

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD

DEL CUSCO

ESCUELA DE POSGRADO

***Maestría en Ciencia y Tecnología de
Alimentos***



**ISOTERMAS DE ADSORCIÓN, CAPACIDAD
ANTIOXIDANTE Y COLOR DE LA HARINA DE DOS
VARIEDADES DE PAPA
NATIVA (*Solanum tuberosum*)**

Tesis presentada por: Br. Yovana Cartagena Gordillo

**Para obtener el grado académico de Maestro en Ciencia y
Tecnología de Alimentos**

Asesor: Dr. David Choque Quispe

CUSCO - PERÚ, 2022

DEDICATORIA

A mi querido esposo Hernán quien fue el que impulso con su perseverancia y constancia quien siempre estuvo ahí en los momentos difíciles dándome fuerzas y ánimo para obtener mi grado esperado. A mis Adoradas Hijas Milagros y Mayte quienes son el motor de mi vida

A mi madre Sabina por haberme apoyado en todo momento, con sus consejos, valores, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, a mis hermanos Eliana, Alex y Arcelia por sus ánimos, apoyo, cariño y amor. También dedico a mi padre Ignacio y mi hermano Herbeth que siempre velaran y me guardan desde el cielo

AGRADECIMIENTO

Mi agradecimiento a Dios que me ha dado la fortaleza de seguir adelante y Alcanzar los logros propuestos.

Agradecimiento A los docentes de la Escuela de Post Grado, Maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, por sus importantes enseñanzas y acogernos en sus aulas. A la Dra. Mery Luz Masco Arriola, Dra. Amanda Rosa Maldonado Farfán, Mgt. Yolanda Callo Choquevilca, Dr. Nicolas Caceres Huambo por las enseñanzas impartidas.

A mi Asesor, Mgt. David Choque
Quispe por hacer posible la
Culminación del presente Trabajo de
Investigación.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	viii
ABSTRACT	x
CAPITULO I - PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.1. SITUACIÓN PROBLEMÁTICA	1
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	2
1.3. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	3
1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	4
CAPITULO II - MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL	5
2.1. LA PAPA NATIVA	5
2.2. HARINA DE PAPA	11
2.3. ISOTERMAS DE SORCIÓN	14
2.4. ANTIOXIDANTES	23
2.5. COLOR DE ALIMENTOS	29
2.6. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	36
2.7. MARCO CONCEPTUAL	39
CAPITULO III - HIPÓTESIS Y VARIABLES	41
3.1. HIPÓTESIS	41
3.2. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES	41
3.3. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	42
CAPITULO IV – MATERIALES Y MÉTODOS	44
4.1. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN	44
4.2. ÁMBITO DE ESTUDIO	45
4.3. POBLACIÓN DE ESTUDIO	45
4.4. UNIDAD DE ANÁLISIS	45
4.5. TAMAÑO DE MUESTRA	46
4.6. TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN	46
4.6.1. Preparación y acondicionamiento de la materia prima	46
4.6.2. Obtención de la harina de papa	46
4.7. TÉCNICAS DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LA INFORMACIÓN	47

4.7.1. Determinación de las isothermas de adsorción	47
4.7.2. Determinación de capacidad antioxidante	50
4.7.3. Determinación del color	54
4.8. TÉCNICAS DE PRUEBA DE HIPÓTESIS	55
4.8.1. Diseño experimental	55
4.8.2. Prueba de diferencia significativa	56
4.8.3. Prueba de comparación múltiple	57
4.8.4. Prueba de correlación de Pearson	57
CAPITULO V - RESULTADOS Y DISCUSIÓN	60
5.1. ISOTERMAS DE SORCIÓN	60
5.2. CAPACIDAD ANTIOXIDANTE DE LA HARINA DE PAPA	70
5.3. EVALUACIÓN DEL COLOR	73
CONCLUSIONES	80
RECOMENDACIONES	82
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	83
ANEXOS	98

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Composición proximal de la papa.....	6
Tabla 2 Papas nativas - variedades	9
Tabla 3 Modelos matemáticos para ajuste de isothermas de adsorción	21
Tabla 4 Clasificación de los modelos de ensayo	28
Tabla 5 Relación entre el juicio del observador y ΔE^*_{ab}	32
Tabla 6 Operacionalización de variables	43
Tabla 7 Datos para la curva de calibración de la capacidad antioxidante	53
Tabla 8 Matriz de diseño de la investigación	56
Tabla 9 Humedad de equilibrio para la variedad Rojo I	63
Tabla 10 Humedad de equilibrio para la variedad Morada	63
Tabla 11 Estadígrafos de modelos de isothermas – Variedad Rojo I	65
Tabla 12 Estadígrafos de modelos de isothermas – Variedad Morada	66
Tabla 13 Parámetros de los modelos de isothermas	68
Tabla 14 Calor isostérico de sorción a sus humedades	70
Tabla 15 Capacidad antioxidante de la papa nativa Rojo I y Morada	72
Tabla 16 Color $L^* a^* b^*$ para las papas nativas	74
Tabla 17 Diferencia de color entre la harina y papa fresca.....	76
Tabla 18 Croma y Tono para las papas nativas	77
Tabla 19 Índice de color de las papas nativas	78
Tabla 20. Correlación de parámetros de color y capacidad antioxidante	79

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2. Cinco tipos de isothermas de adsorción de Van der Waals	16
Figura 3 Isothermas de adsorción y desorción e histéresis.....	18
Figura 4 Actividad neutralizante de radicales libres.....	25
Figura 5 Sitios de unión de iones metálicos en la molécula de polifenol.....	27
Figura 6 Representación en el plano horizontal del espacio de color $L^* a^* b^*$.	30
Figura 7 Representación tridimensional del espacio de color $L^* a^* b^*$	30
Figura 8 Diferencia del color en el espacio $L^* a^* b^*$	31
Figura 9 Diagrama de cromaticidad	33
Figura 10 Flujograma para la capacidad antioxidante	52
Figura 11 Isothermas de sorción experimental de la harina - Variedad Rojo I ...	61
Figura 12 Isothermas de sorción experimental de la harina - Variedad Morada	61
Figura 13 Isothermas de sorción modeladas para la harina - variedad Roja I ...	64
Figura 14 Isothermas de sorción modeladas para la harina - variedad Morada.	66
Figura 15 Variación del calor isostérico para las harinas de papa	70
Figura 16 Capacidad antioxidante de la papa Fresca y Harina	73
Figura 17 Coordenadas $L^* a^* b^*$ de la papa fresca y en harina.....	76

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

%E, error medio relativo

%I, porcentaje de inhibición

%IE, índice de estabilidad

ΔE^* , diferencia de color a^* , croma a

b^* , croma bC^* , croma

DCA, diseño completo al azar DPPH, 2,2-difenil-1-picrilhidrazilh, ángulo de cromaticidad

H, tono del color

IA, Índice de amarillo/azul $I C^*$, índice de color

L^* , Luminosidad

q_{st} , calor isostérico de sorción R^2 , coeficiente de determinación

r_s , coeficiente de correlación de Pearson TE, Equivalente Trolox

X_e , humedad de equilibrio

RESUMEN

El objetivo de la investigación fue evaluar las isoterma de adsorción, capacidad antioxidante y color de la harina de dos variedades de papa nativa (*Solanun tuberosum*), se utilizaron clones de papas nativas de la variedad Roja I y Morada 308837-230D procedentes de los campos de cultivo del Centro Poblado de Champacocha, del distrito de Andahuaylas. Las isotermas de adsorción para la harina de papa fueron evaluadas a través del método estático gravimétrico a las temperaturas de 20, 25, 30 y 40°C evaluándose la humedad de equilibrio (X_e), mientras que la Capacidad Antioxidante (CA) se determinó a través del método DPPH, y se determinó el color $L^* a^* b^*$, y la diferencia de color ΔE^*_{ab} ; el análisis estadístico de los datos obtenidos fueron evaluados a un nivel de significancia del 5%. Se observó que las isotermas de adsorción para la harina de papa de la variedad Roja I y Morada correspondieron a las del tipo II (sigmoideas), disminuyendo X_e con el aumento de la temperatura de sorción, con diferencias significativas ($p\text{-value} < 0.05$), en el modelado se observó que el modelo GAB y Peleg se ajustaron en mejor medida para ambas variedades de harina ($R^2 > 0.99$), observándose que los parámetros X_m , $CGAB$, $KGAB$ presentan tendencia lineal con la temperatura, y que el calor isostérico de sorción vario de 25.73 a 6.95 kJ/mol y 17.38 a 7.53 kJ/mol para humedades entre 5.0 a 30% a sus respectivas a_w para la variedades Roja I y Morada respectivamente. Por otra parte, la CA presento diferencias significativas ($p\text{-value} < 0.05$) entre la papa fresca y harina para la variedad Roja I presentando valores de 394.40 ± 3.61 $\mu\text{mol Trolox}/100$ g y 443.70 ± 1.62 $\mu\text{mol Trolox}/100$ g respectivamente, las cuales fueron son relativamente menores en comparación a la variedad Morada que resulto en 413.25 ± 1.96 $\mu\text{mol Trolox}/100$ g y 455.65 ± 0.55 $\mu\text{mol Trolox}/100$ g

para papa fresca y harina respectivamente. Asimismo, se observó que el color de las harinas de papa y sus pulpas, presentan bajos valores de L^* disminuyendo para la variedad Roja I de 28.35 ± 0.36 a 16.39 ± 0.20 y la variedad Morada se incrementa notablemente de 9.85 ± 0.65 a 16.58 ± 0.16 para la papa fresca y harina respectivamente; el croma a^* en ambos casos tiende al rojo, mientras que el croma b^* presento tendencia al azul, en cuanto al ΔE^*_{ab} se observó que existe disminución extraordinaria.

Palabras clave: papa variedad roja, papa variedad morada, humedad de equilibrio, capacidad antioxidante, color $L^* a^* b^*$, isothermas de adsorción.

ABSTRACT

The objective of the research was to evaluate the adsorption isotherm, antioxidant capacity and color of the flour of two varieties of native potato (*Solanum tuberosum*), native potatoes of the variety Red I and Purple 308837-230D varieties from the cultivation fields of the Centro Poblado were used. From Champacocha, from the Andahuaylas district. The adsorption isotherms for potato flour were evaluated through the static gravimetric method at temperatures of 20, 25, 30 and 40 ° C, evaluating the equilibrium humidity (X_e), while the Antioxidant Capacity (AC) was determined through the DPPH method, the color $L^* a^* b^*$ was determined, and the color difference ΔE^*_{ab} ; the statistical analysis of the data obtained were evaluated at a significance level of 5%. It was observed that the adsorption isotherms for the potato flour of the Red I and Purple varieties corresponded to those of type II (sigmoid), X_e decreasing with the increase in sorption temperature, with significant differences (p-value <0.05), in the modeling it was observed that the GAB and Peleg models were better adjusted for both varieties of flour ($R^2 > 0.99$), observing that the parameters X_m , CGAB, KGAB present a linear trend with temperature, and that the isosteric heat of Sorption varied from 25.73 to 6.95 kJ/mol and 17.38 to 7.53 kJ/mol for humidities between 5.0 and 30% at their respective a_w for the Red I and Purple varieties respectively. On the other hand, the AC presented significant differences (p-value <0.05) between the raw potato and flour for the Red I variety presenting values of $394.40 \pm 3.61 \mu\text{mol Trolox}/100 \text{ g}$ and $443.70 \pm 1.62 \mu\text{mol Trolox}/100 \text{ g}$ respectively, which were they are relatively minor compared to the Morada variety, which resulted in $413.25 \pm 1.96 \mu\text{mol Trolox}/100 \text{ g}$ and $455.65 \pm 0.55 \mu\text{mol Trolox}/100 \text{ g}$ for raw potatoes and flour respectively. Likewise, it was

observed that the color of potato flours and their pulps, present low values of L^* decreasing for the Red I variety from 28.35 ± 0.36 to 16.39 ± 0.20 and the Purple variety increases notably from 9.85 ± 0.65 to 16.58 ± 0.16 for raw potato and flour respectively; chroma a^* in both cases tends to red, while chroma b^* shows a tendency to blue, as for the ΔE^*_{ab} it was observed that there is an extraordinary decrease.

Keywords: red variety potato, purple variety potato, equilibrium humidity, antioxidant capacity, color $L^* a^* b^*$, adsorption isotherms.

CAPITULO I - PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. SITUACIÓN PROBLEMÁTICA

Las especies nativas cultivadas en nuestro país, como tubérculos nativos por ejemplo la papa, son fuente de derivados como resultado de la transformación que pueden sufrir, dentro de ellos como harina (Egusquiza, 2008), permitiría el incremento del valor y demanda en el mercado local e internacional.

Apurímac y sus provincias, tiene potencialidades en cuanto se refiere al cultivo de papa nativa (Gómez *et al.*, 2008), y esta es utilizada por los pobladores de dichas zonas, y en otros casos son comercializados en forma de tubérculo, y es casi nula la transformación que se realiza a este, siendo así necesario estudiar el comportamiento de la harina de este tubérculo durante su almacenamiento y esto a través del estudio de las isothermas de adsorción, así como la capacidad antioxidante y el color que está presenta.

En la actualidad existe una alta demanda de productos naturales con mínima transformación, dentro de ellos podríamos mencionar a la harina de papa, sobre todo de variedades nativas, las cuales por su peculiaridad son estacionales, además de producirse por encima de los 3000 msnm.

La transformación del tubérculo de papa nativa en harina, permitiría la disponibilidad permanente del producto en el mercado, sin embargo su almacenamiento estaría asociado a las condiciones de almacenamiento del ambiente ya sea que estos estén empacadas o en granel, por ello una forma de conocer el comportamiento de la harina de papa frente a las condiciones ambientales es estudiar las isothermas de adsorción, que permitiría conocer la

humedad de equilibrio y la actividad del agua de este producto.

Otro aspecto importante de las papas nativas es la coloración que estas presentan, que van desde amarillos intensos hasta violetas intensos (Fonseca *et al.*, 2014), estas coloraciones se deben a la presencia de compuestos bioactivos (Reyes y Cisneros-Zevallos, 2003) cuya función en los alimentos es de presentar actividad antioxidante (Zheng y Wang, 2003).

Los cambios bruscos de coloración podrían indicar degradación de los compuestos bioactivos por efectos de los procesos de transformación, por lo que sería una medida indirecta de la variación de la capacidad antioxidante, por otra parte la coloración de los alimentos es un atributo perceptible y crítico a la hora de ser consumido; por ello es imprescindible conocer el color de la harina de papa, la cual es cuantificable a través de la luminosidad L^* , el croma a^* cuya tonalidad varía de rojo a verde y el croma b^* que varía de amarillo a azul

En ese sentido el objetivo del proyecto de investigación fue evaluar la isoterma de adsorción, capacidad antioxidante y color de la harina de dos variedades de harina de papa nativa (*Solanum tuberosum*).

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Problema general

¿Cuáles son las características de adsorción, capacidad antioxidante y color de la harina de dos variedades de papa nativa (*Solanum tuberosum*)?

Problemas específicos

- ¿Cómo será el comportamiento de las isotermas de adsorción de la harina

de clones de papa nativa de las variedades Roja I y Morada 308837-230D (Solanun tuberosum) a diferentes temperaturas?

- ¿Cuál es la capacidad antioxidante de la harina de clones de papa nativa de las variedades Roja I y Morada 308837-230D en comparación con la papa fresca?
- ¿Cómo será el color $L^* a^* b^*$ de la harina de clones de papa nativa de las variedades Roja I y Morada 308837-230D en comparación con la papa fresca?

1.3. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Apurímac es una de las regiones que se destaca por la producción y comercialización de papa sobre todo nativas, debido a sus condiciones agroecológicas favorables para su cultivo, siendo este producto el sustento económico de los pobladores que la cultivan en la zona, por ello que la transformación de este tubérculo permitiría mejorar la comercialización de este producto, y fortalecer la cadena productiva de la papa nativa, siendo una alternativa de transformación la harina de papa nativa.

El Perú al ser un país mega diverso, posee más de 2000 variedades de papas entre nativas y clones (Fonseca et al., 2014), las cuales presentan coloraciones o tonalidades que van desde el color blanco hasta el morado, esto se debe a la presencia de sustancias denominadas funcionales, que entre otras funciones actúan como secuestradores de radicales libres, causantes de la oxidación celular y por ende del envejecimiento y adquisición de males o enfermedades.

Los productos derivados como la harina de papa nativa, permite su industrialización

y potenciar su producción, sin embargo, es necesario conocer el comportamiento de su humedad de equilibrio y actividad de agua, lo cual es posible a través de las isothermas de sorción, asimismo de qué manera se afectaría su capacidad antioxidante y el color de este tubérculo transformado en harina.

1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

Objetivo general

Determinar los modelos de isothermas de adsorción, capacidad antioxidante y color de la harina de dos variedades de papa nativa (*Solanun tuberosum*).

Objetivos específicos

- Establecer el modelado de las isothermas de adsorción de harina de clones de papa nativa de las variedades Roja I y Morada 308837-230D a diferentes temperaturas
- Determinar la capacidad antioxidante de harina de clones de papa nativa de las variedades Roja I y Morada 308837-230D, en comparación con la papa fresca.
- Evaluar el color L^* a^* b^* de harina de clones de papa nativa de las variedades Roja I y Morada 308837-230D, en comparación con la papa fresca.

CAPITULO II - MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

2.1. LA PAPA NATIVA

La existencia de una rica biodiversidad de la papa en la región andina, cuya domesticación se inició hace 7,000 años AC, es producto de una cultura andina que ha conservado sus recursos por varias generaciones y actualmente constituyen un importante legado para la humanidad. En esta diversidad se distinguen variadas formas, colores, texturas y sabores, que han sido apreciadas por las familias rurales por siglos, y en la actualidad también son apreciadas por los pobladores urbanos, lo que ha incrementado su demanda comercial. A pesar de esto, las propiedades nutricionales de las papas nativas todavía son poco estudiadas, no muy conocidas y mínimamente difundidas (Fonseca et al. 2014).

Según investigaciones confirmadas recientemente, el origen de la papa, especie *Solanum tuberosum*, se centra en la parte norte del lago Titicaca, sur del Perú (Spooner et al., 2005). Actualmente, la subespecie *Solanum tuberosum* es el cuarto cultivo de mayor importancia en el mundo después del arroz, el trigo y el maíz, y se cultiva en más de 130 países, así en el año 2005 cubrió una superficie de 18.652.381 hectáreas a nivel mundial (FAO, 2005).

El CIP (Centro Internacional de la Papa) mantiene en custodia 4732 variedades, de las cuales 2700 corresponden al Perú. Esta rica biodiversidad constituye desde hace cuarenta años la fuente primordial para la generación de nuevas variedades resistentes a enfermedades severas como el tizón tardío (*Phytophthora infestans*) y actualmente estas variedades nativas son la base para la generación de variedades con concentraciones altas de vitamina C, de micronutrientes esenciales (hierro y zinc) y de antioxidantes (compuestos fenólicos y otros). Este material es

una importante base para responder a la inseguridad alimentaria, el déficit nutricional presente en los países en desarrollo y contribuir a la prevención de ciertas enfermedades crónicas (Fonseca et al., 2014).

Las papas nativas Poseen excelentes sabores, formas variadas, atractivos colores y diferentes tamaños y texturas. Se han encontrado altos contenidos de proteínas en algunas variedades de papa nativa. Hoy en día, la papa representa una de las contribuciones más importantes de la región andina almundo entero, por ser uno de los cultivos alimenticios más consumidos y apreciados (Gijarro, 2008). En la Tabla (1) se muestra los principales componentes de la papa común y criolla.

Tabla 1

Composición proximal de la papa

Componentes	Papa blanca	Papa criolla
Agua (%)	76.7	75.5
Proteínas (%)	1.9	2.5
Grasas (%)	0.1	0.1
Carbohidratos (%)	19.3	18.7
Fibra (%)	1.0	2.2
Cenizas (%)	1.0	1.0

Fuente: Angulo et al. (2006)

En los andes peruanos existen grupos de pequeños productores que han permitido mantener una la diversidad de la papa nativa, de manera sostenible (Fonseca et al., 2014).

2.1.1. Clasificación taxonómica de la papa

La papa presenta la siguiente clasificación taxonómica (Quilca, 2007).

Familia: Solanaceae.

Género: Solanum.

Sub género: Potatoe.

Sección: Petota. Serie: Tuberosa.

Especies: phureja, andigenum.

Nombre común: papa, patata.

2.1.2. Variedades de papas nativas

Taxonómicamente en el Perú se reconocen nueve especies de papas cultivadas (Ochoa, 1999) que han dado lugar a subespecies y numerosas variedades que se estiman en más de tres mil, dispersas en todo el país.

Existen diferentes puntos de vista en cuanto al número de especies de papa cultivada. La taxonomía formal de Ochoa (1999), reconoce 9 especies; la de Hawkes (1990), 7 especies y subespecies; y la de Huamán y Spooner (2002), 1 especie con 8 grupos taxonómicos. El Centro Internacional de la Papa (CIP) comúnmente considera la clasificación de 8 especies cultivadas. En el departamento de Huancavelica se encuentran 7 de ellas.

Según el catálogo de variedades de papas nativas del Perú, realizado por el año internacional de la papa (Gómez et al., 2008), existen alrededor de 50 variedades de papas nativas prometedoras desde el punto de vista comercial.

Moreno (2008), informan de los resultados sobre crecimiento, producción y calidad de los tubérculos de papa de diversos clones cultivados en condiciones climáticas contrastantes de Costa (a 230 m.s.n.m.) y de Sierra (a 3,230 m.s.n.m.) en el Perú

Fonseca *et al.* (2014), muestran algunas de las variedades: **Amachi** (*Solanum tuberosum* subesp. Andigena), **Azul sunqu** (*Solanum tuberosum* subesp. Andigena), **Caspas** (*Solanum tuberosum* subesp. Andigena), **Gaspar** (*Solanum cahucha*), **Kuchiaka** (*Solanum stenotomum*), **Leona** (*Solanum tuberosum* subesp. Andigena), **Muru millcu** (*Solanum tuberosum* subesp. Andigena), **Pichi Cullma** (*Solanum stenotomum*), **Puka simi** (*Solanum tuberosum* subesp. Andigena), **Qequrani** (*Solanum stenotomum*), **Qulli Sullu** (*Solanum stenotomum*), **Winqu o Wenccos** (*Solanum stenotomum*), **Yana puma makin** (*Solanum tuberosum* subesp. Andigena), **Yawar wayku** (*Solanum stenotomum*)

En la Tabla 2, se presenta algunas variedades de papas nativas de acuerdo a su comercialización (Gómez *et al.*, 2008).

Tabla 2

Papas nativas - variedades

Comúnmente comerciales	Nombres alternativos	Región de procedencia
Amarilla Tumbay	Tumbay, Papa Amarilla.	Huánuco
Huamantanga	Puja Suytu.	Ayacucho, Apurímac
Peruanita	Jilguero, Milagro	Huánuco, Junín.
Semicomerciales		
Camotillo	Camotilla, Garhuash, Karwash	Junín y Huánuco
Qompis	Puka Qompis, Papa Rosada	Cusco y Apurímac
Yana Pumamaqui	Pumamaki, Pumaqa Makin	Ancash y Junín
Yuraq Imilla	Imilla Blanca, Yuraq Qompis	Puno y Apurímac
Con potencial de mercado		
Amarilla	Amarilla, Choines	Huánuco
Huarina	Rukupá Punkan Huánuco	Junín
Leona	Bolona negra	Cajamarca
Qeqorani	Azul sonqo, qeqerana	Cusco, Apurímac
Yana warki	Warmanpa uman	Ayacucho, Apurímac

Fuente: Gómez *et al.* (2008)

Egúsqüiza *et al.* (2008), presenta un catálogo de papas nativas cultivadas en la provincia de Cusco, de acuerdo a los nombres en quechua más utilizados, que a continuación se presenta:

- Alq'a boli
- Alq'a charkawaylla
- Alq'a q'ompis
- Alq'a viruntus
- Alq'a wayruru
- Ancash waña
- Anis p'itikiña
- Chiri rinka p'itikiña
- Chunchi
- Combi
- Fotis
- kalis q'ero
- K'anchali waña
- khasa boli
- kuchi runtu
- Kuchillo pak'i
- Kuntur runtu
- Kusipata puywan
- Maqt'illo
- Miski panti
- Moro ch'uruspi
- Moro k'usi
- Moro puma maki
- Moro puywan
- Moro viruntus
- Moro wamanero
- Moro waña
- Moro wayru
- Moro willkas
- Ñawpa yuraq k'usi
- Oqe choqlluscha
- Oqe kuchi agacha
- Oqe ñawpa viruntus
- Oqe viruntus
- Orq'o k'usi
- Orq'o yana boli
- Phaspa shuncho
- Phusi k'achun waqachi
- Phusi puywan
- Phusi wamanero
- Pirwanita
- Puka boli
- Puka alq'a q'ompis
- Puka ambrosio
- Puka ch'apiña
- Puka ch'urospi
- Puka k'achun waqachi
- Puka kuchi akacha
- Puka mama
- Puka moro chiwako
- Puka moro p'itikiña
- Puka ñawi chiwako
- Puka p'itikiña
- Puka viruntus
- Puka wayru
- Puku boli
- Q'ello llontoscha
- Q'ello lomonche
- Q'ello puywan
- Q'ello viruntus
- Q'ello wankarani
- Qeq'orani
- Q'era boli
- Q'era q'ompis
- Q'era soq'o waqoto
- Q'owi sullu
- Sawasiray
- Solischa
- Soq'o waqoto
- Sorci virite
- T'ika boli
- T'ika moro p'itikiña
- T'ika moro wayru
- T'ika wamanero
- Unch'una
- Valeriana waña
- Waka waqra
- Walaychu
- Wallata chaki
- Wallata runtu
- Wallatas
- Wanako q'ompis
- Wawa jañuk'ana
- Yana boli
- Yana ch'apiña
- Yana ch'aska
- Yana ch'uros
- Yana ch'urospi
- Yana combi
- Yana k'achun waqachi
- Yana k'usi
- Yana llama senq'a
- Yana lloq'e bastuncha
- Yana mama
- Yana moro boli
- Yana moro chiwaku
- Yana orq'o boli
- Yana phuña
- Yana p'itikiña
- Yana puma maki
- Yana q'ompis
- Yana soq'o
- Yana soq'o waqoto
- Yuraq boli
- Yuraq
- Yuraq ñawicharkawaylla
- Yuraq ñawpa k'usi
- Yuraq waña
- Yuraq willkas
- Zapatilla k'usi
- Papas nuevas
- Alianza
- Andina
- Carlitos
- CICA
- Mantaro
- Perricholi

2.2. HARINA DE PAPA

El proceso de deshidratación de papa tiene su origen en Alemania, en 1917 el proceso de secado fue traído a América desde Alemania, así en los Estados Unidos y Europa se procesaban harinas de tubérculos para alimentación de animales su proceso consistió en tener las papas cortadas en rodajas y estas estaban en contacto directo con gases calientes de un horno, los pedazos deshidratados fueron molidos a harina fina. Durante La Segunda Guerra Mundial se expandió la producción de harina de papa cuando se ofreció al público como sustituto de la harina de trigo, en la actualidad en muchos países del mundo realizan una serie de investigaciones con respecto a este tipo de harina, elaborándose con ellos panes, tortas, bollos, galletas, bebidas proteicas, como agentes espesante de sopas, mezclas alimenticias y otros (Moreyra y García, 1977).

La harina de papa, según Yadav et al. (2006), presenta gran versatilidad, funciona como mejorador de sabor y color, es utilizada como espesante y ha comenzado a irrumpir en los productos, sobre todo como sustituto en la elaboración de pan hasta nivel del 30 (Cerón et al. 2011, Greene y Bovell- Benjamin, 2004).

El componente mayoritario de la harina de papa es el almidón, un biopolímero formado por residuos de D-glucosa unidos mediante enlaces glucosídicos y constituye el producto final de la fijación fotosintética del CO₂ atmosférico, es el principal polisacárido de reserva sintetizado por las plantas superiores (Beynum y Roels, 1985). Es un componente importante de un gran número de productos agrícolas como los cereales (maíz, trigo, arroz, cebada) en los cuales el contenido de almidón es de 30-80%, leguminosas (frijoles, chícharos, haba) con 25-50%,

tubérculos (papa, tapioca) con 60-90%, y algunos frutos en estado fisiológico maduro (mango, plátano) los cuales pueden contener hasta un 70 % en base seca de este carbohidrato (Núñez et al, 2004).

Se encuentra en forma de gránulos insolubles en las semillas o granos, tubérculos, raíces y tallos de las plantas, de las cuales constituye su principal forma de reserva energética que es utilizada durante los periodos de dormancia, germinación y crecimiento de las plantas (Wang et al., 2007).

Debido a las propiedades fisicoquímicas y funcionales que presenta la harina se utiliza en diferentes industrias como la de alimentos, farmacéutica, textil y petrolera. Sin embargo, las propiedades fisicoquímicas que presentan los almidones están gobernadas por el contenido de sus dos polisacáridos constituyentes: amilosa y amilopectina, así como a la organización de estos dos polímeros en el interior del gránulo. Una propiedad del almidón en relación a su funcionalidad en los alimentos es la habilidad para absorber agua durante su calentamiento, lo cual resulta en la gelatinización y pérdida de la organización granular (Blazek y Copeland, 2007).

2.2.1. Usos de la harina de papa

Casi todas las industrias han encontrado algún uso para la harina, en la industria de alimentos, ha sido utilizado para impartir propiedades funcionales a los alimentos, tales como: agente espesante, encapsulante, impartir sabor, como relleno, etc.

La harina es utilizada en sopas enlatadas, postres, helados, carnes procesadas, salsas, productos horneados, entre otros, También puede ser convertido en

azúcar; es utilizado para fabricar edulcorantes, jarabes y enzimas para la producción de glutamato monosódico, un potenciador de sabor. El uso de la harina en las industrias no alimenticias es tan diverso como en la industria alimenticia, los principales usos incluyen las industrias: textil, papel, adhesivos y farmacéutica (Fuglie y Oates, 2001).

2.2.2. Compuestos bioactivos en la papa

Se ha demostrado que muchos de los pigmentos que dan color a los alimentos naturales contienen muchos de los compuestos que parecen combatir enfermedades degenerativas del cuerpo humano y que a su vez brindan efectos benéficos para la salud y el bienestar del hombre. Entre los fitonutrientes se encuentran las siguientes sustancias químicas: flavonoides, carotenos, antocianinas, terpenos, entre muchos otros (<http://www.bio.puc.cl/vinsalud/boletin/41polifenoles.htm>, 2014).

a. ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE

Los compuestos fenólicos de la papa muestran una fuerte actividad antioxidante, especialmente los que están en su piel. Su presencia es mayor en papas de piel roja que en las de color café (Lister y Monro, 2000).

b. PROPIEDADES ANTICANCERÍGENAS

El ácido clorogénico, un compuesto encontrado en la papa, ha sido reportado como una sustancia que controla algunos procesos envueltos en la iniciación del cáncer (Lister y Monro, 2000).

c. PROPIEDADES REDUCTORAS DE GLUCOSA

Los fenoles de la papa, legumbres y cereales, han mostrado que reducen los niveles de glucosa presentes en la sangre, según estudios realizados sobre alimentos diabéticos y no diabéticos (Lister y Monro, 2000).

d. EFECTOS SOBRE EL COLESTEROL

Pruebas de laboratorio han reportado que el ácido clorogénico y otros fenoles tienen una fuerte actividad antioxidante sobre lipoproteínas que se relacionan directamente con enfermedades cardíacas. Otros estudios realizados con ratas muestran cómo el consumo de la cáscara de papa redujo los niveles de colesterol en la sangre (Lister y Monro, 2000).

2.3. ISOTERMAS DE SORCIÓN

La isoterma de adsorción se define como la relación entre la actividad de agua (o la humedad relativa de equilibrio de aire circundante) y el contenido de humedad de un material en equilibrio a temperatura constante, la cual se obtiene cuando el proceso de equilibrio parte de una muestra húmeda o seca, y a esta se le permite equilibrarse con la humedad del aire circundante perdiendo o ganando humedad, reflejando así, la forma como el agua se liga al sistema (Fuentes, 1996). La relación entre el contenido de agua y la actividad acuosa o la presión de vapor relativa es conocida como isoterma de adsorción (Badui, 2001).

Las características de adsorción de los materiales alimentarios son esenciales para diseñar, modelar y optimizar muchos procesos tales como el secado, la aireación y el almacenamiento de alimentos (Trujillo et al, 2003).

Su importancia para la ciencia de los alimentos se basa en la capacidad para predecir potenciales cambios en la estabilidad de los productos, a la vez de ser útiles para seleccionar empaques e ingredientes por predecir la humedad máxima a permitir durante el almacenamiento (Madigan, 2003)

La presencia y el estado del agua en un material son descritos por el contenido de agua en equilibrio y la actividad de agua de un alimento. Los fenómenos importantes en el procesamiento de alimentos están relacionados más a la actividad de agua que al contenido de agua (Heldman y Lund, 2007).

La adsorción de agua ocurre inicialmente por formación de una monocapa en la superficie del producto seguida de una adsorción en multicapa. La adsorción en multicapa de agua consiste en la captación de agua en los poros y espacios capilares, disolución de solutos, y finalmente en el atrapamiento mecánico de agua. Estas fases pueden traslaparse y difieren entre los distintos tipos de alimentos, dependiendo de su composición y estructura. (Barbosa, 1997)

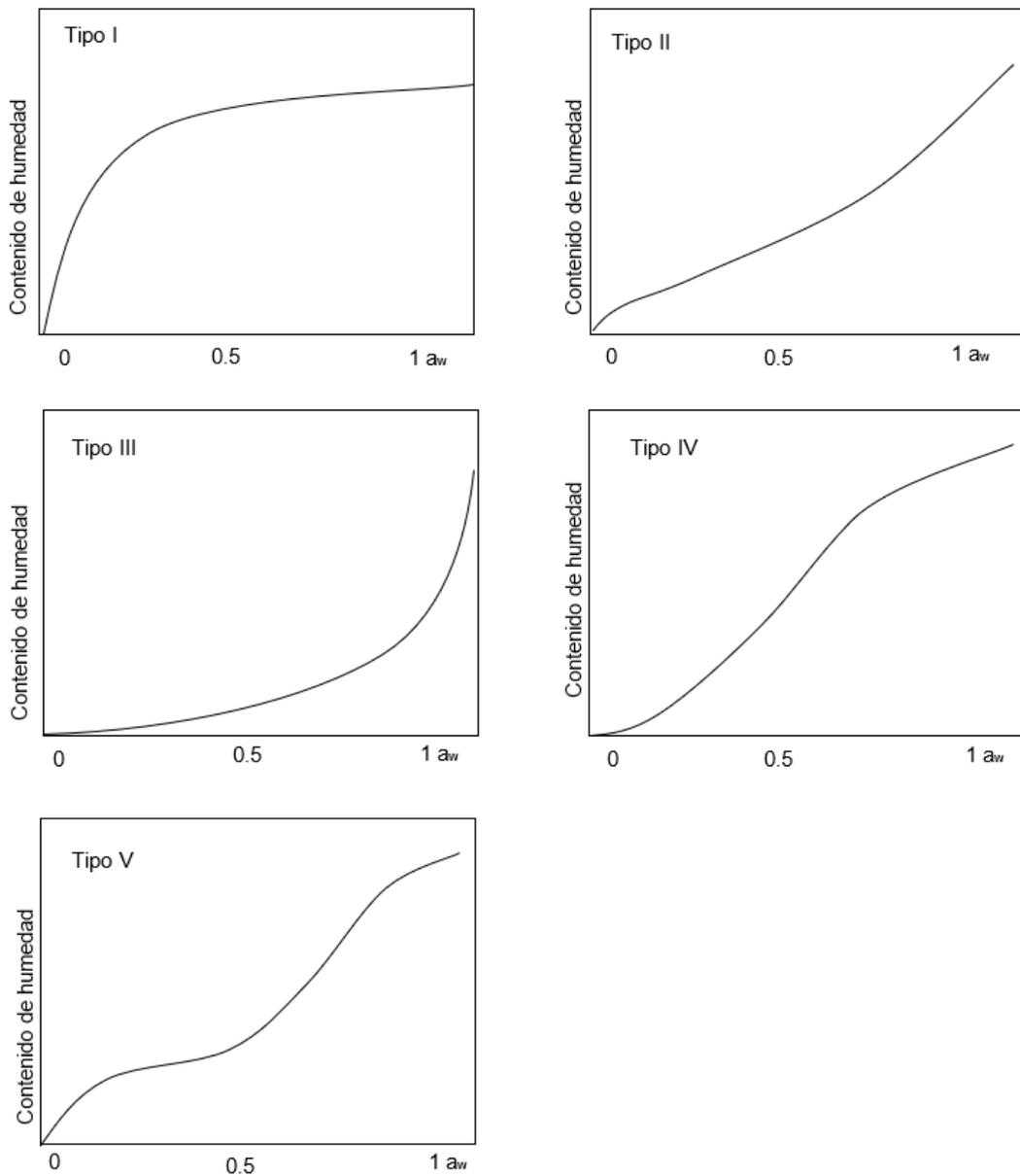
Las isotermas de adsorción de alimentos se construyen para conocer la actividad de agua de cada alimento a una determinada temperatura según su contenido en humedad. Una isoterma es la expresión de la relación funcional existente entre el contenido de humedad de un alimento (expresado como gramos de agua por 100 gramos de sólidos secos) y la actividad acuosa del mismo alimento. La isoterma se puede presentar en forma gráfica o bien en forma de ecuación. (Ramírez, 2012).

Existen diferentes tipos de isotermas de adsorción en función del recubrimiento del adsorbente (capa monomolecular o multimolecular de adsorbato) dependiendo de la presencia de poros o capilares, mostrando todas ellas un cierto grado de histéresis (Hermida, 2000).

Tóth (2001), muestra cinco tipos de comportamiento de isothermas de sorción (Figura 1), si los alimentos contienen compuestos cristalinos hidrosolubles como azúcares o sales, la isoterma es cóncava del tipo III, la mayoría de los restantes alimentos tienen isothermas sigmoideas del tipo II, el punto de inflexión de la isoterma (tipo II) indica el cambio de la capacidad de ligar agua o a las cantidades relativas de agua unida y libre. El tipo I es indicativo de un sólido poroso no hinchable, tal como los silicatos antiaglomerantes (“anticracking”) (Shafiur, 2003).

Figura 1.

Cinco tipos de isothermas de adsorción de Van der Waals

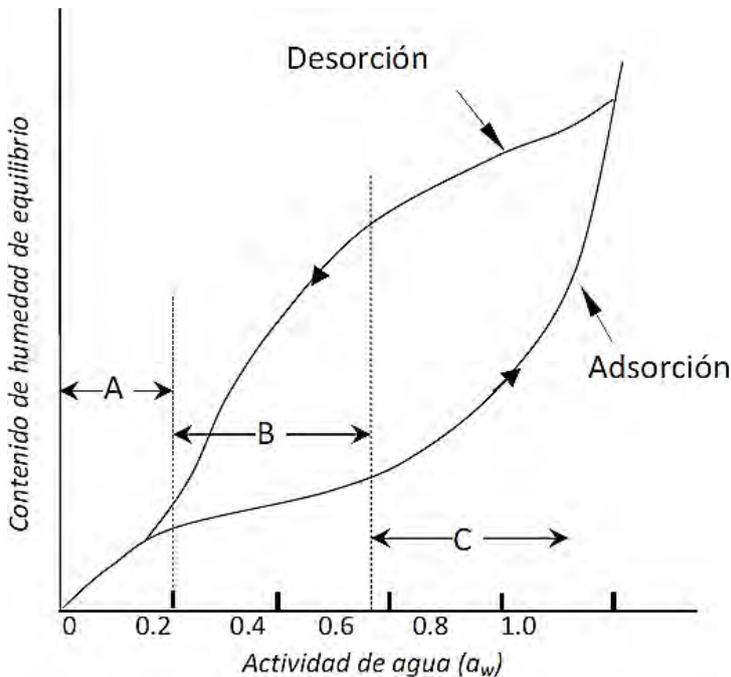


Fuente: Shafiur, (2003)

Las isothermas se dividen en tres regiones (Figura 2) definidas por las regiones A, B y C. En A las moléculas de agua están energícamente ligadas a los sitios específicos en el material, a través de fuerzas intermoleculares como puentes de hidrogeno y fuerzas ión-dipolo, a esta región se denomina monocapa (Fellows, 2000). En B se encuentran multicapas de agua (Brennan, 2008), débilmente unida entre sí y al soluto en capilares (Shafiur, 2003), mientras que en C se puede presentar encontrar en forma de solución (Brennan, 2008).

Figura 2

Isotermas de adsorción y desorción e histéresis



Fuente: Brennan, (2008)

Otra característica de las isotermas es su variación con respecto a la temperatura. En la generalidad de los casos, aumentando la temperatura, se representa una disminución en el contenido de humedad cuando la a_w permanece constante, la higroscopicidad del producto disminuye, es decir, el incremento en la temperatura repercute en un cambio descendente en la isoterma de adsorción; lo que se puede apreciar como un acercamiento de la isoterma hacia el eje de a_w (Fennema, 2000).

La isoterma de adsorción es la relación de equilibrio entre la concentración en la fase fluida y la concentración en las partículas de adsorbente a una temperatura determinada. Para el caso de gases la concentración viene generalmente dada como fracción molar o como presión parcial. Para líquidos la concentración se expresa habitualmente en unidades de masa, tales como partes por millón. La concentración de adsorbato sobre el sólido viene dada como masa adsorbida por unidad de masa de adsorbente original. (McCabe et al., 2007).

Para la elaboración de isothermas, el control de la actividad acuosa es la parte experimental de mayor importancia, es decir los medios generadores (sales) de humedad. De los factores que pueden influir en la obtención de una isoterma, tales como la historia, la composición y características del alimento, la higroscopicidad del material de construcción de la cámara, el espacio existente en la cámara y el área de exposición tanto de la muestra como del material de referencia, y la preparación de sal, la temperatura probablemente es uno de los más importantes a controlar. La temperatura afecta la movilidad de las moléculas de agua y el equilibrio dinámico entre el vapor y las fases adsorbidas, un incremento en la temperatura determina una disminución en la higroscopicidad del alimento con excepción de ciertos azúcares y componentes alimenticios de bajo peso molecular (Alvarado et al., 2001).

2.3.1. Modelos para las isothermas de adsorción

Para la mayoría de los fines prácticos, la isoterma se presenta como una ecuación modelo empírica o teórica (Shafiur, 2003).

Fennema et al. (1975), mencionan que las isothermas se representan graficando la presión parcial de vapor (PA) en equilibrio con la concentración de sólidos de una sustancia (CA), a una temperatura (T) constante, representada en una función (ecuación 1).

$$P_A = (C_a), \quad T = \text{constante} \quad (1)$$

Existen varias ecuaciones empíricas y semi-empíricas, que se han propuesto para correlacionar el contenido de humedad de equilibrio con la actividad de agua de un alimento, sin embargo, la ecuación de GAB (Guggenheim- Anderson-de Boer)

(ecuación 2) mostrada en la Tabla 3, es de amplio uso en alimentos (Shafiur, 2003) y es recomendada por el proyecto Europeo COST90, que trata sobre propiedades físicas en alimentos (Saravacos et al., 1986), y muestra un amplio uso hasta valores de a_w 0.94, esta ecuación está basada en la teoría de adsorción de BET (Brunauer – Emmet - Teller), la cual da una explicación física a los parámetros involucrados en ella. (Heldman y Lund, 2007).

Por otro lado, la isoterma GAB, contiene una tercera constante k , que mide la diferencia de potencial químico estándar entre las moléculas de esta segunda etapa y aquellas del estado líquido puro. Si k es menor a la unidad, se estimará una sorción menor a la predicha por BET. (Zug, 2002). Así, la isoterma de GAB y BET, presentan el parámetro de la monocapa X_m , que se define como la actividad del agua crítica (Shafiur, 2003). Cáceres (2002), observó que el parámetro X_m (monocapa) en el modelo GAB, presenta una dependencia lineal decreciente ($R^2 = 0.9973$) para la uva deshidratada, para las isotermas a diferentes temperaturas.

Tabla 3

Modelos matemáticos para ajuste de isotermas de adsorción

Modelo	Modelo matemático	Ec.
GAB	$x_e = \frac{x_m c_{GAB} k_{GAB} a_w}{[(1 - k_{GAB} a_w)(1 - k_{GAB} a_w + c_{GAB} k_{GAB} a_w)]}$	(2)
BET	$x_e = \frac{x_m c_{BET} a_w}{[(1 - a_w)(1 + (C_{BET} - 1)a_w)]}$	(3)
Halsey	$a_w = \exp\left[\frac{-A}{x_e^B}\right]$	(4)
Peleg	$X_e = K_1 a_w^{n1} + K_2 a_w^{n2}$	(5)
Oswin	$X_e = A \left[\frac{a_w}{1 - a_w}\right]^B$	(6)

Dónde: A , B , C_{BET} , k_{GAB} , K_1 , K_2 , $n1$, $n2$ Constantes de las ecuaciones; X_e =Humedad de equilibrio expresada en base seca (g de agua/g masa seca); X_m =Humedad de la monocapa molecular (g de agua/g masa seca).

2.3.2. Efectos de la variación de la actividad del agua - a_w

La a_w , desde el punto de vista microbiológico tiene relación con el desarrollo de microorganismos en un alimento; del mismo modo se relaciona con el deterioro físico y químico durante el almacenamiento de los alimentos.

Por lo tanto, es un parámetro importante que permite predecir y maximizar la vida útil de un alimento, del mismo modo adoptar condiciones de envasado y durante la formulación de nuevos productos alimenticios.

La variación de la a_w condiciona diferentes procesos en un alimento tales como:

- Alteración por el Desarrollo de Microorganismos

- Inestabilidad química y bioquímica
 - ✓ Degradación de vitaminas,
 - ✓ Oxidación lipídica,
 - ✓ Enranciamiento,
 - ✓ Reacciones de oscurecimiento no enzimático,
 - ✓ Reacciones de maillard,
 - ✓ Reacciones enzimáticas
- Propiedades Físicas
 - ✓ Cambios en la textura,
 - ✓ Migración de humedad dentro de un producto,
 - ✓ Apelmazamiento, etapas: humedecimiento, formación de uniones, aglomeración, compactación, deliquesencia

Así, el conocimiento del valor de actividad de agua, permite garantizar un alimento de calidad, de manera rápida, sencilla y precisa;

2.3.3. Calor isostérico neto de sorción

El calor isostérico neto de sorción es una cantidad molar diferencial basada en la dependencia de la temperatura de la isoterma, que muestra las energías para que las moléculas de agua se unan a un nivel de hidratación particular (Brett et al., 2009). El calor neto isostérico de sorción (q_{st}), representa la diferencia entre el calor isostérico (Q_s) y la energía de vaporización de agua pura (L), y se determina utilizando la ecuación de Clausius-Clapeyron, ecuación 7.

$$\left[\frac{d \ln(a_w)}{dT} \right]_w = \frac{q_{st}}{RT^2} \quad (7)$$

Donde:

a_w es la actividad del agua a la temperatura absoluta T (Kelvin) y R es la constante de gas universal (8.314 J / mol K).

2.4. ANTIOXIDANTES

Para que un compuesto sea definido como antioxidante debe cumplir dos condiciones básicas, la primera es que cuando se encuentre en una concentración baja con relación al sustrato que va a ser oxidado, puede retrasar o prevenir la autooxidación o la oxidación mediada por un radical libre y la segunda, no puede actuar en oxidaciones posteriores (Rice-Evans et al., 1996, Fennema, 2000), apagando el proceso de oxidación, y transformándose ellos en radicales libres inactivos o flojos (Leighton et al., 2000). Los radicales libres se producen como resultado de la oxidación celular, y su número limitado y controlado resulta beneficioso para el organismo, por su papel que desempeñan dentro del sistema inmunológico, dado que son capaces de eliminar microorganismos, pero cuando su número aumenta y se inestabiliza produce resultados negativos como es el caso de enfermedades degenerativas como alteraciones en el aparato circulatorio, sistema nervioso, cáncer, SIDA o el envejecimiento, debido a la alteración del ADN de las células (EcEwen, 1998).

Leighton y Urquiaga (2000), mencionan que los radicales libres, son especies químicas, átomos o moléculas, con un electrón solitario girando en sus órbitas extremas. Esta condición, químicamente muy inestable, lo torna sumamente activo puesto que el electrón impar o solitario “busca desesperadamente una pareja” para salir del desequilibrio atómico.

Para lograr su objetivo, sustrae un electrón a cualquier molécula vecina, es decir, la oxida alterando su estructura y convirtiéndola a su vez en otro radical libre ansioso de captar un electrón, generando así una reacción en cadena.

2.4.1. Capacidad antioxidante

Los alimentos de origen vegetal en especial de las frutas y los vegetales presentes en la dieta de acuerdo de estudios epidemiológicos realizados, pueden ejercer un efecto protector contra algunas enfermedades tales como el cáncer y trastornos cardiovasculares por la presencia de compuestos bioactivos con capacidad antioxidante y una mezcla compleja de compuestos fenólicos (Padilla et al., 2008).

Los antioxidantes son moléculas que tienen la propiedad de evitar o prevenir la oxidación con otras moléculas. Se produce una oxidación, siempre que una especie cede electrones a otra, la especie que gana electrones se reduce, y la que pierde se oxida. En estas reacciones de oxidación, a veces, se pueden producir radicales libres, especies muy oxidativas y que pueden producir daños al organismo (Lim et al., 2007).

Los antioxidantes protegen el organismo de los radicales libres, moléculas altamente reactivas que puedan dañar el organismo a nivel celular, este daño producido por los radicales libres puede aumentar el riesgo al desarrollo de cáncer, enfermedades cardiovasculares y otras enfermedades degenerativas. Los antioxidantes desactivan los radicales libres minimizando el daño y protegiendo el organismo de este tipo de enfermedades (Padilla et al., 2008).

2.4.2. Actividad antioxidante de los compuestos fenólicos

Los mecanismos de acción antioxidante de los compuestos fenólicos son diversos.

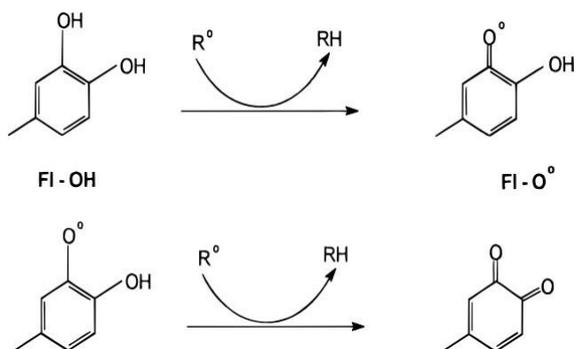
Cada compuesto fenólico actuará por uno o más mecanismos, según sus propiedades características. De manera general, los compuestos fenólicos pueden actuar como antioxidantes mediante dos mecanismos principales: la neutralización de radicales libres y la quelación de metales (Rice-Evans et al., 1996).

En la neutralización de radicales libres, los compuestos fenólicos actúan como donantes de hidrógeno o electrones debido a su bajo potencial redox, lo que los hace termodinámicamente capaces de reducir radicales libres altamente oxidantes como el radical superóxido, peroxilo, alcoxilo e hidroxilo en reacciones de terminación que interrumpen las reacciones de oxidación en cadena (Pietta, 2000).

En la Figura 3 se ilustra este mecanismo, donde FI es un flavonoide y FI-O· el radical aroxilo generado menos reactivo, ya que se estabiliza por resonancia con los electrones π del anillo aromático. A su vez, este radical aroxilo puede reaccionar con un segundo radical, adquiriendo una estructura de quinona estable.

Figura 3

Actividad neutralizante de radicales libres



Fuente: Pietta, (2000)

Diferentes características estructurales parecen estar involucradas en la acción antioxidante de los compuestos fenólicos por este mecanismo. Por un lado, la presencia de un grupo catecol (o-3',4'-dihidroxilo) en el anillo B, el cual tiene las

mejores propiedades donantes de electrones y, por otro lado, la presencia en el anillo C del doble enlace entre C2 y C3 conjugado con el grupo oxo en C4, el cual es responsable de la deslocalización electrónica, contribuyendo así a incrementar la estabilidad del radical aroxilo.

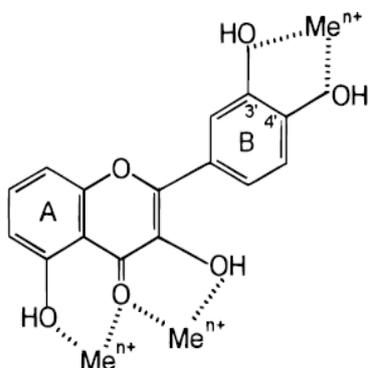
Otros aspectos a considerar que pueden modificar la actividad antioxidante son: el número de grupos hidroxilo en el anillo B y la presencia de sustituyentes en la posición 3 del anillo C. Como ejemplo del primer caso se puede citar a la miricetina, la cual en comparación con el canferol posee dos grupos hidroxilos adicionales, otorgándole una mayor capacidad antioxidante. En el segundo caso, si la posición 3 del anillo C está glicosilada, tendrá una estructura menos efectiva que su correspondiente glicósido. Si en cambio el sustituyente es un grupo hidroxilo, la actividad antioxidante se verá incrementada, mientras que grupos hidroxilo o metoxilo adicionales en las posiciones 3, 5 y 7 de los anillos A y C parecen ser menos importantes. De esta manera, los flavonoles y las flavonas que contienen un grupo catecol en el anillo B son muy activos, siendo los flavonoles más potentes que las correspondientes flavonas, debido a la presencia del grupo hidroxilo en la posición 3 del anillo C (Rice-Evans et al., 1996).

Otro mecanismo de actividad antioxidante de ciertos compuestos fenólicos tiene que ver con su propiedad de quelar iones metálicos como hierro o cobre, que al unirse a ellos reducen la capacidad de éstos para generar radicales libres mediante reacciones redox (Rice-Evans et al., 1997). Los sitios de unión propuestos para el secuestro de iones metálicos son el grupo catecol en el anillo B y los sitios comprendidos entre el grupo 4-oxo y los grupos hidroxilo en posición 3 y/o 5 (Figura 4). Sin embargo, (Van Acker et al., 1996), postularon que la mayor contribución a la quelación de metales se debe al grupo catecol, al observar una mayor quelación

del cobre por la quercetina en comparación con la del canferol.

Figura 4

Sitios de unión de iones metálicos en la molécula de polifenol



Fuente: Pietta, (2000).

Otra vía mediante la cual los polifenoles pueden exhibir capacidad antioxidante parece estar relacionada con su capacidad para inhibir ciertas enzimas implicadas en la generación de especies reactivas del oxígeno. Como evidencia se ha descrito que ciertos flavonoides pueden inhibir la xantina oxidasa, ciclooxigenasa, lipoxigenasa, glutatión S-transferasa, succinoxidasa mitocondrial y NADH oxidasa (Hanasaki et al., 1994; Parr y Bolwell, 2000; Zhu et al., 2001)

2.4.3. Medición de la capacidad antioxidante

La actividad antioxidante no puede ser medida directamente, pero puede determinarse por los efectos del compuesto antioxidante en un proceso de oxidación controlado. La medición de una muestra oxidante, pueden usarse intermediarios o productos finales para valorar su capacidad antioxidante. (Tovar, 2013).

Huang *et al.* (2005) señalan que para determinar la capacidad antioxidante pueden ser divididos en dos categorías, el primero, ensayos basados en la reacción por transferencia de átomos de hidrógeno (HAT) y el segundo en ensayos basados en

la reacción por transferencia de electrones (ET). En la Tabla 4, se muestra las dos categorías.

Tabla 4

Clasificación de los modelos de ensayo

Ensayo	Características morfológicas
1,1-difenil-2-picril-hidrazilo (DPPH.)	Ensayos basados en la transferencia de electrones (ET)
Poder de reducción antioxidante del hierro (FRAP)	
Poder de reducción antioxidante del hierro (FRAP)	
N,N-dimetil-p-fenilendiamina (DMPD)	
Capacidad de reducción antioxidante del cobre(CUPRAC)	Ensayos basados en la transferencia de átomos de hidrógeno (HAT)
Capacidad de absorción del radical oxígeno(ORAC)	
Parámetro antioxidante de captura de radicales(TRAP)	
Inhibición de la oxidación del ácido linoleico	
Inhibición de la oxidación de los lípidos de bajadensidad (LDL)	
Capacidad de absorción de radicales aniónicos a través de una reacción de oxidación (ABTS)	

Fuente: Huang *et al.* (2005)

Comúnmente, la capacidad antioxidante se mide utilizando el ensayo de decoloración ABTS. Otros ensayos de capacidad antioxidante que utilizan Trolox como estándar incluyen los ensayos del difenilpicrilhidrazilo (DPPH), la capacidad de absorción de radicales de oxígeno (ORAC), la capacidad antioxidante total del plasma (FRAP) y el ensayo TEAC se utiliza para medir la capacidad de los alimentos, bebidas y suplementos alimenticios (Huang *et al.*, 2005). Por otra parte, el método DPPH es el método más antiguo para determinar la capacidad antioxidante, este método ha sido considerado uno de los modelos más representativos para el empleo de los radicales en la evaluación de la capacidad

de eliminación de los radicales libres (Hirose et al., 2011).

2.5. COLOR DE ALIMENTOS

El color es una de las principales características de calidad de los alimentos y la principal característica perceptible por el consumidor.

El color se describe en términos de valor, que es de claridad u oscuridad de un color, o la cantidad relativa de blanco o negro de un tono. Si el blanco es agregado como incremento a cualquiera de los colores, obtendremos valores más claros del tono, llamados tintes. El incremento de gris en un tono da por resultado valores más oscuros de tono, conocidos como matices (Beering, 1999), los pigmentos presentes en los alimentos se relacionan con los compuestos bioactivos como fenoles, carotenos, betalaínas y vitaminas y su consumo promueve la salud, reduciendo los niveles de colesterol, esclerosis coronaria, factores de riesgo cardiovascular (Santana et al., 2013).

El espacio de color $L^* a^* b^*$ (también referido como CIELAB) es uno de los espacios de color más usados para medir la composición cromática de un objeto y es ampliamente utilizado en todos los campos. Es un espacio de color definido por la CIE en 1976 con el fin de reducir uno de los principales problemas del espacio original en color Yxy . En este espacio de color, L^* indica la luminosidad, a^* y b^* las coordenadas de color; la Figura (5) muestra el color en $a^* b^*$ desde el plano horizontal con un valor de L^* constante y en la Figura (6) se indica las direcciones de color: $+a^*$ es la dirección del rojo, $-a^*$ es la dirección verde, $+b^*$ es la dirección del amarillo y $-b^*$ es la dirección azul (Beering, 1999).

Figura 5

Representación en el plano horizontal del espacio de color $L^* a^* b^*$

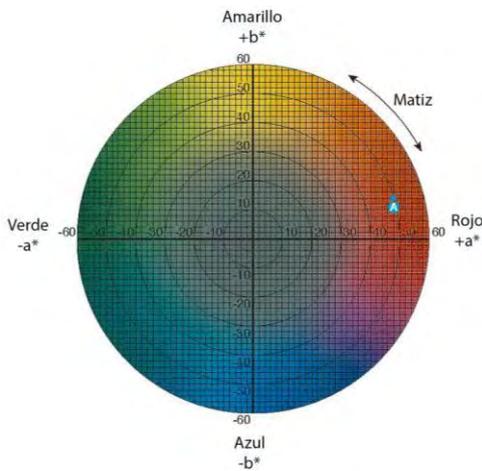
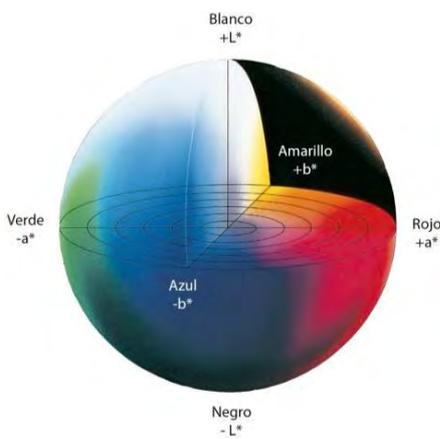


Figura 6

Representación tridimensional del espacio de color $L^* a^* b^*$



En el espacio $L^* a^* b^*$, la diferencia del color puede ser expresada en un valor numérico ΔE^*_{ab} , el cual indica la magnitud entre dos colores, pero no indica la saturación, el tono y la luminosidad; el ΔE^*_{ab} está definido por la ecuación (8), en la Figura (7) se explica mejor este concepto; para analizar la diferencia total en la luminosidad, la saturación y el tono entre dos colores, es útil calcular la medida del

tono entre el color de referencia y el observado usando la ecuación (9)

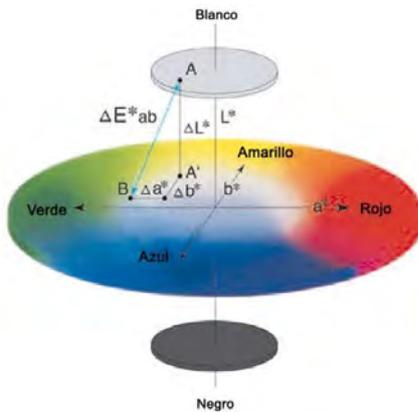
$$\Delta E_{ab}^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (8)$$

Donde: ΔE_{ab}^* es la diferencia entre dos colores; ΔL^* , Δa^* , Δb^* : es la diferencia entre L^* a^* b^* de la referencia y L^* a^* b^* de comparación.

$$\Delta H_{ab}^* = \sqrt{(\Delta E^*)^2 - (\Delta L^*)^2 - (\Delta C^*)^2} \quad (9)$$

Figura 7

Diferencia del color en el espacio L^* a^* b^* .



Por otra parte Cassasa y Sari (2006), consideran que ΔE_{ab}^* cuantifica numéricamente la diferencia de percepción de color, para el ojo humano, entre dos muestras del alimento, asimismo Ramírez-Navas (2014) define como el Índice general de diferencia de color, los valores de ΔE_{ab}^* para una muestra en referencia al estándar permiten evidenciar si el observador podrá o no percibir la diferencia de color, estos juicos se presentan en la Tabla 5, aunque Cassasa y Sari (2006), menciona que para valores de ΔE_{ab}^* menores a 2.70 la diferencia de color no será perceptible.

Tabla 5Relación entre el juicio del observador y ΔE^*_{ab}

Diferencia percibida sensorialmente	Valor de ΔE^*_{ab} (Instrumental)
Ninguna	0.0 - 0.70
Ligera	0.70 - 2.50
Notable	2.50 - 3.00
Apreciable	3.00 - 6.00
Considerable	6.00 - 12.00
Extraordinaria	> 12.00

Fuente: Cassasa y Sari (2006)

La diferencia de saturación ΔC^*_{ab} ($[C^*_{ab}]$ observado - $[C^*_{ab}]$ referencia) puede ser relacionado con diferencias de saturación percibido visualmente. La medida de color C^* y del ángulo de tono h se definen por las ecuaciones (10) y (11) (ASTM).

En la Figura 8, se puede apreciar el concepto.

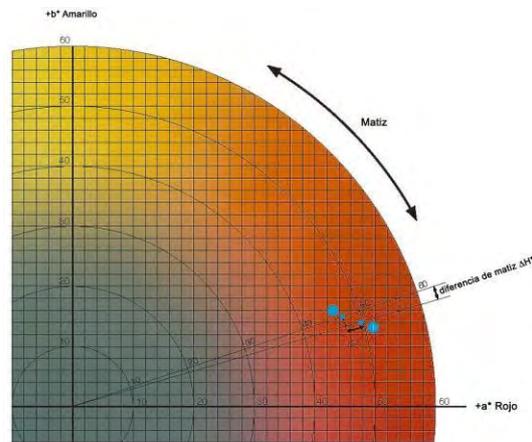
$$C^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2} \quad (10)$$

$$h = \tan^{-1} \left(\frac{b^*}{a^*} \right), (grados) \quad (11)$$

La diferencia de tono es positiva si el ángulo h del observado es mayor al de referencia y es negativa si el ángulo h del observado es menor a la referencia (Konica, 2007).

Figura 8

Diagrama de cromaticidad



a. ATRIBUTOS DE COLOR

El conjunto $a^* b^*$ recibe el nombre de cromaticidad y junto con L^* definen el color del estímulo, así el croma (C^*), considerado el atributo cuantitativo de colorido, se usa para determinar el grado de diferencia de un tono en comparación con un color gris con la misma claridad. Cuanto más altos son los valores de croma, mayor es la intensidad de color de las muestras percibidas por los humanos. Los valores del pueden tomar valores de 0 para estímulos acromáticos y normalmente no pasa de 150, aunque puede superar valores de 1000 para estímulos monocromáticos (Francis y Clydesdale, 1975).

El ángulo de tono (H^*), considerado el atributo cualitativo del color, es el atributo según el cual los colores se han definido tradicionalmente como rojizo, verdoso, etc., y se utiliza para definir la diferencia de un determinado color con referencia al color gris con la misma ligereza. Este atributo está relacionado con las diferencias de absorbancia a diferentes longitudes de onda. Un ángulo de tono más alto representa un carácter amarillo menor en los ensayos (Pathare et al., 2013).

Un ángulo de 0° o 360° representa el tono rojo, mientras que los ángulos de 90° ,

180° y 270° representan tonos amarillos, verdes y azules, respectivamente. Se ha utilizado ampliamente en la evaluación de parámetros de color en vegetales, frutas y carnes verdes (Lopez et al. 1997).

b. INDICES DE COLOR

Con el fin de determinar la variación en el color en función de diferentes variables es posible emplear los índices de color, uno de ellos es el Índice de Amarillo/Azul

Este valor indica el grado en que la superficie de la muestra es diferente del color ideal en el sentido del amarillo. Cuando la diferencia desde el blanco ideal se incrementa, el índice de amarillo/azul (IA), se incrementa. Así, si el valor crece en la escala positiva IA (+) indica diferencia hacia el amarillo y si lo hace hacia la escala negativa, IA (-) indica diferencia hacia el azul. Su cálculo es posible empleando la ecuación (12) (Francis y Clydesdale, 1975).

$$IA = 142.86 \left(\frac{b^*}{L^*} \right) \quad (12)$$

Una manera general de encontrar el color a través de un solo valor es a través del índice de color – IC, el cual puede ser evaluado mediante la ecuación (13).

$$IC^* = \frac{a^*1000}{L^*b^*} \quad (13)$$

El IC* por sus características de variación puede utilizarse como variable de control de la calidad organoléptica de alimentos:

- a) Si IC* es negativo (-40 a -20), su valor relaciona los colores que van desde el azul-violeta al verde profundo.
- b) Si IC* es negativo (-20 a -2), su valor relaciona los colores que van del verde

profundo al verde amarillento.

- c) Si IC^* está entre -2 a +2, representa el amarillo verdoso.
- d) Si IC^* es positivo (+2 a +20), se relaciona con los colores que van desde el amarillo pálido al naranja intenso.
- e) Si IC^* es positivo (+20 a +40), se relaciona con los colores que van desde el naranja intenso al rojo profundo.

2.6. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Ah-Hen et al. (2012), estudiaron la Capacidad Antioxidante de doce Variedades Tradicionales de Papa Cultivadas en la Región Sur de Chile. La papa fue recogida de cultivos establecidos en la Isla de Chiloé y en Valdivia fueron seleccionados, y se compararon AA con dos variedades comerciales, Shepody y Desirée. El blanqueamiento de p-caroteno se utilizó para comparar la AA. La AA fue mayor en las papas con piel, con el mayor valor para la papa nativa 'NG-6' o 'Bruja'. La variedad comercial Shepody mostró actividad prooxidante y tuvo un TPC relativamente más bajo. Los resultados también indicaron una mayor concentración de fenoles totales en la epidermis de las papas nativas chilenas.

Paucar (2014), estudio la actividad antioxidante de la mashua (*Tropaeolum tuberosum*), sometidos a procesos de secado y cocción, considera que la capacidad antioxidante total de la variedad Amarilla chaucha no presentó cambios una vez aplicados los tratamientos de secado y cocción (2.90 $\mu\text{mol Trolox/g}$ tejido y 2.91 $\mu\text{mol Trolox/g}$ tejido base seca, respectivamente), a diferencia de la variedad Zapallo que después de la cocción aumentó de 6.6 a 7.2 $\mu\text{mol Trolox/g}$ tejido base seca, esto en relación al estado fresco. Al comparar los métodos aplicados (ABTS y DPPH) en la determinación de capacidad antioxidante.

Ferreira et al. (2014), estudiaron la adsorción de agua de harina extrudida de arroz y bagazo de cebada. El bagazo de cebada procedente de la industria cervecera se utiliza comúnmente en la alimentación animal, pero por medio de un proceso adecuado puede servir como alternativa en las formulaciones de productos alimentares ricos en fibra y proteína. La combinación de bagazo de cebada y arroz (82:18) fue procesada por extrusión para obtener la harina mixta extrudida de

bagazo y arroz. Los modelos matemáticos de Oswin, Smith, Peleg (1988) y Peleg (1993) fueron utilizados para explicar las propiedades de absorción en diferentes temperaturas (25, 30, 35 y 45 °C) y actividades de agua (0.11 a 0.97). Peleg (1993) fue el modelo que mejor describe las curvas de absorción de agua.

Matos-Chamorro y Rajo-Angulo (2010), evaluaron la influencia del tamaño de partículas en las isothermas de adsorción de la harina de haba (*Vicia faba* L.). Las isothermas de adsorción fueron determinadas utilizando el método estático, con soluciones saturadas, hasta obtener el equilibrio másico a temperatura constante (25 °C); las muestras de diferentes tamaños fueron obtenidas por la utilización de tamices (malla 12, 16, 20 y 32). Los valores experimentales de las isothermas de adsorción se ajustaron a siete modelos matemáticos aplicados en alimentos. La mejor calidad de ajuste se observa para el modelo propuesto por Henderson, con un ERM de 4.57 % para la malla 20.

Sotero et al. (2013), investigaron sobre la estabilidad y actividad oxidante de la pulpa liofilizada de tres morfotipos de aguaje (*Mauritia flexuosa*). Las pulpas de tres morfotipos de aguaje (*Mauritia flexuosa* L.f): Amarillo, Color y Shambo, procedentes de la Amazonía peruana, fueron liofilizadas y sometidas a los siguientes ensayos: a) Humedad de equilibrio, utilizando el método estático, para obtener sus isothermas de adsorción y ajustando los resultados con la ecuación de B.E.T., con la finalidad de determinar si estas muestras son higroscópicas o no. b) Evaluación de la actividad antioxidante, utilizando el método de captura de los radicales libres DPPH. De acuerdo a los resultados obtenidos se observó que en las pulpas liofilizadas de los tres morfotipos se encuentran en la zona seca (de 0 a 25%) donde las isothermas se ajustan con la ecuación de B.E.T. El morfotipo Color presentó mejor actividad antioxidante con un valor de IC de 3286,8 $\mu\text{g/mL}$, en

comparación con los morfotipos Shambo y Amarillo que registraron valores de IC de 6943,4 $\mu\text{g/mL}$ y 9230,4 $\mu\text{g/mL}$

Von et al. (2005), en la investigación titulada evaluación del color de almidones y harinas en preparaciones sin gluten, desarrollado en el Departamento de Nutrição, Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, Brasil. El objetivo del presente trabajo fue caracterizar harinas y almidones exentos de gluten, en cuanto al color. Se seleccionaron preparaciones a base de almidones y harinas exentos de gluten (araruta, polvillo ácido y dulce, harina de mandioca, almidón de maíz, fubá, harina de maíz, arrozín, crema de arroz, fécula de papa), utilizando harina de trigo como transferencia. Para evaluar el color se utilizó un colorímetro de triestímulos. Los valores de croma indican que los tonos más intensos son los de fubá y crema de arroz.

2.7. MARCO CONCEPTUAL

PAPA NATIVA

Genotipos de tubérculos nativos, que se cultivan sobre los 3 000 metros sobre el nivel del mar. (Túpac Yupanqui, 2001), con alto contenido de materia seca.

HARINA DE PAPA

La harina de papa, es un producto obtenido por transformación de los tubérculos de papa, a través de un proceso de secado y posterior molienda, presenta gran versatilidad, funciona como mejorador de sabor y color, y es utilizada como espesante (Yadav et al., 2006).

ISOTERMAS DE ADSORCIÓN

Se define como la relación entre la actividad de agua (o la humedad relativa de equilibrio de aire circundante) y el contenido de humedad de un material en equilibrio a temperatura constante, la cual se obtiene cuando el proceso de equilibrio parte de una muestra húmeda o seca, y a esta se le permite equilibrarse con la humedad del aire circundante perdiendo o ganando humedad, reflejando así, la forma como el agua se liga al sistema (Fuentes, 1996).

COMPUESTOS BIOACTIVOS

Son compuestos que se encuentran en los vegetales y frutas dotándoles de color, y tienen la capacidad de combatir enfermedades degenerativas y brindar beneficios para la salud, pudiendo ser los flavonoides, carotenos, antocianinas, terpenos.

CAPACIDAD ANTIOXIDANTE

Es la capacidad que presenta un alimento para retrasar el proceso de

envejecimiento celular, combatiendo la degeneración y muerte de las células que provocan los radicales libres (Gutiérrez et al., 2007).

COLOR

Es una característica de la calidad de los alimentos, perceptible por el consumidor, y su presencia es indicativo de compuestos bioactivos como fenoles, carotenoides, betalaínas y vitaminas (Santana et al., 2013).

CAPITULO III - HIPÓTESIS Y VARIABLES

3.1. HIPÓTESIS

Hipótesis general

Las isothermas de adsorción, capacidad antioxidante y color de la harina de dos variedades de papa nativa (*Solanun tuberosum*), son diferentes

Hipótesis específicas

- El modelo de isoterma de Halsey representa adecuadamente el comportamiento de adsorción de la harina de papa de las variedades Roja I y Morada (*Solanun tuberosum*).
- La capacidad antioxidante de la harina de papa de las variedades Roja I y Morada (*Solanun tuberosum*), muestran diferencia significativa en comparación al tubérculo.
- El color L^* a^* b^* de la harina de papa de las variedades Roja I y Morada (*Solanun tuberosum*), muestran diferencia significativa en comparación al tubérculo.

3.2. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES

VARIABLES INDEPENDIENTES

- **Variable 01:** Variedad de papa

Dimensión: Tubérculo (papa fresca) y harina

Indicador: Rojo I y Morada 308837-230D

- **Variable 02:** Temperatura de adsorción

Variables dependientes

- **Variable 01:** Modelo de isoterma de adsorción

Indicador: Actividad de agua, humedad de equilibrio

- **Variable 02:** Capacidad antioxidante

Indicador: μ moles Trolox/g

- **Variable 03:** Color de la harina

Indicador: Croma L* a* b*, saturación e índice de color

3.3. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

En la Tabla 6, se presenta la operacionalización de las variables de estudio.

Tabla 6
Operacionalización de variables

Variables	Definición de operaciones					
	Dimensiones	Indicador	Unidad	Técnica de recolección de datos	Instrumento de recolección de datos	Instrumento de medición
Independiente						
Papa nativa	Papa fresca	Variedad Rojay Morada	Harina	Observación	Guía de observación	
	Harina	Variedad Rojay Morada	Tubérculo	Observación	Guía de observación	
Temperatura de adsorción	Temperatura	Temperatura	°C	Observación	Guía de observación	Termómetro
Dependiente						
Isotermas de adsorción	Isotermas de adsorción	Humedad de equilibrio	g de agua/g	Observación	Guía de observación	balanza
		Actividad de agua,	Adimensional	Observación	Computadora	Ecuación matemática
Capacidad antioxidante	Capacidad antioxidante	Capacidad antioxidante	μmol Trolox/g	Análisis de datos	Guía de observación	Espectrómetro
Color de la harina	Color de la harina	Croma L* a* b*	Adimensional	Observación	Guía de observación	Colorímetro
		Saturación de color	Adimensional	Análisis de datos	Computadora	Ecuación matemática
		Índice de color	Adimensional	Análisis de datos	Computadora	Ecuación matemática

CAPITULO IV – MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN

TIPO DE INVESTIGACIÓN

Investigación aplicada

Debido a que se evaluó el rendimiento de extracción, el comportamiento de las isothermas de adsorción, capacidad antioxidante y color de la harina de papa nativa, aplicando conceptos teóricos y científicos pertinentes al tema y a la ingeniería agroindustrial.

Según el alcance

Explicativa: Debido a que se explicó los resultados encontrados las isothermas de adsorción, capacidad antioxidante y color de la harina de papa nativa, en comparación a los antecedentes y conceptos tecnológicos y científicos.

Según el enfoque

Cuantitativa: Debido a que se midió y determinaron datos numéricos de las isothermas de adsorción, capacidad antioxidante y color de la harina de papa nativa, a través de la utilización de instrumentos y/o equipos, y poder contrastar hipótesis a través de pruebas estadísticas

Según la manipulación de variables

Experimental: Debido a que se manipularon variables de estudio: Variedad de papa nativa; el cual se denominó factor o fuente de variabilidad. Asimismo, se considera experimental debido a que se aleatorizó los experimentos o

tratamientos a fin de obtener muestras representativas, esto se representó a través de una matriz de diseño experimental.

NIVEL DE INVESTIGACIÓN

Explicativo

Debido a que se explicó el efecto de los tratamientos de cocción en las isotermas de adsorción, capacidad antioxidante y color de la harina de papa nativa

4.2. ÁMBITO DE ESTUDIO

La investigación se realizó en los laboratorios de la Escuela Profesional Ingeniería Agroindustrial, de la Universidad Nacional José María Arguedas - UNAJMA ubicado en el barrio Santa Rosa, Av. 28 de Julio N° 1103, Distrito de Talavera – Provincia de Andahuaylas – Región Apurímac.

Asimismo, se consideró las áreas de producción de las papas nativas, que correspondieron a Centro Poblado de Champacocha, del distrito de Andahuaylas, Provincia de Andahuaylas, Región Apurímac

4.3. POBLACIÓN DE ESTUDIO

Se utilizaron dos variedades de papa nativa (*Solanum tuberosum*), las cuales fueron recolectadas de los campos de cultivo del Centro Poblado de Champacocha, del distrito de Andahuaylas, Provincia de Andahuaylas, Región Apurímac.

4.4. UNIDAD DE ANÁLISIS

Estuvo referida a la harina de dos clones de papa nativa: Rojo I y Morada

308837-230D procedente de los cultivos de la Empresa SEMPAL – Andahuaylas de propiedad del Sr. José Palomino Flores, a las cuales se evaluó y analizó las isotermas de adsorción, capacidad antioxidante y color de la harina de papa nativa.

4.5. TAMAÑO DE MUESTRA

Se consideraron 10 kg de papa nativa de cada variedad, las cuales no presentaron magulladuras, golpes ni cortes; y fueron seleccionadas al azar.

4.6. TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

4.6.1. Preparación y acondicionamiento de la materia prima

La materia prima, papa nativa, se seleccionó considerando los siguientes criterios: sin presencia de cortes, golpes o magulladuras, sin presencia de zonas putrefactas; tomadas en cuenta estas consideraciones, la materia prima fue llevada a un ambiente refrigerado a 10°C, a fin de evitar estrés térmico.

4.6.2. Obtención de la harina de papa

Se adoptó la metodología propuesta por Ligarda et al. (2018), la cual consistió en tomar las papas nativas sin pelar de cada variedad papa nativa, estas fueron previamente lavadas, cocionadas y enfriadas, para favorecer el desarrollo de una textura no pegajosa, y facilitar el manejo del mismo.

La cocción se realizó con vapor directo en una autoclave de acero inoxidable a una temperatura de 105°C, 5 a 10 psi (medida de presión: libras por pulgada cuadrada), por un tiempo promedio de 15 minutos.

Luego de esto la papa pasa por un rallador para obtener un área superficial mayor y una uniformidad en las muestras de papa a deshidratar, por último, se llevará a un deshidratador de bandejas por aire forzado a una velocidad de 6-8 m/s y a una temperatura de aire de 60 a 70°C, con el fin de que no haya ninguna clase de reacción de pardeamiento en el producto. El producto se lleva a una humedad aproximadamente entre 4 -6%, para luego ser sometido a un proceso de molienda, y tamizado pasando el producto por una serie de tamices números 20, 30, 40, 50, 60 y 100 para obtener una harina fina.

4.7. TÉCNICAS DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LA INFORMACIÓN

4.7.1. Determinación de las isotermas de adsorción

a. ACONDICIONAMIENTO DE LA MUESTRA

Se tomó al azar muestras de 1 g aproximadamente de harina de papa, y fueron colocadas en el interior del pote con cierre hermético, antes de ser introducidas en los potes, se dio lectura a la humedad relativa y temperatura del medio, con el fin de conocer las condiciones iniciales en que se encontraron la harina de papa.

b. TEMPERATURAS DE EVALUACIÓN

Para la determinación de las temperaturas de evaluación de las isotermas, se consideró las condiciones de almacenamiento de granos, cereales y sus derivados, que depende de la zona o lugar, la temperatura ambiental en la ciudad de Andahuaylas oscila entre 2°C a 28°C, durante todo el año (SENHAMI – Oficina de estadística), asimismo, se consideró el desarrollo microbiano durante el almacenamiento.

De acuerdo a estos criterios las temperaturas para la evaluación de las isotermas, fueron: 20°C, 25°C, 30°C y 40°C

c. CONSTRUCCIÓN DE LAS ISOTERMAS DE ADSORCIÓN

La construcción de las isotermas de adsorción, se basó en el método estático gravimétrico continuo de cambios de peso (Labuza, 1984).

Las isotermas de adsorción se evaluaron a las temperaturas de 20°C, 25°C, 30°C y 40°C, con el fin de evaluar la HRE. Las condiciones de humedad relativa, fueron obtenidas con la preparación de soluciones saturadas (de acuerdo al Anexo 02) y que luego fueron vertidas en los potes con cierre hermético. Se acondicionaron 08 potes de plástico de 200 ml de capacidad con tapa de cierre hermético, en el que se introdujo 1.0 g de harina de papa por cada pote. Primeramente, se preparó 20 mL de solución saturada con cada una de las sustancias químicas (sales) en un vaso de precipitado (Anexo 7), se agitó a 500 rpm en un agitador termomagnético modelo M6 a las temperaturas de evaluación, luego se vertió solución la saturada al pote correspondiente, la operación se repitió para cada una de las soluciones saturadas, a la humedad relativa deseada, seguidamente se depositó la harina de papa, el proceso se repite para cada variedad, previamente se pesaron en una balanza analítica de 0.0001g de precisión de marca Ohaus, modelo PA224, y los potes fueron cerrados herméticamente, y llevados a una incubadora marca Binder, modelo ED 53, Alemania, a las temperaturas de estudio. El pesaje de las muestras se realizó en una balanza analítica de precisión, cada 3 días hasta que las muestras presentaron un peso constante, que indica el momento en la que llegó al equilibrio con su atmósfera. Las

evaluaciones de las isotermas fueron por triplicado con el fin de minimizar errores sistemáticos o aleatorios.

La experiencia se repitió para las temperaturas de 20°C, 25°C y 30°C, cada una por triplicado, para cada una de las variedades de papa nativa.

d. DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD DE EQUILIBRIO

La humedad de equilibrio (X_e) se determinó por diferencia de masa, haciendo uso de la ecuación (14) (Choque-Quispe et al., 2018).

$$x_e = \frac{m_{eq} - m_s}{m_s} \quad (14)$$

Donde:

X_e = humedad de equilibrio en b. s.

m_{eq} = peso de muestra en el equilibrio, (g)., y

m_s = peso de muestra seca, (g).

e. AJUSTE A MODELOS DE ISOTERMAS

Los datos experimentales se ajustaron a los modelos de GAB (Guggenheim, Anderson y de Boer), Halsey, Peleg y Oswin las que se presentan en la Tabla 4.

La calidad del ajuste de los modelos propuestos se evaluó por medio del coeficiente de determinación (R^2), para conseguir un buen modelado de los datos experimentales y por el porcentaje de error medio relativo (%E) parámetro estadístico ampliamente utilizado en isotermas de alimentos (Toloaba et al., 2004) por medio de la ecuación (15).

$$(\%)E = \frac{100}{n} * \sum_{i=1}^n \frac{X_{ei}-X_{ci}}{X_{ei}} \quad (15)$$

Donde:

X_{ei} , humedad experimental (*g agua/g m.s.*);

X_{ci} , humedad calculada por el modelo (*g agua/g m.s.*) n , número de observaciones o mediciones.

La resolución de las ecuaciones de los modelos matemáticos para el cálculo de los diferentes parámetros se utilizó el programa Excel 2010 y Estadística V8.

f. DETERMINACIÓN DEL CALOR ISOSTÉRICO NETO DE SORCIÓN

El calor isostérico de sorción se determinó a través de la ecuación (7), el valor de q_{st} se estableció trazando $\ln(a_w)$ a un contenido de humedad específico vs. $1/T$ y midiendo la pendiente (Bennaceur et al., 2015).

4.7.2. Determinación de capacidad antioxidante

Para la determinación de la capacidad antioxidante se utilizó el método de DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidrazil). hidrofílico, para lo cual se tomó como referencia el método descrito por Morales y Jiménez-Pérez (2001), con algunas modificaciones por Delgado-Andrade y Morales (2005), para determinar la capacidad antioxidante. La absorbancia se midió a 520 nm, la cual se reemplazó en una curva estándar considerando al Trolox como equivalente químico. Los resultados fueron expresados como μ moles de trolox equivalente (TE) por kilogramo de muestra (kg).

a. PREPARACIÓN DE EXTRACTO

Se pesó 1 g de muestra de papa fresca de la variedad Roja I, y se añadió 9 ml de metanol al 80 % (p/v) y se mezcló por 5 min en el agitador vortex. Seguidamente cada baker se colocó en un agitador magnético por 15 minutos a una velocidad de 800 RPM a temperatura ambiente en oscuridad.

Se almacenó los homogenizado por un tiempo de 24 horas a 4 °C en oscuridad, transcurrido este tiempo se procedió a centrifugar los homogenizado por un tiempo de 30 minutos a 3000 RPM a temperatura ambiente.

Luego se tomó el líquido sobrenadante, el líquido obtenido fue la muestra a ser evaluada.

Del mismo modo se procedió para la variedad Morada y las respectivas harinas.

b. PREPARACIÓN DE LA DISOLUCIÓN DEL RADICAL DPPH• (74 mg/mL)

Se pesaron 7,4 mg de DPPH• y se disolvieron en 100 mL de metanol. La disolución preparada es estable durante 12 h a temperatura ambiente, protegido de la luz.

c. PREPARACIÓN DE LA DISOLUCIÓN DE TRABAJO DPPH•

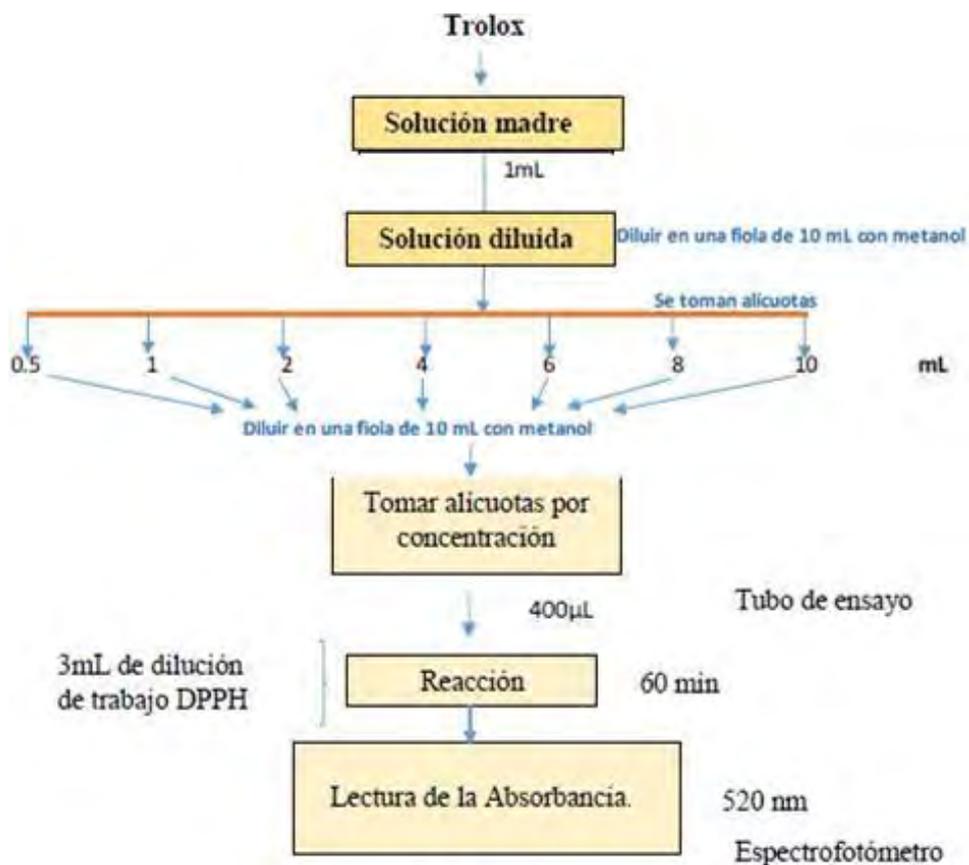
Esta disolución debe prepararse a diario. Se diluyo con metanol hasta que la medida en el espectrofotómetro a 520 nm se sitúa en 1,8 unidades de absorbancia. El ajuste del instrumento se fijó con metanol.

d. PREPARACIÓN DE LA CURVA DE CALIBRACIÓN

Se utilizó Trolox en metanol, esta se preparó una disolución madre 4 mM. Posteriormente se preparó diluciones entre 0.02-0.40 μ moles Trolox/mL. Cada punto de la recta se preparó igual que las muestras, es decir poniendo 400 μ L de las diferentes concentraciones de Trolox y 3 mL de la disolución DPPH• (Tabla 7). Se agitó la mezcla durante 30 segundos y se dejó en oscuridad a temperatura ambiente. Se midió la absorbancia a 520 nm transcurridos 60 minutos, tal como se muestra en la Figura 9.

Figura 9

Flujograma para la capacidad antioxidante



Fuente: Delgado-Andrade y Morales (2005).

Tabla 7

Datos para la curva de calibración de la capacidad antioxidante

Punto	uMol Trolox/mL metanol	DPPH (mL)	Absorbancia
1	0.02	3	1.694
2	0.04	3	1.578
3	0.08	3	1.399
4	0.16	3	1.130
5	0.24	3	0.861
6	0.32	3	0.691
7	0.40	3	0.433

e. MEDIDA DE LA CAPACIDAD ANTIOXIDANTE DE LAS MUESTRAS

Se trabajó directamente con el extracto metanólico de la muestra. Se tomaron 3 mL del radical DPPH• y se añadió a 400 µL del extracto metanólico de la muestra a ensayar. Se agitó y se dejó en oscuridad a temperatura ambiente, procediendo a la medida de la absorbancia a los 60 minutos, a través de un espectrofotómetro marca PG Instruments, Model T80+, Inglaterra, una vez alcanzado el equilibrio (Keceli y Gordon, 2001). Todas las medidas se realizaron por triplicado.

f. DETERMINACIÓN DE INHIBICIÓN E ÍNDICE DE ESTABILIDAD

La determinación de la inhibición o captación del radical DPPH* (%I) se realizó a través de la ecuación (16), y el índice de estabilidad del radical DPPH* (%IE) en las harinas de papa se calcularon a través de la ecuación (17) (Jiménez et al., 2012).

$$\%I = \frac{Abs_{muestra}}{Abs_{DPPH}} * 100 \quad (16)$$

$$\%IE = \frac{(Abs_{DPPH} - Abs_{muestra})}{peso\ de\ muestra} * 100 \quad (17)$$

Donde

$Abs_{muestra}$, es la absorbancia de la muestra tratada de harina de papa a 520 nm.

$Abs_{muestra}$, es la absorbancia del DPPH a 520 nm

4.7.3. Determinación del color

Se modificó la metodología propuesta por Von et al. (2005). El color se determinó mediante un colorímetro triestímulo modelo CR40 marca Konica Minolta, previamente calibrado de acuerdo al manual de uso del equipo, Se obtuvo lecturas de los valores L^* (Luminosidad), a^* (cromaticidad rojo-verde) y b^* (cromaticidad amarillo-azul).

La coordenada L^* recibe el nombre de luminosidad o claridad y, puede tomar valores entre 0 y 100. Las coordenadas colorimétricas a^* y b^* forman un plano perpendicular a la coordenada L^* .

Para determinar el color de las papas nativas frescas, se tomaron al azar 03 unidades de cada variedad, y se realizó un corte transversal e inmediatamente se hizo la lectura en el espacio $L^* a^* b^*$ y se anotaron los valores reportados, de esta manera se prosiguió para los dos restantes, a fin de tener tres lecturas, este procedimiento se realizó para la otra variedad.

Para el caso de la harina de papa nativa, se colocó y acondicionó en el cartucho para muestras en polvo del colorímetro, y se realizó la lectura en el

espacio $L^* a^* b^*$ y se anotaron los valores reportados, en seguida se tomó otra muestra aleatoria de harina de la misma variedad y se procedió medir el color, repitiendo esta operación hasta tres veces, y para cada variedad en estudio.

Para determinar los cambios de color se midió el vector de distancia entre los valores de color inicial de la pulpa de la papa y las coordenadas de color de la harina, la cual se determinó a través de la ecuación 18. (Calvo y Durán, 1997

$$\Delta E^*_{ab} = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta b^*)^2 + (\Delta a^*)^2} \quad (18)$$

Asimismo, se determinó el Cromaticidad C^* (ecuación 7), el tono de la papa fresca y en harina (ecuación 12), así como el índice Amarillo/Azul a través de la ecuación (13).

4.8. TÉCNICAS DE PRUEBA DE HIPÓTESIS

4.8.1. Diseño experimental

Se utilizó un Diseño Completamente al Azar – DCA (Tabla 8), ya que se manejó una variable, es decir la variedad de harina de papa, el modelo estadístico para este diseño está dado por la ecuación 19.

$$Y_{ij} = \mu + r_i + \varepsilon_{ij} \quad (19)$$

Dónde:

Y_{ij} , es valor de la humedad de equilibrio, capacidad antioxidante y el color de la harina papa nativa.

μ , es la media de las variables de salida (humedad de equilibrio, capacidad antioxidante y color)

r_i , repeticiones de tratamientos.

ε_{ij} , Error aleatorio debido a la experimentación.

Tabla 8

Matriz de diseño de la investigación

Tratamientos	Variable de dependiente			
	Humedad de equilibrio	Capacidad antioxidante	Color	Isoterma de adsorción
Variedad 01	---	---	---	---
Variedad 02	---	---	---	---

4.8.2. Prueba de diferencia significativa

Para evaluar la diferencia significativa entre tratamientos se aplicó un análisis de varianza de un factor – ANOVA, cuyas hipótesis estadísticas a probar son:

Hipótesis nula, H_0 : Las medias de la humedad de equilibrio, capacidad antioxidante y color de la harina de papa no muestran diferencia significativa.

$$\bar{x}_1 = \bar{x}_2$$

Hipótesis alterna, H_A : Las medias de la humedad de equilibrio, capacidad antioxidante y color de la harina de papa muestran diferencia significativa.

$$\bar{x}_1 \neq \bar{x}_2$$

La prueba de hipótesis se evaluó a un nivel de significancia (α) del 5%, considerando el siguiente criterio:

Se rechaza H_0 si $\alpha > p$ -value o probabilidad evaluada.

4.8.3. Prueba de comparación múltiple

Al rechazo de la H_0 del ANOVA, se aplicó el test de comparación múltiple Tukey a fin de conocer e identificar cuál de los tratamientos o variedades de harina de papa nativa muestra diferencia significativa, cuya Hipótesis nula a probar es:

H_0 , la media de la humedad de equilibrio y capacidad antioxidante de la harina de papa no muestra diferencia significativa.

H_A , la media de la humedad de equilibrio y capacidad antioxidante de la harina de papa muestran diferencia significativa.

Para el caso del color de papa se aplicó tanto el test de Tukey y Dunnett, este último debido a que se comparara la variación del color de la harina con la pulpa de papa nativa fresca, cuya Hipótesis nula fue:

- H_0 , las medias del color de la harina obtenida no muestran diferencia significativa con el color de la papa nativa fresca.
- H_A , las medias del color de la harina obtenida muestran diferencia significativa con el color de la papa nativa fresca.

Esta hipótesis se probó considerando un nivel de significancia del 5%.

4.8.4. Prueba de correlación de Pearson

Se aplicó una prueba de correlación de Pearson, a fin de evaluar la relación que existe entre las variables de salida: capacidad antioxidante y

color de la harina de papa.

Las hipótesis estadísticas para este caso fueron:

- Hipótesis nula, H_0 : No existe relación entre la capacidad antioxidante y color de la harina de papa.
- Hipótesis alterna, H_A : Existe relación entre la capacidad antioxidante y color de la harina de papa.

Nivel de significancia (α)

Para el caso de la evaluación de la correlación de las variables, se empleó un nivel de significancia $\alpha = 0.05$

Criterio para la prueba de hipótesis

Se rechaza H_0 , si $\alpha > p\text{-value}$

Donde $p\text{-value}$, es la probabilidad evaluada para una distribución normal.

Interpretación del coeficiente de Pearson R_s

Si el valor de R_s :

- Es -1, hay una correlación negativa perfecta
- Se encuentra entre -1 y -0.5, hay una fuerte correlación negativa
- Se encuentra entre -0.5 y 0, hay una débil correlación negativa
- Se encuentra entre 0 y 0.5, hay una débil correlación positiva
- Se encuentra entre 0.5 y 1, hay una fuerte correlación positiva
- Es 1, hay una correlación positiva perfecta, entre los dos juegos de

datos.

- Es 0, se acepta la hipótesis nula, en los casos contrarios se rechaza.

CAPITULO V - RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. ISOTERMAS DE SORCIÓN

El comportamiento de las isotermas de sorción de las harinas de papa de las variedades Rojo I y Morada 308837-230D se presentan en las Figuras 10 y 11, observándose isotermas sigmoidales del tipo II, que es característico para estos materiales o alimentos (Shafiur, 2003; Brennan 2008).

En la Figura 10, se observa una zona de convergencia cercano a 0.20 de a_w , es decir a mayor temperatura la harina de papa Rojo I disminuye ligeramente su contenido de humedad de equilibrio cuando aumenta la humedad de relativa del ambiente (a_w), el mismo fenómeno sucede para la harina de papa Morada (Figura 11) aunque con zona de convergencia más marcada, este hecho puede estar sujeto a la coloración intensa que presenta está, puesto que esta se debe a la presencia de pigmentos como flavonoides y antocianinas los cuales presentan grupos funcionales oxidrilo y carbonilo (Repo y Encina, 2008), similares resultados obtiene Ayala-Aponte (2011) para la harina de yuca para las temperaturas que oscilan entre 20 a 35°C.

Figura 10

Isotermas de sorción experimental de la harina - Variedad Rojo I

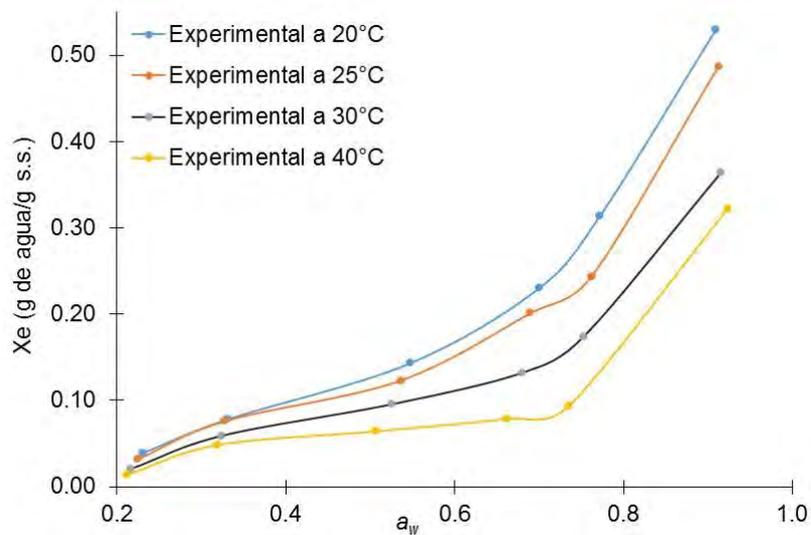
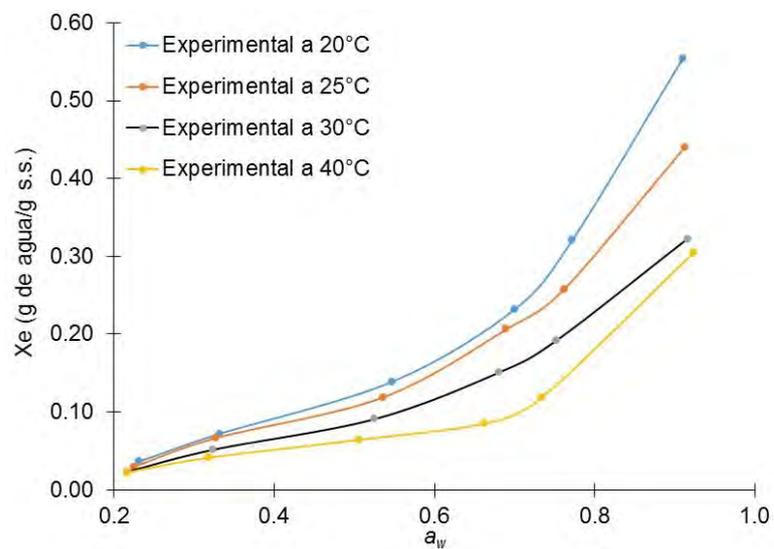


Figura 11

Isotermas de sorción experimental de la harina - Variedad Morada



En la Tabla 9, se observa las humedades de equilibrio (X_e) para cada humedad relativa en sus soluciones salinas, de ella se desprende claramente que para humedad relativa del Acetato de Sodio se manifiesta una pérdida de humedad

de 0.0394 ± 0.0001 a 0.0135 ± 0.0001 g de agua/g s.s. con el incremento de la temperatura, y este hecho se invierte para humedades relativas mayores a partir del Cloruro de magnesio en adelante, el mismo comportamiento se presenta para la Harina de la variedad Morada, aunque está presenta menor pérdida de humedad a la humedad relativa de Acetato de Sodio, y así como presentar menor capacidad de adsorción de agua para humedades relativas mayores en comparación a la variedad Roja I.

Se observa también que la pendiente de las isothermas para las harinas es menor en a_w bajos (menores de 0.70), y que la pendiente crece rápidamente con el aumento de la a_w , lo que provocó una gran absorción de humedad con cualquier aumento de la humedad relativa (Coupland *et al.*, 2000), este fenómeno podría suceder debido a que las humedades relativas más bajas, el agua se adsorbió fuertemente en los sitios activos de los gránulos de harina de papa, mientras que con el aumento de la humedad, debido a las zonas hidrofílicas de la harina (Chen *et al.*, 2009), se disponen de más sitios nuevos para enlazar moléculas de agua, causando mayor contenido de humedad, este es el comportamiento es característico de los materiales hidrofílicos como las harina y almidones (Shih *et al.*, 2011)

Tabla 9

Humedad de equilibrio para la variedad Rojo I

Soluciones salinas (A sus humedades relativas)	X_e (g de agua/g s.s.)			
	20°C	25°C	30°C	40°C
Acetato de Sodio	0.0394 ± 0.0001	0.0322 ± 0.0001	0.0206 ± 0.0001	0.0135 ± 0.0002
Cloruro de Magnesio	0.0782 ± 0.0001	0.0759 ± 0.0002	0.0591 ± 0.0001	0.0484 ± 0.0001
Nitrato de Potasio	0.1429 ± 0.0001	0.1230 ± 0.0002	0.0956 ± 0.0001	0.0642 ± 0.0001
Yoduro de Potasio	0.2299 ± 0.0001	0.2012 ± 0.0001	0.1321 ± 0.0003	0.0788 ± 0.0003
Cloruro de Sodio	0.3134 ± 0.0001	0.2435 ± 0.0002	0.1736 ± 0.0001	0.0931 ± 0.0001
Cloruro de Bario	0.5299 ± 0.0001	0.4869 ± 0.0002	0.3642 ± 0.0001	0.3225 ± 0.0001

Los datos totales presentan en el Anexo 2.

Tabla 10

Humedad de equilibrio para la variedad Morada

Soluciones salinas (A sus humedades relativas)	X_e (g de agua/g s.s.)			
	20°C	25°C	30°C	40°C
Acetato de Sodio	0.0363 ± 0.0002	0.0299 ± 0.0001	0.0232 ± 0.0001	0.0225 ± 0.0003
Cloruro de Magnesio	0.0719 ± 0.0001	0.0666 ± 0.0001	0.0515 ± 0.0001	0.0414 ± 0.0001
Nitrato de Potasio	0.1389 ± 0.0004	0.1189 ± 0.0004	0.0910 ± 0.0001	0.0643 ± 0.0001
Yoduro de Potasio	0.2318 ± 0.0003	0.2062 ± 0.0001	0.1506 ± 0.0002	0.0852 ± 0.0002
Cloruro de Sodio	0.3208 ± 0.0001	0.2579 ± 0.0001	0.1920 ± 0.0001	0.1191 ± 0.0001
Cloruro de Bario	0.5538 ± 0.0003	0.4402 ± 0.0003	0.3228 ± 0.0002	0.3049 ± 0.0002

Los datos totales presentan en el Anexo 2.

En cuanto a las humedades de equilibrio (X_e) para las harinas de la variedad Roja I y Morada, estas presentan diferencia significativa (p -value < 0.05) a las temperaturas de estudio (de almacenamiento) (Anexo 03).

Las isothermas de adsorción fueron modeladas a través de los modelos GAB, Halsey, Peleg y Oswin, cuyas curvas se muestran en la Figura 12, las tendencias de comportamiento son similares a las obtenidas experimentalmente, y que de acuerdo a la evaluación del coeficiente de determinación ajustada (R^2) y error medio (%E), se observó que el modelo GAB y Peleg presentan mejor ajuste en comparación a los otros modelos para las isothermas a las temperaturas de estudio, logrando $R^2 > 0.99$ y %E menores (Tabla 11).

Figura 12

Isotermas de sorción modeladas para la harina - variedad Roja I

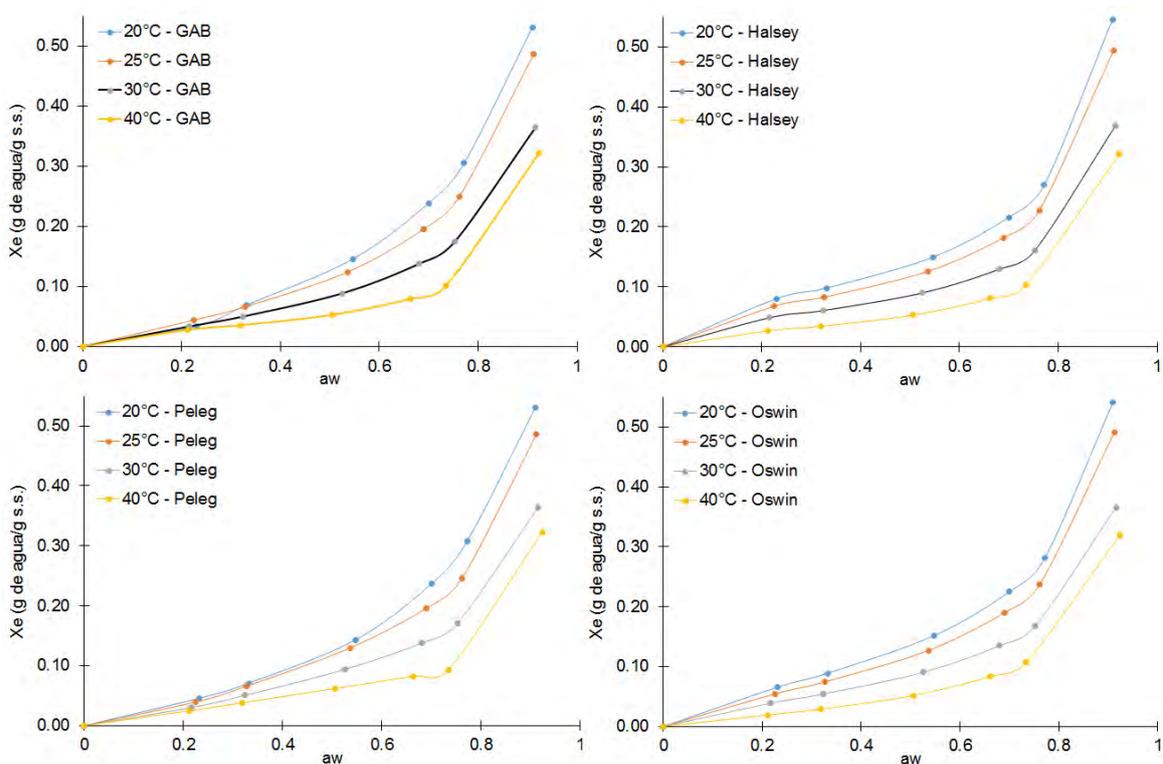


Tabla 11

Estadígrafos de modelos de isotermas – Variedad Roja I

Modelo	Estadígrafo	Temperatura (°C)			
		20	25	30	40
GAB	%E	6.17	8.07	11.50	19.58
	R ²	0.998	0.998	0.996	0.991
Halsey	%E	16.87	13.66	12.95	20.63
	R ²	0.973	0.985	0.986	0.990
Peleg	%E	4.86	7.20	9.44	13.44
	R ²	0.999	0.998	0.997	0.996
Oswin	%E	12.20	9.15	11.22	23.44
	R ²	0.987	0.995	0.994	0.987

Las curvas de las isotermas de adsorción para los modelos evaluados, para la harina de papa de la variedad Morada (Figura 13), presento un comportamiento similar a la variedad Roja I con tendencias similares, se observó que las isotermas de Halsey y Oswin presentaron un comportamiento con mayor tendencia sigmoidal, no obstante de acuerdo al análisis de estadígrafos el modelo de GAB y Peleg reportaron mejores valores de $R^2 > 0.99$ y %E más bajos que los otros modelos (Tabla 12), aunque estos son relativamente mayores que los reportados por la variedad Roja I.

Figura 13

Isotermas de sorción modeladas para la harina - variedad Morada

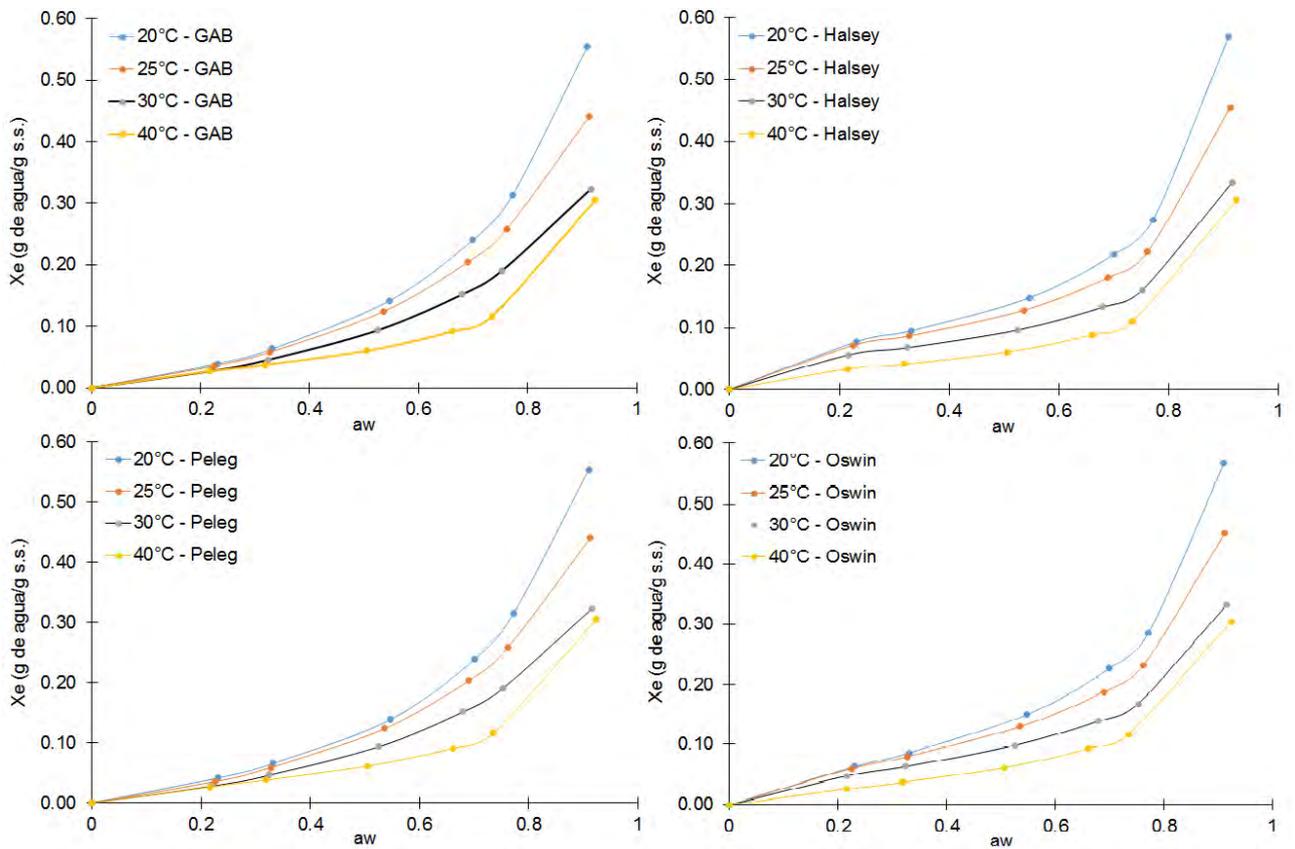


Tabla 12

Estadígrafos de modelos de isotermas – Variedad Morada

Modelo	Estadígrafo	Temperatura (°C)			
		20	25	30	40
GAB	%E	4.89	6.07	5.52	7.32
	R ²	0.999	0.999	0.999	0.998
Halsey	%E	18.48	20.51	20.86	8.37
	R ²	0.973	0.961	0.953	0.996
Peleg	%E	4.53	5.77	5.16	5.87
	R ²	0.999	0.999	0.999	0.999
Oswin	%E	13.69	16.28	16.78	7.16
	R ²	0.987	0.980	0.975	0.998

El comportamiento sigmoideal es característico de este tipo de alimentos como el almidón de papa (McMinn y Magee, 2003), harina de maíz (Samapundo, 2007) y yuca (Ayala-Aponte, 2011), presentando un comportamiento asintótico a medida que se incrementa la actividad de agua, lográndose observar similar comportamiento en las dos variedades de harina de papa estudiadas, es decir un aumento en la temperatura da como resultado una reducción en la cantidad de humedad adsorbida a un valor de actividad de agua dado (Muzaffar y Kumar, 2016; Souza *et al.*, 2015).

Los parámetros de los modelos evaluados se presentan en la Tabla 13, estos fueron calculados a través del método iterativo Newton-Simplex considerando como criterio la diferencia mínima de cuadrados, a través del Software Statistica V8, de ella se desprende para el modelo GAB el valor de la humedad a nivel monocapa X_m , disminuye con el incremento de la temperatura de 0.148 a 0.029 g agua/g m.s. para la harina de la variedad Roja I, mientras que la variedad Morada esta disminuye de 0.176 a 0.038 g agu/g m.s., como se sabe este valor define las condiciones de almacenamiento y considerar las reacciones de deterioro que pudieran presentarse en la harina de papa, este comportamiento es usual en alimentos que presentan una isoterma de tipo II, similares comportamientos mostraron (Ayala-Aponte, 2011, Choque-Quispe, 2009, Vega-Galvez *et al.*, 2006, Aviaria y Ajibola, 2002), el hecho de la disminución de X_m se podría deberse a la disminución de los sitios activos en la superficie de la harina de papa, reduciéndose así las zonas de enlace higroscópico (Aviaria y Ajibola, 2002), manifestándose con mayor frecuencia en la harina de papa Roja I.

Por otra parte, se observa que la constante C_{GAB} , se incrementa con la

temperatura, de 1.28 a 12.11 para la harina de la variedad Roja I y de 0.912 a 5.001 para la harina Morada, este parámetro está vinculado con la energía de sorción a nivel de la monocapa y multicapas de la harina de papa, al igual que K_{GAB} , cuyo valor se incrementa de 0.850 a 0.987 para la variedad Roja I y de 0.840 a 0.951 para la variedad Morada, para Cherife *et al.* (1992) estos parámetros deberían estar alrededor de la unidad, el hecho de que estas sean mayores para este material, se debería sobre todo a la composición de estos y a la coloración de las harinas (Choque-Quispe, 2009), puesto que estas responden a pigmento que es su mayoría son de naturaleza hidrofílica, tales como lo fenoles, antocianinas, carotenoides entre otros.

Tabla 13

Parámetros de los modelos de isoterma

Modelo	Parámetros	Roja I				Morada			
		Temperatura (°C)				Temperatura (°C)			
		20	25	30	40	20	25	30	40
GAB	X_m	0.148	0.091	0.062	0.029	0.176	0.189	0.169	0.038
	C_{GAB}	1.286	2.427	3.107	12.114	0.912	0.872	0.825	5.001
	K_{GAB}	0.850	0.907	0.918	0.987	0.840	0.777	0.733	0.951
Halsey	A	0.040	0.034	0.022	0.021	0.044	0.028	0.015	0.016
	B	1.431	1.399	1.408	1.190	1.375	1.512	1.603	1.334
Peleg	K_1	0.260	0.299	0.210	0.127	0.248	0.353	0.186	0.118
	n_1	1.189	1.356	1.267	1.052	1.220	5.367	1.257	0.983
	K_2	0.514	0.539	0.431	1.346	0.565	0.253	0.240	0.380
	n_2	5.724	9.615	10.125	23.601	5.546	1.320	4.836	8.329
Oswin	A	0.135	0.116	0.085	0.051	0.133	0.120	0.093	0.060
	B	0.601	0.616	0.613	0.738	0.627	0.568	0.535	0.653

El comportamiento de las isothermas de adsorción están vinculadas a la energía de enlace de las moléculas de agua en los sitios activos de los gránulos de las harinas de papa, esta energía se determinó a través del calor isostérico de sorción (q_{st}), esta representa la energía necesaria para remover moléculas de agua a diferentes humedades de equilibrio (X_e) a sus respectivas a_w , esta energía disminuye con el incremento de la humedad, debido a que el agua ocupa menos lugares activos en el soluto o material, de esta manera reduciendo la interacción entre la energía y las moléculas de agua y la harina de papa (Ayala-Aponte, 2011).

La determinación del calor isostérico de sorción (q_{st}), fue calculada a través del modelo de GAB, por presentar mejor ajuste, para lo cual se consideró humedades entre el rango de 5 a 30% (Anexo 03).

Los valores del calor isostérico para cada humedad se presentan en la Tabla 14, donde se aprecia que para la variedad Roja, esta varía de 25.73 a 6.95 kJ/mol, mientras que para la harina de papa de la variedad Morada de 17.38 a 7.53 kJ/mol, disminuyendo entre 5.00 a 30.00% de humedad en ambos casos, tal como se aprecia en la Figura 14, donde claramente se observa el comportamiento antes descrito, sin embargo se aprecia que la harina de papa de la variedad Roja I, presenta mayores valores de q_{st} a humedades menores a 15% en comparación con la variedad Morada, este hecho se debe a que la harina Roja I presenta más sitios activos donde pueda enlazar moléculas de agua, sin embargo a medida que la humedad se incrementa, por encima de 18% el calor isostérico es similar, lo que indicaría que ya no existen muchos sitios activos libres, similares comportamientos reportaron (Ayala-Aponte, 2011, Choque-Quispe, 2009, Vega-Galvez *et al.*, 2006).

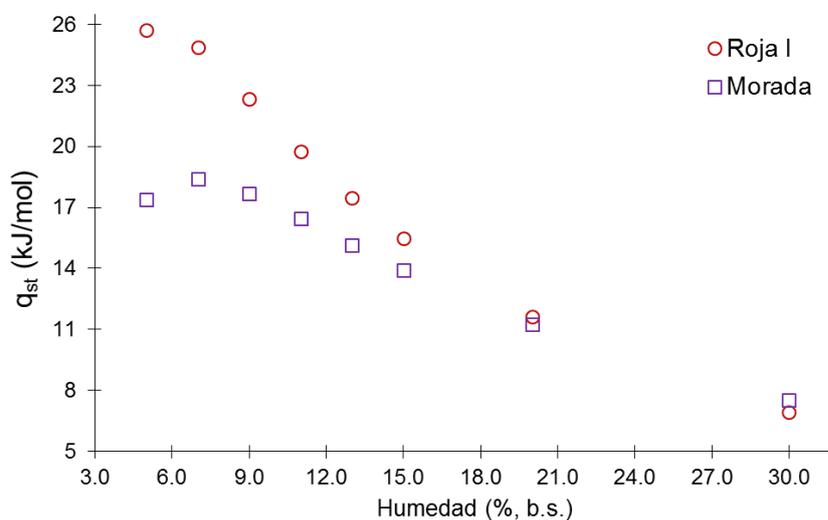
Tabla 14

Calor isostérico de sorción a sus humedades

Humedad (% b.s.)	q_{st} (kJ/mol)	
	Roja I	Morada
5.00	25.73	17.38
7.00	24.85	18.38
9.00	22.32	17.66
11.00	19.75	16.44
13.00	17.45	15.14
15.00	15.46	13.90
20.00	11.63	11.23
30.00	6.95	7.53

Figura 14

Variación del calor isostérico para las harinas de papa



5.2. CAPACIDAD ANTIOXIDANTE DE LA HARINA DE PAPA

Los valores de la capacidad antioxidante fueron obtenidas teniendo en cuenta la curva patrón (Anexo 5), así en la Tabla 15, se reportan los resultados de la capacidad antioxidante de los tubérculos frescos y harina, en esta tabla se

observa que la papa Roja I fresca y en harina presentan menores valores $394.40 \pm 3.61 \mu\text{mol Trolox}/100 \text{ g}$ y $443.70 \pm 1.62 \mu\text{mol Trolox}/100 \text{ g}$ respectivamente, mientras que la variedad Morada fue de $413.25 \pm 1.96 \mu\text{mol Trolox}/100 \text{ g}$ y $455.65 \pm 0.55 \mu\text{mol Trolox}/100 \text{ g}$ para papa fresca y harina respectivamente, estos valores son ligeramente mayores a los reportados por Zarabia (2015) y Cerón-Lasso (2018), en tanto que García (2011) en clones de papa criolla mostró rangos de $8.32 - 70.58 \mu\text{mol ET}/100 \text{ g}$, esta diferencia podría deberse a la presencia de antioxidantes hidrofílicos provenientes de fenoles los cuales son altamente solubles, en ese sentido, la actividad antioxidante DPPH según reportes de Lachman *et al.* (2008) se da en mayor proporción en tubérculos de color púrpura-violeta que en amarillas.

Asimismo se observa que existe un incremento de la capacidad antioxidante en referencia a la papa fresca, este hecho se puede deber a que los compuestos antioxidantes tales como los productos de reacción de Maillard son los responsables del aumento de la capacidad antioxidante (Sacchetti *et al.*, 2009), aunque también podría atribuirse a que durante la cocción de la papa las cuales se realizaron con cascara, estas fijaron o retuvieron los fenoles aumentando de esta forma la capacidad antioxidante, similar comportamiento reporto Navarre *et al.* (2010) y Cerón-Lasso (2018), este incremento permite mejorar su calidad nutracéutica al someter a procesos de cocción y o secado (Liu 2010).

Tabla 15

Capacidad antioxidante de la papa nativa Roja I y Morada

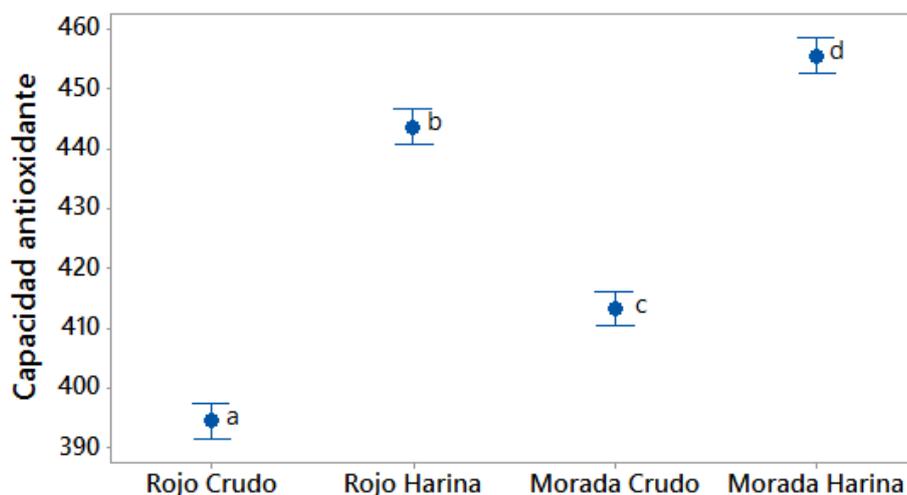
Var	Estado	Capacidad antioxidante (μmol Trolox/100 g)					Inhibición (%)			Índice de estabilidad (%)				
		\bar{X}	\pm	s	CV (%)	Dif. Sig	\bar{X}	\pm	s	CV (%)	\bar{X}	\pm	s	CV (%)
Roja I	Fresco	394.40	\pm	3.61	0.91	a	84.09	\pm	0.77	0.92	27.00	\pm	1.31	4.84
	Harina	443.70	\pm	1.62	0.36	b	94.62	\pm	0.35	0.36	9.13	\pm	0.59	6.42
Morada	Fresco	413.25	\pm	1.96	0.47	c	88.12	\pm	0.42	0.47	20.17	\pm	0.71	3.52
	Harina	455.65	\pm	0.55	0.12	d	97.17	\pm	0.12	0.12	4.80	\pm	0.20	4.17

Muchos autores consideran que la papa sobre todo las nativas y sus clones presentan alta capacidad antioxidante (Mattila y Hellström, 2007; Lachman et al., 2008), las cuales están atribuidas a la pigmentación (Fenoles, carotenoides entre otros), es decir presentan alta capacidad de donar hidrógeno y un electrón a radicales hidroxilo, peroxilo y peroxinitrito, estabilizándolos y transformándose en una molécula radicalaria relativamente estable (Heim et al., 2002), en ese sentido las papas en estudio al presentar coloración roja y morada intenso, presentan esta capacidad de intercambio de especies iónicas.

Los resultados de capacidad antioxidantes para las variedades y estados de la papa nativa presentan diferencia significativa ($p\text{-value} < 0.05$, Anexo 03), siendo mayor para la harina de la variedad Morada, este hecho puede verificarse en la Figura 15, en la que también se evidencia que la capacidad antioxidante es diferente para todos los casos, evaluados a través del Test de Tukey.

Figura 15

Capacidad antioxidante de la papa Fresca y Harina



Así mismo la capacidad de inhibir compuesto oxidantes por parte de las harinas, se evaluó a través del porcentaje de Inhibición (%I), el cual se observó que es mayor para la variedad Morada siendo $88.12 \pm 0.42 \%$ y $97.17 \pm 0.12 \%$ para la papa fresca y harina respectivamente, mientras que para la variedad Roja I esta se fue de $84.09 \pm 0.77 \%$ y $94.62 \pm 0.35 \%$ para fresca y harina respectivamente, tal como se muestra en la Tabla 14, los valores encontrados son ligeramente mayores a los reportados por Jiménez et al. (2012) Y Zarabia (2015), para morfotipos de papa nativa, de la misma forma se observa que la estabilidad de los compuestos antioxidantes es mayor para las papas frescas Roja I y Morada, reportando mejor valor la papa fresca Roja, en tanto que las harinas presentan valores de estabilidad de compuestos antioxidantes menores $9.13 \pm 0.59 \%$ y $4.80 \pm 0.20 \%$ respectivamente, tal como se muestra en la Tabla 15.

5.3. EVALUACIÓN DEL COLOR

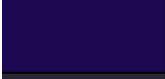
El color de las harinas de papa y sus pulpas, fueron determinadas en el espacio

$L^* a^* b^*$, cuyos resultados se presentan en la Tabla 16, de ella se desprende que la luminosidad L^* es baja para todos los casos, siendo este un indicativo de la tendencia al blanco cuando L es creciente hasta un valor máximo de 100, en ese sentido se observa que el valor de L disminuye para la variedad Roja I de 28.35 ± 0.36 a 16.39 ± 0.20 para la papa fresca y en harina respectivamente, mientras que para la variedad Morada esta incrementa notablemente de 9.85 ± 0.65 a 16.58 ± 0.16 para la papa fresca y harina respectivamente.

A su vez, el croma a^* de las variedades tienden al rojo, siendo mayor para las variedades en su estado fresco, aunque para la variedad Roja I esta es mayor (39.63 ± 0.59), en tanto que para las harinas de papa este valor disminuye notablemente en ambos casos, presentando mayor disminución la variedad Morada llegando hasta valores de 5.29 ± 0.13 , asimismo el croma o coordenada b^* para la papa fresca de la variedad Roja I tuvo una tendencia al azul puesto que presento un valor de -15.46 ± 0.54 , y que después de procesado hasta harina presento una ligera tendencia al amarillo puesto que b^* fue 3.40 ± 0.09 , mientras que para la variedad Morada b^* presenta alta tendencia a la azul en su estado fresco, aumentado b^* notablemente hasta un valor de -8.48 ± 0.11 .

Tabla 16

Color $L^* a^* b^*$ para las papas nativas

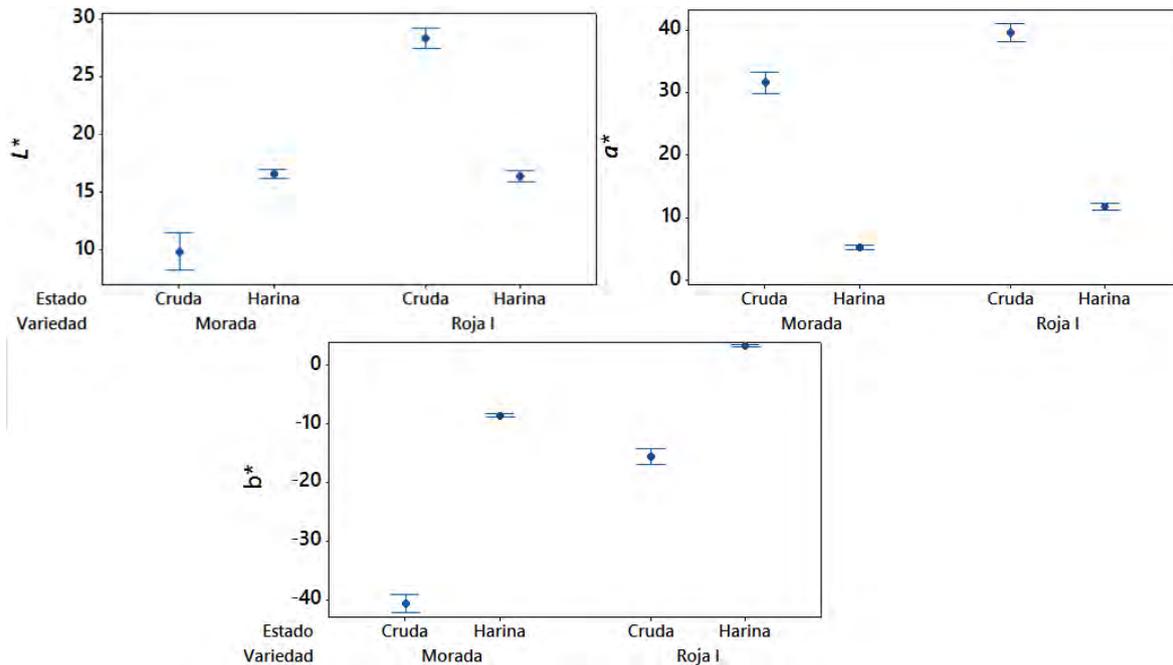
Variedad	Estado	L^*			a^*			b^*			Color
		\bar{X}	\pm	s	\bar{X}	\pm	s	\bar{X}	\pm	s	
Roja I	Fresca	28.35	\pm	0.36	39.63	\pm	0.59	-15.46	\pm	0.54	
	Harina	16.39	\pm	0.20	11.84	\pm	0.22	3.40	\pm	0.09	
Morada	Fresca	9.85	\pm	0.65	31.62	\pm	0.70	-40.64	\pm	0.63	
	Harina	16.58	\pm	0.16	5.29	\pm	0.13	-8.48	\pm	0.11	

Los alimentos, tanto en su forma natural como procesada, presentan un color característico y bien definido mediante el cual el consumidor los identifica, en ese sentido existe un renovado interés en el estudio de los pigmentos en plantas por razones nutricionales relacionadas con sus propiedades antioxidantes (Miller *et al.*, 1996), entre los ejemplos más comunes se encuentran los licopenos, los β -carotenos, antocianinas, flavonoides y fenoles (Bello, 2008), que se comportan como compuestos cromóforos puesto que presentan agrupaciones de átomos que pueden transformar la calidad espectral de la luz (-N=N-, -C=C-, -C=O, etc.), y las papas nativas dada su coloración no están exentas de estas, en ese sentido los atributos de color en estudio permiten manifestar que estas productos presentan altos contenidos de compuestos antioxidantes, sin embargo se observó la variación de las coordenadas $L^* a^* b^*$ en la harina de papa, esto debido a la eliminación de aguas permitiendo concentrar el color, aunque también este acusado por las reacciones de Maillard y de caramelización que se suscitaron durante el secado (Bello, 2008, Krokida *et al.*, 2001).

El ANOVA indica que existen diferencias significativas (p -value < 0.05, Anexo 5) entre las coordenadas $L^* a^* b^*$ de la papa fresca y en harina para ambas variedades, y que estas diferencias se pueden evidenciar en la Figura 16.

Figura 16

Coordenadas $L^* a^* b^*$ de la papa fresca y en harina



En la Tabla 17, se presentan los resultados de la diferencia de color (ΔE^*_{ab}), observándose que la harina de papa Morada presento mayor diferencia de color (42.11 ± 0.76) en referencia a la papa fresca, en tanto que la variedad Roja I presento menor variación de color respecto a la papa fresca (35.65 ± 0.12), estas diferencias son consideradas como diferencias extraordinarias (Cassasa y Sari, 2006).

Tabla 17

Diferencia de color entre la harina y papa fresca

Variedad	ΔE^*_{ab}			Diferencia percibida
	\bar{X}	\pm	s	
Roja I	35.65	\pm 0.12		Extraordinaria
Morada	42.11	\pm 0.76		Extraordinaria

El croma – C^* describe lo llamativo o apagado del color de la papa en fresco o harina, en ese sentido el croma de las papas frescas presentan mayor valor 42.54 ± 0.35 y 51.49 ± 0.76 para la Roja I y Morada respectivamente (Tabla 18), es decir son más percibidas por el ojo humano es decir son más brillantes (Francis y Clydesdale, 1975), no obstante el croma de las harinas es menor pudiendo considerarse como pálido (Mathias-Rettig y Ah-Hen, 2014); en todos los casos estos valores corresponden a estímulos acromáticos (como blanco, gris, negro, etc.) o denominados también luminoso, apagado, claro, oscuro, etc. (Ramírez-Navas, 2014).

Por otra parte, el ángulo de tono de la papa, un parámetro ampliamente utilizado para definir la diferencia de un determinado color con referencia a los tonos grises, con tendencias al rojo cuando H se encuentra cerca a los valores 0° o 360° , este parámetro permite diferenciar entre frutos y vegetales (López *et al.*, 1997), en ese sentido los valores encontrados de los ángulos se encuentran en el intervalo de 21.31° a 52.12° para la papa fresca, y de 16.01° a 58.05° para la harina, presentando de esta manera tendencia a un tono rojizo (Tabla 18),.

Tabla 18

Croma y Tono para las papas nativas

Variedad	Estado	C^*			$H (^\circ)$			Tendencia de tono*
		\bar{X}	\pm	s	\bar{X}	\pm	s	
Roja I	Fresca	42.54	\pm	0.35	21.31	\pm	0.96	Al rojo
	Harina	12.32	\pm	0.24	16.01	\pm	0.14	Al rojo fuerte
Morada	Fresca	51.49	\pm	0.76	52.12	\pm	0.61	Al rojo
	Harina	9.99	\pm	0.12	58.05	\pm	0.65	Al rojo

En cuanto al índice de color IC*, una forma de evaluar a través de un solo valor el color de las harinas y papa frescas, se encontró que estas presentan valores con tendencia negativa para la papa fresca de la variedad Roja I y Morada - 90.57 ± 4.70 y -79.31 ± 6.73 , y de acuerdo a la clasificación para este índice estas muestras se encuentran en el rango azul-Violeta, del mismo modo para la harina de papa de la variedad Morada, en tanto que la harina de la variedad Roja I se encuentra en el intervalo naranja intenso a rojo profundo (Francis y Clydesdale, 1975), tal como se aprecia en la Tabla 19.

Tabla 19

Índice de color de las papas nativas

Variedad	Estado	IC*			Clasificación de color
		\bar{X}	\pm	s	
Roja I	Fresca	-90.57	\pm	4.70	Azul-Violeta
	Harina	212.74	\pm	4.31	Naranja intenso a rojo profundo
Morada	Fresca	-79.31	\pm	6.73	Azul-Violeta
	Harina	-37.61	\pm	0.81	Azul-Violeta

Al evaluar la correlación de los parámetros de color con la capacidad antioxidante a través de coeficiente de correlación de Pearson (r_s), cuyos resultados se presentan en la Tabla 20, de ella se desprende que para el caso de la variedad Roja I, la relación L^* - capacidad antioxidante, capacidad antioxidante - a^* , y capacidad antioxidante - C^* es alta 0.992, 0.997 y 0.996 y negativas respectivamente, esto es evidente puesto que la luminosidad L^* disminuye, debido a que la capacidad antioxidante se incrementa lo que se traduce como oscurecimiento de la harina de papa, esto sucede porque presentan reacciones que permiten la activación de grupos funcionales durante

el proceso de secado de la papa así como se producen reacciones de pardeamiento tipo enzimático y no enzimático, así como la pérdida de agua, lo que con lleva a la pérdida de brillantez de la harina de papa en comparación con la papa fresca, mientras que para la relación capacidad antioxidante – b^* es 0.993 y positiva en la variedad Roja I, es decir el incremento de capacidad antioxidante esta relaciona con el incremento del parámetro b^* .

Mientras tanto, para la papa de la variedad Morada, la luminosidad L^* presento buena correlación positiva con capacidad antioxidante ($r_s = 0.986$) (Tabla 20), este hecho se puede deber a que el brillo disminuye al eliminarse el agua de la papa durante el secado, lo que hace que aclaren ligeramente los gránulos de la harina, en tanto que el C^* disminuye con el incremento de capacidad antioxidante.

Tabla 20.

Correlación de parámetros de color y capacidad antioxidante

	Capacidad antioxidante	L^*	a^*	b^*
Variedad Roja I				
L^*	-0.992			
a^*	-0.997	0.999		
b^*	0.993	-0.999	-0.998	
Croma- C^*	-0.996	0.999	1.000	-0.999
Variedad Morada				
L^*	0.986			
a^*	-0.996	-0.996		
b^*	0.998	0.994	-1.000	
Croma- C^*	-0.997	-0.995	1.000	-1.000

CONCLUSIONES

1. Se ha logrado determinar el comportamiento de la humedad a través de las isotermas de sorción, para la harina de papa de la variedad Roja I y Morado, asimismo se observó variación considerable de la capacidad antioxidante y del color de la papa, en comparación al producto fresco.
2. Las isotermas de adsorción para la harina de papa de la variedad Roja I y Morada correspondieron a las del tipo II (sigmoideas), disminuyendo X_e con el aumento de la temperatura de sorción, con diferencias significativas (p -value < 0.05); el modelo GAB y Peleg se ajustaron en mejor medida para ambas variedades de harina ($R^2 > 0.99$), asimismo los parámetros X_m , C_{GAB} , K_{GAB} presentan tendencia lineal con la temperatura, por otra parte el calor isostérico de adsorción vario de 25.73 a 6.95 kJ/mol y 17.38 a 7.53 kJ/mol para humedades entre 5.0 a 30% a sus respectivas a_w para la variedades Roja I y Morada respectivamente.
3. La capacidad antioxidante presento diferencias significativas (p -value < 0.05) para la pulpa de papa fresca y harina de la variedad Roja I presentando valores de $394.40 \pm 3.61 \mu\text{mol Trolox}/100 \text{ g}$ y $443.70 \pm 1.62 \mu\text{mol Trolox}/100 \text{ g}$ respectivamente, que son relativamente menores en comparación a la variedad Morada que resulto en $413.25 \pm 1.96 \mu\text{mol Trolox}/100 \text{ g}$ y $455.65 \pm 0.55 \mu\text{mol Trolox}/100 \text{ g}$ para papa fresca y harina respectivamente.
4. El color de la pulpa de papa fresca y harina, presentaron bajos valores de L^* observándose que disminuye para la variedad Roja I de 28.35 ± 0.36 a 16.39 ± 0.20 para la papa fresca y en harina respectivamente, mientras que para la variedad Morada esta incrementa notablemente de 9.85 ± 0.65 a 16.58 ± 0.16 para la papa fresca y harina respectivamente, y que el croma a^* en ambos

caso tiende al rojo, mientras que el croma b^* presento tendencia al azul, en cuanto al ΔE^*_{ab} respecto de la papa fresca, reportó valores de 35.65 para la variedad Roja I y 42.11 para la Morada, lo que indico disminución extraordinaria.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda almacenar la harina de papa de la variedad Roja I y Morada a humedades relativas alrededor del 30%.
2. Evaluar isotermas de otras variedades de harinas de papas nativas.
3. Determinar compuestos bioactivos (Carotenoides, fenoles totales, antocianinas) y Correlacionar con los índices de color.
4. Determinar la capacidad antioxidante por los métodos FRAC y ORAC, para papas nativas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ah-Hen, Kong, Fuenzalida, Carolina, Hess, Susan, Contreras, Andrés, Vega-Gálvez, Antonio, Lemus-Mondaca, Roberto. (2012). Antioxidant Capacity and Total Phenolic Compounds of Twelve Selected Potato Landrace Clones Grown in Southern Chile. *Chilean journal of agricultural research*, 72(1):3-9.
- Alvarado, J.; Aguilera, J.M. (2001). *Métodos para Medir las Propiedades Físicas en la Industria de los Alimentos*. Editorial Acribia, S.A.
- Angulo, D. I., y Montenegro, E.S. (2006). *Estudio técnico en la elaboración de papa pre-cocida congelada, puré y tortillas de papa a partir de tres variedades de papas nativas ecuatorianas*. Escuela Politécnica Nacional, Quito.
- ASTM, American S. Standard Practice for Calculation of Color Tolerances and Color Differences from Instrumentally Measured Color Coordinates. Of the International Association for Testing Materials
- Aviaria, N.A., Ajibola, O.O. (2002). Thermodynamics os moisture sorption in melon seedd and cassava. *J. Food Eng.*, 55:107-113.
- Ayala-Aponte, A. (2011). Estimación de las isotermas de adsorción y del calor isostérico de yuca. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 9(1):88-96.
- Barbosa, C. (1997). *Manual de Laboratorio de Ingeniería en Alimentos*. Editorial Acriba, S.A. Zaragoza, España. p. 71-88
- Beerling, M. (1999). Techniques for measuring color. *Metal finishing* 97, 552-557.

- Bello, J. (2008). *Ciencia Bromatológica; Principios Generales de Los Alimentos*, Ediciones Díaz de Santos S. A., Madrid.
- Bennaceur, S.; Draoui, B.; Touati, B.; Benseddik, A.; Saad, A.; Bennamoun, L. (2015). Determination of the moisture-sorption isotherms and isosteric heat of henna leaves. *J. Eng. Phys. Thermophys.* 88:52–62.
- Beynum, G.M.A., Roels, J.A. (1985). *Starch conversion technology*. Ed. Marcel Dekker. Nueva York, Estados Unidos. pp. 360.
- Blazek, J., Copeland, L. (2007). Pasting and swelling properties of wheat flour and starch in relation to amylose content. *Carbohydrate Polymers* 71, 380-387.
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M., Berset, C. (1997) Use of a Free Radical Method to Evaluate Antioxidant Activity, *Lebensm. Wiss. U. Technol.* 28:25-30.
- Brennan, J. G. (2008). *Manual del Procesado de los alimentos*. Edit. ACRIBIA. España
- Brett, B., Figueroa, M., Sandoval, A.J., Barreiro, J.A., Müller, A.J. (2009) Moisture sorption characteristics of starchy products: Oat flour and rice flour. *Food Biophys.*4:151–157.
- Casassa, F., Sari, S. (2006). Aplicación del Sistema Cie-Lab a los vinos tintos. Correlación con algunos parámetros tradicionales. *Revista Enología*, 5:56-62.
- Centro Internacional de la Papa (CIP) -Agencia Suiza de Cooperación y Desarrollo (COTESU). (1993). Taller de planificación por objetivos del proyecto conservación, evaluación y utilización de la biodiversidad de las raíces y

tubérculos andinos. Documento interno. Centro Internacional de la Papa (CIP). Lima, Perú.

Cerón, A.; Hurtado, A.; Osorio, O.; Bucheli, M. (2011). Estudio de la formulación de la harina de papa de la variedad parda pastusa (*Solanum tuberosum*) como sustituto parcial de la harina de trigo en panadería. *Rev. Biol. Agron.* 9(1):115-121.

Cerón-Lasso, M., Alzate-Arbeláez, A.F., Rojano, Benjamín A., Ñuztez-Lopez, C.E. (2018). Composición Fisicoquímica y Propiedades Antioxidantes de Genotipos Nativos de Papa Criolla (*Solanum tuberosum* Grupo Phureja). *Información Tecnológica*, 29(3):205-216. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642018000300205>

Chen, C.H.; Kuo, W.S.; Lai, L.S. (2009). Rheological and physical characterization of film-forming solutions and edible films from tapioca starch/decolorized hsian-tsao leaf gum. *Food Hydrocoll.*, 23:2132–2140.

Cherife, J., Timmermann, O., Iglesias, H.A., Boquet, R. (1992). Some features of the parameter K of the GAB equation as applied to sorption isotherms of selected food materials. *J. Food Eng.*, 15:78-82.

Choque-Quispe D., (2009). Evaluación de las isothermas de adsorción del maíz morado. Tesis de maestría. Maestría en ciencia y tecnología de alimentos. UNSAAC, Perú. 120p.

Choque-Quispe, D., Ligarda-Samanez, C.A., Ramos-Pacheco, B.S., Taipe-Pardo, F., Peralta-Guevara, D.E., Solano Reynoso, A.M. (2018). [Evaluación de las](#)

[isotermas de sorción de granos y harina de kiwicha \(Amaranthus caudatus\)](#).Rev. ION 31(2):

Coupland, J.N.; Shaw, N.B.; Monahan, F.J.; Dolores O’Riordan, E.; O’Sullivan, M. (2000). Modeling the effect of glycerol on the moisture sorption behavior of whey protein edible films. *J. Food Eng.*, 43:25–30.

Delgado-Andrade, C., Morales, F.J. (2005). Unraveling the Contribution of Melanoidins to the Antioxidant Activity of Coffee Brews. *Journal of Agriculture and Food Chemistry* 53: 1403-1407

EcEwen, B. (1998). Protective and damaging effects of stress mediators. *The New England journal of medicine*, 338(3):171-179.

Egusquiza, R., Pérez, I., Cahuana, N., Alagón, R., Campana, A., Quispe, M. (2008). *Catálogo de papas nativas en Pampacorral. En: Pampacorral, Catalogo de sus papas nativas*. Universidad Nacional Agraria La Molina y Asociación Nacional de Productores Ecológicos del Perú.

Fellows, P. (2000). *Food Processing Technology - Principles and Practice*. 2da edic.

Fennema, O. (2000). *Química de los alimentos*. 2º Edición. Editorial ACRIBIA – España.

Fennema, O.; Karel, M.; Lund, D. (1975). *Principles of food science - Physical principles of food preservation – part II*. Edit. Marcel Dekker INC. – New York – USA.

Ferreira, F., Ramirez, D.P., Wanderlei Piler C. (2014). *Propiedades reológicas e de*

adsorção de água de farinha extrudada de arroz e bagaço de cevada. Rev. Ceres, Viçosa, 61(3):313-322

Fonseca C., Burgos G., Rodríguez F., Muños L., Ordinola M. (2014). Catálogo de variedades de papa nativa con potencial para la seguridad alimentaria y nutricional de Apurímac y Huancavelica. Centro Internacional de la Papa – CIP. Lima, Perú. 29p.

Francis, F. J., Clydesdale, F. M. (1975). Food colorimetry: theory and applications. Westport, CT: AVI Publishing.

Fuentes, A. (1996). Predicción de la Actividad de Agua en Harinas Precocidas de Quinchoncho (*Cajanus cajan* L. mil sp) y Habas (*Canavalia ensiformis*) y Sus Mezclas. Trabajo De Grado Maestría. Udo Venezuela.

Funglie K.C., Oates C.G. (2001). Starch markets in Asia. In: Sweetpotato post-harvest research and development. Proceedings of an international workshop. Chengdu, China. November 7-8.

Garcia, A.E. (2011). Evaluación in vitro/in vivo de propiedades antioxidantes de clones promisorios de papa criolla (*Solanum phureja*). Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia, Colombia, p113.

Gijarro Vega, C. (2008). Propuesta gastronómica mediante la utilización de las diez principales variedades de papa nativa que se cultivan en la provincia del Cotopaxi (tesis de grado). Universidad tecnológica equinoccial, Quito.

Gómez, R., Roca, W., Ordinola, M. (2008). *Papas Nativas: Catálogo de variedades*

y usos gastronómicos. Revista del Centro Internacional de la Papa., 2-46.

Greene, J.; Bovell-Benjamin, A. (2004). Macroscopic and sensory evaluation of bread supplemented with sweet-potato flour. *J. Food Sci.*, 69(4):167-177.

Gutiérrez, Á., Ledesma, L., García, I., Grajales, O. (2007). Capacidad antioxidante total en alimentos convencionales y regionales de Chiapas, México. *Revista Cubana de Salud Pública*, 33(1):1-7.
http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-34662007000100008&lng=es&tlng=es.

Hanasaki, Y., Ogawa, S., Fukui, S. (1994). The correlation between active oxygens scavenging and antioxidative effects of flavonoids. *Free Radical biology and medicine*, 16(6):845-850.

Hawkes, J.G. (1990) *The Potato: evolution, biodiversity and genetic resources*, Belhaven Press, United Kingdom (UK).

Heim KE, Tagliaferro AR, Bobilya DJ. (2002). Flavonoid antioxidants: chemistry, metabolism and structure-activity relationships. *Journal of Nutritional Biochemistry*, 13:572-84.

Heldman, D.; Lund D. (2007). *Handbook of Food Engineering*. 2da edic. Editorial. CRC Press. Florida – EE. UU.

Hermida, J.R. (2000). *Fundamentos de Ingeniería de Procesos Agroalimentarios*. Edit. Mundi- Prensa. España.

Hidalgo, D. (2008). *El protector de la papa*. En: Pampacorral, Catalogo de sus

papas nativas. Universidad Nacional Agraria La Molina y Asociación Nacional de Productores Ecológicos del Perú.

Hirose, Y., Fujita, T., Ishii, T., Ueno, N. (2010). Antioxidative properties and flavonoid composition of *Chenopodium quinoa* seeds cultivated in Japan. Food Chemistry, 119(4):1300-1306.

Huamán, Z., Spooner, D.M. (2002) *Reclassification of Landrace Populations of Cultivated Potatoes (Solanum sect. Petota)*. American Journal of Botany, 89(6).

Huang, D., Ou, B., Prior, R. (2005). The chemistry behind antioxidant capacity assays. Journal of agricultural and food chemistry, 53(6):1841-1856.

INTA. (2015). Instituto de Nutrición y Tecnología de Alimentos-Universidad de Chile Antioxidantes. Obtenido <http://www.portalantioxidantes.com/mision>.

Jiménez, A.M., Sánchez, M., Martínez M. (2012). Actividad antioxidante en bebida de café. AN. VET. (MURCIA) 28:67-78.

Keceli, T., Gordon, M.H. (2001). The antioxidant activity and stability of phenolic fraction of green olives and extra virgin olive oil. Journal of the Science of Food and Agriculture, 81: 1391-1396.

Konica Minolta Sensing (2007), Inc.: Color control from perception to instrumentation.

Krokida, M. K., Maroulis, Z. B., Saravacos, G. D. (2001). The effect of the method of drying on the colour of dehydrated products. International Journal of Food

- Labuza, T. P. (1984). Moisture sorption – Practical aspects of isotherm measurement and use. Ed. American Association of Cereal Chemists. Minnesota.
- Lachman J, Hamouz K, Orsak M, Pivec V, Dvorak P. (2008). The influence of flesh colour and growing locality on polyphenolic content and antioxidant activity in potatoes. *Scientia Horticulturae* 2008b; 117(2):109-114.
- Leighton, F., Urquiaga, I. (2000). Alimentación, antioxidantes y envejecimiento. Santiago de Chile, Chile: publicado por Pontificia Universidad Católica de Chile.
- Ligarda, C.A., Choque, D., Taipe, F., Choque, Y., Solano, A.M. (2018). Capacidad antioxidante y compuestos bioactivos en puré instantáneo de diez clones de papa nativa (*Solanum tuberosum*). Universidad Nacional José María Arguedas, Perú.
- Lim, Y.Y., Lim, T. T., Tee, J. J. (2007). Antioxidant properties of several tropical fruits: A comparative study. [Food Chemistry](#), 103(3):1003-1008.
- Lister C., Monro J. (2000). Red de papa. Boletín de papa Vol. 2 N°23. Art. La humilde papa. (En línea). Disponible en: <http://www.redepapa.org/boletinveintinueve.html>
- Liu Z. (2010). Chemical methods to evaluate antioxidant ability. *Chem. Rev.*, 110(10), 5675–5691

- Lopez, A., Pique, M., Boatella, J., Romero, A., Ferran, A., Garcia, J. (1997). Influence drying conditions on the hazelnut quality. III. Browning. *Drying Technology*, 15(3–4), 989–1002.
- Madigan, G. (2003). Brock: *Biología De Los Microorganismos*. 10ª Edición. Ed. Pearson-Prentice-Hall, Madrid. p. 1-20
- Mathias-Rettig, K., Ah-Hen, K. (2014). El color en los alimentos un criterio de calidad medible. *Agro Sur* 42(2):39-49. DOI:10.4206/agrosur.2014.v42n2-07
- Matos-Chamorro, A., Rajo-Angulo, R. (2010). Influencia del tamaño de partículas en las isotermas de adsorción de la harina de haba (*Vicia faba* L.). *Rev. Investig. cienc. tecnol. Aliment.*, 1(1):51-58.
- Mattila P, Hellström J. (2007). Phenolic acids in potatoes, vegetables, and some of their products. *Journal of Food Composition and Analysis*, 2(3–4):152-160.
- McCabe, L. W. C.; Smith, J.; Harriot P. (2007). *Operaciones unitarias en ingeniería química*. Editorial Mc Graw Hill. Séptima Edición. México.
- McMinn W.A.M., Magee, T.R.A. (2003). Thermodynamics properties of moisture sorption of potato. *J. Food Eng.* 60:157-165.
- Miller, N. J., J. Sampson, L.P. Candeias, P.M. Bramley, C.A. Rice-Evans (1996). Antioxidant activities of carotenes and xanthophylls. *FEBS Letters* 384:240–242.
- MINAGRI. Consumo de papa. <http://minagri.gob.pe/portal/datero/25-sector-agrario/papa/211-consumo>

- Morales, F., Jiménez-Pérez, S. (2001). Free radical scavenging capacity of Maillard reaction products as related to colour and fluorescence. *Food Chemistry* 72: 119-125.
- Moreno, U. (2008). El cultivo ecológico de la papa en el Perú. En: Pampacorral, Catalogo de sus papas nativas. Universidad Nacional Agraria La Molina y Asociación Nacional de Productores Ecológicos del Perú.
- Moreyra L., Garcia I. (1977). Elaboración de Harinas Precocidas. I.N.D.A, Lima.
- Muzaffar, K., Kumar, P. (2016). Moisture sorption isotherms and storage study of spray dried tamarind pulp powder. *Powder Technology*, 291, 322-327. <http://dx.doi.org/10.1016/j.powtec.2015.12.046>.
- Navarre, D. A., Shakya R. Holden, M., Kumar S. (2010). The effect of different cooking methods on phenolics and vitamin C in developmentally young potato tubers. *American Journal of Potato Research*, 87:350-359. DOI 10.1007/s12230-010-9141-8
- Núñez, M.C., Bello, L.A., Tecante, A. (2004). Swelling-solubility characteristics, granule size distribution and rheological of banana (*Musa paradisiaca*) starch. *Carbohydrate Polymers*. 56, 65-75.
- Ochoa, C.M. (1999) Las Papas de Sudamérica: Perú (Parte 1). Allen Press, Kansas, Estados Unidos (USA).
- Padilla, F. C., Rincon, A. M., Bou-Rached, L. (2008). Contenido de polifenoles y actividad antioxidante de varias semillas y nueces. *Archivos latinoamericanos*

de nutrición, 58(3):303-310.

Park J.H., Lee Y.J., Kim Y., Yoon K.S. (2017). Antioxidant and Antimicrobial Activities of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) Seeds Cultivated in Korea. *Prev. Nutr. Food Sci.* 22(3):195-202.

Parr, A.J., Bolwell, G.P. (2000). Phenols in the plant and in man. The potential for possible nutritional enhancement of the diet by modifying the phenols content or profile. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 80:985-1012.

Pathare, P., Opara, U., Al-Julanda, F. (2013). Colour Measurement and Analysis in Fresh and Processed Foods: A Review. *Food and Bioprocess Technology*, 6:36-60. DOI. 10.1007/s11947-012-0867-9.

Paucar, S. (2014). Composición química y capacidad antioxidante de dos variedades mashua (*Tropaeolum tuberosum*): amarilla chaucha y zapallo. Universidad Tecnológica Equinoccial, Quito-Ecuador

Pietta, G. P. (2000). Flavonoids as antioxidants. *Journal of natural products.* 63(7):1035-1042.

Quilca N. E. (2007). Caracterización física, morfológica, organoléptica, química y funcional de papas nativas para orientar sus usos futuros. Tesis de maestría, Escuela Politécnica Nacional, Ecuador.

Ramírez, D. (2012). Determinación de isotermas de sorción en harina de maíz a tres temperaturas y su ajuste a modelos matemáticos. Tesis de posgrado, México D.F.

- Ramírez-Navas, J.S. (2014). Espectrocolorimetría en caracterización de leche y quesos. *Tecnología Lactea Latinoamericana*, 61:52-58.
- Repo, R., Encina, C. (2008). Determinación de la capacidad antioxidante y compuestos bioactivos de frutas nativas peruanas. *Rev. Soc. Quím. Perú*, 74(2): 108-124.
- Rice-Evans, C. A., Miller, N. J., Paganga, G. (1996). Structure-antioxidant activity relationships of flavonoids and phenolic acids. *Free radical biology and medicine*, 20 (7):933-956.
- Samapundo, S. Devliegher, F., De Meule-Ner, B., Atukwase, A., Lambon, Y., Debevere, J.M. (2007). Sorption isotherms and isosteric heats of sorption of whole yellow dent corn. *J. Food Eng.* 79:168-175.
- Santana, V., Gurak, Poliana D.; Marczak, D. & Tessaro, C. (2013) Tracking bioactive compounds with colour changes in foods - A review. *Dyes and Pigments* 98(3).
- Saravacos, G.; Tsiourvas, D.; Tsami. (1986). Effect of temperature on the water adsorption isotherms of sultana raisins. *Journal of food science*, 51(2).
- Shafiur, R. (2003). *Manual de Conservación de los Alimentos*. Editorial ACRIBIA – España.
- Shih, F.F.; Daigle, K.W.; Champagne, E.T. (2011). Effect of rice wax on water vapour permeability and sorption properties of edible pullulan films. *Food Chem.*, 127:118–121.

- Sotero, V., Luján, M., Freitas, L., Merino, C., Dávila, E. (2013). Estabilidad y actividad oxidante de la pulpa liofilizada de tres morfotipos de aguaje (*Mauritia flexuosa*). *Rev. Soc. Quím. Perú*, 79(2):136-143.
- Souza, S. J. F., Alves, A. I., Vieira, É. N. R., Vieira, J. A. G., Ramos, A. M., Telis-Romero, J. (2015). Study of thermodynamic water properties and moisture sorption hysteresis of mango skin. *Food Science and Technology*, 35(1):157-166. <http://dx.doi.org/10.1590/1678-457X.6557>.
- Spooner, D.M., McLean, K., Ramsay, G., Waugh, R., Bryan, G.J. (2005) A Single Domestication for Potato Based on Multilocus Amplified Fragment Length Polymorphism Genotyping, *PNAS*, 102(41).
- Toloaba, M. P.; Peltzer, M.; Enriquez, N.; Pollio, M. L. (2004). Grain Sorption Equilibrium of Quinoa Grains. *Journal of Food Engineering*, 61(3):365-371
- Tóth, J. (2001). *Adsorption. Theory, Modeling, and Analysis*. Edit. Marcel Dekker, Inc. New York.
- Tovar. (2013). Determinación de la actividad antioxidante por DPPH y ABTS de 30 plantas recolectadas en la ecoregión cafetera. Tesis para optar Título. Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia.
- Trujillo, F. J.; Yeow, P. Ch.; Pham, Q. T. (2003). Moisture sorption isotherm of fresh lean beef and external beef fat. *Journal of Food Engineering*, 60(4), 357–366.
- Túpac Yupanqui A. (2001). *Postcosecha y comercialización de tubérculos andinos con énfasis en papas nativas y ulluco*. Perú.

- Van Acker, S., Van den Berg, D., Tromp, M., Griffioen, D., Bennekom, W., Van der Vijgh, W., Bast, A. (1996). Structural aspects of antioxidant activity of flavonoids, *Free radical biology and medicine*, 20(3):331-342.
- Vega-Galvez, A., Aravena, E.L., Lemus-Mandoca, R. (2006). Adsorption isotherms of corn (*Zea mays* L.) flour. *Ciencia e Tecnologia de Alimentos*, 26:821-827.
- Vignoni, L.A, Césari, R.M, Forte, M., Mirábile, M.L. (2006). Determinación de Índice de Color en Ajo Picado. *Información Tecnológica*, 17(6):63-67. DOI: <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642006000600011>
- Von, M. C., Machado, P., Silva, M. E. (2005). Evaluation of texture and color of starches and flours in preparations without gluten. *Cienc. Technol. Aliment*, 4(5):319-323.
- Wang, S., Jinglin. Y., Jiugao. Y., Haixia, C., Jiping. P., Hongyan. L. (2007). Partial characterization of starches from *Dioscorea opposita*. *Journal of Food Engineering*, 11:01-07.
- Yadav, A.R.; Guha, M.; Tharanathan, R.N.; Ramteke, R. S. (2006). Influence of drying conditions on functional properties of potato flour. *Europ. Food Res. Techn.* 223:553 - 560.
- Yamamoto, A. (1988). Potato processing learning from a traditional Andean system. En: *The Social Sciences at CIP. Report of the Third Social Science Planning Conference, September 7 -10- 1987.* Centro Internacional de la Papa (CIP). Lima, Perú.

Zarabia, M.H. (2015). Actividad antioxidante y citoprotectora del extracto acuoso de tres morfotipos de *Solanum* spp. "papa nativa" in vitro. Tesis de pregrado. Escuela profesional de Farmacia y Bioquímica, Universidad Nacional de San Cristóbal De Huamanga. p104.

Zheng, W., Wang SY. (2003). Oxygen Radical Absorbing Capacity of Phenolics in Blueberries, Chankeberries and Lingoberries. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 51(2):502-509. DOI [10.1021/jf020728u](https://doi.org/10.1021/jf020728u)

Zhu, N., Sheng, S., Li, E., Lavoie, E., Karwe, M., Rosen, R., Tang Ho, C. (2001). Antioxidante flavonoide glucósidos de semillas de quinua (*Chenopodium quinoa Willd*), *Journal of food lipids*, 8(1):37-44

ANEXOS

Anexo 01: Matriz de consistencia

Formulación del problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Definición de operaciones					
				Dimensiones	Indicador	Unidad	Técnica de recolección de datos	Instrumento de recolección de datos	Instrumento de medición
G ¿Cuáles son las características de adsorción, capacidad antioxidante y color de la harina de dos variedades de papa nativa (<i>Solanun tuberosum</i>)?	Determinar los modelos de isothermas de adsorción, capacidad antioxidante y color de la harina de dos variedades de papa nativa (<i>Solanun tuberosum</i>)	Las isothermas de adsorción, capacidad antioxidante y color de la harina de dos variedades de papa nativa (<i>Solanun tuberosum</i>), son diferentes	Papa nativa	Papa fresca	Variedad Roja y Morada	Harina	Observación	Guía de observación	
				Harina	Variedad Roja y Morada	Tubérculo	Observación	Guía de observación	
			Temperatura de adsorción	Temperatura	Temperatura	°C	Observación	Guía de observación	Termómetro
E1 ¿Cuál es la isoterma de adsorción de la harina de clones de papa nativa de las variedades Roja I y Morada 308837-230D (<i>Solanun tuberosum</i>) evaluada a diferentes	Establecer el modelado de las isothermas de adsorción de harina de clones de papa nativa de las variedades Roja I y Morada 308837-230D (<i>Solanun tuberosum</i>) a	El modelo de isoterma de Halsey representa adecuadamente el comportamiento de adsorción de la harina de papa de las variedades Roja I y Morada (<i>Solanun</i>	-Isothermas de adsorción	Isothermas de adsorción de	Humedad de equilibrio	g de agua/g	Observación	Guía de observación	balanza
					Actividad de agua	Adimensional	Observación	Computadora	Ecuación matemática

	temperaturas?	diferentes temperaturas	<i>tuberosum</i>)							
E2	¿Cuál es la capacidad antioxidante de la harina de clones de papa nativa de las variedades Roja I y Morada 308837-230D (<i>Solanun tuberosum</i>) en comparación con la papa fresca?	Determinar la capacidad antioxidante de harina de clones de papa nativa de las variedades Roja I y Morada 308837-230D (<i>Solanun tuberosum</i>), en comparación con la papa fresca	La capacidad antioxidante de la harina de papa de las variedades Roja I y Morada (<i>Solanun tuberosum</i>), muestran diferencia significativa en comparación al tubérculo	Capacidad antioxidante	Capacidad antioxidante	Capacidad antioxidante	μMol Trolox eq./g	Análisis de datos	Guía de observación	Espectrómetro
E3	¿Cuál es el color L* a* b* de la harina de clones de papa nativa de las variedades Roja I y Morada 308837-230D (<i>Solanun tuberosum</i>) en comparación con la papa fresca?	Evaluar el color L* a* b* de harina de clones de papa nativa de las variedades Roja I y Morada 308837-230D (Solanun tuberosum), en comparación con la papa fresca	El color L* a* b* de la harina de papa de las variedades Roja I y Morada (<i>Solanun tuberosum</i>), muestran diferencia significativa en comparación al tubérculo	Color de la harina	Color de la harina	Croma L* a* b*	Adimensional	Observación	Guía de observación	Colorímetro
						Saturación de color	Adimensional	Análisis de datos	Computadora	Ecuación matemática
						Índice de color	Adimensional	Análisis de datos	Computadora	Ecuación matemática

ANEXO 2: Datos para la construcción de las Isotermas de sorción

HARINA ROJA I

Datos de humedad de la harina de papa Roja I

Masa	1.0000 gramo
Masa de Sólido seco	0.9568 g/g muestra
Humedad	0.0432 g agua/g muestra

Datos de la humedad de equilibrio para la Harina de papa variedad Roja I

Sal	20°C		25°C		30°C		40°C	
	m_{eq}	X_e	m_{eq}	X_e	m_{eq}	X_e	m_{eq}	X_e
CH3COOK	0.9944	0.0393	0.9876	0.0322	0.9766	0.0207	0.9696	0.0134
	0.9945	0.0394	0.9877	0.0323	0.9765	0.0206	0.9697	0.0135
	0.9945	0.0394	0.9875	0.0321	0.9765	0.0206	0.9699	0.0137
MGCL	1.0317	0.0783	1.0293	0.0758	1.0132	0.0589	1.0030	0.0483
	1.0316	0.0782	1.0294	0.0759	1.0134	0.0592	1.0031	0.0484
	1.0316	0.0782	1.0296	0.0761	1.0133	0.0591	1.0032	0.0485
MG(NO3)2	1.0936	0.1430	1.0747	0.1232	1.0482	0.0955	1.0182	0.0642
	1.0935	0.1429	1.0745	0.1230	1.0484	0.0957	1.0184	0.0644
	1.0934	0.1428	1.0744	0.1229	1.0482	0.0955	1.0182	0.0642
KI	1.1769	0.2300	1.1493	0.2012	1.0832	0.1321	1.0322	0.0788
	1.1768	0.2299	1.1494	0.2013	1.0830	0.1319	1.0320	0.0786
	1.1767	0.2298	1.1493	0.2012	1.0835	0.1324	1.0325	0.0791
NAACL	1.2566	0.3133	1.1897	0.2434	1.1229	0.1736	1.0459	0.0931
	1.2567	0.3134	1.1899	0.2436	1.1228	0.1735	1.0458	0.0930
	1.2568	0.3135	1.1896	0.2433	1.1230	0.1737	1.0460	0.0932
BACL2	1.4639	0.5300	1.4228	0.4870	1.3054	0.3643	1.2654	0.3225
	1.4639	0.5300	1.4225	0.4867	1.3052	0.3641	1.2653	0.3224
	1.4637	0.5298	1.4227	0.4869	1.3052	0.3641	1.2655	0.3226

HARINA MORADA - 308837-230D

Datos de humedad de la harina de papa Morada

Masa	1.0000 gramo
Masa de Sólido seco	0.9613 g/g muestra
Humedad	0.0387 g agua/g muestra

Datos de la humedad de equilibrio Harina de papa variedad Morada

Sal	20°C		25°C		30°C		40°C	
	m_{eq}	X_e	m_{eq}	X_e	m_{eq}	X_e	m_{eq}	X_e
CH3COOK	0.9964	0.0365	0.9902	0.0301	0.9836	0.0232	0.9826	0.0222
	0.9962	0.0363	0.9900	0.0299	0.9835	0.0231	0.9830	0.0226
	0.9961	0.0362	0.9900	0.0299	0.9836	0.0232	0.9832	0.0228
MGCL	1.0304	0.0719	1.0253	0.0666	1.0109	0.0516	1.0010	0.0413
	1.0305	0.0720	1.0254	0.0667	1.0108	0.0515	1.0011	0.0414
	1.0304	0.0719	1.0252	0.0665	1.0108	0.0515	1.0012	0.0415
MG(NO3)2	1.0952	0.1393	1.0752	0.1185	1.0488	0.0910	1.0231	0.0643
	1.0949	0.1390	1.0759	0.1192	1.0487	0.0909	1.0232	0.0644
	1.0944	0.1385	1.0756	0.1189	1.0487	0.0909	1.0231	0.0643
KI	1.1844	0.2321	1.1595	0.2062	1.1060	0.1505	1.0432	0.0852
	1.1838	0.2315	1.1596	0.2063	1.1060	0.1505	1.0430	0.0850
	1.1842	0.2319	1.1596	0.2063	1.1063	0.1508	1.0433	0.0853
NACL	1.2696	0.3207	1.2091	0.2578	1.1459	0.1920	1.0758	0.1191
	1.2697	0.3208	1.2093	0.2580	1.1458	0.1919	1.0757	0.1190
	1.2698	0.3209	1.2092	0.2579	1.1459	0.1920	1.0759	0.1192
BACL2	1.4936	0.5537	1.3848	0.4405	1.2716	0.3228	1.2544	0.3049
	1.4940	0.5541	1.3844	0.4401	1.2714	0.3226	1.2542	0.3047
	1.4934	0.5535	1.3843	0.4400	1.2717	0.3229	1.2545	0.3050

ANEXO 3: Análisis estadístico para la humedad de equilibrio

VARIEDAD ROJO I

Análisis de Varianza de un factor (temperatura)

RESUMEN

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
20	3	1.5898	0.5299	1.46E-08
25	3	1.4607	0.4869	2.55E-08
30	3	1.0926	0.3642	1.46E-08
40	3	0.9676	0.3225	1.09E-08

ANÁLISIS DE VARIANZA

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	p-value	Fcrit
Entre grupos	0.0871	3	0.029	1771979.8	1.26E-23	4.066
Dentro de los grupos	1.31081E-07	8	1.64E-08			
Total	0.0871	11				

VARIEDAD MORADA

Análisis de Varianza de un factor (temperatura)

RESUMEN

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
20	3	0.8500	0.2833	1.00999E-07
25	3	0.8526	0.2842	7.57496E-08
30	3	0.8746	0.2915	2.52499E-08
40	3	0.9146	0.3049	2.52499E-08

ANÁLISIS DE VARIANZA

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	p-value	Fcrit
Entre grupos	0.1205	3	0.040	707117.73	4.98E-22	4.066
Dentro de los grupos	4.5E-07	8	5.7E-08			
Total	0.120519144	11				

**ANEXO 4: Datos para determinar el Calor isostérico de sorción
Variedad Roja I**

Humedad **0.0432** g agua/g muestra **4.32%**

T (°C)	T (K)	Humedad	Xm	Cgab	Kgab	aw (GAB)
20	293.15	0.0432	0.1477	1.2862	0.8504	0.22763
25	298.15	0.0432	0.0914	2.4273	0.9066	0.22090
30	303.15	0.0432	0.0617	3.1069	0.9178	0.28135
40	313.15	0.0432	0.0286	12.1144	0.9874	0.41332

ln (aw)	1/T	-LN(aw)
-1.48003	0.00341	1.48003
-1.51003	0.00335	1.51003
-1.26816	0.00330	1.26816
-0.88354	0.00319	0.88354

qs/R 2966.4 KJ kg-1
R (agua) 0.4619 kJ kg-1 K-1
qs 1370.1802

$$y = 2966.4x - 8.5461$$

$$R^2 = 0.9091$$

Humedad **0.050** g agua/g m. **5.00%**

T (°C)	T (K)	Humedad	Xm	Cgab	Kgab	aw (GAB)
20	293.15	0.0500	0.1477	1.2862	0.8504	0.2570
25	298.15	0.0500	0.0914	2.4273	0.9066	0.2543
30	303.15	0.0500	0.0617	3.1069	0.9178	0.3249
40	313.15	0.0500	0.0286	12.1144	0.9874	0.4813

ln (aw)	1/T	-LN(aw)
-1.35859	0.00341	1.35859
-1.36938	0.00335	1.36938
-1.12426	0.00330	1.12426
-0.73129	0.00319	0.73129

qs/R 3094.6 KJ kg-1
R (agua) 0.4619 kJ kg-1 K-1
qs 1429.3957

$$y = 3094.6x - 9.1108$$

$$R^2 = 0.925$$

Humedad **0.070** g agua/g m. **7.00%**

T (°C)	T (K)	Humedad	Xm	Cgab	Kgab	aw (GAB)
20	293.15	0.0700	0.1477	1.2862	0.8504	0.3351
25	298.15	0.0700	0.0914	2.4273	0.9066	0.3459
30	303.15	0.0700	0.0617	3.1069	0.9178	0.4393
40	313.15	0.0700	0.0286	12.1144	0.9874	0.6192

ln (aw)	1/T	-LN(aw)
-1.09322	0.00341	1.09322
-1.06169	0.00335	1.06169
-0.82247	0.00330	0.82247
-0.47933	0.00319	0.47933

qs/R 2988.9 KJ kg-1
R (agua) 0.4619 kJ kg-1 K-1
qs 1380.5729

$$y = 2988.9x - 9.042$$

$$R^2 = 0.9567$$

Humedad **0.090** g agua/g m. **9.00%**

T (°C)	T (K)	Humedad	Xm	Cgab	Kgab	aw (GAB)
20	293.15	0.0900	0.1477	1.2862	0.8504	0.4024
25	298.15	0.0900	0.0914	2.4273	0.9066	0.4261
30	303.15	0.0900	0.0617	3.1069	0.9178	0.5315
40	313.15	0.0900	0.0286	12.1144	0.9874	0.7020

ln (aw)	1/T	-LN(aw)
-0.91027	0.00341	0.91027
-0.85310	0.00335	0.85310
-0.63203	0.00330	0.63203
-0.35386	0.00319	0.35386

qs/R 2685 KJ kg-1
R (agua) 0.4619 kJ kg-1 K-1
qs 1240.2015

$$y = 2685x - 8.2116$$

$$R^2 = 0.9731$$

Humedad **0.110** g agua/g m. **11.00%**

T (°C)	T (K)	Humedad	Xm	Cgab	Kgab	aw (GAB)
20	293.15	0.1100	0.1477	1.2862	0.8504	0.4607
25	298.15	0.1100	0.0914	2.4273	0.9066	0.4948
30	303.15	0.1100	0.0617	3.1069	0.9178	0.6042
40	313.15	0.1100	0.0286	12.1144	0.9874	0.7564

ln (aw)	1/T	-LN(aw)
-0.77507	0.00341	0.77507
-0.70370	0.00335	0.70370
-0.50386	0.00330	0.50386
-0.27923	0.00319	0.27923

qs/R 2375.4 KJ kg-1
R (agua) 0.4619 kJ kg-1 K-1
qs 1097.1973

$$y = 2375.4x - 7.3073$$

$$R^2 = 0.9801$$

Humedad **0.130** g agua/g m. **13.00%**

T (°C)	T (K)	Humedad	Xm	Cgab	Kgab	aw (GAB)
20	293.15	0.1300	0.1477	1.2862	0.8504	0.5114
25	298.15	0.1300	0.0914	2.4273	0.9066	0.5530
30	303.15	0.1300	0.0617	3.1069	0.9178	0.6617
40	313.15	0.1300	0.0286	12.1144	0.9874	0.7947

ln (aw)	1/T	-LN(aw)
-0.67056	0.00341	0.67056
-0.59238	0.00335	0.59238
-0.41292	0.00330	0.41292
-0.22981	0.00319	0.22981

qs/R 2098.9 KJ kg-1
R (agua) 0.4619 kJ kg-1 K-1
qs 969.48191

$$y = 2098.9x - 6.4799$$

$$R^2 = 0.9815$$

Humedad **0.150** g agua/g m. **15.00%**

T (°C)	T (K)	Humedad	Xm	Cgab	Kgab	aw (GAB)
20	293.15	0.1500	0.1477	1.2862	0.8504	0.5559
25	298.15	0.1500	0.0914	2.4273	0.9066	0.6024
30	303.15	0.1500	0.0617	3.1069	0.9178	0.7078
40	313.15	0.1500	0.0286	12.1144	0.9874	0.8231

ln (aw)	1/T	-LN(aw)
-0.58716	0.00341	0.58716
-0.50681	0.00335	0.50681
-0.34553	0.00330	0.34553
-0.19468	0.00319	0.19468

qs/R 1859.9 KJ kg-1
R (agua) 0.4619 kJ kg-1 K-1
qs 859.08781

$$y = 1859.9x - 5.7557$$

$$R^2 = 0.9794$$

		Humedad	0.200	g agua/g m.		20.00%
T (°C)	T (K)	Humedad	Xm	Cgab	Kgab	aw (GAB)
20	293.15	0.2000	0.1477	1.2862	0.8504	0.6459
25	298.15	0.2000	0.0914	2.4273	0.9066	0.6967
30	303.15	0.2000	0.0617	3.1069	0.9178	0.7901
40	313.15	0.2000	0.0286	12.1144	0.9874	0.8698

ln (aw)	1/T	-LN(aw)
-0.43714	0.00341	0.43714
-0.36144	0.00335	0.36144
-0.23557	0.00330	0.23557
-0.13954	0.00319	0.13954

qs/R 1398.7 KJ kg-1
R (agua) 0.4619 kJ kg-1 K-1
qs 646.05953 kJ kg-1

$$y = 1398.7x - 4.3423$$

$$R^2 = 0.9665$$

Humedad **0.300** g agua/g m. **30.00%**

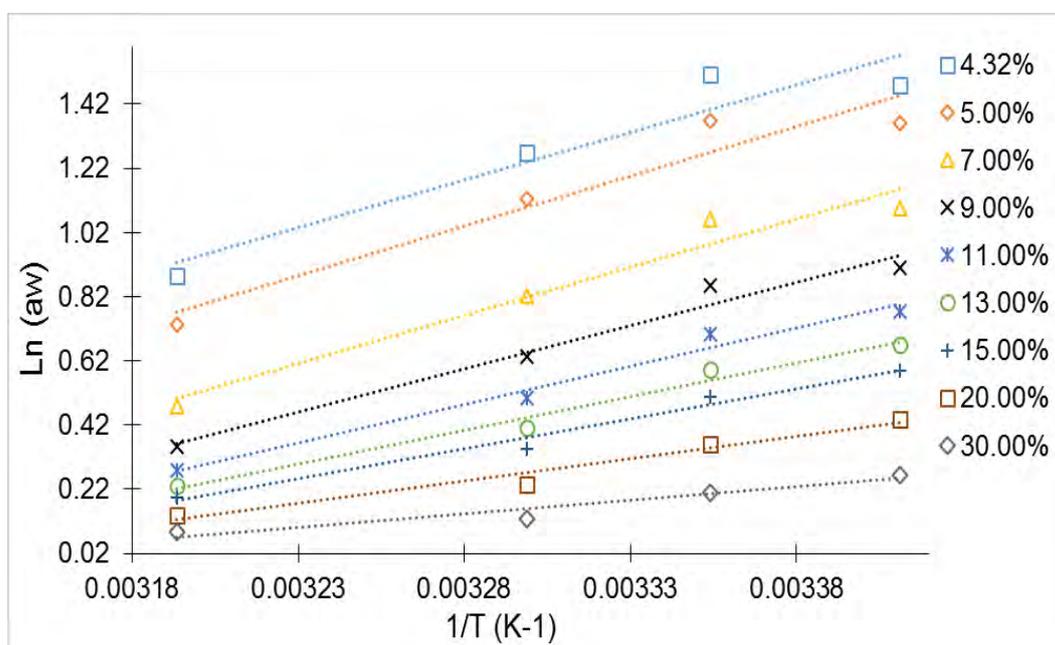
T (°C)	T (K)	Humedad	Xm	Cgab	Kgab	aw (GAB)
20	293.15	0.3000	0.1477	1.2862	0.8504	0.7668
25	298.15	0.3000	0.0914	2.4273	0.9066	0.8105
30	303.15	0.3000	0.0617	3.1069	0.9178	0.8814
40	313.15	0.3000	0.0286	12.1144	0.9874	0.9170

ln (aw)	1/T	-LN(aw)
-0.26551	0.00341	0.26551
-0.21009	0.00335	0.21009
-0.12623	0.00330	0.12623
-0.08668	0.00319	0.08668

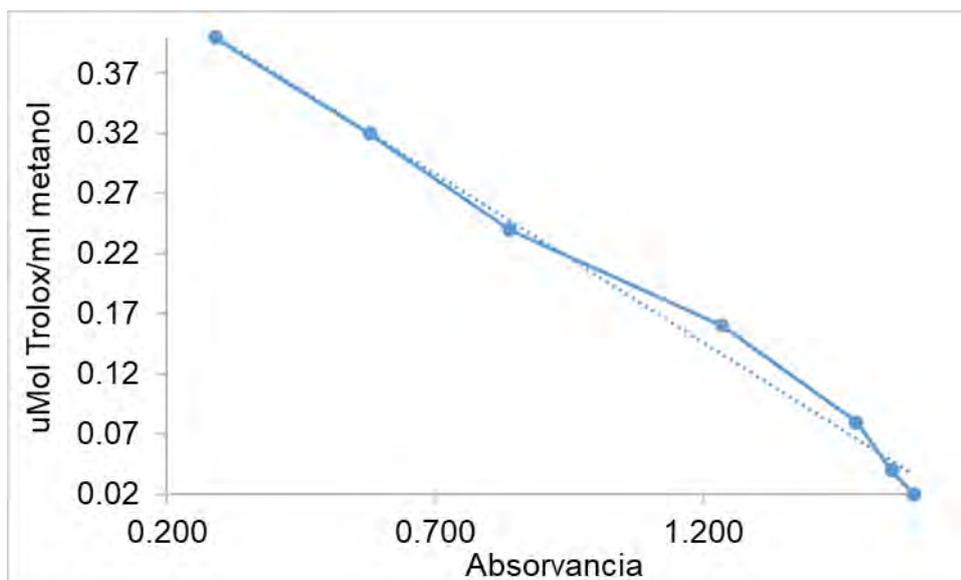
qs/R 836.22 KJ kg-1
R (agua) 0.4619 kJ kg-1 K-1
qs 386.25002

$$y = 836.22x - 2.5994$$

$$R^2 = 0.9234$$



ANEXO 5: Datos para la determinación de la capacidad antioxidante
Curva calibrada



$$\text{umol Trolox/ml metanol} = -0.3066 \cdot \text{Abs} + 0.521$$

$$R^2 = 0.9902$$

Variedad	Estado	Abs Blanco (DPPH)	Abs muestra	Abs Blan-mues	uMol T/ml metanol	FD (ml metanol/g muestra)	umol Trolox/100 g muestra	%AA	%I	IE(%)
roja	crudo	1.697	1.442	0.255	0.4428	9	398.54	15.03	84.97	25.50
		1.697	1.421	0.276	0.4364	9	392.74	16.26	83.74	27.60
		1.697	1.418	0.279	0.4355	9	391.91	16.44	83.56	27.90
	harina	1.697	1.610	0.087	0.4943	9	444.89	5.13	94.87	8.70
		1.697	1.608	0.089	0.4937	9	444.34	5.24	94.76	8.90
		1.697	1.599	0.098	0.4910	9	441.86	5.77	94.23	9.80
morada	crudo	1.697	1.489	0.208	0.4572	9	411.50	12.26	87.74	20.80
		1.697	1.503	0.194	0.4615	9	415.37	11.43	88.57	19.40
		1.697	1.494	0.203	0.4588	9	412.88	11.96	88.04	20.30
	harina	1.697	1.649	0.048	0.5063	9	455.65	2.83	97.17	4.80
		1.697	1.647	0.050	0.5057	9	455.10	2.95	97.05	5.00
		1.697	1.651	0.046	0.5069	9	456.21	2.71	97.29	4.60

ANOVA para la capacidad antioxidante

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust	Fcal	p-Value
Factor	3	7055.01	2351.67	475.76	0
Error	8	39.54	4.94		
Total	11	7094.56			

Evaluación de medias de Tukey

Factor	N	Media	Agrupación
Morada Harina	3	455.655	A
Rojo Harina	3	443.697	B
Morada Crudo	3	413.25	C
Rojo Crudo	3	394.4	D

ANEXO 6: Datos para la determinación del color

Estado	Variiedad	L	a*	b*
Fresca	Roja I	28.60	39.10	-16.00
Fresca	Roja I	28.50	40.26	-14.92
Fresca	Roja I	27.94	39.53	-15.45
Fresca	Morada	10.5	31.02	-40.9
Fresca	Morada	9.2	32.38	-41.1
Fresca	Morada	9.84	31.45	-39.92
Harina	Roja I	16.48	11.92	3.41
Harina	Roja I	16.53	12.01	3.48
Harina	Roja I	16.16	11.59	3.3
Harina	Morada	16.61	5.24	-8.59
Harina	Morada	16.73	5.43	-8.47
Harina	Morada	16.41	5.19	-8.37

ANOVA de la harina y papa fresca para L^* a^* b^* para las variedades de papa

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Fcal	p-value
Roja I					
L*	1	214.443	214.443	2570.74	0.000
Error	4	0.334	0.083		
Total	5	214.776			
a*	1	1158.43	1158.43	5898.3	0.000
Error	4	0.79	0.2		
Total	5	1159.21			
b*	1	533.172	533.172	3556.06	0.000
Error	4	0.6	0.15		
Total	5	533.772			
Morada					
L*	1	68.074	68.074	303.45	0.000
Error	4	0.8973	0.2243		
Total	5	68.9714			
a*	1	1039.9	1039.9	4165.72	0.000
Error	4	1	0.25		
Total	5	1040.9			
b*	1	1551.72	1551.72	7552.17	0.000
Error	4	0.82	0.21		
Total	5	1552.54			

Anexo 7: Sales y sus ecuaciones de humedad de equilibrio o a_w

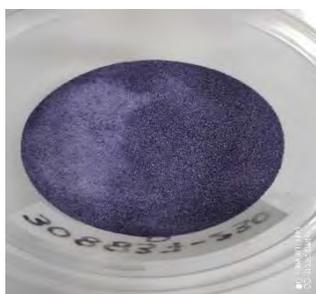
Sustancia química	Ecuación de regresión
LiCl	$\ln a_w = (500.95/T) - 3.85; R^2 = 0.998$
KC ₂ H ₃ O ₂	$\ln a_w = (961.39/T) - 4.33; R^2 = 0.98$
MgCl	$a_w = 0.365 - 2.532 \times 10^{-3} T + 5.071 \times 10^{-5} T^2 - 4.166 \times 10^{-7} T^3;$ $R^2 = 0.963$
Mg(NO ₃) ₂	$\ln a_w = (356.60/T) - 1.82; R^2 = 0.99$
KI	$\ln a_w = (255.90/T) - 1.23; R^2 = 1.00$
NaCl	$\ln a_w = (228.92/T) - 1.04; R^2 = 0.96$
KCl	$\ln a_w = (367.58/T) - 1.39; R^2 = 0.97$
BaCl ₂	$a_w = 0.908 - 4.011 \times 10^{-4} T + 2.786 \times 10^{-5} T^2 - 2.037 \times 10^{-7} T^3;$ $R^2 = 0.997$

Panel fotográfico



Fotografía 1. Variedades de papa nativa

Fotografía 4. Medidas para la construcción de las isotermas de adsorción



Fotografía 2. Harina de los clones de papa nativa

Fotografía 5. Determinación de color



Fotografía 3. Preparación de las curvas de Trolox para determinar la actividad antioxidante

