

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE INDUSTRIAS ALIMENTARIAS



**“EFECTO DEL ESTRÉS ABIÓTICO POST-COSECHA EN LAS
CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS Y DE ALGUNOS
METABOLITOS PRIMARIOS DE MASHUA MORADA (*Tropaeolum
tuberosum* Ruíz & Pavón)”**

Presentado por:

IORELLA CONSUELO RAMÓN CCANA

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**

Lima - Perú

2017

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

**“EFECTO DEL ESTRÉS ABIÓTICO POST-COSECHA EN LAS
CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS Y DE ALGUNOS
METABOLITOS PRIMARIOS DE MASHUA MORADA (*Tropaeolum
tuberosum* Ruíz & Pavón)”**

Presentado por:

FIGRELLA CONSUELO RAMÓN CCANA

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:

Dr. Marcial Ibo Silva Jaimes
PRESIDENTE

Dr. Edwin Baldeón Chamorro
MIEMBRO

Dr. Américo Guevara Pérez
MIEMBRO

Dra. Ana Consuelo Aguilar Galvez
ASESOR(A)

Mg. Sc. Marianela Inga Guevara
CO-ASESOR(A)

Lima - Perú

2017

DEDICATORIA

A mi mamá (Julia) por ser mi guía y ejemplo; por su fortaleza, apoyo, comprensión y compañía brindada en el transcurso de toda mi vida.

AGRADECIMIENTO

- A mi asesora, Dra. Ana Aguilar, por su apoyo incondicional durante todas las etapas del desarrollo del presente trabajo de investigación, por los valiosos conocimientos compartidos, por las grandes lecciones brindadas y por su gran paciencia y dedicación. Muchas gracias por la confianza que depositó en mí.
- Al Dr. David Campos y nuevamente a la Dra. Ana Aguilar por haberme brindado la oportunidad de formar parte de su prestigioso centro de investigación.
- A mi co-asesora Mg. Sc. Marianela Inga por su apoyo durante las primeras etapas del presente trabajo.
- A mis hermanos, Karolina y Miguel, por brindarme su apoyo y comprensión en todo momento.
- A mis compañeros del Instituto de Biotecnología; en especial a mis amigas Carmen, Rocio y Katty por acompañarme y apoyarme desde el inicio de mi etapa universitaria hasta este momento y por los inolvidables momentos compartidos.
- Al Programa Nacional de Innovación para la Competitividad y Productividad (Innovate Perú), por el financiamiento para el desarrollo de la presente investigación como parte del proyecto “Análisis proteómico y metabolómico focalizado de tubérculos de mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz & Pavón) sometidos a estreses abióticos post-cosecha: énfasis en las rutas metabólicas involucradas en la síntesis de glucosinolatos y antioxidantes” (Contrato N° 189-PNICP-PIAP-2015).

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN

ABSTRACT

I.	INTRODUCCIÓN.....	1
II.	REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1.	MASHUA.....	3
2.1.1.	CARACTERÍSTICAS GENERALES	3
2.1.2.	TAXONOMÍA	6
2.1.3.	COMPOSICIÓN	7
2.1.4.	POST-COSECHA	12
2.1.5.	USOS Y PROPIEDADES DE LA MASHUA.....	13
2.1.6.	PRODUCCIÓN EN EL PERÚ	15
2.2.	ESTRÉS VEGETAL	16
2.2.1.	DEFINICIÓN	16
2.2.2.	AGENTES ESTRESANTES Y TIPOS DE ESTRESSES	18
2.2.3.	RESPUESTAS Y FASES INDUCIDAS POR EL ESTRÉS	19
2.2.4.	ESTRESSES ABIÓTICOS POST-COSECHA.....	21
2.3.	METABOLITOS PRIMARIOS EN LAS PLANTAS	26
2.3.1.	GENERALIDADES.....	26
2.3.2.	TIPOS DE METABOLITOS PRIMARIOS	27
III.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	29
3.1.	LUGAR DE EJECUCIÓN	29
3.2.	MATERIA PRIMA E INSUMOS.....	29
3.3.	MATERIALES, EQUIPOS Y REACTIVOS	29
3.3.1.	EQUIPOS	29
3.3.2.	MATERIALES.....	30
3.3.3.	REACTIVOS.....	31
3.4.	MÉTODOS DE ANÁLISIS	31
3.4.1.	HUMEDAD.....	31
3.4.2.	pH	32
3.4.3.	ACIDEZ TITULABLE	32
3.4.4.	COLOR POR EL MÉTODO CIELAB	32

3.4.5.	FIBRA INSOLUBLE (FDI), DIETARIA SOLUBLE (FDS) Y TOTAL (FDT) .	32
3.4.6.	ALMIDÓN.....	34
3.4.7.	MINERALES.....	35
3.4.8.	AZÚCARES.....	35
3.4.9.	ÁCIDOS ORGÁNICOS	35
3.4.10.	ÁCIDO L-ASCÓRBICO	36
3.5.	METODOLOGÍA EXPERIMENTAL	36
3.5.1.	ACONDICIONAMIENTO DE LAS MUESTRAS PARA EL ANÁLISIS	38
3.6.	DISEÑO EXPERIMENTAL	38
3.7.	ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	40
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	41
4.1.	PORCENTAJE DE RETENCIÓN DE PESO DE LAS MUESTRAS DE MASHUA SOMETIDAS A TRES ESTRESSES ABIÓTICOS POST-COSECHA.....	41
4.2.	CARÁCTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS EN MUESTRAS DE MASHUA SOMETIDAS A TRES ESTRESSES ABIÓTICOS POST-COSECHA.....	45
4.2.1.	pH EN MUESTRAS DE MASHUA SOMETIDAS A TRES ESTRESSES ABIÓTICOS POST-COSECHA.....	45
4.2.2.	ACIDEZ TITULABLE EN MUESTRAS DE MASHUA SOMETIDAS A TRES ESTRESSES ABIÓTICOS POST-COSECHA	47
4.2.3.	PARÁMETROS DE COLOR EN MUESTRAS DE MASHUA SOMETIDAS A TRES ESTRESSES ABIÓTICOS POST-COSECHA.....	50
4.2.4.	CONTENIDO DE MINERALES (CALCIO, MAGNESIO Y HIERRO) EN MUESTRAS DE MASHUA SOMETIDAS A TRES ESTRESSES ABIÓTICOS POST-COSECHA.....	56
4.2.5.	CONTENIDO DE FIBRA DIETARIA SOLUBLE (FDS), INSOLUBLE (FDI) Y TOTAL (FDT) EN MUESTRAS DE MASHUA SOMETIDAS A TRES ESTRESSES ABIÓTICOS POST-COSECHA	58
4.2.6.	CONTENIDO DE ALMIDÓN EN MUESTRAS DE MASHUA SOMETIDAS A TRES ESTRESSES ABIÓTICOS POST-COSECHA.....	64
4.3.	CONTENIDO DE METABOLITOS PRIMARIOS EN MUESTRAS DE MASHUA SOMETIDAS A TRES ESTRESSES ABIÓTICOS POST-COSECHA..	67
4.3.1.	CONTENIDO DE AZÚCARES EN MUESTRAS DE MASHUA SOMETIDAS A TRES ESTRESSES ABIÓTICOS POST-COSECHA.....	67

4.3.2.	CONTENIDO DE ÁCIDOS ORGÁNICOS EN MUESTRAS DE MASHUA SOMETIDAS A TRES ESTRESSES ABIÓTICOS POST-COSECHA	73
4.3.3.	CONTENIDO DE ÁCIDO L-ASCÓRBICO EN MUESTRAS DE MASHUA SOMETIDAS A TRES ESTRESSES ABIÓTICOS POST-COSECHA	79
V.	CONCLUSIONES	82
VI.	RECOMENDACIONES	83
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	84
VIII.	ANEXOS	97

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1: Composición de tubérculos de mashua	7
Cuadro 2: Producción de mashua en el Perú durante el período 2005 – 2015 (Toneladas)....	17
Cuadro 3: Parámetros de color (L*, a*, b*, H° y C*) en muestras de mashua sometidas durante 3, 6, 9, 12 y 15 días a los estreses abióticos post-cosecha de refrigeración, sombra y soleado.....	51
Cuadro 4: Contenido de minerales calcio (Ca), magnesio (Mg) y hierro (Fe) de muestras de mashua sometidas durante 3, 6, 9, 12 y 15 días a los estreses abióticos post-cosecha de refrigeración, sombra y soleado	56
Cuadro 5: Determinación de Fibra dietaria Soluble (FDS), Insoluble (FDI) y Total (FDT) en muestras de mashua sometidas durante 3, 6, 9, 12 y 15 días a los estreses abióticos post-cosecha de refrigeración, sombra y soleado	60
Cuadro 6: Contenido de azúcares (glucosa, fructosa y sacarosa) en muestras de mashua sometidas durante 3, 6, 9, 12 y 15 días a los estreses abióticos post-cosecha de refrigeración, sombra y soleado	68
Cuadro 7: Contenido de ácidos orgánicos (ácido oxálico, málico, quínico, succínico y fórmico) en muestras de mashua sometidas durante 3, 6, 9, 12 y 15 días a los estreses abióticos post-cosecha de refrigeración, sombra y soleado	74

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Algunas variedades de colores de tubérculos de mashua en Perú	5
Figura 2: Fases de la etapa de respuesta al estrés abiótico post-cosecha	21
Figura 3: Metabolismo primario en las plantas	27
Figura 4: Diseño experimental de la aplicación de tres tratamientos post-cosecha	39
Figura 5: Porcentaje de retención de peso en muestras de mashua sometidas durante 3, 6, 9, 12 y 15 días a los estreses abióticos post-cosecha de refrigeración, sombra y soleado	42
Figura 6: pH de muestras de mashua sometidas durante 3, 6, 9, 12 y 15 días a los estreses abióticos post-cosecha de refrigeración, sombra y soleado.....	46
Figura 7: Acidez titulable (g ácido ascórbico/ 100 g bs) de muestras de mashua sometidas durante 3, 6, 9, 12 y 15 días a los estreses abióticos post-cosecha de refrigeración, sombra y soleado	48
Figura 8: Contenido de almidón (g/100 g bs) en muestras de mashua sometidas durante 3, 6, 9, 12 y 15 días a los estreses abióticos post-cosecha de refrigeración, sombra y soleado	65
Figura 9: Contenido de ácido ascórbico (mg/ g bs) en muestras de mashua sometidas durante 3, 6, 9, 12 y 15 días a los estreses abióticos post-cosecha de refrigeración, sombra y soleado	80

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1: DETERMINACIÓN DE PROTEÍNA (MÉTODO BRADFORD).....	97
ANEXO 2: REGISTROS DE TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA EN LOS AMBIENTES DE REFRIGERACIÓN, SOMBRA Y SOLEADO DURANTE LOS QUINCE DÍAS DE APLICACIÓN DE LOS ESTRESSES ABIÓTICOS POST-COSECHA	98
ANEXO 3: REGISTROS DE LA TEMPERATURA INTERNA DE CINCO MUESTRAS DE MASHUA DE CADA UNO DE LOS GRUPOS SOMETIDOS A LOS ESTRESSES ABIÓTICOS POST-COSECHA DE REFRIGERACIÓN, SOMBRA Y SOLEADO	99
ANEXO 4: CONTROL DEL PESO DE LAS MUESTRAS DE MASHUA SOMETIDAS AL ESTRÉS ABIÓTICO DE REFRIGERACIÓN DURANTE LOS QUINCE DÍAS DE ALMACENAMIENTO.....	100
ANEXO 5: CONTROL DEL PESO DE LAS MUESTRAS DE MASHUA SOMETIDAS AL ESTRÉS ABIÓTICO POST-COSECHA DE SOMBRA	102
ANEXO 6: CONTROL DEL PESO DE LAS MUESTRAS DE MASHUA SOMETIDAS AL ESTRÉS ABIÓTICO POST-COSECHA DE SOLEADO	105
ANEXO 7: ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA EL PORCENTAJE DE RETENCIÓN DE PESO EN MUESTRAS DE MASHUA SOMETIDAS POR 3, 6, 9, 12 Y 15 DÍAS A LOS ESTRESSES ABIÓTICOS POST-COSECHA DE REFRIGERACIÓN, SOMBRA Y SOLEADO	108
ANEXO 8: CONTENIDO DE HUMEDAD Y MATERIA SECA EN MUESTRAS DE MASHUA SOMETIDAS POR 3, 6, 9, 12 Y 15 DÍAS A LOS ESTRESSES ABIÓTICOS POST-COSECHA DE REFRIGERACIÓN, SOMBRA Y SOLEADO DESPUÉS DE SER LIOFILIZADAS.....	109
ANEXO 9: DETERMINACIÓN DE PH EN MUESTRAS DE MASHUA SOMETIDAS POR 3, 6, 9, 12 Y 15 DÍAS, A LOS ESTRESSES ABIÓTICOS POST-COSECHA DE REFRIGERACIÓN, SOMBRA Y SOLEADO	110
ANEXO 10: ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA LA DETERMINACIÓN DE PH EN MUESTRAS DE MASHUA SOMETIDAS POR 3, 6, 9, 12 Y 15 DÍAS, A LOS ESTRESSES ABIÓTICOS POST-COSECHA DE REFRIGERACIÓN, SOMBRA Y SOLEADO	111
ANEXO 11: DETERMINACIÓN DE ACIDEZ TITULABLE (G ÁCIDO ASCÓRBICO/100 G BS) EN MUESTRAS DE MASHUA SOMETIDAS POR 3, 6, 9, 12	

Y 15 DÍAS, A LOS ESTRESSES ABIÓTICOS POST-COSECHA DE REFRIGERACIÓN, SOMBRA Y SOLEADO.....	112
ANEXO 12: ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA ACIDEZ TITULABLE EN MUESTRAS MASHUA SOMETIDAS POR 3, 6, 9, 12 Y 15 DÍAS, A LOS ESTRESSES ABIÓTICOS POST-COSECHA DE REFRIGERACIÓN, SOMBRA Y SOLEADO.....	113
ANEXO 13: DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE COLOR (L*, A*, B*, H° Y C*) EN MUESTRAS DE MASHUA SOMETIDAS POR 3, 6, 9, 12 Y 15 DÍAS, A LOS ESTRESSES ABIÓTICOS POST-COSECHA DE REFRIGERACIÓN, SOMBRA Y SOLEADO	114
ANEXO 14: ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL PARÁMETRO DE COLOR L* EN MUESTRAS DE MASHUA SOMETIDAS POR 3, 6, 9, 12 Y 15 DÍAS, A LOS ESTRESSES ABIÓTICOS POST-COSECHA DE REFRIGERACIÓN, SOMBRA Y SOLEADO	115
ANEXO 15: ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL PARÁMETRO DE COLOR A* EN MUESTRAS DE MASHUA SOMETIDAS POR 3, 6, 9, 12 Y 15 DÍAS, A LOS ESTRESSES ABIÓTICOS POST-COSECHA DE REFRIGERACIÓN, SOMBRA Y SOLEADO	116
ANEXO 16: ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL PARÁMETRO DE COLOR B* EN MUESTRAS DE MASHUA SOMETIDAS POR 3, 6, 9, 12 Y 15 DÍAS, A LOS ESTRESSES ABIÓTICOS POST-COSECHA DE REFRIGERACIÓN, SOMBRA Y SOLEADO	118
ANEXO 17: ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL PARÁMETRO DE COLOR H° (ÁNGULO DE TONO) EN MUESTRAS DE MASHUA SOMETIDAS POR 3, 6, 9, 12 Y 15 DÍAS, A LOS ESTRESSES ABIÓTICOS POST-COSECHA DE REFRIGERACIÓN, SOMBRA Y SOLEADO	119
ANEXO 18: ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL PARÁMETRO DE COLOR C* EN MUESTRAS DE MASHUA SOMETIDAS POR 3, 6, 9, 12 Y 15 DÍAS, A LOS ESTRESSES ABIÓTICOS POST-COSECHA DE REFRIGERACIÓN, SOMBRA Y SOLEADO	121
ANEXO 19: ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL CONTENIDO DE CALCIO (%) EN MUESTRAS DE MASHUA SOMETIDAS POR 3, 6, 9, 12 Y 15 DÍAS, A LOS ESTRESSES ABIÓTICOS POST-COSECHA DE REFRIGERACIÓN, SOMBRA Y SOLEADO	122
ANEXO 20: ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL CONTENIDO DE MAGNESIO (%) EN MUESTRAS DE MASHUA SOMETIDAS POR 3, 6, 9, 12 Y 15 DÍAS, A LOS ESTRESSES ABIÓTICOS POST-COSECHA DE REFRIGERACIÓN, SOMBRA Y SOLEADO	123
ANEXO 21: ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL CONTENIDO DE HIERRO (PPM) EN MUESTRAS DE MASHUA SOMETIDAS POR 3, 6, 9, 12 Y 15 DÍAS, A LOS ESTRESSES ABIÓTICOS POST-COSECHA DE REFRIGERACIÓN, SOMBRA Y SOLEADO	123

ANEXO 22: CONTENIDO DE FIBRA DIETARIA INSOLUBLE (FDI), SOLUBLE (FDS) Y TOTAL (FDT) EN MUESTRAS DE MASHUA SOMETIDAS POR 3, 6, 9, 12 Y 15 DÍAS, A LOS ESTRESSES ABIÓTICOS POST-COSECHA DE REFRIGERACIÓN, SOMBRA Y SOLEADO	124
ANEXO 23: ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL CONTENIDO DE FIBRA DIETARIA INSOLUBLE (FDI) EN MUESTRAS DE MASHUA SOMETIDAS POR 3, 6, 9, 12 Y 15 DÍAS, A LOS ESTRESSES ABIÓTICOS POST-COSECHA DE REFRIGERACIÓN, SOMBRA Y SOLEADO	125
ANEXO 24: ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL CONTENIDO DE FIBRA DIETARIA SOLUBLE (FDS) EN MUESTRAS DE MASHUA SOMETIDAS POR 3, 6, 9, 12 Y 15 DÍAS, A LOS ESTRESSES ABIÓTICOS POST-COSECHA DE REFRIGERACIÓN, SOMBRA Y SOLEADO	127
ANEXO 25: ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL CONTENIDO DE FIBRA DIETARIA TOTAL (FDT) EN MUESTRAS DE MASHUA SOMETIDAS POR 3, 6, 9, 12 Y 15 DÍAS, A LOS ESTRESSES ABIÓTICOS POST-COSECHA DE REFRIGERACIÓN, SOMBRA Y SOLEADO	128
ANEXO 26: CONTENIDO DE ALMIDÓN (%) EN MUESTRAS DE MASHUA SOMETIDAS POR 3, 6, 9, 12 Y 15 DÍAS, A LOS ESTRESSES ABIÓTICOS POST-COSECHA DE REFRIGERACIÓN, SOMBRA Y SOLEADO	130
ANEXO 27: ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL CONTENIDO DE ALMIDÓN (%) EN MUESTRAS DE MASHUA SOMETIDAS POR 3, 6, 9, 12 Y 15 DÍAS, A LOS ESTRESSES ABIÓTICOS POST-COSECHA DE REFRIGERACIÓN, SOMBRA Y SOLEADO	130
ANEXO 28: CONTENIDO DE AZÚCARES (GLUCOSA, FRUCTOSA Y SACAROSA) EN MUESTRAS DE MASHUA SOMETIDAS POR 3, 6, 9, 12 Y 15 DÍAS, A LOS ESTRESSES ABIÓTICOS POST-COSECHA DE REFRIGERACIÓN, SOMBRA Y SOLEADO	132
ANEXO 29: ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL CONTENIDO DE GLUCOSA (%) EN MUESTRAS DE MASHUA SOMETIDAS POR 3, 6, 9, 12 Y 15 DÍAS, A LOS ESTRESSES ABIÓTICOS POST-COSECHA DE REFRIGERACIÓN, SOMBRA Y SOLEADO	133
ANEXO 30: ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL CONTENIDO DE FRUCTOSA (%) EN MUESTRAS DE MASHUA SOMETIDAS POR 3, 6, 9, 12 Y 15 DÍAS, A LOS ESTRESSES ABIÓTICOS POST-COSECHA DE REFRIGERACIÓN, SOMBRA Y SOLEADO	135

ANEXO 31: ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL CONTENIDO DE SACAROSA (%) EN MUESTRAS DE MASHUA SOMETIDAS POR 3, 6, 9, 12 Y 15 DÍAS, A LOS ESTRESSES ABIÓTICOS POST-COSECHA DE REFRIGERACIÓN, SOMBRA Y SOLEADO	137
ANEXO 32: CONTENIDO DE ÁCIDOS ORGÁNICOS (ÁCIDO OXÁLICO, MÁLICO, QUÍNICO, SUCCÍNICO Y FÓRMICO) EN MUESTRAS DE MASHUA SOMETIDAS POR 3, 6, 9, 12 Y 15 DÍAS, A LOS ESTRESSES ABIÓTICOS POST-COSECHA DE REFRIGERACIÓN, SOMBRA Y SOLEADO.....	139
ANEXO 33: ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL CONTENIDO DE ÁCIDO OXÁLICO (%) EN MUESTRAS DE MASHUA SOMETIDAS POR 3, 6, 9, 12 Y 15 DÍAS, A LOS ESTRESSES ABIÓTICOS POST-COSECHA DE REFRIGERACIÓN, SOMBRA Y SOLEADO	140
ANEXO 34: ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL CONTENIDO DE ÁCIDO MÁLICO (%) EN MUESTRAS DE MASHUA SOMETIDAS POR 3, 6, 9, 12 Y 15 DÍAS, A LOS ESTRESSES ABIÓTICOS POST-COSECHA DE REFRIGERACIÓN, SOMBRA Y SOLEADO	141
ANEXO 35: ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL CONTENIDO DE ÁCIDO QUÍNICO (%) EN MUESTRAS DE MASHUA SOMETIDAS POR 3, 6, 9, 12 Y 15 DÍAS, A LOS ESTRESSES ABIÓTICOS POST-COSECHA DE REFRIGERACIÓN, SOMBRA Y SOLEADO	143
ANEXO 36: ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL CONTENIDO DE ÁCIDO SUCCÍNICO (%) EN MUESTRAS DE MASHUA SOMETIDAS POR 3, 6, 9, 12 Y 15 DÍAS, A LOS ESTRESSES ABIÓTICOS POST-COSECHA DE REFRIGERACIÓN, SOMBRA Y SOLEADO	144
ANEXO 37: ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL CONTENIDO DE ÁCIDO FÓRMICO (%) EN MUESTRAS DE MASHUA SOMETIDAS POR 3, 6, 9, 12 Y 15 DÍAS, A LOS ESTRESSES ABIÓTICOS POST-COSECHA DE REFRIGERACIÓN, SOMBRA Y SOLEADO	145
ANEXO 38: CONTENIDO DE ÁCIDO ASCÓRBICO (MG/G) (BS) EN MUESTRAS DE MASHUA SOMETIDAS POR 3, 6, 9, 12 Y 15 DÍAS, A LOS ESTRESSES ABIÓTICOS POST-COSECHA DE REFRIGERACIÓN, SOMBRA Y SOLEADO.....	147
ANEXO 39: ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL CONTENIDO DE ÁCIDO ASCÓRBICO (MG/G) EN MUESTRAS DE MASHUA SOMETIDAS POR 3, 6, 9, 12 Y 15 DÍAS, A LOS ESTRESSES ABIÓTICOS POST-COSECHA DE REFRIGERACIÓN, SOMBRA Y SOLEADO	147

ANEXO 40: CROMATOGRAMA DE IDENTIFICACIÓN DE AZÚCARES EN MUESTRAS DE MASHUA.....	149
ANEXO 41: CROMATOGRAMA DE IDENTIFICACIÓN DE ÁCIDOS ORGÁNICOS EN MUESTRAS DE MASHUA.....	149

RESUMEN

La investigación tuvo como objetivo evaluar el efecto de la aplicación de tres tipos de estrés abiótico post-cosecha sobre las características físico-químicas (pH, acidez, color, minerales, fibra dietaria y almidón) y el contenido de metabolitos primarios (azúcares y ácidos orgánicos) en muestras de mashua. Para ello, los tubérculos de mashua después de cosechados, fueron expuestos a tres estreses abióticos, refrigeración, sombra y soleado, por un período de quince días; en todos los casos, se tomaron muestras periódicamente con el fin de realizar los respectivos análisis. La mashua recién cosechada presentó valores de 10.8, 46.2, 7.2, 8.4, 2.2 y 0.72 g/100g base seca (bs), para fibra dietaria total, almidón, fructosa (F), glucosa (G), sacarosa (S) y ácido quínico, respectivamente; y 2.7 mg/g bs de ácido L-ascórbico. Los resultados muestran que la aplicación de estreses abióticos post-cosecha afectan las características físico-químicas y el contenido de metabolitos primarios en mashua. El soleado provoca la pérdida de la tonalidad púrpura; la disminución de la acidez, del contenido de almidón, ácido oxálico y ácido L-ascórbico; mientras que, la fibra dietaria insoluble (FDI), G, S, ácido quínico, succínico y fórmico aumentan. El almacenamiento en refrigeración provocó un incremento en el contenido de fibra dietaria soluble, G, F, S y ácido quínico; y, una disminución en el contenido de almidón; mientras que, el color y el ácido L-ascórbico no mostraron variaciones significativas. Finalmente, el almacenaje en sombra provocó una disminución en la acidez y el contenido de almidón, un incremento en la FDI; mientras que, el color y el contenido de metabolitos primarios no presentaron cambios notorios.

Palabras clave: mashua, estrés abiótico, metabolitos primarios

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the effect of three types of post-harvest abiotic stress on the physicochemical characteristics (pH, acidity, color, minerals, dietary fiber and starch) and the content of primary metabolites (sugar and organic acids) in samples of mashua. For this, the mashua tubers after harvesting were exposed to three abiotic stresses, refrigeration, shade and sunny, for a period of fifteen days; in all cases, samples were taken periodically in order to carry out the respective analyzes. The freshly harvested mashua presented values of 10.8, 46.2, 7.2, 8.4, 2.2 and 0.72 g/100g dry matter (DM), for total dietary fiber, starch, fructose (F), glucose (G), sucrose and quinic acid, respectively; and 2.7 mg/g DM of L-ascorbic acid. The results show that the application of post-harvest abiotic stresses affect the physical-chemical characteristics and the content of primary metabolites in mashua. The sunny causes the loss of the purple hue; the reduction of acidity, the content of starch, oxalic acid and L-ascorbic acid; while insoluble dietary fiber (IDF), G, S, quinic, succinic and formic acids increase. Refrigerated storage resulted in an increase in soluble dietary fiber content, G, F, S and quinic acid; a decrease in starch content; while color and L-ascorbic acid did not show significant variations. Finally, storage in shade caused a decrease in acidity and starch content, an increase in IDF; while the color and content of primary metabolites did not show noticeable changes.

Keywords: mashua, abiotic stress, primary metabolites

I. INTRODUCCIÓN

En los últimos años se han llevado a cabo una serie de investigaciones sobre tubérculos andinos con la finalidad de revalorizar su producción y su consumo. Entre los tubérculos investigados se encuentra la mashua, uno de los productos andinos cultivados por siglos en el Perú y otros países de la región de los Andes, y que es considerada el cuarto tubérculo andino más importante después de la papa, oca y olluco. El interés en la mashua se ha incrementado debido a que se ha demostrado que tiene propiedades nutricionales y funcionales, esto último hace referencia a que posee un alto contenido de compuestos fenólicos, carotenoides y antocianinas, además de una elevada capacidad antioxidante en comparación con otros tubérculos como la papa, oca y olluco (Campos *et al.*, 2006). A pesar de lo mencionado, este tubérculo es poco consumido debido a su sabor amargo.

Se sabe que el tratamiento post-cosecha tradicional al que son sometidos los tubérculos de mashua antes de consumirlos es el soleado, el cual se aplica con el objetivo de eliminar el sabor amargo e incrementar el dulzor (Grau *et al.*, 2003). Este tratamiento corresponde a un tipo de estrés abiótico, en el que los tubérculos son expuestos a dos factores estresantes principalmente, la luz y la temperatura, factores que probablemente provocan alteraciones en su metabolismo. Así, se ha comprobado que la exposición a diversos factores estresantes pueden provocar cambios en las características físicas, químicas o funcionales de diferentes alimentos, tal como es el caso de la fresa (Ozsen y Selen, 2012), pimiento dulce (Raffo *et al.*, 2008), naranja roja (Crifò *et al.*, 2011) y melocotón (Lauxmann *et al.*, 2014). Particularmente, Pérez (2005), demostró que el soleado influye directamente en la capacidad antioxidante y el contenido de diversos metabolitos secundarios como las antocianinas, compuestos fenólicos, carotenos y flavan 3-ol en tubérculos de mashua. Sin embargo, hasta la fecha no existen estudios respecto al efecto de la aplicación de estreses abióticos sobre las características físico-químicas y el contenido de metabolitos primarios en tubérculos de mashua.

Por lo mencionado, el objetivo general de la presente investigación fue estudiar el efecto del

estrés abiótico post-cosecha en las características físico-químicas y contenido de metabolitos primarios de mashua (*Tropaeolum tuberosum*); siendo los objetivos específicos:

- Evaluar los cambios en las características físico-químicas que se originan durante la aplicación de tres tipos de estreses abióticos post-cosecha, refrigeración, sombra y soleado, sobre tubérculos de mashua durante quince días.
- Evaluar los cambios en el contenido de metabolitos primarios que se originan durante aplicación de tres tipos de estreses abióticos post-cosecha, refrigeración, sombra y soleado, sobre tubérculos de mashua durante quince días.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. MASHUA

2.1.1. CARACTERÍSTICAS GENERALES

La mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz & Pavón) es una planta herbácea perenne, perteneciente a la familia Tropaeolaceae y originaria de la región andina. Es probablemente el cuarto cultivo más importante de toda la Región de los Andes después de la papa (*Solanum* spp.), olluco (*Ullucus tuberosus* Caldas) y oca (*Oxalis tuberosa* Molina) (National Research Council, 1989). En el 2015, de acuerdo a los estudios del Ministerio de Agricultura y Riego (2016), la producción en orden decreciente fue de 4704.260, 194.437, 94.424 y 30.209 miles de toneladas de papa, olluco, oca y mashua, respectivamente.

Este cultivo está bien arraigado en la zona andina. Su hábitat de distribución natural se extiende desde Colombia hasta Chile, incluyendo el norte de Argentina, Bolivia, Ecuador y Perú; aunque desde hace algunas décadas se cultiva también en Nueva Zelanda y Canadá. Sin embargo, las mayores áreas de siembra de la mashua se encuentran en Perú y Bolivia, donde generalmente se las cultiva en asociación con otros tubérculos como la oca, el olluco y la papa. El rango de altitud de cultivo de la mashua en los Andes es de 2400 a 4300 m.s.n.m., con una mayor frecuencia entre los 3000 y 3700 m, donde las temperaturas promedio anuales están en el rango de 8-11 °C (Grau *et al.*, 2003; Manrique *et al.*, 2013).

Una característica que se le atribuye a la mashua, debido al rango de bajas temperaturas en las que puede crecer, es su tolerancia al frío; al respecto, National Research Council (1989), afirma que la mashua es incluso, entre los cultivos andinos, la más resistente al frío. Otra característica ventajosa de la mashua, es su resistencia a las plagas y enfermedades, debido a que contiene sustancias fungistáticas y repelentes de insectos y nemátodos; no obstante, sí existen algunas enfermedades fungosas que producen daños considerables, especialmente en el tubérculo cosechado (Ames, 1997). Grau *et al.* (2003) afirman que las sustancias con

propiedades bactericida, insecticida y nematocida, pertenecen al grupo de los isotiocianatos, compuestos que son bien conocidos por ello. Así mismo, se menciona que la gama de fitoquímicos que posee la mashua no solo protege al cultivo en sí contra las plagas, sino que posiblemente también a los cultivos que crecen asociados a este; por esta razón, habitualmente se siembra en los Andes como cerco perimétrico de otros cultivos (Manrique *et al.*, 2013).

Además de ello, National Research Council (1989), afirma que la mashua es una planta muy resistente, pues prevalece en las regiones con los suelos más pobres y sin el uso de fertilizantes ni pesticidas; es uno de los cultivos de mayor rendimiento y productividad, y es el más fácil de cultivar. Todas las características antes mencionadas, junto con los bajos requerimientos para su crecimiento y su uso multipropósito, hacen de la mashua una planta muy atractiva para la agricultura orgánica (Grau *et al.*, 2003).

Respecto a su morfología, la planta de mashua es herbácea y glabra en todas sus partes. Es de crecimiento erecto cuando es tierna y de tallos postrados con follaje compacto cuando madura; y solo en algunas ocasiones se comporta como trepadora, debido a que sus tallos y peciolos son enroscables y capaces de subir en cualquier soporte disponible (Arbizu y Tapia, citados por Barrera *et al.*, 2004). El crecimiento postrado en su madurez provoca que la planta forme una capa densa sobre el suelo, lo que le permite competir ventajosamente con las malas hierbas (FAO, 1992). Sus hojas son alternas, peltadas, estipuladas, de color verde oscuro y brillante en el haz, claras en el envés y con cinco lóbulos normalmente (a veces con tres o cuatro). Las flores de mashua son solitarias, zigomorfas, axilares, están ubicadas en largos pedúnculos, poseen un cáliz de color rojo o rojizo y pétalos de color amarillo o naranja mayormente, que a veces pueden ser de color lila claro o rojizo. El fruto de la planta de mashua es un esquizocarpo, posee mericarpios de 4 a 5 mm de largo y es de color marrón a negro cuando está maduro (Tapia y Fries, 2007; Hind, 2010).

Por otro lado, respecto a los tubérculos de la planta de mashua, los cuales reciben el mismo nombre, cabe resaltar, que morfológicamente son tallos engrosados que poseen "ojos" o yemas en su superficie, las cuales se caracterizan por ser alargadas y profundas. Estos tubérculos, por lo general, miden de 5-15 cm de largo y 3-6 cm de ancho en su extremo distal o apical. Se les distingue de la oca, con la que pueden ser confundidos, por su forma cónica alargada, por los jaspes oscuros que posee y por la mayor concentración de yemas en la parte

distal, así como también, por su sabor amargo. Otra característica del tubérculo de mashua es que este posee un aspecto ceroso en su superficie. En cuanto al color, existe una variedad considerable en todos los lugares donde se cultiva. En la Figura 1, se muestra parte de la gran variedad de colores de los tubérculos de mashua que existe. Esta variabilidad se debe tanto al color de la piel como al color de la pulpa. En primer lugar, la piel de los tubérculos de mashua puede tener un color que va desde el crema hasta el morado oscuro, pasando por el amarillo, naranja y púrpura-morado en diferentes tonalidades; además, sobre esta pueden presentarse coloraciones rosadas o púrpuras en forma de jaspes o bandas que se distribuyen en el ápice y debajo de las yemas. Adicionalmente, a pesar de que la pulpa se caracteriza por ser generalmente amarilla, existen también variaciones en cuanto a la tonalidad de esta, e incluso en algunos casos la pulpa de los tubérculos llega a tener una coloración totalmente morada. Si bien, los tubérculos de mashua son los que comúnmente se consumen; todas las partes de la planta antes mencionadas, que incluyen hojas y flores, también son consumidas (FAO, 1992; Grau *et al.*, 2003; National Research Council, 1989).



Figura 1: Algunas variedades de colores de tubérculos de mashua en Perú

Por último, como se mencionó anteriormente, la mashua es una planta que se cultiva en diferentes países, como consecuencia de ello, se le atribuye una gran cantidad de nombres que varía con el país y con el idioma. El nombre común más utilizado tanto para la planta

como para el tubérculo es Mashua, una palabra en quechua empleada especialmente en el sur de Colombia, Ecuador y Perú Central. Otros nombres en quechua con los que se conoce a la mashua son aña, mashwa, allausu, apiña, apiñamama, yanaoca, ocaquisaña, entre otros. En la lengua aymara se la conoce principalmente como isaño o isaña, palabra de la que se deriva el término quechua “aña”; el nombre isaño es común alrededor del Lago Titicaca y también en Bolivia. Términos aymara adicionales que se emplean para referirse a la mashua son, mishwa, apilla, isau, issanu y kayacha. Por otro lado, en Colombia, la mashua es conocida como cubio, navios, navos o puel (Barrera *et al.*, 2004).

2.1.2. TAXONOMÍA

La mashua pertenece a la familia Tropaeolaceae, una familia pequeña y bastante homogénea de plantas herbáceas, y en su mayoría especies trepadoras. La familia incluye tres géneros, y los tres tienen la capacidad de formación de tubérculo. El género más grande es Tropaeolum, que contiene 86 especies, distribuidas desde el sur de México hasta todo lo largo de América del Sur (Sparre y Andersson, citados por Grau *et al.*, 2003).

La especie *Tropaeolum tuberosum*, que corresponde a la mashua, fue descrita por Ruíz y Pavón en su obra "*Flora Peruviana et Chilensis*", en la que por primera vez dieron cuenta original, detallada e ilustrada acerca de esta especie (Grau *et al.*, 2003). Johns y Towers (1981), afirman que la especie *Tropaeolum tuberosum* se divide en dos subespecies, la subespecie cultivada *T. tuberosum* ssp. *tuberosum* y la subespecie salvaje *T. tuberosum* ssp. *silvestre* Sparre. Según Hind (2010), esta última es la subespecie más ampliamente cultivada en los Andes. Otra especie muy cultivada perteneciente al género Tropaeolum es *T. majus* L., conocida como capuchina jardín, una planta ornamental popular en las zonas templadas y que está muy relacionada con la mashua (Barrera *et al.*, 2004).

Según el sistema de Armen Takhtajan, citado por Gómez (1998), la Mashua tiene la siguiente clasificación taxonómica:

Reino : Plantae
División : Angiosperma
Tipo : Angiospermales
Clase : Dicotiledóneas

Subclase : Archidamideas
 Orden : Geraniales
 Familia : Tropaeolaceae
 Género : Tropaeolum
 Especie : *Tropaeolum tuberosum* Ruiz & Pavón

2.1.3. COMPOSICIÓN

Los tubérculos de mashua se caracterizan por poseer un elevado valor nutritivo, el cual supera, en varios componentes específicos, al de otros tubérculos y raíces andinas (National Research Council, 1989). La composición de los tubérculos de mashua, se muestra en el Cuadro 1.

Cuadro 1: Composición de tubérculos de mashua

Componente	Contenido (g/ 100 g de muestra húmeda)	Contenido (g/ 100 g de muestra seca)
Agua (g)	87.4	-
Proteína (g)	1.5	9.17
Grasa (g)	0.7	-
Extracto etéreo (g)	-	4.61
Carbohidrato (g)	9.8	75.4
Fibra (g)	0.9	5.86
Ceniza (g)	0.6	4.81
Calcio (mg)	12	6
Fósforo (mg)	29	320
Hierro (mg)	1	4.2
Retinol (µg)	12	-
Carotenos (ER)	-	73.56*
Tiamina (mg)	0.1	-
Riboflavina (mg)	0.12	-
Ácido ascórbico (mg)	77.5	77.37*

*Valores expresados por cada 100 g de muestra fresca

FUENTE: Basado en Collazos *et al.* (1996) y Espín *et al.* (2001)

En primer lugar, Grau *et al.* (2003) mencionan, que el contenido de agua de los tubérculos de mashua es comparativamente alto respecto a los demás tubérculos andinos, estando en un rango de 79 a 94 por ciento en materia fresca. Resultados más específicos para el contenido de agua son mencionados por Collazos *et al.* (1996) y por Espín *et al.* (2001), quienes señalan valores de 87.4 y 88.7 por ciento, respectivamente. Respecto al porcentaje de materia seca en los tubérculos de mashua, cuyo valor es complementario al contenido de agua, Brito y Espín (1999), determinaron un rango de 7.2 a 19.7 por ciento, con un promedio de 12.51 por ciento de materia seca en muestras de mashua.

Además de lo mencionado, Grau *et al.* (2003), señalan que la principal contribución nutricional de la mashua es su alto contenido de carbohidratos, y como consecuencia de ello, es considerada una fuente importante de energía. Según Barrera *et al.* (2004), el contenido de carbohidratos en mashua se encuentra alrededor de 11 por ciento en base húmeda (bh) y, de acuerdo a Collazos *et al.* (1996), en 9.8 por ciento (bh); por otro lado, en base seca (bs), King (1987), determinó un valor mínimo y máximo de 69.7 y 79.5 por ciento, respectivamente. National Research Council (1989), menciona que la mashua contiene 78.6 por ciento de carbohidratos (bs); y, Espín *et al.* (2001), encontraron que el porcentaje promedio de carbohidratos totales en tubérculos de mashua de las diez accesiones promisorias que estudiaron fue 75.4 por ciento (bs).

Los carbohidratos presentes en la mashua están conformado principalmente por almidón. Según Rivera (2005), este se caracteriza por ser muy digerible, llegando a presentar una digestibilidad incluso mayor a la digestibilidad del almidón de la papa (Espín *et al.*, 2004). Barrionuevo (1975) mencionado por Grau *et al.* (2003), determinó que el porcentaje promedio de almidón en mashua es de 8.9 por ciento (bh) y, de acuerdo a los estudios realizados por Brito y Espín (1999) y Espín *et al.* (2001), en diversas muestras de mashua, el rango para el contenido de almidón se encuentra entre 20.01 y 79.46 por ciento, con un promedio de 48.31 por ciento (bs). Sin embargo, los azúcares también están presentes en los tubérculos de mashua como parte de sus carbohidratos, pero en menor porcentaje; según Brito y Espín (1999) y Espín *et al.* (2001), el porcentaje de azúcares totales en diversas muestras de mashua, se encuentran en un rango de 6.77 a 55.23 por ciento, con un valor promedio de 28.42 por ciento (bs). Esta mayor proporción de almidón en comparación con el contenido de azúcares, justifica que el sabor de la mashua no sea dulce y que además su textura sea firme debido a la rigidez de las paredes celulares y al alto contenido de este

carbohidrato. En contraste con lo anterior, Espín *et al.* (2001), al estudiar diez accesiones de mashua, encontraron que existió una distribución casi equitativa entre el almidón y los azúcares, pues los porcentajes promedios determinados para cada uno fueron, 46.92 y 42.81 por ciento (bs), respectivamente, siendo de igual forma mayor el contenido de almidón.

Respecto a las proteínas, varios autores señalan que los tubérculos de mashua tienen un elevado contenido de estas. Manrique *et al.* (2013), mencionan que el contenido de proteína de los tubérculos de la mashua es incluso mayor al de la papa, oca y olluco. Del mismo modo, Grau *et al.* (2003), afirman que, si bien el contenido de proteína de estos tubérculos, en materia fresca, se aproxima al de la papa, el contenido de materia seca en la mashua es menor, como consecuencia de ello, el contenido de proteínas de la mashua en base seca sería mayor que el de la papa. King (1987), al estudiar diferentes muestras de mashua, determinó que el porcentaje de proteína en estas puede variar de 6.9 a 15.7 por ciento (bs), rango que coincide con el mencionado por Barrera *et al.* (2004); así mismo, National Research Council (1989), atribuye a la mashua un contenido de proteína 11.4 por ciento (bs); por otro lado, Brito y Espín (1999), establecieron un rango entre 7.22 y 13.99 por ciento (bs) para el contenido de proteína de diversas muestras de mashua y, Espín *et al.* (2001), un porcentaje promedio de 9.17 por ciento (bs) en diez accesiones de mashua. Otros autores, como Barrionuevo (1975) mencionado por Grau *et al.* (2003) y Collazos *et al.* (1996), reportan un contenido de proteína de 1.5 g/ 100 g de mashua (bh).

Los análisis de aminoácidos de la proteína de los tubérculos de mashua muestran una composición nutricional satisfactoria en comparación con las recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud (OMS) (Shah *et al.*, 1993; Stegemann y Shah, 1993; mencionados por Grau *et al.*, 2003). Rivera (2005) reafirma esto, al mencionar que casi la totalidad de la proteína que se ingiere es digerida por el organismo. No obstante, King (1987) observó en su estudio, que al parecer, la especie *Tropaeolum tuberosum* consumida por sí sola, proporciona el equilibrio de aminoácidos esenciales menos adecuado de las tres especies que evaluó, *Tropaeolum tuberosum*, *Oxalis tuberosa* y *Ullucus tuberosus*. Al respecto, Espín *et al.* (2001), encontraron que, en general, las proteínas de las raíces y los tubérculos andinos son biológicamente incompletas, es decir, no contienen todos los aminoácidos esenciales en una cantidad igual o superior a lo establecido para cada aminoácido en una proteína de referencia, determinando que para el caso de la mashua los aminoácidos limitantes son la Leucina, Lisina, Fenilalanina+Tirosina y Treonina, por tener

un índice químico menor a cien por ciento. Sin embargo, debido a que comúnmente este tubérculo andino se ingiere junto con otros alimentos, se logra complementar las deficiencias a nivel de proteínas de la mashua.

Por otro lado, respecto a los lípidos en la mashua, Flores *et al.* (2003), mencionan que este cultivo comparado con otras raíces y tubérculos andinos, entre los que se encuentran la oca, el olluco y la papa, posee un nivel de lípidos alto. Collazos *et al.* (1996), reafirma esto al mostrar que el contenido de lípidos en la mashua, 0.7 g de lípidos/ 100 g (bh), es mayor al de la oca, papa y olluco, siendo estos valores 0.6, 0.1 y 0.1 g de lípidos/ 100 g (bh), respectivamente. Del mismo modo, Espín *et al.* (2001), demostraron que el porcentaje de extracto etéreo o grasa bruta en la mashua es mayor al de otras raíces y tubérculos andinos como la oca, el miso, la jicama, el olluco, zanahoria blanca, etc., con un valor de 4.61 por ciento (bs). En contraste con ello, King (1987), estableció para el porcentaje de grasa en mashua, un rango de 0.1 a 0.4 por ciento (bs), rango que fue menor al que determinó para el caso de la oca y el olluco.

En cuanto al contenido de fibra en mashua, Flores *et al.* (2003) y Manrique *et al.* (2013), coinciden y mencionan que, el porcentaje de este componente presente en los tubérculos de mashua es alto. Al respecto, Barrionuevo (1975) mencionado por Grau *et al.* (2003), determinó un rango de 0.5 a 1.5 por ciento (bh) de fibra cruda; similar a esto, Collazos *et al.* (1996), señalan un valor de 0.9 por ciento (bh). Por otro lado, King (1987), al estudiar diferentes muestras de mashua, encontró un valor mínimo para el contenido de fibra cruda de 7.8 por ciento y un valor máximo de 8.6 por ciento (bs); así mismo, National Research Council (1989), menciona que los tubérculos de mashua poseen 5.7 g de fibra/ 100 g (bs), valor menor al citado anteriormente pero similar al reportado por Espín *et al.* (2001), quienes determinaron que el contenido promedio de fibra cruda en diez variedades de mashua fue 5.86 por ciento (bs).

De manera similar a varios componentes anteriormente citados, respecto a las vitaminas, muchos autores coinciden en afirmar que la mashua, comparada con otras raíces y tubérculos andinos, posee elevados niveles de ácido ascórbico (Vitamina C), tiamina (Vitamina B1), riboflavina (Vitamina B2) y provitamina A o betacaroteno, una razón más por la que sería también nutricionalmente interesante. Así, para la Vitamina C, que corresponde a la vitamina más resaltante en la mashua, Collazos *et al.* (1996), determinó un valor de 77.5 mg de ácido

ascórbico/ 100 g (bh); Espín *et al.* (2001), un valor promedio de 77.37 mg/ 100 g (bh) y, Rivera (2005), un contenido de 77.4 mg de Vitamina C/ 100 g (bh), siendo estos valores en promedio mayores al contenido de ácido ascórbico en la oca, olluco y papa, los cuales, según Collazos *et al.* (1996), corresponden a 38.4, 11.5 y 14 mg ácido ascórbico/ 100 g (bh), respectivamente. Así, Espín *et al.* (2001), señalan que la mashua es la especie más rica en Vitamina C en comparación a otras raíces y tubérculos andinos entre los que se encuentran el miso, la jícama, la oca, la zanahoria blanca, el olluco y la achira. Adicionalmente, es importante mencionar que, según Rivera (2005) y Espín *et al.* (2004), el contenido de Vitamina C en la mashua cubre los requerimientos diarios recomendados de esta vitamina para un adulto.

Por otro lado, respecto a la tiamina, Collazos *et al.* (1996), muestran que la mashua presenta 0.1 mg de tiamina/ 100 g de muestra (bh). Flores *et al.* (2003) coinciden con estos autores al mostrar que el contenido de tiamina en la mashua es mayor al de otros cultivos andinos como la oca, olluco y papa, los cuales de acuerdo a Collazos *et al.* (1996), contienen 0.05, 0.05 y 0.09 mg de tiamina/ 100 g (bh), respectivamente. En tercer lugar, para el caso de la riboflavina, Collazos *et al.* (1996), determinaron un contenido de 0.12 mg de riboflavina/ 100 g de mashua (bh). Por último, respecto a la provitamina A o betacaroteno, Espín *et al.* (2001), identificaron a la mashua como la especie más rica en carotenos entre todos los tubérculos y raíces andinas que evaluaron, con un contenido promedio de 73.56 Equivalentes de Retinol (ER)/ 100 g de muestra (bh), este estudio incluía a la oca, el miso, la jícama, el olluco, la arracacha y la achira, cuyos contenidos de carotenos fueron menores. Collazos *et al.* (1996) reafirma esto y muestra que, el contenido de retinol de la mashua, el cual corresponde a 12 µg de retinol/100 g de muestra (bh), es mayor al de otros tubérculos andinos como al de la oca, el olluco y la papa, los cuales son 1, 5 y 3 µg de retinol/100 g de muestra (bh), respectivamente. Del mismo modo, Campos *et al.* (2006), al estudiar el contenido de metabolitos secundarios en cuatro especies de cultivos de tubérculos andinos: papa nativa, mashua, oca y olluco, encontró que el rango de valores para el contenido de carotenoides totales en mashua es similar al de la oca, con valores de 1 a 25 y de 2 a 25 µg de β-carotenos/ g muestra (bs), respectivamente; pero mayor al contenido de carotenoides totales en papas nativas, cuyo rango corresponde a 2 - 5 µg de β-carotenos/ g muestra (bs).

Finalmente, al igual que otros *Tropaeolaceae*, la mashua contiene isotiocianatos presentes como glucosinolatos. Los isotiocianatos son bien conocidos por sus propiedades antibiótica,

insecticida y diurética, que demuestran el uso extensivo de la mashua en la medicina tradicional andina. El contenido de isotiocianatos en mashua comúnmente supera los 20 mg/100 g de mashua cruda (Grau *et al.*, 2003).

2.1.4. POST-COSECHA

En general, no existe mucha información sobre las prácticas post-cosecha para la mashua. Suquilanda (2008) menciona que después de la cosecha de la mashua, la cual se realiza manualmente, los tubérculos son sometidos a un minucioso proceso de limpieza y selección, para luego ser almacenados o trasladados hacia el mercado o la agroindustria, tal como ocurre en varias provincias de Ecuador. De manera similar, Grau *et al.* (2003), afirma que las prácticas tradicionales post-cosecha de la mashua incluyen, la limpieza de los tubérculos para eliminar la tierra, la clasificación de estos de acuerdo al tamaño y el color, y la selección, que implica la eliminación de mashuas magulladas o lesionadas.

Posterior a la selección, los tubérculos de mashua frecuentemente son almacenados. En cuanto a las técnicas de almacenamiento de los tubérculos andinos como la oca, olluco y mashua, Tapia y Fries (2007) mencionan que, estas varían de acuerdo a tres aspectos: las condiciones climáticas locales, la cantidad de tubérculos a guardar y las facilidades o instalaciones. Los mismos autores señalan que si bien, estos tubérculos andinos se almacenan generalmente con las mismas técnicas y cuidados que la papa, se debe tener en cuenta que los tubérculos andinos, en especial la mashua, presentan un contenido de humedad mayor al de la papa, como consecuencia de ello, la pérdida de peso es mayor y más rápida y, el tiempo de conservación es más corto.

En el caso particular del almacenamiento de la mashua, Grau *et al.* (2003) menciona que, al Sur de la zona central del Perú, los tubérculos de mashua son almacenados comúnmente al aire libre, cubiertos con capas de ichu seco. Estas capas de ichu son suficientemente gruesas como para mantener a los tubérculos en oscuridad, protegerlos de las altas temperaturas durante el día y aislarlos contra las heladas durante la noche, las cuales son comunes después del período de cosecha. Esta medida de prevención logra que la variación de la temperatura debajo de la capa de ichu sea mínima y que oscile alrededor de la temperatura ambiente local.

Finalmente, antes de su consumo, los tubérculos de mashua son sometidos a un proceso de soleado, es decir, son expuestos directamente a la luz solar durante algunos días con el objetivo de mejorar la dulzura y sabor. Esta práctica incrementa el contenido de azúcar, probablemente porque se induce la degradación del almidón y, adicionalmente, puede reducir también el contenido de isotiocianatos (Grau *et al.*, 2003; Tapia y Fries, 2007).

Sin embargo, es importante tener en cuenta dos consideraciones: primero, que algunos autores señalan que la mashua tiene un tiempo límite de cuatro días de soleado, debido a que después de ese lapso de tiempo, el sabor y la consistencia se hechan a perder; y, segundo, que si los tubérculos de mashuas no se protegen en la noche, estos se “enserenan”, lo cual hace referencia a que en el interior del tubérculo se forma una bolsa de agua y el sabor no es bueno, motivo por el cual es importante la protección durante las noches (Espinosa *et al.*, citados por Monteros, 1996).

2.1.5. USOS Y PROPIEDADES DE LA MASHUA

La mashua, al igual que el resto de tubérculos andinos, es utilizada principalmente por los habitantes de la región andina, especialmente por las comunidades autóctonas de los Andes, debido a las costumbres ancestrales que tienen. Según Flores *et al.* (2003), los pobladores altoandinos emplean a la mashua básicamente de dos formas, como cultivo para la alimentación y como un cultivo medicinal. Hermann y Heller (1997) mencionan, que el uso de este tubérculo y su presencia en el mercado, al igual que en el caso de la oca, estuvieron en declive por muchos años. Sin embargo, de acuerdo a los datos reportados por el Ministerio de Agricultura y Riego (2016), entre los años 1995 y 2005 la producción de mashua a nivel nacional se incrementó continuamente alcanzando los máximos valores de producción en los años 1999 y 2003, los que corresponden a 37859 y 37088 toneladas. A pesar de ello, en los últimos 10 años (2006-2015), la producción de mashua a nivel nacional no ha tenido una tendencia hacia el incremento sino que se mantiene oscilando con ligeros aumentos y disminuciones.

El uso principal que se le atribuye a la mashua es su uso en la alimentación, pues los tubérculos de mashua junto a la oca, el olluco y la papa forman la base de la dieta andina, incluso desde antes de que el maíz tomara importancia. Si bien, los tubérculos de mashua son los que se consumen con mayor frecuencia, las otras partes de la planta, como las hojas

y las flores, también pueden ser consumidas (National Research Council, 1989; Tapia y Fries, 2007).

Una característica muy reconocida en los tubérculos de mashua es su sabor picante, el cual los hace inaceptables para ser consumidos crudos. Este sabor picante, se atribuye a la presencia de altos niveles de isotiocianatos en la mayoría de los tubérculos de mashua. Por este motivo, es necesario someterlos a un proceso de cocción, a través del cual se logra hidrolizar a los isotiocianatos y con ello, mejorar el sabor de los tubérculos de mashua (Grau *et al.*, 2003). A pesar de esto, Hind (2010) menciona que, si solo se les somete a un proceso de cocción, el sabor de los tubérculos no logra ser tan agradable al paladar; por ello, como se mencionó anteriormente, es una práctica generalizada, exponer a los tubérculos de mashua a un proceso de soleado durante algunos días, antes de consumirlos, con el objetivo de incrementar el dulzor y reducir los niveles de cianuro antes de la cocción (Hermann, 1992; Dolores y Espín, citados por Grau *et al.*, 2003).

Los tubérculos de mashua son consumidos de varias formas. Hind (2010) menciona que los métodos de preparación de estos son diferentes de un país a otro. En el Perú, los tubérculos de mashua se consumen cocidos, solos o formando parte de una gran variedad de platos como sopas, guisos o mazamoras. En Cuzco, específicamente, se suele hornear a la mashua en hornos artesanales de campo conocidos como “watias” (Hermann, 1992). Una preparación especial aplicada a los tubérculos de mashua consiste en cocerlos primero, luego exponerlos a los efectos de la helada por una noche y, al día siguiente, consumirlos acompañados de miel de caña de azúcar; al plato obtenido, se le conoce con el nombre de “thayacha” o “taiacha”. Esta preparación se realiza comúnmente en Bolivia y algunas partes de Perú (FAO, 1992; National Research Council, 1989).

Además de las propiedades nutricionales que se mencionaron en el acápite 2.1.3., varios autores atribuyen a la mashua diversas propiedades medicinales, lo cual sustenta el uso de la mashua como parte de la medicina tradicional de los Andes desde tiempos muy antiguos. Así, varios estudios han informado sobre el uso medicinal de la mashua con el fin de aliviar dolencias de riñón e hígado (Oblitas, citado por Vásquez *et al.*, 2012); también, sobre el uso de esta para tratar los malestares urinarios y de próstata en forma de infusión y, para el caso del reumatismo, como parches elaborados con mashua molida (Tapia y Fries, 2007). Adicionalmente, Rea, citado por Monteros (1996), reporta que en Bolivia se usa el tubérculo

de mashua cocido y el agua en el que se hirvieron para tratar a personas con diabetes. Además de los usos mencionados, se conocen otros más para tratar otras dolencias y enfermedades; sin embargo, entre los numerosos efectos medicinales atribuidos a la mashua, resalta su supuesta capacidad para disminuir la función potencial reproductiva y eréctil en los hombres. Esto último, fue demostrado científicamente por Cárdenas-Valencia *et al.* (2008), quienes demostraron que la mashua reduce la función testicular en ratas y, por Vásquez *et al.* (2012), los cuales concluyeron que el extracto hidroalcohólico de mashua tiene una acción directa sobre el sistema reproductor masculino disminuyendo los parámetros espermáticos en ratones.

Manrique *et al.* (2013) y Johns *et al.* (1982), justifican las propiedades terapéuticas de la mashua y su uso en la medicina popular andina, debido a la presencia de un alto contenido de isotiocianatos en los tubérculos de mashua, los cuales son conocidos por sus propiedades antibióticas, insecticidas, nematicidas, diuréticas y anticancerígenas. Respecto a esto último, se ha demostrado que los isotiocianatos inducen la apoptosis en varias líneas de células de cáncer (Nakamura y Miyoshi, 2006); además, que inhiben la proliferación de células cancerígenas (Zhang *et al.*, 2003), es decir, bloquean la carcinogénesis química, mediante la inhibición de enzimas involucradas en la activación de carcinógenos y activando a las enzimas que aceleran la inactivación de los carcinógenos (Zhang y Talalay, 1998).

Adicionalmente, se cree que las propiedades de los tubérculos andinos en general, relacionadas con la salud, también podrían atribuirse en parte a los antioxidantes presentes en estos cultivos. Respecto a ello, Campos *et al.* (2006), al estudiar la capacidad antioxidante de los tubérculos andinos y, su asociación con los metabolitos secundarios, observó que los tubérculos de mashua mostraron una alta capacidad antioxidante y un alto contenido de compuestos fenólicos, antocianinas y carotenoides en comparación con otros cultivos como la papa, el olluco y la oca, lo que también podría sustentar su uso en la medicina tradicional de los Andes y que incluso, como menciona Chirinos *et al.* (2007b), extractos purificados de mashua con un alto contenido de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante podrían considerarse como una fuente potencial de nutraceuticos en el futuro.

2.1.6. PRODUCCIÓN EN EL PERÚ

El Perú es uno de los principales países considerados como centro de origen de la agricultura.

Gracias a un larguísimo proceso de domesticación, se cuenta hoy con diversas especies de flora y fauna, las cuales brindan una dispensa alimentaria de alto valor proteico y un botiquín natural únicos en el mundo.

La agricultura de la zona altoandina del Perú se basa en complejos sistemas de cultivo, donde el maíz y la papa constituyen los cultivos primarios y los demás tubérculos, raíces y granos son los cultivos de menor importancia que complementan el sistema productivo y alimenticio. Dentro de los llamados tubérculos menores, los más comunes son el olluco, la oca y la mashua; y, se les denomina tubérculos andinos menores porque se producen en cantidades pequeñas, comparado con la producción de papa, y porque suelen comercializarse en pequeña escala y tienden a tener importancia sólo a nivel local (Triveli y Smith, 1997).

En el Cuadro 2, se presentan los datos de producción de mashua durante los últimos diez años, período 2005-2015, reportados por el Ministerios de Agricultura y Riego (2016), tanto a nivel departamental como a nivel nacional. Se puede notar que los principales productores de mashua durante el período mencionado fueron los departamentos de Junín, Cuzco y Puno y, que en general la producción de mashua a nivel nacional se ha mantenido casi constante con ligeros crecimientos y decrecimientos.

Por último, cabe resaltar que, una característica importante de la mashua es su alto rendimiento productivo. Tal es así que, Tapia y Fries (2007), reportan rendimientos entre 12 y 15 t/ha de tubérculos de mashua y, National Research Council (1989), afirma que se pueden alcanzar rendimientos aún mayores, incluso de 20 a 30 toneladas por hectárea.

2.2. ESTRÉS VEGETAL

2.2.1. DEFINICIÓN

El término estrés en fisiología vegetal tiene dos acepciones diferentes, pero relacionadas entre sí. La primera, define al estrés como la presencia de uno o varios factores externos que ejercen algún tipo de influencia sobre el funcionamiento normal del organismo expuesto (Peña *et al.*, 2005; Azcón-Bieto y Talón, 2008). Haciendo referencia a lo mismo, Salisbury y Ross (2000) mencionan que, el estrés reside en cualquier alteración de las condiciones ambientales o externas que puedan reducir o influir de manera adversa en el crecimiento o

Cuadro 2: Producción de mashua en el Perú durante el período 2005 – 2015 (Toneladas)

Año	Amazonas	Apurímac	Arequipa	Ayacucho	Cusco	Huancavelica	Huánuco	Junín	La Libertad	Lima	Moquegua	Puno	Total Nacional
2005	158	3030	44	3668	6022	1830	1439	8752	2432	38	-	6173	33585
2006	128	2142	41	3010	6934	916	1362	7832	3090	134	-	6563	32151
2007	146	2846	36	2642	5915	524	1380	7532	2130	185	29	7079	30444
2008	187	2641	50	3991	6355	368	1413	6588	954	82	64	6311	29003
2009	143	3277	31	3932	7583	1667	1360	6492	1127	149	56	7097	32913
2010	95	2344	23	3697	6767	1647	1221	6127	901	80	152	6144	29196
2011	94	2615	32	2911	7039	2605	1317	6042	611	74	35	5744	29117
2012	63	4121	22	4187	7126	1945	1173	5669	453	74	-	6580	31413
2013	130	4422	38	3909	7325	1779	1221	5504	286	30	71	6396	31113
2014	62	4055	46	3958	7216	1414	1242	4150	188	35	62	6718	29147
2015	70	4814	73	3692	9078	826	1202	3262	199	26	0	6968	30209

FUENTE: Tomado de Ministerio de Agricultura y Riego (2016). Datos actualizados al 05 de mayo del 2016.

desarrollo de una planta. La segunda, define al estrés como el estado interno y particular de la planta o vegetal que resulta de la aplicación de factores externos y que limita el funcionamiento normal de la misma (Ledent, 2002; Reigosa *et al.*, 2004).

Constantemente los organismos están sometidos a condiciones a las cuales deben adaptarse, entendiéndose como adaptación al conjunto de respuestas que emite un organismo, con el fin de contrarrestar una situación amenazante para su equilibrio. Condiciones como variaciones de temperatura, disponibilidad de nutrientes, aumento o disminución de la radiación solar, etc., son ejemplos de las condiciones a las cuales debe adaptarse un organismo. Cuando estas condiciones difieren significativamente de las óptimas para su desarrollo, e implican cambios y respuestas en todos los niveles funcionales del organismo, se hace referencia al término estrés (Peña *et al.*, 2005).

Es importante señalar también que, el concepto de estrés es en sí mismo relativo, porque una determinada situación medioambiental puede resultar estresante para una especie y puede no serlo para otras (Azcón-Bieto y Talón, 2008).

2.2.2. AGENTES ESTRESANTES Y TIPOS DE ESTRESSES

Existen un gran número de agentes estresantes, naturales o antropogénicos, a los que están expuestos los vegetales a lo largo de su ciclo de vida, incluyendo la etapa posterior a la cosecha, que causan estrés y que, dependiendo de su intensidad y duración, podrán causar daño a la planta. Estos agentes estresantes pocas veces actúan de manera individual o por separado sobre una planta. Usualmente, los agentes estresantes actúan simultáneamente, tal como en el caso de la combinación común de estrés por alta temperatura, déficit hídrico y elevada iluminación en los períodos secos y soleados de verano (Reigosa *et al.*, 2004).

Dependiendo de la naturaleza del factor estresante, se puede distinguir dos tipos de estreses: el estrés biótico y el estrés abiótico. El primero, es el causado por la acción de los seres vivos, como los pequeños o grandes animales y otras plantas, y por acción de los denominados agentes patógenos (bacterias, hongos y virus). El segundo, el estrés abiótico, es el producido por condiciones ambientales. Dentro de este último tipo de estrés se pueden distinguir dos grupos, los físicos y los químicos. Entre los físicos se encuentran el déficit hídrico, la salinidad (en su componente osmótico), las temperaturas extremas (calor, frío, congelación),

la excesiva o insuficiente irradiación, la anaerobiosis producida por encharcamiento o inundación; el estrés mecánico, producido por el viento o la excesiva compactación del suelo y, el inducido por heridas o lesiones. Por otro lado, el estrés químico está causado por la salinidad (en su componente iónico o tóxico), por la carencia de elementos minerales y por los contaminantes ambientales, como el dióxido de azufre (SO₂), los óxidos de nitrógeno (NO_x), los compuestos clorofluorocarbonados (CFC), el ozono (O₃) y los metales (Azcón-Bieto y Talón, 2008).

Adicionalmente, según el período de duración del estrés, estos se pueden dividir en estreses de corto plazo y estreses de largo plazo. El estrés de corto plazo a menudo puede ser compensado mediante aclimataciones particulares, adaptaciones y mecanismos de reparación. Por otro lado, el estrés crónico a largo plazo, sobrecarga los mecanismos de respuesta al estrés, causando un daño creciente, que eventualmente llega a la muerte celular y a la de la propia planta (Reigosa *et al.*, 2004).

2.2.3. RESPUESTAS Y FASES INDUCIDAS POR EL ESTRÉS

Las plantas presentan un estado fisiológico característico que se puede considerar óptimo dentro de los límites impuestos por el ambiente natural en el que se desarrolla. Cuando un factor ambiental externo (físico, químico o biológico) cambia, es decir, difiere del normal o natural, y actúa sobre la planta produciendo el estrés, es común que se produzcan una serie de respuestas que se reflejan en diferentes tipos de mecanismos. Los mecanismos para hacer frente al estrés aparecen dependiendo de la planta y el tipo e intensidad del estrés (Peña *et al.*, 2005).

El término respuesta al estrés posee un significado amplio; así, se entiende por respuesta, cualquier alteración estructural o funcional que se produce en las plantas como consecuencia de un estrés. Este término incluye los términos de adaptación y acomodación, los cuales tienen un significado más restringido, pues hacen referencia a aquellas modificaciones heredables y, por tanto, incluidas en la información genética, que aumentan la posibilidad de que una planta sobreviva y se reproduzca en un ambiente dado (Azcón-Bieto y Talón, 2008).

Los últimos dos conceptos mencionados son diferentes y es importante entenderlos. La adaptación es una modificación duradera o permanente, que se manifiesta continuamente en la fisiología de la planta; y, la acomodación, es una modificación transitoria y, por consiguiente, reversible, que solo se manifiesta durante el tiempo en el que el organismo está expuesto al factor de estrés (Azcón-Bieto y Talón, 2008; Peña *et al.*, 2005).

Adicionalmente, existe el término de tolerancia o resistencia al estrés, que hace referencia a la capacidad de la planta para sobreponerse o hacer frente a condiciones desfavorables (Taiz y Zeiger, 2006).

Por otro lado, Pérez (2005) menciona que las plantas presentan respuestas comunes frente a condiciones diferentes de estrés. En general, las respuestas o adaptaciones específicas a un determinado factor ambiental constituyen un pequeño porcentaje frente al gran número de respuestas comunes. Así, casi todas las condiciones de estrés modifican el patrón de crecimiento de la planta, estimulan la senescencia y la abscisión de los órganos deteriorados, y alteran el funcionamiento de las rutas más eficaces de producción de energía metabólica. Estas observaciones sugieren que los estímulos deben activar rutas de transmisión de señales idénticas, similares o convergentes hacia un mismo abanico de respuestas defensivas.

Como se mencionó anteriormente, antes de la exposición al estrés, las plantas poseen niveles estándares fisiológicos que se pueden considerar óptimos dentro de los límites impuestos por el ambiente en la que se desarrollan. Los agentes estresantes o los eventos complejos de agentes estresantes inducirán una serie de respuestas que se dividen en cuatro fases: la fase de respuesta o de alarma, la fase de restitución o resistencia; la fase final o de agotamiento y la fase de regeneración (Reigosa *et al.*, 2004). Estas cuatro fases por las que pasa un organismo al ser sometida a agentes estresantes, también se pueden notar en el caso del estrés abiótico post-cosecha, tal como se observa en la Figura 2.

La primera fase, de respuesta o alarma, implica la disminución o detenimiento de una o varias funciones fisiológicas básicas. Debido a esta disminución en varias actividades celulares, los vegetales se desvían de sus estándares fisiológicos y su vitalidad disminuye. Conjuntamente con ello, se realiza la activación de los mecanismos de los que dispone para hacer frente al estrés, esto es, sufrirán rápidas aclimataciones de las tasas metabólicas,

activarán procesos de reparación, además de adaptaciones metabólicas y morfológicas a largo plazo (Azcón-Bieto y Talón, 2008).

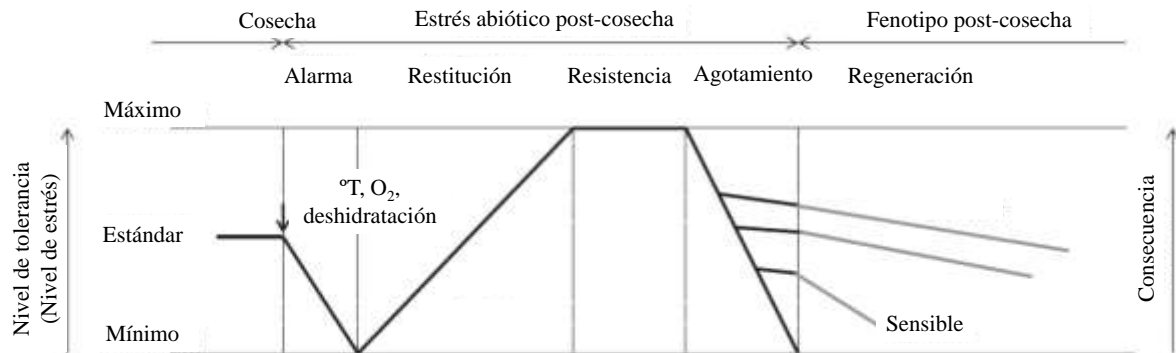


Figura 2: Fases de la etapa de respuesta al estrés abiótico post-cosecha

FUENTE: Adaptado de Pedreschi y Lurie (2015)

En la segunda fase, de restitución y resistencia, los organismos reaccionan al factor generador de estrés y se acomodan a las nuevas condiciones ambientales, pudiendo alcanzar un nuevo estado fisiológico óptimo para las condiciones ambientales actuales. En esta fase, se alcanza un nivel óptimo de adaptación y, como consecuencia, un grado máximo de resistencia del vegetal (Peña *et al.*, 2005).

La tercera fase, de agotamiento, aparece tras una situación de estrés a largo plazo o cuando hay una sobrecarga de los mecanismos que permiten sobreponerse al estrés por haberse superado el umbral de dosis-respuesta. En esta fase se pierden progresivamente capacidades fisiológicas y vitalidad. Esto causa daños y, finalmente, la muerte celular. Sin embargo, cuando los agentes estresantes son eliminados antes de que predominen los procesos de senescencia, las plantas se regenerarán, desplazándose a nuevos estándares fisiológicos, entrando a la última fase, la fase de regeneración. Dependiendo del momento y el estado de agotamiento en el que desaparecen los agentes estresantes, se definen unos u otros nuevos estándares fisiológicos que serán alcanzados por el vegetal (Reigosa *et al.*, 2004).

2.2.4. ESTRESSES ABIÓTICOS POST-COSECHA

Hasta el momento se ha hablado del estrés vegetal haciendo referencia a los momentos por los que pasa la planta antes de ser cosechada. Sin embargo, todos los términos antes

mencionados, también pueden ser aplicados al período post-cosecha por el que pasan los vegetales. Respecto a ello, Tofiño *et al.* (2007) mencionan que, los materiales vegetales, aún luego de su cosecha, han adquirido durante su evolución, la capacidad de modificar eventos específicos en su metabolismo como respuesta a los cambios en las condiciones ambientales, es decir, a estreses, y de este modo optimizar la utilización de los nutrientes disponibles.

Las frutas y vegetales después de la cosecha están aún vivas y respiran. Sin embargo, al estar aisladas de sus recursos básicos, agua y nutrientes, son susceptibles a un rápido deterioro si no se toman las medidas adecuadas. Debido a ello, comercialmente se emplean, diferentes estrategias post-cosecha (por ejemplo, baja temperatura, modificación de la atmósfera, tratamientos químicos, etc.), con el objetivo de reducir la tasa respiratoria, retardar la maduración y la senescencia, evitar el desarrollo de patógenos y extender la vida útil, preservando al mismo tiempo la calidad. Estas estrategias representan estreses abióticos post-cosecha, y los productos requieren activar varias vías metabólicas para hacer frente a estos estreses y alcanzar así la homeostasis (Pedreschi y Lurie, 2015).

Además del tipo de estrés abiótico post-cosecha mencionado, que busca preservar la calidad del vegetal y alargar el tiempo de vida útil del mismo, también existen los estreses abióticos post-cosecha que se aplican con el objetivo de generar cambios deseables en el producto, como cambios en el color, en el sabor, en la textura o en la composición química. Un ejemplo particular de ello, es el soleado, un estrés abiótico que implica la aplicación de factores estresantes de temperatura e irradiación elevada, y que se realiza en el caso de los tubérculos andinos como la oca y mashua, con el objetivo de mejorar el sabor, incrementando el dulzor y disminuyendo el contenido de sustancias que brindan sabor amargo, en el caso particular de la mashua (Tapia y Fries, 2007).

Existen características comunes entre los diferentes estreses abióticos en las plantas, entre ellas se incluyen, la redirección del metabolismo hacia la biosíntesis de compuestos protectores ante el estrés, tales como los metabolitos secundarios como fenilpropanoides, compuestos fenólicos, etc. (Ramakrishna y Aswathanarayana, 2011), y la acumulación de metabolitos compatibles, compuestos orgánicos que aún en altas concentraciones no interfieren con el metabolismo celular, tales como, la glicina-betaína (GB), manitol, sorbitol, trehalosa, aminoácidos como la prolina, y poliaminas (Obata y Fernie, 2012). Otro rasgo común entre los diferentes estrese abióticos es la acumulación de enzimas que eliminan a las

especies reactivas del oxígeno (ROS), especialmente las del ciclo glutatión-ascorbato. Los estreses con un componente de deshidratación, por ejemplo, frío, calor, daño mecánico o sequía, inducen cambios en el metabolismo del carbono (en el Ciclo de Calvin o en la cadena de transporte de electrones fotosintéticos) y en la glicolisis. La deshidratación también da como resultado un incremento de la acumulación de osmolitos compatibles tales como la glicina-betaína, prolina y azúcares. La hipoxia/anoxia conduce a la acumulación de proteínas anaeróbicas, y las temperaturas extremas (por ejemplo, frío y calor) están asociadas con proteínas no funcionales (proteínas desnaturalizadas) (Kosová *et al.*, citados por Pedreschi y Lurie, 2015).

Existen estudios que muestran que ocurren cambios dentro del material vegetal cuando este es sometido a diferentes condiciones externas. Al respecto, Taiz y Zeiger (2006) afirman, que existen respuestas celulares al estrés, las que incluyen cambios en el ciclo celular, en el sistema de endomembranas o cambios en la arquitectura de la pared celular, los cuales son suscitados muchas veces para producir una tolerancia o resistencia al estrés por parte del material vivo. En los últimos años, se han estudiado los cambios que son producidos por el ser vivo y que relacionan la percepción de la señal del estrés con las respuestas genómicas a la tolerancia.

Es conocido que el material vegetal percibe las señales ambientales y responde a ellas a través de diferentes mecanismos, entre estos se encuentran, las modificaciones en la partición del carbono, el incremento de los niveles de los azúcares solubles y otras estrategias fisiológicas de aclimatación al estrés abiótico. Por ejemplo, en cuanto a los azúcares, se observa que mientras mayor sea la concentración de sacarosa, se estimula la síntesis de almidón y se inhibe la síntesis de amilasa; por otro lado, se sabe también, que la luz es un factor determinante en la activación y regulación del metabolismo del almidón, debido a que la luz estimula la síntesis de enzimas relacionadas con la degradación del almidón (Taiz y Zeiger, 2006).

En el caso de frutas, se han realizado varios estudios sobre los cambios generados cuando estas son sometidas a diferentes tipos de estreses abióticos post-cosecha. Por ejemplo, Raffo *et al.* (2008), al estudiar los cambios en el contenido de antioxidantes (ácido ascórbico, compuestos fenólicos y carotenoides) y compuestos relacionados con el sabor (azúcares y ácidos orgánicos) en pimiento dulce durante 9 días de almacenamiento en frío, encontraron,

en primer lugar, que ese tipo de almacenamiento provocó la pérdida de peso de los pimientos, y que la temperatura de almacenamiento afectó la magnitud de la pérdida de peso provocada. Respecto al contenido de azúcares, glucosa y fructosa, observaron un incremento significativo de 11 por ciento solo en el almacenamiento a 8 °C; mientras que en el caso de los ácidos orgánicos, cítrico y málico, determinaron grandes incrementos, mayores a 23 y 17 por ciento, en frutas almacenadas a 8 y 4 °C, respectivamente. Otros compuestos como los derivados del ácido hidroxicinámico, flavonoides y carotenoides fueron acumulados por las frutas almacenadas a 8 °C; mientras que, a 4 °C, la acumulación de fenólicos fue inhibida aparentemente y el contenido de carotenoides incluso disminuyó.

Respecto al mismo tipo de estrés abiótico, Crifò *et al.* (2011) observaron que, el estrés abiótico de bajas temperaturas en naranjas rojas induce el aumento de los transcritos (ARN mensajero) involucrados en los mecanismos de defensa contra el daño oxidativo, los procesos de osmorregulación, desaturación de lípidos así como muchos otros relacionados con los metabolitos primarios y secundarios. Particularmente, se observaron modificaciones dirigidas al aumento de la biosíntesis de flavonoides, incluyendo aquellas reacciones implicadas en la biosíntesis de antocianinas así como de las vías metabólicas que la abastecen.

Por otro lado, Cuadra-Crespo y Del Amor (2010) estudiaron las respuestas de pimientos dulces a la aplicación de bajas concentraciones de nitrógeno (úrea) o antitranspirante (pinoleno) junto a un almacenamiento a bajas temperaturas (5 °C) durante un período de 21 días, es decir, estudiaron la respuesta de dichos frutos a los estreses abióticos post-cosecha aplicados. Sus resultados muestran que el almacenamiento a 5 °C permitió mantener la firmeza de los frutos de pimiento dulce, mientras que la aplicación adicional de antitranspirante aumentó la firmeza en comparación con los frutos control (sin químicos). Adicionalmente, la aplicación de úrea permitió mantener el color, aumentar el total de compuestos fenólicos y la actividad de catalasa y ascorbato peroxidasa, y disminuir la peroxidación lipídica, en comparación con los frutos control y con los rociados con antitranspirante. Respecto a la composición de los aminoácidos libres, esta no se vio afectada significativamente en ninguno de los tres tipos de tratamientos.

En un estudio más reciente, Lauxmann *et al.* (2014), demostraron que el metabolismo en la fruta del melocotón fue reprogramado globalmente durante el almacenamiento en frío y

exposición al calor con respecto a la maduración a temperatura ambiente (20°C). Encontrando que, el 81 por ciento de los 47 metabolitos cuantificados fueron significativamente afectados por las condiciones de temperatura (frío y calor) durante el período post-cosecha.

Resultados más específicos, respecto a la respuesta de los tubérculos de mashua ante estreses abióticos post-cosecha como el soleado, han sido reportados por Pérez (2005), quién evaluó el efecto de diferentes períodos de soleado, 7, 14, 21, 28 y 35 días, sobre las características físicas y funcionales de diez cultivares de mashua. Respecto a las características físicas que evaluó, peso, longitud y diámetro, encontró, en primer lugar, una disminución evidente en el peso debido al efecto de la deshidratación en los tubérculos; una tendencia a la disminución en el tamaño de los tubérculos, como consecuencia de lo anterior; y, finalmente, variaciones no tan drásticas en el diámetro durante el período de soleado. Por otro lado, respecto al contenido de compuestos fenólicos, este autor observó, en general, un aumento sustancial durante la primera semana de soleado, seguido de una disminución hacia los últimos días. Un comportamiento similar fue encontrado para el caso del flavan 3-ol. En cuanto a las antocianinas, demostró que estas son afectadas de forma considerable durante el soleado, llegando a registrar pérdidas hasta del 78.8 por ciento. En el caso de la capacidad antioxidante, observó un decrecimiento en los primeros días y un aumento en la etapa final. Por último, respecto a los carotenos, determinó que estos se incrementan al inicio, posteriormente se mantienen constantes, y finalmente, decrecen bruscamente.

Del mismo modo, Chirinos *et al.* (2007a), al estudiar el efecto de diferentes períodos de soleado sobre tubérculos de mashua de diferentes cultivares, demostró que la capacidad antioxidante, el contenido de fenólicos totales, flavan-3-ol, antocianinas y carotenoides fueron afectados por la aplicación del estrés abiótico de soleado.

Así mismo, parte del estudio de Córdova (2012), muestra los diferentes cambios que se puede suscitar en la mashua morada al ser sometida a un proceso soleado por un período de 7 días. Sus resultados evidencian que el soleado ejerce un efecto significativo sobre el contenido de antocianinas y la capacidad antioxidante, disminuyendo y aumentando los valores de dichas variables después de siete días de soleado, respectivamente. Sin embargo, no encontró un efecto significativo del proceso de soleado sobre el contenido de compuestos fenólicos.

Finalmente, haciendo referencia a lo mismo, Moscol (2013) observó que el soleado de los tubérculos de mashua morada por un período de siete días provocó, una pérdida de peso de 3.55 por ciento en promedio, una disminución de la humedad de 87.2 a 84.1 por ciento, y un incremento en la capacidad antioxidante. Por el contrario, el soleado no afectó significativamente el contenido de compuestos fenólicos, antocianinas, flavanoles, ni glucosinolatos.

2.3. METABOLITOS PRIMARIOS EN LAS PLANTAS

2.3.1. GENERALIDADES

Los metabolitos primarios son sustancias químicas, producidas por las plantas, que intervienen como intermediarios o productos finales de los ciclos metabólicos aceptados como esenciales para los procesos vitales de las mismas, tal como el crecimiento, la reproducción, la fotosíntesis, la respiración, el transporte de solutos, asimilación de nutrientes, la floración, la maduración de los frutos, entre otros; de tal manera, que cumplen un rol directo en la supervivencia de la planta y, por lo tanto, su ausencia es letal para esta (Guardiola y García, 1990; Rogg, 2000; Taiz y Zeiger, 2006).

Dentro del grupo de metabolitos primarios producidos por las plantas se tienen: carbohidratos (azúcares y polisacáridos), aminoácidos y proteínas, nucleótidos y ácidos nucleicos (ADN y ARN), lípidos y vitaminas (Montiel, 1991; Rogg, 2000).

Según Vergara, citado por Seminario (2002), estos metabolitos se originan mediante el proceso fotosintético, en el cual la unión de CO₂ con agua y el efecto de la energía lumínica permiten a la planta la producción de sus contenidos nutricionales, obteniéndose, mediante los procesos biosintéticos las unidades de azúcares (pentosas, hexosas, etc.), que posteriormente se transforman en oligosacáridos y polisacáridos, y también, los aminoácidos necesarios para la formación de péptidos y proteínas.

Este tipo de metabolitos se encuentra ampliamente difundido en la naturaleza, se halla en todas las especies del reino vegetal, y son por lo tanto, imprescindibles para la vida de las plantas (Montiel, 1991).

2.3.2. TIPOS DE METABOLITOS PRIMARIOS

Como se ha mencionado, los metabolitos primarios se encuentran en todas las plantas y son imprescindibles para la vida de las mismas. Son producto del metabolismo general o primario, tal como se observa en la Figura 3.

Según Ávalos y Pérez- Urría (2009), los metabolitos primarios están conformados por los aminoácidos, nucleótidos, azúcares, ácidos grasos, y todos aquellos compuestos que son necesarios para mantener las funciones fundamentales, que posteriormente originaran a las proteínas comunes, ADN y ARN, los carbohidratos y lípidos, respectivamente.

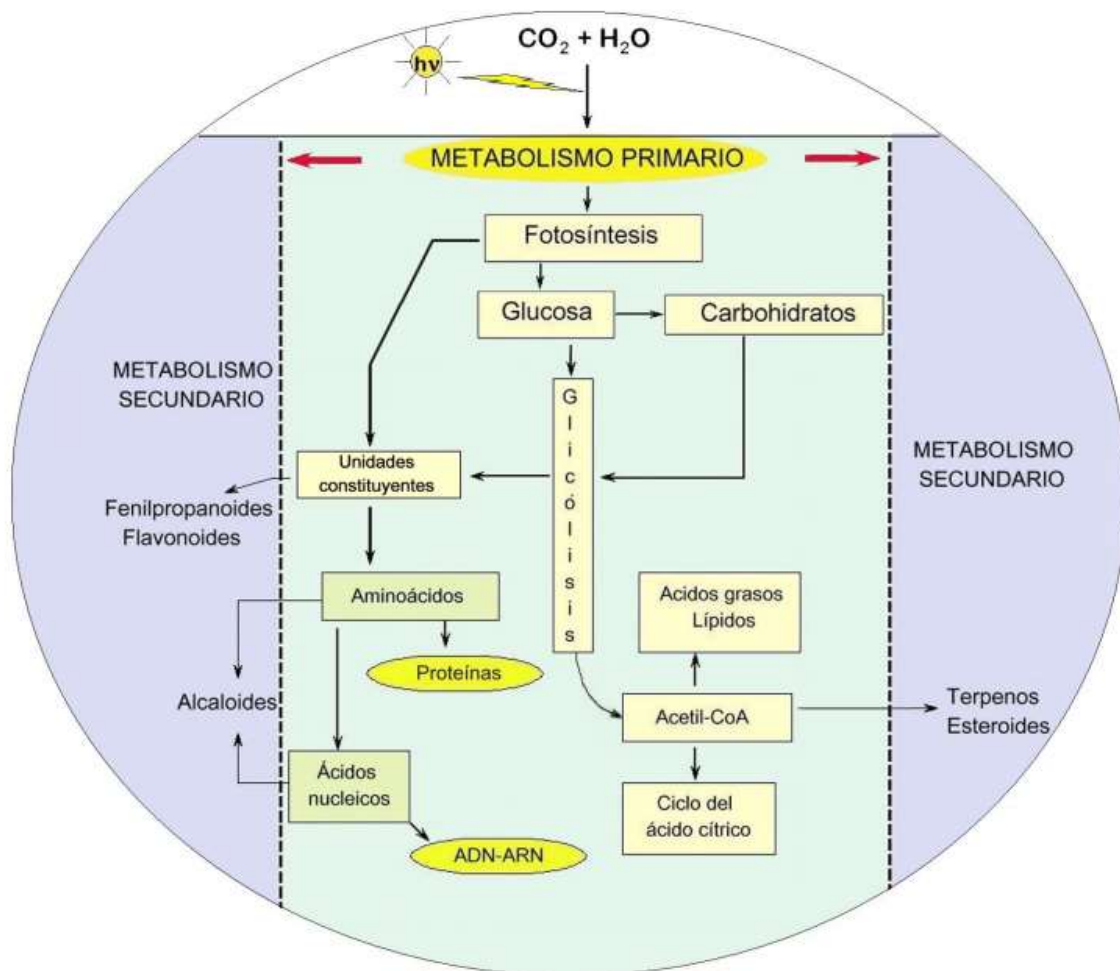


Figura 3: Metabolismo primario en las plantas

FUENTE: Tomado de Ávalos y Pérez-Urría (2009)

Entre los principales metabolitos primarios se encuentran:

- a. Carbohidratos (azúcares y polisacáridos). Los carbohidratos son la principal fuente de carbono, debido a que son compuestos orgánicos constituidos principalmente por carbono, acompañadas de hidrogeno y oxígeno. Son importantes debido a que desempeñan funciones estructurales y metabólicas. La glucosa por ejemplo, sintetizada en la fotosíntesis, es almacenada en forma de almidón o convertida a celulosa que forma parte de la estructura de soporte vegetal. En general, los carbohidratos sirven como almacén de energía, combustible e intermediarios metabólicos para la biosíntesis de otros productos (Melo y Cuamatzi, 2006).
- b. Aminoácidos y proteínas. Los aminoácidos son sintetizados por las plantas a partir del nitrógeno absorbido en forma de nitrato o en forma de amonio del suelo y son de vital importancia en el metabolismo de las plantas, debido a que son las unidades estructurales básicas de las proteínas, intervienen en la regulación endógena del crecimiento y desarrollo vegetal, participan en la resistencia al estrés, tal es el caso de la prolina, la cual reduce el riesgo del daño que provoca el estrés sobre las plantas; y, ejercen un efecto sobre la fotosíntesis al incrementar la concentración de clorofila (Taiz y Zeiger, 2006).
- c. Ácidos grasos y lípidos. Los ácidos grasos son los precursores de los lípidos y se sintetizan en el citosol de las células fotosintéticas. Los lípidos, formados a partir de estos tienen un papel indispensable en la estructura celular y el metabolismo; forman parte de las membranas, vitaminas liposolubles, hormonas, mensajeros intracelulares y extracelulares, entre otros (Melo y Cuamatzi, 2006).
- d. Nucleótidos: La formación de nucleótidos tanto purínicos como pirimídicos es de importancia, debido a que estos nucleótidos originan al ADN y ARN para la replicación, así como también en el mantenimiento y función celular normales (Delvin, 2004).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. LUGAR DE EJECUCIÓN

La investigación se llevó a cabo en el Laboratorio de Biotecnología Industrial del Instituto de Biotecnología (IBT) de la Universidad Nacional Agraria La Molina.

3.2. MATERIA PRIMA E INSUMOS

Se emplearon tubérculos de mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruíz & Pavón) de la accesión ARB 5241 (cáscara púrpura-pulpa naranja amarillenta), procedentes del departamento de Junín-Perú, provincia de Jauja, distrito de Apata, anexo de La Nueva Esperanza.

3.3. MATERIALES, EQUIPOS Y REACTIVOS

3.3.1. EQUIPOS

- Agitador magnético (CAT, modelo M6, Alemania)
- Balanza analítica (OHAUS, modelo AR2140, USA)
- Balanza de precisión (OHAUS, modelo Scout, China)
- Baño maría con agitación (GFL, modelo 1083, Alemania)
- Bomba de vacío (Vacuumbrand. Modelo ME2C. Alemania)
- Centrífuga (Hettich, Rotofix 32, Alemania)
- Centrífuga refrigerada (Hettich, Mikro 220R, Alemania)
- Cocina eléctrica (Ingresa, Perú)
- Colorímetro (Minolta, modelo R-400/410, Japón)
- Congeladora (Electrolux, modelo H300, Brasil)
- Cromatógrafo líquido de alta performance (HPLC) (modelo 2695) con detector de arreglo de diodos (DAD) (modelo 2996) y detector de índice de refracción (modelo 2414) (Waters, USA)

- Cromatógrafo líquido de ultra performance (UPLC) con detector de arreglo de diodos (DAD) (Waters, USA)
- Espectrofotómetro (Thermo Spectronic, Genesys 10 UV, USA)
- Estufa al vacío (VWR, 1400E-2, USA)
- Evaporador centrífugo (Labconco, modelo Centrivap, USA)
- Liofilizador (Labconco, modelo 117, USA)
- Microcentrífuga (Hettich, Rotina 420, Alemania)
- Molino de laboratorio (IKA, modelo A11 basic, Alemania)
- Mufla (Griffin & George Ltd, Gran Bretaña)
- Potenciómetro (Thermo-Orion, modelo Star A211, USA)
- Refrigeradora (LG, modelo GR-482BEF, Corea)
- Rotavapor (Heidolph, modelo Laborotta 4000, Alemania)
- Selladora de bolsas (Machintek, modelo KF-300H)
- Selladora de vacío (Modelo V2240, Oster, Reino Unido)
- Ultracongelador (IlShin, modelo DF8517, Corea)
- Vórtex (CAT, modelo VM2, Alemania)

3.3.2. MATERIALES

- Los materiales de vidrio que se emplearon fueron todos los necesarios para los diversos ensayos, entre ellos, pipetas, matraces erlenmeyer, beakers, tubos de ensayo, fiolas, vasos de precipitado, probetas, etc.
- Otros materiales como: filtros de 0.22 μm para HPLC (Millipore, Bedford, MA, USA), cartuchos Sep-Pak C18 6cc (Waters, USA), entre otros.
- Micropipetas de 0.5-10 μL , 20-200 μL , 100-1000 μL y 500-5000 μL (Brand, Germany).
- Columnas para análisis cromatográfico: Shodex Asahipak NH₂P-40 3E (3.0 x 250 mm, 4 μm) y guarda columna NH₂P-50G 3A (3.0 x 10 mm, 5 μm) (Shodex, Japón); Aminex HPX-87 H (7.8 x 300 μm) y guarda columna Micro-Guard Refill Cartridge (Bio-Rad, Laboratories); Prodigy ODS 3 100 Å (4.8 x 250 mm, 5 μm).

3.3.3. REACTIVOS

- Acetona (J.T. Baker, USA)
- Acetonitrilo (grado HPLC, J.T. Baker, USA)
- Ácido acético glacial (p.a. Fermont, México)
- Ácido clorhídrico (J.T. Baker, México)
- Ácido fosfórico (J.T. Baker, USA)
- Ácido metafosfórico (Mallinckrodt, USA)
- Ácido sulfúrico (Merk, Germany)
- Albúmina bovina (Sigma, USA)
- Alcohol etílico desnaturalizado (J.T. Baker, USA)
- Azul Brillante G (Sigma-Aldrich, USA)
- Cloruro de sodio (Merck, Alemania)
- Enzima Termamyl, Type LS (α -amilasa termoestable) (Novonordisk, Dinamarca)
- Enzima AMG 300L (amiloglucosidasa) (Novonordisk, Dinamarca)
- EDTA, sal disódicadihidrato (EMD Chemicals, Germany)
- Fosfato de sodio dibásico (Merck, Alemania)
- Fosfato de potasio monobásico (Merck, Alemania)
- Ftalato ácido de potasio (p.a. Riedel-de Haën, Alemania)
- Hidróxido de sodio (Merck, Alemania)
- Kit de ácidos orgánicos 47264 (Sigma, USA)
- Kit de azúcares CAR10 (Sigma, USA)
- Kit de azúcares-alcohol 15125 (Sigma, USA)
- Kit de fibra dietaria TDF-100A (Sigma, USA)
- Metanol (grado HPLC, J.T. Baker, Trinidad y Tobago)
- Tris (hidroximetil) amino-metano (Sigma, USA)

3.4. MÉTODOS DE ANÁLISIS

3.4.1. HUMEDAD

La humedad se determinó de acuerdo al Método 920.151 (AOAC, 1995), por pérdida de peso en estufa a presión de vacío. Los resultados se expresaron en porcentaje y se obtuvo el

valor de materia seca por la diferencia del total (100%), expresando el resultado también en porcentaje.

3.4.2. pH

El pH de las muestras se determinó mediante el Método 981.12 (AOAC, 1990). Se homogenizó un gramo de muestra de mashua liofilizada con 10 mL de agua destilada libre de CO₂ por un período de 10 minutos. Posteriormente, se centrifugó el homogenizado a 4000 rpm por 10 minutos para obtener únicamente el sobrenadante. Finalmente, se determinó el pH en el sobrenadante obtenido.

3.4.3. ACIDEZ TITULABLE

Para la determinación de la acidez titulable de las muestras, se empleó el Método 942.15 (AOAC, 1990). Se homogenizó un gramo de muestra de mashua liofilizada con 10 mL de agua destilada libre de CO₂ por un período de 10 minutos. Se centrifugó el homogenizado para separar el sobrenadante. El extracto obtenido, se tituló con una solución de Hidróxido de sodio 0.0094 N, hasta alcanzar un pH de 8.2. Los resultados de acidez se expresaron en porcentaje de ácido ascórbico (g ácido ascórbico/100 g de muestra seca).

3.4.4. COLOR POR EL MÉTODO CIELAB

El color de las muestras se determinó por el método CIELAB utilizando un colorímetro de refracción (MINOLTA). El colorímetro se calibró con el azulejo blanco ($L^*=97$; $a^*=0.14$; $b^*=1.64$) antes de cada serie de mediciones. Se determinaron los valores L^* , a^* y b^* (luminosidad, valor rojo-verde y valor amarillo-azul, respectivamente); y, en base a ellos, se calcularon los valores del ángulo de tono (H) y croma (C^*).

3.4.5. FIBRA INSOLUBLE (FDI), DIETARIA SOLUBLE (FDS) Y TOTAL (FDT)

La determinación de fibra dietaria en las muestras, se realizó mediante el Método 991.43 (AOAC, 2007), con algunas modificaciones. Se pesaron 0.25 gramos de muestra liofilizada por duplicado, se adicionaron 10 mL de buffer Tris-HCl pH 8.2 a los matraces y se homogenizaron hasta lograr una dispersión completa. Luego, se agregaron 25 μ L de enzima

α -amilasa termoestable, se agitaron suavemente y se incubaron en baño maría en ebullición por 15 minutos (cuando la temperatura interna alcanzó los 95 °C). Posteriormente, se dejó enfriar los matraces hasta 60 °C, aproximadamente. Se adicionaron 25 μ L de solución enzimática de proteasa (50 mg/mL) a los matraces, se agitaron, y se incubaron a 60 °C por 30 minutos (cuando la temperatura interna alcanzó los 60 °C) con agitación constante. Luego, se ajustó el pH a 4.5 con solución de HCl 0.5 N, se adicionaron 25 μ L de enzima amiloglucosidasa, se agitaron y se incubaron a 60 °C por 30 minutos (cuando la temperatura interna alcanzó los 60 °C) con agitación constante. Para la determinación de FDI, se filtraron los dos digeridos enzimáticos en caliente sobre una capa de celite, y los residuos se lavaron con dos porciones de 15 mL de etanol al 78 por ciento, etanol al 95 por ciento y acetona, en el orden mencionado. Para la determinación de FDS, los filtrados obtenidos en la etapa anterior se precipitaron en matraces con cuatro volúmenes de etanol al 95 por ciento y 60 °C por una hora a temperatura ambiente; luego, el contenido de los dos matraces se filtró sobre una capa de celite, y los residuos obtenido se lavaron de la misma forma que en el caso de la FDI. Finalmente, se secaron los cuatro residuos obtenidos (dos de FDI y dos de FDS) a 105 °C por toda una noche y se pesaron al día siguiente. Para la corrección del contenido de proteína y ceniza en los residuos de cada tipo de fibra, se determinó contenido de proteína mediante el método Bradford (Anexo 1) en uno de los residuos; y, en el otro, se realizó la determinación de ceniza por incineración a 525 °C por 5 horas. Adicionalmente, se realizó un blanco (sin muestra) siguiendo la misma metodología. Finalmente, el contenido de FDT, se determinó como la suma de FDI y FDS. Los resultados fueron calculados mediante la siguiente fórmula y expresados en porcentaje (g FD/100 g de muestra):

$$FD = \frac{[(R1 + R2)/2] - P - C - B}{(M1 + M2)/2} \times 100$$

Donde:

R1, R2 = Peso de los residuos de fibra dietaria (g)

P = Contenido de proteína (g) en el residuo de fibra dietaria

C = Contenido de ceniza (g) en el residuo de fibra dietaria

B = Peso del blanco (g) correspondiente a cada tipo de fibra

M1, M2 = Peso de las muestras

3.4.6. ALMIDÓN

El contenido de almidón en las muestras se determinó de acuerdo al Método 996.11 (AOAC, 2007), con algunas modificaciones. Previo a la determinación, se extrajeron los azúcares libres de la muestra; para ello, se homogenizaron 0.3 gramos de muestra liofilizada con 30 mL de etanol al 95 por ciento durante 10 minutos, la mezcla obtenida se centrifugó a 6440 g por 15 minutos, se separó el sobrenadante y se realizaron dos reextracciones sobre la torta, considerando las mismas condiciones. El precipitado se secó a 70 °C con 5 mmHg de presión de vacío por 30 minutos. La muestra seca obtenida se empleó para la determinación de almidón. Se pesaron 100 mg de la muestra seca en tubos de ensayo con tapa, se agregaron 0.2 mL de etanol al 80 por ciento y 3 mL de solución de α -amilasa termoestable, y se mezclaron en un vórtex durante 10 segundos. Se colocaron los tubos en baño maría en ebullición durante 2 minutos, posteriormente se homogenizaron vigorosamente durante algunos segundos e inmediatamente después, se volvieron a incubar en baño maría en ebullición durante 3 minutos más. A continuación, se llevaron los tubos a baño maría a 50 °C durante 5 minutos para equilibrar la temperatura. Luego, se agregaron 4 mL de buffer acetato 200 mM y 0.1 mL de solución de amilogucosidasa, se homogenizaron por unos segundos y se incubaron a 50 °C durante 30 minutos. El contenido de los tubos se centrifugó y el volumen del sobrenadante obtenido se ajustó a 10 ml con agua destilada. El sobrenadante se filtró previo al análisis cromatográfico y se cuantificó el contenido de glucosa por HPLC-IR (Campos *et al.*, 2016). Paralelamente, se cuantifica la glucosa residual en la muestra y el contenido de glucosa en las enzimas, a través de un blanco, realizado con enzimas inactivas y por cada muestra. Los resultados se calcularon a través de la siguiente fórmula y se expresaron en porcentaje (g almidón/ 100 g de muestra):

$$\text{Almidón} = \frac{(GT - GB) \times 10}{M} \times \frac{162}{180} \times 100$$

Donde:

GT = Concentración total de glucosa en el hidrolizado (g/mL)

GB = Concentración de glucosa en el blanco (g/mL)

M = Peso de muestra (g)

162/180 = Factor de conversión de glucosa libre a almidón

3.4.7. MINERALES

Se determinó el contenido de calcio, magnesio y hierro en las muestras, mediante espectrofotometría de absorción atómica (Chapman y Pratt, 1973), usando estándares de tales elementos. Los resultados se expresaron en porcentaje (g/100 g de muestra) y, solo en el caso del contenido de hierro, en ppm.

3.4.8. AZÚCARES

La extracción y purificación de los azúcares en las muestras, se realizó de acuerdo al método reportado por Pérez *et al.* (1997), con algunas modificaciones. Se pesaron 0.3 gramos de muestra liofilizada en falcon, se adicionaron 30 mL de etanol al 95 por ciento y se homogenizaron en agitador magnético durante 10 minutos. La mezcla se centrifugó a 6440 g por 15 minutos, se separó el sobrenadante, y la extracción se repitió dos veces más en la torta a las mismas condiciones. Los sobrenadantes se mezclaron y fueron concentrados a 50 °C y vacío hasta un volumen de 50 mL. Se tomó una alícuota de 25 mL del concentrado y se evaporó hasta sequedad a las condiciones anteriores. El residuo obtenido fue resuspendido con 2 mL de ácido sulfúrico 0.2 N con EDTA al 0.05 por ciento. Posteriormente, se realizó la purificación del extracto a través de cartuchos Sep-Pak C₁₈; para lo cual, los 2 mL de extracto fueron adicionados al cartucho y, eluidos con 3 mL de la solución de resuspensión, obteniéndose un volumen final de 5 mL de extracto purificado. Los extractos fueron filtrados a través de filtros de 0.22 µm y analizados por HPLC-IR de acuerdo al método descrito por Campos *et al.* (2016). Los azúcares fueron separados en la columna Shodex Asahipak NH₂P-40 3E (fase fija) empleando como fase móvil una solución filtrada y desgasificada de acetonitrilo al 72.5 por ciento en agua Milli Q, y fueron detectados, por un detector de índice de refracción (IR). La identificación de los azúcares se realizó comparando los tiempos de retención obtenidos con los de estándares previamente analizados; y la cuantificación, en base a curvas de calibración de dichos estándares. Los resultados fueron expresados en g/100 g de materia seca.

3.4.9. ÁCIDOS ORGÁNICOS

Para la determinación de ácidos orgánicos, se emplearon los extractos purificados obtenidos para el análisis de azúcares y azúcares alcohol, pero con un nivel de concentración mayor.

Los extractos fueron filtrados a través de filtros de 0.22 μm y analizados por HPLC-DAD de acuerdo a la metodología descrita por Aguilar-Galvez *et al.* (2011). Los ácidos orgánicos fueron separados en la columna Aminex HPX-87 H (fase fija) empleando como fase móvil una solución filtrada y desgasificada de H_2SO_4 0.005 N a pH 2.5, y fueron detectados, por un detector de arreglo de diodos (DAD) a una longitud de onda de 210 nm. La identificación de los ácidos orgánicos, se realizó comparando los tiempos de retención obtenidos con los de estándares previamente analizados; y la cuantificación, en base a curvas de calibración de dichos estándares. Los resultados fueron expresados en g/ 100 g de materia seca.

3.4.10. ÁCIDO L-ASCÓRBICO

La extracción del Ácido L-ascórbico se realizó de acuerdo al método reportado por Sanchez-Moreno *et al.* (2003), con algunas modificaciones. Se pesó 0.3 g de muestra liofilizada, se adicionaron 10 mL del solvente de extracción (ácido metafosfórico al 3 por ciento y ácido acético al 8 por ciento) y se homogenizaron por 10 minutos en frío. La mezcla se centrifugó a 6440 g y 4 °C por 25 minutos. Se separó el sobrenadante y el volumen se ajustó a 10 mL. Los extractos fueron filtrados a través de filtros de 0.22 μm y analizados por HPLC-DAD. Se empleó la columna Prodigy ODS 3 100 Å como fase fija y, como fase móvil, una solución filtrada y desgasificada de KH_2PO_4 25 mM ajustada a pH 2.5; finalmente, el ácido L-ascórbico fue detectado por un detector de arreglo de diodos (DAD) a una longitud de onda de 245 nm. La identificación del ácido L-ascórbico, se realizó comparando el tiempo de retención con el de un estándar previamente analizado; y la cuantificación, en base a la curva de calibración del estándar de ácido L-ascórbico. Los resultados fueron expresados en mg de ácido L-ascórbico/ g de materia seca.

3.5. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

Considerando las prácticas ancestrales del cultivo, al término del periodo vegetativo que comprende de 6-9 meses desde el momento de la siembra, con el amarillamiento de las hojas, se realizó la cosecha de los tubérculos de mashua. Las muestras de mashua fueron colectadas en la Provincia de Jauja, Distrito de Apata, Anexo La Nueva Esperanza, Barrio Miravalle, ubicada a una altitud entre 3700 a 3900 msnm. Los tubérculos fueron desenterrados empleando herramientas curvas simples, colectándose un total de 13.8 Kg de muestra de mashua. Posterior a ello, se realizaron las siguientes operaciones post-cosecha:

- **Selección.** La mashua cosechada fue seleccionada de tal forma que se eliminaron las que se encontraban en estado de deterioro (quebradas o magulladas), obteniéndose al final, 11.7 Kg de muestra de mashua para ser usada en el diseño experimental.
- **Limpieza.** Los tubérculos de mashua seleccionados se limpiaron para retirar la tierra que se encontraba en su superficie.
- **Aplicación de estreses abióticos post-cosecha.** En esta etapa se aplicaron tres tipos de estreses abióticos post-cosecha por un período de 15 días: soleado, sombra y refrigeración. Para ello, se dividió al total de las muestras de mashua en tres grupos y, a cada uno de ellos, se les sometió a uno de los estreses abióticos post-cosecha mencionados. Adicionalmente, antes de la división, se tomó una muestra representativa de todo el lote de mashua cosechada para ser considerada como muestra control.

Durante la aplicación de los tratamientos, se realizó el monitoreo diario *in situ* de la temperatura y humedad relativa (HR) del ambiente correspondiente a cada uno de los tratamientos aplicados; además, cada tres días, se controló el peso en todos los tubérculos de mashua, y la temperatura interna, en algunos tubérculos. De forma simultánea, se tomaron muestras al azar, a los días indicados, de 0.5 Kg aproximadamente, de los tres grupos de mashuas sometidos a los estrés abióticos descritos, con lo que se obtuvieron muestras de los días 3, 6, 9, 12 y 15, para cada uno de los tratamientos.

- **Lavado y desinfección.** Esta etapa se realizó inmediatamente después de cada toma de muestra a partir de los tubérculos de mashua sometidos a los diferentes estreses abióticos. Los tubérculos se lavaron manualmente con agua potable, con el fin de eliminar los restos de tierra y cualquier elemento extraño que pueda presentar; y, posteriormente, se desinfectaron con una solución de 5 ppm de cloro libre residual. A continuación, fueron oreados y secados con papel adsorbente.
- **Envasado al vacío.** Las diferentes muestras de mashua obtenidas durante los 15 días de aplicación de los estreses abióticos post-cosecha fueron envasadas al vacío para ser almacenadas posteriormente.
- **Almacenamiento.** Finalmente, las muestras de mashua se almacenaron en congelación a una temperatura de -40 °C.

3.5.1. ACONDICIONAMIENTO DE LAS MUESTRAS PARA EL ANÁLISIS

Las muestras de mashua tomadas en los días 3, 6, 9, 12 y 15 de aplicación de los tratamientos de soleado, sombra y refrigeración, y la muestra control, fueron sometidas a las siguientes operaciones unitarias como parte del acondicionamiento antes de la realización de los diferentes análisis:

- **Liofilizado.** Todas las muestras obtenidas fueron liofilizadas. Para ello, fue necesario reducir el tamaño de los tubérculos mediante una molienda, previa ultracongelación con nitrógeno líquido, para no deteriorar los componentes sensibles de las muestras. Las condiciones de liofilización fueron: $-45\text{ }^{\circ}\text{C}$ (condensador) y 133×10^{-3} mBar de presión.
- **Molienda y tamizado.** Las muestras liofilizadas se molieron con el objetivo de reducir el tamaño de las partículas; y, posteriormente, se tamizaron para homogenizar el tamaño de las estas.
- **Embolsado.** Las muestras de mashua liofilizadas, molidas y tamizadas se embolsaron en envases de aluminio, seguido de bolsas de polietileno. Y fueron rotulados con la codificación correspondiente a cada tratamiento.
- **Almacenamiento.** Las muestras de mashua se almacenaron en ultracongelación a una temperatura alrededor de $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$, hasta el momento del análisis respectivo.

3.6. DISEÑO EXPERIMENTAL

El diseño experimental empleado considera tres tratamientos, cada uno correspondiente a un tipo de estrés abiótico post-cosecha, aplicados durante 15 días a los tubérculos de mashua cosechados. El primer tratamiento fue el soleado, el cual se realizó al aire libre en la misma zona de cultivo, aproximadamente a 3384 msnm, $11^{\circ}46'45.89''\text{S}$ de latitud y $75^{\circ}29'45.00''\text{W}$ de longitud (Junín, Provincia de Jauja, Distrito de Apata). El segundo tratamiento fue el de sombra, el cual se aplicó a los tubérculos de mashua en un almacén ubicado en la misma zona de cultivo; y, el tercero, fue el tratamiento de refrigeración, el cual se realizó en un ambiente acondicionado a una temperatura de $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ aproximadamente. Este diseño experimental se aplicó con la finalidad de evaluar el efecto de los tres estreses abióticos post-cosecha descritos, los que implican factores como radiación solar, temperatura y

deshidratación, sobre las variables respuestas consideradas, las características físico-químicas y el contenido de metabolitos primarios.

Así mismo, como se mencionó anteriormente, se tomaron muestras de cada tratamiento a los días 3, 6, 9, 12 y 15, para estudiar la evolución de los cambios físico-químicos y de los metabolitos primarios, en los mismos. El diseño experimental es mostrado en la Figura 4.

	Estrés abiótico post-cosecha	Estudio físico-químico y de metabolitos primarios	
Variables	Control: 0 días	→	
	Refrigeración	3 días	→
		6 días	→
		9 días	→
		12 días	→
		15 días	→
	Sombra	3 días	→
		6 días	→
		9 días	→
		12 días	→
		15 días	→
	Soleado	3 días	→
		6 días	→
		9 días	→
		12 días	→
15 días		→	
Análisis	Características físicas: - En el tubérculo entero: porcentaje de retención de peso y temperatura interna de los tubérculos.	Análisis físico-químico: - pH, acidez titulable y determinación de color. - Fibra dietaria (insoluble, soluble y total), almidón y minerales (Mg, Ca y Fe). Metabolitos primarios: - Azúcares, azúcares alcohol, ácidos orgánicos y ácido L-ascórbico.	

Mashua

Figura 4: Diseño experimental de la aplicación de tres tratamientos post-cosecha

Los tratamientos aplicados son detallados a continuación:

- **Soleado.** Los tubérculos de mashua fueron extendidos sobre rafia negra en un patio al aire libre y fueron expuestos a los rayos solares durante el día por un total de nueve horas (8:30 am a 5:30 pm). Se expusieron 4.5 horas por un lado y, posteriormente, se voltearon, para que así, la exposición a la radiación solar sea homogénea. En las

noches, los tubérculos de mashua fueron cubiertos con mantas de yute para protegerlos de las bajas temperaturas y las heladas.

- **Sombra.** Los tubérculos de mashua fueron extendidos sobre rafia negra en el suelo de una habitación cerrada para protegerlos de la incidencia de los rayos solares. El tiempo de aplicación de este tratamiento durante el día fue de nueve horas. De manera similar al caso del tratamiento de soleado, los tubérculos de mashua fueron cubiertos con mantas de yute en las noches para protegerlos de las bajas temperaturas.
- **Refrigeración.** Este se realizó en un ambiente acondicionado en un refrigerador a una temperatura graduada a 4 °C, aproximadamente.

3.7. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Las muestras fueron evaluadas mediante un Diseño Factorial, donde se consideraron dos factores: el primero, fue el tipo de tratamiento o estrés abiótico post-cosecha, cuyos niveles fueron soleado, sombra y refrigeración; y el segundo, fue el número de días de aplicación de los mismos, cuyos niveles corresponden a 0, 3, 6, 9, 12 y 15 días. La respuesta observada en cada experimento mostró el efecto de los dos factores considerados sobre las características físico-químicas y los metabolitos primarios en las muestras de mashua.

Los análisis se realizaron por triplicado para permitir una adecuada evaluación estadística. Los resultados obtenidos de los diferentes análisis, se evaluaron mediante un Análisis de varianza (ANVA) y fueron comparados mediante la prueba de Tukey.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En esta investigación se estudió el efecto de tres tipos de estreses abióticos post-cosecha, refrigeración, sombra y soleado, sobre las características físico-químicas y contenido de metabolitos primarios en tubérculos de mashua (accesión ARB 5241, cáscara púrpura, pulpa naranja amarillenta con jaspes morados).

A continuación, se presentan los resultados del control del peso, expresado como porcentaje de retención de peso; además, se presentan los resultados obtenidos de la determinación de las características físico-químicas y del contenido de metabolitos primarios en las muestras sometidas por 3, 6, 9, 12 y 15 días a los estreses abióticos de refrigeración, sombra y soleado.

Como primera caracterización, previo a la aplicación de los estreses abióticos post-cosecha, se determinó la humedad inicial de los tubérculos de mashua, obteniendo un contenido de agua de 88.19 por ciento. Este valor se encuentra dentro del rango de humedad mencionado por Grau *et al.* (2003), 79 a 94 por ciento, y es similar al contenido de agua determinados por Collazos *et al.* (1996) y Espín *et al.* (2001), quienes señalan valores de 87.4 y 88.7 por ciento, respectivamente.

4.1. PORCENTAJE DE RETENCIÓN DE PESO DE LAS MUESTRAS DE MASHUA SOMETIDAS A TRES ESTRESSES ABIÓTICOS POST-COSECHA

Durante la aplicación de los tres estreses abióticos post-cosecha se realizó el control del peso de manera individual de todos los tubérculos de mashua sometidos a dichos estreses. En los Anexos 4, 5 y 6, se presentan los registros completos, tanto del peso inicial de cada uno de los tubérculos de mashua, como de los pesos de las muestras luego de 3, 6, 9, 12 y 15 días de aplicación de los tres estreses abióticos post-cosecha.

Con los datos registrados, se calculó posteriormente, el porcentaje de retención de peso en

cada caso. Así, la Figura 5, muestra los porcentajes promedio de retención de peso a los 3, 6, 9, 12 y 15 días de aplicación de los tratamientos de refrigeración, sombra y soleado. El porcentaje de retención de peso para el estrés abiótico post-cosecha de refrigeración disminuye ligeramente hasta alcanzar un valor de 80.21 por ciento; en el caso del tratamiento de sombra la variable sigue la misma tendencia hasta llegar a 78.49 por ciento y, para el estrés abiótico de soleado, se observa que el porcentaje promedio de retención de peso disminuye notoriamente conforme aumentan los días de exposición a dicho tratamiento hasta alcanzar un valor de 33.13 por ciento en el día 15.

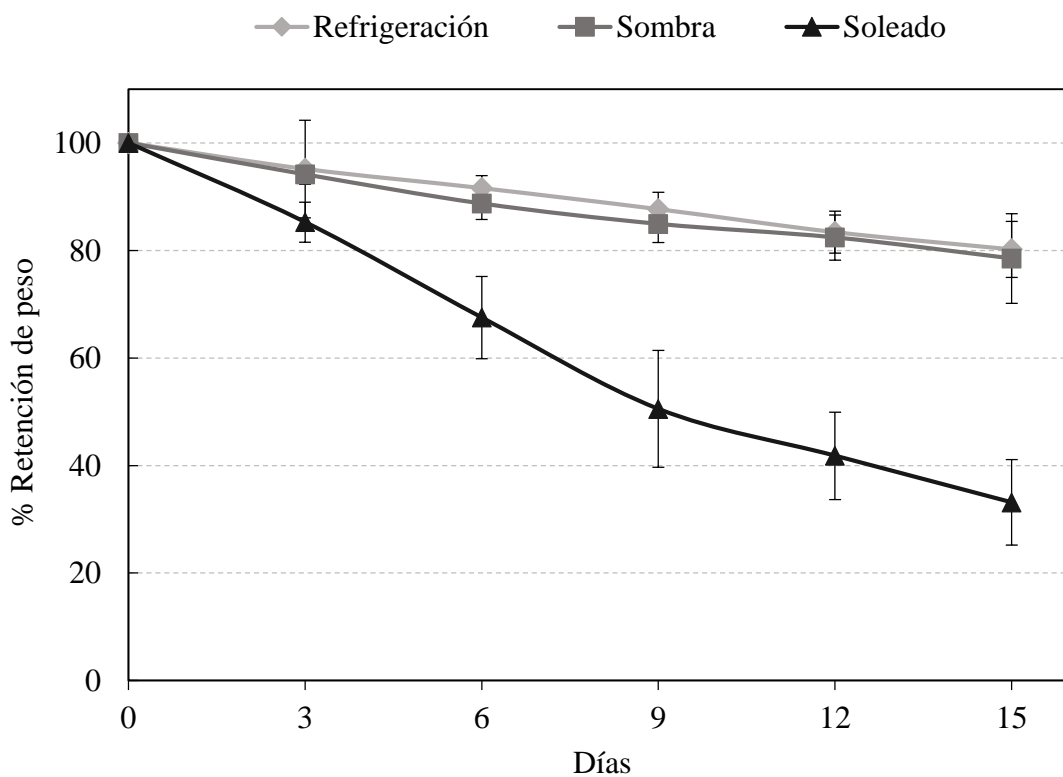


Figura 5: Porcentaje de retención de peso en muestras de mashua sometidas durante 3, 6, 9, 12 y 15 días a los estreses abióticos post-cosecha de refrigeración, sombra y soleado

Como se observa, el porcentaje promedio de retención de peso en los tres tratamientos disminuye durante los quince días de aplicación de los mismos. Así, el análisis de varianza multifactorial para el porcentaje de retención de peso (Anexo 7), muestra que existe un efecto significativo ($p < 0.05$), tanto del tipo de estrés abiótico post-cosecha como del tiempo de aplicación de los mismos en días, sobre esta variable. Además, se puede observar que no

existe diferencia significativa entre los tratamientos de refrigeración y sombra, es decir, el efecto de ambos tipos de estreses abióticos sobre el porcentaje de retención de peso en las muestras de mashua es similar; sin embargo, ambos tratamientos difieren significativamente del estrés abiótico de soleado, el cual provoca una mayor disminución en el porcentaje de retención de peso.

La FAO (1993), afirma que los tubérculos luego de ser cosechados, aún son organismos vivos, por lo que sus procesos fisiológicos normales, como la respiración y la transpiración, continuarán, aunque en forma modificada. Según Crisci (1992), ambos procesos, junto a los de brotación y descomposición, son las principales causas de la pérdida de peso en los tubérculos. Sin embargo, estos dos últimos se desarrollan luego de un tiempo de almacenamiento prolongado, dos meses o más; y, por el contrario, los procesos de respiración y transpiración son los que predominan en la primera etapa del almacenamiento. De acuerdo a esto, en el presente estudio, la pérdida de peso en los tubérculos de mashua expuestos a los tres estreses abióticos post-cosecha, se dio debido a los procesos de respiración, es decir, la transformación de los carbohidratos de los tubérculos, en anhídrido carbónico, agua y calor, en presencia de oxígeno; y a la transpiración, es decir, a la pérdida de agua en forma de vapor a través de la superficie.

Méndez e Inostroza (2009), estiman que las pérdidas de carbohidratos, mediante la respiración, representan el 10 por ciento de la pérdida total de peso y que la pérdida de agua representa el otro 90 por ciento, pues los procesos de respiración y transpiración en conjunto provocan la pérdida de agua, es decir, la deshidratación. De manera similar, Holle (1996), comprobó que la pérdida de peso en las raíces y tubérculos andinos que estudió se debió principalmente a la deshidratación. Por lo tanto, la pérdida de agua es el mecanismo que contribuyó principalmente a la pérdida de peso en los tubérculos de mashua sometidos a los tratamientos evaluados.

Las diferencias encontradas en la intensidad de la pérdida de peso de las muestras de mashua sometidas a los estreses abióticos post-cosecha de refrigeración, sombra y soleado, se deben a las diferentes condiciones de almacenamiento a las que se mantuvieron los tubérculos de mashua, debido a que en cada tratamiento, los factores externos, como la temperatura ambiental, HR y radiación UV, fueron diferentes. Según Méndez e Inostroza (2009), los factores externos no son las únicas variables que influyen sobre los procesos de respiración

y transpiración, principales causantes de la pérdida de peso, sino que dichos procesos también dependen de la naturaleza del producto, como el estado de madurez, en el caso de la respiración, y de la forma, el tamaño y características de la corteza, en el caso de la deshidratación. Sin embargo, debido a que los tubérculos de mashua empleados en el presente estudio provienen de grupos homogéneos, los procesos de respiración y transpiración en las muestras estuvieron influenciados fundamentalmente por los factores externos.

En primer lugar, la temperatura fue uno de los factores externos que varió de un tratamiento a otro, tal como se reportó líneas arriba. Respecto a esto, Crisci (1992), menciona que la temperatura influye directamente sobre la intensidad de la respiración y la transpiración; así, a temperaturas alrededor de 5 °C se tiene la menor intensidad de respiración y menores pérdidas de agua y, a temperaturas por encima de los 15 °C la velocidad de respiración se incrementa por un factor de 2 por cada 10 °C de aumento. De forma similar, Sáenz *et al.* (1991), al evaluar la temperatura de almacenamiento sobre la calidad del maracuyá amarillo, obtuvieron una menor pérdida de peso en aquellas que fueron almacenadas en una cámara fría, a temperaturas alrededor de 12 °C; e indicaron que, las bajas temperaturas reducen los procesos fisiológicos, entre ellos, la respiración y la pérdida de humedad. Esta es una de las razones por las cuales los tratamientos de refrigeración y sombra provocaron una menor pérdida de peso en las muestras de mashua, pues las bajas temperaturas en ambos casos limitaron la respiración y transpiración en los tubérculos. Por el contrario, el tratamiento de soleado provocó la mayor pérdida de peso debido a que las altas temperaturas aumentan la tasa respiratoria y transpiratoria, con lo que se pierde principalmente agua en forma de vapor.

Como se mencionó anteriormente, otro de los factores monitoreados durante la aplicación de los estreses abióticos post-cosecha fue la HR del ambiente circundante, encontrándose los menores valores para el tratamiento de soleado y los mayores para los de refrigeración y sombra. Al respecto, Crisci (1992), menciona que la humedad relativa del ambiente influye inversamente sobre la pérdida de agua de los tubérculos, de tal forma que, a mayor sea la HR del ambiente menor es la pérdida de agua y, a menor sea la HR mayor es la pérdida de agua. Esta relación coincide con lo encontrado para el caso de la mashua, pues para el tratamiento de soleado, en el que el ambiente presentó la menor HR, la pérdida de agua y, como consecuencia, la pérdida de peso, fue mayor; y por el contrario, en los ambientes de refrigeración y sombra, donde la HR fue mayor, la pérdida de peso fue menor.

Finalmente, el tercer factor externo que difirió entre los tratamientos fue la luz solar, debido a que esta estuvo presente solo en el caso del estrés abiótico del soleado. Gonzáles *et al.*, citados por García y Cadima (2003), evaluaron el efecto de la luz y la oscuridad en la calidad de los tubérculos semilla almacenados, encontrando que, bajo condiciones de luz los tubérculos de oca presentaron mayores pérdidas de peso en comparación con las almacenadas en oscuridad; por el contrario, para el caso de la mashua, observaron un efecto inverso después de 60 días de almacenamiento. Lo último, difiere de lo observado para el caso de las muestras de mashua sometidas al estrés abiótico post-cosecha de soleado, en donde los tubérculos estuvieron expuestos a la luz, pues en este se obtuvo la mayor pérdida de peso. La diferencia mencionada se debe a que en el presente estudio solo se evaluaron 15 días de almacenamiento a diferencia de los autores mencionados, quienes justifican la menor pérdida de peso por el efecto negativo de la luz sobre el grado de brotación.

4.2. CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS EN MUESTRAS DE MASHUA SOMETIDAS A TRES ESTRESSES ABIÓTICOS POST-COSECHA

En el Anexo 8, se muestran los resultados por triplicado obtenidos para el contenido de humedad y porcentaje de materia seca de las muestras de mashua liofilizadas. El contenido de materia seca de las muestras provenientes de la aplicación de los tres tratamientos post-cosecha durante 3, 6, 9, 12 y 15 días se encuentra en un rango de 91.33 a 98.26 por ciento. Estos resultados fueron empleados posteriormente para expresar todos los resultados en base seca (bs).

A continuación, se presentan los resultados obtenidos para las características físico-químicas de las muestras de mashua sometidas por 3, 6, 9, 12 y 15 días a los estreses abióticos post-cosecha de refrigeración, sombra y soleado. Estos comprenden, la determinación de pH, acidez titulable, color, minerales, fibra dietaria y almidón.

4.2.1. pH EN MUESTRAS DE MASHUA SOMETIDAS A TRES ESTRESSES ABIÓTICOS POST-COSECHA

La Figura 6 (Anexo 9) muestra los valores promedio de pH de las muestras de mashua sometidas por 3, 6, 9, 12 y 15 días a los estreses abióticos post-cosecha de refrigeración, sombra y soleado.

El valor de pH de la muestra Control, que corresponde a los tubérculos de mashua en el día cero, fue 5.85. Este resultado es menor a los valores de pH determinados por Paucar (2014), para las variedades Amarilla Chaucha y Amarilla Zapallo de mashua, los cuales fueron 6.67 y 6.13, respectivamente; la diferencia observada puede atribuirse a que las variedades analizadas fueron diferentes.

Como se observa, la tendencia general para el tratamiento de refrigeración es un ligero aumento en los valores de pH durante el período de quince días de aplicación del mismo, desde 5.85 hasta un valor de 6.12; en el caso del tratamiento de sombra, el valor de pH de las muestra de mashua aumenta a los tres primeros días de aplicación de dicho estrés, hasta un valor de 5.99, y se mantiene constante después de ello; finalmente, para el tratamiento de soleado, se observa un aumento notorio en los valores de pH de las muestras de mashua durante los nueve días de aplicación del tratamiento, llegando a un valor final de 6.36 después de estar sometidas al soleado por un período de quince días.

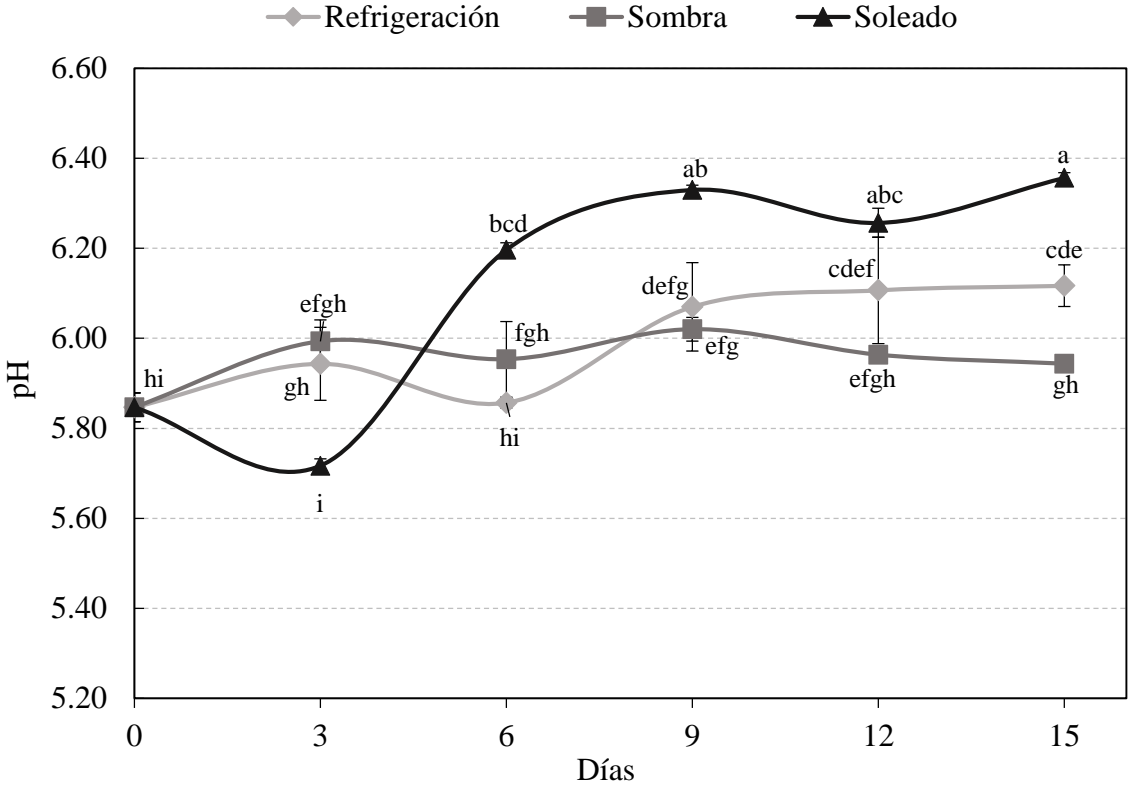


Figura 6: pH de muestras de mashua sometidas durante 3, 6, 9, 12 y 15 días a los estreses abióticos post-cosecha de refrigeración, sombra y soleado

El análisis de varianza multifactorial para la variable respuesta pH (Anexo 10), indica que existe un efecto significativo ($p < 0.05$), tanto del tipo de estrés abiótico post-cosecha como del tiempo de aplicación de los mismos en días, respecto a esta variable. Además, se puede observar que no existe diferencia significativa entre los tratamientos de refrigeración y sombra, es decir, el efecto de ambos tipos de estreses abióticos sobre el pH en las muestras de mashua es similar; sin embargo, ambos tratamientos difieren significativamente del estrés abiótico de soleado, el cual provoca un incremento significativo sobre el pH de las muestras de mashua.

Peña *et al.* (2004), define al pH como el logaritmo negativo de la concentración de hidrogeniones libres, es decir, mide el potencial de hidrógeno o la concentración de protones en una solución acuosa. Estos hidrogeniones provienen principalmente de los ácidos, compuestos capaces de ceder iones hidrógeno a una solución. Por este motivo, según Barreiro y Sandoval (2006), los valores de pH están relacionado con la cantidad de ácidos presentes, existiendo una relación inversa entre ellos, por lo que se espera un aumento en los valores de pH a medida que disminuye la cantidad de ácidos. Sin embargo, en el caso de los alimentos, esta relación no es muy estrecha debido a que los ácidos presentes en estos mayoritariamente son ácidos débiles, los cuales solo se disocian parcialmente y, por este motivo, no tienen un efecto severo sobre el pH en comparación con un ácido fuerte. Por lo tanto, es posible que en el caso de la mashua no se cumpla una relación clara entre el pH y el contenido de ácidos, es decir, la acidez titulable.

Como se mencionó, en el caso del tratamiento de soleado se observa una tendencia de aumento significativamente mayor, debido probablemente a la disminución en el contenido de ácidos orgánicos, cuyos valores se detallarán más adelante. El resultado obtenido coincide con el aumento en el pH encontrado por Cajamarca (2010) para el caso de la oca, quien determinó, para el tubérculo fresco, un pH de 4.54, y un valor de pH de 5.7, para el tubérculo luego de ser expuesto al sol por un período 12 días.

4.2.2. ACIDEZ TITULABLE EN MUESTRAS DE MASHUA SOMETIDAS A TRES ESTRESSES ABIÓTICOS POST-COSECHA

En la Figura 7 (Anexo 11), se presentan los valores promedio de la determinación de acidez titulable, expresados en g ácido ascórbico/ 100 g (bs), de las muestras de mashua sometidas

por 3, 6, 9, 12 y 15 días a los estreses abióticos post-cosecha de refrigeración, sombra y soleado, partiendo de un valor inicial en el día cero, equivalente a 1.15 g de ácido ascórbico/ 100 g de muestra (bs).

El análisis de varianza multifactorial para la acidez titulable de las muestras (Anexo 12), indica que el tipo de estrés abiótico post-cosecha no influye significativamente sobre esta variable; sin embargo, si existe un efecto significativo ($p < 0.05$) del tiempo de aplicación de los tratamientos respecto a la acidez titulable.

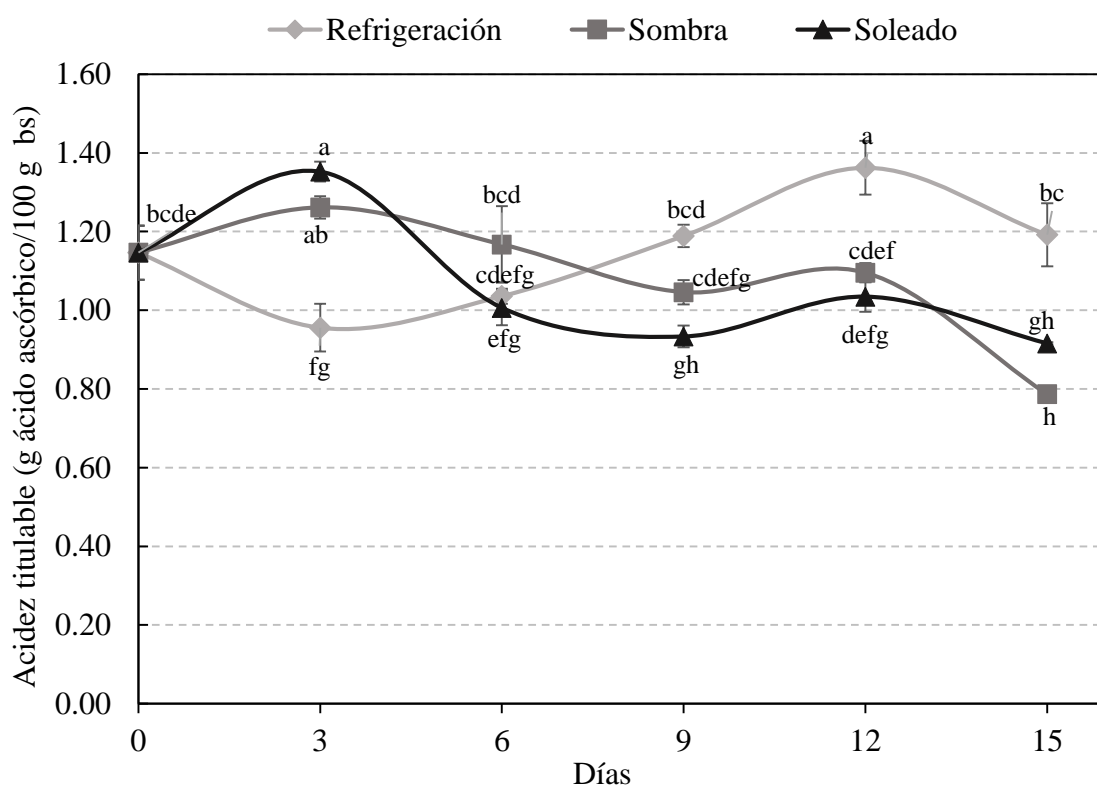


Figura 7: Acidez titulable (g ácido ascórbico/ 100 g bs) de muestras de mashua sometidas durante 3, 6, 9, 12 y 15 días a los estreses abióticos post-cosecha de refrigeración, sombra y soleado

Según Barreiro y Sandoval (2006), la acidez en los alimentos se deriva básicamente de los ácidos orgánicos que pudiesen estar presentes. Por ello, los incrementos y disminuciones en los valores de acidez titulable observados en los tratamientos de refrigeración, sombra y soleado están relacionados principalmente con la variación en el contenido de ácidos orgánicos en las muestras analizadas.

En el caso del tratamiento de soleado, se observa una tendencia de incremento en la acidez titulable a los tres primeros días, esto coincide con la disminución en el pH reportada en el ítem anterior; y, una posterior disminución en los valores de acidez titulable, lo que concuerda con el aumento del pH en los días posteriores; por lo mencionado, se podría confirmar la relación existente entre ambas variables, pH y acidez. El incremento observado a los tres primeros días, podría estar relacionado con la síntesis de algunos ácidos orgánicos como respuesta a la aplicación de este tipo de estrés abiótico. El descenso posterior en los valores de la acidez titulable, implicarían predominantemente una disminución en el contenido de ácidos orgánicos, la cual podría explicarse por el uso de estos ácidos como sustratos de respiración (Dadzie y Orchard, 1997). Respecto a la respiración, Crisci (1992) menciona que en el caso de la papa, las temperaturas elevadas después de la cosecha incrementan la intensidad de respiración, con lo que podría afirmarse que en el caso de las muestras de mashua expuestas al estrés abiótico de soleado sucedió algo similar.

Por el contrario, para los tratamientos de refrigeración y sombra, la relación entre los valores de pH y acidez no se cumple totalmente, esto se debe a la posible presencia de ácidos débiles, bisulfatos (componentes obtenidos producto de la hidrólisis de glucosinolatos) (Rincón, 2014) o ácidos fenólicos que no influyen directamente en el pH, pero sí en la acidez. Como se observa, la aplicación del estrés abiótico de refrigeración sobre las muestras de mashua provocó una disminución significativa en la acidez titulable a los tres primeros días, lo cual podría estar relacionado con el uso de algunos ácidos en la respiración. Posteriormente, se observa un incremento significativo de la acidez titulable hasta los 12 días de aplicación de dicho estrés, el cual coincide con lo reportado por Sáenz *et al.* (1991). Si bien es posible que se sigan usando algunos ácidos en la respiración, el mismo autor afirma que las bajas temperaturas disminuyen las tasas de actividad fisiológica, por lo que el incremento en los valores de acidez titulable se justificaría posiblemente por la presencia de ácidos fenólicos, por la posible degradación de glucosinolatos, siendo uno de sus productos las moléculas de bisulfatos, y por la síntesis de algunos ácidos por efecto de las bajas temperaturas. Finalmente, para el caso del tratamiento de sombra, se observa que no existen variaciones significativas, a excepción de los últimos tres días donde posiblemente predominó el consumo o degradación de ácidos, lo que provocó a disminución en la acidez.

4.2.3. PARÁMETROS DE COLOR EN MUESTRAS DE MASHUA SOMETIDAS A TRES ESTRESSES ABIÓTICOS POST-COSECHA

En el Cuadro 3 (Anexo 13), se presentan los valores promedio de los parámetros de color L^* , a^* , b^* , H° y C^* obtenidos para las muestras de mashua sometidas por 3, 6, 9, 12 y 15 días a los estreses abióticos post-cosecha de refrigeración, sombra y soleado, incluyendo la muestra control o día cero para todos los tratamientos.

Según Barreiro y Sandoval (2006), los cambios de color en los alimentos generalmente se asocian con los productos fuertemente pigmentados, siendo los más importantes los relacionados con la clorofila y sus derivados, las antocianinas, los flavonoides y similares. En general, en los cambios de color pueden estar implicadas reacciones de degradación de pigmentos existentes o reacciones en las cuales aparecen nuevos pigmentos no presentes originariamente por aspectos genéticos, fenotípicos y ambientales.

En primer lugar, se observan los valores del parámetro L^* , que según Valero (2013), forma parte de los parámetros del espacio de color CIELAB e indica el nivel de luminosidad o claridad expresada como porcentaje, donde 0 indica negro y 100 indica blanco. El análisis de varianza multifactorial para el parámetro de color L^* en las muestras (Anexo 14), indica que solo el factor tipo de estrés abiótico post-cosecha ejerce un efecto significativo ($p < 0.05$) sobre esta variable; sin embargo, no existe un efecto significativo del factor tiempo de aplicación respecto al parámetro L^* . Además, se puede observar que no existe diferencias significativas entre los tratamientos de refrigeración y sombra ni sombra y soleado, pero sí entre los tratamientos de refrigeración y soleado.

Los valores de L^* para las todas la muestras se encuentran en un rango entre 55.64 y 66.69, los cuales corresponden a colores ligeramente claros por estar en el rango entre 50 y 100 por ciento. Como se observa, existe una gran variabilidad en los valores del parámetro L^* durante la aplicación de cada tratamiento. En el caso del estrés abiótico de refrigeración hubo un descenso significativo en el día tres y en el día nueve, manteniéndose constante el resto de días, pues no existe diferencias significativas entre dichos valores de L^* . Por el contrario, en el caso del estrés abiótico de soleado el parámetro L^* aumenta a los tres primeros días y posterior a ello, se mantuvo casi constante, con un ligero incremento hacia el día 15.

Cuadro 3: Parámetros de color (L*, a*, b*, H° y C*) en muestras de mashua sometidas durante 3, 6, 9, 12 y 15 días a los estreses abióticos post-cosecha de refrigeración, sombra y soleado

Tratamiento	L*	a*	b*	H°	C*	ΔE
Refrigeración	B	A	B	B	B	-
0	63.10 ± 0.07 ^{A;bc}	4.10 ± 0.01 ^{A;cd}	-2.03 ± 0.07 ^{B;j}	333.66 ± 0.70 ^{AB;h}	4.58 ± 0.04 ^{ABC;f}	-
3	55.64 ± 0.43 ^{A;f}	4.69 ± 0.04 ^{A;b}	-1.34 ± 0.05 ^{AB;h}	344.02 ± 0.45 ^{A;f}	4.88 ± 0.05 ^{BC;e}	7.52 ± 0.42 ^c
6	62.03 ± 0.64 ^{A;cd}	3.19 ± 0.05 ^{B;gh}	-0.25 ± 0.04 ^{A;g}	355.46 ± 0.71 ^{B;e}	3.20 ± 0.05 ^{C;i}	2.31 ± 0.29 ⁱ
9	59.58 ± 0.68 ^{A;e}	3.37 ± 0.07 ^{AB;f}	-1.08 ± 0.12 ^{AB;h}	342.29 ± 1.49 ^{A;fg}	3.54 ± 0.10 ^{BC;h}	3.74 ± 0.60 ^{fg}
12	62.17 ± 0.23 ^{A;bcd}	3.69 ± 0.03 ^{A;e}	-2.53 ± 0.08 ^{AB;k}	325.51 ± 0.71 ^{A;i}	4.47 ± 0.06 ^{A;f}	1.15 ± 0.21 ^{jk}
15	63.03 ± 0.99 ^{A;bc}	2.31 ± 0.14 ^{AB;i}	-0.34 ± 0.17 ^{A;g}	351.87 ± 3.53 ^{A;e}	2.34 ± 0.16 ^{AB;k}	2.60 ± 0.19 ^{hi}
Sombra	AB	A	B	B	B	-
0	63.10 ± 0.07 ^{A;bc}	4.10 ± 0.01 ^{A;cd}	-2.03 ± 0.07 ^{B;j}	333.66 ± 0.70 ^{AB;h}	4.58 ± 0.04 ^{ABC;f}	-
3	62.19 ± 0.69 ^{A;bcd}	3.04 ± 0.03 ^{A;h}	-1.20 ± 0.03 ^{AB;h}	338.44 ± 0.63 ^{A;g}	3.27 ± 0.02 ^{BC;i}	1.70 ± 0.32 ^{ijk}
6	66.11 ± 1.16 ^{A;a}	1.67 ± 0.09 ^{B;j}	2.18 ± 0.18 ^{A;d}	52.46 ± 3.81 ^{B;b}	2.75 ± 0.09 ^{C;j}	5.78 ± 0.49 ^e
9	62.44 ± 0.44 ^{A;bcd}	3.99 ± 0.01 ^{AB;d}	-2.11 ± 0.03 ^{AB;j}	332.13 ± 0.35 ^{A;h}	4.51 ± 0.00 ^{BC;f}	0.69 ± 0.41 ^k
12	56.34 ± 0.68 ^{A;f}	5.15 ± 0.06 ^{A;a}	-2.54 ± 0.08 ^{AB;k}	333.80 ± 0.54 ^{A;h}	5.74 ± 0.08 ^{A;c}	6.86 ± 0.68 ^{cd}
15	61.00 ± 0.23 ^{A;de}	4.21 ± 0.06 ^{AB;c}	-1.67 ± 0.08 ^{A;i}	338.40 ± 0.65 ^{A;g}	4.52 ± 0.09 ^{AB;f}	2.14 ± 0.23 ^{ij}
Soleado	A	A	A	A	A	-
0	63.10 ± 0.07 ^{A;bc}	4.10 ± 0.01 ^{A;cd}	-2.03 ± 0.07 ^{B;j}	333.66 ± 0.70 ^{AB;h}	4.58 ± 0.04 ^{ABC;f}	-
3	66.69 ± 0.06 ^{A;a}	3.71 ± 0.03 ^{A;e}	0.80 ± 0.12 ^{AB;f}	12.16 ± 1.78 ^{A;d}	3.80 ± 0.02 ^{BC;g}	4.59 ± 0.12 ^f
6	62.78 ± 0.02 ^{A;bc}	3.36 ± 0.04 ^{B;f}	1.23 ± 0.05 ^{A;e}	20.08 ± 0.52 ^{B;c}	3.58 ± 0.05 ^{C;h}	3.36 ± 0.04 ^{gh}
9	61.70 ± 0.81 ^{A;cd}	3.35 ± 0.02 ^{AB;fg}	3.91 ± 0.02 ^{AB;c}	49.41 ± 0.21 ^{A;b}	5.15 ± 0.02 ^{BC;d}	6.18 ± 0.18 ^{de}
12	63.13 ± 0.10 ^{A;bc}	3.96 ± 0.05 ^{A;d}	6.64 ± 0.04 ^{AB;b}	59.20 ± 0.16 ^{A;a}	7.73 ± 0.06 ^{A;b}	8.67 ± 0.04 ^b
15	63.73 ± 0.28 ^{A;b}	3.95 ± 0.04 ^{AB;d}	7.82 ± 0.10 ^{A;a}	63.21 ± 0.27 ^{A;a}	8.76 ± 0.10 ^{AB;a}	9.87 ± 0.11 ^a

Los valores medios que presentan letra capital diferente en la misma columna muestran diferencias significativas al someterse a la prueba de Tukey (p<0.05) para la evaluación de factores. Las letras minúsculas diferentes en la misma columna indican diferencias significativas (p<0.05)

Para el tratamiento de sombra, se observa que hubo un incremento significativo en el día seis y una disminución en el día doce en los valores de L^* .

Respecto al parámetro de color a^* , que forma parte del espacio de color CIELAB, Capilla *et al.* (2002) mencionan que este parámetro indica la posición de color que va del rojo al verde, donde los valores negativos indican verde y valores positivos indican rojo. El Anexo 15 muestra el análisis de varianza multifactorial para el parámetro de color a^* en las muestras, donde se observa que el factor tipo de estrés abiótico post-cosecha no ejerce un efecto significativo sobre esta variable; sin embargo, si existe un efecto significativo ($p < 0.05$) del factor tiempo de aplicación respecto al parámetro a^* . Por ello, no existen diferencias significativas entre los tratamientos de refrigeración, sombra ni soleado para esta variable.

Los resultados obtenidos para el parámetro de color a^* en todas las muestras se encuentran entre 1.67 y 5.12, valores que al ser positivos indican que las muestras presentan una coloración roja, pero de baja intensidad o saturación, pues los valores son bajos.

El tercer parámetro de color determinado fue b^* , que también forma parte del espacio de color CIELAB, Valero (2013) menciona que este parámetro indica la posición de color entre amarillo y azul, donde los valores negativos indican azul y los valores positivos indican amarillo. El análisis de varianza multifactorial para el parámetro de color b^* en las muestras (Anexo 16), indica que existe un efecto significativo ($p < 0.05$) de los dos factores, tipo de estrés abiótico post-cosecha y tiempo de aplicación de los mismos en días, respecto a esta variable. Además, se puede observar que no existe diferencia significativa entre los tratamientos de refrigeración y sombra, es decir, el efecto de ambos tipos de estreses abióticos sobre el parámetro de color b^* en las muestras de mashua es similar; sin embargo, ambos tratamientos difieren significativamente del estrés abiótico de soleado, el cual obtuvo en promedio un mayor valor para esta variable.

Los valores de b^* para las muestras que estuvieron sometidas por 3, 6, 9, 12 y 15 días a los estreses abióticos de refrigeración y sombra corresponden a valores negativos, a excepción de la muestra del tratamiento de sombra en el día seis. Estos valores negativos indican la presencia de coloración azul en las muestras. Por el contrario, el estrés abiótico de soleado provocó un incremento significativo en los valores del parámetro b^* de las muestras de mashua expuestas a este tratamiento, tal como se observa en el Cuadro 3, partiendo de -2.03

en el día cero hasta llegar a 7.82 a los quince días. Esto implica que la muestra inicial presentó coloración azul y que las muestras expuestas por 3, 6, 9, 12 y 15 días al tratamiento de soleado presentaron una coloración amarilla con tendencia al incremento.

Según Capilla *et al.* (2002), los parámetros de color H° (ángulo de tono) y C^* (croma) forman parte de los descriptores perceptuales de color junto con la claridad o luminosidad (L^*); de manera similar Valero (2013), afirma que estas características son atributos, cualidades o propiedades inherentes del color. Los valores del ángulo de tono (H°) y C^* (croma) se calcularon a partir de los datos de a^* y b^* .

Respecto al parámetro de color H° o ángulo de tono, Valero (2013), mencionan que este es el atributo de la sensación visual de color según la cual una superficie parece similar a uno, o proporciones de dos, de los colores percibidos (amarillo, naranja, rojo, verde, azul y púrpura), y hace referencia al tono, tonalidad o matiz del color. Esta característica se expresa en grados sexagesimales y puede tomar valores de 0° a 360° , correspondiendo cada intervalo de valores a una tonalidad diferente. El Anexo 17 muestra el análisis de varianza multifactorial para el parámetro de color ángulo de tono, donde se observa que existe un efecto significativo ($p < 0.05$), tanto del tipo de estrés abiótico post-cosecha como del tiempo de aplicación de los mismos en días, respecto a esta variable. Además, se puede observar que no existe diferencia significativa entre los tratamientos de refrigeración y sombra, es decir, el efecto de ambos tipos de estreses abióticos sobre el ángulo de tono en las muestras de mashua es similar; sin embargo, ambos tratamientos difieren significativamente del estrés abiótico de soleado.

En el Cuadro 3, se observa que para el caso del tratamiento de refrigeración los valores del ángulo de tono oscilaron entre un valor inicial de 325.51° a 355.46° , los cuales corresponden a tonos entre púrpura y rojo-púrpura, según Capilla *et al.* (2002). En cuanto al tratamiento de sombra, los valores oscilaron entre 332.13° y 338.44° , valores que corresponden a la tonalidad rojo-púrpura, a excepción del día seis, cuyo valor de ángulo de tono fue 52.46° , equivalente a un tono rojo-amarillo. Las tonalidades de color determinadas para los tratamientos de refrigeración y sombra coinciden con los resultados obtenidos para los parámetros de color a^* y b^* , pues en ambos tratamientos se obtuvieron para estas variables valores positivos y negativos, respectivamente, los cuales indicaban que las muestras presentaban coloración roja y azul, mezcla equivalente a tonos púrpura.

En el caso del estrés abiótico de soleado, se observa que los valores obtenidos para el ángulo de tono aumentan significativamente a medida que se incrementa el tiempo de aplicación del mismo, partiendo de un valor inicial de 333.66° en el día cero, equivalente a una tonalidad rojo-púrpura, hasta alcanzar un valor de 63.21° , correspondiente a tonos entre rojo y amarillo-rojo (naranja). Este resultado se respalda en los valores de a^* y b^* obtenidos, pues para todos los períodos de aplicación de este tratamiento se obtuvieron valores positivos para a^* , lo que indica que las muestras presentaron coloración roja y también, valores positivos para b^* con tendencia al incremento, correspondiente a la coloración amarilla; en resumen, las muestras expuestas al soleado perdieron la tonalidad púrpura e incrementaron su tonalidad amarilla a medida que el tiempo de aplicación del tratamiento se incrementó.

El incremento significativo encontrado para los valores del ángulo de tono a medida que se incrementa el tiempo de aplicación del estrés abiótico post-cosecha de soleado, que implica la pérdida de tonalidades púrpura y el incremento de la coloración amarilla, está relacionado con reacciones de degradación y síntesis de pigmentos (Barreiro y Sandoval, 2006). En primer lugar, la pérdida de la tonalidad púrpura podría deberse a la degradación de las antocianinas; Aranceta y Pérez (2006), mencionan que las antocianinas son los pigmentos responsables de los colores rojo, púrpura y azul en los vegetales. Si bien todas las muestras mantienen la tonalidad roja, las muestras expuestas al estrés abiótico de soleado han perdido la tonalidad púrpura y azul. Así, Chirinos *et al.* (2007a) y Pérez (2005), reportan pérdidas significativas en el contenido de antocianinas para tubérculos de mashua de variedad morada bajo almacenamiento post-cosecha en condiciones de soleado durante 35 días. Esta posible pérdida de las antocianinas al estar expuestas al estrés abiótico de soleado, que implica la pérdida de la tonalidad púrpura, se debe según Markakis, citado por Pérez (2005), a la inestabilidad de las antocianinas ante la luz UV o cualquier otra fuente de radiación ionizante y, a que su estabilidad y degradación están marcadamente influenciada por la temperatura; factores que están presentes en el tratamiento de soleado.

Horbowicz *et al.*, citados por Guzman-Figueroa *et al.* (2010), mencionan que la temperatura induce una destrucción de las antocianinas; pues cuando ésta se incrementa, las antocianinas pueden transformarse en chalconas, estructuras inestable e incolora que se degrada en compuestos de color café. Por otro lado, se afirma que la luz acelera el proceso de degradación de antocianinas, pues se sugiere que la luz incrementa la conversión de este compuesto hacia catión flavilio (Rein, citado por Guzman-Figueroa *et al.*, 2010).

En segundo lugar, el incremento de la tonalidad amarilla en las muestras sometidas al estrés abiótico post-cosecha de soleado podría estar relacionado con el contenido de carotenoides, debido a que según Lock (1997), los carotenoides forman parte de los pigmentos responsables de la coloración amarilla, naranja y roja en los vegetales. Respecto al efecto del almacenamiento post-cosecha de soleado sobre el contenido de carotenoides, Chirinos *et al.* (2007a), determinó para la variedad morada (accesión ARB 5241), un incremento en el contenido total de carotenoides hasta los primeros 14 días de almacenamiento, período similar al aplicado en la presente investigación, alcanzando el máximo valor a los 28 días de exposición al soleado.

Respecto al parámetro de color C^* o croma, Valero (2013) menciona, que este es el atributo de la sensación visual según el cual una superficie parece mostrar o contener más o menos color cromático. El análisis de varianza multifactorial para el parámetro de color C^* en las muestras (Anexo 18), indica que existe un efecto significativo ($p < 0.05$) de los dos factores, tipo de estrés abiótico post-cosecha y tiempo de aplicación de los mismos en días, respecto a esta variable. Además, se puede observar que no existe diferencia significativa entre los tratamientos de refrigeración y sombra, es decir, el efecto de ambos tipos de estreses abióticos sobre el parámetro de color C^* en las muestras de mashua es similar; pero si entre ambos tratamientos y el estrés abiótico post-cosecha de soleado, el cual obtuvo en promedio un mayor valor para esta variable.

Los resultados obtenidos para el parámetro de color C^* o croma para las muestras que estuvieron sometidas a los estreses abióticos post-cosecha de refrigeración y sombra, se encuentran en un rango entre 2.34 - 4.88 y 2.75 - 5.74, respectivamente; y, para el estrés abiótico de soleado los valores del parámetro C^* oscilaron entre 3.58 y 8.76; esto indica que las muestras expuestas al tratamiento de soleado presentaron una mayor presencia de color de la tonalidad correspondiente. Esto último podría estar relacionado con una mayor presencia de compuestos coloreados, tanto los provenientes de la degradación de pigmentos como los nuevos pigmentos sintetizados.

Finalmente, se presentan los resultados obtenidos para el parámetro de color ΔE o diferencial total de color, el cual es la distancia entre dos puntos dentro del espacio de color $L^*a^*b^*$, donde dicha distancia se puede considerar como la descripción matemática de la distancia entre dos colores y permite medir los cambios de tono y saturación (Valero, 2013). En el

tratamiento de soleado se genera un incremento notorio en el valor del ΔE a través del tiempo, esto significa que a medida que avanzan los días de aplicación de dicho estrés, el color de las muestras difieren más del color inicial; adicionalmente, se puede observar que estos valores son más altos respecto a los resultantes en los estreses abióticos post-cosecha de refrigeración y sombra, es decir con ellos no hay gran variación de color, en comparación con el inicial, a medida que pasa el tiempo.

4.2.4. CONTENIDO DE MINERALES (CALCIO, MAGNESIO Y HIERRO) EN MUESTRAS DE MASHUA SOMETIDAS A TRES ESTRESSES ABIÓTICOS POST-COSECHA

El Cuadro 4 muestra el contenido de minerales de la muestra control (día cero) y de las muestras de mashua sometidas durante 3, 6, 9, 12 y 15 días a los estreses abióticos post-cosecha de refrigeración, sombra y soleado. En esta investigación, los minerales estudiados fueron calcio, magnesio y hierro, los cuales son importantes por su aporte nutricional.

Cuadro 4: Contenido de minerales calcio (Ca), magnesio (Mg) y hierro (Fe) de muestras de mashua sometidas durante 3, 6, 9, 12 y 15 días a los estreses abióticos post-cosecha de refrigeración, sombra y soleado

Tratamiento	Días	Ca (%)	Mg (%)	Fe (ppm)
Refrigeración	0	0.021	0.104	26.996
	3	0.032	0.105	90.328
	6	0.033	0.109	82.516
	9	0.021	0.094	32.305
	12	0.011	0.095	36.994
	15	0.032	0.126	46.248
Sombra	0	0.021	0.104	26.996
	3	0.021	0.104	34.170
	6	0.021	0.114	34.270
	9	0.042	0.126	62.792
	12	0.032	0.108	81.978
	15	0.021	0.105	66.034
Soleado	0	0.021	0.104	26.996
	3	0.032	0.106	44.390
	6	0.021	0.117	37.102
	9	0.031	0.113	51.469
	12	0.031	0.113	62.426
	15	0.041	0.113	45.361

En primer lugar, se observa el contenido de calcio en porcentaje para las muestras expuestas a los estreses abióticos de refrigeración, sombra y soleado. El análisis de varianza multifactorial para el contenido de calcio en las muestras (Anexo 19), indica que ninguno de los dos factores, tipo de estrés abiótico post-cosecha ni tiempo de aplicación, ejercen un efecto significativo sobre el contenido de calcio. Por ello, no existen diferencias significativas entre los tratamientos de refrigeración, sombra ni soleado para esta variable.

Los resultados obtenidos para el contenido de calcio en las diferentes muestras se encuentran entre un valor mínimo de 0.011 por ciento (bs), para la muestra sometida por 12 días al estrés abiótico de refrigeración, y un valor máximo de 0.042 por ciento (bs), para la muestra expuesta por 9 días al tratamiento de sombra, aportando alrededor del uno por ciento de los niveles de consumo diario de calcio recomendados por FAO (2002) para adultos, el cual corresponde a un rango entre 400 y 500 mg de calcio por día. Los resultados encontrados son mayores al determinado por Espín *et al.* (2001), quien reportó un valor de 0.006 por ciento (bs) para tubérculos de mashua de diez accesiones; pero menores al contenido de calcio determinado por Collazos *et al.* (1996), el cual corresponde a 12 mg/100 g de porción comestible de mashua, equivalente a 0.095 por ciento (bs). Las diferencias encontradas se deben posiblemente a las variaciones en la accesión, lugar de procedencia, clima, prácticas agronómicas, etc.

Respecto al contenido de magnesio, el Anexo 20, muestra el análisis de varianza multifactorial para esta variable, observándose que no existe un efecto significativo por parte de los factores tipo de estrés abiótico ni tiempo de aplicación sobre el contenido de magnesio en las muestras; por lo tanto, no existe diferencia significativas entre los estreses abióticos post-cosecha de refrigeración, sombra y soleado.

Los valores obtenidos para el contenido de magnesio en la muestra control (día cero) y las muestras expuestas a los estreses abióticos post-cosecha de refrigeración, sombra y soleado se encuentran entre 0.094 y 0.126 por ciento (bs). Estos valores cubren entre el tres y el cinco por ciento de los requerimientos diarios de magnesio recomendados por el Instituto de Medicina (1997), equivalente a 310 y 400 mg de magnesio por día para mujeres y varones, respectivamente. Los resultados obtenidos se encuentran alrededor del valor reportado por Espín *et al.* (2001), 0.11 por ciento (bs), para diez accesiones de mashua.

De manera similar, el análisis de varianza multifactorial para el contenido de hierro en ppm en las muestras (Anexo 21), indica que ninguno de los dos factores, tipo de estrés abiótico post-cosecha ni tiempo de aplicación, ejercen un efecto significativo respecto a esta variable, es decir, no existen diferencias significativas entre los tratamientos de refrigeración, sombra ni soleado para el contenido de hierro.

En el caso del contenido de hierro en las muestras de mashua sometidas por diferentes períodos a los estreses abióticos post-cosecha de refrigeración, sombra y soleado se obtuvo un valor mínimo de 26.966 ppm (bs), correspondiente a la muestra control o día cero, y un valor máximo de 90.328 ppm (bs), en la muestra expuesta por tres días al tratamiento de refrigeración. Las muestras de mashua evaluadas aportan entre el uno y el cinco por ciento de la ingesta diaria de hierro recomendada por la FAO (2002) para hombres y mujeres, la cual corresponde a 23 y 48 mg de hierro por día, respectivamente. Respecto a este componente, Espín *et al.* (2001), determinó un contenido promedio de 42 ppm bs en diez accesiones promisorias de tubérculos de mashua, valor que se encuentra dentro del rango obtenido en el presente estudio. Por su parte, Collazos *et al.* (1996), obtuvieron un valor de 1 mg/100 g de porción comestible para el contenido de hierro en tubérculos de mashua, equivalente a 79.365 ppm bs, el cual supera a la mayoría de los valores determinados en esta investigación.

4.2.5. CONTENIDO DE FIBRA DIETARIA SOLUBLE (FDS), INSOLUBLE (FDI) Y TOTAL (FDT) EN MUESTRAS DE MASHUA SOMETIDAS A TRES ESTRESSES ABIÓTICOS POST-COSECHA

En el Anexo 22, se presentan los resultados por triplicado obtenidos de la determinación de fibra dietaria insoluble (FDI), soluble (FDS) y total (FDT) en las muestras de mashua sometidas por 3, 6, 9, 12 y 15 días a los estreses abióticos post-cosecha de refrigeración, sombra y soleado. Según Rojas y Guerrero (1999), la fibra dietaria o alimentaria es un término genérico que incluye compuestos (la mayoría carbohidratos distintos a almidón) de diferente estructura química, propiedades físicas y efectos fisiológicos, de origen vegetal, que se caracterizan por su resistencia a las enzimas gastrointestinales humanas, es decir, por no ser digeribles.

El Cuadro 5 muestra los valores promedio del contenido de FDI, FDS y FDT (g/100 g bs) en la muestra control o día cero y en las muestras de mashua sometidas durante los períodos mencionados a los estrés abióticos de refrigeración, sombra y soleado.

En primer lugar, se presenta los resultados obtenidos para el contenido de FDI en g/100 g bs. FAO (1997), afirma que la fibra dietaria insoluble, que se caracteriza por su insolubilidad en agua, está conformada por celulosa (polímeros de glucosa con enlaces β -1,4), gran parte de las hemicelulosas y lignina (un polímero de fenil propano, no carbohidrato), componentes que posiblemente estén presentes en las muestras de mashua estudiadas.

El análisis de varianza multifactorial para el contenido de FDI en las muestras de mashua sometidas por 3, 6, 9, 12 y 15 días a los estreses abióticos post-cosecha de refrigeración, sombra y soleado (Anexo 23), indica que existe un efecto significativo ($p < 0.05$), tanto del tipo de estrés abiótico post-cosecha como del tiempo de aplicación de los mismos en días, sobre esta variable.

En el Cuadro 5, se observa que existe una ligera tendencia hacia el incremento para el contenido de FDI de las muestras de mashua sometidas al estrés abiótico post-cosecha de refrigeración, desde un valor inicial de 8.68 g FDI/100 g bs hasta 10.04 g FDI/100 g bs, con un incremento significativo en el día nueve. De manera similar, en el caso del tratamiento de sombra, se observa un incremento significativo en el contenido de FDI a los nueve días de exposición a dicho estrés. Esta similitud entre ambos estreses abióticos post-cosecha se confirma con el análisis estadístico (Anexo 23), en el que se puede observar que no existe diferencia significativa entre los tratamientos de refrigeración y sombra, es decir, el efecto de ambos tipos de estreses abióticos sobre el contenido de FDI de las muestras de mashua es similar. Finalmente, para el tratamiento de soleado, se observa una tendencia hacia el incremento notoria en el contenido de FDI de las muestras de mashua expuestas por 3, 6, 9, 12 y 15 días al estrés abiótico post-cosecha de soleado, iniciando en 8.68 g FDI/100 g bs, muestra control, hasta 13.03 g FDI/100 g bs, muestra expuesta por 15 días al soleado, presentando un incremento significativo a partir del día seis de exposición y los mayores contenidos de FDI. Por este motivo, este estrés abiótico difiere significativamente de los tratamientos de refrigeración y sombra, pues provoca un mayor incremento en el contenido de FDI.

Cuadro 5: Determinación de Fibra dietaria Soluble (FDS), Insoluble (FDI) y Total (FDT) en muestras de mashua sometidas durante 3, 6, 9, 12 y 15 días a los estreses abióticos post-cosecha de refrigeración, sombra y soleado

Tratamiento	FDI (g/100 g bs)	FDS (g/100 g bs)	FDT (g/100 g bs)
Refrigeración	B	A	B
0	8.68 ± 0.73 ^{C:f}	2.09 ± 0.29 ^{B:e}	10.77 ± 0.44 ^{C:i}
3	9.01 ± 0.93 ^{AB;ef}	3.52 ± 0.06 ^{A;abcd}	12.53 ± 0.87 ^{B:h}
6	9.02 ± 0.22 ^{B;ef}	3.56 ± 0.21 ^{A;abcd}	12.58 ± 0.01 ^{B:h}
9	10.11 ± 0.12 ^{A;de}	3.90 ± 0.10 ^{A;ab}	14.02 ± 0.02 ^{A;ef}
12	10.13 ± 0.53 ^{A;de}	4.00 ± 0.11 ^{A;a}	14.13 ± 0.42 ^{A;def}
15	10.04 ± 0.04 ^{A;def}	3.72 ± 0.13 ^{A;abcd}	13.77 ± 0.09 ^{A;efg}
Sombra	B	B	B
0	8.68 ± 0.73 ^{C:f}	2.09 ± 0.29 ^{B:e}	10.77 ± 0.44 ^{C:i}
3	10.01 ± 0.07 ^{AB;def}	3.42 ± 0.06 ^{A;abcd}	13.42 ± 0.01 ^{B;fgh}
6	8.91 ± 0.17 ^{B;ef}	3.82 ± 0.08 ^{A;abc}	12.73 ± 0.08 ^{B;gh}
9	10.87 ± 0.29 ^{A;cd}	2.98 ± 0.97 ^{A;bcde}	13.85 ± 0.67 ^{A;efg}
12	10.41 ± 0.24 ^{A;cd}	2.78 ± 0.21 ^{A;de}	13.19 ± 0.46 ^{A;fgh}
15	11.50 ± 0.65 ^{A;bc}	3.69 ± 0.21 ^{A;abcd}	15.18 ± 0.44 ^{A;bc}
Soleado	A	B	A
0	8.68 ± 0.73 ^{C:f}	2.09 ± 0.29 ^{B:e}	10.77 ± 0.44 ^{C:i}
3	9.68 ± 0.31 ^{AB;def}	2.92 ± 0.31 ^{A;cde}	12.60 ± 0.01 ^{B:h}
6	11.76 ± 0.01 ^{B;abc}	2.83 ± 0.07 ^{A;de}	14.59 ± 0.08 ^{B;bcd}
9	12.47 ± 0.21 ^{A;ab}	2.87 ± 0.01 ^{A;de}	15.34 ± 0.20 ^{A;b}
12	12.72 ± 0.06 ^{A;ab}	3.02 ± 0.47 ^{A;bcde}	15.74 ± 0.41 ^{A;ab}
15	13.03 ± 0.16 ^{A;a}	3.67 ± 0.22 ^{A;abcd}	16.70 ± 0.06 ^{A;a}

Los valores medios que presentan letra capital diferente en la misma columna muestran diferencias significativas al someterse a la prueba de Tukey ($p < 0.05$) para la evaluación de factores: tipo de estrés abiótico y tiempo de aplicación en días. Las letras minúsculas diferentes en la misma columna indican diferencias significativas ($p < 0.05$) entre todas las muestras

El mayor incremento observado para el contenido de FDI durante la aplicación del estrés abiótico post-cosecha de soleado en las muestras, podría estar relacionado con el nivel de deshidratación que sufrieron los tubérculos de mashua, debido a que Bonghi *et al.* (2012), estableció que un mayor nivel de deshidratación en uvas induce los genes específicos implicados en la vía biosintética de la lignina, compuesto que forma parte de la FDI, provocando su acumulación. Así, las muestras expuestas al soleado probablemente acumularon un mayor contenido de lignina (FDI), debido a que el nivel de deshidratación por el que pasaron fue alto; en contraste con ello, las muestras expuestas a los estreses abióticos de refrigeración y sombra acumularon un menor contenido de lignina (FDI) en comparación con el soleado, debido a que el nivel de deshidratación en estas fue menor, y a la vez, similar, por ello no existieron diferencias significativas para el contenido de FDI entre ambos tratamientos.

Adicionalmente, Tevini y Teramura (1989) y Láposi *et al.* (2009), determinaron que la radiación UV provoca un incremento en el grosor de los tejidos vegetales, lo que se debe al aumento en el grosor de la pared celular como consecuencia de la inducción de síntesis de diversos componentes, entre ellos, la lignina. Esto sustenta el resultado encontrado para el estrés abiótico post-cosecha de soleado, pues en este las muestras estuvieron expuestas diariamente a la radiación UV, la cual induce a la síntesis de uno de los compuestos pertenecientes a la FDI, la lignina.

Respecto a la FDS, Rojas y Guerrero (1999), mencionan que más que soluble, este tipo de fibra dietaria es capaz de dispersarse en agua, e incluye principalmente a componentes tales como, pectinas (polímeros del ácido α 1,4 galacturónico), gomas, mucílagos, ciertas hemicelulosas (polímeros de pentosa o hexosa), entre otros.

El Anexo 24 muestra el análisis de varianza multifactorial para el contenido de FDS en las muestras de mashua sometidas por 3, 6, 9, 12 y 15 días a los estreses abióticos post-cosecha de refrigeración, sombra y soleado, donde se observa que ambos factores, tipo de estrés abiótico post-cosecha y tiempo de aplicación de los mismos en días, ejercen un efecto significativo ($p < 0.05$), respecto a esta variable. Además, se puede observar que no existe diferencia significativa entre los tratamientos de sombra y soleado, es decir, el efecto de ambos tipos de estreses abióticos sobre el contenido de FDS en las muestras de mashua es similar; pero si existe diferencia significativa entre estos dos tipos de estreses abióticos y el

tratamiento de refrigeración, para el cual se obtuvo en promedio un mayor valor para esta variable.

Lo previamente señalado se puede observar en el Cuadro 5, donde las muestras expuestas al estrés abiótico post-cosecha de refrigeración obtuvieron los mayores valores para el contenido de FDS, partiendo de un valor de 2.09 g FDS/100 g bs, que corresponde a la muestra control, hasta llegar a un valor final de 3.72 g FDS/100 g bs en el día 15, con un pico máximo de 4.00 g FDS/100 g bs, para el día 12. Como se mencionó, este tratamiento difiere significativamente del estrés abiótico de sombra, para el cual se obtuvieron valores que oscilan entre valor mínimo de 2.09 g FDS/100 g bs, muestra control hasta un valor máximo de 3.82, en el día seis, respuesta que no difiere significativamente del contenido de FDS para el día 15, 3.69 g FDS/100 g bs. Por último, para el estrés abiótico post-cosecha de soleado, el cual difiere significativamente del tratamiento de refrigeración pero no del tratamiento de sombra, se observa que el contenido de FDS de las muestras expuestas por 0, 3, 6, 9 y 12 días no varía significativamente; sin embargo, si existe diferencia significativa entre el valor inicial 2.09 g FDS/100 g bs y el contenido de FDS para el día 15, 3.67 g FDS/100 g bs.

Los resultados obtenidos mostraron que la aplicación de los tres tipos de estreses abióticos post-cosecha, refrigeración, sombra y soleado, provocaron en las muestras un incremento significativo en el contenido de FDS del día cero al día tres. Este incremento podría justificarse, debido al proceso de cicatrización de las heridas, generadas al momento de la cosecha, por el que pasaron las muestras de mashua sometidas a los tres estreses, pues según FAO (1997), esta cicatrización implica la síntesis de gomas en el sitio de la herida, componentes que forman parte de la FDS.

Por otro lado, los resultados muestran mayores valores de contenido de FDS para el tratamiento de refrigeración, esto se explica por el posible incremento en la viscosidad de la pectina debido a las bajas temperaturas. Al respecto, Cuadra-Crespo y Del Amor (2010) y Moscetti *et al.* (2013), determinaron que el incremento en la firmeza de los frutos que estudiaron se debe a que la exposición a bajas temperaturas provoca un aumento en la viscosidad de la pectina de las paredes celulares, el cual según Ziegler y Filer (1997), podría darse por el incremento en el peso molecular o tamaño de las moléculas de la pectina, lo que finalmente provoca un aumento, en peso, en el contenido de pectina, y como consecuencia,

en el contenido de FDS, tal como se dio en la presente investigación. Este incremento en el contenido de FDS pudo haber contribuido a la menor incidencia en la pérdida de peso de las muestras expuestas al estrés abiótico post-cosecha de refrigeración, debido a que la FDS en las paredes celulares se comporta como una barrera a la salida de componente como el agua, el cual se pierde principalmente durante el almacenamiento.

Finalmente, respecto al contenido de fibra dietaria total (FDT), la cual se obtuvo como la suma de la FDI y FDS, se puede notar que el comportamiento de esta variable es similar al del contenido de FDI. Así, el análisis de varianza multifactorial para el contenido de FDT en las muestras de mashua sometidas por 3, 6, 9, 12 y 15 días a los estreses abióticos post-cosecha de refrigeración, sombra y soleado (Anexo 25), indica que existe un efecto significativo ($p < 0.05$), tanto del tipo de estrés abiótico post-cosecha como del tiempo de aplicación de los mismos en días, sobre esta variable. También se puede observar que los tratamientos de refrigeración y sombra no difieren significativamente; sin embargo, si existe diferencia significativa ($p < 0.05$) entre ambos y el estrés abiótico post-cosecha de soleado.

El resultado del contenido de FDT obtenido para la muestra control o día cero, 10.77 g FDT/100 g bs, es mayor al contenido de fibra cruda determinado por Collazos *et al.* (1996), 0.9 por ciento (bh), lo que equivale a 7.14 por ciento (bs); y al contenido de fibra reportados por King (1987), National Research Council (1989) y Espín *et al.* (2001), cuyos valores corresponden a 8.2, 5.7 y 5.86 g/100 g bs, respectivamente. Esta diferencia se debe a que la fibra cruda subestima el contenido total de fibra, debido a que es un análisis químico refleja básicamente el contenido de celulosa y lignina, principales componentes de la FDI, pues en el transcurso de su determinación se disuelven pectinas, gomas, mucílagos (FDS) y la mayor parte de las hemicelulosas (Rojas y Guerrero, 1999).

Para el estrés abiótico post-cosecha de refrigeración se observa que los valores del contenido de FDT para las muestras expuestas a este tratamiento se incrementaron significativamente desde un valor de 10.77 g FDT/100 g bs, muestra control, hasta un valor de 14.13 g FDI/100 g bs, en el día 12, valor que no difiere significativamente del contenido de FDT para el día 15. En el caso del tratamiento de sombra, se observa que el contenido de FDT se incrementa significativamente a los tres y a los quince días de exposición a este estrés abiótico, alcanzando un valor final de 15.18 g FDT/100 g bs. Para el estrés abiótico de soleado, el cual difiere significativamente de los tratamientos de refrigeración y sombra, se observa una

tendencia al incremento notoria en el contenido de FDT de las muestras de mashua expuestas por 3, 6, 9, 12 y 15 días a este tratamiento, similar al contenido de FDI, partiendo de un valor de 10.77 FDT/100 g bs, muestra control, hasta llegar a un valor de 16.70 g FDT/100 g bs, muestra expuesta por 15 días al soleado.

El incremento significativo y mayor en el contenido de FDT obtenido para las muestras expuestas al estrés abiótico post-cosecha de soleado, coincide con el resultado encontrado por Cajamarca (2010) para el caso de la oca, quién determinó que el contenido de fibra se incrementó significativamente luego de exponer a los tubérculos de oca al proceso de soleado por un período de 12 días.

4.2.6. CONTENIDO DE ALMIDÓN EN MUESTRAS DE MASHUA SOMETIDAS A TRES ESTRESSES ABIÓTICOS POST-COSECHA

En la Figura 8 (Anexo 26), se presentan los valores promedio del contenido de almidón (g/100 g bs), de las muestras de mashua sometidas por 3, 6, 9, 12 y 15 días a los estreses abióticos post-cosecha de refrigeración, sombra y soleado, partiendo del valor inicial de la muestra control o día cero.

El valor obtenido para el contenido de almidón de la muestra control o día cero fue 46.16 g/100 g bs, resultado similar a los determinados por Brito y Espín (1999) y Espín *et al.* (2001), para muestras de mashua, cuyo rango para el contenido de almidón se encontró entre 20.01 y 79.46 por ciento, con un promedio de 48.31 por ciento (bs); sin embargo, fue menor al obtenido por Barrionuevo (1975) mencionado por Grau *et al.* (2003), quien determinó que el porcentaje promedio de almidón en mashua es de 8.9 por ciento (bh), resultado que equivale a un valor de 65.93 por ciento (bs).

El análisis de varianza multifactorial para el contenido de almidón de las muestras sometidas por 3, 6, 9, 12 y 15 días a los estreses abióticos post-cosecha de refrigeración, sombra y soleado (Anexo 27), muestra que existe un efecto significativo ($p < 0.05$) de los dos factores, tipo de estrés abiótico post-cosecha y tiempo de aplicación de los mismos en días, sobre esta variable.

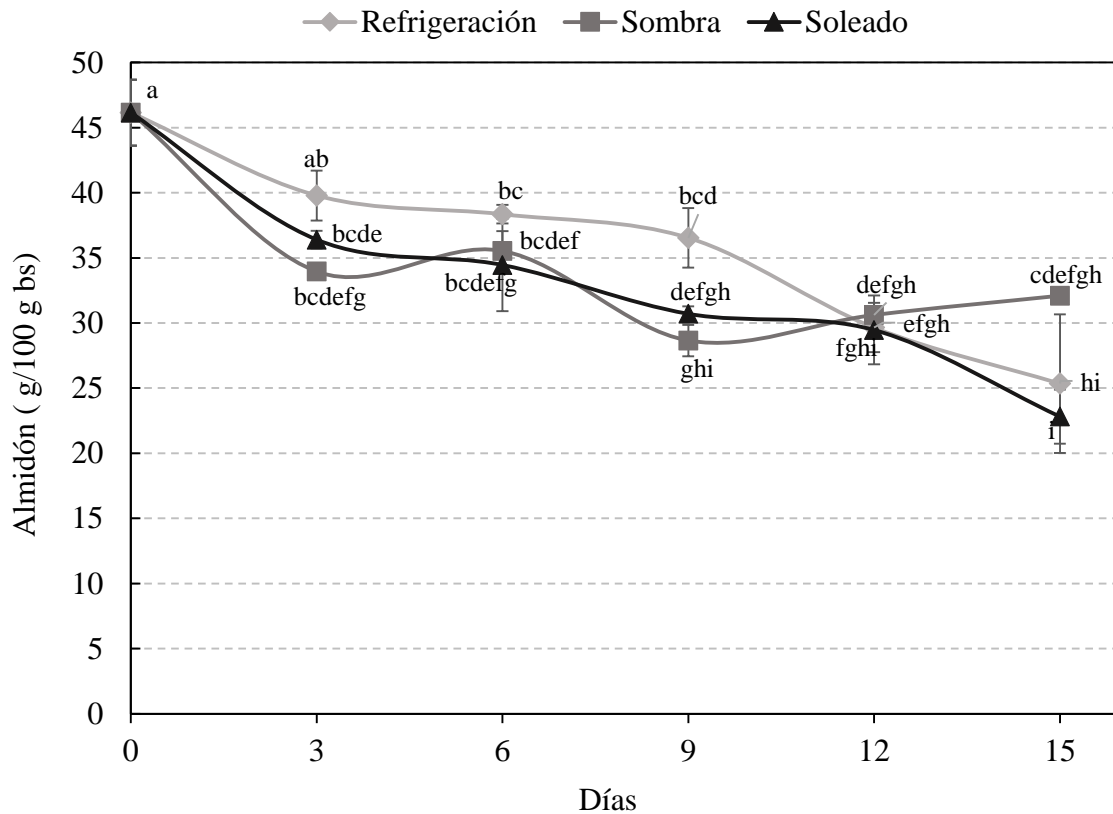


Figura 8: Contenido de almidón (g/100 g bs) en muestras de mashua sometidas durante 3, 6, 9, 12 y 15 días a los estreses abióticos post-cosecha de refrigeración, sombra y soleado

En la Figura 8 se observa que el contenido de almidón de las muestras que fueron expuestas por 3, 6, 9, 12 y 15 días al estrés abiótico post-cosecha de refrigeración presenta una notoria tendencia hacia la disminución, desde un valor inicial de 46.16 g/100 g bs, muestra control o día cero, hasta llegar a un valor mínimo de 25.35 g/100 g bs. La tendencia del contenido de almidón para este tipo de estrés abiótico post-cosecha no difiere significativamente (Anexo 27) del tratamiento de sombra, en el cual también se observa una tendencia general hacia la disminución, sin presentar diferencias significativas a partir de los nueve días de exposición a dicho estrés. El análisis estadístico (Anexo 27), también muestra que el estrés abiótico post-cosecha de sombra no difiere significativamente del tratamiento de soleado; sin embargo, si existen diferencias significativas ($p < 0.05$) entre este último y el estrés abiótico de refrigeración, para esta variable. El contenido de almidón en las muestras expuestas al tratamiento de soleado disminuye significativamente con el transcurso de los días, hasta llegar a un valor mínimo de 22.82 g/100 g bs.

Como se mencionó, el contenido promedio de almidón de las muestras sometidas a los tres tipos de estreses abióticos post-cosecha tiende a disminuir durante los quince días de aplicación de los mismos. Respecto a esto, Méndez e Inostroza (2009), mencionan que el almidón es un componente usado constantemente en la respiración, debido a que a partir de este se obtiene la glucosa, molécula que participa directamente en el proceso de respiración que los vegetales realizan para obtener energía, por lo que la cantidad de almidón de las células decrece constantemente. Esto justifica la disminución observada en el contenido de almidón de las muestras sometidas a los tres tipos de estreses abióticos, debido a que los tubérculos de mashua respiran y necesitan para ello glucosa, la cual proviene del almidón.

Sin embargo, la temperatura a la que están expuestos los vegetales influye directamente sobre la intensidad de la respiración de los mismos (Crisci, 1992), y esta a su vez, sobre el contenido de almidón, a mayor intensidad de respiración mayor será la degradación del almidón. Así, la diferencia significativa encontrada entre el efecto de los estreses abióticos post-cosecha de refrigeración y soleado sobre el contenido de almidón en los tubérculos de mashua, se debe a las diferentes temperaturas a las que fueron expuestos los tubérculos en los dos estreses; en el caso de refrigeración, las bajas temperaturas probablemente disminuyeron la intensidad de la respiración, y con ello, el grado de degradación del almidón; a diferencia del tratamiento de soleado, en el cual las altas temperaturas incrementaron la intensidad de respiración, aumentando el nivel de degradación de almidón. Adicionalmente, Lu *et al.* (2005), determinó que la luz estimula la expresión de genes que codifican las enzimas relacionadas con la degradación del almidón. Esta sería una razón más por la que el nivel de degradación del almidón en las muestras expuestas al tratamiento de soleado fue mayor.

A pesar de lo mencionado anteriormente, el efecto del estrés abiótico de soleado sobre el contenido de almidón no difirió significativamente del efecto del tratamiento de sombra. Esto podría justificarse mencionando que si bien, la temperatura y luz estimulan la degradación del almidón en las muestras expuestas al soleado, existen otros factores como el contenido de sacarosa, que tienen un efecto contrario en el metabolismo del almidón, de tal forma que una mayor concentración de sacarosa inhibe la síntesis de amilasa (Taiz y Zeiger, 2006). Por lo tanto, el contenido de sacarosa de los tubérculos pudo haber influenciado en el grado de degradación del almidón en el tratamiento de soleado.

Por otro lado, como se mencionó anteriormente, no existió diferencia significativa entre los tratamientos de refrigeración y sombra, a pesar de que la temperatura en el tratamiento de refrigeración fue menor. Hide y Marrison, citados por Eskin y Hoehn (2013), asociaron el almacenamiento en frío (4°C) con la actividad de la enzima almidón fosforilasa en tubérculos de papa, enzima que participa en una ruta metabólica alterna de degradación de almidón, en la cual se obtiene como producto principal sacarosa. Además, se ha encontrado que las bajas temperaturas también pueden favorecer la actividad de la enzima alfa amilasa (Gounaris, 2001). Esto justificaría la similitud en el nivel de degradación de almidón entre los estreses de sombra y refrigeración, debido a que en el caso de refrigeración, la degradación del almidón sería estimulada por el incremento en la actividad de la enzima fosforilasa y, posiblemente, también de la alfa amilasa a bajas temperaturas, y, en el caso del tratamiento de sombra, por la necesidad de la obtención de glucosa para la respiración.

4.3. CONTENIDO DE METABOLITOS PRIMARIOS EN MUESTRAS DE MASHUA SOMETIDAS A TRES ESTRESSES ABIÓTICOS POST-COSECHA

A continuación, se presentan los resultados obtenidos de la determinación del contenido de metabolitos primarios en muestras de mashua sometidas por períodos de 3, 6, 9, 12 y 15 días a los estreses abióticos post-cosecha de refrigeración, sombra y soleado. Se incluyen, la determinación de azúcares, ácidos orgánicos y ácido ascórbico.

4.3.1. CONTENIDO DE AZÚCARES EN MUESTRAS DE MASHUA SOMETIDAS A TRES ESTRESSES ABIÓTICOS POST-COSECHA

El Cuadro 6 (Anexo 28), muestra los valores promedio del contenido de azúcares (g/100 g bs) en las muestras de mashua sometidas por 3, 6, 9, 12 y 15 días a los estreses abióticos post-cosecha de refrigeración, sombra y soleado. Los azúcares identificados en las muestras fueron: glucosa, fructosa y sacarosa.

El resultado obtenido para el contenido de azúcares, glucosa, fructosa y sacarosa, en la muestra control o día cero, corresponde a 8.35, 7.17 y 2.23 g/100 g bs, respectivamente, lo que brinda un contenido de estos azúcares de 17.75 g/100 g bs. Este contenido de azúcares se encuentra dentro del rango establecido por Brito y Espín (1999) y Espín *et al.* (2001), para

Cuadro 6: Contenido de azúcares (glucosa, fructosa y sacarosa) en muestras de mashua sometidas durante 3, 6, 9, 12 y 15 días a los estreses abióticos post-cosecha de refrigeración, sombra y soleado

Tratamiento	Glucosa (g/100 g bs)	Fructosa (g/100 g bs)	Sacarosa (g/100 g bs)
Refrigeración	A	A	A
0	8.35 ± 0.41 ^{D;d}	7.17 ± 0.21 ^{D;d}	2.23 ± 0.03 ^{B;f}
3	10.31 ± 0.20 ^{CD;abcd}	9.34 ± 0.27 ^{BC;bcd}	2.35 ± 0.26 ^{AB;ef}
6	9.23 ± 0.17 ^{CD;cd}	8.28 ± 0.19 ^{CD;bcd}	2.81 ± 0.05 ^{A;def}
9	11.25 ± 1.03 ^{AB;abc}	10.37 ± 0.65 ^{AB;abc}	4.58 ± 0.22 ^{A;bc}
12	10.38 ± 0.57 ^{BC;abcd}	9.60 ± 0.60 ^{BC;bcd}	5.04 ± 1.04 ^{A;ab}
15	12.92 ± 1.69 ^{A;a}	12.69 ± 1.74 ^{A;a}	5.12 ± 0.59 ^{A;ab}
Sombra	B	AB	A
0	8.35 ± 0.41 ^{D;d}	7.17 ± 0.21 ^{D;d}	2.23 ± 0.03 ^{B;f}
3	9.67 ± 2.58 ^{CD;cd}	8.67 ± 2.16 ^{BC;bcd}	2.68 ± 0.43 ^{AB;ef}
6	8.81 ± 1.64 ^{CD;cd}	8.03 ± 1.78 ^{CD;cd}	3.19 ± 0.38 ^{A;def}
9	10.87 ± 0.37 ^{AB;abcd}	10.81 ± 0.40 ^{AB;ab}	3.41 ± 0.21 ^{A;de}
12	9.42 ± 0.18 ^{BC;cd}	9.09 ± 0.21 ^{BC;bcd}	3.81 ± 0.29 ^{A;cd}
15	9.81 ± 0.26 ^{A;bcd}	9.23 ± 0.11 ^{A;bcd}	2.82 ± 0.31 ^{A;def}
Soleado	AB	B	A
0	8.35 ± 0.41 ^{D;d}	7.17 ± 0.21 ^{D;d}	2.23 ± 0.03 ^{B;f}
3	8.51 ± 0.71 ^{CD;cd}	8.13 ± 0.59 ^{BC;cd}	5.37 ± 0.07 ^{AB;ab}
6	9.37 ± 0.73 ^{CD;cd}	8.39 ± 0.51 ^{CD;bcd}	5.67 ± 0.16 ^{A;a}
9	10.94 ± 0.17 ^{AB;abcd}	8.89 ± 0.18 ^{AB;bcd}	3.12 ± 0.15 ^{A;def}
12	10.62 ± 0.07 ^{BC;abcd}	8.29 ± 0.00 ^{BC;bcd}	2.67 ± 0.04 ^{A;ef}
15	12.60 ± 0.29 ^{A;ab}	10.51 ± 0.21 ^{A;abc}	3.33 ± 0.23 ^{A;de}

Los valores medios que presentan letra capital diferente en la misma columna muestran diferencias significativas al someterse a la prueba de Tukey ($p < 0.05$) para la evaluación de factores: tipo de estrés abiótico y tiempo de aplicación en días. Las letras minúsculas diferentes en la misma columna indican diferencias significativas ($p < 0.05$) entre todas las muestras

el porcentaje de azúcares totales en muestras de mashua, el cual se encuentra entre 6.77 y 55.23 por ciento, con un valor promedio de 28.42 por ciento (bs).

En primer lugar, se presentan los resultados para el contenido de glucosa de las muestras de mashua sometidas por 3, 6, 9, 12 y 15 días a los estreses abióticos post-cosecha de refrigeración, sombra y soleado. El Anexo 29 muestra el análisis de varianza multifactorial para el contenido de glucosa en las muestras estudiadas, en el cual se observa que tanto el factor tipo de estrés abiótico post-cosecha como el factor tiempo de aplicación, ejercen un efecto significativo ($p < 0.05$), respecto a esta variable. Además, se puede observar que no existe diferencia significativa entre los tratamientos de refrigeración y soleado, ni entre los estreses de sombra y soleado, pero los tratamientos de refrigeración y sombra si difieren significativamente.

En el Cuadro 6, se observa que los valores del contenido de glucosa en las muestras expuestas al estrés abiótico de refrigeración, presentan una ligera tendencia al incremento, desde un valor de 8.35 g/100 g bs de la muestra control, hasta llegar a un contenido de glucosa de 12.92 g/100 g bs de la muestra sometida por 15 días a este tratamiento. En el caso de las muestras expuestas por 3, 6, 9, 12 y 15 días al tratamiento de sombra, se muestra que los resultados para contenido de glucosa oscilan entre 8.35 y 10.87 g/100 g bs, no existiendo diferencias significativas entre ninguno de los valores obtenidos. Finalmente, para el contenido de glucosa de las muestras expuestas al tratamiento de soleado, se observa una tendencia similar a la del estrés abiótico de refrigeración, con la diferencia de que durante los primeros doce días no existió diferencia significativa en el contenido de glucosa, pero si se presentó un incremento significativo en el día 15 respecto al contenido de glucosa inicial.

Esta similitud entre la tendencia del contenido de glucosa para las muestras expuestas a los tratamientos de refrigeración y soleado no se relaciona directamente con los resultados obtenidos para el contenido de almidón. De acuerdo a esto, el contenido de glucosa debería ser mayor en las muestras sometidas al estrés abiótico post-cosecha de soleado, debido a que para este estrés se ha observado una mayor disminución en el contenido de almidón con respecto a refrigeración, indicando un incremento en el contenido de glucosa; sin embargo, durante el soleado, como se ha señalado, las altas temperaturas incrementan la tasa de respiración (Méndez e Inostroza, 2009), por lo que la glucosa es consumida a mayor velocidad, originando de esta manera una disminución en el contenido de este componente.

Así, a pesar de que se produce una menor cantidad de glucosa proveniente de la degradación del almidón en las muestras expuestas al tratamiento de refrigeración, las bajas temperaturas provocan que esta se consuma a una menor velocidad.

En el caso de los estreses abióticos post-cosecha de refrigeración y sombra, en los que la tendencia en el contenido de almidón no difirió significativamente, el comportamiento diferente del contenido de glucosa en las muestras podría estar relacionada con las temperaturas de almacenamiento, debido a que la mayor temperatura en el tratamiento de sombra respecto a refrigeración, provocaría que la tasa de respiración sea mayor, originando con ello una mayor disminución en el contenido de glucosa, pues esta participa directamente en el proceso de respiración (Crisci, 1992).

Adicionalmente, el contenido de glucosa de las muestras también podría estar relacionado con el metabolismo de los glucosinolatos presentes, la glucosa es uno de los productos de la hidrólisis de estos componentes por acción de la mirosinasa (Rincón, 2014). Así, el metabolismo de los glucosinolatos podría ser influenciado por factores externos como la temperatura y la luz. Al respecto, Rybarczyk-Plonska *et al.* (2016), demostraron que los niveles de glucosinolatos en brócoli no cambiaron significativamente al someterlos a bajas temperaturas por un período de siete días; sin embargo, Cartea *et al.* (2008), afirma que el efecto de la temperatura durante el almacenamiento no es preciso, pues este depende también del tipo de glucosinolatos.

De igual forma en el Cuadro 6, se presentan los resultados para el contenido de fructosa en las muestras sometidas por 3, 6, 9, 12 y 15 días a los estreses abióticos post-cosecha de refrigeración, sombra y soleado. El análisis de varianza multifactorial para el contenido de fructosa en las muestras de mashua sometidas por dichos períodos a los tratamientos mencionados (Anexo 30), indica que existe un efecto significativo ($p < 0.05$) de los dos factores estudiados, tipo de estrés abiótico post-cosecha y tiempo de aplicación, sobre esta variable respuesta. Adicionalmente se observa, que no existen diferencias significativas entre los estreses abióticos post-cosecha de refrigeración y sombra ni entre sombra y soleado; sin embargo, los tratamientos de refrigeración y soleado si difieren significativamente.

Respecto a los valores obtenidos para el contenido de fructosa en las muestras sometidas al tratamiento de refrigeración, se puede notar que existe una tendencia hacia un incremento

en dichos valores, desde un valor de 7.17 g/100 g bs hasta un contenido de fructosa de 12.69 g/100 g en el día 15. Para el tratamiento de sombra, se observa que el contenido de fructosa para las muestras sometidas a este estrés por 3, 6, 12 y 15 días, no difieren significativamente del contenido inicial; sin embargo, si se obtuvo un incremento significativo del contenido de fructosa en la muestra expuesta por nueve días al tratamiento de sombra. Por otro lado, los resultados para el contenido de fructosa en las muestras expuestas al tratamiento de soleado, muestran que no existen diferencias significativas hasta los 12 días de exposición; pero si se presenta un incremento significativo en el día 15 respecto al valor inicial.

La diferencia significativa determinada para el efecto de los estreses abióticos post-cosecha de refrigeración y soleado, sobre el contenido de fructosa en las muestra se debe posiblemente a que las bajas temperaturas estimulan la formación de fructosa, tanto a partir de sacarosa, debido a que la actividad de la invertasa es estimulada por el frío, como a partir de las hexosas fosfato formadas en la degradación del almidón, pues las bajas temperaturas incrementa el contenido de la enzima fructoquinasa, enzima responsable de esta reacción (Gounaris, 2001). El incremento en el contenido de fructosa de las muestras expuestas al estrés abiótico de refrigeración, coincide con el resultado encontrado por Sánchez-Bel *et al.* (2012), quienes determinaron que las bajas temperaturas incrementaron significativamente el nivel de fructosa en frutos de pimiento.

Shao *et al.* (2013), menciona que un alto nivel de fructosa y glucosa está asociado a una mayor tolerancia al enfriamiento. Así, Danyluk *et al.* (1998), han propuesto que los azúcares tienen un papel como solutos compatibles para proteger a las células contra el estrés osmótico producido por la pérdida del control de la permeabilidad de las membranas celulares a consecuencia del enfriamiento. Al respecto, Sevillano (2009), menciona que los estreses a bajas temperaturas tienen un efecto significativo en el metabolismo del carbono y en el contenido de carbohidratos, pues estas condiciones estimulan reacciones de degradación, síntesis e interconversión de estos. La exposición al estrés en frío causa frecuentemente la movilización de los carbohidratos, lo que implica la hidrólisis de almidón o simplemente la conversión de sacarosa a azúcares reductores. Esto podría justificar el incremento significativo en el contenido de fructosa en las muestras expuestas al estrés abiótico post-cosecha de refrigeración.

Finalmente, respecto al contenido de sacarosa, el Anexo 31, muestra el análisis de varianza multifactorial para el contenido de sacarosa en las muestras de mashua expuestas por 3, 6, 9, 12 y 15 días a los estreses abióticos post-cosecha de refrigeración, sombra y soleado, en el cual se observa que, no existe un efecto significativo del factor tipo de estrés abiótico post-cosecha sobre esta variable; sin embargo, el factor tiempo de aplicación, sí ejerció un efecto significativo ($p < 0.05$), respecto al contenido de sacarosa. Por ello, se puede observar que no existen diferencias significativas entre los tratamientos de refrigeración, sombra ni soleado.

Los resultados determinados para el contenido de sacarosa de las muestras expuestas al estrés abiótico de refrigeración, muestran una tendencia hacia el incremento, iniciando con un contenido promedio de sacarosa de 2.23 g/100 g bs, muestra control, hasta llegar a un valor de 5.12 g/100 g bs, en el día 15. Para el tratamiento de sombra, se observa que no existieron diferencias significativas en el contenido de sacarosa hasta los seis días de exposición a este tratamiento; sin embargo, se determinó un incremento significativo en el día nueve, a partir del cual, el contenido de sacarosa se mantuvo constante. Por otro lado, los resultados obtenidos para las muestras expuestas al estrés abiótico de soleado, muestran que el contenido de sacarosa fue variable, de tal forma que se incrementa significativamente en el día tres, alcanzando un valor de 5.37 g/100 g bs, y vuelve a disminuir de forma significativa en el día nueve, 3.12 g/100 g bs, manteniéndose constante posterior a ello.

El incremento en los valores obtenidos para el contenido de sacarosa de las muestras expuestas al estrés abiótico post-cosecha de refrigeración, coincide con lo mencionado por Méndez e Inostroza (2009), quienes afirman que las bajas temperaturas, alcanzadas en la refrigeración, provocan la acumulación de sacarosa en los tubérculos de papa, tal como se observó para los tubérculos de mashua en la presente investigación. Del mismo modo, Sánchez-Bel *et al.* (2012), determinaron un incremento en el contenido de sacarosa, además de fructosa, a consecuencia de las bajas temperaturas.

La sacarosa obtenida en las muestras de mashua se pudo acumular a consecuencia de la degradación de almidón, tal como se mencionó en el acápite 4.2.6, por acción de la enzima almidón fosforilasa, en primer lugar, y por la actividad de la enzima sacarosa fosfato sintetasa, la cual se encarga de la síntesis propiamente dicha de esta molécula, debido a que estas dos enzimas son estimuladas con las bajas temperaturas (Hide y Marrison, citados por Eskin y Hoehn, 2013; Guy *et al.*, 1992). Sin embargo, el incremento en el contenido de

sacarosa se observó a partir de los nueve días de exposición a dicho estrés, debido probablemente a que la sacarosa acumulada inicialmente fue hidrolizada, por la enzima invertasa, a fructosa y glucosa, para obtener con ello una mayor cantidad de metabolitos compatibles, lo cual si se relaciona con el contenido de ambos azúcares en las muestras de mashua expuestas al estrés abiótico de refrigeración.

En el caso del estrés abiótico post-cosecha de sombra, también se determinó una tendencia hacia el incremento en el contenido de sacarosa, pero en menor grado que el tratamiento de refrigeración. Según Crisci (1992), temperaturas alrededor de 10 °C, comunes en el tratamiento de sombra, generan una acumulación de sacarosa relativamente lenta, por lo que la tendencia hacia el incremento de sacarosa fue menor en comparación con el estrés abiótico post-cosecha de refrigeración.

4.3.2. CONTENIDO DE ÁCIDOS ORGÁNICOS EN MUESTRAS DE MASHUA SOMETIDAS A TRES ESTRESSES ABIÓTICOS POST-COSECHA

En el Cuadro 7 (Anexo 22), se presentan los valores promedio del contenido de los ácidos orgánicos identificados, ácido oxálico, málico, quínico, succínico y fórmico (g/100 g bs), en la muestra control o día cero y en las muestras de mashua por 3, 6, 9, 12 y 15 días a los estreses abióticos post-cosecha de refrigeración, sombra y soleado.

Primeramente, se muestran los resultados obtenidos para el contenido de ácido oxálico en las muestras de mashua sometidas por 3, 6, 9, 12 y 15 días a los estreses abióticos post-cosecha de refrigeración, sombra y soleado, partiendo del valor inicial para la muestra control o día cero.

El ácido oxálico es un compuesto que se produce en forma natural en las raíces de muchas plantas, debido a que desempeña un papel importante de resistencia y respuesta al ambiente (Zheng *et al.*, 2012), por ello, es común que este componente este presente en raíces y tubérculos obtenidos de las plantas, tal como en el caso de los tubérculos de mashua (Magnetti, 2002).

El Anexo 33 muestra el análisis de varianza multifactorial para el contenido de ácido oxálico en las muestras estudiadas, en el cual se observa que existe un efecto significativo ($p < 0.05$),

Cuadro 7: Contenido de ácidos orgánicos (ácido oxálico, málico, quínico, succínico y fórmico) en muestras de mashua sometidas durante 3, 6, 9, 12 y 15 días a los estreses abióticos post-cosecha de refrigeración, sombra y soleado

Tratamiento	Ácido oxálico	Ácido málico	Ácido quínico	Ácido succínico	Ácido fórmico
Refrigeración	B	AB	A	B	B
0	0.010 ± 0.000 ^{A;b}	0.192 ± 0.020 ^{AB;abc}	0.715 ± 0.010 ^{C:g}	0.052 ± 0.000 ^{BC:f}	0.083 ± 0.000 ^{D:fg}
3	0.010 ± 0.000 ^{A;b}	0.157 ± 0.013 ^{AB;abc}	0.849 ± 0.012 ^{B;fg}	0.030 ± 0.000 ^{C:g}	0.070 ± 0.001 ^{CD:g}
6	0.010 ± 0.000 ^{A;b}	0.200 ± 0.054 ^{A;abc}	0.873 ± 0.010 ^{B;efg}	0.031 ± 0.001 ^{BC:g}	0.075 ± 0.004 ^{BCD:g}
9	0.010 ± 0.000 ^{A;b}	0.152 ± 0.009 ^{B;abc}	1.119 ± 0.027 ^{AB;bcd}	0.084 ± 0.009 ^{AB;de}	0.081 ± 0.007 ^{BC;fg}
12	0.011 ± 0.001 ^{A;b}	0.246 ± 0.057 ^{AB;a}	1.181 ± 0.157 ^{AB;ab}	0.077 ± 0.006 ^{AB;e}	0.063 ± 0.046 ^{B:g}
15	0.010 ± 0.000 ^{A;b}	0.200 ± 0.034 ^{AB;abc}	1.350 ± 0.155 ^{A;a}	0.093 ± 0.007 ^{A;cde}	0.087 ± 0.002 ^{A;fg}
Sombra	A	A	A	C	A
0	0.010 ± 0.000 ^{A;b}	0.192 ± 0.020 ^{AB;abc}	0.715 ± 0.010 ^{C:g}	0.052 ± 0.000 ^{BC:f}	0.083 ± 0.000 ^{D:fg}
3	0.010 ± 0.000 ^{A;b}	0.220 ± 0.012 ^{AB;ab}	1.014 ± 0.007 ^{B;bcd}	0.029 ± 0.001 ^{C:g}	0.134 ± 0.006 ^{CD;de}
6	0.010 ± 0.000 ^{A;b}	0.249 ± 0.089 ^{A;a}	0.951 ± 0.147 ^{B;bcd}	0.043 ± 0.005 ^{BC;fg}	0.151 ± 0.006 ^{BCD;cde}
9	0.020 ± 0.001 ^{A;a}	0.208 ± 0.018 ^{B;ab}	1.082 ± 0.039 ^{AB;bcd}	0.049 ± 0.002 ^{AB;f}	0.168 ± 0.005 ^{BC;cd}
12	0.021 ± 0.001 ^{A;a}	0.205 ± 0.014 ^{AB;ab}	0.927 ± 0.018 ^{AB;def}	0.032 ± 0.002 ^{AB;g}	0.188 ± 0.004 ^{B;bc}
15	0.020 ± 0.001 ^{A;a}	0.172 ± 0.024 ^{AB;abc}	0.915 ± 0.047 ^{A;defg}	0.027 ± 0.007 ^{A;g}	0.252 ± 0.015 ^{A;a}
Soleado	B	B	A	A	A
0	0.010 ± 0.000 ^{A;b}	0.192 ± 0.020 ^{AB;abc}	0.715 ± 0.010 ^{C:g}	0.052 ± 0.000 ^{BC:f}	0.083 ± 0.000 ^{D:fg}
3	0.021 ± 0.001 ^{A;a}	0.222 ± 0.021 ^{AB;ab}	0.958 ± 0.045 ^{B;bcd}	0.057 ± 0.008 ^{C:f}	0.117 ± 0.004 ^{CD;ef}
6	0.011 ± 0.001 ^{A;b}	0.204 ± 0.028 ^{A;ab}	0.981 ± 0.054 ^{B;bcd}	0.100 ± 0.009 ^{BC;cd}	0.136 ± 0.002 ^{BCD;de}
9	0.010 ± 0.000 ^{A;b}	0.099 ± 0.010 ^{B;c}	0.964 ± 0.011 ^{AB;cdef}	0.104 ± 0.010 ^{AB;c}	0.159 ± 0.004 ^{BC;cd}
12	0.000 ± 0.000 ^{A;c}	0.138 ± 0.014 ^{AB;bc}	0.963 ± 0.029 ^{AB;cdef}	0.124 ± 0.004 ^{AB;b}	0.206 ± 0.004 ^{B;b}
15	0.000 ± 0.000 ^{A;c}	0.144 ± 0.004 ^{AB;bc}	1.147 ± 0.044 ^{A;abc}	0.172 ± 0.006 ^{A;a}	0.245 ± 0.006 ^{A;a}

Los valores medios que presentan letra capital diferente en la misma columna muestran diferencias significativas al someterse a la prueba de Tukey ($p < 0.05$) para la evaluación de factores: tipo de estrés abiótico y tiempo de aplicación en días. Las letras minúsculas diferentes en la misma columna indican diferencias significativas ($p < 0.05$) entre todas las muestras

del factor tipo de estrés abiótico post-cosecha sobre esta variable, sin embargo, el factor tiempo de aplicación, no ejerce un efecto significativo sobre el contenido de ácido oxálico.

En el Cuadro 7, se observa que el contenido de ácido oxálico en las muestras expuestas al estrés abiótico post-cosecha de refrigeración no varía significativamente con el transcurso de los días. Por el contrario, en las muestras expuestas al tratamiento de sombra, se observa que, si bien, el contenido de ácido oxálico no presentó diferencias significativas hasta los primeros seis días de aplicación del mismo, en el día nueve si se observa un incremento notorio en el contenido de ácido oxálico, el cual no varió significativamente los días posteriores. En el caso del tratamiento de soleado, se observa un incremento significativo en las muestras expuestas por tres días a este estrés abiótico, desde 0.010 g/100 g bs hasta un valor de 0.021 g/100 g bs; posterior a ello, se muestra una tendencia notoria hacia la disminución en el contenido de ácido oxálico a medida que se incrementa el tiempo de aplicación del soleado, llegando a desaparecer totalmente este componente en las muestras expuestas por 12 y 15 días a este estrés abiótico.

La disminución significativa observada en el contenido de ácido oxálico en las muestras de mashua sometidas al estrés abiótico post-cosecha de soleado, coinciden con el resultado encontrado por Cajamarca (2010) para tubérculos de oca, quién determinó que el contenido de ácido oxálico en dichos tubérculos disminuye con la exposición de estos a un proceso de soleado. Esta disminución en el contenido de ácido oxálico en las muestras se explica por la sensibilidad que este ácido tiene en solución respecto a la luz solar, tal como se encuentra en las células vegetales, la cual provoca su degradación transformándolo en CO₂ (Torres, 2006).

Una ruta metabólica relacionada con la formación de ácido oxálico es la vía de los aminoácidos, según (Gil, 2010), la metabolización del aminoácido treonina produce glicina y acetil-CoA, y a su vez, la degradación de este aminoácido da lugar a la formación de oxalatos. Esto podría estar relacionado con el incremento de ácido oxálico en las muestras expuestas al estrés abiótico de sombra.

En general, el contenido de ácido oxálico de las muestras de mashua fue mucho menor al de otros alimentos ricos en este ácido. Así, los resultados obtenidos se encuentran entre 0.01 y 0.021 g/100 g bs, equivalente a un rango entre 1.18 y 2.48 mg/100 g bh, estos valores son bajos en comparación al contenido de ácido oxálico de oca, espinaca y acelga, los cuales

corresponden a 168.9, 266.2 y 252.3 mg/100 g bh (Albihin y Savage, 2001). Y es menor incluso al contenido de ácido oxálico de la papa, el cual se encuentra entre 8 y 38 mg/100 g de tubérculos de papa (Lisinska y Aniolowski, 1990).

Otro de los ácidos identificados en las muestras sometidas por 3, 6, 9, 12 y 15 días a los estreses abióticos post-cosecha de refrigeración, sombra y soleado, fue el ácido málico. Respecto al contenido de ácido málico en las muestras expuestas al estrés abiótico de refrigeración, se observa que este componente no varió significativamente con la aplicación de dicho tratamiento. De forma similar, la aplicación del estrés abiótico post-cosecha de sombra no provocó variaciones significativas en el contenido de ácido málico de las muestras de mashua expuestas a este estrés. En el caso del tratamiento de soleado, tampoco se observan variaciones considerables en el contenido de ácido málico de las muestras como consecuencia de la aplicación de dicho tratamiento, respecto al contenido inicial.

La importancia de la presencia de este ácido y de su anión malato es que cumplen una variedad de funciones metabólicas y fisiológicas que resultan de vital importancia para los vegetales. Entre las más importantes se tienen: participación en el ciclo de Krebs, almacén de CO₂, regulador de la osmolaridad intracelular, transportador de equivalentes reductores hacia el citosol, amortiguador de pH citosólico, quelante de cationes tóxicos provenientes del suelo, sensor del CO₂, regulador del pH extracelular, entre otras (Martínez y Calderón, 2005).

El contenido de ácido málico en la muestra inicial de tubérculos de mashua fue de 0.192 g/100 g bs, equivalente a un valor de 22.68 mg/100 g bh. Este valor se asemeja al contenido de ácido málico determinado para tubérculos de papa, los cuales se encuentran en un rango de 20 a 150 mg/100 g bh (Lisinska y Aniolowski, 1990).

Respecto al ácido quínico, tercer ácido orgánico identificado, el Anexo 35 muestra el análisis de varianza multifactorial correspondiente, en el cual se observa que el factor tipo de estrés abiótico post-cosecha no ejerce un efecto significativo del sobre esta variable, sin embargo, si existe un efecto significativo ($p < 0.05$) del factor tiempo de aplicación, sobre el contenido de ácido quínico.

Los resultados obtenidos para el contenido de ácido quínico en las muestras sometidas al estrés abiótico post-cosecha de refrigeración, muestran que existe una tendencia hacia el incremento en este componente, desde un valor de 0.715 g/100 g bs hasta alcanzar un valor de 1.350 g/100 g bs, a los 15 días de aplicación de este tratamiento. En el caso del estrés abiótico de sombra, se obtuvo un incremento significativo en el contenido de ácido quínico a los tres días de aplicación de este tratamiento. De manera similar, el contenido de ácido quínico en las muestras sometidas al estrés abiótico post-cosecha de soleado, presentó un aumento significativo en el día tres, posterior a ello, los resultados no difirieron significativamente.

La tendencia hacia el incremento en el contenido de ácido quínico en las muestras sometidas a los tres estreses abióticos post-cosecha, refrigeración, sombra y soleado, se da debido a que el ácido quínico es uno de los precursores de los compuestos fenólicos (Marcano y Hasegawa, 2002), moléculas que forman parte de los compuestos protectores ante el estrés, cuya biosíntesis se estimula de forma común en todo tipo de estrés abiótico (Ramakrishna y Aswathanarayana, 2011). Este ácido es formado a partir de la vía metabólica del shiquimato, la cual inicia con la unión del fosfoenolpiruvato y la 4-eritrosa-fosfato para formar DAHP, seguida por la eliminación del ácido fosfórico de este compuesto (3-deoxy D-arabino-heptuloso ácido 7-fosfato) y una reacción que genera el primer ácido carboxílico intermedio, el ácido 3-dehidroquínico; a partir de la reducción de este ácido, se obtiene el ácido quínico. Además de este, también se obtienen otros compuestos como el ácido shikímico o ácidos fenólicos como el ácido protocatequínico y ácido gálico (Dewick, 2009). Por otro lado, se conoce también, que el ácido quínico puede ser obtenido como un producto a partir de la ruta metabólica de biosíntesis de fenilalanina, tirosina y triptófano.

Por otro lado, el ácido succínico también fue identificado en las muestras sometidas por 3, 6, 9, 12 y 15 días a los estreses abióticos post-cosecha de refrigeración, sombra y soleado. El análisis de varianza multifactorial para el contenido de ácido succínico en las muestras de mashua sometidas a los tratamientos mencionados (Anexo 36), indica que existe un efecto significativo ($p < 0.05$), tanto del factor tipo de estrés abiótico post-cosecha como del factor tiempo de aplicación, sobre esta variable.

El contenido de ácido succínico obtenido para la muestra inicial de mashua fue de 0.052 g/100 g bs, lo que equivale a un valor de 6.14 mg/100 g bh. Este valor se encuentra dentro

del rango de contenido de ácido succínico determinado para tubérculos de papa, el cual se encuentra entre 1 y 44 mg/100 g bh (Lisinska y Aniolowski, 1990).

En el Cuadro 7, se observa que el contenido de ácido succínico para las muestras expuestas al tratamiento de refrigeración se incrementa significativamente después de los seis días, hasta un valor final de 0.093 g/100 g bs, en el día 15. Respecto al estrés abiótico post-cosecha de sombra, los resultados obtenidos para el contenido de ácido succínico oscilan entre 0.052 y 0.027 g/100 g bs, con una ligera tendencia hacia la disminución. En el caso del contenido de ácido succínico de las muestras expuestas al tratamiento de soleado, se observa que este componente se incrementa significativamente con el tiempo de aplicación de dicho estrés, desde un valor de 0.052 g/100g bs, muestra control, hasta un valor final de 0.172 g/100 g bs.

La diferencia en la tendencia del contenido de ácido succínico entre el tratamiento de refrigeración y sombra, coincide con el resultado encontrado por Sánchez-Bel *et al.* (2012), quienes determinaron que las bajas temperaturas estimularon el incremento de ácido succínico en frutos de pimiento en comparación con muestras mantenidas alrededor de 10 °C, similar a la temperatura promedio en el tratamiento de sombra.

Una vía de obtención de ácido succínico es el catabolismo de las poliaminas, moléculas que participan en las respuestas de las plantas a distintos tipos de estreses. Algunos autores mencionan que las poliaminas están implicadas en procesos biológicos tales como capacidad antioxidante, regulación de la apertura estomática y como osmorregulador; por este motivo cabe la posibilidad de que estos compuestos intervengan en la tolerancia y resistencia de las plantas ante condiciones adversas en donde se altera la estabilidad y la homeostasis en los cultivos. Uno de los primeros compuestos del catabolismo de las poliaminas es el ácido aminobutírico (GABA), el cual se transforma en ácido succínico luego de una posterior trasaminación y oxidación, el cual se incorpora al Ciclo de Krebs. Esto podría explicar el incremento de ácido succínico en las muestras expuestas al soleado, pues el catabolismo de las poliaminas ayuda a la adaptación de la planta ante el estrés (Bagni y Tassoni, citados por Gómez y García, 2006).

El último ácido orgánico identificado en las muestras de mashua sometidas por 3, 6, 9, 12 y 15 días a los estreses abióticos post-cosecha de refrigeración, sombra y soleado, fue el ácido fórmico. En el Anexo 37, se presenta el análisis de varianza multifactorial para el contenido

de ácido fórmico en las muestras de mashua sometidas a los tratamientos mencionados, el cual indica que existe un efecto significativo ($p < 0.05$) de los dos factores estudiados, tipo de estrés abiótico post-cosecha y tiempo de aplicación, sobre esta variable.

Los resultados obtenidos para el contenido de ácido fórmico en las muestras de mashua expuestas al estrés abiótico post-cosecha de refrigeración, muestran que la aplicación de este tratamiento no provoca variaciones significativas respecto a esta variable. En el caso del estrés abiótico de sombra, se observa existe una tendencia hacia el incremento en el contenido de ácido fórmico de las muestras expuestas a este tratamiento a medida que se incrementa el tiempo de aplicación del mismo, desde un valor de 0.083 g/100 g bs, en la muestra control o día cero, hasta un contenido de 0.252 g/100 g bs, en la muestra expuesta por 15 días a este tratamiento. Una tendencia similar se obtuvo para el contenido de ácido fórmico de las muestras expuestas al estrés abiótico de soleado, de tal forma que dicho componente se incrementa con el transcurso de los días hasta llegar a un valor final de 0.245 g/100 g bs en el día 15.

4.3.3. CONTENIDO DE ÁCIDO L-ASCÓRBICO EN MUESTRAS DE MASHUA SOMETIDAS A TRES ESTRESSES ABIÓTICOS POST-COSECHA

La Figura 9 (Anexo 38), muestra los valores promedio del contenido de ácido L-ascórbico de las muestras de mashua sometidas por 3, 6, 9, 12 y 15 días a los estreses abióticos post-cosecha de refrigeración, sombra y soleado. Según Rivera (2005), la mashua es un tubérculo que se caracteriza por su contenido inusual de ácido ascórbico, sobrepasando al contenido de este ácido en la oca, olluco y papa, debido a esto, el ácido L-ascórbico es un ácido orgánico de interés en los tubérculos de mashua.

El contenido de ácido L-ascórbico obtenido para la muestra “Control”, que corresponde a los tubérculos de mashua en el día cero, fue 2.72 mg/g bs, lo que es equivalente a un contenido de 32.13 mg/100g (bh). Este resultado es menor a los reportados por diferentes autores para tubérculos de mashua de otras variedades; sin embargo, si es mayor al contenido de ácido ascórbico reportados para otros tubérculos como la oca, olluco y papa, cuyos valores corresponden a 2.4, 0.70 y 0.55 mg/g bs, respectivamente (Collazos *et al.*, 1996).

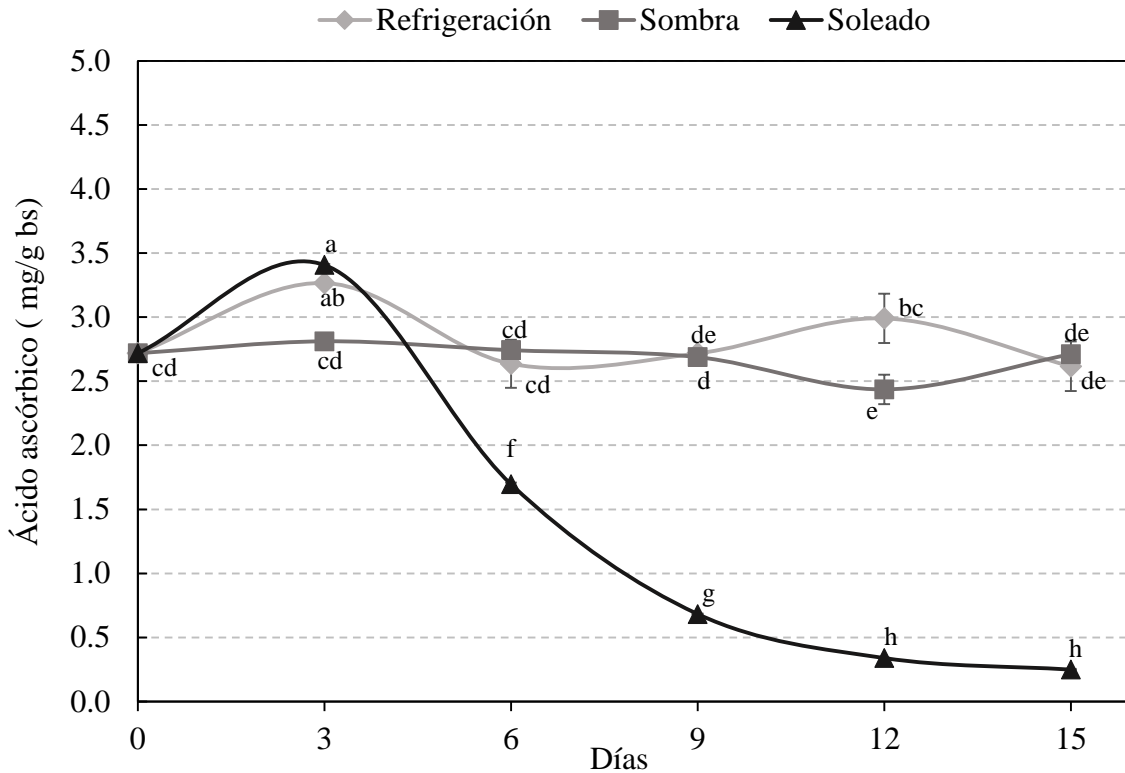


Figura 9: Contenido de ácido ascórbico (mg/ g bs) en muestras de mashua sometidas durante 3, 6, 9, 12 y 15 días a los estreses abióticos post-cosecha de refrigeración, sombra y soleado

El análisis de varianza multifactorial para el contenido de ácido ascórbico en las muestras de mashua sometidas por 3, 6, 9, 12 y 15 días a los estreses abióticos post-cosecha de refrigeración, sombra y soleado (Anexo 39), indica que existe un efecto significativo ($p < 0.05$), tanto del factor tipo de estrés abiótico post-cosecha como del factor tiempo de aplicación, respecto a esta variable. Adicionalmente se observa, que no existen diferencias significativas entre los estrés abióticos post-cosecha de refrigeración y sombra; sin embargo, ambos tratamientos si difieren significativamente ($p < 0.05$) del estrés abiótico de soleado.

En la Figura 9, se puede observar que el contenido de ácido ascórbico de las muestras expuestas al estrés abiótico post-cosecha de refrigeración, varió ligeramente con la aplicación de dicho estrés abiótico, oscilando alrededor del valor inicial, 2.72 mg/ g bs. De manera similar, la aplicación del tratamiento de sombra no provocó variaciones significativas en el contenido de ácido ascórbico de las muestras de mashua expuestas a este estrés. Por otro lado, en el caso del tratamiento de soleado, se observa que el contenido de ácido ascórbico en las muestras sometidas a este estrés disminuyó significativamente a

medida que el tiempo de aplicación de dicho tratamiento se incrementó, partiendo de un valor de 2.72 mg/g bs, en el día cero, hasta llegar a un valor mínimo de 0.25 mg/g bs, luego de 15 días de aplicación de este estrés.

El ácido ascórbico es un metabolito principal en las plantas, debido a su función antioxidante. Este ácido en asociación con otros componentes del sistema antioxidante, protege a las plantas contra el daño oxidativo (Smirnoff, 1996). Uno de los procesos que causa el estrés oxidativo en los vegetales es su exposición a estreses abióticos, debido a que muchos de estos estreses producen alteraciones en el funcionamiento de las cadenas de transporte electrónico, originándose con esto especie oxidantes y/o reductoras denominadas ROS (sustancias reactivas de oxígeno) (Arbona y Gómez, citados por Pitarch, 2013). Por lo tanto, el incremento inicial significativo de ácido ascórbico, a los tres días de exposición a los estreses de refrigeración y soleado, podría deberse a la síntesis de este componente como respuesta a la exposición a dichos estreses.

Sin embargo, la diferencia significativa determinada entre el estrés abiótico de soleado y los tratamientos de refrigeración y sombra, se basa en la incidencia de la luz solar sobre los tubérculos de mashua en el primer caso; debido a que según Delgado y Díaz (2005), la luz es uno de los factores que acelera la oxidación del ácido ascórbico. Por lo tanto, la presencia de la luz, fue la que provocó la disminución significativa en el contenido de ácido ascórbico en las muestras de mashua expuestas al tratamiento de soleado, a diferencia de los tratamientos de refrigeración y sombra, en los que la luz estuvo ausente. Además, de que el estrés oxidativo generado por el tratamiento de soleado fue mayor, debido a que en este estrés estuvieron presentes varios factores estresantes: altas temperaturas, presencia de luz y bajas humedades relativas; estos estreses, como se mencionó anteriormente, posiblemente originaron la formación de ROS, los cuales fueron eliminados por la acción del ácido ascórbico.

V. CONCLUSIONES

- La aplicación de los tres tipos de estreses abióticos post-cosecha influyó en la pérdida de peso y en las características físico-químicas en los tubérculos de mashua, siendo el soleado el que provocó los mayores cambios. Así, la retención de peso, la acidez y el contenido de almidón disminuyeron significativamente ($p < 0.05$); las muestras perdieron la tonalidad púrpura; mientras que, el pH y el contenido de FDI aumentaron durante la aplicación del soleado. Sin embargo, el estrés abiótico de refrigeración provocó un incremento significativo en el contenido de FDS.
- El contenido de metabolitos primarios fue afectado por la aplicación de los estreses abióticos post-cosecha. La refrigeración provocó un incremento significativo en el contenido de glucosa, fructosa, sacarosa y ácido quínico. El almacenamiento en sombra, conllevó un incremento en el contenido de ácido fórmico. Mientras que, el soleado provocó, un incremento en el contenido de glucosa al final de la aplicación del mismo, un aumento en el contenido de sacarosa en la etapa inicial, un incremento notorio en el contenido de ácido quínico, succínico y fórmico; y, una disminución pronunciada en el contenido de ácido oxálico y ácido L-ascórbico.
- El almacenamiento post-cosecha en refrigeración durante nueve días brinda las mejores características en cuanto a color, contenido azúcares, ácidos orgánicos y ácido L-ascórbico.

VI. RECOMENDACIONES

- Evaluar el efecto de la aplicación de estreses abióticos post-cosecha sobre el contenido de metabolitos secundarios en tubérculos de mashua; así como en el contenido de glucosinolatos.
- Evaluar los cambios en los metabolitos primarios y secundarios en condiciones ambientales controladas.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar-Galvez, A; Guillermo, S; Dubois-Dauphin, R; Campos, D; Thonart, P. 2011. The influence of growth conditions on enterocin-like production by *Enterococcus faecium* CWBI-B1430 and *Enterococcus mundtii* CWBI-B1431 isolates from artisanal peruvian cheeses. *Annals of Microbiology* 61:955-964.
- Albihin, P; Savage, G. 2001. The bioavailability of oxalate from oca (*Oxalis tuberosa*). *The Journal of Urology* 166:420-422.
- Ames, T. 1997. Enfermedades fungosas y bacterianas de raíces y tubérculos andinos. Lima, Perú, CIP (Centro Internacional de la Papa). 89 p.
- AOAC (Association of Official Analytical Chemists). 1990. Official methods of analysis. 15 ed. Washington, Estados Unidos de América.
- AOAC (Association of Official Analytical Chemists). 1995. Official methods of analysis. 16 Ed. Washington, Estados Unidos de América.
- AOAC (Association of Official Analytical Chemists). 2007. Official methods of analysis of AOAC International. Horwitz, W (ed.). 18 ed. Washington, Estados Unidos de América.
- Aranceta B, J; Pérez-Rodrigo, C. 2006. Frutas, verduras y salud. Aranceta, J; Serra, L; Pérez-Rodrigo, C; Ortega, R (eds.). Barcelona, España, Elsevier. 268 p.
- Ávalos G, A; Pérez-Urria C, E. 2009. Metabolismo secundario de plantas. REDUCA. Serie Fisiología Vegetal 2(3):119-145.
- Azcón-Bieto, J; Talón, M. 2008. Fundamentos de fisiología vegetal. 2 ed. Madrid, España, McGraw-Hill - Interamericana de España. p. 577-585.

- Barreiro M, JA; Sandoval B, AJ. 2006. Operaciones de conservación de alimentos por bajas temperaturas. 2da reimpresión. Caracas, Venezuela, Equinoccio. 365 p.
- Barrera, V; Espinosa, P; Tapia, C; Monteros, A; Valverde, F. 2004. Caracterización de las raíces y los tubérculos andinos en la ecoregión andina del Ecuador. *In* Barrera, V; Tapia, C; Monteros, A (eds.). Raíces y tubérculos andinos: alternativas para la conservación y uso sostenible en el Ecuador. Quito, Ecuador- Lima, Perú, Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias, Centro Internacional de la Papa, Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación. p. 3-30. (Serie Conservación y uso de la biodiversidad de raíces y tubérculos andinos: una década de investigación para el desarrollo (1993-2003)).
- Bonghi, C; Massimo R, F; Gambuti, A; Moio, L; Chkaibanc, L; Tonutti, P. 2012. Phenol compound metabolism and gene expression in the skin of wine grape (*Vitis vinifera* L.) berries subjected to partial postharvest dehydration. *Postharvest Biology and Technology* 67:102–109.
- Brito G, B; Espín M, S. 1999. Variabilidad en la composición química de raíces y tubérculos andinos del Ecuador. *In* Fairlie, T; Morales B, M; Holle, M (eds.). Raíces y tubérculos andinos: avances de investigación. Lima, Perú, CIP/ CONDESAN (Consortio para el Desarrollo Sostenible de la Ecorregión Andina). t. 1, p. 13-23.
- Cajamarca R, EE. 2010. Evaluación nutricional de la oca (*Oxalis tuberosa*) fresca, endulzada y deshidratada en secador de bandejas. Tesis Bioquímico farmacéutico. Riobamba, Ecuador, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. 135 p.
- Campos, D; Aguilar-Galvez, A; Pedreschi, R. 2016. Stability of fructooligosaccharides, sugars and colour of yacón (*Smallanthus sonchifolius*) roots during blanching and drying. *International Journal of Food Science and Technology* ene. 2016.
- Campos, D; Noratto, G; Chirinos, R; Arbizu, C; Roca, W; Cisneros-Zevallos, L. 2006. 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* 86:1481–1488.

- Capilla, P; Artigas, JM; Paujol, J. Luque, MJ; Malo, J; Mat3n3z-Verd3, F. 2002. Fundamentos de colorimetr3a. Zaragoza, Espa3a, Universidad de Valencia. 233 p.
- C3rdenas-Valencia, I; Nieto, J; Gasco, M; Gonzales, C; Rubio, J; Portella, J; Gonzales, GF. 2008. *Tropaeolum tuberosum* (mashua) reduces testicular function: effect of different treatment times. First International Journal of Andrology *ANDROLOG3A* 40:352-357.
- Cartea, ME; Francisco, M; Abiller3a, R; Velasco, P. 2008. Glucosinolates in broccoli (*Brassica oleracea* L. var. *italica*) as affected by postharvest temperature and radiation treatments. Horticultura. Distribuci3n y alimentaci3n nov. 2008.
- Chapman, H; Pratt, P. 1973. M3todos de an3lisis para suelos, plantas y aguas. M3xico, Editorial Trillas.
- Chirinos, R; Campos, D; Arbizu, C; Rogez, H; Rees, JF; Larondelle, Y; Noratto, G; Cisneros-Zevallos, L. 2007a. Effect of genotype, maturity stage and post-harvest storage on phenolic compounds, carotenoid content and antioxidant capacity of andean mashua tubers (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz & Pav3n). Journal of the Science of Food and Agriculture 87:437-446.
- Chirinos, R; Rogez, H; Campos, D; Pedreschi, R; Larondelle, Y. 2007b. Optimization of extraction conditions of antioxidant phenolic compounds from mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ru3z & Pav3n) tubers. Separation and Purification Technology 55:217-225.
- Collazos C, C; Alvistur J, E; V3squez G, J; Quiroz M, A; Herrera A, N; Robles G, N; Arias V, M; Vi3as T, E; Urquieta A, R; D3as T, C; Roca N, A; Faching R, A; Hern3ndez F, E. 1996. Tablas peruanas de composici3n de alimentos. 7 ed. Lima, Per3, Ministerio de Salud, Instituto Nacional de Salud, Centro Nacional de Alimentaci3n y Nutrici3n. 87p.
- C3rdova, C. 2012. Evaluaci3n del efecto del secado a dos temperaturas en el contenido de compuestos fen3licos, antocianinas y capacidad antioxidante de la mashua morada (*Tropaeolum tuberosum* Ru3z & Pav3n). Tesis Ing. Lima, Per3, Universidad Nacional Agraria La Molina. 125 p.

- Crifò, T; Puglisi, I; Petrone, G; Reforgiato R, G; Lo Piero, AR. 2011. Expression analysis in response to low temperature stress in blood oranges: implication of the flavonoid biosynthetic pathway. *Gene* 476:1-9.
- Crisci, C. 1992. Almacenamiento de papa. Unidad de Difusión e Información Tecnológica del Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (ed.). Montevideo, Uruguay, Agropecuaria Hemisferio Sur S.R.L. 24 p.
- Cuadra-Crespo, P; Del Amor, FM. 2010. Effects of postharvest treatments on fruit quality of sweet pepper at low temperature. *Journal Science Food Agriculture* 90:2716–2722.
- Dadzie, BK; Orchard, JE. 1997. Evaluación rutinaria post-cosecha de híbridos de bananos y plátanos: criterios y métodos. Jacou, Francia, Biodiversity International. 63 p.
- Danyluk, J; Perron, A; Houde, M; Limin, A; Fowler, B; Benhamou, N; Sarhan, F. 1998. Accumulation of an acidic dehydrin in the vicinity of the plasma membrane during cold acclimation of wheat. *Plant Cell* 10:623–638.
- Delgado L, NE; Díaz, JA. 2005. Fundamentos de nutrición parenteral. Bogotá, Colombia, Editorial Médica Panamericana. 146 p.
- Delvin, T. 2004. Bioquímica: libro de texto con aplicaciones clínicas. Canals, F; Cuchillo, C; Segura, S; Suau, P (eds.). 4 ed. Barcelona, España, Reverté S.A.
- Dewick, PM. 2009. The shikimate pathway: Aromatic amino acids and phenylpropanoids. *In Medicinal natural products: a biosynthetic approach*. 3 ed. Nottingham, Reino Unido, Universidad de Nottingham. p.121-166.
- Eskin, M; Hoehn, E. 2013. Fruits and Vegetables. *Biochemistry of Foods* 2: 49-126.
- Espín M, S; Brito G, B; Villacrés, E; Rubio, A; Nieto, C; Grijalva, J. 2001. Composición química, valor nutricional y usos potenciales de siete especies de raíces y tubérculos andinos. *Acta Científica Ecuatoriana* 7(1):49 – 63.

- Espín, S; Villacrés, E; Brito, B. 2004. Caracterización físico-química, nutricional y funcional de raíces y los tubérculos andinos. *In* Barrera, V; Tapia, C; Monteros, A (eds.). Raíces y tubérculos andinos: alternativas para la conservación y uso sostenible en el Ecuador. Quito, Ecuador-Lima, Perú, Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias, Centro Internacional de la Papa, Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación. p. 91-116. (Serie Conservación y uso de la biodiversidad de raíces y tubérculos andinos: una década de investigación para el desarrollo (1993-2003)).
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 1992. Cultivos marginados, otra perspectiva de 1942. *In* Hernández, JE; León, J (eds.). Colección FAO: Producción y protección vegetal no. 26. p. 150-151.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 1993. Prevención de pérdidas de alimentos poscosecha: frutas, hortalizas, raíces y tubérculos. Roma, Italia.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 1997. Producción y manejo de datos de composición química de alimentos en nutrición. Morón, C; Zacarías, I; Pablo, S. Santiago, Chile.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2002. Nutrición humana en el mundo en desarrollo. Latham, MC (ed.). Roma, Italia.
- Flores, HE; Walker, TS; Guimaraes, RL; Bais, HP; Vivanco, JM. 2003. Andean root and tuber crops: underground rainbows. *HortScience* 38(2):161-167.
- García, W; Cadima, X. 2003. Manejo sostenible de la agrobiodiversidad de tubérculos andinos: síntesis de investigaciones y experiencias en Bolivia. *In* Conservación y uso de la biodiversidad de raíces y tubérculos andinos: una década de investigación para el desarrollo (1993-2003). Cochabamba, Bolivia, Centro Internacional de la Papa. 208 p.
- Gil H, A. 2010. Tratado de nutrición. Bases fisiológicas y bioquímicas de la nutrición. 2 ed. Madrid, España, Editorial Médica Panamericana. 963 p.

- Gómez A, D. 1998. Efectos de la nutrición mineral sobre el crecimiento y rendimiento de la mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz & Pavón). Tesis Ing. Lima, Perú, Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM). 67 p.
- Gómez, A; García, P. 2006. Fitohormonas: metabolismo y modo de acción. Publicaciones de la Universidad Jaume I. 335p.
- Gounaris, Y. 2001. A qualitative model for the mechanism of sugar accumulation in cold-stressed plant tissues. *Theory Bioscience* 120:149-165.
- Grau, A; Ortega D, R; Nieto C, C; Hermann, M. 2003. Mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz & Pav.). Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops. 25. Engels (ed.). Lima, Perú, CIP (International Potato Center)/Roma, Italia, IPGRI (International Plant Genetic Resources Institut). 55p.
- Guardiola B, JL; García L, A. 1990. Fisiología vegetal I: nutrición y transporte. Madrid, España, SINTESIS. 397 p.
- Guy, CL; Huber, JL; Huber, SC. 1992. Sucrose phosphate synthase and sucrose accumulation at low temperature. *Plant Physiology* 100(1):502-508.
- Guzman-Figueroa, M; Ortega-Regules, A; Anaya-Berrios, C. 2010. Piranoantocianinas: modificaciones estructurales de antocianinas. *Temas Selectos de Ingeniería de alimentos* 1(4):84-95.
- Hermann, M. 1992. Andean roots and tubers: research priorities for a neglected food resource. Lima, Perú, International Potato Center. 36 p.
- Hermann, M; Heller, J. 1997. Andean roots and tubers: Ahipa, arracacha, maca y yacón. Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops. 21. Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research, Gatersleben/ International Plant Genetic Resources Institute, Roma, Italia.

- Hind, N. 2010. *Tropaeolum tuberosum*. Tropaeolaceae. Curtis's Botanical Magazine 27(3):301–313.
- Holle, M. 1996. Programa colaborativo biodiversidad de raíces y tubérculos andinos: memorias 1994 – 1995. Lima, Perú, Centro Internacional de la Papa (CIP). 321 p.
- Instituto de medicina. 1997. Dietary reference intakes for calcium, phosphorus, magnesium, vitamin D and fluoride. Washington, Estados Unidos de América, National Academy Press.
- Johns, T; Towers, GHN. 1981. Isothiocyanates and thioureas in enzyme hydrolysates of *Tropaeolum tuberosum*. Phytochemistry 20(12):2687-2689.
- Johns, T., W.D. Kitts, F. Newsome, G.H.N. Towers. 1982. Anti-reproductive and other medicinal effects of *Tropaeolum tuberosum*. Journal of Ethnopharmacology 5:149-161.
- King, SR; Gershoff, SN. 1987. Nutritional evaluation of three underexploited andean tubers: *Oxalis tuberosa* (Oxalidaceae), *Ullucus tuberosus* (Basellaceae), and *Tropaeolum tuberosum* (Tropaeolaceae). Economic Botany 41(4):503-511.
- Láposi, R; Veres, S; Lakatos, G; Oláh, V; Fieldsend, A; Mészáros, I. 2009. Responses of leaf traits of european beech (*Fagus sylvatica* L.) saplings to supplemental UV-B radiation and UV-B exclusion. Agricultural and Forest Meteorology 149:745-755.
- Lauxmann, MA; Borsani1, J; Osorio, S; Lombardo, VA; Budde, CO; Bustamante, CA; Monti1, LL; Andreo, CS; Fernie, AR; Drincovich, MF; Lara, MV. 2014. Deciphering the metabolic pathways influencing heat and cold responses during post-harvest physiology of peach fruit. Plant, Cell and Environment 37:601-616.
- Ledent, JF. 2002. Déficit hídrico y crecimiento de las plantas: Respuestas al deficit hídrico. Comportamiento morfofisiológico. Modelando el crecimiento de las plantas. Lima, Perú/Cochabamba, Bolivia, CIP/ Proyecto Papa Andina/ PROINPA. 7 p.

- Lisinska, G; Aniolowski, K. 1990. Organic acids in potato tubers: Part 1-The effect of storage temperatures and time on citric and malic acid contents of potato tubers. Food chemistry 38:255-261.
- Lock S, O. 1997. Colorantes naturales. Lima, Perú, Fondo Editorial de la Pontificia Universidad Católica del Perú. 274 p.
- Lu, Y; Gehan, JP; Sharkey, TD. 2005. Daylength and circadian effects on starch degradation and maltose metabolism. Plant Physiology 138(4):2280-2291.
- Lu, D; Zhang, M; Wang, S; Cai, J; Zhou, X; Zhu, C. 2010. Nutritional characterization and changes in quality of *Salicornia bigelovii* Torr. during storage. LWT-Food Science and Technology 43:519-524.
- Magnetti, RC. 2002. Química en el laboratorio. Actividades experimentales. 331 p.
- Manrique, I; Arbizu, C; Vivanco, F; Gonzales, R; Ramírez, C; Chavez, O; Tay, D; Ellis, D. 2013. *Tropaeolum tuberosum* Ruiz & Pav. Colección de germoplasma de mashua conservada en el Centro Internacional de la Papa (CIP). Lima, Perú, CIP. 122 p.
- Marcano, D; Hasegawa, M. 2002. Fitoquímica orgánica. 2 ed. Caracas, Venezuela, Torino. 593 p.
- Martínez C, JL; Calderón S, JV. 2005. La función de transporte del ácido L-Málico en plantas: un dicarboxílico estrella. Revista de Educación Bioquímica 24(2):39-46.
- Melo, V; Cuamatzi, O. 2006. Bioquímica de los procesos metabólicos. México, México, Reverté S.A.
- Méndez L, P; Inostroza F, J. 2009. Manual de papa para La Araucanía: manejo de cultivos, enfermedades y almacenaje. Gaete, N; Méndez, P. Temuco, Chile, Instituto de Investigaciones agropecuarias, Ministerio de Agricultura, Centro Regional Carillanca. p. 87-106.

Ministerio de Agricultura y Riego. 2016. Sistema de Información Regional para la toma de decisiones (en línea). Consultado el: 05 de Mayo 2016. Disponible en: <http://webinei.inei.gob.pe:8080/SIRTOD/inicio.html#app=8d5c&d4a2-selectedIndex=0&d9ef-selectedIndex=1>

Monteros A, AR. 1996. Estudio de la variación morfológica e isoenzimática de 78 entradas de mashua (*Tropaeolum tuberosum* R. & P.). “Santa Catalina”-INIAP. Tesis de grado previa a la obtención del título de Ingeniero Agrónomo. Quito, Ecuador, Universidad Central del Ecuador. p. 25-28.

Montiel, M. 1991. Introducción a la flora de Costa Rica. Costa Rica, Editorial de la Universidad de Costa Rica. 141 p.

Moscetti, R; Carletti, L; Monarca, D; Cecchini, M; Stella, E; Massantini, R. 2013. Effect of alternative postharvest control treatments on the storability of ‘Golden Delicious’ apples. *Journal Science Food Agriculture* 93:2691–2697.

Moscol G, RE. 2013. Influencia de la cocción en el contenido de compuestos fenólicos, antocianinas, flavanoles y glucosinolatos y en la capacidad antioxidante de la mashua morada (*Tropaeolum tuberosum* Ruíz y Pavón). Tesis Ing. Lima, Perú, Universidad Nacional Agraria La Molina.

Nakamura, Y; Miyoshi, N. 2006. Cell death induction by isothiocyanates and their underlying molecular mechanisms. *Biofactors* 26(2):123-134.

National Research Council. 1989. Lost Crops of the Incas: Little-Known Plants of the Andes with Promise for Worldwide Cultivation. Washington, Estados Unidos de América, National Academy Press. p. 67-73.

Obata, T; Fernie, A. 2012. The use of metabolomics to dissect plant responses to abiotic stresses. *Cellular and Molecular Life Science* 69(19):3225–3243.

- Ozsen, D; Selen, E. 2012. Degradation Kinetics of Bioactive Compounds and Change in the Antioxidant Activity of Wild Strawberry (*Fragaria vesca*) Pulp During Heating. Food Bioprocess Thecnology. 10 p.
- Paucar A, SA. 2014. Composición química y capacidad antioxidante de dos variedades de mashua (*Tropaeolum tuberosum*) amarilla Chaucha y Zapallo. Ecuador. Trabajo previo a la obtención del título de Ingeniero de alimentos. Universidad Tecnológica Equinoccial. Quito- Ecuador. 63 p.
- Pedreschi, R; Lurie, S. 2015. Advances and current challenges in understanding postharvest abiotic stresses in perishables. Postharvest Biology and Technology 107:77–89.
- Peña D, A; Arroyo B, A; Gómez P, A; Tapia I, R; Gómez E, C. 2004. Bioquímica. 2 ed. México DF, México, Limusa S.A. Grupo Noriega Editores. 429 p.
- Peña, E; Palacios, M; Ospina, N. 2005. Algas como indicadores de contaminación. Calí, Colombia, Universidad del Valle.
- Pérez, M. 2005. Evaluación de las características funcionales de diez cultivares de mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruíz y Pavón) en 6 estados de crecimiento y diferentes períodos de soleado. Tesis Ing. Lima, Perú, UNALM. 190 p.
- Pérez, AG; Olías, R; Espada, J; Olías, JM; Sanz, C. 1997. Rapid determination of sugars, nonvolatile acids, and ascorbic acid in strawberry and other fruits. Journal of Agricultural and Food Chemistry 45:3545-3549.
- Pitarch B, M. 2013. Efecto del estrés abiótico sobre la fisiología y regulación hormonal en citrange Carrizo. Trabajo de fin de master. Valencia, España, Univerdidad de Valencia. 52p.
- Raffo, A; Baiamonte, I; Paoletti, F. 2008. Changes in antioxidants and taste-related compounds content during cold storage of fresh-cut red sweet peppers. European Food Research and Technology 226:1167–1174.

- Ramakrishna, A; Aswathanarayana, G. 2011. Influence of abiotic stress signals on secondary metabolites in plants. *Plant Signal & Behavior* 6(11): 1720–1731.
- Reigosa, MJ; Pedrol B, N; Sánchez M, A. 2004. La Ecofisiología Vegetal. Una ciencia de síntesis. De la Fuente, CM; García, C (ed.). Madrid, España, Copyright. 59-70 p.
- Rincón P, A. 2014. Biosíntesis de los glucosinolatos e importancia nutricional humana y funciones de protección a las plantas. *Revista de la Asociación Colombiana de Ciencia y Tecnología de Alimentos* 22(31): 64-80.
- Rivera, FR. 2005. Raíces y tubérculos con alto contenido energético y medicinal. Especial de Industria Alimenticia. Programa Colaborativo de Conservación y uso de la Biodiversidad de Raíces y Tubérculos Andinos (RTAs). Ecuador. p. 23-25.
- Rogg, H. 2000. Manejo integrado y control biológico de plagas y enfermedades. Quito, Ecuador. Corporación Proexant.
- Rojas M, C; Guerrero L, R. 1999. Nutrición clínica y gastroenterología pediátrica. Bogotá, Colombia, Editorial Médica Panamericana. 522 p.
- Rybarczyk-Plonskaa, A; Fiskaa H, F; Borge, GI; Bengtsson, GB; Hansen, NA; Wold, AB. 2016. Glucosinolates in broccoli (*Brassica oleracea* L. var. *italica*) as affected by postharvest temperature and radiation treatments postharvest. *Biology and Technology* 116:16–25.
- Sáenz, MV; Castro-Barquero, L; González-Calvo, J. 1991. Efecto del empaque y la temperatura de almacenamiento sobre la vida postcosecha y la calidad de frutos de maracuyá amarillo (*Passiflora edulis* var. *flavicarpa*). *Revista Agronomía Costarricense* 15:79-83.
- Salibusry, FB; Ross, CW. 2000. Fisiología de las plantas. Trad. José Manuel Alonso. Gómez-Mascaraque, MT (ed.). Madrid, España, Copyright. p. 909-911.

- Sánchez-Bel, P; Egea, I; Sánchez-Ballesta, MT; Martínez-Madrid, C; Fernández-García, N; Romojaro, F; Olmos, E; Estrella, E; Bolarína, MC; Borja F, F. 2012. Understanding the mechanisms of chilling injury in bell pepper fruits using the proteomic approach. *Journal of Proteomics* 75:5463-5478.
- Sánchez-Moreno, C; Plaza, L; de Ancos, B; Cano, MP. 2003. Vitamin C, Provitamin A Carotenoids, and Other Carotenoids in High-Pressurized Orange Juice during Refrigerated Storage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 51:647-653.
- Seminario, K. 2002. IV SEMINARIO NACIONAL frutales de clima frío moderado. Medellín, Colombia.
- Sevillano, L; Sanchez-Ballesta, MT; Romojaro, F; Flores, FB. 2009. Physiological, hormonal and molecular mechanisms regulating chilling injury in horticultural species. Postharvest technologies applied to reduce its impact. *Journal Science Food Agricultural* 89:555-573.
- Shao, X; Zhu, Y; Cao, S; Wang, H; Song, Y. 2013. Soluble sugar content and metabolism as related to the heat-induced chilling tolerance of loquat fruit during cold storage. *Food Bioprocess Technology* 6:3490-3498.
- Smirnoff, N. 1996. The function and metabolism of ascorbic acid in plants. *Annals of Botany* 78:661-669.
- Suquilanda V, MB. 2008. Producción orgánica de cultivos andinos (Manual técnico). FAO-Unión de Organizaciones Campesinas del Norte de Cotopaxi (UNOCANC). 28 p.
- Taiz, L; Zeiger, E. 2006. Fisiología vegetal. Castellón, España, Universidad de Jaume. 56 p.
- Tapia, ME; Fries, AM. 2007. Guía de campo de los cultivos andinos. Rosell, C (ed.). FAO-Asociación Nacional de Productores Ecológicos del Perú (ANPE). 209 p.
- Tevini, M; Teramura, AH. 1989. UV-B effects on terrestrial plants. *Phytochemistry and Photobiology* 50(4):479-487.

- Tofiño, A; Romero, H; Ceballos, H. 2007. Efecto del estrés abiótico sobre la síntesis y degradación de almidón. *Agronomía Colombiana* 25(2):245-254.
- Torres B, NR. 2006. Determinación del potencial nutritivo y nutracéutico de cuatro cultivares de tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav). Tesis de grado previa a la obtención del título de Doctor en Bioquímica y Farmacia. Riobamba, Ecuador, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. 150 p.
- Trivelli, C, Smith, S. 1997. Cultivos andinos y el mercado: El caso del ulluco en la sierra sur del Perú. Lima, Perú, Centro Internacional de la Papa (CIP).
- Valero, MA. 2013. Principios de color y holopintura. Editorial Club Universitario. San Vicente. 418 p.
- Vásquez, JH; Gonzáles, JM; Pino, JL. 2012. Decrease in spermatid parameters of mice treated with hydroalcoholic extract *Tropaeolum tuberosum* "mashua". *Revista Peruana de Biología* 19(1).
- Zhang, Y; Talalay, P. 1998. Mechanism of differential potencies of isothiocyanates as inducers of anticarcinogenic Phase 2 enzymes. *Cancer Research* 58(20):4632-4639.
- Zhang, Y; Tang, L; Gonzalez, V. 2003. Selected isothiocyanates rapidly induce growth inhibition of cancer cells. *Molecular Cancer Therapeutics* 2(10):1045-1052.
- Zheng, X; Ye, L; Jiang, T; Jing, G; Li, J. 2012. Limiting the deterioration of mango fruit during storage at room temperature by oxalate treatment. *Food Chemistry* 130:279-285.
- Ziegler, EE; Filer, LJ. 2007. Conocimientos actuales sobre nutrición. 7 ed. Washington, Estados Unidos de América, Organización Panamericana de la Salud. 731 p.

VIII. ANEXOS

ANEXO 1: DETERMINACIÓN DE PROTEÍNA (MÉTODO BRADFORD)

Preparación de los reactivos

- **Reactivo azul de Comassie.** Se pesaron 50 mg de Azul Brillante de Comassie G y fueron disueltos en 25 mL de solución etanólica al 95 por ciento. Se adicionó 50 mL de ácido fosfórico al 85 por ciento y se enrasó en una fiola de medio litro con agua destilada. Finalmente, se agitó en oscuridad durante unos minutos.
- **Solución de Cloruro de Sodio (NaCl) 0.15 M.** Se pesaron 0.8766 g de NaCl y se enrasaron con agua destilada a 100 mL.

Análisis de la muestra

- Se tomó 0.1 mL de muestra y se agregó a un tubo de ensayo protegido de la luz.
- Se adicionó 0.9 mL de NaCl 0.15 M, seguido por 5 mL del reactivo azul de Comassie y se agitó.
- Se leyó la absorbancia a 595 nm después de 15 minutos de reacción.

ANEXO 2: REGISTROS DE TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA EN LOS AMBIENTES DE REFRIGERACIÓN, SOMBRA Y SOLEADO DURANTE LOS QUINCE DÍAS DE APLICACIÓN DE LOS ESTRESSES ABIÓTICOS POST-COSECHA

Temperatura y porcentaje de Humedad Relativa (HR) en el ambiente de refrigeración

Condiciones ambientales		Días														
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Temperatura (°C)	máxima	19.7	13.5	12.6	15.7	12.5	10.7	10.9	7.2	7.4	13.3	8.1	10.2	11.1	8.3	12.5
	mínima	7.6	5.3	1.6	2.8	2.8	2.7	3.2	3.3	3.2	4.5	4.7	5.2	5.0	4.7	4.3
HR (%)	máxima	70	75	89	75	84	86	89	85	84	90	82.0	78.0	90.0	79.0	86.0
	mínima	60	58	67	60	60	59	53	68	51	41	41.0	44.0	50.0	47.0	39.0

Temperatura y porcentaje de Humedad Relativa (HR) en el ambiente de sombra

Condiciones ambientales		Días														
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Temperatura (°C)	máxima	15.4	16.7	17.3	16.6	16.4	18.2	15.9	16.4	16.8	16.2	17	17.2	17.4	18.3	19.1
	mínima	11.8	10.9	9.2	9	8.2	8.3	8.3	8.8	11.1	8.5	8.9	9.1	9.3	11.3	12.8
HR (%)	máxima	73	71	63	59	59	52	51	53	60	60	55	51	50	53	54
	mínima	56	51	46	45	43	37	44	44	44	42	35	36	41	44	44

Temperatura y porcentaje de Humedad Relativa (HR) en el ambiente de soleado

Condiciones ambientales		Días														
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Temperatura (°C)	máxima	16.8	50.8	44	48.3	42	43.2	49.2	50.1	45.5	43.9	44.8	49.9	45.7	36.2	48
	mínima	8.9	8.2	8.6	4.9	13.9	6.9	6.3	7.8	11.1	7.2	8.1	3.5	5.7	10.1	12
HR (%)	máxima	74	88	67	64	70	59	57	61	59	61	49	54	64	59	72
	mínima	66	10	11	10	38	11	10	10	10	11	11	10	10	15	10

ANEXO 3: REGISTROS DE LA TEMPERATURA INTERNA DE CINCO MUESTRAS DE MASHUA DE CADA UNO DE LOS GRUPOS SOMETIDOS A LOS ESTRESES ABIÓTICOS POST-COSECHA DE REFRIGERACIÓN, SOMBRA Y SOLEADO

Temperatura (°C) interna de muestras de mashua sometidas al estrés abiótico de refrigeración

Muestra	Días				
	3	6	9	12	15
Repetición 1	12.8	14.5	10.1	10.6	11.5
Repetición 2	11.7	15.8	8.7	11.1	10.6
Repetición 3	12.6	12.1	9.9	11.1	11.1
Repetición 4	13.3	9.8	9.0	9.1	11.1
Repetición 5	12.9	12.6	10.3	11.6	11.5

Temperatura (°C) interna de muestras de mashua sometidas al estrés abiótico de sombra

Muestra	Días				
	3	6	9	12	15
Repetición 1	16.3	14.8	14.8	17.1	15.8
Repetición 2	15.6	14.7	15.1	16.7	16.0
Repetición 3	15.7	14.9	14.8	16.7	15.9
Repetición 4	16.4	14.8	15.1	16.4	16.3
Repetición 5	15.8	15.0	15.3	16.9	16.2

Temperatura (°C) interna de cinco muestras de mashua sometidas al estrés abiótico de soleado

Muestra	Días				
	3	6	9	12	15
Repetición 1	12.7	10.9	14.8	16.9	16.6
Repetición 2	13.2	11.7	14.8	16.4	15.6
Repetición 3	13.1	12.0	14.8	16.8	15.8
Repetición 4	13.5	11.4	14.7	16.7	16.8
Repetición 5	13.0	11.4	14.9	17.2	15.4

**ANEXO 4: CONTROL DEL PESO DE LAS MUESTRAS DE MASHUA
SOMETIDAS AL ESTRÉS ABIÓTICO DE REFRIGERACIÓN DURANTE LOS
QUINCE DÍAS DE ALMACENAMIENTO**

Muestra	Peso (g)					
	Día 0	Día 3	Día 6	Día 9	Día 12	Día 15
1	26.0	24.1	22.9	21.6	20.3	19.4
2	27.1	26.3	-	-	-	-
3	36.0	33.5	31.5	30.3	28.8	27.7
4	43.0	42.2	41	-	-	-
5	22.3	21.3	20.6	19.7	18.7	18.0
6	25.0	23.4	22.5	21.4	20.4	-
7	58.6	-	-	-	-	-
8	20.3	19.8	19.2	18.7	-	-
9	27.0	26	24.7	23.6	-	-
10	25.5	24.9	23.9	-	-	-
11	40.3	37.6	35.4	33.2	30.9	-
12	30.2	28.8	27.6	26.8	26.0	-
13	33.6	32.6	31.5	30.5	29.4	28.5
14	34.3	33.3	-	-	-	-
15	58.5	56.6	54.6	52.8	50.5	48.8
16	38.4	36.6	-	-	-	-
17	64.0	61.7	58.8	56.8	-	-
18	39.4	38.3	37.0	-	-	-
19	28.0	26.4	25.2	24.4	-	-
20	41.3	40.0	39.1	37.8	36.4	35.6
21	31.7	31.0	30.0	28.9	27.8	-
22	47.6	45.9	43.9	42.5	41.1	-
23	26.6	25.5	-	-	-	-
24	38.6	36.5	35.1	34.0	32.6	-
25	22.0	21.4	20.6	20.0	-	-
26	33.8	32.1	29.9	28.0	26.2	24.9
27	31.8	30.0	28.4	27.4	-	-
28	66.8	63.7	60.8	-	-	-
29	33.3	32.6	31.5	30.7	29.4	28.5
30	88.6	84.6	80.9	77.0	-	-
31	18.5	17.5	15.8	14.6	-	-
32	10.4	10.1	9.9	-	-	-
33	23.9	23.3	22.2	21.3	-	-
34	32.1	30.4	29.0	27.7	26.3	25
35	35.2	33.8	32.3	-	-	-

«continuación»

36	31.0	30.3	-	-	-	-
37	46.5	45.1	42.7	41.5	39.8	-
38	38.7	37.3	36.0	34.9	33.8	-
39	23.1	22.4	21.5	20.8	20.0	-
40	36.1	34.7	33.4	32.2	31.0	-
41	38.4	36.6	34.9	33.7	32.6	31.7
42	31.8	30.0	28.7	27.8	26.6	-
43	55.2	-	-	-	-	-
44	46.1	-	-	-	-	-
45	43.0	40.9	38.9	36.8	-	-
46	66.1	63.2	60.3	57.1	53.8	51.3
47	29.9	28.3	26.8	25.4	24.3	-
48	25.0	24.5	-	-	-	-
49	20.4	19.9	19.0	18.4	17.7	17.2
50	31.8	30.4	28.6	-	-	-
51	34.6	33.6	32.4	31.5	-	-
52	39.7	38.0	35.4	33.4	30.9	29.1
53	40.3	39.1	37.6	-	-	-
54	42.9	40.8	-	-	-	-
55	21.0	20.5	19.5	18.4	17.4	16.5
56	29.6	28.7	-	-	-	-
57	36.8	35.6	33.9	32.6	-	-
58	47.4	46.3	-	-	-	-
59	37.5	36.0	34.2	32.9	31.6	30.4
60	32.7	31.6	30.0	28.5	-	-
61	30.6	29.7	29.1	28.4	27.6	27.0
62	45.2	43.4	41.4	40.2	38.6	37.2
63	35.0	34.3	33.3	-	-	-
64	36.5	34.7	32.1	30.5	28.4	-
65	40.4	39.4	38.0	36.9	-	-
66	25.0	24.3	-	-	-	-
67	30.1	28.7	27.0	25.8	24.6	23.7
68	31.6	30.4	28.0	26.6	25.2	-
69	35.7	33.4	31.3	28.4	25.8	23.9
70	23.9	23.0	22.0	21.2	20.2	-
71	18.7	18.5	18.0	17.5	-	-
72	24.6	24.0	-	-	-	-
73	35.4	34.1	33.0	31.9	30.7	29.8
74	43.4	39.5	38.3	36.2	34.0	
75	34.3	33.4	-	-	-	-
76	42.9	41.2	38.4	36.6	3.05	-

«continuación»

77	43.8	4.7	-	-	-	-
78	34.4	32.4	29.9	-	-	-
79	59.2	-	-	-	-	-
80	32.7	31.5	-	-	-	-
81	24.6	24.1	22.9	22.1	21.2	-
82	48.6	46.7	42.9	-	-	-
83	29.2	27.8	26.5	25.2	24.0	
84	54.2	51.9	49.3	-	-	-
85	23.8	23.2	-	-	-	-
86	21.8	21.1	20.4	19.5	-	-
87	27.3	26.4	25.1	24.3	-	-
88	23.7	23.2	22.3	21.8	20.9	20.3
89	50.5	-	-	-	-	-
90	16.4	15.5	14.7	13.8	-	-
91	42.7	41.1	39.3	-	-	-
92	47.6	46.4	44.9	-	-	-
93	16.8	16.5	-	-	-	-
94	60.9	53.8	-	-	-	-
95	36.1	34.3	32.2	30.6	29.1	27.9
96	38.5	37.1	35.5	34.1	32.7	-

ANEXO 5: CONTROL DEL PESO DE LAS MUESTRAS DE MASHUA SOMETIDAS AL ESTRÉS ABIÓTICO POST-COSECHA DE SOMBRA

Muestra	Peso (g)					
	Día 0	Día 3	Día 6	Día 9	Día 12	Día 15
1	40.47	37.9	35.92	-	-	-
2	15.86	15.55	15.19	14.93	14.66	14.41
3	22.7	21.05	19.60	18.55	17.67	16.80
4	17.13	15.64	14.43	13.55	-	-
5	28.61	25.76	23.40	-	-	-
6	42.58	38.86	-	-	-	-
7	46.97	43.65	41.01	39.22	37.87	36.56
8	45.33	42.27	40.33	38.99	37.89	-
9	25.16	23.07	-	-	-	-
10	25.22	24.02	22.81	21.82	21.04	-
11	33.09	31.77	30.49	29.61	28.82	-
12	42.13	39.12	36.22	-	-	-
13	29.04	27.69	26.57	25.77	25.1	24.45

«continuación»

14	26.23	25.27	24.35	-	-	-
15	38.08	34.87	32.43	-	-	-
16	37.97	34.66	31.86	-	-	-
17	39.35	36.46	34.30	32.94	31.66	-
18	31.45	30.49	28.69	27.44	26.45	-
19	48.57	45.94	-	-	-	-
20	32.39	30.38	-	-	-	-
21	55.65	51.77	48.43	46.46	44.76	-
22	44.27	40.09	37.30	35.33	33.72	-
23	48.38	45.41	-	-	-	-
24	30.57	29.36	28.39	-	-	-
25	24.71	23.77	22.33	21.36	20.53	19.73
26	40.27	38.49	36.96	-	-	-
27	30.68	28.61	26.89	25.75	24.72	-
28	30.08	28.53	-	-	-	-
29	21.67	20.75	19.98	19.28	18.66	-
30	24.36	23.21	22.26	21.57	20.93	-
31	40.36	38.06	-	-	-	-
32	26.35	25.10	24.11	-	-	-
33	28.33	26.01	24.30	22.94	-	-
34	30.36	28.34	26.76	25.69	-	-
35	29.05	26.75	25.32	24.16	23.25	-
36	27.83	25.02	23.29	21.91	20.90	-
37	20.63	19.26	18.22	-	-	-
38	20.60	19.31	18.06	17.19	16.39	15.65
39	23.96	22.95	22.20	-	-	-
40	21.23	19.84	18.60	17.74	17.07	16.35
41	23.47	22.71	22.04	21.51	21.08	-
42	26.59	25.62	24.84	-	-	-
43	19.12	18.38	-	-	-	-
44	38.28	36.43	34.98	-	-	-
45	22.27	20.94	19.76	19.00	-	-
46	39.38	36.81	-	-	-	-
47	34.52	31.60	29.05	27.48	26.18	-
48	23.99	22.15	21.08	20.16	-	-
49	47.01	44.56	-	-	-	-
50	26.88	24.91	23.43	22.36	21.40	-
51	42.22	39.68	37.66	-	-	-
52	36.66	33.36	31.56	30.60	29.79	29.04
53	38.99	39.73	33.56	32.06	-	-
54	23.76	22.74	-	-	-	-

«continuación»

55	35.89	33.07	31.02	-	-	-
56	19.45	18.38	17.51	16.87	-	-
57	25.55	22.86	20.91	-	-	-
58	25.62	24.08	22.87	21.98	21.20	-
59	26.76	25.14	23.69	-	-	-
60	37.97	35.74	34.25	33.16	32.18	31.24
61	36.53	34.34	32.55	31.31	30.12	-
62	24.76	23.83	22.91	22.16	21.82	20.94
63	22.22	20.94	19.89	19.08	-	-
64	29.28	-	24.93	-	-	-
65	33.30	30.63	28.19	26.39	-	-
66	30.49	28.58	26.55	25.23	-	-
67	62.19	59.71	57.25	55.40	53.78	-
68	24.08	22.58	21.19	20.10	19.18	-
69	13.35	12.71	12.05	11.57	-	-
70	39.11	36.94	-	-	-	-
71	42.91	39.08	34.77	32.19	29.97	-
72	22.83	22.18	21.44	20.93	20.45	-
73	32.60	30.69	28.71	27.35	-	-
74	41.42	39.12	36.70	35.13	33.63	-
75	40.09	37.78	35.81	34.39	33.09	31.87
76	16.21	15.31	14.35	13.70	-	-
77	26.54	25.52	24.51	-	-	-
78	22.31	21.03	19.94	19.14	-	-
79	35.51	33.42	31.37	29.69	28.24	-
80	24.41	22.80	21.02	19.84	-	-
81	29.51	27.66	25.9	24.60	23.45	-
82	21.91	20.68	19.59	18.81	18.09	17.37
83	48.28	44.91	41.97	-	-	-
84	35.83	33.76	31.88	30.53	29.36	-
85	12.32	11.77	11.15	10.66	10.19	9.70
86	26.38	25.04	-	-	-	-
87	25.48	24.19	-	-	-	-
88	28.97	27.44	-	-	-	-
89	20.85	19.82	18.97	-	-	-
90	26.84	25.25	23.82	22.66	21.61	20.61
91	45.85	43.03	40.47	38.63	37.01	-
92	54.17	51.06	-	-	-	-
93	28.18	26.52	24.18	-	-	-
94	45.01	40.82	37.55	35.22	-	-
95	32.8	31.33	29.98	28.89	27.88	-

«continuación»

96	20.75	19.39	18.34	17.56	-	-
97	30.07	28.37	-	-	-	-
98	15.74	14.89	13.96	13.27	-	-
99	24.53	23.11	22.09	-	-	-
100	17.58	16.27	15.06	14.17	-	-
101	32.95	31.44	30.11	-	-	-
102	26.36	24.88	23.61	22.62	21.72	20.79
103	66.92	62.85	59.45	-	-	-
104	19.07	17.88	16.85	16.07	15.35	-
105	31.91	30.78	-	-	-	-
106	31.41	29.68	28.28	27.22	26.37	-
107	58.19	54.84	-	-	-	-
108	37.69	35.63	-	-	-	-
109	32.55	30.71	29.33	28.18	27.19	24.48
110	20.15	18.65	17.09	16.11	-	-
111	38.84	37.23	35.87	34.82	33.82	-
112	20.70	20.07	19.42	18.94	18.45	18.00
113	25.73	24.47	23.42	22.61	21.84	20.50
114	28.21	26.58	25.05	23.96	-	-
115	31.46	30.32	-	-	-	-
116	28.28	27.04	25.82	25.05	24.36	-
117	16.92	16.12	15.21	-	-	-
118	23.36	22.11	-	-	-	-
119	30.76	29.26	27.90	26.92	26.01	25.10
120	25.72	23.75	21.89	20.56	19.45	-
121	27.62	26.39	25.28	24.42	-	-
122	34.19	31.19	29.17	27.54	26.03	16.26
123	20.22	19.15	18.26	17.57	16.91	-
124	21.37	19.95	-	-	-	-

**ANEXO 6: CONTROL DEL PESO DE LAS MUESTRAS DE MASHUA
SOMETIDAS AL ESTRÉS ABIÓTICO POST-COSECHA DE SOLEADO**

Muestra	Peso (g)					
	Día 0	Día 3	Día 6	Día 9	Día 12	Día 15
1	40.62	34.43	28.20	-	-	-
2	47.34	42.64	38.22	33.64	27.76	22.56
3	45.09	39.88	33.04	27.96	20.83	15.28
4	19.84	17.16	-	-	-	-

«continuación»

5	21.19	18.59	14.81	11.74	7.78	-
6	26.79	24.03	20.29	15.64	11.54	-
7	29.2	24.63	19.56	-	-	-
8	28.61	24.77	19.85	15.44	9.66	5.63
9	20.99	18.52	15.11	11.74	-	-
10	19.51	16.53	12.68	9.75	-	-
11	28.29	24.76	19.92	-	-	-
12	31.95	27.80	22.25	-	-	-
13	25.32	21.94	18.34	-	-	-
14	28.54	22.81	14.96	-	-	-
15	41.44	36.68	29.50	22.41	15.52	10.53
16	31.73	25.08	16.86	10.12	-	-
17	26.89	21.53	17.34	10.99	-	-
18	25.52	22.17	18.65	-	-	-
19	35.58	31.55	25.18	-	-	-
20	28.61	24.46	18.85	13.80	-	-
21	28.64	24.58	19.41	14.57	-	-
22	25.71	21.78	15.87	11.62	-	-
23	46.52	41.71	35.03	28.37	21.74	15.35
24	14.94	12.08	8.51	-	-	-
25	35.92	32.27	-	-	-	-
26	29.58	26.10	20.96	16.51	11.49	-
27	48.33	40.06	31.24	-	-	-
28	25.53	22.18	17.21	13.21	-	-
29	38.15	33.64	-	-	-	-
30	43.81	38.13	31.05	-	-	-
31	36.51	30.31	-	-	-	-
32	29.85	25.10	19.61	15.68	8.44	-
33	63.39	51.25	-	-	-	-
34	37.11	32.99	27.61	-	-	-
35	29.94	26.26	-	-	-	-
36	22.68	19.10	16.10	11.07	-	-
37	21.22	18.89	16.50	12.81	8.74	5.35
38	40.88	36.41	30.51	23.84	17.24	12.30
39	34.07	31.12	27.67	23.26	17.95	-
40	23.62	20.09	16.47	-	-	-
41	26.75	23.88	20.29	15.58	11.14	-
42	30.98	25.50	17.88	11.72	-	-
43	39.26	31.8	23.75	-	-	-
44	25.68	22.96	19.09	14.99	-	-
45	32.58	28.24	-	-	-	-

«continuación»

46	35.74	30.26	23.01	16.00	-	-
47	35.09	30.36	-	-	-	-
48	31.25	26.61	21.09	16.33	10.69	-
49	16.59	12.37	7.05	3.18	-	-
50	21.87	17.88	13.32	9.16	-	-
51	66.13	58.42	-	-	-	-
52	27.21	24.69	20.81	17.25	13.51	9.82
53	34.30	30.34	-	-	-	-
54	33.06	28.64	22.75	17.12	11.92	-
55	27.16	24.18	20.86	16.81	12.94	9.11
56	33.01	27.91	-	-	-	-
57	30.20	26.86	-	-	-	-
58	37.16	33.90	-	-	-	-
59	39.59	33.59	28.60	-	-	-
60	26.34	22.82	-	-	-	-
61	28.81	25.14	19.54	-	-	-
62	27.84	23.21	18.50	13.76	9.63	-
63	30.33	24.41	20.25	-	-	-
64	43.36	39.01	34.10	29.44	24.80	19.76
65	21.96	18.03	13.89	10.22	-	-
66	21.71	18.16	13.79	9.82	-	-
67	48.57	41.81	31.68	-	-	-
68	28.71	22.37	15.88	-	-	-
69	46.27	38.54	-	-	-	-
70	28.10	24.25	19.68	14.90	10.44	-
71	43.21	38.38	32.04	26.37	20.28	15.31
72	28.97	24.33	19.63	13.90	8.27	-
73	30.82	24.53	-	-	-	-
74	40.62	36.27	31.87	26.16	19.60	-
75	36.31	30.31	22.99	15.80	-	-
76	20.85	18.82	16.14	-	-	-
77	20.56	16.21	11.30	7.51	-	-
78	21.13	17.61	13.22	-	-	-
79	36.57	30.23	-	-	-	-
80	33.08	28.54	22.78	17.33	10.78	-
81	41.33	35.40	26.14	-	-	-
82	29.74	20.77	12.86	6.21	-	-
83	50.13	39.89	25.65	16.50	-	-
84	37.58	33.39	28.23	22.86	16.90	12.02
85	34.99	29.11	22.95	17.00	-	-
86	40.46	35.83	30.30	-	-	-

«continuación»

87	51.92	42.94	-	-	-	-
88	22.01	18.76	14.31	9.47	-	-
89	61.53	52.20	-	-	-	-
90	24.15	21.02	16.70	11.98	-	-
91	24.05	20.98	-	-	-	-
92	41.12	34.23	26.03	-	-	-
93	36.85	30.99	23.85	-	-	-
94	53.01	41.46	31.35	-	-	-
95	13.60	10.48	7.44	3.97	-	-
96	27.07	23.16	18.76	-	-	-
97	34.64	29.47	24.80	18.44	-	-
98	25.00	22.29	19.34	16.09	-	-
99	50.03	43.24	-	-	-	-
100	35.24	30.19	23.37	17.10	-	-
101	51.22	43.63	34.15	-	-	-
102	33.58	29.14	22.84	17.29	-	-
103	18.56	17.11	15.15	-	-	-
104	21.98	18.49	14.35	10.13	-	-
105	23.15	19.09	13.98	9.64	-	-
106	29.59	23.97	18.90	13.69	-	-
107	33.62	28.62	23.01	-	-	-
108	11.98	9.88	-	-	-	-
109	56.48	47.10	36.19	-	-	-
110	39.85	33.19	-	-	-	-
111	43.14	37.14	30.88	-	-	-

ANEXO 7: ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA EL PORCENTAJE DE RETENCIÓN DE PESO EN MUESTRAS DE MASHUA SOMETIDAS POR 3, 6, 9, 12 Y 15 DÍAS A LOS ESTRESSES ABIÓTICOS POST-COSECHA DE REFRIGERACIÓN, SOMBRA Y SOLEADO

Análisis de varianza multifactorial para Porcentaje Retención de peso

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Efectos principales					
A:Estrés abiótico	2680.39	2	1340.200	11.82	0.0023
B:Días	2835.00	5	567.000	5.00	0.0149
Residuos	1134.09	10	113.409		
Total (corregido)	6649.48	17			

Pruebas de múltiple rangos para Porcentaje Retención de peso por Estrés abiótico

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Estrés abiótico	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
Soleado	6	63.0415	4.34758	X
Sombra	6	88.1117	4.34758	X
Refrigeración	6	89.6732	4.34758	X

Pruebas de múltiple rangos para Porcentaje Retención de peso por Días

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Días	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
15	3	63.9453	6.1484	X
12	3	69.2060	6.1484	X
9	3	74.3717	6.1484	XX
6	3	82.6100	6.1484	XX
3	3	91.5197	6.1484	XX
0	3	100.0000	6.1484	X

ANEXO 8: CONTENIDO DE HUMEDAD Y MATERIA SECA EN MUESTRAS DE MASHUA SOMETIDAS POR 3, 6, 9, 12 Y 15 DÍAS A LOS ESTRESSES ABIÓTICOS POST-COSECHA DE REFRIGERACIÓN, SOMBRA Y SOLEADO DESPUÉS DE SER LIOFILIZADAS

Días		Tratamientos					
		Refrigeración		Sombra		Soleado	
		Humedad (%)	Materia seca (%)	Humedad (%)	Materia seca (%)	Humedad (%)	Materia seca (%)
Control (0)	R1	2.51	97.49	2.51	97.49	2.51	97.49
	R2	2.34	97.66	2.34	97.66	2.34	97.66
	R3	2.08	97.92	2.08	97.92	2.08	97.92
3	R1	8.85	91.15	5.56	94.44	2.49	97.51
	R2	8.80	91.20	5.20	94.80	2.36	97.64
	R3	8.37	91.63	5.27	94.73	2.33	97.67
6	R1	4.03	95.97	3.60	96.40	3.20	96.80
	R2	3.77	96.23	3.57	96.43	3.49	96.51
	R3	3.36	96.64	3.54	96.46	3.26	96.74
9	R1	2.73	97.27	1.75	98.25	3.11	96.89
	R2	2.91	97.09	2.02	97.98	2.87	97.13
	R3	2.36	97.64	1.44	98.56	2.58	97.42
12	R1	5.33	94.67	7.59	92.41	2.37	97.63
	R2	5.39	94.61	7.37	92.63	2.42	97.58
	R3	4.85	95.15	6.92	93.08	2.07	97.93

«continuación»

15	R1	3.25	96.75	2.49	97.51	3.05	96.95
	R2	3.19	96.81	2.46	97.54	2.74	97.26
	R3	2.91	97.09	2.16	97.84	3.20	96.80

ANEXO 9: DETERMINACIÓN DE PH EN MUESTRAS DE MASHUA SOMETIDAS POR 3, 6, 9, 12 Y 15 DÍAS, A LOS ESTRESSES ABIÓTICOS POST-COSECHA DE REFRIGERACIÓN, SOMBRA Y SOLEADO

Días		Tratamientos		
		Refrigeración	Sombra	Soleado
		pH		
Control (0)	R1	5.87	5.87	5.87
	R2	5.86	5.86	5.86
	R3	5.81	5.81	5.81
3	R1	5.99	6.03	5.70
	R2	5.99	6.01	5.72
	R3	5.85	5.94	5.73
6	R1	5.87	6.05	6.21
	R2	5.85	5.91	6.20
	R3	5.85	5.90	6.18
9	R1	6.15	6.05	6.33
	R2	6.10	6.01	6.32
	R3	5.96	6.00	6.34
12	R1	6.18	5.97	6.27
	R2	6.17	5.97	6.28
	R3	5.97	5.95	6.22
15	R1	6.17	5.94	6.35
	R2	6.09	5.95	6.37
	R3	6.09	5.94	6.35

ANEXO 10: ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA LA DETERMINACIÓN DE pH EN MUESTRAS DE MASHUA SOMETIDAS POR 3, 6, 9, 12 Y 15 DÍAS, A LOS ESTRESES ABIÓTICOS POST-COSECHA DE REFRIGERACIÓN, SOMBRA Y SOLEADO

Análisis de varianza multifactorial para pH

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Efectos principales					
A:Estrés abiótico	0.266337	2	0.1331690	8.79	0.0006
B:Días	0.766543	5	0.1533090	10.12	0.0000
Residuos	0.697019	46	0.0151526		
Total (corregido)	1.729900	53			

Pruebas de múltiple rangos para pH por Estrés abiótico

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Estrés abiótico	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
Sombra	18	5.95333	0.029014	X
Refrigeración	18	5.99000	0.029014	X
Soleado	18	6.11722	0.029014	X

Pruebas de múltiple rangos para pH por Días

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Días	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
0	9	5.84667	0.0410319	X
3	9	5.88444	0.0410319	X
6	9	6.00222	0.0410319	XX
12	9	6.10889	0.0410319	X
15	9	6.13889	0.0410319	X
9	9	6.14000	0.0410319	X

Pruebas de múltiple rangos para pH por muestra

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Muestra	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Soleado 3	3	5.71667	X
Soleado 0	3	5.84667	XX
Refrigeración 0	3	5.84667	XX
Sombra 0	3	5.84667	XX
Refrigeración 6	3	5.85667	XX
Refrigeración 3	3	5.94333	XX
Sombra 15	3	5.94333	XX
Sombra 6	3	5.95333	XXX

Sombra 12	3	5.96333	XXXX
Sombra 3	3	5.99333	XXXX
Sombra 9	3	6.02000	XXX
Refrigeración 9	3	6.07000	XXXX
Refrigeración 12	3	6.10667	XXXX
Refrigeración 15	3	6.11667	XXX
Soleado 6	3	6.19667	XXX
Soleado 12	3	6.25667	XXX
Soleado 9	3	6.33000	XX
Soleado 15	3	6.35667	X

ANEXO 11: DETERMINACIÓN DE ACIDEZ TITULABLE (g ÁCIDO ASCÓRBICO/100 g bs) EN MUESTRAS DE MASHUA SOMETIDAS POR 3, 6, 9, 12 Y 15 DÍAS, A LOS ESTRESSES ABIÓTICOS POST-COSECHA DE REFRIGERACIÓN, SOMBRA Y SOLEADO

Días		Tratamientos		
		Refrigeración	Sombra	Soleado
		Acidez (g Ácido ascórbico/100 g bs)		
Control (0)	R1	1.07	5.87	5.87
	R2	1.19	5.86	5.86
	R3	1.18	5.81	5.81
3	R1	0.91	1.23	1.35
	R2	1.02	1.26	1.38
	R3	0.94	1.29	1.33
6	R1	1.01	1.28	0.99
	R2	1.04	1.09	0.98
	R3	1.05	1.13	1.06
9	R1	1.16	1.02	0.96
	R2	1.22	1.04	0.91
	R3	1.19	1.08	0.93
12	R1	1.44	1.09	1.00
	R2	1.32	1.12	1.03
	R3	1.32	1.07	1.07
15	R1	1.10	0.76	0.91
	R2	1.22	0.80	0.92
	R3	1.26	0.79	0.92

ANEXO 12: ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA ACIDEZ TITULABLE EN MUESTRAS MASHUA SOMETIDAS POR 3, 6, 9, 12 Y 15 DÍAS, A LOS ESTRESSES ABIÓTICOS POST-COSECHA DE REFRIGERACIÓN, SOMBRA Y SOLEADO

Análisis de varianza multifactorial para Acidez titulable

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Efectos principales					
A:Estrés abiótico	0.0664881	2	0.0332441	1.76	0.1838
B:Días	0.3189360	5	0.0637872	3.37	0.0112
Residuos	0.8698570	46	0.0189099		
Total (corregido)	1.2552800	53			

Pruebas de múltiple rangos para Acidez titulable por Días

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Días	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
15	9	0.964667	0.0458378	X
9	9	1.056110	0.0458378	XX
6	9	1.069780	0.0458378	XX
0	9	1.146330	0.0458378	XX
12	9	1.164110	0.0458378	X
3	9	1.189670	0.0458378	X

Pruebas de múltiple rangos para Acidez titulable por muestra

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Muestra	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Sombra 15	3	0.786333	X
Soleado 15	3	0.915667	XX
Soleado 9	3	0.933333	XX
Refrigeración 3	3	0.955667	XX
Soleado 6	3	1.006330	XXX
Soleado 12	3	1.034330	XXXX
Refrigeración 6	3	1.035670	XXXXX
Sombra 9	3	1.046000	XXXXX
Sombra 12	3	1.095670	XXXX
Soleado 0	3	1.146330	XXXX
Sombra 0	3	1.146330	XXXX
Refrigeración 0	3	1.146330	XXXX
Sombra 6	3	1.167330	XXX
Refrigeración 9	3	1.189000	XXX
Refrigeración 15	3	1.192000	XX
Sombra 3	3	1.261000	XX
Soleado 3	3	1.35233	X
Refrigeración 12	3	1.36233	X

ANEXO 13: DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE COLOR (L*, a*, b*, H° Y C*) EN MUESTRAS DE MASHUA SOMETIDAS POR 3, 6, 9, 12 Y 15 DÍAS, A LOS ESTRESSES ABIÓTICOS POST-COSECHA DE REFRIGERACIÓN, SOMBRA Y SOLEADO

Muestra		L*	a*	b*	H°	C*	
Tratamiento	Días						
Control	R1	63.12	4.10	-1.97	334.34	4.55	
	R2	63.16	4.09	-2.02	333.72	4.56	
	R3	63.03	4.11	-2.10	332.94	4.62	
Refrigeración	3	R1	55.97	4.73	-1.40	343.51	4.93
		R2	55.16	4.65	-1.30	344.38	4.83
		R3	55.79	4.69	-1.33	344.17	4.87
	6	R1	61.38	3.13	-0.28	354.89	3.14
		R2	62.05	3.23	-0.27	355.22	3.24
		R3	62.65	3.21	-0.21	356.26	3.22
	9	R1	60.36	3.30	-0.98	343.46	3.44
		R2	59.11	3.44	-1.21	340.62	3.65
		R3	59.26	3.36	-1.04	342.80	3.52
	12	R1	62.43	3.71	-2.50	326.03	4.47
		R2	62.03	3.65	-2.48	325.81	4.41
		R3	62.04	3.70	-2.62	324.70	4.53
	15	R1	62.00	2.46	-0.50	348.51	2.51
		R2	63.13	2.29	-0.34	351.55	2.32
		R3	63.97	2.18	-0.17	355.54	2.19
Sombra	3	R1	62.97	3.03	-1.21	338.23	3.26
		R2	61.95	3.07	-1.17	339.14	3.29
		R3	61.65	3.01	-1.22	337.94	3.25
	6	R1	67.43	1.77	1.97	48.06	2.65
		R2	65.65	1.62	2.28	54.61	2.80
		R3	65.26	1.62	2.29	54.72	2.81
	9	R1	62.89	3.98	-2.14	331.73	4.52
		R2	62.02	4.00	-2.09	332.41	4.51
		R3	62.41	3.99	-2.10	332.24	4.51
	12	R1	57.13	5.10	-2.52	333.71	5.69
		R2	55.94	5.21	-2.62	333.30	5.83
		R3	55.95	5.15	-2.47	334.38	5.71
	15	R1	61.05	4.16	-1.62	338.72	4.46
		R2	60.75	4.18	-1.62	338.82	4.48
		R3	61.2	4.28	-1.76	337.65	4.63
Soleado	3	R1	66.62	3.75	0.71	10.72	3.82
		R2	66.74	3.69	0.93	14.15	3.81
		R3	66.71	3.70	0.76	11.61	3.78
	6	R1	62.80	3.32	1.19	19.72	3.53
		R2	62.76	3.38	1.22	19.85	3.59
		R3	62.77	3.39	1.28	20.69	3.62

«continuación»

Soleado	9	R1	61.55	3.36	3.93	49.47	5.17
		R2	60.98	3.33	3.91	49.58	5.14
		R3	62.58	3.36	3.89	49.18	5.14
	12	R1	63.05	3.98	6.65	59.10	7.75
		R2	63.10	3.90	6.59	59.38	7.66
		R3	63.25	3.99	6.67	59.11	7.77
	15	R1	63.50	3.99	7.86	63.09	8.81
		R2	63.65	3.92	7.70	63.02	8.64
		R3	64.05	3.93	7.89	63.52	8.81

ANEXO 14: ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL PARÁMETRO DE COLOR L* EN MUESTRAS DE MASHUA SOMETIDAS POR 3, 6, 9, 12 Y 15 DÍAS, A LOS ESTRESSES ABIÓTICOS POST-COSECHA DE REFRIGERACIÓN, SOMBRA Y SOLEADO

Análisis de varianza multifactorial para L*

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Efectos principales					
A:Estrés abiótico	62.3384	2	31.169200	5.34	0.0082
B:Días	64.0643	5	12.812900	2.20	0.0709
Residuos	268.4550	46	5.83598		
Total (corregido)	394.8580	53			

Pruebas de múltiple rangos para L* por Estrés abiótico

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Estrés abiótico	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
Refrigeración	18	60.9244	0.569404	X
Sombra	18	61.8644	0.569404	XX
Soleado	18	63.5233	0.569404	X

Pruebas de múltiple rangos para L* por muestra

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Muestra	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Refrigeración 3	3	55.6400	X
Sombra 12	3	56.3400	X
Refrigeración 9	3	59.5767	X
Sombra 15	3	61.0000	XX
Soleado 9	3	61.7033	XX
Refrigeración 6	3	62.0267	XX
Refrigeración 12	3	62.1667	XXX
Sombra 3	3	62.1900	XXX
Sombra 9	3	62.4400	XXX
Soleado 6	3	62.7767	XX
Refrigeración 15	3	63.0333	XX
Soleado 0	3	63.1033	XX
Sombra 0	3	63.1033	XX
Refrigeración 0	3	63.1033	XX
Soleado 12	3	63.1333	XX
Soleado 15	3	63.7333	X
Sombra 6	3	66.1133	X
Soleado 3	3	66.6900	X

ANEXO 15: ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL PARÁMETRO DE COLOR a* EN MUESTRAS DE MASHUA SOMETIDAS POR 3, 6, 9, 12 Y 15 DÍAS, A LOS ESTRESSES ABIÓTICOS POST-COSECHA DE REFRIGERACIÓN, SOMBRA Y SOLEADO

Análisis de varianza multifactorial para a*

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Efectos principales					
A:Estrés abiótico	0.319511	2	0.159756	0.37	0.6937
B:Días	13.194700	5	2.638950	6.09	0.0002
Residuos	19.937400	46	0.433423		
Total (corregido)	33.451700	53			

Pruebas de múltiple rangos para a* por Días

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Días	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
6	9	2.74111	0.219449	X
15	9	3.48778	0.219449	XX
9	9	3.56889	0.219449	XX
3	9	3.81333	0.219449	X
0	9	4.10000	0.219449	X
12	9	4.26556	0.219449	X

Pruebas de múltiple rangos para a* por muestra

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Muestra	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Sombra 6	3	1.67000	X
Refrigeración 15	3	2.31000	X
Sombra 3	3	3.03667	X
Refrigeración 6	3	3.19000	XX
Soleado 9	3	3.35000	XX
Soleado 6	3	3.36333	X
Refrigeración 9	3	3.36667	X
Refrigeración 12	3	3.68667	X
Soleado 3	3	3.71333	X
Soleado 15	3	3.94667	X
Soleado 12	3	3.95667	X
Sombra 9	3	3.99000	X
Soleado 0	3	4.10000	XX
Refrigeración 0	3	4.10000	XX
Sombra 0	3	4.10000	XX
Sombra 15	3	4.20667	X
Refrigeración 3	3	4.69000	X
Sombra 12	3	5.15333	X

ANEXO 16: ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL PARÁMETRO DE COLOR b* EN MUESTRAS DE MASHUA SOMETIDAS POR 3, 6, 9, 12 Y 15 DÍAS, A LOS ESTRESSES ABIÓTICOS POST-COSECHA DE REFRIGERACIÓN, SOMBRA Y SOLEADO

Análisis de varianza multifactorial para b*

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Efectos principales					
A:Estrés abiótico	222.4360	2	111.2180	27.79	0.0000
B:Días	84.9073	5	16.9815	4.24	0.0030
Residuos	184.0740	46	4.0016		
Total (corregido)	491.4170	53			

Pruebas de múltiple rangos para b* por Estrés abiótico

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Estrés abiótico	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
Refrigeración	18	-1.26222	0.471499	X
Sombra	18	-1.22722	0.471499	X
Soleado	18	3.06056	0.471499	X

Pruebas de múltiple rangos para b* por Días

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Días	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
0	9	-2.030000	0.6668	X
3	9	-0.581111	0.6668	XX
9	9	0.241111	0.6668	XX
12	9	0.522222	0.6668	XX
6	9	1.052220	0.6668	X
15	9	1.937780	0.6668	X

Pruebas de múltiple rangos para b* por muestra

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Muestra	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Sombra 12	3	-2.536670	X
Refrigeración 12	3	-2.533330	X
Sombra 9	3	-2.110000	X
Soleado 0	3	-2.030000	X
Refrigeración 0	3	-2.030000	X
Sombra 0	3	-2.030000	X
Sombra 15	3	-1.666670	X
Refrigeración 3	3	-1.343330	X
Sombra 3	3	-1.200000	X
Refrigeración 9	3	-1.076670	X
Refrigeración 15	3	-0.336667	X
Refrigeración 6	3	-0.253333	X
Soleado 3	3	0.800000	X
Soleado 6	3	1.230000	X
Sombra 6	3	2.180000	X
Soleado 9	3	3.910000	X
Soleado 12	3	6.636670	X
Soleado 15	3	7.816670	X

ANEXO 17: ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL PARÁMETRO DE COLOR H° (ÁNGULO DE TONO) EN MUESTRAS DE MASHUA SOMETIDAS POR 3, 6, 9, 12 Y 15 DÍAS, A LOS ESTRESSES ABIÓTICOS POST-COSECHA DE REFRIGERACIÓN, SOMBRA Y SOLEADO

Análisis de varianza multifactorial para H°

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Efectos principales					
A:Estrés abiótico	24066.6	2	12033.300	25.10	0.0000
B:Días	12647.5	5	2529.510	5.28	0.0007
Residuos	22055.4	46	479.466		
Total (corregido)	58769.6	53			

Pruebas de múltiple rangos para H° por Estrés abiótico

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Estrés abiótico	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
Refrigeración	18	342.136	5.1611	X
Sombra	18	348.148	5.1611	X
Soleado	18	389.622	5.1611	X

Pruebas de múltiple rangos para H° por Días

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Días	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
0	9	333.667	7.2989	X
3	9	351.539	7.2989	XX
12	9	359.502	7.2989	XXX
9	9	361.277	7.2989	XXX
15	9	371.158	7.2989	XX
6	9	382.669	7.2989	X

Pruebas de múltiple rangos para H° por Muestra

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Muestra	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Refrigeración 12	3	325.513	X
Sombra 9	3	332.127	X
Sombra 0	3	333.667	X
Soleado 0	3	333.667	X
Refrigeración 0	3	333.667	X
Sombra 12	3	333.797	X
Sombra 15	3	338.397	X
Sombra 3	3	338.437	X
Refrigeración 9	3	342.293	XX
Refrigeración 3	3	344.020	X
Refrigeración 15	3	351.867	X
Refrigeración 6	3	355.457	X
Soleado 3	3	372.160	X
Soleado 6	3	380.087	X
Soleado 9	3	409.410	X
Sombra 6	3	412.463	X
Soleado 12	3	419.197	X
Soleado 15	3	423.210	X

ANEXO 18: ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL PARÁMETRO DE COLOR C* EN MUESTRAS DE MASHUA SOMETIDAS POR 3, 6, 9, 12 Y 15 DÍAS, A LOS ESTRESSES ABIÓTICOS POST-COSECHA DE REFRIGERACIÓN, SOMBRA Y SOLEADO

Análisis de varianza multifactorial para C*

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Efectos principales					
A:Estrés abiótico	30.8759	2	15.43800	12.19	0.0001
B:Días	42.3283	5	8.46567	6.68	0.0001
Residuos	58.2754	46	1.26686		
Total (corregido)	131.4800	53			

Pruebas de múltiple rangos para C* por Estrés abiótico

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Estrés abiótico	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
Refrigeración	18	3.83333	0.265294	X
Sombra	18	4.22944	0.265294	X
Soleado	18	5.59833	0.265294	X

Pruebas de múltiple rangos para C* por Días

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Días	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
6	9	3.17778	0.375182	X
3	9	3.98222	0.375182	XX
9	9	4.40000	0.375182	XX
0	9	4.57667	0.375182	XXX
15	9	5.20556	0.375182	XX
12	9	5.98000	0.375182	X

Pruebas de múltiple rangos para C* por Muestra

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Muestra	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Refrigeración 15	3	2.34000	X
Sombra 6	3	2.75333	X
Refrigeración 6	3	3.20000	X
Sombra 3	3	3.26667	X
Refrigeración 9	3	3.53667	X
Soleado 6	3	3.58000	X
Soleado 3	3	3.80333	X
Refrigeración 12	3	4.47000	X
Sombra 9	3	4.51333	X
Sombra 15	3	4.52333	X
Soleado 0	3	4.57667	X
Sombra 0	3	4.57667	X
Refrigeración 0	3	4.57667	X
Refrigeración 3	3	4.87667	X
Soleado 9	3	5.15000	X
Sombra 12	3	5.74333	X
Soleado 12	3	7.72667	X
Soleado 15	3	8.75333	X

ANEXO 19: ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL CONTENIDO DE CALCIO (%) EN MUESTRAS DE MASHUA SOMETIDAS POR 3, 6, 9, 12 Y 15 DÍAS, A LOS ESTRESES ABIÓTICOS POST-COSECHA DE REFRIGERACIÓN, SOMBRA Y SOLEADO

Análisis de varianza multifactorial para Contenido de calcio (%)

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Efectos principales					
A:Estrés abiótico	0.0000641111	2	0.0000320556	0.39	0.6847
B:Días	0.0002542780	5	0.0000508556	0.62	0.6854
Residuos	0.0008145560	10	0.0000814556		
Total (corregido)	0.0011329400	17			

ANEXO 20: ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL CONTENIDO DE MAGNESIO (%) EN MUESTRAS DE MASHUA SOMETIDAS POR 3, 6, 9, 12 Y 15 DÍAS, A LOS ESTRESES ABIÓTICOS POST-COSECHA DE REFRIGERACIÓN, SOMBRA Y SOLEADO

Análisis de varianza multifactorial para Contenido de magnesio (%)

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Efectos principales					
A:Estrés abiótico	0.000105444	2	0.0000527222	0.62	0.5553
B:Días	0.000327778	5	0.0000655556	0.78	0.5885
Residuos	0.000844556	10	0.0000844556		
Total (corregido)	0.001277780	17			

ANEXO 21: ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL CONTENIDO DE HIERRO (PPM) EN MUESTRAS DE MASHUA SOMETIDAS POR 3, 6, 9, 12 Y 15 DÍAS, A LOS ESTRESES ABIÓTICOS POST-COSECHA DE REFRIGERACIÓN, SOMBRA Y SOLEADO

Análisis de varianza multifactorial para Contenido de Hierro (ppm)

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Efectos principales					
A:Estrés abiótico	213.081	2	106.541	0.22	0.8051
B:Días	2057.250	5	411.449	0.86	0.5418
Residuos	4808.180	10	480.818		
Total (corregido)	7078.510	17			

ANEXO 22: CONTENIDO DE FIBRA DIETARIA INSOLUBLE (FDI), SOLUBLE (FDS) Y TOTAL (FDT) EN MUESTRAS DE MASHUA SOMETIDAS POR 3, 6, 9, 12 Y 15 DÍAS, A LOS ESTRESES ABIÓTICOS POST-COSECHA DE REFRIGERACIÓN, SOMBRA Y SOLEADO

Muestra		Fibra insoluble (g/100 g bs)	Fibra soluble (g/100 g bs)	Fibra total (g/100 g bs)	
Tratamiento	Días				
Control	R1	9.42	1.80	11.21	
	R2	7.95	2.38	10.33	
	R3	8.68	2.09	10.77	
Refrigeración	3	R1	9.93	3.46	13.40
		R2	8.08	3.58	11.65
		R3	9.01	3.52	12.53
	6	R1	9.24	3.35	12.59
		R2	8.81	3.77	12.57
		R3	9.02	3.56	12.58
	9	R1	10.00	4.00	14.00
		R2	10.23	3.80	14.03
		R3	10.11	3.90	14.02
	12	R1	9.59	4.12	13.71
		R2	10.66	3.89	14.55
		R3	10.13	4.00	14.13
	15	R1	10.08	3.59	13.67
		R2	10.01	3.86	13.86
		R3	10.04	3.72	13.77
Sombra	3	R1	9.94	3.48	13.42
		R2	10.07	3.35	13.43
		R3	10.01	3.42	13.42
	6	R1	9.08	3.74	12.81
		R2	8.74	3.91	12.65
		R3	8.91	3.82	12.73
	9	R1	10.57	3.95	14.52
		R2	11.16	2.02	13.18
		R3	10.87	2.98	13.85
	12	R1	10.16	2.57	12.73
		R2	10.65	2.99	13.64
		R3	10.41	2.78	13.19
	15	R1	10.85	3.89	14.74
		R2	12.14	3.48	15.63
		R3	11.50	3.69	15.18
Soleado	3	R1	9.37	3.22	12.59
		R2	9.99	2.61	12.60
		R3	9.68	2.92	12.60

«continuación»

Soleado	6	R1	11.77	2.90	14.67
		R2	11.74	2.77	14.51
		R3	11.76	2.83	14.59
	9	R1	12.26	2.88	15.14
		R2	12.68	2.86	15.54
		R3	12.47	2.87	15.34
	12	R1	12.79	2.55	15.33
		R2	12.66	3.49	16.15
		R3	12.72	3.02	15.74
	15	R1	13.19	3.45	16.64
		R2	12.87	3.90	16.76
		R3	13.03	3.67	16.70

ANEXO 23: ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL CONTENIDO DE FIBRA DIETARIA INSOLUBLE (FDI) EN MUESTRAS DE MASHUA SOMETIDAS POR 3, 6, 9, 12 Y 15 DÍAS, A LOS ESTRESSES ABIÓTICOS POST-COSECHA DE REFRIGERACIÓN, SOMBRA Y SOLEADO

Análisis de varianza multifactorial para FDI (%)

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Efectos principales					
A:Estrés abiótico	33.9500	2	16.975000	31.69	0.0000
B:Días	55.3652	5	11.073000	20.67	0.0000
Residuos	24.6406	46	0.535665		
Total (corregido)	113.9560	53			

Pruebas de múltiple rangos para FDI (%) por Estrés abiótico

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Estrés abiótico	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
Refrigeración	18	9.49944	0.172508	x
Sombra	18	10.06170	0.172508	x
Soleado	18	11.39060	0.172508	x

Pruebas de múltiple rangos para FDI (%) por Días

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Días	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
0	9	8.68333	0.243964	X
3	9	9.56444	0.243964	XX
6	9	9.89667	0.243964	X
12	9	11.08560	0.243964	X
9	9	11.15000	0.243964	X
15	9	11.52330	0.243964	X

Pruebas de múltiple rangos para FDI (%) por Muestra

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Muestra	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Soleado 0	3	8.68333	X
Sombra 0	3	8.68333	X
Refrigeración 0	3	8.68333	X
Sombra 6	3	8.91000	XX
Refrigeración 3	3	9.00667	XX
Refrigeración 6	3	9.02333	XX
Soleado 3	3	9.68000	XXX
Sombra 3	3	10.00670	XXX
Refrigeración 15	3	10.04330	XXX
Refrigeración 9	3	10.11330	XX
Refrigeración 12	3	10.12670	XX
Sombra 12	3	10.40670	XX
Sombra 9	3	10.86670	XX
Sombra 15	3	11.49670	XX
Soleado 6	3	11.75670	XXX
Soleado 9	3	12.47000	XX
Soleado 12	3	12.72330	XX
Soleado 15	3	13.03000	X

ANEXO 24: ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL CONTENIDO DE FIBRA DIETARIA SOLUBLE (FDS) EN MUESTRAS DE MASHUA SOMETIDAS POR 3, 6, 9, 12 Y 15 DÍAS, A LOS ESTRESSES ABIÓTICOS POST-COSECHA DE REFRIGERACIÓN, SOMBRA Y SOLEADO

Análisis de varianza multifactorial para FDS (%)

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Efectos principales					
A:Estrés abiótico	2.91281	2	1.456410	9.30	0.0004
B:Días	13.73440	5	2.746880	17.53	0.0000
Residuos	7.20690	46	0.156672		
Total (corregido)	23.85410	53			

Pruebas de múltiple rangos para FDS (%) por Estrés abiótico

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Estrés abiótico	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
Soleado	18	2.90056	0.0932952	X
Sombra	18	3.13000	0.0932952	X
Refrigeración	18	3.46611	0.0932952	X

Pruebas de múltiple rangos para FDS (%) por Días

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Días	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
0	9	2.09000	0.131939	X
9	9	3.25111	0.131939	X
12	9	3.26778	0.131939	X
3	9	3.28444	0.131939	X
6	9	3.40556	0.131939	X
15	9	3.69444	0.131939	X

Pruebas de múltiple rangos para FDS por Muestra

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Muestra	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Soleado 0	3	2.09000	X
Refrigeración 0	3	2.09000	X
Sombra 0	3	2.09000	X
Sombra 12	3	2.78000	XX
Soleado 6	3	2.83333	XX
Soleado 9	3	2.87000	XX
Soleado 3	3	2.91667	XXX
Sombra 9	3	2.98333	XXXX
Soleado 12	3	3.02000	XXXX
Sombra 3	3	3.41667	XXXX
Refrigeración 3	3	3.52000	XXXX
Refrigeración 6	3	3.56000	XXXX
Soleado 15	3	3.67333	XXXX
Sombra 15	3	3.68667	XXXX
Refrigeración 15	3	3.72333	XXXX
Sombra 6	3	3.82333	XXX
Refrigeración 9	3	3.90000	XX
Refrigeración 12	3	4.00333	X

ANEXO 25: ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL CONTENIDO DE FIBRA DIETARIA TOTAL (FDT) EN MUESTRAS DE MASHUA SOMETIDAS POR 3, 6, 9, 12 Y 15 DÍAS, A LOS ESTRESSES ABIÓTICOS POST-COSECHA DE REFRIGERACIÓN, SOMBRA Y SOLEADO

Análisis de Varianza para FDT (%)

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Efectos principales					
A:Estrés abiótico	18.0755	2	9.03776	18.02	0.0000
B:Días	111.6190	5	22.32370	44.51	0.0000
Residuos	23.0727	46	0.50158		
Total (corregido)	152.7670	53			

Pruebas de múltiple rangos para FDT (%) por Estrés abiótico

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Estrés abiótico	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
Refrigeración	18	12.9650	0.16693	X
Sombra	18	13.1906	0.16693	X
Soleado	18	14.2894	0.16693	X

Pruebas de múltiple rangos para FDT (%) por Días

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Días	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
0	9	10.7700	0.236074	X
3	9	12.8489	0.236074	X
6	9	13.3000	0.236074	X
12	9	14.3522	0.236074	X
9	9	14.4022	0.236074	X
15	9	15.2167	0.236074	X

Pruebas de múltiple rangos para FDT (%) por Muestra

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Muestra	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Refrigeración 0	3	10.7700	X
Sombra 0	3	10.7700	X
Soleado 0	3	10.7700	X
Refrigeración 3	3	12.5267	X
Refrigeración 6	3	12.5800	X
Soleado 3	3	12.5967	X
Sombra 6	3	12.7300	XX
Sombra 12	3	13.1867	XXX
Sombra 3	3	13.4233	XXX
Refrigeración 15	3	13.7667	XXX
Sombra 9	3	13.8500	XXX
Refrigeración 9	3	14.0167	XX
Refrigeración 12	3	14.1300	XXX
Soleado 6	3	14.5900	XXX
Sombra 15	3	15.1833	XX
Soleado 9	3	15.3400	X
Soleado 12	3	15.7400	XX
Soleado 15	3	16.7000	X

ANEXO 26: CONTENIDO DE ALMIDÓN (%) EN MUESTRAS DE MASHUA SOMETIDAS POR 3, 6, 9, 12 Y 15 DÍAS, A LOS ESTRESSES ABIÓTICOS POST-COSECHA DE REFRIGERACIÓN, SOMBRA Y SOLEADO

Días		Tratamientos		
		Refrigeración	Sombra	Soleado
		% Almidón (bs)		
Control (0)	R1	44.13	44.13	44.13
	R2	45.36	45.36	45.36
	R3	49.00	49.00	49.00
3	R1	37.66	33.74	37.17
	R2	41.39	33.83	35.94
	R3	40.33	34.32	36.10
6	R1	37.53	34.17	32.12
	R2	38.70	35.26	38.55
	R3	38.83	37.18	32.71
9	R1	36.74	30.03	30.05
	R2	38.73	28.17	31.08
	R3	34.17	27.77	30.99
12	R1	31.83	30.90	32.49
	R2	28.47	30.63	28.27
	R3	28.64	30.33	27.64
15	R1	30.58	31.99	20.48
	R2	25.52	31.96	24.48
	R3	19.93	32.34	23.48

ANEXO 27: ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL CONTENIDO DE ALMIDÓN (%) EN MUESTRAS DE MASHUA SOMETIDAS POR 3, 6, 9, 12 Y 15 DÍAS, A LOS ESTRESSES ABIÓTICOS POST-COSECHA DE REFRIGERACIÓN, SOMBRA Y SOLEADO

Análisis de varianza multifactorial para Contenido de almidón (%)

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Efectos principales					
A:Estrés abiótico	62.9396	2	31.46980	3.35	0.0439
B:Días	2079.1200	5	415.82300	44.23	0.0000
Residuos	432.4620	46	9.40134		
Total (corregido)	2574.5200	53			

Pruebas de múltiple rangos para Contenido de almidón (%) por Estrés abiótico

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Estrés abiótico	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
Soleado	18	33.3356	0.722701	X
Sombra	18	34.5061	0.722701	XX
Refrigeración	18	35.9744	0.722701	X

Pruebas de múltiple rangos para Contenido de almidón (%) por Días

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Días	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
15	9	26.7511	1.02205	X
12	9	29.9111	1.02205	XX
9	9	31.9700	1.02205	XX
6	9	36.1167	1.02205	XX
3	9	36.7200	1.02205	X
0	9	46.1633	1.02205	X

Pruebas de múltiple rangos para Contenido de almidón (%) por muestra

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Muestra	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Soleado 15	3	22.8133	X
Refrigeración 15	3	25.3433	XX
Sombra 9	3	28.6567	XXX
Soleado 12	3	29.4667	XXXX
Refrigeración 12	3	29.6467	XXXX
Sombra 12	3	30.6200	XXXXX
Soleado 9	3	30.7067	XXXXX
Sombra 15	3	32.0967	XXXXXX
Sombra 3	3	33.9633	XXXXXX
Soleado 6	3	34.4600	XXXXXX
Sombra 6	3	35.5367	XXXXX
Soleado 3	3	36.4033	XXXX
Refrigeración 9	3	36.5467	XXX
Refrigeración 6	3	38.3533	XX
Refrigeración 3	3	39.7933	XX
Soleado 0	3	46.1633	X
Sombra 0	3	46.1633	X
Refrigeración 0	3	46.1633	X

ANEXO 28: CONTENIDO DE AZÚCARES (GLUCOSA, FRUCTOSA Y SACAROSA) EN MUESTRAS DE MASHUA SOMETIDAS POR 3, 6, 9, 12 Y 15 DÍAS, A LOS ESTRESSES ABIÓTICOS POST-COSECHA DE REFRIGERACIÓN, SOMBRA Y SOLEADO

Muestra		Glucosa (g/100 g bs)	Fructosa (g/100 g bs)	Sacarosa (g/100 g bs)	
Tratamiento	Días				
Control	R1	8.04	7.27	2.27	
	R2	8.19	6.93	2.20	
	R3	8.81	7.32	2.22	
Refrigeración	3	R1	10.53	9.57	2.04
		R2	10.21	9.04	2.53
		R3	10.18	9.42	2.47
	6	R1	9.04	8.50	2.75
		R2	9.38	8.18	2.86
		R3	9.27	8.16	2.80
	9	R1	10.42	9.80	4.47
		R2	10.92	10.25	4.44
		R3	12.40	11.07	4.84
	12	R1	10.57	9.90	3.90
		R2	9.75	8.90	5.28
		R3	10.83	9.99	5.94
	15	R1	13.36	13.12	5.66
		R2	11.06	10.78	4.50
		R3	14.35	14.18	5.20
Sombra	3	R1	6.69	6.19	2.19
		R2	11.08	9.84	2.97
		R3	11.24	10.00	2.89
	6	R1	10.71	10.09	2.77
		R2	7.96	6.99	3.50
		R3	7.77	7.01	3.32
	9	R1	10.45	10.35	3.23
		R2	11.04	10.97	3.37
		R3	11.14	11.10	3.64
	12	R1	9.62	9.33	3.59
		R2	9.38	8.99	3.69
		R3	9.27	8.94	4.14
	15	R1	9.52	9.11	2.63
		R2	9.90	9.30	2.67
		R3	10.02	9.28	3.18
Soleado	3	R1	8.67	8.26	5.29
		R2	9.12	8.65	5.40
		R3	7.74	7.49	5.42

«continuación»

	6	R1	8.91	8.12	5.54
		R2	10.21	8.98	5.63
		R3	9.00	8.08	5.85
	9	R1	11.04	8.94	3.25
		R2	10.75	8.69	2.95
		R3	11.03	9.04	3.16
	12	R1	10.57	8.29	2.72
		R2	10.70	8.28	2.66
		R3	10.60	8.28	2.63
	15	R1	12.58	10.46	3.59
		R2	12.91	10.74	3.20
		R3	12.33	10.33	3.19

ANEXO 29: ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL CONTENIDO DE GLUCOSA (%) EN MUESTRAS DE MASHUA SOMETIDAS POR 3, 6, 9, 12 Y 15 DÍAS, A LOS ESTRESSES ABIÓTICOS POST-COSECHA DE REFRIGERACIÓN, SOMBRA Y SOLEADO

Análisis de varianza multifactorial para Glucosa (%)

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Efectos principales					
A:Estrés abiótico	7.71221	2	3.85611	3.61	0.0349
B:Días	71.67740	5	14.33550	13.43	0.0000
Residuos	49.09610	46	1.06731		
Total (corregido)	128.48600	53			

Pruebas de múltiple rangos para Glucosa (%) por Estrés abiótico

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Estrés abiótico	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
Sombra	18	9.49056	0.243505	x
Soleado	18	10.06670	0.243505	xx
Refrigeración	18	10.40610	0.243505	x

Pruebas de múltiple rangos para Glucosa (%) por Días

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Días	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
0	9	8.34667	0.344368	X
6	9	9.13889	0.344368	XX
3	9	9.49556	0.344368	XX
12	9	10.14330	0.344368	XX
9	9	11.02110	0.344368	XX
15	9	11.78110	0.344368	X

Pruebas de múltiple rangos para Glucosa (%) por Muestra

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Muestra	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Sombra 0	3	8.34667	X
Soleado 0	3	8.34667	X
Refrigeración 0	3	8.34667	X
Soleado 3	3	8.51000	XX
Sombra 6	3	8.81333	XX
Refrigeración 6	3	9.23000	XX
Soleado 6	3	9.37333	XX
Sombra 12	3	9.42333	XX
Sombra 3	3	9.67000	XX
Sombra 15	3	9.81333	XXX
Refrigeración 3	3	10.30670	XXXX
Refrigeración 12	3	10.38330	XXXX
Soleado 12	3	10.62330	XXXX
Sombra 9	3	10.87670	XXXX
Soleado 9	3	10.94000	XXXX
Refrigeración 9	3	11.24670	XXX
Soleado 15	3	12.60670	XX
Refrigeración 15	3	12.92330	X

ANEXO 30: ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL CONTENIDO DE FRUCTOSA (%) EN MUESTRAS DE MASHUA SOMETIDAS POR 3, 6, 9, 12 Y 15 DÍAS, A LOS ESTRESSES ABIÓTICOS POST-COSECHA DE REFRIGERACIÓN, SOMBRA Y SOLEADO

Análisis de varianza multifactorial para Fructosa (%)

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Efectos principales					
A:Estrés abiótico	9.90203	2	4.951010	5.04	0.0105
B:Días	74.96510	5	14.993000	15.27	0.0000
Residuos	45.16130	46	0.981768		
Total (corregido)	130.02800	53			

Pruebas de múltiple rangos para Fructosa (%) por Estrés abiótico

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Estrés abiótico	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
Soleado	18	8.56389	0.233544	X
Sombra	18	8.83389	0.233544	XX
Refrigeración	18	9.57667	0.233544	X

Pruebas de múltiple rangos para Fructosa (%) por Días

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Días	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
0	9	7.17333	0.330281	X
6	9	8.23444	0.330281	XX
3	9	8.71778	0.330281	XX
12	9	8.98889	0.330281	XX
9	9	10.02330	0.330281	XX
15	9	10.81110	0.330281	X

Pruebas de múltiple rangos para Fructosa (%) por Muestra

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Muestra	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Soleado 0	3	7.17333	X
Sombra 0	3	7.17333	X
Refrigeración 0	3	7.17333	X
Sombra 6	3	8.03000	XX
Soleado 3	3	8.13333	XX
Refrigeración 6	3	8.28000	XXX
Soleado 12	3	8.28333	XXX
Soleado 6	3	8.39333	XXX
Sombra 3	3	8.67667	XXX
Soleado 9	3	8.89000	XXX
Sombra 12	3	9.08667	XXX
Sombra 15	3	9.23000	XXX
Refrigeración 3	3	9.34333	XXX
Refrigeración 12	3	9.59667	XXX
Refrigeración 9	3	10.37330	XXX
Soleado 15	3	10.51000	XXX
Sombra 9	3	10.80670	XX
Refrigeración 15	3	12.69330	X

ANEXO 31: ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL CONTENIDO DE SACAROSA (%) EN MUESTRAS DE MASHUA SOMETIDAS POR 3, 6, 9, 12 Y 15 DÍAS, A LOS ESTRESSES ABIÓTICOS POST-COSECHA DE REFRIGERACIÓN, SOMBRA Y SOLEADO

Análisis de varianza multifactorial para Sacarosa (%)

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Efectos principales					
A:Estrés abiótico	5.62111	2	2.81056	2.56	0.0885
B:Días	17.89660	5	3.57932	3.26	0.0134
Residuos	50.55420	46	1.09901		
Total (corregido)	74.07190	53			

Pruebas de múltiple rangos para Sacarosa (%) por Días

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Días	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
0	9	2.23000	0.349445	X
3	9	3.46667	0.349445	XX
9	9	3.70556	0.349445	X
15	9	3.75778	0.349445	X
12	9	3.83889	0.349445	X
6	9	3.89111	0.349445	X

Pruebas de múltiple rangos para Sacarosa (%) por Muestra

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Muestra	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Sombra 0	3	2.23000	X
Soleado 0	3	2.23000	X
Refrigeración 0	3	2.230000	X
Refrigeración 3	3	2.34667	XX
Soleado 12	3	2.67000	XX
Sombra 3	3	2.68333	XX
Refrigeración 6	3	2.80333	XXX
Sombra 15	3	2.82667	XXX
Soleado 9	3	3.12000	XXX
Sombra 6	3	3.19667	XXX
Soleado 15	3	3.32667	XX
Sombra 9	3	3.41333	XX
Sombra 12	3	3.80667	XX
Refrigeración 9	3	4.58333	XX
Refrigeración 12	3	5.04000	XX
Refrigeración 15	3	5.12000	XX
Soleado 3	3	5.37000	XX
Soleado 6	3	5.67333	X

ANEXO 32: CONTENIDO DE ÁCIDOS ORGÁNICOS (ÁCIDO OXÁLICO, MÁLICO, QUÍNICO, SUCCÍNICO Y FÓRMICO) EN MUESTRAS DE MASHUA SOMETIDAS POR 3, 6, 9, 12 Y 15 DÍAS, A LOS ESTRESSES ABIÓTICOS POST-COSECHA DE REFRIGERACIÓN, SOMBRA Y SOLEADO

Muestra		Ácido oxálico (g/100 g bs)	Ácido málico (g/100 g bs)	Ácido Quínico (g/100 g bs)	Ácido succínico (g/100 g bs)	Ácido fórmico (g/100 g bs)	
Tratamiento	Días						
Control	R1	0.010	0.170	0.714	0.052	0.083	
	R2	0.010	0.199	0.706	0.052	0.083	
	R3	0.010	0.208	0.726	0.052	0.083	
Refrigeración	3	R1	0.010	0.147	0.863	0.030	0.071
		R2	0.010	0.171	0.845	0.030	0.070
		R3	0.010	0.153	0.840	0.030	0.069
	6	R1	0.010	0.137	0.877	0.030	0.079
		R2	0.010	0.229	0.861	0.031	0.073
		R3	0.010	0.233	0.881	0.031	0.072
	9	R1	0.010	0.162	1.111	0.078	0.078
		R2	0.009	0.148	1.097	0.095	0.076
		R3	0.010	0.145	1.149	0.079	0.089
	12	R1	0.010	0.203	1.055	0.070	0.090
		R2	0.012	0.310	1.357	0.080	0.009
		R3	0.010	0.224	1.130	0.080	0.090
	15	R1	0.010	0.208	1.400	0.099	0.089
		R2	0.009	0.162	1.176	0.085	0.085
		R3	0.010	0.229	1.475	0.096	0.087
Sombra	3	R1	0.010	0.207	1.017	0.030	0.131
		R2	0.009	0.220	1.006	0.028	0.129
		R3	0.010	0.232	1.018	0.030	0.141
	6	R1	0.010	0.185	1.030	0.049	0.147
		R2	0.010	0.211	0.781	0.040	0.148
		R3	0.009	0.351	1.041	0.041	0.158
	9	R1	0.019	0.192	1.040	0.048	0.162
		R2	0.020	0.227	1.088	0.049	0.168
		R3	0.020	0.207	1.117	0.051	0.173
	12	R1	0.021	0.202	0.921	0.032	0.191
		R2	0.020	0.220	0.913	0.030	0.183
		R3	0.022	0.193	0.947	0.033	0.189
	15	R1	0.020	0.144	0.870	0.020	0.235
		R2	0.020	0.186	0.912	0.031	0.256
		R3	0.021	0.185	0.963	0.032	0.265
Soleado	3	R1	0.021	0.198	0.967	0.052	0.114
		R2	0.021	0.226	0.997	0.052	0.114
		R3	0.022	0.241	0.909	0.067	0.122

«continuación»

Soleado	6	R1	0.010	0.190	0.924	0.094	0.136
		R2	0.011	0.185	0.987	0.095	0.138
		R3	0.012	0.236	1.032	0.110	0.134
	9	R1	0.011	0.102	0.969	0.108	0.162
		R2	0.010	0.089	0.971	0.093	0.155
		R3	0.010	0.107	0.951	0.111	0.162
	12	R1	0.000	0.123	0.996	0.121	0.211
		R2	0.000	0.151	0.942	0.123	0.205
		R3	0.000	0.140	0.950	0.128	0.203
	15	R1	0.000	0.148	1.197	0.179	0.252
		R2	0.000	0.141	1.115	0.167	0.240
		R3	0.000	0.143	1.128	0.170	0.245

ANEXO 33: ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL CONTENIDO DE ÁCIDO OXÁLICO (%) EN MUESTRAS DE MASHUA SOMETIDAS POR 3, 6, 9, 12 Y 15 DÍAS, A LOS ESTRESSES ABIÓTICOS POST-COSECHA DE REFRIGERACIÓN, SOMBRA Y SOLEADO

Análisis de varianza multifactorial para Ácido oxálico (%)

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Efectos principales					
A:Estrés abiótico	0.000398778	2	0.0001993890	6.79	0.0026
B:Días	0.000129500	5	0.0000259000	0.88	0.5007
Residuos	0.001350560	46	0.0000293599		
Total (corregido)	0.001878830	53			

Pruebas de múltiple rangos para Ácido oxálico (%) por Estrés abiótico

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Estrés abiótico	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
Soleado	18	0.00877778	0.00127715	x
Refrigeración	18	0.01000000	0.00127715	x
Sombra	18	0.01505560	0.00127715	x

Pruebas de múltiple rangos para Ácido oxálico (%) por Muestra

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Muestra	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Soleado 12	3	0.00000000	X
Soleado 15	3	0.00000000	X
Sombra 6	3	0.00966667	X
Refrigeración 15	3	0.00966667	X
Sombra 3	3	0.00966667	X
Refrigeración 9	3	0.00966667	X
Soleado 0	3	0.01000000	X
Sombra 0	3	0.01000000	X
Refrigeración 6	3	0.01000000	X
Refrigeración 3	3	0.01000000	X
Refrigeración 0	3	0.01000000	X
Soleado 9	3	0.01033330	X
Refrigeración 12	3	0.01066670	X
Soleado 6	3	0.01100000	X
Sombra 9	3	0.01966670	X
Sombra 15	3	0.02033330	X
Sombra 12	3	0.02100000	X
Soleado 3	3	0.02133330	X

ANEXO 34: ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL CONTENIDO DE ÁCIDO MÁLICO (%) EN MUESTRAS DE MASHUA SOMETIDAS POR 3, 6, 9, 12 Y 15 DÍAS, A LOS ESTRESSES ABIÓTICOS POST-COSECHA DE REFRIGERACIÓN, SOMBRA Y SOLEADO

Análisis de varianza multifactorial para Ácido málico (%)

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Efectos principales					
A:Estrés abiótico	0.0154749	2	0.00773746	4.65	0.0145
B:Días	0.0230039	5	0.00460079	2.77	0.0289
Residuos	0.0765162	46	0.00166340		
Total (corregido)	0.1149950	53			

Pruebas de múltiple rangos para Ácido málico (%) por Estrés abiótico

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Estrés abiótico	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
Soleado	18	0.166500	0.00961306	X
Refrigeración	18	0.191000	0.00961306	XX
Sombra	18	0.207722	0.00961306	X

Pruebas de múltiple rangos para Ácido málico (%) por Días

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Días	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
9	9	0.153222	0.0135949	X
15	9	0.171778	0.0135949	XX
0	9	0.192333	0.0135949	XX
12	9	0.196222	0.0135949	XX
3	9	0.199444	0.0135949	XX
6	9	0.217444	0.0135949	X

Pruebas de múltiple rangos para Ácido málico (%) por Muestra

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Muestra	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Soleado 9	3	0.0993333	X
Soleado 12	3	0.1380000	XX
Soleado 15	3	0.1440000	XX
Refrigeración 9	3	0.1516670	XXX
Refrigeración 3	3	0.1570000	XXX
Sombra 15	3	0.1716670	XXX
Refrigeración 0	3	0.1923330	XXX
Soleado 0	3	0.1923330	XXX
Sombra 0	3	0.1923330	XXX
Refrigeración 15	3	0.1996670	XXX
Refrigeración 6	3	0.1996670	XXX
Soleado 6	3	0.2036670	XX
Sombra 12	3	0.2050000	XX
Sombra 9	3	0.2086670	XX
Sombra 3	3	0.2196670	XX
Soleado 3	3	0.2216670	XX
Refrigeración 12	3	0.2456670	X
Sombra 6	3	0.2490000	X

ANEXO 35: ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL CONTENIDO DE ÁCIDO QUÍNICO (%) EN MUESTRAS DE MASHUA SOMETIDAS POR 3, 6, 9, 12 Y 15 DÍAS, A LOS ESTRESES ABIÓTICOS POST-COSECHA DE REFRIGERACIÓN, SOMBRA Y SOLEADO

Análisis de varianza multifactorial para Ácido quínico (%)

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Efectos principales					
A: Estrés abiótico	0.0633254	2	0.0316627	2.42	0.1002
B: Días	0.9448740	5	0.1889750	14.44	0.0000
Residuos	0.6018870	46	0.0130845		
Total (corregido)	1.6100900	53			

Pruebas de múltiple rangos para Ácido quínico (%) por Días

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Días	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
0	9	0.715333	0.0381292	X
6	9	0.934889	0.0381292	X
3	9	0.940222	0.0381292	X
12	9	1.023440	0.0381292	XX
9	9	1.054780	0.0381292	XX
15	9	1.137330	0.0381292	X

Pruebas de múltiple rangos para Ácido quínico (%) por Muestra

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Muestra	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Soleado 0	3	0.715333	X
Sombra 0	3	0.715333	X
Refrigeración 0	3	0.715333	X
Refrigeración 3	3	0.849333	XX
Refrigeración 6	3	0.873000	XXX
Sombra 15	3	0.915000	XXXX
Sombra 12	3	0.927000	XXX
Sombra 6	3	0.950667	XXXX
Soleado 3	3	0.957667	XXXX
Soleado 12	3	0.962667	XXXX
Soleado 9	3	0.963667	XXXX
Soleado 6	3	0.981000	XXXXX
Sombra 3	3	1.013670	XXXXX
Sombra 9	3	1.081670	XXXX
Refrigeración 9	3	1.119000	XXX
Soleado 15	3	1.146670	XXX
Refrigeración 12	3	1.180670	XX
Refrigeración 15	3	1.350330	X

ANEXO 36: ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL CONTENIDO DE ÁCIDO SUCCÍNICO (%) EN MUESTRAS DE MASHUA SOMETIDAS POR 3, 6, 9, 12 Y 15 DÍAS, A LOS ESTRESSES ABIÓTICOS POST-COSECHA DE REFRIGERACIÓN, SOMBRA Y SOLEADO

Análisis de varianza multifactorial para Ácido succínico (%)

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Efectos principales					
A:Estrés abiótico	0.0362028	2	0.018101400	35.88	0.0000
B:Días	0.0207053	5	0.004141050	8.21	0.0000
Residuos	0.0232087	46	0.000504538		
Total (corregido)	0.0801168	53			

Pruebas de múltiple rangos para Ácido succínico (%) por Estrés abiótico

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Estrés abiótico	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
Sombra	18	0.0388889	0.00529433	X
Refrigeración	18	0.0611111	0.00529433	X
Soleado	18	0.1014440	0.00529433	X

Pruebas de múltiple rangos para Ácido succínico (%) por Días

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Días	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
3	9	0.0387778	0.00748731	X
0	9	0.0520000	0.00748731	XX
6	9	0.0578889	0.00748731	XX
12	9	0.0774444	0.00748731	XX
9	9	0.0791111	0.00748731	XX
15	9	0.0976667	0.00748731	X

Pruebas de múltiple rangos para Ácido succínico (%) por Muestra

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Muestra	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Sombra 15	3	0.0276667	X
Sombra 3	3	0.0293333	X
Refrigeración 3	3	0.0300000	X
Refrigeración 6	3	0.0306667	X
Sombra 12	3	0.0316667	X
Sombra 6	3	0.0433333	XX
Sombra 9	3	0.0493333	X
Soleado 0	3	0.0520000	X
Sombra 0	3	0.0520000	X
Refrigeración 0	3	0.0520000	X
Soleado 3	3	0.0570000	X
Refrigeración 12	3	0.0766667	X
Refrigeración 9	3	0.0840000	XX
Refrigeración 15	3	0.0933333	XXX
Soleado 6	3	0.0996667	XX
Soleado 9	3	0.1040000	X
Soleado 12	3	0.1240000	X
Soleado 15	3	0.1720000	X

ANEXO 37: ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL CONTENIDO DE ÁCIDO FÓRMICO (%) EN MUESTRAS DE MASHUA SOMETIDAS POR 3, 6, 9, 12 Y 15 DÍAS, A LOS ESTRESSES ABIÓTICOS POST-COSECHA DE REFRIGERACIÓN, SOMBRA Y SOLEADO

Análisis de varianza multifactorial para Ácido fórmico (%)

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Efectos principales					
A:Estrés abiótico	0.0843601	2	0.042180100	48.46	0.0000
B:Días	0.0679773	5	0.013595500	15.62	0.0000
Residuos	0.0400394	46	0.000870423		
Total (corregido)	0.1923770	53			

Pruebas de múltiple rangos para Ácido fórmico (%) por Estrés abiótico

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Estrés abiótico	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
Refrigeración	18	0.0764444	0.00695391	X
Soleado	18	0.1578890	0.00695391	X
Sombra	18	0.1625000	0.00695391	X

Pruebas de múltiple rangos para Ácido fórmico (%) por Días

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Días	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
0	9	0.083000	0.00983431	X
3	9	0.106778	0.00983431	XX
6	9	0.120556	0.00983431	XXX
9	9	0.136111	0.00983431	XX
12	9	0.152333	0.00983431	X
15	9	0.194889	0.00983431	X

Pruebas de múltiple rangos para Ácido fórmico (%) por Muestra

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Muestra	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Refrigeración 12	3	0.0630000	X
Refrigeración 3	3	0.0700000	X
Refrigeración 6	3	0.0746667	X
Refrigeración 9	3	0.0810000	XX
Sombra 0	3	0.0830000	XX
Refrigeración 0	3	0.0830000	XX
Soleado 0	3	0.0830000	XX
Refrigeración 15	3	0.0870000	XX
Soleado 3	3	0.1166670	XX
Sombra 3	3	0.1336670	XX
Soleado 6	3	0.1360000	XX
Sombra 6	3	0.1510000	XXX
Soleado 9	3	0.1596670	XX
Sombra 9	3	0.1676670	XX
Sombra 12	3	0.1876670	XX
Soleado 12	3	0.2063330	X
Soleado 15	3	0.2456670	X
Sombra 15	3	0.2520000	X

ANEXO 38: CONTENIDO DE ÁCIDO ASCÓRBICO (MG/G) (BS) EN MUESTRAS DE MASHUA SOMETIDAS POR 3, 6, 9, 12 Y 15 DÍAS, A LOS ESTRESSES ABIÓTICOS POST-COSECHA DE REFRIGERACIÓN, SOMBRA Y SOLEADO

Días		Tratamientos		
		Refrigeración	Sombra	Soleado
		Ac. Ascórbico (mg/g bs)		
Control (0)	R1	0.27	0.27	0.27
	R2	0.27	0.27	0.27
	R3	0.27	0.27	0.27
3	R1	0.32	0.28	0.34
	R2	0.33	0.28	0.34
	R3	0.33	0.28	0.34
6	R1	0.28	0.27	0.17
	R2	0.27	0.28	0.17
	R3	0.24	0.27	0.17
9	R1	0.27	0.27	0.07
	R2	0.27	0.27	0.07
	R3	0.27	0.27	0.07
12	R1	0.28	0.25	0.03
	R2	0.31	0.25	0.03
	R3	0.31	0.23	0.03
15	R1	0.24	0.38	0.02
	R2	0.27	0.37	0.03
	R3	0.27	0.37	0.02

ANEXO 39: ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL CONTENIDO DE ÁCIDO ASCÓRBICO (MG/G) EN MUESTRAS DE MASHUA SOMETIDAS POR 3, 6, 9, 12 Y 15 DÍAS, A LOS ESTRESSES ABIÓTICOS POST-COSECHA DE REFRIGERACIÓN, SOMBRA Y SOLEADO

Análisis de varianza multifactorial para Ácido ascórbico (mg/g)

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Efectos principales					
A:Estrés abiótico	20.90510	2	10.452600	23.20	0.0000
B:Días	9.95885	5	1.991770	4.42	0.0023
Residuos	20.72140	46	0.450466		
Total (corregido)	51.58540	53			

Pruebas de múltiple rangos para Ácido ascórbico (mg/g) por Estrés abiótico

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Estrés abiótico	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
Soleado	18	1.51667	0.158196	X
Refrigeración	18	2.82444	0.158196	X
Sombra	18	2.84833	0.158196	X

Pruebas de múltiple rangos para Ácido ascórbico (mg/g) por Días

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

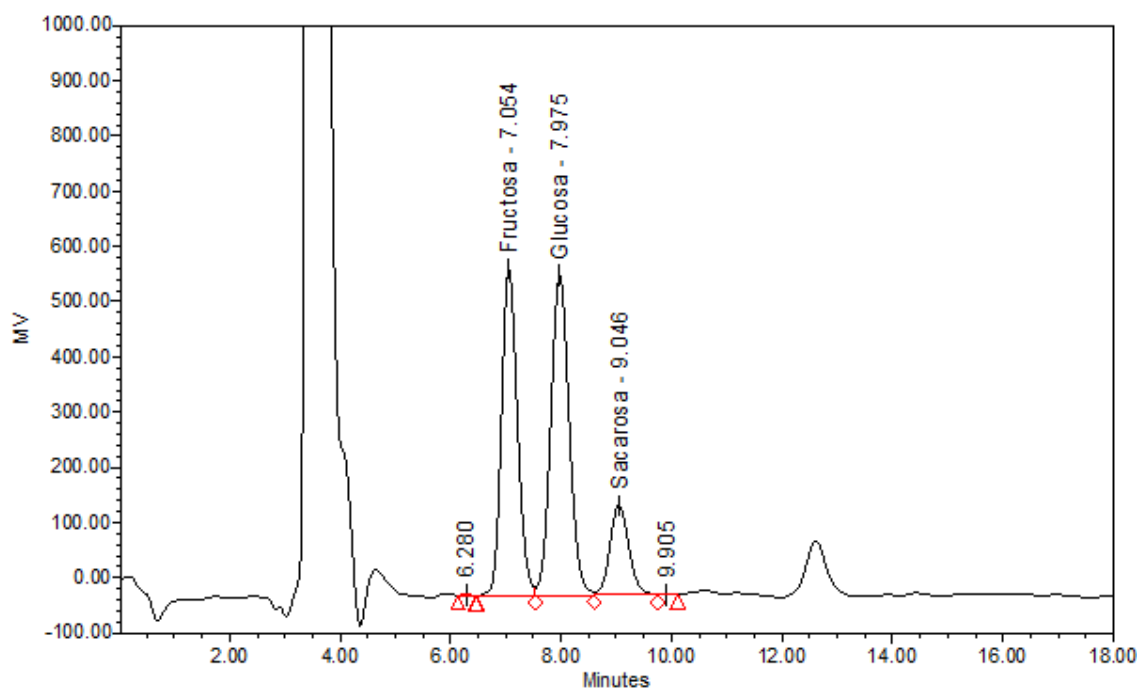
Días	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
12	9	1.90444	0.223723	X
9	9	2.02889	0.223723	X
15	9	2.20444	0.223723	X
6	9	2.35889	0.223723	XX
0	9	2.72000	0.223723	XX
3	9	3.16222	0.223723	X

Pruebas de múltiple rangos para Ácido ascórbico (mg/g) por Muestra

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Muestra	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Soleado 15	3	0.253333	X
Soleado 12	3	0.340000	X
Soleado 9	3	0.683333	X
Soleado 6	3	1.696670	X
Sombra 12	3	2.383330	X
Refrigeración 15	3	2.616670	XX
Refrigeración 6	3	2.636670	XX
Sombra 9	3	2.686670	X
Refrigeración 9	3	2.716670	XX
Soleado 0	3	2.720000	XX
Sombra 0	3	2.720000	XX
Refrigeración 0	3	2.720000	XX
Sombra 6	3	2.743330	XX
Sombra 3	3	2.813330	XX
Refrigeración 12	3	2.990000	XX
Refrigeración 3	3	3.266670	XX
Soleado 3	3	3.406670	X
Sombra 15	3	3.743330	X

ANEXO 40: CROMATOGRAMA DE IDENTIFICACIÓN DE AZÚCARES EN MUESTRAS DE MASHUA



ANEXO 41: CROMATOGRAMA DE IDENTIFICACIÓN DE ÁCIDOS ORGÁNICOS EN MUESTRAS DE MASHUA

