidant Activity. *J. Agric. Food Chem*. 2006; 54 (19): 7089 – 7097.
6. Chirinos R, Campos D, Arbizu C, Rogez H, Rees JF, Larondelle Y, Noratto G, Cisneros-Zevallos L. Effect of genotype, maturity stage and post-harvest storage on phenolic compounds, carotenoid content and antioxidant capacity, of Andean mashua tubers (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz & Pavón). *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2007; 87 (3): 437–446.

7. Chirinos R, Rogez H, Campos D, Pedreschi R, Larondelle Y. Optimization of extraction conditions of antioxidant phenolic compounds from mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz & Pavón) tubers. 2007; 55 (1): 217-225.
8. Chirinos R, Campos D, Costa N, Arbizu C, Pedreschi R, Larondelle Y. Phenolic profiles of andean mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz & Pavón) tubers: Identification by HPLC-DAD and evaluation of their antioxidant activity. Food Chemistry. 2008a; 106 (1): 1285–1298.
9. Chirinos R, Campos D, Warnier M, Pedreschi R, Rees JF, Larondelle Y. Antioxidant properties of mashua (*Tropaeolum tuberosum*) phenolic extracts against oxidative damage using biological in vitro assays. Food Chemistry. 2008b; 111 (1): 98–105.
10. Chirinos R, Pedreschi R, Rogez H, Larondelle Y, Campos D. Phenolic compound contents and antioxidant activity in plants with nutritional and/or medicinal properties from the Peruvian Andean region. Industrial Crops and Products. 2013; 47 (1): 145 – 152.
11. Ayala C, Almícar R. “Efecto de secado en bandeja y atomización sobre la actividad antioxidante de la mashua (*Tropaeolum tuberosum*)”. Lima, Perú: 2009. Disponible en: <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/1703>
12. Caicedo, C. Estudio y promociones de las tuberosas andinas dentro del agro ecosistema andino en Ecuador, Alimentos del mundo andino. Centro internacional de la papa.1999.
13. National Research Council. Lost Crops of the Incas: Little Know Plants of the Andes With Promise For World wide Cultivation. National Acedemy Press. Washington D.C. 1989.
14. Tapia ME. Instituto Nacional de Investigación Agraria y Agroindustrial; 1990.
15. Tineo J. Instituto Nacional de Investigación Agraria. Dirección general de Investigación Agraria. Folleto N° 6. Lima, Perú: 1993.
16. Delgado C. “Características morfológicas asociadas al rendimiento en mashua (*Tropaeolum tuberosum*) bajo condiciones de allpachaka (3600 msnm)”. Huamanga, Perú: Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga; 1978.

17. Ortega L. "Usos y valor nutritivo de los andinos". Perú: Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria Y Agroindustrial (INIAA). Programa de Investigación de Cultivos Andinos (PICA); 1992.
18. Salas F. "Procesamiento de raíces y tubérculos andinos". Huancayo, Perú: Centro Internacional de la Papa (CIP); 1998.
19. Beltrán A, Mera J. Elaboración del tubérculo mashua (*Tropaeolum tuberosum*) troceada en miel y determinación de la capacidad antioxidante. Guayaquil, Ecuador: Universidad de Guayaquil; 2014.
20. Espinoza S, Monteghirfo M, Álvarez J, Arnao I. "Análisis electroforético unidimensional y bidimensional de las proteínas de (*Tropaeolum tuberosum*) mashua". Lima, Perú: Centro de Investigación de Bioquímica y Nutrición – UNMSM; 2002.
21. Meza G, Cortes H, Zela G, Gonza V. "Cultivo de mashua". Cuzco, Perú: Universidad Nacional de San Antonio de Abad del Cuzco. Centro de investigación en cultivos Andinos. Asociación Arariwa. IX Congreso Internacional de Cultivos Andinos; 1997.
22. Collazos C. La composición de alimentos de mayor consumo en el Perú. 6ª ed. Lima - Perú: Ministerio de Salud, Instituto Nacional de Nutrición; 1993.
23. Espín S, Brito B, Villacrés E, Rubio A, Nieto C, Grijalva J. Composición química, valor nutricional y usos potenciales de siete especies de raíces y tubérculos andinos. Acta Científica Ecuatoriana. 2001; 7 (1): 13 - 23.
24. Sarmiento H. "Estabilidad físico química y actividad antioxidante de las betalainas del ayrampo (*Opuntia soherensii*) durante el proceso de atomizado". Lima, Perú: Universidad Nacional Agraria La Molina; 2003.
25. Aguirre-Obando O.A.; Morales Álvarez ED. Reconocimiento de carbohidratos. [Internet]. 2010 [Citado 30 Abr 2017]. Disponible en: <https://www.uniquindio.edu.co/>
26. Katchalsky A, Sharon N. Kinetics of aldose-amino acid interaction. Biochim Biophys Acta. 1953; 10: 290 - 301.
27. Márquez G, Añón MC. Influence of reducing sugars and amino acids in the color development of fried potatoes. J. Food Sci. 1986; 51: 157.

28. Williams JC. Chemical and non-enzymic changes in intermediate moisture foods. En: Ed. Davies E, Birch GG, Parker KJ. Intermediate Moisture Foods. Londres: Applied Science Publishers LTD; 1976.
29. Reyes FGR, Poocharoen B, Wrolstad RE. Maillard browning reaction of sugar-glycine model systems: Changes in sugar concentration, color and appearance. J. Food Sci. 1982; 47: 1376.
30. Avery H. Cinética química básica y mecanismos de reacción. Barcelona: Reverté S.A.; 2002.
31. Hernández Sampieri R, Fernández Collado C, Baptista Lucio P. Metodología de la investigación. México: Mc Graw Hill Interamericana; 2006.
32. Gutiérrez Pulido H, de la Vara Salazar, R. *Análisis y diseño de experimentos*. México: Mc Graw Hill Interamericana; 2012.
33. Campos D, Noratto G, Chirinos R, Arbizu C, Roca WY, Cisneros-Zevallos L. Antioxidant capacity and secondary metabolites in four species of Andean tuber crops: native potato (*Solanum sp.*), mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz & Pavón), Oca (*Oxalis tuberosa* Molina) and ulluco (*Ullucus tuberosus* Caldas). Journal of the Science of Food and Agriculture. 2006; 86(1): 1481-1488.
34. Ríos C. "Contribución al estudio de algunos compuestos bioactivos y de la capacidad antioxidante presente en diez genotipos de mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz & Pavon) y a la evaluación de su estabilidad". Lima, Perú: Universidad Nacional Agraria La Molina; 2004.
35. Miller G. Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. Anal. Chem. 1959; 31:426-428.
36. AOAC. *Official Methods of Analysis*. 12 ed. Washington: Association of Official Analytical Chemists; 2012.
37. Hargreaves GH, Samani ZA. Reference crop evapotranspiration from temperature, Applied Eng. in Agric. 1985; 1(2): 96-99.
38. Romero X, Navarro P, Noguera J. Acidez y Ph. Merida – Venezuela: Universidad de los Andes; 2005.
39. Badui S. Química de los alimentos. 4 ed. México: Pearson Educación de México, S.A. de CV; 2006.

ARTICULO CIENTIFICO

“INFLUENCIA DEL TIEMPO DE SOLEADO SOBRE LA CONCENTRACIÓN DE AZÚCARES REDUCTORES Y CAPACIDAD ANTIOXIDANTE DE LA MASHUA (*Tropaeolum tuberosum*) ECOTIPO NEGRA”

“INFLUENCE OF THE TIME OF SUNNY ON THE CONCENTRATION OF SUGARS AND THE ANTIOXIDANT CAPACITY OF THE MASHUA (*Tropaeolum tuberosum*) BLACK ECOTIPE”

AGUADO QUISPE, Bezalio Victor ¹

¹ ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL, FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAMELICA.

Jose_11:8703@hotmail.com

RESUMEN

En esta investigación se evaluó el efecto del tiempo de soleado en la capacidad antioxidante, contenido de azúcares reductores, acidez, pH y grados brix de mashua (*Tropaeolum tuberosum*) ecotipo negra. Se usó un diseño completo al azar y se evaluó el orden de reacción ($n = 0, 1$ y 2). La capacidad antioxidante siguió una cinética de reacción de segundo orden con respecto al tiempo de soleado ($R^2 = 0.999$, $p = 0.001$) y del mismo modo, el contenido de azúcares reductores ($R^2 = 0.136$, $p = 0.136$). El tiempo de soleado redujo la capacidad antioxidante (de 138.78 a $41.69 \mu\text{mol Trolox equiv.g}^{-1}$ en base húmeda) y el contenido en azúcares reductores (de 11.7 a 8.84% en base húmeda) de la mashua negra. Tanto la acidez y el pH no mostraron un orden de reacción. El tiempo de soleado no influye significativamente ($p > 0.05$) en la acidez ni en el pH. Finalmente, los grados brix se incrementan con el tiempo de soleado, siguiendo una reacción de orden cero ($R^2 = 0.9167$ y $p = 0.036$) en la mashua negra. El soleado de la mashua negra se usa con el fin de mejorar su sabor y palatabilidad; sin embargo, influye negativamente en su capacidad antioxidante.

Palabras clave: *Tropaeolum tuberosum*, mashua, Capacidad antioxidante, ABTS, azúcares reductores.

ABSTRACT

In this investigation it was evaluated the effect of sunny weather in the antioxidant capacity, content of reducing sugars, acidity, pH and degrees brix of mashua (*Tropaeolum tuberosum*) black ecotype. A complete random design was used and the order of reaction was evaluated ($n=0,1$ and 2). The antioxidant capacity followed a kinetics of reaction of second order with respect to the sunny weather ($R^2 = 0.999$, $p=0,001$) and in the same way, the content of reducing sugars ($R^2=0.136$, $p=0.136$). The time of sunny reduced the antioxidant capacity (of 138.78 to $41.69 \mu\text{mol Trolox equiv.g}^{-1}$ on wet basis) and the content in reducing sugars (of 11.7 a 884% in wet basis) of the black mashua. Both the acidity and the pH they did not show a reaction order. The time of sunny not influences significantly ($p > 0.05$) in the acidity or in the ph. Finally, the degrees brix is increased with time the sunny, following a reaction from order zero ($R^2=0.9167$ y $p=0.036$) in the mashua black. The sunny of the mashua black is used for the purpose from improve its taste and palatability; without embargo influences negatively in its antioxidant capacity.

Keyword: *Tropaeolum tuberosum*, mashua, capacity antioxidant, ABTS, sugars reducers.

INTRODUCCIÓN

Existe un creciente interés en el uso de antioxidantes para la prevención y el tratamiento de enfermedades, es por esto que juega un papel importante las dietas ricas en antioxidantes que previenen el desarrollo de algunas enfermedades patológicas. Estudios anteriores y actuales indican que el tubérculo *Tropaeolum tuberosum* conocido como Mashua es una fuente importante de actividad antioxidante siendo comparado con frutas como la tuna y arándano que tiene un alto contenido de antioxidantes como flavonoides y polifenoles determinando por esto ser excelentes en términos de nutrición. Es importante y ventajoso el secado en los alimentos porque reduce el contenido de humedad, previene el crecimiento de los microorganismos y minimizan las demás reacciones que la deterioran, además reduce el peso y en algunos casos el volumen lo que incluye una reducción importante en los costos de empaque, almacenamiento y transporte. Los productos secos permiten además permanecer a temperatura ambiente por largos periodos de tiempo. Sin embargo, durante el proceso de los alimentos se debe tomar en cuenta la posible pérdida de actividad antioxidante, debido a su baja resistencia contra el oxígeno, catálisis ion de metal, temperaturas altas que degradan, luz, secado, grado higrométrico; por esta razón, se debe buscar parámetros óptimos de secado para minimizar la pérdida de estos compuestos bioactivos. En consecuencia, la Mashua puede desempeñar un papel preponderante en el desarrollo sustentable del área alimenticia, implementándose procesos tecnológicos que sean aprovechados en beneficio y bienestar de nuestros pueblos.

MATERIALES Y METODOS

- **Ámbito de estudio:** La recolección de un ecotipo (negro) de mashua se realizará en el distrito de Paucará de la provincia de Acobamba - Huancavelica, los análisis de las muestras para evaluar la concentración de azúcares, capacidad antioxidante y la determinación de los análisis fisicoquímicos presentes en una variedad de mashua, se realizaran en la UNH y la UNALM.
- **Tipo de estudio:** La presente investigación es de tipo aplicada, ya que, buscó la aplicación o utilización de los conocimientos adquiridos, a la vez que se adquieren otros, después de implementar y sistematizar la práctica basada en investigación ³¹.
- **Nivel de investigación:** El nivel de investigación en el presente trabajo fue experimental ya que, se manipularon las diferentes variables independientes y se observó su efecto en variables de respuesta ³¹.
- **Método de investigación:** El método que se aplicará en el presente trabajo será el hipotético - deductivo, se analizara la concentración de azúcares y la capacidad antioxidante de ecotipo negro de mashua y posteriormente se realizara los análisis fisicoquímica de la mashua ³¹.
- **Diseño de investigación:** Se aplicó el diseño de bloques completamente al azar (DBCA) ³³ con tres repeticiones, evaluando la concentración de azúcares reductores, la capacidad antioxidante y las características fisicoquímicas de la mashua. Para la comparación de medias se empleará la prueba de tukey al 5% de nivel de significación. Los datos

obtenidos serán analizados mediante el programa Minitab V.16. Además se hizo un análisis correlación lineal ³³ para determinar la relación entre las variables independientes y dependientes estudiadas mediante un diseño correlacional.

- **Población:** La población está conformada por la producción de mashua del distrito de Paucará, provincia de Acobamba, Huancavelica.
- **Muestra:** La muestra estuvo constituida por 50 kg de mashua de ecotipo negra proveniente del distrito de Paucará, Acobamba, Huancavelica.
- **Determinación de la capacidad antioxidante de la mashua:** Según Campos et al.³³ y Ríos³⁴, describen el proceso de determinación de la siguiente manera: Método: ABTS. Fundamento: Se basa en una reacción con el 2,2 difenil- 1- picrilhidrazilo (ABTS). Los resultados se expresan en porcentaje de inhibición de radicales libres. Se da la lectura de la absorbancia: a) Preparación del reactivo ABTS. b) Solución madre: Disolver 24 mg. De ABTS en una fiola volumétrica de 100ml. En metanol, esta solución obtenida es la solución madre; la cual se debe cubrir con papel de aluminio y se guarda en refrigeración, su uso no debe extenderse por más de una semana, c) Solución de trabajo: De la solución madre y una vez atemperado a ambiente, se extrae 10ml; y se añade a esta 45ml de metanol; deberá chequearse la absorbancia a 515nm (llevando el espectrofotómetro a cero con metanol) y esta no debe estar alrededor de $1,1 \pm 0.02$, esta solución debe taparse y cubrir con papel de aluminio.
- **Determinación de la concentración de azúcares reductores de la mashua negra:** Método: Espectrofotometría, Fundamento: El contenido de azúcares reductores totales se determinó aplicando el método Miller o DNS (ácido dinitrosalicílico), reactivo que tiene la capacidad de oxidar a los azúcares reductores dando resultados colorimétricos que se pueden medir con una longitud de onda de 575 nm, recomendado por Miller ³⁵.
- **Acidez:** Método: Acidez titulable (A.O.A.C.³⁶). Fundamento: Neutralización de la acidez producida por la muestra en dilución acuosa con soda utilizando fenolftaleína como indicador.
- **pH:** Método: Potenciómetro (A.O.A.C. ³⁶). Fundamento: Evaluación de las diferencias de potencial entre un electrodo estándar de colomel previamente calibrados usando sus sales amortiguadoras.
- **Sólidos solubles:** Método: Refractometría (A.O.A.C. ³⁶). Fundamento: Expresado en °Brix que indican la concentración de sacarosa en una solución pura y a temperatura ambiente de 20°C.

RESULTADOS

- **Capacidad Antioxidante**

Tabla 01. Resultados de la Capacidad Antioxidante

Tratamiento	Capacidad antioxidante ABTS (μmol de Equi. Trolox/g)
T1: Soleado 5 días	133.78
T2: Soleado 10 días	63.49
T3: Soleado 15 días	41.69

Fuente: Resultados de Análisis. IBT - UNALM

- **Azúcares reductores**

Tabla 02. Resultados de Azúcares reductores

Tratamiento	Azúcares Reductores (%)
T1: Soleado 5 días	11.70
T2: Soleado 10 días	9.57
T3: Soleado 15 días	8.84

Fuente: Resultados de Análisis. IBT – UNALM

- **Acidez**

Tabla 03. Resultados de la Acidez

Tratamiento	Acidez (g ácido ascórbico/100 g)
T1: Soleado 5 días	1.006
T2: Soleado 10 días	0.933
T3: Soleado 15 días	1.035

Fuente: Resultados de Análisis. IBT – UNALM

- **pH**

Tabla 04. Resultados del pH

Tratamiento	pH
T1: Soleado 5 días	5.37
T2: Soleado 10 días	5.38
T3: Soleado 15 días	5.40

- **°Brix (Azúcares Solubles)**

Tabla 05. Resultados de los °Brix (Sólidos solubles)

Tratamiento	°Brix
T1: Soleado 5 días	10.27
T2: Soleado 10 días	12.17
T3: Soleado 15 días	14.03

DISCUSIONES

- La tabla 10 muestra el análisis de varianza de la capacidad antioxidante (ABTS) de la mashua, y señala que, hubo influencia significativa del tiempo de soleado en la capacidad antioxidante ($p < 0,05$). Con un 5% de significancia puede afirmarse que al menos un tratamiento de soleado, es diferente a los demás. Se realizó, entonces la prueba de Tukey (tabla 11), para identificar las diferencias entre tratamientos, las mismas que, se demuestra que existen entre todos los tratamientos. La tabla 12 muestra el análisis de regresión lineal simple de la capacidad antioxidante (ABTS), el mismo que indica que, el tiempo de soleado y la capacidad antioxidante de la mashua tienen una relación de segundo orden. La relación de segundo orden se observa en la Figura 2. Una reacción de segundo orden según explica Avery³⁰ pueden darse dos casos, dependiendo de que la ecuación de velocidad sea función de la concentración de un solo reactivo o de dos, en este caso, el radical ABTS es inhibido por los antioxidantes de la mashua, por conjunción de ambos compuestos para dar un producto más estable. Esto explica la relación de segundo orden que tienen ambas variables. Por otro lado, un trabajo similar al presente, es el de Chirinos *et al.*⁶ que determinaron en diferentes etapas de maduración el total de compuestos fenólicos, antocianinas, flavan 3-oles, carotenoides y capacidad antioxidante de mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz & Pavón) de los tubérculos de 10 cultivares amarillos y morados (de 5 a 7.5 meses después de la plantación) y períodos de almacenamiento después de la cosecha (de 7 a 35 días), ellos encontraron que las variedades púrpuras alcanzaron la mayor capacidad antioxidante durante el desarrollo del tubérculo (271 – 446 $\mu\text{mol Trolox equiv g}^{-1}$ en base seca, en el ensayo ORAC), en este trabajo la capacidad antioxidante es comparable a este rango, ya que se redujo de 138.78 a 41.69 $\mu\text{mol Trolox equiv g}^{-1}$ en base húmeda. En general, la correlación entre la capacidad antioxidante y el contenido de compuestos bioactivos varió notablemente entre los cultivares⁶. La capacidad antioxidante en variedades púrpura se correlacionó con fenoles totales o 3-ol de flavan, mientras que sólo en algunas variedades amarillas la capacidad antioxidante se correlacionó con compuestos fenólicos totales⁶.
- La tabla 14 muestra el análisis de varianza de los azúcares reductores, observándose que hubo influencia significativa del tiempo de soleado en el contenido en azúcares reductores de mashua ($p < 0,05$). La tabla 15 muestra los resultados de la prueba de Tukey de azúcares reductores, del que se deduce, que todos los tratamientos (tiempo de soleado) son diferentes en contenido de azúcares reductores ($p < 0,05$). La tabla 16 muestra el análisis de regresión lineal simple de azúcares reductores, en el que se puede apreciar que, el tiempo de soleado y el contenido en azúcares reductores de la mashua tienen una relación de segundo orden. Dicha relación se puede apreciar en la Figura 3. Una reacción de segundo orden según explica Avery³⁰ pueden darse dos casos, dependiendo de que la ecuación de velocidad sea función de la concentración de un solo reactivo o de dos, en este caso, es probable que, los azúcares reductores como glucosa entre otros, se hayan unido para convertirse en almidón por efecto del soleado. En el caso de algunos tubérculos como la papa (patata), la sacarosa (y algo de glucosa y de fructosa) se sintetiza a partir del

almidón por acción enzimática amilolítica que se favorece a temperaturas inferiores a 12 °C, lo que provoca la transformación de almidón en glucosa ³⁷. Cuando la α -amilasa actúa sobre un sol de amilosa, se observa una rápida disminución de la viscosidad, con escaso incremento de la concentración de grupos reductores ²³. Esto explica, que al solear el producto los azúcares reductores, se vean disminuidos.

- La tabla 18 muestra el análisis de varianza de acidez (expresado en ácido ascórbico), donde se aprecia que, no hubo influencia significativa del tiempo de soleado en la acidez de la mashua ($p>0,05$). La tabla 19 muestra el análisis de regresión lineal simple de acidez (expresado en ácido ascórbico), y se puede apreciar que, el tiempo de soleado y la acidez de la mashua no tienen una relación. La mashua es la especie más rica en ácido ascórbico, con un valor medio de 77,37 mg de ácido ascórbico por cada 100 g de materia fresca. Se ha identificado a la accesión ECU-1128 con un aporte de 96,62 mg de ácido ascórbico en 100 g de materia fresca, como la más sobresaliente ²³.
- La tabla 21 muestra el análisis de varianza de pH, y se aprecia que, no hubo influencia significativa de los días de soleado en el pH de la mashua ($p<0,05$). La tabla 22 muestra el análisis de regresión lineal simple del pH, y se puede apreciar que, el R² es casi similar en los tres tipos de reacción, y que su valor p es mayor a 0.05. Los valores de pH no variaron mucho, estuvieron en un rango de 5.13 y 5.38, por ello es que, el análisis de varianza no detectó diferencias entre ellos. Esto está estrechamente relacionado con el pH, que no mostró un ajuste a ninguno de los tres modelos estudiados.
- La tabla 24 muestra el análisis de varianza de °Brix, y se aprecia que, hubo influencia significativa de los días de soleado en el °Brix de la mashua ($p<0,05$). La tabla 25 muestra los resultados de la prueba de Tukey de °Brix, del que se deduce, que todos los tratamientos (tiempo de soleado) son diferentes en °Brix. La tabla 26 muestra el análisis de regresión lineal simple del °Brix, y se puede apreciar que, el tiempo de soleado y el °Brix de la mashua tienen una relación de orden cero. La ecuación de orden cero se observa en la Figura 5. Según Avery 30 las reacciones de orden cero se encuentran frecuentemente en catálisis heterogénea, cuando la reacción se lleva a cabo sobre una superficie saturada de reactivo. Los °Brix son una unidad de cantidad y sirven para determinar el cociente total de sólidos solubles (generalmente azúcares) disueltos en un líquido. Una solución de 25 °Brix contiene 25 g de sólido disuelto por 100 g de disolución total. Es probable, que su incremento durante el tiempo de soleado, siguiendo una reacción de orden cero obedezca, a la actividad enzimática de las amilasas que degradan el almidón en azúcares simples. A medida que avanza la hidrólisis, la α -amilasa libera maltosa y algo de D-glucosa. La α -amilólisis de cadenas largas es un proceso al azar, aunque puede existir cierta preferencia en cuanto al lugar de ataque cuando el sustrato contiene cadenas más cortas. Cuando se somete la amilosa a la acción prolongada de la α -amilasa, la mayor parte de ella se transforma en glucosa y maltosa y sólo una pequeña proporción queda como una mezcla de polisacáridos de cadena corta que no sufren una posterior hidrólisis. Esta mezcla recibe el nombre de dextrina límite α de la amilosa ²³.
- El almidón es después de la celulosa, es la principal sustancia glucídica sintetizada por los vegetales superiores a partir de la energía solar. Debido a que los gránulos de almidón

ejercen una presión osmótica muy baja, las plantas pueden almacenar grandes cantidades de D-glucosa en una forma muy accesible, sin romper el balance de agua de sus tejidos. Los diferentes tipos de almidones se diferencian entre sí, por el tamaño de los gránulos, su apariencia microscópica, sus características físicas y su constitución química, pues existen almidones que están constituidos por una mayor cantidad de amilosa y otros de amilopectina; los primeros tienen importancia en el campo de las fibras y plásticos, y los segundos en el campo alimenticio ³⁸.

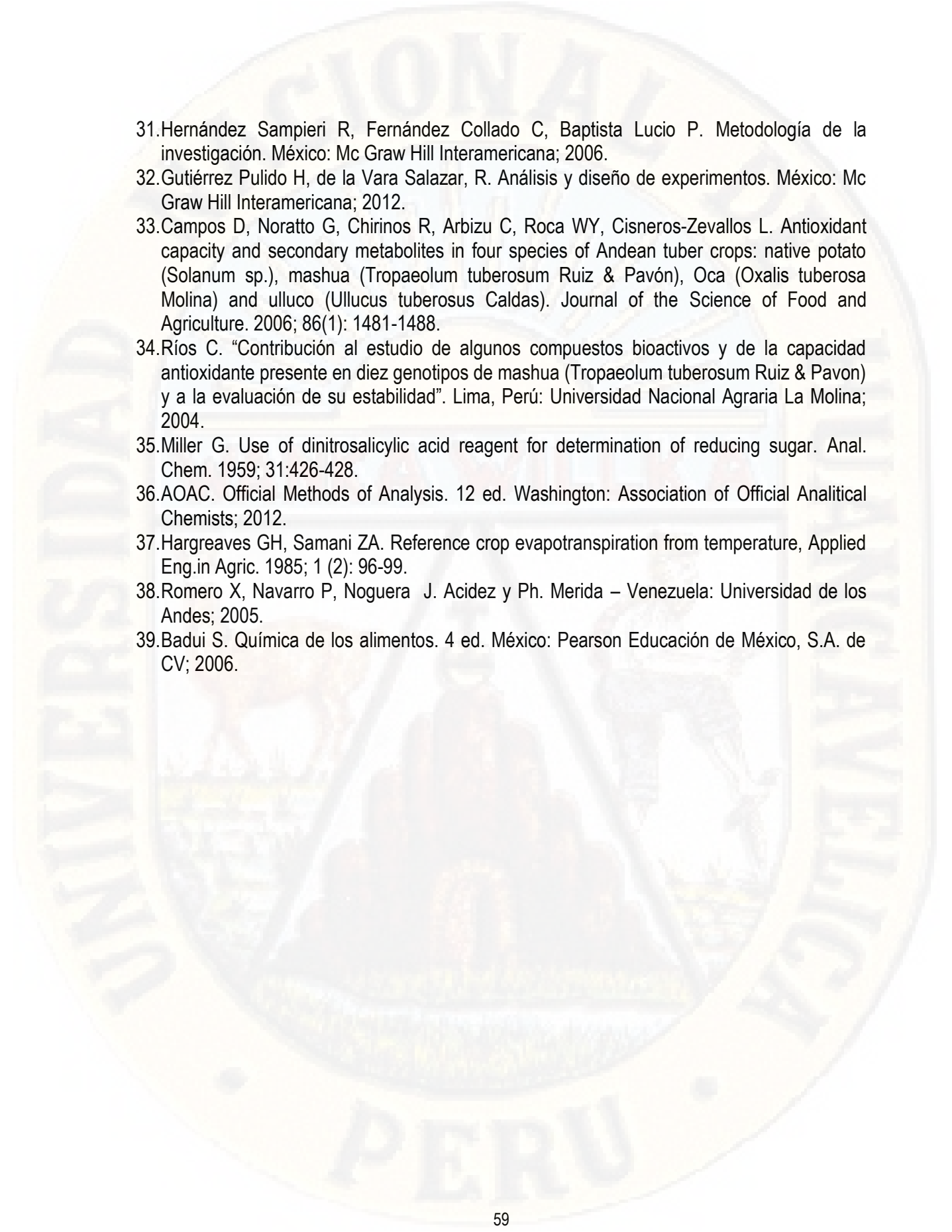
CONCLUSIONES

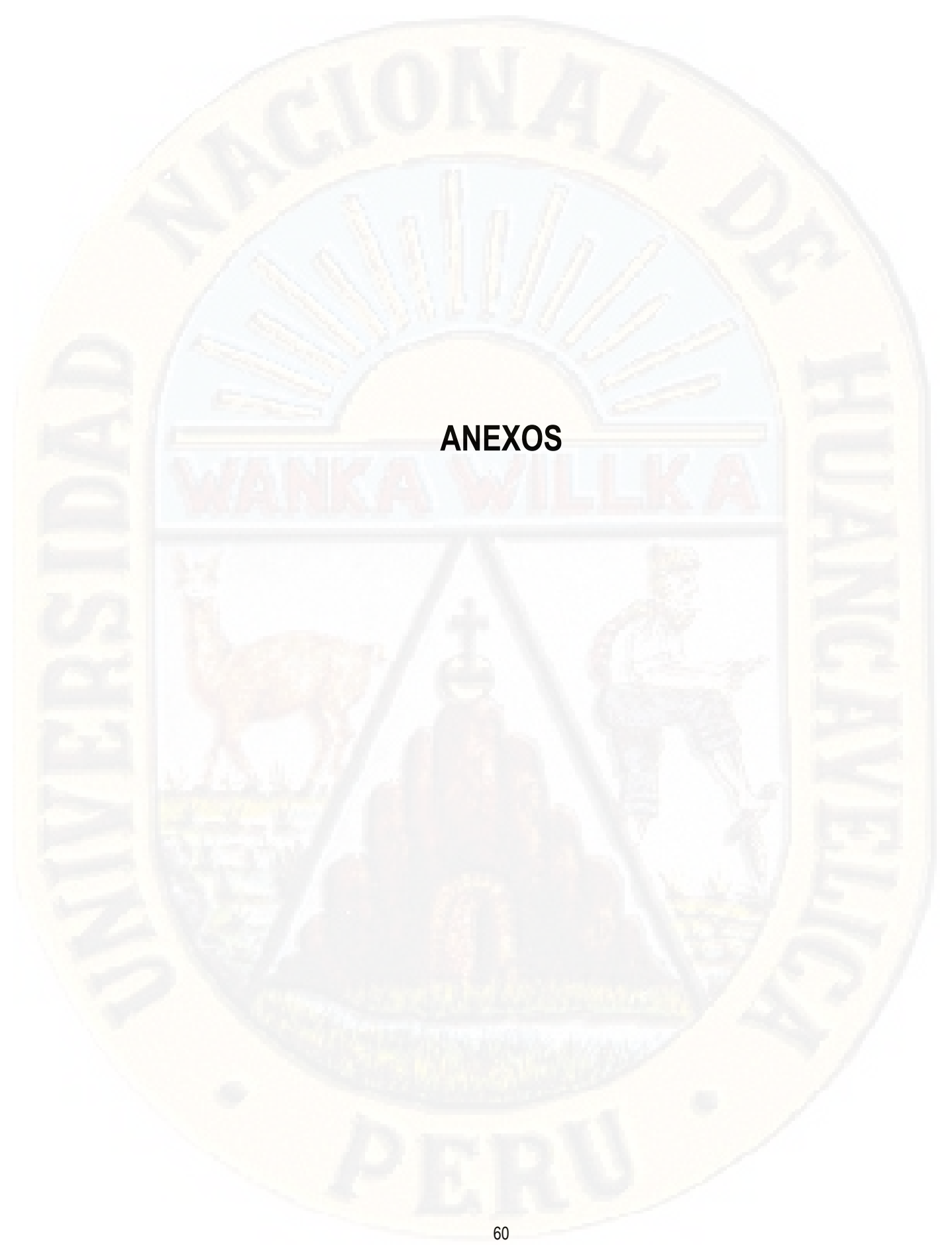
- Se halló que, la capacidad antioxidante sigue una cinética de reacción de segundo orden con respecto al tiempo de soleado ($R^2 = 0.999$, $p = 0.001$) y del mismo modo, el contenido de azúcares reductores ($R^2 = 0.136$, $p = 0.136$). Se puede afirmar que, el tiempo de soleado reduce la capacidad antioxidante (de 138.78 a 41.69 $\mu\text{mol Trolox equiv g}^{-1}$ en base húmeda) y el contenido en azúcares reductores (de 11.7 a 8.84 % en base húmeda) de la mashua negra.
- Se determinó que, tanto la acidez y el pH no mostraron un orden de reacción. Se puede afirmar que, el tiempo de soleado no influye significativamente ($p > 0.05$) en la acidez ni en el pH.
- Se halló que los grados brix se incrementan con el tiempo de soleado, siguiendo una reacción de orden cero ($R^2 = 0.9167$ y $p = 0.036$) en la mashua negra.
- El soleado de la mashua negra se usa con el fin de mejorar su sabor y palatabilidad; sin embargo, influye negativamente en su capacidad antioxidante.

REFERENCIA BIBLIOGRAFICA

1. Zalamea-Molina LF. Elaboracion del tubérculo mashua (*Tropaeolum tuberosum*) troceada en miel y determinación de la capacidad antioxidante. Guayaquil, Ecuador, Universidad de Guayaquil; 2014.
2. Cárdenas. Instituto Nacional de investigación Agraria y Agroindustrial. 1969.
3. Johns T, Towers GHN. Isothiocyanates and Thioureas in Enzyme Hydrolysates of *Tropaeolum tuberosum*. *Phytochemistry*. 1981; 20 (12): 2687-2689.
4. Campos D, Noratto G, Chirinos R, Arbizu C, Roca W, Cisneros-Zevallos L. Antioxidant capacity and secondary metabolites in four species of Andean tuber crops: native potato (*Solanum sp.*), mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz & Pavón), Oca (*Oxalis tuberosa* Molina) and ulluco (*Ullucus tuberosus* Caldas). *Science of Food and Agriculture*. 2006; 86 (10): 1481 – 1488.
5. Chirinos R, Campos D, Betalleluz I, Giusti M, Schwartz SJ, Tian Q, Pedreschi R, Larondelle Y. High-Performance Liquid Chromatography with Photodiode Array Detection (HPLC-DAD)/HPLC-Mass Spectrometry (MS) Profiling of Anthocyanins from Andean Mashua Tubers (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz and Pavón) and Their Contribution to the Overall Antioxidant Activity. *J. Agric. Food Chem*. 2006; 54 (19): 7089 – 7097.
6. Chirinos R, Campos D, Arbizu C, Rogez H, Rees JF, Larondelle Y, Noratto G, Cisneros-Zevallos L. Effect of genotype, maturity stage and post-harvest storage on phenolic compounds, carotenoid content and antioxidant capacity, of Andean mashua tubers (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz & Pavón). *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2007; 87 (3): 437–446.
7. Chirinos R, Rogez H, Campos D, Pedreschi R, Larondelle Y. Optimization of extraction conditions of antioxidant phenolic compounds from mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz & Pavón) tubers. 2007; 55 (1): 217-225.
8. Chirinos R, Campos D, Costa N, Arbizu C, Pedreschi R, Larondelle Y. Phenolic profiles of andean mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz & Pavón) tubers: Identification by HPLC-DAD and evaluation of their antioxidant activity. *Food Chemistry*. 2008a; 106 (1): 1285–1298.
9. Chirinos R, Campos D, Warnier M, Pedreschi R, Rees JF, Larondelle Y. Antioxidant properties of mashua (*Tropaeolum tuberosum*) phenolic extracts against oxidative damage using biological in vitro assays. *Food Chemistry*. 2008b; 111 (1): 98–105.
10. Chirinos R, Pedreschi R, Rogez H, Larondelle Y, Campos D. Phenolic compound contents and antioxidant activity in plants with nutritional and/or medicinal properties from the Peruvian Andean region. *Industrial Crops and Products*. 2013; 47 (1): 145 –152.
11. Ayala C, Almilcar R. “Efecto de secado en bandeja y atomización sobre la actividad antioxidante de la mashua (*Tropaeolum tuberosum*)”. Lima, Perú: 2009. Disponible en: <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/1703>
12. Caicedo, C. Estudio y promociones de las tuberosas andinas dentro del agro ecosistema andino en Ecuador, Alimentos del mundo andino. Centro internacional de la papa. 1999.
13. National Research Council. Lost Crops of the Incas: Little Known Plants of the Andes With Promise For World wide Cultivation. National Academy Press. Washington D.C. 1989.

14. Tapia ME. Instituto Nacional de Investigación Agraria y Agroindustrial; 1990.
15. Tineo J. Instituto Nacional de Investigación Agraria. Dirección general de Investigación Agraria. Folleto N° 6. Lima, Perú: 1993.
16. Delgado C. "Características morfológicas asociadas al rendimiento en mashua (*Tropaeolum tuberosum*) bajo condiciones de allpachaka (3600 msnm)". Huamanga, Perú: Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga; 1978.
17. Ortega L. "Usos y valor nutritivo de los andinos". Perú: Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria Y Agroindustrial (INIAA). Programa de Investigación de Cultivos Andinos (PICA); 1992.
18. Salas F. "Procesamiento de raíces y tubérculos andinos". Huancayo, Perú: Centro Internacional de la Papa (CIP); 1998.
19. Beltrán A, Mera J. Elaboración del tubérculo mashua (*Tropaeolum tuberosum*) troceada en miel y determinación de la capacidad antioxidante. Guayaquil, Ecuador: Universidad de Guayaquil; 2014.
20. Meza G, Cortes H, Zela G, Gonza V. "Cultivo de mashua". Cuzco, Perú: Universidad Nacional de San Antonio de Abad del Cuzco. Centro de investigación en cultivos Andinos. Asociación Arariwa. IX Congreso Internacional de Cultivos Andinos; 1997.
21. Espinoza S, Monteghirfo M, Álvarez J, Arnao I. "Análisis electroforético unidimensional y bidimensional de las proteínas de (*Tropaeolum tuberosum*) mashua". Lima, Perú: Centro de Investigación de Bioquímica y Nutrición – UNMSM; 2002.
22. Collazos C. La composición de alimentos de mayor consumo en el Perú. 6ª ed. Lima - Perú: Ministerio de Salud, Instituto Nacional de Nutrición; 1993.
23. Espín S, Brito B, Villacrés E, Rubio A, Nieto C, Grijalva J. Composición química, valor nutricional y usos potenciales de siete especies de raíces y tubérculos andinos. Acta Científica Ecuatoriana. 2001; 7 (1): 13 - 23.
24. Sarmiento H. "Estabilidad físico química y actividad antioxidante de las betalainas del ayrampo (*Opuntia soherensii*) durante el proceso de atomizado". Lima, Perú: Universidad Nacional Agraria La Molina; 2003.
25. Aguirre-Obando O.A.; Morales Alvares ED. Reconocimiento de carbohidratos [Internet]. 2010 [Citado 30 Abr 2017]. Disponibles en: <https://www.uniquindio.edu.co/>
26. Katchalsky A, Sharon N. Kinetics of aldose-amino acid interaction. Biochim Biophys Acta. 1953; 10:290-301.
27. Márquez G, Añón MC. Influence of reducing sugars and amino acids in the color development of fried potatoes. J. Food Sci. 1986; 51: 157.
28. Williams JC. Chemical and non-enzymic changes in intermediate moisture foods. En: Ed. Davies E, Birch GG, Parker KJ. Intermediate Moisture foods. Londres: Applied Science Publishers LTD; 1976.
29. Reyes FGR, Poocharoen B, Wrolstad RE. Maillard browning reaction of sugar-glycine model systems: Changes in sugar concentration, color and appearance. J. Food Sci. 1982; 47: 1376.
30. Avery H. Cinética química básica y mecanismos de reacción. Barcelona: Reverté S.A.; 2002.

- 
31. Hernández Sampieri R, Fernández Collado C, Baptista Lucio P. Metodología de la investigación. México: Mc Graw Hill Interamericana; 2006.
 32. Gutiérrez Pulido H, de la Vara Salazar, R. Análisis y diseño de experimentos. México: Mc Graw Hill Interamericana; 2012.
 33. Campos D, Noratto G, Chirinos R, Arbizu C, Roca WY, Cisneros-Zevallos L. Antioxidant capacity and secondary metabolites in four species of Andean tuber crops: native potato (*Solanum* sp.), mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz & Pavón), Oca (*Oxalis tuberosa* Molina) and ulluco (*Ullucus tuberosus* Caldas). *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2006; 86(1): 1481-1488.
 34. Ríos C. "Contribución al estudio de algunos compuestos bioactivos y de la capacidad antioxidante presente en diez genotipos de mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz & Pavon) y a la evaluación de su estabilidad". Lima, Perú: Universidad Nacional Agraria La Molina; 2004.
 35. Miller G. Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. *Anal. Chem*. 1959; 31:426-428.
 36. AOAC. Official Methods of Analysis. 12 ed. Washington: Association of Official Analytical Chemists; 2012.
 37. Hargreaves GH, Samani ZA. Reference crop evapotranspiration from temperature, *Applied Eng.in Agric*. 1985; 1 (2): 96-99.
 38. Romero X, Navarro P, Noguera J. Acidez y Ph. Merida – Venezuela: Universidad de los Andes; 2005.
 39. Badui S. Química de los alimentos. 4 ed. México: Pearson Educación de México, S.A. de CV; 2006.

The logo of the Universidad Nacional de Huancavelica, Peru, is a circular emblem. It features a central shield divided into three sections. The top section shows a sun with rays. The middle section contains the text 'WANKA WILLKA' in red. The bottom section is divided into three parts: a llama on the left, a central mountain with a cross on top, and a figure on the right. The entire emblem is surrounded by a yellow border with the text 'UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCABELICA' and 'PERU' at the bottom.

ANEXOS

ANEXO 01



Universidad Nacional Agraria La Molina Instituto de Biotecnología - Biotecnología Industrial

Av. La Molina s/n, La Molina Apdo. 12056, Lima-Perú. Telf. 614-7800 Anexo 436
<http://www.lamolina.edu.pe/institutos/ibt/>
ibt@lamolina.edu.pe



RESULTADOS DE ANÁLISIS*

MUESTRA: Mashua

Muestra	Capacidad antioxidante ABTS (μmol de equi. trolox/g) ¹	Azúcares reductores (%) ²	Acidez (g ácido ascórbico/100 g)
T1, soleado 5 días	133.78	11.70	1.006
T2, soleado 10 días	63.49	9.57	0.933
T3, soleado 15 días	41.69	8.84	1.035

* Promedio de tres repeticiones

⁽¹⁾ **Método:** Arnao, M. (2001). Some Methodological Problems in the Determination of Antioxidant Activity using Chromogen Radicals : a practical case, Trends in Food Science and Technology, 11: 419-431.

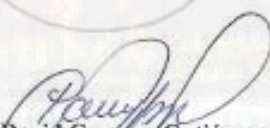
⁽²⁾ **Método:** Miller G. (1959). Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. Analytical Chemistry, 31:426-428.

Advertencia:

- El muestreo y las condiciones de manejo de las muestras hasta su ingreso a los Laboratorios del IBT - UNALM son de responsabilidad del solicitante
- Los resultados son válidos sólo para muestra recibida

Fecha de realización de los ensayos: de 06/12/16 al 14/12/16

La Molina, 14 de Diciembre del 2016.

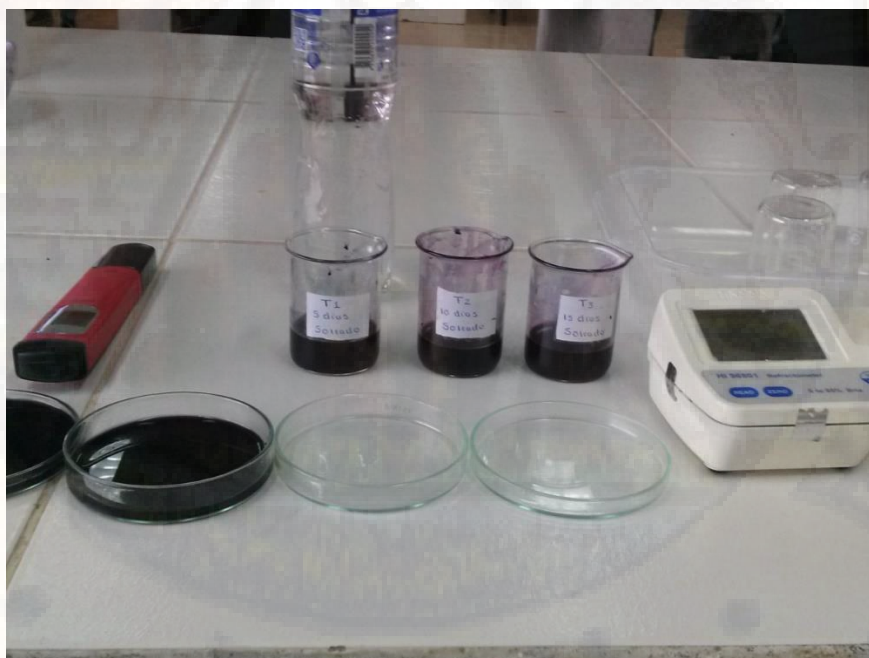

Dr. David Campos Gutiérrez
 INSTITUTO DE BIOTECNOLOGÍA
 LABORATORIO DE BIOTECNOLOGÍA INDUSTRIAL



ANEXO 02
Testimonio fotográfico



Fotografía 01. Muestras de mashua negra soleadas.



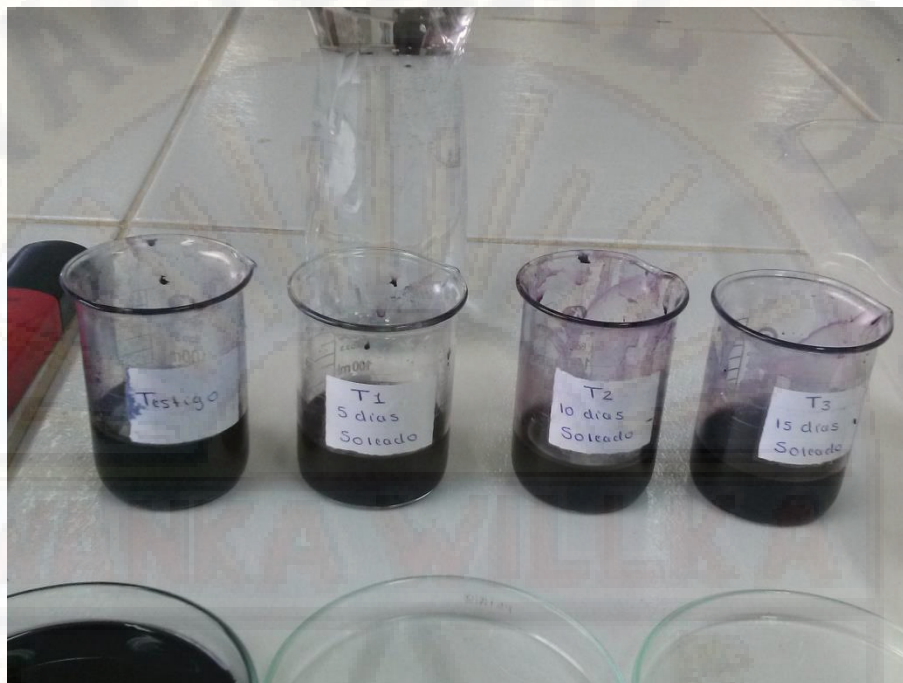
Fotografía 02. Medida de los grados brix de mashua negra soleadas.



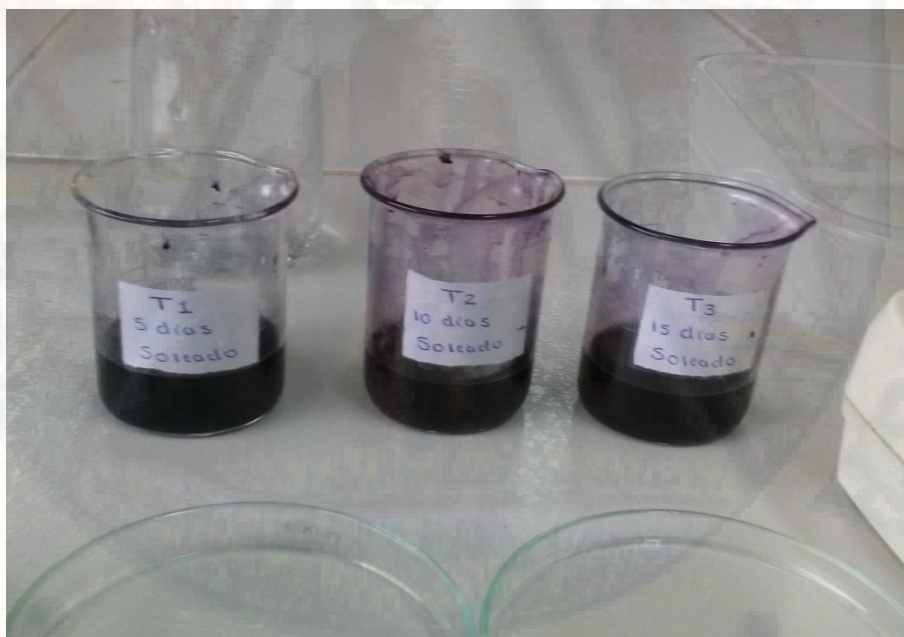
Fotografía 03. Medida del pH de las muestras de mashua negra soleadas.



Fotografía 04. Caracterización de muestras de mashua negra soleadas.



Fotografía 05. Extracción del zumo de mashua negra soleadas.



Fotografía 06. Rotulado del zumo de mashua negra soleadas.