UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA

ESCUELA DE POSGRADO
DOCTORADO EN CIENCIAS E INGENIERÍA BIOLÓGICAS

"METABOLITOS PRIMARIOS Y SECUNDARIOS (BIOACTIVOS Y AROMÁTICOS) DURANTE LA MADURACIÓN POST-COSECHA DE LA LÚCUMA (*Pouteria lucuma*)"

Presentada por:
MARIANELA SONIA INGA GUEVARA

TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE DOCTOR *DOCTORIS PHILOSOPHIAE* EN CIENCIAS E INGENIERÍA BIOLÓGICAS

Lima – Perú
2020

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

LA MOLINA

ESCUELA DE POSGRADO

DOCTORADO EN CIENCIAS E INGENIERÍA BIOLÓGICAS

"METABOLITOS PRIMARIOS Y SECUNDARIOS (BIOACTIVOS Y AROMÁTICOS) DURANTE LA MADURACIÓN POST-COSECHA DE LA LÚCUMA (*Pouteria lucuma*)"

TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE DOCTOR *DOCTORIS PHILOSOPHIAE* EN CIENCIAS E INGENIERÍA BIOLÓGICAS

Presentada por:

MARIANELA SONIA INGA GUEVARA

Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:

Dra. Carmen Velezmoro Sánchez PRESIDENTE	Dr. David Campos Gutiérrez ASESOR
Dra. Rosana Chirinos Gallardo MIEMBRO	Dra. Ana Aguilar Gálvez CO-ASESORA
Dra. Rosa Espejo Joya MIEMBRO	Dra. Romina Paola Pedreschi Plasencia MIEMBRO EXTERNO

ÍNDICE GENERAL

I. INTRODUCCIÓN 1
II. REVISIÓN DE LITERATURA 3
2.1. ASPECTOS GENERALES DE LA LÚCUMA 3
2.1.1. COMPONENTES DE LA LÚCUMA 5
2.1.2. PRODUCCIÓN 6
2.1.3. EXPORTACIONES Y USOS 7
2.2. FISIOLOGÍA DE MADURACIÓN DE LA FRUTA Y CAMBIOS BIOQUÍMICOS 8
2.2.1. CAMBIOS EN LA PARED CELULAR Y TEXTURA 9
2.2.2. RESPIRACIÓN 13
2.2.3. CAMBIOS EN LOS ÁCIDOS ORGÁNICOS 16
2.2.4. CAMBIOS EN EL SABOR 18
2.2.5. CAMBIOS DE COLOR 18
2.2.6. CAMBIOS EN LAS HORMONAS 19
2.2.7. CAMBIOS EN LOS AZÚCARES 20
2.3. CAPACIDAD ANTIOXIDANTE 20
2.4. ACTIVIDAD HIPOGLUCEMIANTE 21
2.5. METABOLITOS SECUNDARIOS 22
2.6. AROMAS 23
2.6.1. TÉCNICAS DE IDENTIFICACIÓN DE COMPUESTOS AROMÁTICOS 27
2.7. FACTORES QUE AFECTAN LA FISIOLOGÍA DE LAS FRUTAS DURANTE EL ALMACENAMIENTO 29
2.7.1. LA TEMPERATURA 29
2.7.2. HUMEDAD 29
2.7.3. VELOCIDAD DE AIRE DEL AMBIENTE 30
III. MATERIALES Y MÉTODOS 31
3.1. LUGAR DE EJECUCIÓN 31
3.2. MATERIALES 31
3.2.1. MATERIAL VEGETAL 31
3.2.2. EQUIPOS 31
3.2.3. REACTIVOS 32
3.3. MÉTODOS 34
3.3.1. ANÁLISIS DE ALGUNAS CARACTERISTICAS FISICOQUÍMICAS RELACIONADOS CON LA MADURACIÓN POST-COSECHA 34
3.3.2. EVOLUCIÓN DE METABOLITOS (PRIMARIOS Y SECUNDARIOS) 37

3.3.3. MEDIDA DE LA CAPACIDAD ANTIOXIDANTE Y ACTIVIDAD HIPOGLUCEMIANTE DE LA LÚCUMA DURANTE EL ALMACENAMIENTO 40
3.3.4. EVOLUCIÓN DE COMPUESTOS AROMÁTICOS 43
3.4. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL 47
3.5. DISEÑO EXPERIMENTAL 47
3.6. ANÁLISIS ESTADÍSTICO 48
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN 49
4.1. EVALUACIÓN DE COMPONENTES FISICOQUÍMICOS RELACIONADOS CON LA MADURACIÓN POST-COSECHA 49
4.1.1. MATERIA SECA 49
4.1.2. ACIDEZ TITULABLE Y pH 50
4.1.3. SÓLIDOS SOLUBLES 51
4.1.4. PECTINA 52
4.1.5. ALMIDÓN 53
4.1.6. AZÚCARES REDUCTORES 54
4.1.7. FIBRA DIETARIA 54
4.1.8. CONTENIDO DE MINERALES 55
4.1.9. FIRMEZA 56
4.1.10. ACTIVIDAD POLIGALACTURONASA 57
4.1.11. VARIACIÓN DEL COLOR DE PULPA 57
4.1.12. VARIACIÓN DE COLOR DEL EPICARPIO 58
4.1.13. PÉRDIDA DE PESO Y VARIACIÓN DEL CALIBRE 61
4.1.14. TASA DE RESPIRACIÓN 63
4.2. DETERMINACIÓN DE METABOLITOS (PRIMARIOS Y SECUNDARIOS) 65
4.2.1. METABOLITOS PRIMARIOS Y SECUNDARIOS 65
4.3. CAPACIDAD ANTIOXIDANTE Y ACTIVIDAD HIPOGLUCEMIANTE 74
4.3.1. CAPACIDAD ANTIOXIDANTE 74
4.3.2. ACTIVIDAD HIPOGLUCEMIANTE 76
4.4. COMPONENTES AROMÁTICOS 78
V. CONCLUSIONES 86
VI. RECOMENDACIONES 88
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 89
VIII. ANEXOS 119

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Nombres botánicos y comunes de la lúcuma en diferentes países y regiones. 4
Tabla 2: Producción nacional de lúcuma del 2015-2017 (Toneladas). 6
Tabla 3: Exportaciones lúcuma según sus principales presentaciones durante los años 2013 – 2018*(Kilogramos). 9
Tabla 4: Tasa de respiración de algunas frutas y verduras. 15
Tabla 5: Compuestos volátiles responsables del aroma en algunas frutas. 25
Tabla 6: Variación de algunos componentes de lúcuma almacenada en condiciones ambientales y en cámara climatizada. 50
Tabla 7: Contenido de metabolitos de lúcuma almacenada en condiciones ambientales y en cámara climatizada. 66
Tabla 8: Capacidad antioxidante de lúcuma almacenada en condiciones ambientales y en cámara climatizada. 75
Tabla 9: Valores de concetración inhibitoria media máxima (IC_{50}) de α-glucosidasa de lúcuma almacenada en condiciones ambientales y en cámara climatizada (en mg/ml y mg ms). 76
Tabla 10: Valores de concentración inhibitoria media máxima (IC_{50}) de α-amilasa de lúcuma almacenada en condiciones ambientales y en cámara climatizada (en mg/ml y mg ms). 77
Tabla 11: Compuestos volátiles activos olfativamente detectados en los extractos obtenidos por SAFE de la lúcuma almacenado en condiciones ambientales.. 81
Tabla 12: Comportamiento de algunos aromas de impacto de la lúcuma almacenada en condiciones ambientales y en cámara climatizada (en porcentaje relativo)..... 84

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Países importadores de lúcuma durante los últimos 5 años 8
Figura 2: Esquema de maduración de post-cosecha del kiwi 13
Figura 3: Fases del período climatérico 16
Figura 4: Ruta metabólica del citrato y malato de las células del mesocarpio de la fruta ... 17
Figura 5: Ruta de biosíntesis de compuestos volátiles en plantas 26
Figura 6: Promedio de L*, a*, b*, C y hº de la pulpa de lúcuma almacenada en condiciones ambientales y en cámara climatizada 58
Figura 7: Medida de color de valor L (A), valor hue (h) (B), valor C (C), valor b* (D), valor a* (E) de lúcuma almacenada en condiciones ambientales y en cámara climatizada 60
Figura 8: Pérdida de peso (A) y variación de calibre (B) de lúcuma almacenada en condiciones ambientales y en cámara climatizada 63
Figura 9: Tasa de respiración de lúcuma almacenada en condiciones ambientales y en cámara climatizada 64
Figura 10: Comparación de los perfiles de carotenoides de lúcuma en estado de madurez fisiológica (A), almacenada en cámara climatizada (B) y condiciones ambientales(C) 73
Figura 11: Cromatograma del análisis por CG en columna FFAP (A) y medida de la intensidad de aroma mediante AEDA (B) de los compuestos activos olfativamente en la fruta madura de *Pouteria lucuma* obtenidos a partir del extracto SAFE. .. 82
Figura 12: Cantidad de compuestos activos olfativamente en frutas de madurez fisiológica y madurez organoléptica 83

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1: Resumen del análisis de varianza de los efectos principales y de las interacciones de las condiciones de almacenamiento (A) y el estado de madurez (M) en los componentes fisicoquimicos de la lucuma y del color de pulpa durante la maduración post-cosecha..... 119
ANEXO 2: Resumen del análisis de varianza de los efectos principales y de las interacciones de las condiciones de almacenamiento (A) y el tiempo (T) de la lúcuma durante la maduración post-cosecha..... 119
ANEXO 3: Resumen del análisis de varianza de los efectos principales y de las interacciones de las condiciones de almacenamiento (A) y el estado de madurez (M) en los metatabolitos primarios y secundarios durante la maduración post-cosecha..... 120
ANEXO 4: Resumen del análisis de varianza de los efectos principales y de las interacciones de las condiciones de almacenamiento (A) y del estado de madurez (M) en la capacidad antioxidante e hipoglucemiante..... 121
ANEXO 5: Espectros de masa de compuestos polares determinados por GC-MS..... 122

RESUMEN

Pouteria lucuma es una fruta climatérica, de aroma y sabor agradable, siendo el Perú el principal productor y exportador de esta fruta, no se han estudiado condiciones de almacenamiento post-cosecha que permitan mantener sus propiedades funcionales y sensoriales. Los objetivos de la investigación fueron evaluar la evolución de características fisicoquímicas, metabolitos, capacidad antioxidante y actividad hipoglucemiante, así como los componentes aromáticos, durante la maduración post-cosecha, en dos condiciones de almacenamiento; ambiente (CA; 29 °C y 70 por ciento HR) y cámara climatizada (CC; 15 °C y 90 por ciento HR). En relación a las características fisicoquímicas, el estado de madurez influyó en la acidez, pH, azúcares reductores, almidón, pectina, fibra dietaría, firmeza y color L* a* y hº de la pulpa. El tipo de almacenamiento influyó en los parámetros L* a* y hº del epicarpio, los sólidos solubles fueron mayores en el almacenamiento en condiciones ambientales; en donde también, se obtuvo las mayores pérdidas de peso y calibre. Respecto a las condiciones de almacenamiento la glucosa es el único metabolito que se incrementa en almacenamiento en cámara; mientras que la fructosa, los azúcares alcohol y los aminoácidos (Ala y Val), presentan valores superiores a condiciones ambientales; la sacarosa, ácidos orgánicos, aminoácidos (Tyr, Glu, Asp y Thr), β-caroteno, compuestos fenólicos totales y carotenoides totales no varían según la condición de almacenamiento. Asimismo, la medida de la capacidad antioxidante y la actividad hipoglucemiante disminuyeron significativamente ($p<0.05$), mostrando ser afectadas solo por el estado de madurez. Se identificó los compuestos volátiles 2,3-butanodiona, metional, (Z) -3-hexenal, (E) -2-hexenal, (Z) -β-ocimeno y el ácido 3-metil butanoico como los compuestos clave del aroma de la lúcuma, al exhibir los valores más altos de OAV (> 1). Los resultados indicarían que el estado de madurez respecto a la condición de almacenamiento tiene efecto sobre la evolución de la mayoría de los metabolitos primarios y secundarios, así como en las características fisicoquímicas.

Palabras clave: OAV (Olor Activity Value), AEDA (Aroma Extract Dilution Analysis), metabolitos, IC_{50} (concentración inhibitoria media máxima).

ABSTRACT

Pouteria lucuma is a climacteric fruit, with a pleasant aroma and flavor, with Peru being the main producer and exporter of this fruit, without having studied the storage conditions after harvest that maintain its functional and sensory properties. The objectives of this investigation were to evaluate the evolution of some physicochemical characteristics, metabolites, antioxidant capacity and hypoglycemic activity, as well as aromatic components, during post-harvest ripening, in two storage conditions; ambient (AC; 29 °C and 70 percent RH) and climatic chamber (CC; 15 °C and 90 percent RH). In relation to the physicochemical characteristics, the state of maturity influenced the acidity, pH, reducing sugars, starch, pectin, dietary fiber, firmness and the color parameters L * a * and hº of the pulp. On the other hand, the storage condition influenced the parameters L * a * and hº of the epicarp, the soluble solids were greater in the storage in ambient conditions, where the greatest weight and gauge losses were obtained with respect to that of chamber storage. Regarding storage conditions, glucose is the only metabolite that increases in chamber storage; while fructose, sugar alcohol and aminoacids (Ala and Val), have higher values than ambient conditions; sucrose, organic acids, amino acids (Tyr, Glu, Asp and Thr), β-carotene, total phenolic compounds and total carotenoids not changed according to storage condition. Likewise, the measure of antioxidant capacity and hypoglycemic activity decreased significantly ($p < 0.05$) showing being affected only by the state of maturity. Volatile compund 2,3-butanedione compounds, metional, (Z) -3-hexenal, (E) -2-hexenal, (Z) -β-ocimeno and 3-methyl butanoic acid were identified as the key compounds of lucuma aroma, exhibiting the highest OAV values (> 1). The results would indicate that the state of maturity with respect to the storage condition has an effect on the evolution of most primary and secondary metabolites, as well as on the physicochemical characteristics.

Keywords: OAV (Olor Activity Value), AEDA (Aroma Extract Dilution Analysis), metabolites, IC_{50} (half maximal inhibitory concentration).

El contenido completo está bajo embargo provisional, hasta la recepción del ejemplar impreso. Esto debido a la restricción de atención presencial por el COVID-19