



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA DE ALIMENTOS

**EFEECTO DEL PROCESAMIENTO SOBRE LA
BIODISPONIBILIDAD DE CINCO MICRONUTRIENTES
PRESENTES EN DIFERENTES CULTIVARES DE PAPA
(*Solanum tuberosum*)**

**TRABAJO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERA DE ALIMENTOS**

ERIKA PAOLA ESPÍN DUEÑAS

DIRECTOR: ING. JUAN BRAVO

CODIRECTOR: ING. ELENA VILLACRÉS

Quito, Mayo 2015

© Universidad Tecnológica Equinoccial. 2015
Reservados todos los derechos de reproducción

DECLARACIÓN

Yo **ERIKA PAOLA ESPÍN DUEÑAS**, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Universidad Tecnológica Equinoccial puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

Erika Paola Espín Dueñas

C.I.: 1724088263

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo que lleva por título “**Efecto del procesamiento sobre la biodisponibilidad de cinco micronutrientes presentes en diferentes cultivares de papa (*Solanumtuberosum*)**”, que, para aspirar al título de **Ingeniera en Alimentos** fue desarrollado por **Erika Paola Espín Dueñas**, bajo mi dirección y supervisión, en el Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias y en la Facultad de Ciencias de la Ingeniería; y cumple con las condiciones requeridas por el reglamento de Trabajos de Titulación artículos 18 y 25.

Ing. Juan Bravo

DIRECTOR DELTRABAJO

C.I. 100136741-1

Ing. Elena Villacrés

CODIRECTOR DELTRABAJO

C.I. 180150442-2

Este trabajo es parte del Proyecto ISSANDES financiado por el Centro Internacional de la Papa: **"Efecto del procesamiento sobre la biodisponibilidad de cinco micronutrientes presentes en diferentes cultivares de papa (*Solanum tuberosum*)"**

DEDICATORIA

A mis padres Inés Dueñas y Eduardo Espín, a mis hermanos Vanessa y Daniel mi apoyo y ejemplo a seguir.

A todas aquellas personas interesadas en el tema de investigación.

AGRADECIMIENTOS

Mis sinceros agradecimientos a todas las personas que forman parte de mi vida y que estuvieron presentes en esta etapa.

A Dios por su guía e iluminación en el camino de mi vida.

A mis padres por ser mi apoyo tanto moral como económico, cada consejo fue y seguirán siendo fundamentales para mi formación personal.

Al Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), Estación Experimental Santa Catalina, por brindarme la oportunidad de realizar mi trabajo de titulación en sus instalaciones; de igual manera al CIP – ISSANDES por otorgar el financiamiento respectivo para el desarrollo de esta investigación.

A mi tía Susy por brindarme todo su apoyo durante esta etapa, por compartir su experiencia y conocimiento científico y por brindarme la oportunidad de formar parte del mundo de la investigación.

A la Ing. Elena Villacrés, mi sincera gratitud por su valioso apoyo y por guiarme con criterio durante todo el desarrollo de este trabajo, gracias por sus consejos y críticas constructivas que ayudaron a formarme como profesional. De igual manera agradezco al Ing. Juan Bravo por brindarme su tiempo y su ayuda en la realización de este trabajo de titulación.

A mis compañeros de trabajo Ing. Javier, Ing. Mabe, Sra. Martita y Sra. Sonia por brindarme su ayuda profesional en todo momento y porque cada uno hizo que esta experiencia permanezca en mi mente y corazón.

A mis amigos por ser parte de mi vida y por permanecer siempre en las buenas y mucho más en las malas, gracias porque a pesar del tiempo y la

distancia, están pendientes de mi vida en todo momento.

A Francisco Proaño por impulsarme a culminar este trabajo de investigación; por su comprensión, paciencia y amor, dándome ánimos de fuerza y valor para seguir adelante.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

| | PÁGINA |
|---|--------|
| RESUMEN..... | Xii |
| ABSTRACT..... | Xiii |
| 1. INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| 2. MARCO TEÓRICO..... | 3 |
| 2.1. LA PAPA (<i>Solanum tuberosum</i>)..... | 3 |
| 2.1.1. ORIGEN DE LA PAPA..... | 3 |
| 2.1.2. PRODUCCION DE LA PAPA EN ECUADOR..... | 4 |
| 2.1.3. VARIEDADES DE PAPA CULTIVADAS EN ECUADOR..... | 4 |
| 2.1.3.1. Variedades de papa nativas..... | 4 |
| 2.1.3.2. Variedades de papa mejoradas... | 6 |
| 2.1.4. COMPOSICIÓN QUÍMICA Y VALOR NUTRITIVO..... | 6 |
| 2.1.4.1. Composición nutricional de la papa..... | 6 |
| 2.1.4.2. Compuestos fitoquímicos..... | 7 |
| 2.1.4.3. Concentración de hierro y zinc.... | 10 |
| 2.1.5. CONSUMO DE LA PAPA..... | 12 |
| 2.1.5.1. Procesamiento de la papa..... | 13 |

| | PÁGINA |
|--|---------------|
| 2.1.5.2. Efecto de los métodos de preparación en las papas..... | 15 |
| 2.2. DIGESTIBILIDAD DE LOS ALIMENTOS..... | 15 |
| 2.2.1. DETERMINACIÓN DE LA DIGESTIÓN <i>IN VITRO</i> | 17 |
| 2.3. BIOACCESIBILIDAD Y BIODISPONIBILIDAD DE MICRONUTRIENTES Y FITOQUÍMICOS..... | 18 |
| 2.3.1. BIODISPONIBILIDAD DE MINERALES..... | 19 |
| 2.3.1.1. Hierro..... | 19 |
| 2.3.1.2. Zinc..... | 20 |
| 2.3.2. BIODISPONIBILIDAD DE FENOLES..... | 20 |
| 2.3.3. BIODISPONIBILIDAD DE CAROTENOIDES..... | 21 |
| 2.3.4. BIODISPONIBILIDAD DE ÁCIDO ASCÓRBICO..... | 22 |
| 2.4. FACTORES QUE AFECTAN LA BIODISPONIBILIDAD DE LOS NUTRIENTES..... | 23 |
| 2.4.1. FACTORES FISIOLÓGICOS..... | 23 |
| 2.4.2. FACTORES DIETÉTICOS..... | 23 |
| 3. METODOLOGÍA..... | 24 |
| 3.1. MATERIA PRIMA..... | 24 |
| 3.2. CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DE LA MATERIA PRIMA..... | 24 |
| 3.2.1. PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS..... | 24 |

| | PÁGINA |
|---|---------------|
| 3.2.2. MÉTODOS DE ANÁLISIS..... | 24 |
| 3.3. PROCESAMIENTO DE LAS PAPAS..... | 25 |
| 3.4. CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DE LAS PAPAS PROCESADAS..... | 25 |
| 3.5. DETERMINACIÓN DE LA BIODISPONIBILIDAD... | 26 |
| 3.5.1. DIGESTIÓN <i>IN VITRO</i> | 26 |
| 3.5.2. CUANTIFICACIÓN DE LA BIODISPONIBILIDAD..... | 27 |
| 3.5.3. CÁLCULO DEL PORCENTAJE DE LA BIODISPONIBILIDAD..... | 28 |
| 3.6. DISEÑO EXPERIMENTAL..... | 29 |
| 4. ANÁLISIS DE RESULTADOS..... | 30 |
| 4.1. CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DE LA MATERIA PRIMA..... | 30 |
| 4.2. CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DE LAS PAPAS PROCESADAS..... | 32 |
| 4.2.1. HORNEADO..... | 32 |
| 4.2.1.1. Polifenoles..... | 33 |
| 4.2.1.2. Carotenoides..... | 34 |
| 4.2.1.3. Ácido ascórbico..... | 35 |

| | PÁGINA |
|---|---------------|
| 4.2.1.4. Hierro..... | 35 |
| 4.2.1.5. Zinc..... | 36 |
| 4.2.2. FRITURA..... | 37 |
| 4.2.2.1. Polifenoles..... | 38 |
| 4.2.2.2. Carotenoides..... | 39 |
| 4.2.2.3. Ácido ascórbico..... | 39 |
| 4.2.2.4. Hierro..... | 40 |
| 4.2.2.5. Zinc..... | 41 |
| 4.2.3. COCINADO..... | 42 |
| 4.2.3.1. Polifenoles..... | 43 |
| 4.2.3.2. Carotenoides..... | 44 |
| 4.2.3.3. Ácido ascórbico..... | 44 |
| 4.2.3.4. Hierro..... | 45 |
| 4.2.3.5. Zinc..... | 46 |
| 4.3. EFECTO DE LA INTERACCIÓN VARIEDAD Y PROCESO SOBRE EL CONTENIDO DE LOS COMPUESTOS ANALIZADOS..... | 47 |
| 4.3.1. POLIFENOLES..... | 47 |
| 4.3.2. CAROTENOIDES..... | 50 |
| 4.3.3. ÁCIDO ASCÓRBICO..... | 52 |

| | PÁGINA |
|---|---------------|
| 4.3.4. MINERALES..... | 54 |
| 4.3.4.1. Hierro..... | 54 |
| 4.3.4.2. Zinc..... | 56 |
| 4.4. DETERMINACIÓN DE LA BIODISPONIBILIDAD... | 58 |
| 4.4.1. BIODISPONIBILIDAD DE POLIFENOLES..... | 58 |
| 4.4.2. BIODISPONIBILIDAD DE CAROTENOIDES. | 61 |
| 4.4.3. BIODISPONIBILIDAD DE ÁCIDO ASCÓRBICO..... | 63 |
| 4.4.4. BIODISPONIBILIDAD DE MINERALES..... | 65 |
| 4.4.4.1. Biodisponibilidad de Hierro..... | 65 |
| 4.4.4.2. Biodisponibilidad de Zinc..... | 67 |
| 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... | 70 |
| 5.1. CONCLUSIONES..... | 70 |
| 5.2. RECOMENDACIONES..... | 72 |
| BIBLIOGRAFÍA..... | 73 |
| ANEXOS..... | 81 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | PÁGINA |
|--|---------------|
| Tabla 1. Contenido de nutrientes en 100g de papa en base fresca..... | 5 |
| Tabla 2. Características etnobotánicas y morfológicas de algunas papas nativas cultivadas en Ecuador..... | 7 |
| Tabla 3. Análisis de varianza multifactorial axb. Interacción variedad-proceso..... | 29 |
| Tabla 4. Caracterización química de las variedades de papa analizadas (valores en base seca)..... | 30 |
| Tabla 5. Caracterización química de las variedades de papa sometidas al proceso de horneado..... | 33 |
| Tabla 6. Caracterización química de las variedades de papa sometidas al proceso de fritura..... | 37 |
| Tabla 7. Caracterización química de las variedades de papa sometidas al proceso de cocción..... | 42 |
| Tabla 8. Contenido total de los compuestos fenólicos de las variedades de papa procesadas..... | 48 |
| Tabla 9. Contenido total de carotenoides presentes en las variedades de papa procesadas..... | 50 |
| Tabla 10. Contenido total de ácido ascórbico presentes en las variedades de papa procesadas..... | 52 |
| Tabla 11. Contenido total de hierro presente en las variedades de papa procesadas..... | 54 |

| | PÁGINA |
|--|---------------|
| Tabla 12. Contenido total de zinc presente en las variedades de papa procesadas..... | 56 |
| Tabla 13. Biodisponibilidad <i>in vitro</i> de compuestos fenólicos de las variedades de papa procesadas y no procesadas..... | 59 |
| Tabla 14. Biodisponibilidad <i>in vitro</i> de carotenoides presentes en las variedades de papa procesadas y no procesadas..... | 61 |
| Tabla 15. Porcentaje de biodisponibilidad <i>in vitro</i> de ácido ascórbico presente en las variedades de papa procesadas y no procesadas..... | 64 |
| Tabla 16. Porcentaje de biodisponibilidad <i>in vitro</i> de hierro presente en las variedades de papa procesadas y no procesadas..... | 66 |
| Tabla 17. Porcentaje de biodisponibilidad <i>in vitro</i> de zinc presente en las variedades de papa procesadas y no procesadas..... | 68 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | PÁGINA |
|---|--------|
| Figura 1. Diversidad de papas del Ecuador..... | 3 |
| Figura 2. Diagrama de flujo. Método de determinación de la biodisponibilidad <i>in vitro</i> | 27 |
| Figura 3. Porcentaje de pérdida de la concentración de polifenoles totales de los cultivares de papa por efecto del proceso de horneó..... | 33 |
| Figura 4. Porcentaje de pérdida de la concentración de carotenoides totales de los cultivares de papa por efecto del proceso de horneó..... | 34 |
| Figura 5. Porcentaje de pérdida de la concentración de ácido ascórbico de los cultivares de papa por efecto del proceso de horneó | 35 |
| Figura 6. Porcentaje de pérdida de la concentración de hierro de los cultivares de papa por efecto del proceso de horneó | 36 |
| Figura 7. Porcentaje de pérdida de la concentración de zinc de los cultivares de papa por efecto del proceso de horneó | 37 |
| Figura 8. Porcentaje de pérdida de la concentración de polifenoles totales de los cultivares de papa por efecto del proceso de fritura..... | 38 |
| Figura 9. Porcentaje de pérdida de la concentración de carotenoides totales de los cultivares de papa por efecto del proceso de fritura..... | 39 |

| | PÁGINA |
|--|---------------|
| Figura 10. Porcentaje de pérdida de la concentración de ácido ascórbico de los cultivares de papa por efecto del proceso de fritura..... | 40 |
| Figura 11. Porcentaje de pérdida de la concentración de hierro de los cultivares de papa por efecto del proceso de fritura..... | 41 |
| Figura 12. Porcentaje de pérdida de la concentración de zinc de los cultivares de papa por efecto del proceso de fritura.. .. | 42 |
| Figura 13. Porcentaje de pérdida de la concentración de polifenoles totales de los cultivares de papa por efecto del proceso de cocción..... | 43 |
| Figura 14. Porcentaje de pérdida de la concentración de carotenoides totales de los cultivares de papa por efecto del proceso de cocción..... | 44 |
| Figura 15. Porcentaje de pérdida de la concentración de ácido ascórbico de los cultivares de papa por efecto del proceso de cocción | 45 |
| Figura 16. Porcentaje de pérdida de la concentración de hierro de los cultivares de papa por efecto del proceso de cocción..... | 46 |
| Figura 17. Porcentaje de pérdida de la concentración de zinc de los cultivares de papa por efecto del proceso de cocción..... | 46 |
| Figura 18. Porcentaje de pérdida de la concentración de polifenoles en la interacción proceso por variedad..... | 49 |

| | |
|---|----|
| Figura 19. Porcentaje de pérdida de la concentración de carotenoides en la interacción proceso por variedad..... | 51 |
| Figura 20. Porcentaje de pérdida de la concentración de ácido ascórbico en la interacción proceso por variedad..... | 53 |
| Figura 21. Porcentaje de pérdida de la concentración de hierro en la interacción proceso por variedad..... | 55 |
| Figura 22. Porcentaje de pérdida de la concentración de zinc en la interacción proceso por variedad..... | 57 |
| Figura 23. Efecto del proceso sobre la biodisponibilidad de polifenoles presentes en diferentes cultivares de papa..... | 59 |
| Figura 24. Efecto del proceso sobre la biodisponibilidad de carotenoides presentes en diferentes cultivares de papa..... | 62 |

ÍNDICE DE ANEXOS

| | PÁGINA |
|---|--------|
| ANEXO I | |
| DETERMINACIÓN DE FENOLES TOTALES..... | 81 |
| ANEXO II | |
| DETERMINACIÓN DE CAROTENOIDES TOTALES..... | 84 |
| ANEXO III | |
| ANÁLISIS DE ÁCIDO ASCÓRBICO..... | 88 |
| ANEXO IV | |
| DETERMINACIÓN DE MINERALES..... | 92 |
| ANEXO V | |
| DETERMINACIÓN DE LA BIODISPONIBILIDAD <i>IN VITRO</i> | 94 |

RESUMEN

La papa desempeña un rol importante en el hábito alimenticio de los ecuatorianos sobre todo en las zonas altas donde se mantiene el cultivo y autoconsumo de papas nativas aplicando técnicas culinarias domésticas. Estudios recientes han demostrado que la papa posee un moderado contenido de antioxidantes y minerales que pueden contribuir a la prevención o mejora de algunas enfermedades, sin embargo no existe información sobre la proporción en que se absorben y se utilizan dichos compuestos luego de su consumo. En la presente investigación se evaluó el efecto de diferentes métodos de preparación (cocción, fritura y horneado) sobre la biodisponibilidad de fenoles totales, carotenoides, ácido ascórbico, hierro y zinc de once variedades de papa. Se utilizó un método *in vitro* de estimación de la biodisponibilidad, que incluye una digestión gastrointestinal simulada e incorpora membranas de diálisis para evaluar la captación y el transporte de los cinco compuestos analizados. Las papas en estado crudo, presentaron valores de biodisponibilidad de hasta un 9% de hierro, 17% de zinc, 33% de carotenoides, 49% de polifenoles y 97% de ácido ascórbico. Los resultados obtenidos permiten deducir que el proceso de cocción, a pesar de ocasionar pérdidas significativas de sus concentraciones iniciales, mejora la biodisponibilidad de minerales (de 9 a 23% para hierro y de 17 a 49% para zinc) y alcanzan porcentajes de biodisponibilidad aceptables para el caso de los compuestos fitoquímicos (34% de polifenoles, 36% de carotenoides y 79% de ácido ascórbico). La papa sometida al proceso de fritura presentó porcentajes de carotenoides biodisponibles de hasta el 83% y de ácido ascórbico hasta un 89% sin embargo este proceso afectó la biodisponibilidad de los otros compuestos en las siguientes proporciones: polifenoles de 49 a 19%, hierro de 9 a 13% y zinc de 17 a 21%. Resultados similares se obtuvieron con el proceso de horneado en cuanto al porcentaje de ácido ascórbico (entre 73 a 89%) y minerales (entre 5 a 17% para hierro y entre 12 a 42% para zinc) sin embargo este proceso afectó a la biodisponibilidad de carotenoides (de 33 a 21%) y compuestos fenólicos (de 49 a 24%).

ABSTRACT

The potato acts as an important role in the feeding habits of Ecuadorians especially in the upland areas where cultivation and consumption of native potatoes applying domestic cooking techniques remains. Recent studies have shown that the potato has a moderate content of antioxidants and minerals that can contribute to the prevention or amelioration of some diseases, however there is no information on how usable are such compounds after consumption. In this research the effect of different methods of preparation (cooking, frying and baking) on the bioavailability of total phenolics, carotenoids, ascorbic acid, iron and zinc on eleven potato varieties were evaluated. An *in vitro* method for estimating the bioavailability, including a simulated gastrointestinal digestion and incorporates dialysis membranes to assess the uptake and transport of the five compounds tested was used. Raw potatoes bioavailability values were up to 9% iron, 17% zinc, 33% carotenoids, 49% polyphenols and 97% ascorbic acid. The results allow to deduce that the cooking process, although its cause significant losses of initial concentrations, improves the bioavailability of minerals (9 to 23% iron and 17 to 49% for zinc) and achieve acceptable bioavailability percentages for the case of phytochemicals (34% polyphenols, 36% carotenoids and 79% ascorbic acid). The Potato referred to the frying process presented carotenoids bioavailable up to 83% and ascorbic acid up to 89% however this process affected the bioavailability of the other compounds in the next proportions: polyphenols 49 to 19% iron 9 to 13% and zinc 17 to 21%. Similar results were obtained with the baking process in the percentage of ascorbic acid (between 73-89%) and minerals (5 to 17% iron and 12 to 42% for zinc) but this process affected the bioavailability of carotenoids (33 to 21%) and phenolic compounds (49 to 24%).

1. INTRODUCCIÓN

1. INTRODUCCIÓN

El consumo de papa en Ecuador registra un alto índice principalmente en las zonas altas donde el consumo anual per cápita fluctúa entre los 20 y 31 kg. La papa se cultiva en casi todo el mundo, su producción y consumo se va en aumento sobre todo en los países en vías de desarrollo (MAGAP, 2012).

Por su adaptabilidad a diversos climas y sistemas de cultivo, existe una amplia gama de papas entre nativas y mejoradas que además de tener formas y colores vistosos, poseen mejores características agronómicas tales como la resistencia a plagas y enfermedades además de aportar con cantidades importantes de nutrientes (Monteros, Yumisaca, Andrade-Piedra, & Reinoso 2010; Torres, Cuesta, Monteros & Rivadeneira, 2011).

Estudios recientes han demostrado que la papa en estado crudo, constituye una fuente de antioxidantes como vitamina C, compuestos fenólicos y carotenoides además de minerales como sodio, potasio, calcio, hierro, magnesio, fósforo y zinc, sin embargo la cantidad de estos nutrientes pueden disminuir luego de que las papas sean sometidas a diversos procesos para su consumo (Burgos, Auqui, Amoros, Salas & Bonierbale, 2009).

El procesamiento de la papa es un procedimiento común para su consumo, el objetivo es prolongar su vida útil además de incrementar sus propiedades sensoriales, sin embargo, la composición química en su estado original puede verse afectado como consecuencia de estos procesos y a medida que aumenta el grado de transformación de un alimento, mayores suelen ser las modificaciones de su valor nutritivo. La mayor parte de la población ecuatoriana consume papa efectuando procesos caseros tales como la cocción, la fritura convencional y el horneado, tan solo del 4% al 10% de la producción nacional de papa se procesa de manera industrial por múltiples

formas: prefritas, chips, en hojuelas, en puré y seca (deshidratadas) (Sherwood & Pumisacho, 2002; Keijbets, 2009).

En los últimos años ha crecido el interés por consumir alimentos que al ingerirlos cuenten con efectos nutricionales beneficiosos para la salud y que promuevan la reducción de riesgos de padecer ciertas enfermedades. Sin embargo, para que un alimento sea o no una buena fuente de nutrientes depende tanto de la cantidad de nutrientes presentes como de su biodisponibilidad (Valencia, Ronayne & Pita, 2013; Robertfroid, 2002).

Con dicho propósito, el Centro Internacional de la Papa (CIP), en el marco del Proyecto Innovación para la Seguridad y Soberanía Alimentaria en Los Andes-IssAndes, busca colaborar en la realización de investigaciones propicias para la promoción de los beneficios del consumo de variedades de papa tanto nativas como mejoradas y su incidencia positiva en la salud de la población andina por lo que en este estudio se desea evaluar el efecto de los procesos de cocción, fritura y horneado sobre la biodisponibilidad de algunos nutrientes presentes en diferentes variedades de papas producidas en Ecuador.

Determinar el efecto del procesamiento sobre la biodisponibilidad de polifenoles, ácido ascórbico, carotenoides, hierro y zinc en 11 cultivares de papa.

Caracterizar químicamente las variedades de papa cruda.

Someter a procesos de cocción, fritura y horneado a las variedades de papa y caracterizarlas químicamente.

Determinar la biodisponibilidad de polifenoles, ácido ascórbico, carotenoides, hierro y zinc en las papas procesadas.

2. MARCO TEÓRICO

2. MARCO TEÓRICO

2.1. LA PAPA (*Solanum tuberosum*)

2.1.1. ORIGEN DE LA PAPA

Se considera que las primeras papas fueron cultivadas en los alrededores del lago Titicaca a 3 800 msnm pero que además estos tubérculos fueron encontrados en la parte alta del valle del Cuzco, Perú y luego en Quito, Ecuador (Sherwood & Pumisacho, 2002).

Según Sherwood (2002), en el siglo XVI los españoles introdujeron la papa en Europa y propagaron su cultivo en áreas pequeñas, posteriormente en el siglo XVII, el cultivo de este tubérculo se introdujo en América del Norte.

Durante la revolución industrial, la papa se convirtió en un alimento fundamental para los mineros y obreros ya que necesitaban de un gran aporte energético por sus largas jornadas laborales. En la actualidad la papa ha evolucionado hasta ser uno de los pilares más importantes de la alimentación humana y en la economía de los agricultores (Cuesta, 2007).

Las especies encontradas (*S. phujera*, *S. chaucha*, *S. stenotomum*, *S. solanum* entre otras) representan diferentes hibridaciones con parientes silvestres cultivados a lo largo de la evolución de la papa.



Figura 1. Diversidad de papas del Ecuador
Sherwood & Pumisacho (2002)

2.1.2. PRODUCCIÓN DE LA PAPA EN ECUADOR

El cultivo de papa en la región Andina es tradicional, debido a su adaptación a los diferentes pisos climáticos la producción de papa está concentrada en la Sierra ecuatoriana y los mejores rendimientos se logran en zonas entre los 2 900 y 3 000 msnm con temperaturas entre 11 y 9°C por lo que los lugares adecuados para la producción de papa son las provincias de Carchi, Pichincha, Chimborazo, Cotopaxi y Tungurahua con un 81% de la producción nacional y el 19% se concentra en las provincias restantes de esta región (FAO, 2006).

2.1.3. VARIEDADES DE PAPA CULTIVADAS EN ECUADOR

Existen dos tipos de variedades de papa, las nativas que provienen de cultivos sometidos a un proceso de selección natural por miles de años y que ha sido mantenido por los agricultores y las papas mejoradas que son el resultado de mejoramientos realizados por investigadores. En el país se estima que existen alrededor de 400 variedades entre nativas y mejoradas cuyas variedades más destacadas encontramos a las especies de *Solanum tuberosum spp*, *Andígena tuberosum* y *Solanum phujera*, además de cruces entre variedades silvestres (*Solanum demissum* y *Solanum pausissectum*) y variedades comerciales (*Superchola*, *INIAP-Gabriela*, *Diacol-Capiro* y *Bolona*) (Sherwood & Pumisacho, 2002).

2.1.3.1. Variedades de papa nativas

En el país las papas nativas se cultivan en zonas entre los 2600 y 3500 msnm, son resistentes a factores abióticos como las heladas, sequías y enfermedades propias del cultivo además de adquirir propiedades especiales en cuanto a su tamaño, forma, textura, sabor y color muy valorados por científicos y chefs no solo por su atrayente apariencia, sino también por la identidad cultural que estas papas poseen (Monteros, Grijalva, Vásquez, & López, 2005).

A pesar de que Ecuador posee una gran diversidad genética de papas nativas, su área de cultivo se ha reducido y su producción está orientada al autoconsumo de las comunidades rurales. Estas papas presentan un mayor contenido de sólidos y antioxidantes que protegen el cuerpo humano del efecto dañino de los radicales libres, por lo que se les considera más nutritivas que las papas mejoradas. La tabla 1 presenta las características generales de algunas variedades de papa nativas (Monteros et al, 2010).

Tabla 1. Características etnobotánicas y morfológicas de algunas papas nativas cultivadas en Ecuador.

| VARIEDAD | ZONA DE CRECIMIENTO (msnm) | CARÁCTERÍSTICA DE LA VARIEDAD | | | FORMA DE CONSUMO | DESTINO DE PRODUCCIÓN |
|-------------------------|----------------------------|-------------------------------|--|-----------------------|---|--|
| | | PIEL | PULPA | TEXTURA | | |
| <i>Chaucha amarilla</i> | 3000 - 3300 | amarilla | amarillo intenso | arenosa | Sopas, cocidas con cáscara y tipo hojuelas | Comercialización en el mercado |
| <i>Chaucha roja</i> | 3000 - 3200 | roja | amarillo claro | arenosa | Sopas, cocidas con cáscara y tipo hojuelas | Autoconsumo y venta en el mercado |
| <i>Coneja negra</i> | 3200 - 3600 | negra | crema | intermedia | cocinadas con cáscara | Autoconsumo |
| <i>Leona negra</i> | 3000 - 3500 | rojo - morado | crema con anillo vascular | arenosa | Locros y caríucho | Autoconsumo |
| <i>Puca shungo</i> | 2900 - 3000 | púrpura | crema con anillo vascular y médula roja-morada | intermedia | Puré, cocinadas con cáscara y tipo hojuelas | Autoconsumo y comercialización en el mercado |
| <i>Puña</i> | 3300 - 3500 | rojo - morado | crema con pocas manchas violeta | moderadamente arenosa | Sopas, cocidas con cáscara y tipo hojuelas | Autoconsumo |
| <i>Uvilla</i> | 2600 - 3000 | marrón | amarilla | arenosa | Locros y cocidas con cáscara | Autoconsumo y comercialización en el mercado |
| <i>Yana shungo</i> | 2900 - 3300 | morado oscuro | crema con anillo vascular y médula morada | intermedia | Puré, cocinadas con cáscara y tipo hojuelas | Autoconsumo y comercialización en el mercado |

Monteros et al. (2010)

2.1.3.2. Variedades de papa mejoradas

Estas variedades son el resultado de cruzamientos entre germoplasmas de diferentes variedades para lograr especies de alta calidad con mejores características agronómicas y una mejor resistencia a plagas y enfermedades. Según Monteros *et al.* (2010), algunas de estas variedades mejoradas son:

INIAP Libertad: Proviene de los cruzamientos realizados con los clones 380479.15 x Bk Precoz-84, tiene ojos superficiales y tanto su piel como su pulpa es de color crema. Suele consumirse en fresco y en fritura.

INIAP Natividad: Su procedencia es el resultado del cruzamiento entre las variedades Yema de huevo INIAP-Estela y Super Chola. Esta variedad es peculiar por su resistencia a la lancha y su consumo suele ser cocinada con cáscara, purés y tortillas debido a su consistencia harinosa luego de ser cocinada.

INIAP Victoria: Esta variedad proviene del cruzamiento entre las variedades INIAP-Gabriela e INIAP-Fripapa. Su cáscara es rosada y su pulpa es de color crema con núcleo morado tiene una forma oblonga. Su consumo suele ser entera cocinada con cáscara, en sopas, tortillas o fritas.

2.1.4. COMPOSICIÓN QUÍMICA Y VALOR NUTRITIVO

2.1.4.1. Composición nutricional de la papa

La papa no solo se considera como una buena fuente de energía sino que también aporta con cantidades importantes de nutrientes y compuestos funcionales que dependen mucho de la variedad, las prácticas de cultivo, las condiciones ambientales y de la incidencia de enfermedades y plagas (Oviedo, 2005).

Tal como detalla la tabla 2, dentro de los componentes nutritivos de la papa se encuentra el agua, que constituye un 80% del peso total, el 20% restante constituye la materia seca la cual entre un 60 – 80% es almidón por lo que se le considera un tubérculo rico en carbohidratos. Su contenido de grasa es muy bajo y su cantidad de proteína es mayor a la que aporta los cereales sin embargo, su ingesta se ve afectada debido a la presencia de glicoalcaloides, un inhibidor de las proteinasas. Además la papa aporta con vitaminas del complejo B como la niacina, tiamina, riboflavina y la vitamina C y con minerales como potasio, fósforo, hierro y zinc (FAO, 2008; Pertuz & Castillo, 2013).

Tabla 2. Contenido de nutrientes en 100g de papa en base fresca.

| Nutriente | Contenido |
|---------------------|------------|
| | (g/100 g) |
| Humedad | 80 |
| Materia seca | 20 |
| Hidratos de carbono | 14.7 |
| Ceniza | 1 |
| Proteína | 2 |
| Fibra | 2.2 |
| Lípidos | 0.1 |
| | (mg/100 g) |
| Sodio | 0.8 |
| Potasio | 430 |
| Hierro | 4 |
| Calcio | 7 |
| Magnesio | 19.9 |
| Fósforo | 50 |
| Vitamina C | 18 |

Quilca (2007) y Verdú (2005).

2.1.4.2. Compuestos fitoquímicos

Además de aportar con cantidades significativas de hidratos de carbono, proteínas, grasa, vitaminas y minerales, las papas contienen compuestos

químicos que ayudan a la absorción de minerales mientras otros dificultan su asimilación. Estos compuestos se los denominan nutricionales y antinutricionales, a continuación se detallan algunos de estos compuestos que se analizarán en la presente investigación:

➤ *Compuestos antinutricionales*

Polifenoles

Son compuestos químicos presentes en las plantas que desempeñan una función de resistencia y protegen a la planta contra los ataques predadores de herbívoros, hongos patogénicos y hierbas parasitarias. Estos compuestos son clasificados de acuerdo a su estructura química que consiste en un anillo aromático con uno o más grupos hidroxilos (Gil, 2010).

Los polifenoles están presentes generalmente en forma de glucósidos de los extractos de frutas, hierbas, vegetales, cereales y otros materiales de plantas ricos en estos compuestos los cuales les confieren el color, aroma y el sabor a estos alimentos (Guerrero, 2013).

Recientes estudios nutricionales sobre el consumo de compuestos fenólicos han atribuido a estos propiedades biológicas entre las cuales se destacan su capacidad de antioxidante y de quelar diversos metales que actúan como mecanismo de protección ante los efectos dañinos de los radicales libres que pueden afectar al organismo (Gil, 2010; Monteros *et al*, 2010).

A pesar de sus propiedades antioxidantes, los polifenoles son conocidos como sustancias no deseadas o antinutricionales ya que tienen la capacidad de formar complejos con las proteínas y los elementos minerales, interfiriendo en su absorción y disminuyendo su digestibilidad (Rodríguez M, 2008).

➤ *Compuestos nutricionales*

Carotenoides

Son una clase de pigmentos llamados terpenoides considerados como la fuente básica de los pigmentos distribuidos en las plantas que confieren los colores rojo, amarillo y anaranjado. Estructuralmente los carotenoides se separan en dos grupos diferentes: los carotenos con estructuras principalmente hidrocarbonadas y las xantófilas cuya estructura carbonada pueden contener grupos hidroxilo, metoxi, carboxi, ceto o epoxi (Gil, 2010).

Los carotenoides se encuentran distribuidos en el reino vegetal, en las partes aéreas de las plantas como en hojas, tallos, flores y en algunas frutas. Están presentes como ésteres de ácidos grasos y por su actividad antioxidante, se les asocian en la disminución de riesgo de algunos tipos de cáncer, ECV y la degeneración macular asociada a la edad (Martínez A, 2003; Rodríguez D, 2000).

Estos compuestos son muy sensibles al oxígeno y a la luz debido a la presencia de dobles enlaces en su estructura, esta oxidación es la causa principal de degradación que da lugar a la pérdida de color y a la formación de sustancias aromáticas no deseables (Belitz, Grosch & López, 1997; Rodríguez D, 2000)

Vitamina C

Conocida también como ácido ascórbico, es una vitamina hidrosoluble presente en las frutas, verduras y papas, es sintetizada por varios organismos vivos, siendo el ser humano una excepción. Su composición química consiste en una forma enólica de la 3-oxo-L-glucofuranolactona (Badui D, 2006; Konrad & Grimm, 2007).

La vitamina C además de ser un poderoso antioxidante, participa en la síntesis de colágeno necesario para la formación y mantenimiento del tejido

conjuntivo además participa en la síntesis de determinadas hormonas y colabora en la absorción de hierro en el tracto intestinal, siendo ésta dos a cuatro veces más rápida (Williams, 2002).

El ácido ascórbico tiene una alta sensibilidad al calor, al oxígeno y a la luz, en presencia de estos factores se oxida de manera irreversible perdiendo así sus propiedades biológicas. Al momento de procesar los alimentos, las pérdidas de vitamina C pueden ser enormes. Con la cocción, el secado y el almacenamiento prolongado esta vitamina se inactiva (Castillo & Miranda, 2009; Konrad & Grimm, 2007).

2.1.4.3. Concentración de hierro y zinc

Los tubérculos de papa tienen un contenido mineral variable, este depende del genotipo y de la naturaleza del suelo donde fueron cultivados. Entre los minerales presentes, sobresale el alto contenido de potasio y las cantidades moderadas de fósforo, cloro, azufre, magnesio, hierro y zinc (Pertuz & Castillo, 2013; CIP, 2007).

Algunos de los minerales de mayor importancia en la nutrición humana son el hierro y el zinc, su deficiencia se asocia con el retardo del desarrollo físico, psicomotor y el aumento de la malnutrición durante la infancia (Latham, 2002; Piñeiro, 2010).

➤ *Hierro*

El hierro es un componente esencial de los alimentos que forma parte de la hemoglobina, mioglobina y de algunas enzimas.

Se considera un elemento traza ya que su ingesta en cantidades apropiadas es muy importante para el cumplimiento de varias funciones en el organismo como es el transporte de oxígeno en la sangre, la respiración celular, el

funcionamiento adecuado del sistema inmunológico y la función cerebral (Verdú, 2013).

Las cantidades necesarias de hierro dependen tanto de la edad como del sexo de cada persona pero varía entre 1-2,8 mg/día, su utilización en el organismo depende tanto de la forma de unión de éste como de la composición total de la dieta (Belitz *et al*,1997).

En los alimentos su composición y absorción varía en función de su procedencia, el hierro mejor utilizado por el organismo es el hierro hemínico que está presente en los alimentos de origen animal, en las carnes rojas mientras que en los vegetales, está presente el hierro no hemínico que es pobremente absorbido porque se encuentra en forma de complejos férricos poco solubles (Gil, 2010; Verdú, 2013).

➤ *Zinc*

Es un mineral muy importante en la alimentación humana, su mayor concentración se encuentra en alimentos de origen animal sin embargo la concentración de zinc es relativamente alta en las semillas, nueces, legumbres y cereales sin refinar (López, Castillo& Diazgranados, 2010; Verdú, 2013).

Su ingesta ayuda a la síntesis de los ácidos nucleicos, al crecimiento y diferenciación celular, el desarrollo neurológico, al buen funcionamiento del sistema inmunológico al participar en varios procesos bioquímicos relacionados con el metabolismo humano (Gil, 2010; López *et al*, 2010).

Los requerimientos de zinc pueden variar entre individuos, pero debe ser lo suficiente para cubrir los requerimientos fisiológicos de cuerpo humano. Su deficiencia puede conllevar a una disminución del apetito, déficit de atención y problemas de caída del cabello mientras que su exceso puede provocar vómitos, diarrea, dolor abdominal y una deficiencia severa de cobre (Gil, 2010; López *et al*, 2010).

A pesar de que la concentración de hierro y zinc en los tubérculos de papa es baja en comparación con la concentración de estos minerales en los cereales y las legumbres, la biodisponibilidad de hierro puede ser mayor debido a la presencia de altos niveles de ácido ascórbico que mejora la absorción de este elemento a nivel gastrointestinal (Peña, 2009).

2.1.5. CONSUMO DE LA PAPA

La papa (*Solanum tuberosum*) se considera como el cuarto alimento de mayor consumo en el mundo con una producción total de 320 toneladas por año. El consumo de papa se destina a diversos fines y apenas el tubérculo fresco se consume en menos del 50% de la producción mundial, el resto es utilizado para fines industriales como son los ingredientes alimentarios, piensos para ganado y como semilla para cosecha (Borba, 2008).

Según la FAO, las dos terceras partes de las 320 millones de toneladas de papa producidas a nivel mundial son destinadas al consumo humano, su forma de consumo suele variar de acuerdo a las costumbres de cada región. En Ecuador predomina el consumo de papa cocinada, frita, horneada o deshidratada y también suelen ser utilizadas como ingredientes para la preparación de diversos platillos tradicionales (FAO, 2008; Sherwood & Pumisacho, 2002).

En la última década el consumo de productos alimentarios industriales con valor añadido ha tenido gran acogida en el mercado, su objetivo principal es facilitar la preparación de diversos platillos de consumo diario. En este grupo se tiene a las papas congeladas que facilitan la elaboración de papas fritas a la francesa, las hojuelas crocantes de papa que son consumidas como aperitivo cotidiano y la papa deshidratada que es utilizada para la elaboración instantánea de puré y harina de papa (FAO, 2008).

2.1.5.1. Procesamiento de la papa

Pese a que la papa en fresco tiene una temprana brotación, los comerciantes de papa han optado por ejecutar operaciones de procesamiento que prolonguen la vida útil del tubérculo obteniendo así papas precocidas, congeladas, deshidratadas y fritas tipo chips. Estas transformaciones involucran principalmente tratamientos térmicos y almacenamientos prolongados lo que puede afectar de manera significativa la composición química del tubérculo (Quinteros, Mendoza, & Herrera, 2012).

En Ecuador, las principales formas de preparación casera de la papa son sopas, frita, puré, tortillas, ensalada, horneada y cocida entera, donde también se realizan operaciones de procesamiento básicas detalladas a continuación:

➤ Pelado

Consiste en la remoción de la capa externa y de las partes dañadas presentes en la corteza del tubérculo por medios físicos como el uso de cuchillas y de calor, por abrasión o por medios químicos como el pelado con sosa cáustica (Pinos, 2011).

Esta operación favorece la calidad sensorial de la papa al eliminar la corteza que tiene una textura firme y áspera, sin embargo, muchas vitaminas y minerales presentes en la cáscara se pierden además de una cantidad importante de fibra (Marín, 2008).

➤ Horneado

El horneado es un método indirecto de cocción en seco por el cual el alimento se cuece por conducción de calor, desde sus partes externas hasta su interior al ser puesto en contacto con una atmósfera de aire caliente (García, 2008; Marín, 2008).

Los alimentos horneados desarrollan buen sabor y una textura crocante y dorada sin necesidad de incorporar grasa debido a la deshidratación superficial, sin embargo, este método de cocción puede aumentar la pérdida de nutrientes termolábiles por el tiempo de exposición a altas temperaturas a la que se somete el alimento (Marín, 2008; Moncada & Gualdrón, 2006).

➤ Fritura

La fritura por inmersión es un método de cocción en donde el alimento se cuece en aceite caliente cuya temperatura oscila entre 130 y 190°C. El efecto del calor sobre el alimento provoca alteraciones físico químicas en su estructura formando así una corteza porosa, crujiente y grasienta en la superficie mientras que su interior es húmedo y cocinado lo que imparte una buena textura y sabor (Brennan, 2013; García, 2008; Moncada & Gualdrón, 2006).

A pesar de que la cocción en medio graso brinda una buena palatabilidad, una textura crocante y un corto tiempo de proceso, la absorción de grasa aumenta el valor energético de los alimentos lo que puede contribuir en la aparición de enfermedades cardiovasculares, obesidad y algunos tipos de cáncer por lo que la tendencia del consumidor se dirige hacia los productos bajos en grasa (Brennan, 2013; Marín, 2008; Moncada & Gualdrón, 2006).

➤ Cocción

La cocción en medio acuoso es un método de cocción en el que se sumergen los alimentos en agua o en caldo cuya temperatura máxima alcanza los 100°C a 1 atmósfera o a la correspondiente en otras condiciones de presión con el objeto de mejorar sus características organolépticas (Astiasarán & Martínez, 2005; Moncada & Gualdrón, 2006).

El cocido o hervido aumenta la digestibilidad de los alimentos y favorece la desnaturalización de enzimas de pardeamiento, lo que a su vez provoca pérdidas de vitaminas hidrosolubles y termolábiles además de la solubilidad

de los minerales por lo que se recomienda consumir el agua de cocción (Astiasarán & Martínez, 2005; Domínguez & Oliver, 2010; Moncada & Gualdrón, 2006).

2.1.5.2. Efectos de los métodos de preparación de las papas

Como se ha mencionado anteriormente, los procesos culinarios son efectuados en la papa para permitir la digestibilidad del almidón y mejorar sus propiedades organolépticas, sin embargo estos procesos pueden conllevar a la pérdida del valor nutricional por lixiviación u oxidación de sus nutrientes (FAO, 2008; Quinteros *et al*, 2012; Suarez *et al*, 2004).

Los procesos que implican el uso de altas temperaturas son los más destructivos, esto va a depender del tipo de cocción, el tiempo y la temperatura de cocción. En los procesos donde se somete a la papa al calor seco, afectan directamente a los compuestos termolábiles como es el caso de la vitamina C, sin embargo al no someter a la papa en un medio líquido para su cocción, hay una mayor retención de vitaminas y minerales hidrosolubles (FAO, 2008; Suarez *et al*, 2004).

En aquellos procesos donde se sumerge a la papa en agua, se produce una pérdida de vitaminas y minerales por disolución y lixiviación de sólidos durante la cocción. En el caso de la fritura, la retención de nutrientes es mayor comparado con los métodos de cocción por ebullición ya que al formar una costra superficial en la papa, retiene los líquidos del alimento, sin embargo, hay pérdida de vitaminas liposolubles y vitamina C por la exposición de calor (FAO, 2008; Moncada & Gualdrón, 2006; Suarerna, 2008; Suarez *et al*, 2004).

2.2. DIGESTIBILIDAD DE LOS ALIMENTOS

La digestibilidad se refiere a la fracción ingerida de un alimento que es convertida en sustancias útiles para la nutrición es decir, a la facilidad con

que los nutrientes de un alimento son liberados y absorbidos en el aparato digestivo (Osorio, Giraldo & Narváez, 2012; Romero, 2011).

Este proceso comienza con una digestión química llamada hidrólisis que es llevada a cabo por las enzimas hidrolíticas presentes en el tracto gastrointestinal, estas enzimas transforman a los componentes alimentarios en moléculas más pequeñas para que puedan incorporarse al medio interno produciéndose así la liberación y absorción de los compuestos a través de la barrera intestinal utilizando diversos mecanismos (Sananes, 2006).

El cálculo de la digestibilidad de un alimento es muy variable y puede verse afectada por diversos factores como la composición del alimento, el procesamiento, el tamaño de la partícula del alimento, la presencia de factores antinutricionales así como también factores propios del individuo (Calabro *et al*, 2006; Osorio *et al*, 2012; Romero, 2011).

A pesar de que no existe una metodología analítica estandarizada que permita estimar la cantidad exacta de un componente biodisponible, existen dos métodos con los cuales se puede medir relativamente la digestibilidad, el método *in vivo* que consiste en brindar una porción de alimento al ser vivo y realizar análisis en la sangre, heces y orina para medir la cantidad del compuesto ingerido y excretado durante un tiempo determinado y el método *in vitro* que consiste en una simulación de los procesos digestivos que se llevan a cabo en el ser humano a nivel del laboratorio (Cámara, 2004; Romero, 2011; Soler, 2009).

Debido a que los métodos *in vivo* son muy costosos y requieren de permisos y disponibilidad de tiempo de los colaboradores, los métodos *in vitro* suelen ser más utilizados por su rapidez y bajo coste (Colombatto, 2000; Parada & Aguilera, 2007).

2.2.1. DETERMINACIÓN DE LA DIGESTIÓN IN VITRO

Los métodos *in vitro* pretenden simular a nivel de un laboratorio las condiciones y cambios estructurales que se producen en el tracto gastrointestinal durante la digestión y liberación de los componentes de un alimento (Aura, 2005; Jin, Ou, Decker & McClements, 2011).

Estos métodos someten al alimento a condiciones similares que ocurren en el tracto digestivo de los humanos por lo que la mayoría de los modelos *in vitro* trabajan con temperaturas de digestión de 37°C, utilizan enzimas digestivas y sales biliares en diferentes concentraciones mientras que los tiempos de digestión empleados suele ser de 2 horas por cada fase de digestión (estómago e intestino), la cantidad de nutriente que se solubiliza o que se dializa durante la incubación es una estimación de la digestibilidad (Romero, 2011; Jin *et al*, 2011).

Existen varias investigaciones que han examinado y han presentado métodos *in vitro* alternos que logren determinar los patrones que influyen en el proceso digestivo para así ser considerado en los mismos, tal es el caso de la investigación de Argyri *et al* (2009) la cual desarrolló un método para medir el índice de hierro biodisponible tanto en alimentos líquidos como en sólidos enriquecidos y no enriquecidos con hierro (Argyri, Birba, Miller, Komaitis, & Kapsokefalou, 2009).

Argyri *et al*. (2009) propone una nueva metodología donde además de incluir materiales similares a los ya utilizados en los métodos convencionales (enzimas hidrolíticas) usa unos pequeños discos con un inserto de anillo que sujeta una membrana de diálisis semi-permeable de 8 μ m de porosidad, dejando así pasar aquellos nutrientes con bajo peso molecular con el objetivo de aumentar la eficiencia y permitir el análisis de muestras de pequeño volumen.

A pesar de que los métodos de digestión *in vitro* son herramientas muy útiles y comunes para determinar la digestibilidad de los alimentos, tiene grandes

diferencias con los métodos *in vivo* a causa de los procesos bioquímicos del organismo y los eventos fisiológicos que ocurren en el tracto digestivo, por lo que la correlación entre ambos métodos deben ser considerados para una mayor precisión del estudio (Bornhorst & Singh, 2014; Jin et al., 2011).

2.3. BIOACCESIBILIDAD Y BIODISPONIBILIDAD DE MICRONUTRIENTES Y FITOQUÍMICOS

Las propiedades biológicas que brinda el consumo de compuestos bioactivos y minerales presentes en los alimentos dependerán tanto de su bioaccesibilidad como de su biodisponibilidad (Quirós, Palafox, Robles & Gonzáles, 2012).

El concepto de bioaccesibilidad se refiere a la cantidad liberada de la matriz del alimento que está disponible para ser absorbido en el intestino mientras que la biodisponibilidad está relacionada con la eficiencia de absorción y de la utilización metabólica del compuesto ingerido que genera una respuesta fisiológica (Parada & Aguilera, 2007; Pérez, Jarén & Garrido, 2009; Quirós *et al*, 2012).

Por lo tanto, para que un componente pueda ser potencialmente biodisponible, primero debe estar bioaccesible en la matriz del alimento ya que esta puede afectar considerablemente la biodisponibilidad de los compuestos ingeridos por la presencia de otros compuestos químicos (Palafox, Ayala & González, 2011).

El objetivo de los estudios de biodisponibilidad es conocer la verdadera contribución que brindan el consumo de nutrientes específicos así como también para establecer los requerimientos, sobre todo cuando su absorción interfiere o es interferida por la presencia de otros componentes de la dieta (Rovira, 2010).

2.3.1. BIODISPONIBILIDAD DE MINERALES

La biodisponibilidad de un mineral puede ser muy variable ya que depende de la forma química del nutriente, de la presencia de otros componentes en el alimento o en la dieta y de las condiciones fisiológicas del organismo de cada individuo (Rovira, 2010).

2.3.1.1. Hierro

Su biodisponibilidad se ve influenciada por su forma química, siendo completamente biodisponible el hierro en forma hemo, pues se mantiene soluble y es absorbido fácilmente en el intestino mientras que el hierro no hemo, es poco soluble y es afectado por otros compuestos liberados en el intestino. El hierro no hemo requiere de un medio ácido para reducirse de Fe^{+3} a Fe^{+2} y potencializar su biodisponibilidad al unirse a complejos de bajo peso molecular solubles (EUFIC, 2010; González R., 2005).

Estudios recientes han comprobado que la presencia de ácido ascórbico, vitamina A y el factor cárnico en la dieta, facilitan la absorción de hierro no hemo mientras que la presencia de fibra, fitatos, taninos, oxalatos y calcio en una misma dieta pueden impedir su absorción al formar complejos insolubles durante la digestión (Gaitán, Olivares, Arredondo & Pizarro, 2006; Gil, 2010; Verdú, 2013).

Además, las necesidades fisiológicas de hierro y las reservas de este mineral en el organismo del individuo, pueden modificar su velocidad de absorción, por lo que es importante recalcar que tanto los aspectos fisiológicos como las interacciones de este metal en el tracto gastrointestinal puede incrementar la cantidad de hierro no hemo biodisponible (Gaitán et al, 2006; Urdampilleta, Martínez & González, 2010).

2.3.1.2. Zinc

La biodisponibilidad de este elemento puede ser afectada por la presencia de algunos compuestos nutricionales tales como el fitato y el calcio o por algunas enfermedades (López et al., 2010).

Según la OMS la cantidad absorbible de zinc puede ser estimada mediante una relación molar fitato: zinc, siendo las dietas con mayor biodisponibilidad las que tienen una relación molar menor a 5, de 5:15 las dietas que tienen una biodisponibilidad moderada y las dietas que están asociadas a una mala absorción tienen una relación molar mayor a 15 (Lassa, 2008; Pico et al., 2011).

2.3.2. BIODISPONIBILIDAD DE FENOLES

La biodisponibilidad de compuestos fenólicos presentes en los alimentos de origen vegetal, puede variar según el tipo de polifenol, de la fuente alimentaria y de la presencia de otros constituyentes del alimento como la fibra dietaria y las proteínas ya que pueden interferir en la biodisponibilidad y bioactividad del fitoquímico presente (Manach, Williamson, Morand, Scalbert, & Rémésy, 2005; Quirós et al., 2012).

Según Quirós et. al. (2012), existen dos tipos de compuestos fenólicos, los que son biodisponibles en el tracto gastrointestinal y los que se interaccionan con la fibra dietaria, estos últimos no están biodisponibles en el intestino delgado. Como indica el estudio de Crozier, Jaganath, & Clifford(2009), los compuestos que interaccionan con la fibra dietaria llegan al colon junto con la fibra y se convierten en metabolitos fermentables biodisponibles, aquellos compuestos no fermentados, contribuyen al organismo con efectos antioxidantes.

Como se ha mencionado previamente, la biodisponibilidad es ampliamente variable entre los polifenoles, según Manach et. al (2005), los polifenoles que tienen una mejor absorción en el ser humano son las isoflavonas y el ácido

gálico, seguido de las catequinas, flavanonas y glucósidos de quercetina, con diferentes cinéticas. Los polifenoles que menos se absorben son las proantocianidinas, las catequinas del té y las antocianinas.

2.3.3. BIODISPONIBILIDAD DE CAROTENOIDES

Al igual que otros fitoquímicos, la biodisponibilidad de carotenoides va a depender de una serie de factores como el tipo de carotenoide, el procesamiento del alimento, la matriz alimentaria, la interacción con otros componentes presentes en la dieta y las condiciones fisiológicas del ser humano (Meléndez, Vicario, & Heredia, 2004).

Según el estudio de Parada & Aguilera (2007), la biodisponibilidad de los carotenoides es muy variable, su absorción depende de dos pasos: la liberación de la matriz del alimento y la solubilización dada por los ácidos biliares y las enzimas digestivas mientras que Begoña et al.(2001), explica que la presencia de contenido lipídico en la dieta, contribuye a la solubilización de carotenoides por su estructura hidrofóbica.

Algunos procesos como el triturado, el homogenizado y el tratamiento térmico, puede incrementar la liberación de carotenoides al desnaturalizar proteínas y suavizar las paredes celulares, asimismo el calentamiento excesivo puede disminuir el contenido de carotenoides en el alimento por oxidación, lo recomendable es elegir un tratamiento térmico moderado en donde exista un equilibrio entre su contenido y su biodisponibilidad. (Begoña, Granado, & Inmaculada, 2001),

La absorción de carotenoides puede ser empeorada por algunos factores como la presencia de una dieta rica en pectina y fibras alimenticias, la presencia de ésteres y una gran cantidad de metabolitos carotenoides en el intestino, las condiciones fisiológicas del humano tal como síndromes de

mala absorción y presencia de parásitos intestinales y el consumo de aceites minerales ya que impide la absorción de carotenoides siendo estos excretados en las heces (Gil, 2010).

2.3.4. BIODISPONIBILIDAD DE ÁCIDO ASCÓRBICO

La biodisponibilidad del ácido ascórbico depende de dos factores importantes, la cantidad y el tiempo en que se consuma. Su tasa de absorción es elevada, según Salas (2008), la absorción de esta vitamina es aproximadamente del 85% cuando ocurre en el intestino delgado a través de un transporte activo, sin embargo Konrad & Grimm (2007) explica que cuando existen concentraciones altas de ácido ascórbico, el transporte activo se satura dando paso solamente al transporte pasivo disminuyendo así su absorción hasta un 15%.

Por su estructura química, el ácido ascórbico es muy sensible, puede degradarse por oxidación en presencia de oxígeno, pH alcalino y temperaturas elevadas, por tal motivo, el procesado de alimentos puede disminuir su cantidad (Castillo & Miranda, 2009).

Marti et al. (2009) hace referencia a varios estudios que han demostrado que los bioflavonoides incrementan la biodisponibilidad y la acción antioxidante de la vitamina C tal es el caso del estudio de Vinson & Bose(1988) que explica que el zumo de los cítricos, con una cantidad mayoritaria de bioflavonoides, es más biodisponible que el ácido ascórbico sintético, sin embargo estos resultados son controvertidos por otros estudios como el de Mangels et al. (1993) donde afirma que tanto el ácido ascórbico sintético como el presente en frutas y verduras cocinadas son iguales de biodisponibles.

Algunas condiciones fisiológicas incrementan la biodisponibilidad del ácido ascórbico, tal es el caso de las etapas de gestación y lactancia, sus

requerimientos de vitamina C aumentan, al igual que en el caso de los fumadores, la ingesta de ácido ascórbico debe ser 35 mg/día más alta que para los no fumadores ya que tienen una mayor tasa de renovación metabólica (Salas, 2008).

2.4. FACTORES QUE AFECTAN LA BIODISPONIBILIDAD DE LOS NUTRIENTES

El grado de biodisponibilidad puede variar de un nutriente a otro según los factores que la incrementen o la inhiban, no obstante los factores que influyen de forma genérica en la biodisponibilidad de cualquier nutriente son los fisiológicos y los dietéticos (Cámara, 2004; Soriano, 2011).

2.4.1. FACTORES FISIOLÓGICOS

La biodisponibilidad puede estar influenciada por la edad, el sexo, la actividad física, el estado de salud y situaciones fisiológicas tales como el período de gestación y lactancia o en etapas de la vida en donde haya un mayor requerimiento de un nutriente específico. Asimismo, existen patologías que provocan una pérdida de mucosa y células epiteliales en el intestino delgado lo que conlleva a una mala absorción de nutrientes (Cámara, 2004; Serra & Aranceta, 2006).

2.4.2. FACTORES DIETÉTICOS

Los factores dietéticos tales como la cantidad del nutriente presente en el alimento, su estructura química y la presencia de otros compuestos en la dieta pueden llegar a influir en su biodisponibilidad. En estas interacciones, la biodisponibilidad puede incrementar o disminuir entre los compuestos, tal es el caso del hierro, que al interactuar con la vitamina C su tasa de absorción aumenta mientras que con la presencia de fitatos y compuestos fenólicos, esta disminuye (Serra & Aranceta, 2006; Soriano, 2011).

3. METODOLOGÍA

3. METODOLOGÍA

El presente trabajo se realizó en las instalaciones del INIAP-Estación Experimental Santa Catalina en el Departamento de Nutrición y Calidad.

3.1. MATERIA PRIMA

Se trabajó con once variedades de papa cultivadas en la Estación Experimental Santa Catalina: Coneja negra, Chaucha roja, Chaucha amarilla, Uvilla, Puña, Puca shungo, Yana shungo, Leona negra, Natividad, Libertad y Victoria.

3.2. CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DE LA MATERIA PRIMA

3.2.1. PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS

Las 11 variedades de papa en estado crudo fueron lavadas, peladas y cortadas en cuadrados pequeños manualmente para luego ser liofilizadas y molidas para su posterior análisis.

3.2.2. MÉTODOS DE ANÁLISIS

Se determinó el contenido total de polifenoles, carotenoides, ácido ascórbico, hierro y zinc en las muestras liofilizadas según las metodologías descritas en los siguientes puntos:

- *Determinación del contenido total de fenoles:* se determinó de acuerdo al método descrito por Waterhouse (2002) tal como se describe en el Anexo I.

- *Determinación de carotenoides totales:* se trabajó según el método descrito por Burgos *et al.* (2009), el cual es una adaptación del método de carotenoides para maíz desarrollado por Rodríguez-Amaya & Mieko (2004). La descripción detallada del método de análisis consta en el Anexo II.
- *Análisis de ácido ascórbico:* se trabajó con el método descrito por Burgos *et al.* (2009) el cual es una adaptación del método de determinación de ácido ascórbico en papas procesadas de Egoavile *et al.* (1998). La descripción detallada del método de análisis consta en el Anexo III.
- *Determinación de hierro y zinc:* la concentración total de hierro y zinc se determinó por espectroscopía de absorción atómica de acuerdo al método de análisis de minerales del Departamento de Nutrición y Calidad, INIAP el cual es una adaptación del método de Fick *et al.* (1979). La descripción detallada del método de análisis consta en el Anexo IV.

3.3. PROCESAMIENTO DE LAS PAPAS

Las 11 variedades de papa fueron lavadas, peladas y cortadas en cuadrados pequeños para luego ser sometidas a los procesos de cocción (90°C por 15 min), fritura (180°C por 5 min) y horneado (180°C por 15 min).

3.4. CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DE LAS PAPAS PROCESADAS

Luego de ser procesadas, las papas fueron liofilizadas y molidas para luego ser sometidas a los análisis del numeral 3.2.2.

3.5. DETERMINACIÓN DE LA BIODISPONIBILIDAD

Las muestras liofilizadas del numeral 3.4. fueron sometidas al proceso de digestión tal como se describe a continuación:

3.5.1. DIGESTIÓN IN VITRO

Se trabajó con el método del CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical) descrita en la figura 2. Este método es una adaptación del estudio de Argyri *et al.* (2009) y del estudio de Cook y Monsen (1977) en donde describen un método de digestión *in vitro* de algunos nutrientes en una comida estándar americana.

Al finalizar el proceso de digestión quedaron dos fases, la fase líquida que está sobre la membrana (dializado) y la fase líquida-sólida que está dentro de la membrana (retenido) tal como indica la figura 2. Las fases retenidas de cada muestra fueron liofilizadas y molidas para su posterior análisis.

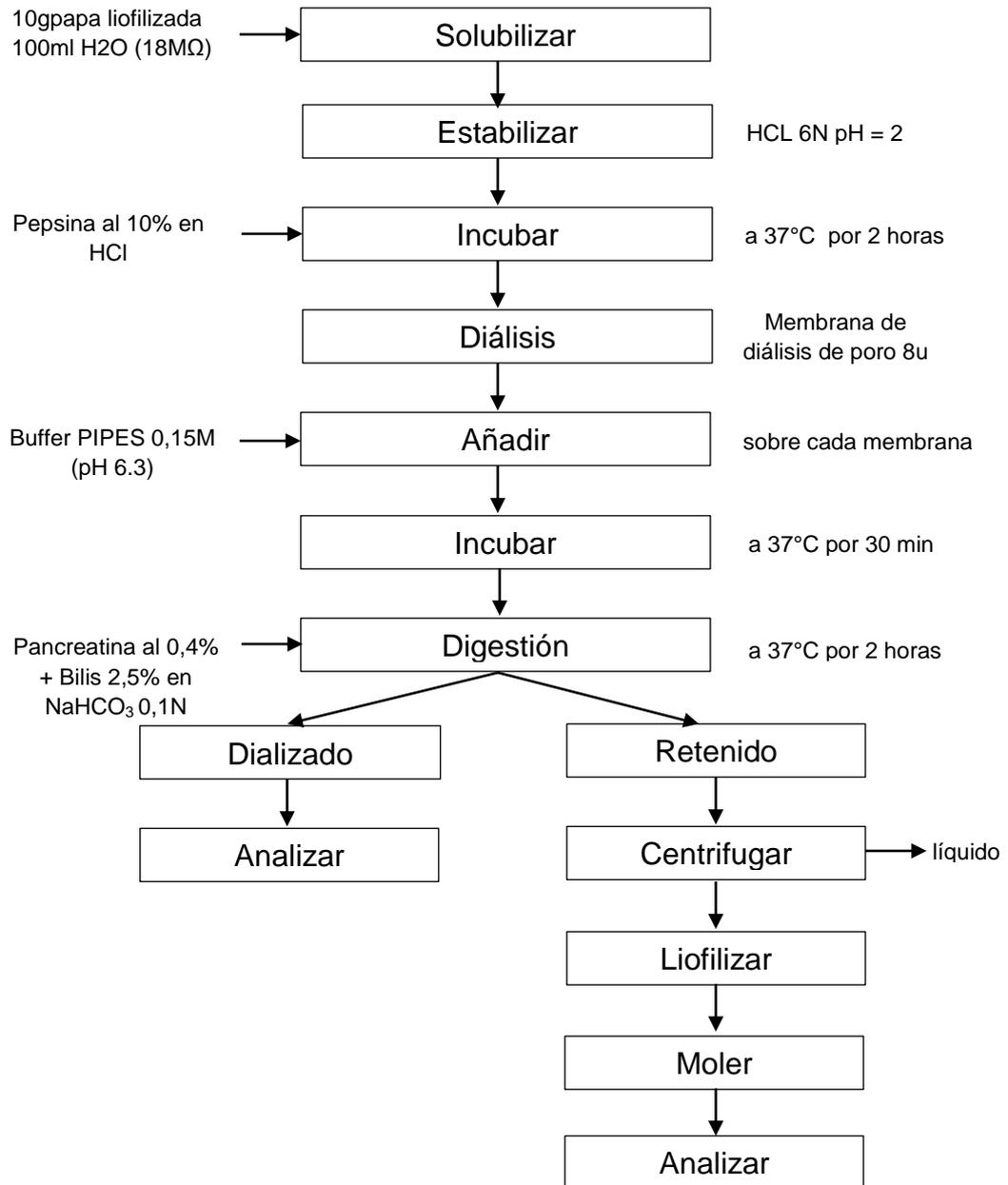


Figura 2.Flujograma del método de determinación de la biodisponibilidad *in vitro*.

3.5.2. CUANTIFICACIÓN DE LA BIODISPONIBILIDAD

Se determinó el contenido total de polifenoles, carotenoides y ácido ascórbico en las muestras liofilizadas de las fases retenidas según las metodologías descritas en el numeral 3.2.2.

Las fases dializadas fueron sometidas al análisis de minerales por espectrofotometría de absorción atómica según la metodología descrita en el numeral 3.2.2.

3.5.3. CÁLULO DEL PORCENTAJE DE LA BIODISPONIBILIDAD

Para calcular el porcentaje biodisponible de polifenoles, carotenoides y ácido ascórbico, se utilizó las siguientes fórmulas:

Cálculo de la concentración biodisponible del nutriente:

$$\frac{mg}{100g} = (\text{concentración total} - \text{concentración retenida}) \quad [1]$$

Cálculo del porcentaje del nutriente biodisponible:

$$\% \text{ biodisponible} = \frac{\text{concentración biodisponible}}{\text{concentración total}} * 100 \quad [2]$$

Para el cálculo del contenido biodisponible de hierro y zinc, se utilizó la siguiente fórmula:

Cálculo del porcentaje del mineral dializado:

$$\% \text{ diazabilidad} = \frac{\text{mineral en el dializado}}{\text{mineral total en la muestra}} * 100 \quad [3]$$

3.6. DISEÑO EXPERIMENTAL

Se propuso un análisis de varianza multifactorial axb descrito en la Tabla 3.

Tabla 3. Análisis de varianza multifactorial axb. Interacción variedad-proceso.

| Variedades | Procesos | | | |
|-------------------------|-----------------|----------|-------|----------|
| | Crudo | Horneado | Frito | Cocinado |
| Chaucha Amarilla | A1B1 | A1B2 | A1B3 | A1B4 |
| Chaucha Roja | A2B1 | A2B2 | A2B3 | A2B4 |
| Coneja Negra | A3B1 | A3B2 | A3B3 | A3B4 |
| Leona Negra | A4B1 | A4B2 | A4B3 | A4B4 |
| Libertad | A5B1 | A5B2 | A5B3 | A5B4 |
| Natividad | A6B1 | A6B2 | A6B3 | A6B4 |
| Pucashungo | A7B1 | A7B2 | A7B3 | A7B4 |
| Puña | A8B1 | A8B2 | A8B3 | A8B4 |
| Uvilla | A9B1 | A9B2 | A9B3 | A9B4 |
| YanaShungo | A10B1 | A10B2 | A10B3 | A10B4 |
| Victoria | A11B1 | A11B2 | A11B3 | A11B4 |

Se trabajó con 44 tratamientos y para cada uno se realizó tres réplicas por cada análisis.

Para evaluar el efecto de los procesos sobre el contenido biodisponible de polifenoles, carotenoides, ácido ascórbico, hierro y zinc, se realizó un análisis de varianza multifactorial cuya significancia estadística en los tratamientos, orientó el análisis de grupos homogéneos mediante la aplicación de la prueba de Tukey al 5% empleando el programa estadístico InfoStat versión 2014.

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1. CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DE LA MATERIA PRIMA

Para conocer la concentración inicial de polifenoles, carotenoides, ácido ascórbico, hierro y zinc de las papas, se determinó la cantidad total de cada compuesto en las variedades de papas en estado crudo según la metodología descrita en el capítulo anterior.

La Tabla 4 muestra los resultados obtenidos de los análisis químicos para cada variedad de papa.

Tabla 4. Caracterización química de las variedades de papa en estado crudo (valores en base seca).

| VARIEDAD | <i>Polifenoles (mg/100g)</i> | <i>Carotenoides (ug/100g)</i> | <i>Ácido Ascórbico (mg/100g)</i> | <i>Hierro (mg/kg)</i> | <i>Zinc (mg/kg)</i> |
|-----------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|--|---------------------------|--------------------------|
| <i>Libertad</i> | 392.65 ^d ± 2.4 | 977.69 ^e ± 1.2 | 145.49 ^a ± 3.5 | 85.0 ^f ± 0.9 | 31.6 ^e ± 0.7 |
| <i>Coneja negra</i> | 423.52 ^e ± 3.5 | 1345.26 ^b ± 2.6 | 81.24 ^e ± 3.8 | 126.0 ^c ± 0.6 | 36.3 ^d ± 0.5 |
| <i>Puña</i> | 387.24 ^d ± 1.1 | 871.18 ⁱ ± 4.4 | 65.23 ^f ± 1.3 | 86.0 ^{ef} ± 0.3 | 24.3 ^g ± 0.6 |
| <i>Chaucha amarilla</i> | 305.23 ^a ± 4.1 | 1028.31 ^d ± 1.6 | 97.46 ^d ± 3.4 | 74.8 ^g ± 0.5 | 26.4 ^{fg} ± 0.5 |
| <i>Natividad</i> | 323.80 ^b ± 2.5 | 964.74 ^g ± 3.7 | 98.06 ^{cd} ± 4.5 | 67.4 ^h ± 0.7 | 54.2 ^a ± 0.6 |
| <i>Leona negra</i> | 307.89 ^a ± 2.5 | 1029.59 ^d ± 2.8 | 75.52 ^{ef} ± 6.1 | 69.5 ^h ± 0.6 | 45.6 ^b ± 0.6 |
| <i>Chaucha roja</i> | 333.96 ^c ± 3.1 | 1034.14 ^c ± 2.6 | 115.65 ^b ± 4.2 | 188.9 ^b ± 0.9 | 34.9 ^d ± 0.6 |
| <i>Uvilla</i> | 483.78 ^f ± 4.4 | 876.52 ^h ± 3.4 | 107.99 ^{bc} ± 2.0 | 193.8 ^a ± 0.9 | 25.6 ^{fg} ± 0.7 |
| <i>Pucashungo</i> | 557.04 ^g ± 2.0 | 986.25 ^f ± 3.7 | 103.12 ^{cd} ± 3.6 | 87.8 ^e ± 0.6 | 27.3 ^f ± 0.8 |
| <i>Yanashungo</i> | 967.38 ^h ± 3.0 | 1505.97 ^a ± 3.2 | 98.35 ^{cd} ± 2.6 | 100.3 ^d ± 0.5 | 29.9 ^e ± 0.8 |
| <i>Victoria</i> | 308.68 ^a ± 3.6 | 849.25 ^j ± 1.3 | 68.61 ^f ± 4.3 | 195.8 ^a ± 0.6 | 43.0 ^c ± 0.5 |

*Letras diferentes en cada columna representan diferencia significativa para Tukey (5%)

Las variedades de papa presentaron diferencias significativas sobre cada compuesto tal como indica los grupos homogéneos de la tabla 4. El contenido de polifenoles varió según la variedad, la papa Yana shungo presentó el mayor contenido total, con valores de 967.38mg/100g en base seca mientras que las variedades Chaucha amarilla, Leona negra y

Natividad presentaron las menores concentraciones (305.23, 307.89 y 308.68 mg/100g respectivamente). Según Poveda (2013), las papas contienen un mayor contenido de polifenoles con respecto a otras especies vegetales como el maíz negro y el fréjol (277 mg/100g). Tomás (2003) explica que la composición de polifenoles está ligado a factores extrínsecos del vegetal (el grado de iluminación e irradiación de las plantas y la temperatura del cultivo), por lo que aquellos frutos que han crecido en zonas con temperaturas nocturnas más bajas y con una mayor tasa de insolación, acumulan un mayor contenido de polifenoles en el alimento, razón por la cual las variedades nativas presentan una mayor concentración de compuestos fenólicos.

En cuanto el contenido total de carotenoides, la variedad Yana shungo tuvo el mayor contenido, con una concentración de 1505.97 ± 3.2 ug/100g en base seca mientras que la variedad Victoria presentó el menor contenido total de carotenoides en base seca, 849.3 ± 1.3 ug/100g. Concentraciones similares se observó en el estudio de Burgos et al. (2012) con 23 variedades de papa las cuales reportaron concentraciones entre 1258 a 1840 ug/100g, Burgos concluye que gran parte de esta concentración está correlacionado por la presencia de zeaxantina y anterazantina.

Para el contenido de ácido ascórbico, la variedad Libertad presentó la concentración más alta, siendo esta de 145.49 ± 3.5 mg/100g en base seca mientras que la variedad Puña tuvo la menor concentración de ácido ascórbico, 65.23 ± 1.3 mg/100g en base seca. El estudio de Suárez *et al.* (2004) reportó valores de ácido ascórbico presentes en papa de 119 ± 12.5 mg/100g en peso seco. Según Villacrés (2005), el contenido de vitamina C varía ampliamente según cada variedad determinando que las papas nativas aportan al requerimiento diario de esta vitamina desde un 15 a un 50%.

En el caso de los minerales, las variedades Victoria y Uvilla, presentaron las mayores concentraciones de Hierro, 195.8 y 193.8 ppm respectivamente

mientras que los cultivares Leona negra y Natividad alcanzaron las concentraciones más bajas, de 69.5 y 67.4 ppm.

En cuanto al contenido total de Zinc, la variedad que presentó una mayor cantidad fue la variedad *Natividad* con una concentración de 54.2 ppm mientras que las variedades Chaucha amarilla, Uvilla y Puña presentaron las menores cantidades, 26.4 ± 0.5 , 25.6 ± 0.7 y 24.3 ± 0.6 ppm, respectivamente.

Según el CIP, la concentración de hierro y zinc en la papa es baja en comparación con la concentración de estos minerales en los cereales y las legumbres, sin embargo, estos pueden ser mayormente absorbibles debido a la presencia de altos niveles de ácido ascórbico y niveles bajos de ácido fítico.

4.2. CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DE LAS PAPAS PROCESADAS

Para conocer el efecto del procesamiento sobre las concentraciones iniciales de cada compuesto, se sometió a tres procesos convencionales de preparación de las papas, a continuación se detallará los resultados obtenidos en cada proceso.

4.2.1. HORNEADO

La tabla 5 muestra los resultados obtenidos de los análisis realizados por cada variedad.

Tabla 5. Caracterización química de las variedades de papa sometidas al proceso de horneado.

| VARIEDAD | Polifenoles (mg/100g) | Carotenoides (ug/100g) | Ácido Ascórbico (mg/100g) | Hierro (mg/kg) | Zinc (mg/kg) |
|-------------------------|-----------------------|------------------------|---------------------------|----------------|--------------|
| <i>Libertad</i> | 250.96 ± 3.4 | 120.20 ± 1.2 | 47.33 ± 5.1 | 20.5 ± 0.8 | 11.0 ± 0.9 |
| <i>Coneja negra</i> | 195.99 ± 2.5 | 75.62 ± 3.5 | 34.50 ± 2.5 | 49.0 ± 0.4 | 12.0 ± 0.8 |
| <i>Puña</i> | 163.12 ± 2.4 | 120.97 ± 3.6 | 42.00 ± 3.0 | 42.0 ± 0.5 | 10.0 ± 0.9 |
| <i>Chaucha amarilla</i> | 230.47 ± 3.0 | 134.20 ± 2.4 | 49.67 ± 4.1 | 24.4 ± 0.7 | 14.0 ± 0.8 |
| <i>Natividad</i> | 223.98 ± 4.1 | 210.76 ± 5.6 | 82.00 ± 1.9 | 42.0 ± 0.6 | 8.0 ± 0.7 |
| <i>Leona negra</i> | 226.43 ± 4.6 | 78.15 ± 2.1 | 38.50 ± 2.6 | 40.0 ± 0.5 | 16.0 ± 0.9 |
| <i>Chaucha roja</i> | 254.06 ± 1.8 | 143.57 ± 1.3 | 59.33 ± 4.0 | 31.0 ± 0.6 | 9.0 ± 0.7 |
| <i>Uvilla</i> | 241.40 ± 3.8 | 260.71 ± 3.5 | 56.50 ± 5.0 | 29.0 ± 0.7 | 9.0 ± 0.6 |
| <i>Pucashungo</i> | 437.65 ± 2.8 | 193.51 ± 3.3 | 86.00 ± 3.7 | 24.0 ± 0.6 | 7.0 ± 0.6 |
| <i>Yanashungo</i> | 407.26 ± 4.3 | 322.76 ± 2.9 | 55.67 ± 2.9 | 41.0 ± 0.5 | 11.0 ± 0.7 |
| <i>Victoria</i> | 203.04 ± 1.4 | 218.73 ± 2.4 | 49.67 ± 4.8 | 25.0 ± 0.6 | 11.0 ± 0.9 |

4.2.1.1. Polifenoles

Se determinó el efecto del horneado sobre la concentración inicial de polifenoles en cada variedad de papa el cual implicó pérdidas de la cantidad inicial. La figura 3 indica la pérdida de la concentración de polifenoles de las papas horneadas con relación a las papas en estado crudo.

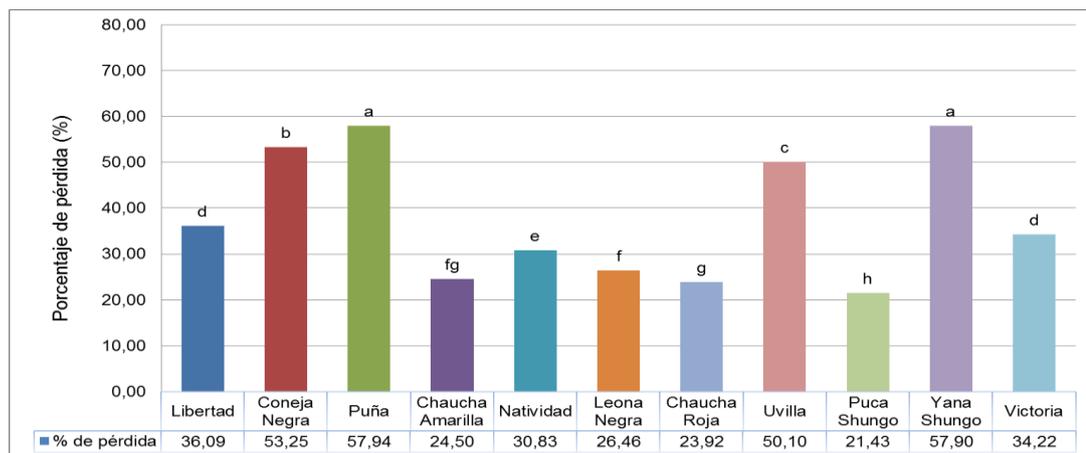


Figura 3. Porcentaje de pérdida de la concentración de polifenoles totales de los cultivares de papa por efecto del proceso de horneado.

Las variedades presentaron diferencias significativas sobre el porcentaje de pérdida de la cantidad inicial de polifenoles por lo que se aplicó la prueba de Tukey al 5%. Se determinó que las variedades Yanashungo y Puña tuvieron una mayor pérdida con un 57.94 y 57.90% mientras que la variedad Puca shungo apenas perdió el 21.43%.

4.2.1.2. Carotenoides

Los resultados obtenidos mostraron que el proceso de horneado afecta negativamente al contenido inicial de carotenoides tal como se aprecia en la figura 4.

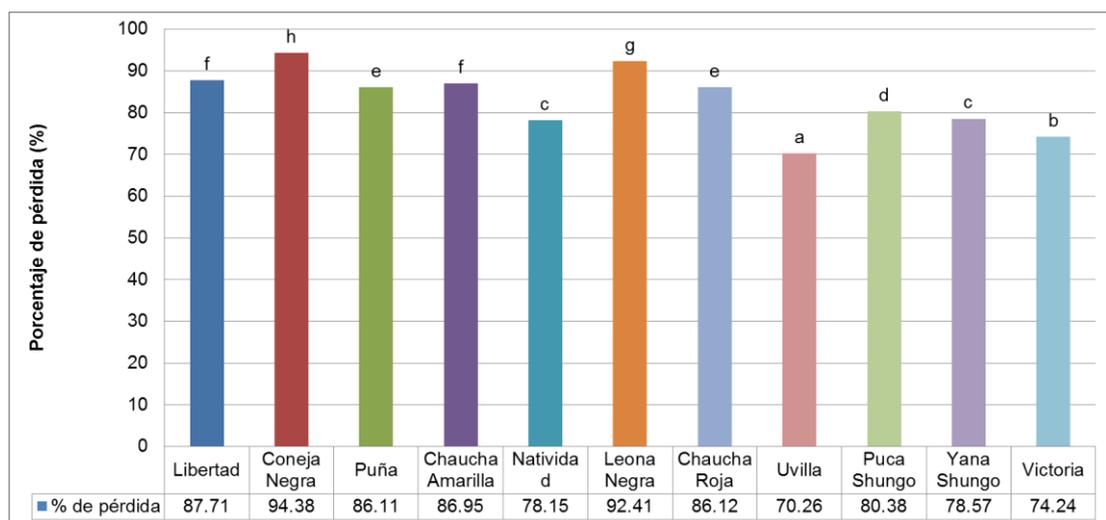


Figura 4. Porcentaje de pérdida de la concentración de carotenoides totales de los cultivares de papa por efecto del proceso de horneado.

Las variedades de papa presentaron diferencias significativas en cuanto a la pérdida de la concentración de carotenoides, el mayor porcentaje de pérdida se apreció en la variedad Coneja negra con un 94.37% mientras que la variedad Uvilla, presentó un 70.26% de pérdida siendo este el menor porcentaje.

4.2.1.3. Ácido ascórbico

Durante el horneado, las variedades de papa presentaron una pérdida significativa de la concentración inicial de ácido ascórbico, los porcentajes de pérdida de cada variedad pueden apreciarse en la figura 5.

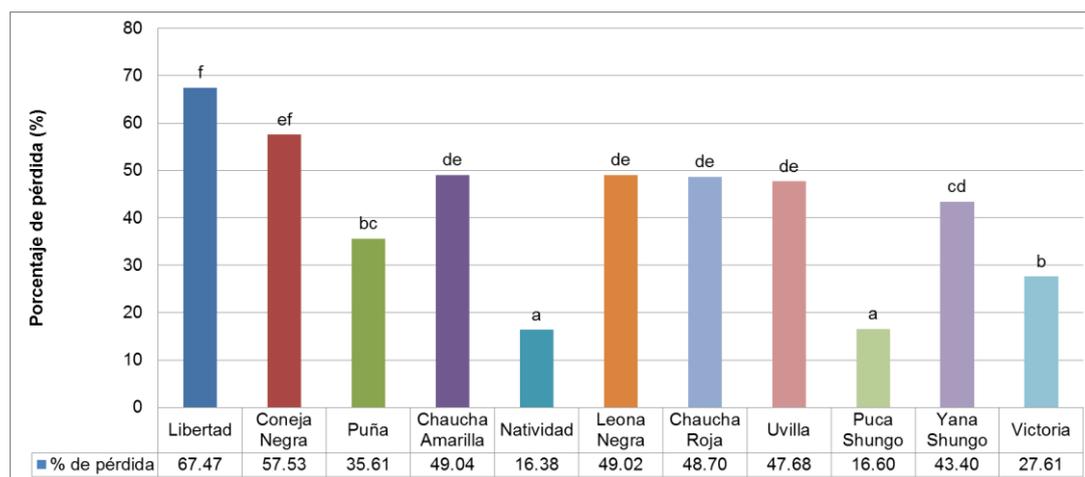


Figura 5. Porcentaje de pérdida de la concentración de ácido ascórbico de los cultivares de papa por efecto del proceso de horneado.

El análisis de varianza mostró diferencias significativas en el porcentaje de pérdida de la concentración de ácido ascórbico de acuerdo a la variedad. Se determinó que las variedades Puca shungo y Natividad pierden en menor porcentaje la concentración inicial de vitamina C, 16.60 y 16.38% respectivamente a diferencia de la variedad Libertad que tuvo una pérdida del 67.47%.

4.2.1.4. Hierro

El efecto del proceso de horneado muestra un notable descenso sobre la concentración inicial de hierro, la figura 6 detalla la pérdida del contenido de hierro en las muestras de papa analizadas.

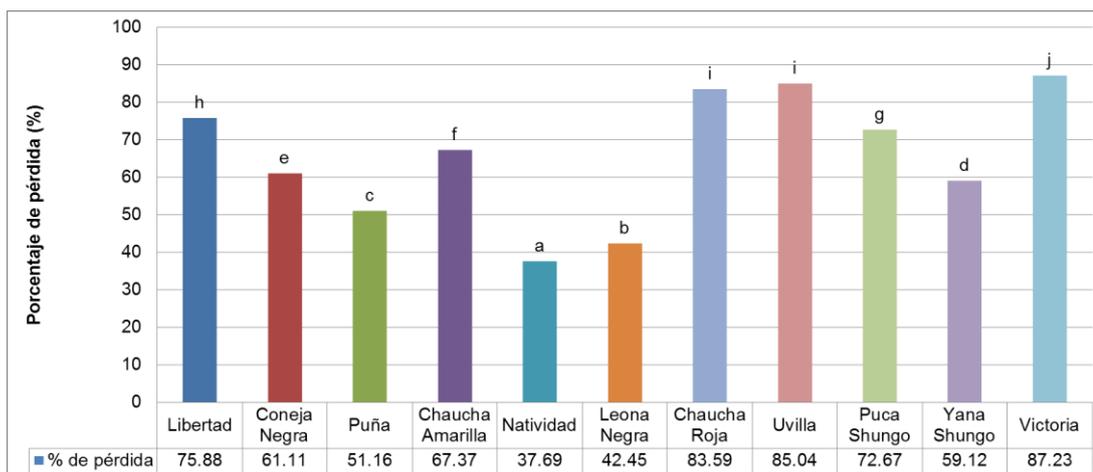


Figura 6. Porcentaje de pérdida de la concentración de hierro de los cultivares de papa por efecto del proceso de horneo.

Al presentar diferencias significativas en la pérdida del contenido de hierro, se realizó la prueba de Tukey al 5% la cual determinó que la variedad *Natividad* presentó una disminución de 37.69% mientras que la variedad *Victoria* tuvo una disminución de 87.23% siendo esta la variedad con el mayor porcentaje de pérdida.

4.2.1.5. Zinc

La aplicación del proceso de horneo alcanzó una disminución notable de la concentración inicial de zinc. En la figura 7 se puede observar la pérdida del contenido de zinc por cada variedad analizada.

Las variedades de papa presentaron diferencias significativas en cuanto a la pérdida del contenido de zinc, destacándose la variedad *Chaucha amarilla* que apenas tuvo una disminución del 46.97% a diferencia de la variedad *Natividad* que tuvo el 85.24% de pérdida.

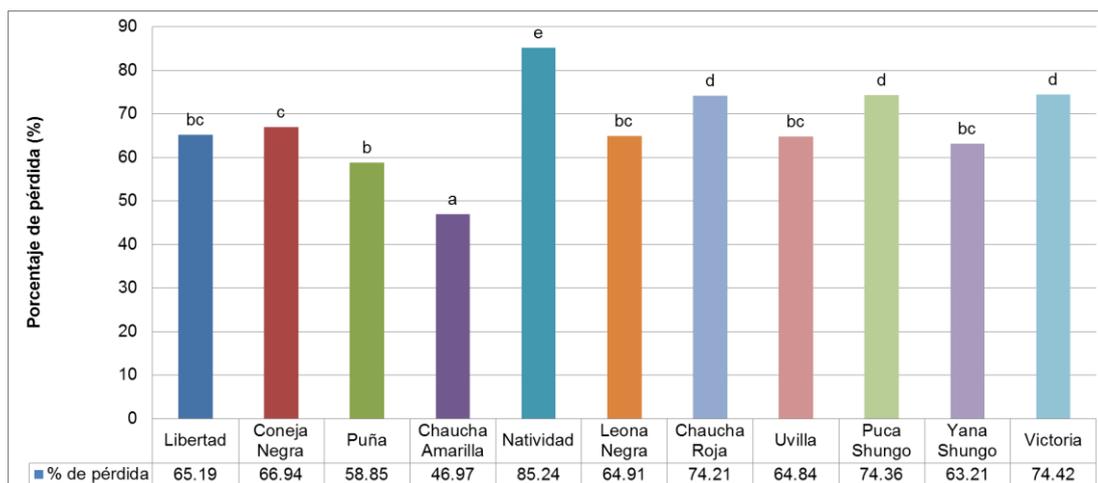


Figura 7. Porcentaje de pérdida de la concentración de zinc de los cultivares de papa por efecto del proceso de horneado.

4.2.2. FRITURA

La tabla 6 muestra los resultados obtenidos de los análisis realizados por cada variedad.

Tabla 6. Caracterización química de las variedades de papa sometidas al proceso de fritura.

| VARIEDAD | Polifenoles (mg/100g) | Carotenoides (ug/100g) | Ácido Ascórbico (mg/100g) | Hierro (mg/kg) | Zinc (mg/kg) |
|-------------------------|-----------------------|------------------------|---------------------------|----------------|--------------|
| <i>Libertad</i> | 242.41 ± 2.1 | 94.60 ± 3.2 | 51.54 ± 2.2 | 29.7 ± 0.4 | 12.1 ± 0.4 |
| <i>Coneja negra</i> | 235.69 ± 3.7 | 120.04 ± 1.8 | 39.08 ± 2.8 | 31.2 ± 0.2 | 12.3 ± 0.2 |
| <i>Puña</i> | 274.41 ± 2.9 | 148.96 ± 2.5 | 46.43 ± 3.0 | 30.9 ± 0.3 | 11.7 ± 0.3 |
| <i>Chaucha amarilla</i> | 230.71 ± 4.2 | 164.02 ± 4.7 | 46.18 ± 3.8 | 31.2 ± 0.2 | 13.4 ± 0.3 |
| <i>Natividad</i> | 229.98 ± 4.8 | 87.21 ± 2.6 | 59.62 ± 2.6 | 28.7 ± 0.4 | 13.8 ± 0.2 |
| <i>Leona negra</i> | 244.01 ± 4.1 | 32.06 ± 3.4 | 41.17 ± 3.0 | 44.1 ± 0.1 | 14.5 ± 0.3 |
| <i>Chaucha roja</i> | 244.42 ± 2.6 | 94.40 ± 1.1 | 45.22 ± 3.1 | 36.0 ± 0.3 | 12.0 ± 0.2 |
| <i>Uvilla</i> | 269.40 ± 3.8 | 38.10 ± 4.0 | 50.23 ± 1.1 | 36.3 ± 0.3 | 12.3 ± 0.3 |
| <i>Puca shungo</i> | 431.21 ± 2.8 | 39.14 ± 2.8 | 57.14 ± 2.6 | 24.1 ± 0.3 | 10.1 ± 0.2 |
| <i>Yana shungo</i> | 713.05 ± 4.7 | 34.94 ± 4.1 | 54.80 ± 3.4 | 34.8 ± 0.1 | 17.1 ± 0.2 |
| <i>Victoria</i> | 211.62 ± 3.6 | 87.31 ± 2.0 | 44.88 ± 3.7 | 23.5 ± 0.2 | 9.8 ± 0.3 |

Al ser sometidas las muestras de papa al proceso de fritura, se observa en general una disminución de la concentración inicial de los compuestos analizados.

A continuación se explica cómo influyó el proceso de fritura sobre el contenido de cada compuesto analizado.

4.2.2.1. Polifenoles

La figura 8 indica cómo el proceso de fritura actúa sobre el contenido inicial de polifenoles, disminuyéndolo significativamente. El análisis de varianza mostró que existe diferencia significativa entre las variedades estudiadas, por lo que se aplicó la prueba de Tukey al 5%. Las variedades que tuvieron el mayor porcentaje de pérdida de la concentración inicial de polifenoles fueron Uvilla y Coneja negra, con 44.31 y 44.35% respectivamente, a diferencia del cultivar Leona Negra que presentó un 20.75% de pérdida.

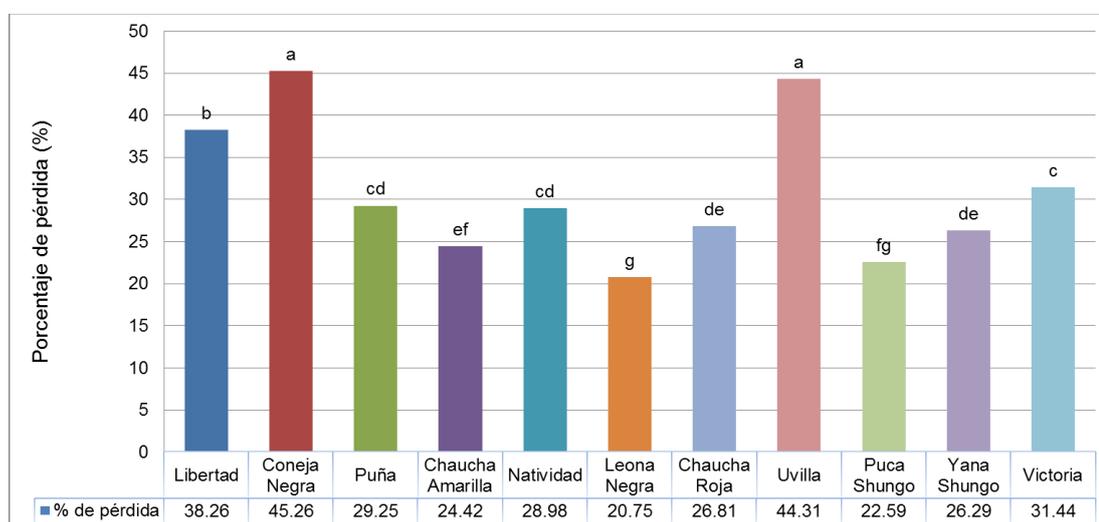


Figura 8. Porcentaje de pérdida de la concentración de polifenoles totales de los cultivares de papa por efecto del proceso de fritura.

4.2.2.2. Carotenoides

La figura 9 permite visualizar la disminución de la concentración de carotenoides en los once cultivares de papa fritas las cuales presentaron diferencias significativas. La variedad Puña presentó el 82.90% de pérdida que a pesar de ser alto, es la variedad que tuvo el menor porcentaje de pérdida a comparación con las variedades Yana shungo y Leona negra las cuales tuvieron un 97.68 y 96.69% de pérdida.

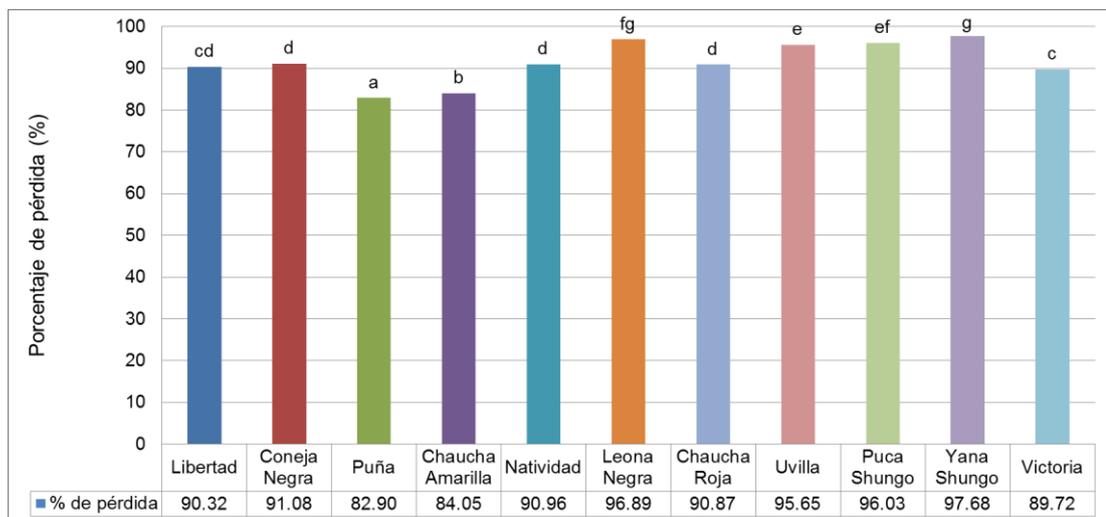


Figura 9. Porcentaje de pérdida de la concentración de carotenoides totales de los cultivares de papa por efecto del proceso de fritura.

4.2.2.3. Ácido ascórbico

La figura 10 presenta los resultados obtenidos de la disminución de la concentración inicial de ácido ascórbico en las muestras de papa frita.

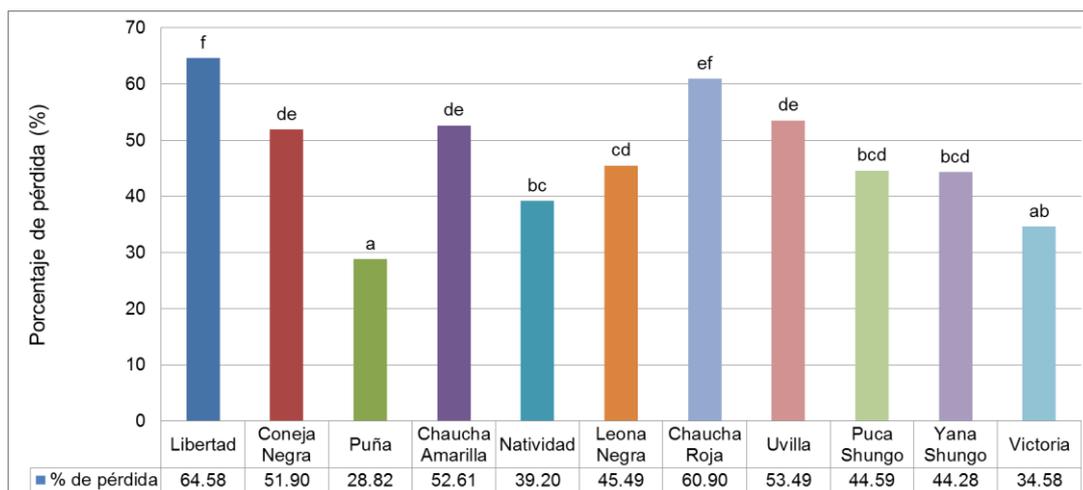


Figura 10. Porcentaje de pérdida de la concentración de ácido ascórbico de los cultivares de papa por efecto del proceso de fritura.

Al realizar el análisis de varianza, las variedades de papa presentaron diferencias significativas sobre el porcentaje de pérdida de vitamina C, siendo la variedad Puña, la que presentó el menor porcentaje de pérdida (28.82%) a diferencia de la variedad Libertad, que a pesar de tener el mayor contenido de ácido ascórbico en estado crudo, sufre una pérdida del 64.58%.

4.2.2.4. Hierro

Para el caso del contenido de hierro se puede apreciar una pérdida significativa de su concentración inicial al someter a las muestras de papa al proceso de fritura. La figura 11 se puede apreciar la disminución de hierro que tuvieron las muestras de papa en estado frito.

El análisis de varianza indicó diferencias significativas sobre la pérdida del contenido de hierro, por lo que se realizó la prueba de Tukey al 5% la cual indicó que la variedad que tuvo el menor porcentaje de pérdida fue Leona Negra, con apenas el 36.49% mientras que la variedad Victoria tuvo una disminución del 88.01% siendo esta la papa con mayor porcentaje de pérdida.

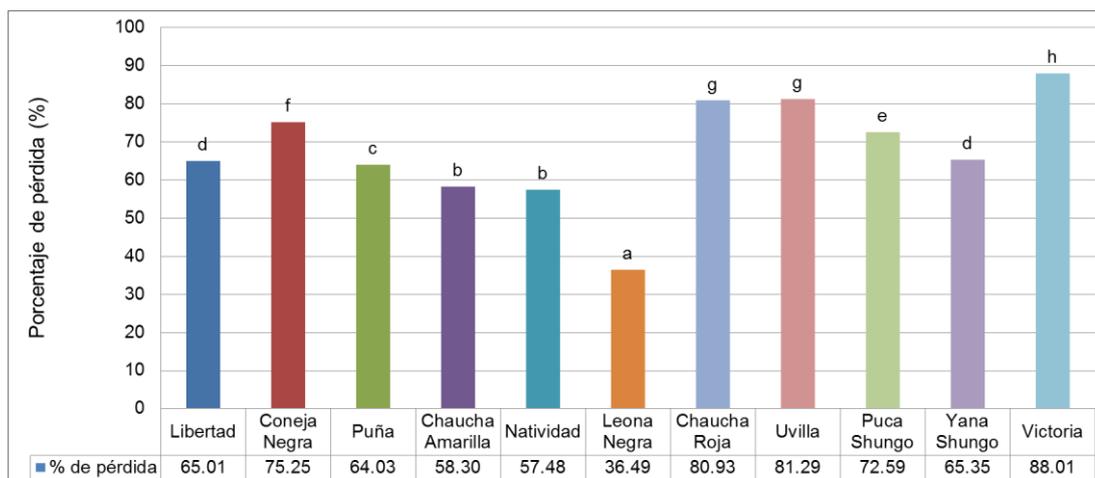


Figura 11. Porcentaje de pérdida de la concentración de hierro de los cultivares de papa por efecto del proceso de fritura.

El análisis de varianza indicó diferencias significativas sobre la pérdida del contenido de hierro, por lo que se realizó la prueba de Tukey al 5% la cual indicó que la variedad que tuvo el menor porcentaje de pérdida fue Leona Negra, con apenas el 36.49% mientras que la variedad Victoria tuvo una disminución del 88.01% siendo esta la papa con mayor porcentaje de pérdida.

4.2.2.5. Zinc

Al aplicar el proceso de fritura, los cultivares de papa presentaron una reducción significativa del contenido inicial de zinc tal como se puede apreciar en la figura 12.

Al presentar diferencias significativas sobre la pérdida de la concentración de zinc se aplica la prueba de Tukey al 5%, determinando que la variedad Yana shungo presentó una disminución del 42.81% destacándose como la variedad con menor porcentaje de pérdida de zinc a diferencia de la variedad Victoria, la cual presentó el mayor porcentaje de pérdida, 77.16%.

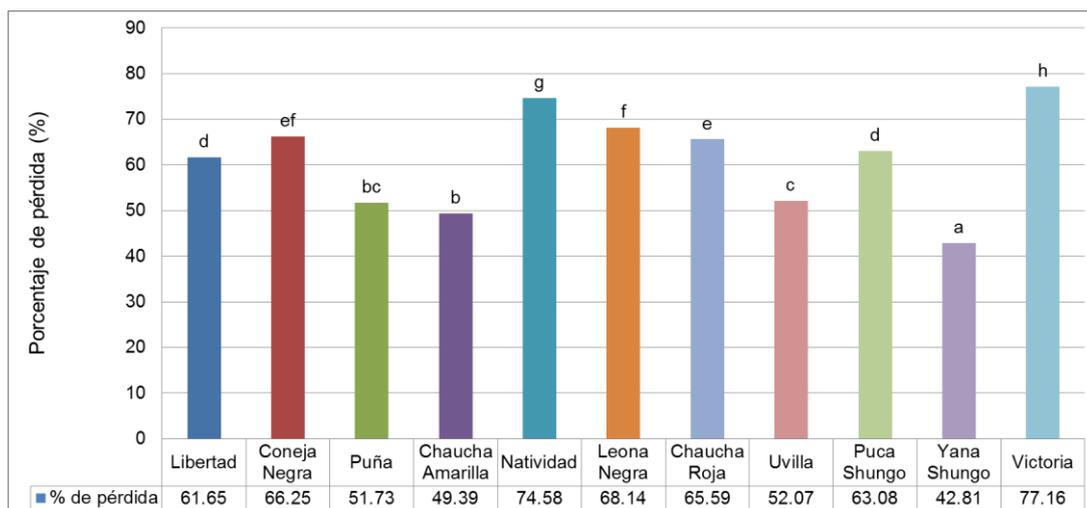


Figura 12. Porcentaje de pérdida de la concentración de zinc de los cultivares de papa por efecto del proceso de fritura.

4.2.3. COCINADO

La tabla 7 detalla los resultados obtenidos de los análisis realizados.

Tabla 7. Caracterización química de las variedades de papa sometidas al proceso de cocción.

| VARIEDAD | Polifenoles (mg/100g) | Carotenoides (ug/100g) | Ácido Ascórbico (mg/100g) | Hierro (mg/kg) | Zinc (mg/kg) |
|-------------------------|-----------------------|------------------------|---------------------------|----------------|--------------|
| <i>Libertad</i> | 213.16 ± 4.3 | 97.30 ± 1.8 | 61.38 ± 2.2 | 24.0 ± 0.6 | 10.0 ± 0.5 |
| <i>Coneja negra</i> | 276.66 ± 3.5 | 72.98 ± 3.7 | 37.94 ± 3.5 | 31.0 ± 0.1 | 8.0 ± 0.4 |
| <i>Puña</i> | 202.18 ± 2.9 | 100.80 ± 4.0 | 36.33 ± 2.1 | 26.0 ± 0.4 | 9.0 ± 0.3 |
| <i>Chaucha amarilla</i> | 208.65 ± 3.0 | 109.82 ± 3.8 | 34.05 ± 3.0 | 28.0 ± 0.5 | 14.0 ± 0.4 |
| <i>Natividad</i> | 212.36 ± 4.1 | 141.86 ± 2.3 | 39.81 ± 1.3 | 33.0 ± 0.5 | 11.0 ± 0.3 |
| <i>Leona negra</i> | 184.72 ± 3.5 | 131.38 ± 2.0 | 23.73 ± 3.6 | 27.0 ± 0.4 | 8.0 ± 0.3 |
| <i>Chaucha roja</i> | 204.61 ± 2.7 | 269.19 ± 2.7 | 24.59 ± 3.0 | 51.0 ± 0.6 | 13.0 ± 0.3 |
| <i>Uvilla</i> | 180.90 ± 3.4 | 127.53 ± 2.4 | 27.95 ± 3.5 | 45.0 ± 0.6 | 11.0 ± 0.4 |
| <i>Puca shungo</i> | 366.40 ± 2.6 | 307.91 ± 1.0 | 37.52 ± 2.9 | 25.0 ± 0.4 | 7.0 ± 0.4 |
| <i>Yana shungo</i> | 407.74 ± 3.2 | 148.81 ± 1.7 | 23.16 ± 1.0 | 30.0 ± 0.4 | 9.0 ± 0.5 |
| <i>Victoria</i> | 167.63 ± 4.0 | 264.03 ± 2.4 | 37.40 ± 4.4 | 27.0 ± 0.5 | 8.0 ± 0.2 |

Después de someter a las muestras de papa al proceso de cocción, se determinó que al igual que en el proceso de horneado y fritura, existe una disminución del contenido total de los compuestos analizados.

A continuación se detalla el efecto del proceso de cocción sobre el contenido inicial de cada compuesto analizado.

4.2.3.1. Polifenoles

Al igual que en la fritura y el horneado, el efecto de la cocción ocasionó pérdidas significativas de la concentración de polifenoles de los diferentes cultivares de papa tal como se puede observar en la figura 13.

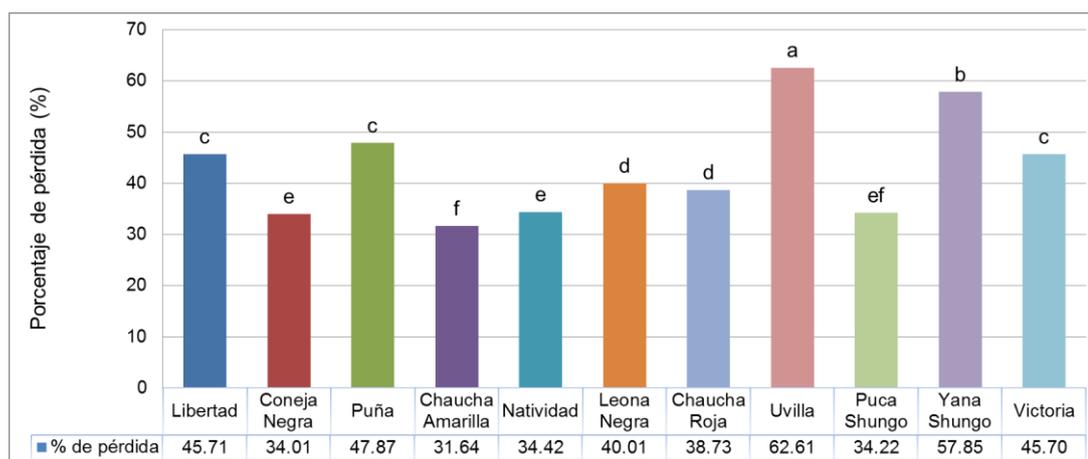


Figura 13. Porcentaje de pérdida de la concentración de polifenoles totales de los cultivares de papa por efecto del proceso de cocción.

Se observó diferencias significativas sobre la pérdida del contenido de polifenoles en los cultivares de papa cocinados por lo que al aplicar la prueba de Tukey al 5%, se demostró que la variedad Uvilla reportó el porcentaje de pérdida más alto, 62.60% mientras que la variedad Chaucha amarilla fue la que menor cantidad perdió al obtener una disminución del 31.63%.

4.2.3.2. Carotenoides

En la figura 14 se puede apreciar cómo la cocción afecta negativamente sobre la concentración total de carotenoides de las muestras de papa en estado crudo.

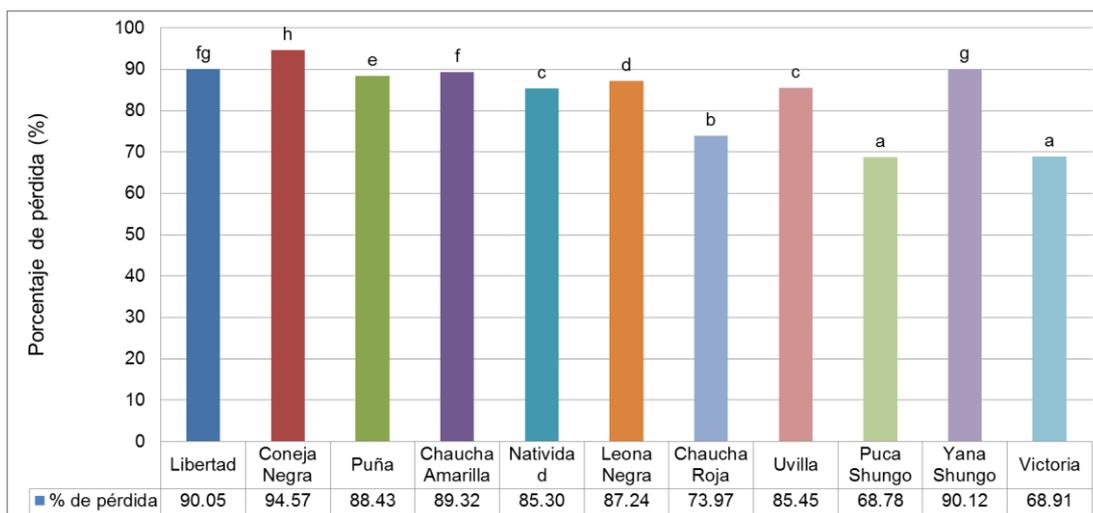


Figura 14. Porcentaje de pérdida de la concentración de carotenoides totales de los cultivares de papa por efecto del proceso de cocción.

Los cultivares presentaron diferencias significativas sobre el porcentaje de pérdida del contenido de carotenoides. Al realizar la prueba significativa de Tukey al 5%, se determinó que las variedades que presentaron la menor pérdida de la cantidad inicial fueron Puca shungo y Victoria los cuales alcanzaron una disminución del 68.78 y 68.91% a diferencia del cultivar Yana shungo, que presentó la mayor pérdida alcanzando una disminución del 90.12%.

4.2.3.3. Ácido ascórbico

La figura 15 presenta una comparación entre los resultados obtenidos del contenido de ácido ascórbico de las variedades de papa crudas y cocinadas,

en donde se puede apreciar una pérdida significativa de su concentración inicial.

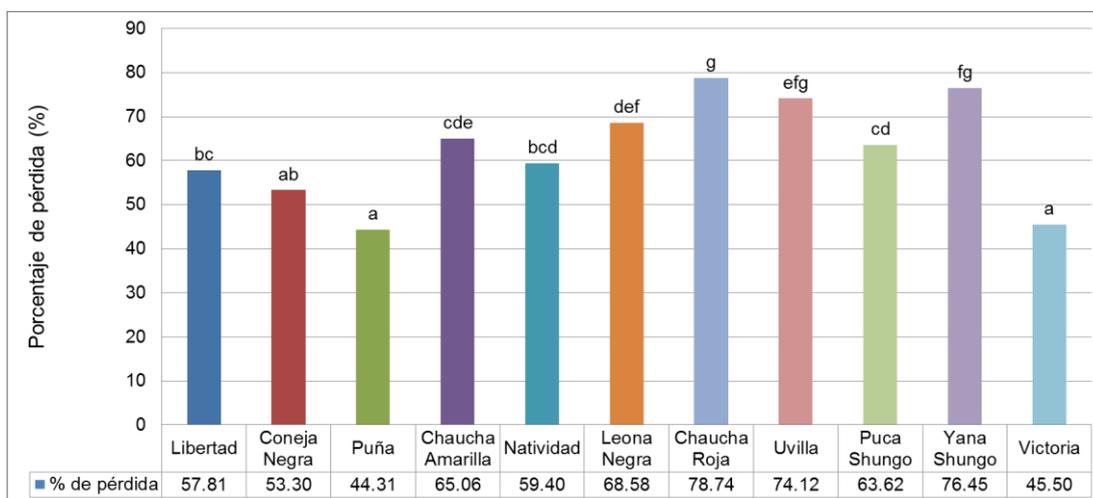


Figura 15. Porcentaje de pérdida de la concentración de ácido ascórbico de los cultivares de papa por efecto del proceso de cocción.

Al presentar diferencias significativas sobre el porcentaje de pérdida, la prueba de Tukey al 5% determinó que las variedades que presentaron una menor pérdida de vitamina C luego del proceso de cocción fueron Puña y Victoria con el 44.31 y 45.50%. Las variedades con el mayor porcentaje de pérdida fueron Chaucha roja con el 78.74% y Yana shungo con el 76.45%.

4.2.3.4. Hierro

La concentración de hierro presente en las papas crudas se vio afectada luego de que estas fueron sometidas al proceso de cocción.

La figura 16 indica que las muestras de papa cocinadas fueron estadísticamente diferentes en cuanto a la pérdida de la concentración de hierro. El cultivar Natividad presentó una disminución del 51.04% del contenido inicial de hierro mientras que las variedades Uvilla y Coneja negra alcanzaron los valores más altos en cuanto a la pérdida de la concentración

inicial de hierro al presentar una disminución del 76.78 y 75.40% respectivamente.

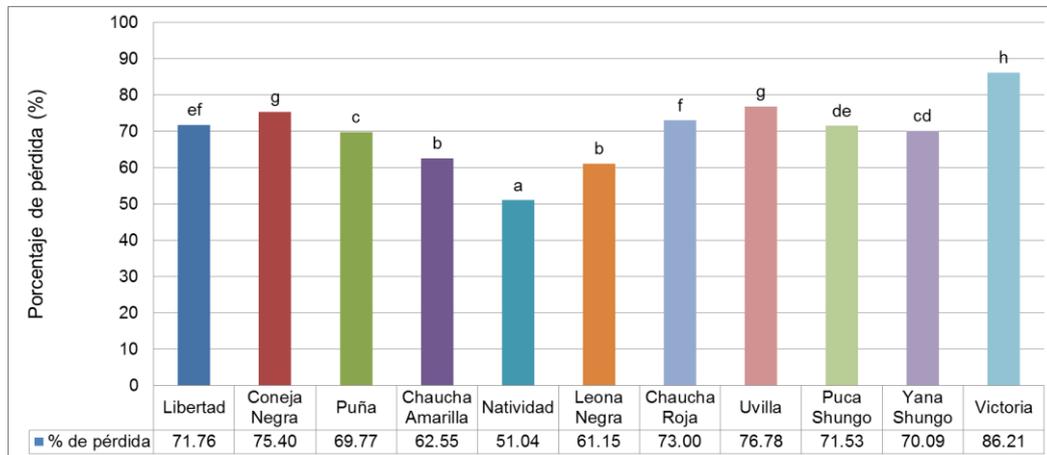


Figura 16. Porcentaje de pérdida de la concentración de hierro de los cultivares de papa por efecto del proceso de cocción.

4.2.3.5. Zinc

Al aplicar el proceso de cocción, los cultivares de papa presentaron una disminución notable de la concentración inicial de zinc tal como se puede apreciar en la figura 17.

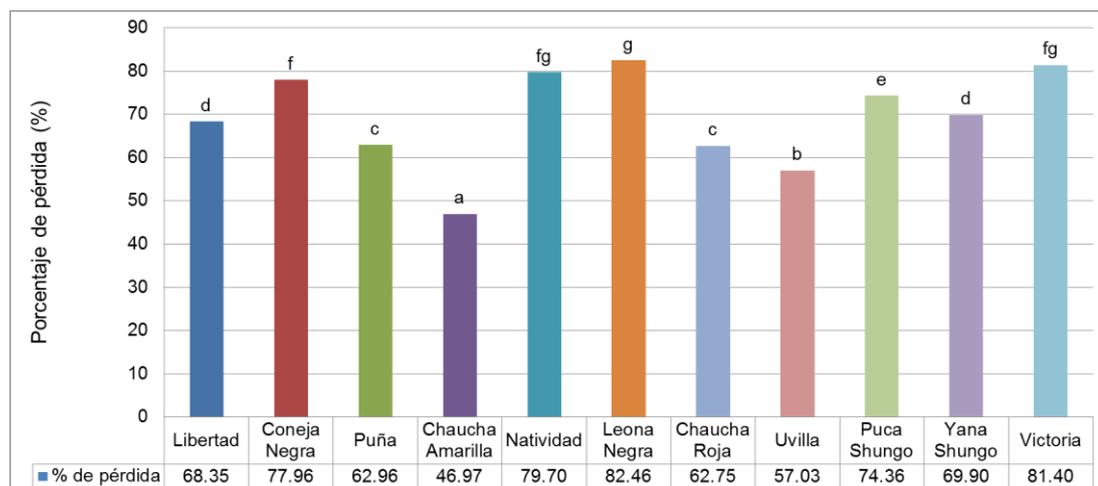


Figura 17. Porcentaje de pérdida de la concentración de zinc de los cultivares de papa por efecto del proceso de cocción.

Las muestras de papa cocinadas presentaron diferencias significativas sobre la pérdida del contenido de zinc. La prueba de Tukey al 5% determinó que la variedad Chaucha amarilla, presentó la menor disminución del contenido de zinc, siendo este del 46.97% mientras que las variedades Leona negra y Natividad, presentaron una disminución del 82.46 y 79.70% siendo estas las variedades con altos valores de pérdida.

4.3. EFECTO DE LA INTERACCIÓN VARIEDAD Y PROCESO SOBRE EL CONTENIDO DE LOS COMPUESTOS ANALIZADOS

En general se observa una disminución de la concentración de los compuestos analizados en los cultivares procesados con relación a las crudas, a continuación se detalla el análisis de la interacción variedad y proceso para cada compuesto estudiado.

4.3.1. POLIFENOLES

La aplicación de los procesos convencionales de cocción sobre los cultivares de papa estudiados disminuyen el contenido inicial de los compuestos fenólicos presentes en los cultivares en estado crudo. La tabla 8 presenta el contenido de polifenoles presentes en los cultivares de papa procesadas.

Tabla 8. Contenido total de los compuestos fenólicos en las variedades de papa procesadas.

| VARIEDAD | <i>Polifenoles (mg/100g)</i> | | |
|-------------------------|------------------------------|--------------|-----------------|
| | HORNEADO | FRITO | COCINADO |
| <i>Libertad</i> | 250.96 ± 3.4 | 242.41 ± 2.1 | 213.16 ± 4.3 |
| <i>Coneja negra</i> | 195.99 ± 2.5 | 235.69 ± 3.7 | 276.66 ± 3.5 |
| <i>Puña</i> | 163.12 ± 2.4 | 274.41 ± 2.9 | 202.18 ± 2.9 |
| <i>Chaucha amarilla</i> | 230.47 ± 3.0 | 230.71 ± 4.2 | 208.65 ± 3.0 |
| <i>Natividad</i> | 223.98 ± 4.1 | 229.98 ± 4.8 | 212.36 ± 4.1 |
| <i>Leona negra</i> | 226.43 ± 4.6 | 244.01 ± 4.1 | 184.72 ± 3.5 |
| <i>Chaucha roja</i> | 254.06 ± 1.8 | 244.42 ± 2.6 | 204.61 ± 2.7 |
| <i>Uvilla</i> | 241.40 ± 3.8 | 269.39 ± 3.8 | 180.90 ± 3.4 |
| <i>Pucashungo</i> | 437.65 ± 2.8 | 431.21 ± 2.8 | 366.39 ± 2.6 |
| <i>Yanashungo</i> | 407.26 ± 4.3 | 713.05 ± 4.7 | 407.74 ± 3.2 |
| <i>Victoria</i> | 203.04 ± 1.4 | 211.62 ± 3.6 | 167.63 ± 4.0 |

En general, la mayoría de los cultivares, la cocción fue el proceso que provocó la mayor pérdida de polifenoles totales seguido del horneado y por último la fritura, en la figura 18 se puede observar el porcentaje de pérdida de polifenoles para cada proceso en los cultivares analizados

El análisis de varianza multifactorial indicó que existen diferencias significativas en el porcentaje de pérdida de fenoles totales presentes en las variedades de papa procesadas, se estableció que la variedad Leona Negra sometida al proceso de fritura tuvo el menor porcentaje de pérdida, 21% seguido de la variedad Puca shungo la cual presentó una pérdida de 21 y 23% en estado horneado y frito, mientras que la variedad Uvilla sometida al proceso de cocción, tuvo una pérdida de 63% siendo esta la variedad con mayor pérdida de polifenoles.

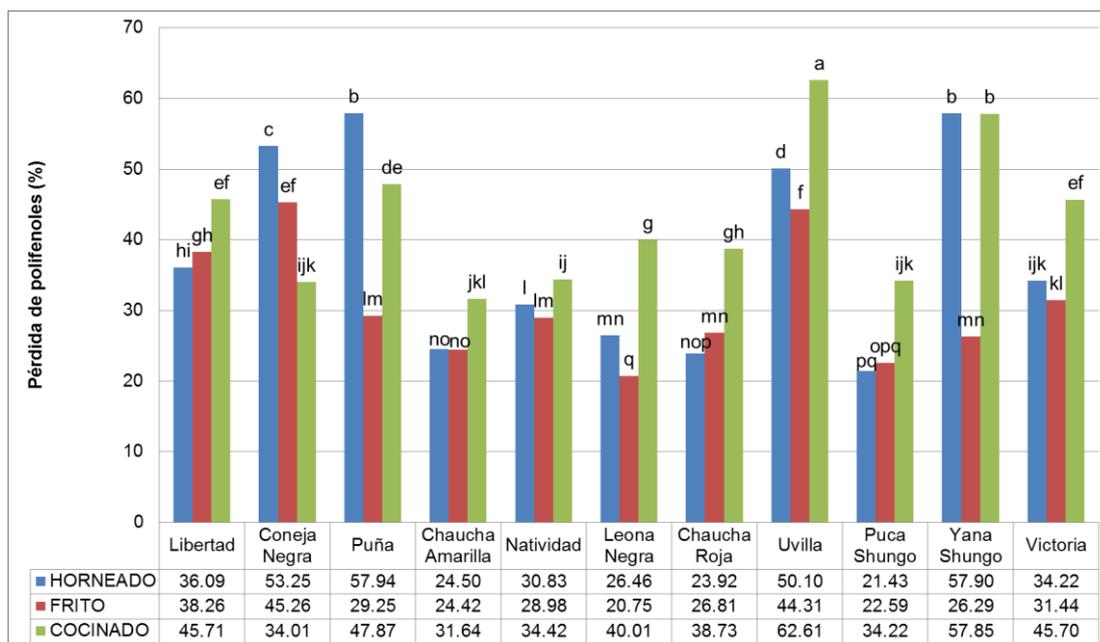


Figura 18. Porcentaje de pérdida de la concentración de polifenoles en la interacción proceso por variedad.

Estos resultados fueron similares a los publicados por Miglio *et al.* (2008) en donde determinó que las zanahorias pierden completamente sus polifenoles después de hervir, y en menor proporción al ser cocinadas al vapor y fritas debido a la unión covalente entre polifenoles y proteínas oxidasas o aminoácidos que pueden estar presentes en la matriz alimentaria del alimento.

Asimismo, la investigación de Rodríguez *et al.* (2014), evaluó cómo los procesos de cocción, preparación y horneado afectan el contenido de polifenoles presentes en los arándanos concluyendo que todos estos procesos disminuyen su contenido inicial, por ejemplo, los niveles de antocianinas tuvieron una disminución entre el 10 al 21%, luego de que los arándanos fueron cocinados y posteriormente horneados.

4.3.2. CAROTENOIDES

La concentración total de carotenoides presentes en los cultivares de papa sufrió una pérdida considerable luego de que estas fueron sometidas a los métodos de preparación. La tabla 9 presenta los resultados obtenidos para las papas horneadas, fritas y cocinadas.

Tabla 9. Contenido total de carotenoides presentes en las variedades de papa procesadas.

| VARIEDAD | Carotenoides (ug/100g) | | |
|-------------------------|------------------------|--------------|--------------|
| | HORNEADO | FRITO | COCINADO |
| <i>Libertad</i> | 120.20 ± 1.2 | 94.60 ± 3.2 | 97.30 ± 1.8 |
| <i>Coneja negra</i> | 75.62 ± 3.5 | 120.04 ± 1.7 | 72.98 ± 3.7 |
| <i>Puña</i> | 120.97 ± 3.6 | 148.96 ± 2.5 | 100.80 ± 4.0 |
| <i>Chaucha amarilla</i> | 134.20 ± 2.4 | 164.02 ± 4.7 | 109.82 ± 3.8 |
| <i>Natividad</i> | 210.76 ± 5.6 | 87.21 ± 2.6 | 141.86 ± 2.3 |
| <i>Leona negra</i> | 78.15 ± 2.1 | 32.06 ± 3.4 | 131.38 ± 2.0 |
| <i>Chaucha roja</i> | 143.57 ± 1.3 | 94.39 ± 1.1 | 269.19 ± 2.7 |
| <i>Uvilla</i> | 260.71 ± 3.5 | 38.09 ± 4.0 | 127.53 ± 2.4 |
| <i>Pucashungo</i> | 193.51 ± 3.3 | 39.14 ± 2.8 | 307.91 ± 1.0 |
| <i>Yanashungo</i> | 322.76 ± 2.9 | 34.94 ± 4.1 | 148.81 ± 1.7 |
| <i>Victoria</i> | 218.73 ± 2.4 | 87.31 ± 2.0 | 264.03 ± 2.4 |

Los resultados mostraron que las papas al ser fritas, pierden casi en su totalidad la concentración de carotenoides con un rango de variación entre 83 a 98%, resultado no tan alejado para los procesos de cocción y horneado los cuales alcanzaron una pérdida que varía entre 69-95% y 70-94% respectivamente. La figura 19 muestra los porcentajes de pérdida de carotenoides que registraron las variedades de papa procesadas.

Las variedades Puca shungo y Victoria cocinadas presentaron la menor pérdida de carotenoides (69%) seguido de la variedad Uvilla la cual alcanzó un 70% de pérdida luego de ser horneada. Las variedades Yana shungo, Leona Negra, Puca shungo y Uvilla luego ser fritas presentaron casi una completa pérdida que varió entre el 96 al 98%.

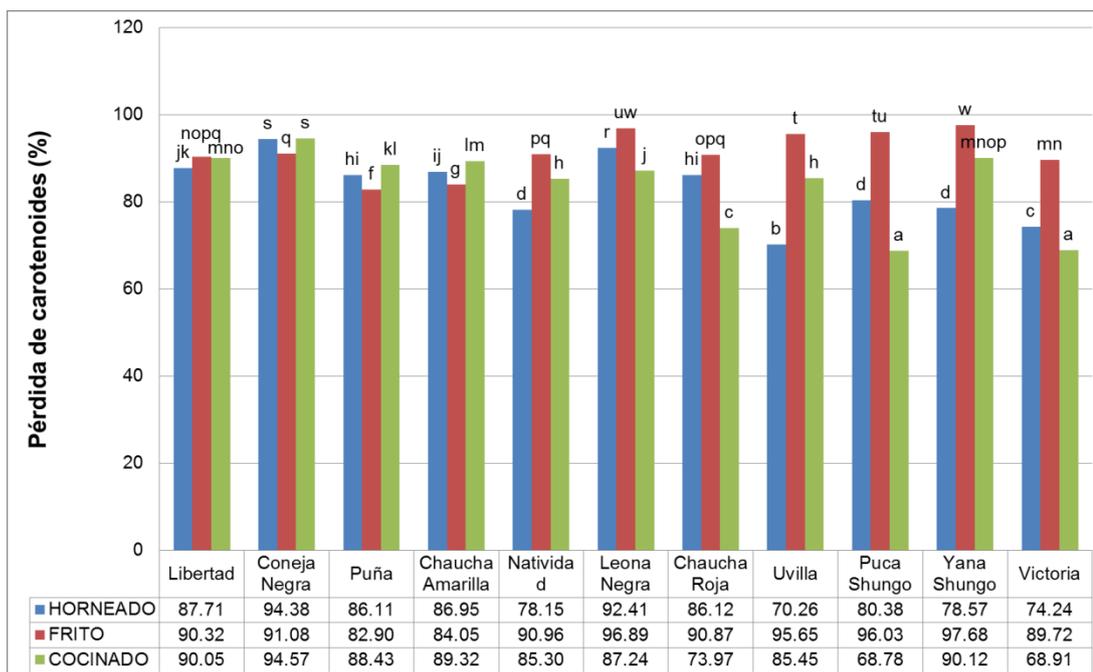


Figura 19. Porcentaje de pérdida de la concentración de carotenoides en la interacción proceso por variedad.

Resultados similares fueron obtenidos por Miglio *et al.* (2008) en zanahorias, calabazas y brócoli. En este estudio se determinó que las tres verduras cocinadas conservaron mejor los pigmentos orgánicos como α -caroteno, β -caroteno y luteína que la cocción al vapor y la fritura. Miglio y sus investigadores explican que estas pérdidas pueden ser producto de la exposición prolongada a la luz y al oxígeno que están expuestos estos compuestos durante la cocción al vapor, asimismo explican que al freír se pierden carotenoides por una posible lixiviación en el aceite y por el uso de una temperatura de procesamiento más alta. Guerrero (2013) obtuvo resultados similares con la presente investigación para el proceso de horneado, ya que las papas luego de ser horneadas alcanzaron una pérdida de carotenoides de hasta el 88%, posiblemente por efecto de las altas temperaturas utilizadas durante el horneado.

4.3.3. ÁCIDO ASCÓRBICO

Por aplicación de los tratamientos térmicos, el ácido ascórbico tuvo una disminución notoria de su concentración inicial. La tabla 10 indica el contenido de ácido ascórbico retenido en los tubérculos luego de los procesos aplicados.

Tabla 10. Contenido total de ácido ascórbico presentes en las variedades de papa procesadas.

| VARIEDAD | Ácido ascórbico (mg/100g) | | |
|-------------------------|---------------------------|-------------|-------------|
| | HORNEADO | FRITO | COCINADO |
| <i>Libertad</i> | 47.33 ± 1.1 | 51.54 ± 1.2 | 61.38 ± 1.2 |
| <i>Coneja negra</i> | 34.50 ± 1.5 | 39.08 ± 1.8 | 37.94 ± 1.5 |
| <i>Puña</i> | 42.00 ± 0.9 | 46.43 ± 1.0 | 36.33 ± 1.1 |
| <i>Chaucha amarilla</i> | 49.67 ± 2.1 | 46.18 ± 0.8 | 34.05 ± 2.0 |
| <i>Natividad</i> | 82.00 ± 1.9 | 59.62 ± 1.6 | 39.81 ± 2.3 |
| <i>Leona negra</i> | 38.50 ± 1.6 | 41.17 ± 1.0 | 23.73 ± 1.6 |
| <i>Chaucha roja</i> | 59.33 ± 2.0 | 45.22 ± 2.1 | 24.59 ± 1.0 |
| <i>Uvilla</i> | 56.50 ± 1.0 | 50.23 ± 1.1 | 27.95 ± 1.5 |
| <i>Pucashungo</i> | 86.00 ± 1.7 | 57.14 ± 1.6 | 37.52 ± 0.9 |
| <i>Yanashungo</i> | 55.67 ± 0.9 | 54.80 ± 1.4 | 23.16 ± 1.0 |
| <i>Victoria</i> | 49.67 ± 1.8 | 44.88 ± 1.7 | 37.40 ± 1.4 |

Las variedades presentaron una disminución considerable del contenido de ácido ascórbico luego de ser sometidas a los diferentes métodos de preparación. Las papas cocinadas por inmersión en agua alcanzaron los mayores porcentajes de pérdida de vitamina C, con valores que fluctuaron entre el 44 al 78%, mientras que los procesos de fritura y horneado alcanzaron pérdidas que fluctuaron entre el 29 al 65% y entre 16 al 67%, respectivamente. La figura 20 muestra los porcentajes de pérdida de ácido ascórbico que obtuvo cada variedad de papa luego de ser procesadas.

Considerando el efecto de los procesos, tanto la fritura, el horneado y la cocción por inmersión alcanzaron pérdidas considerables de vitamina C

posiblemente debido a las altas temperaturas utilizadas en estos procesos ya que producen pérdidas de vitaminas termolábiles.

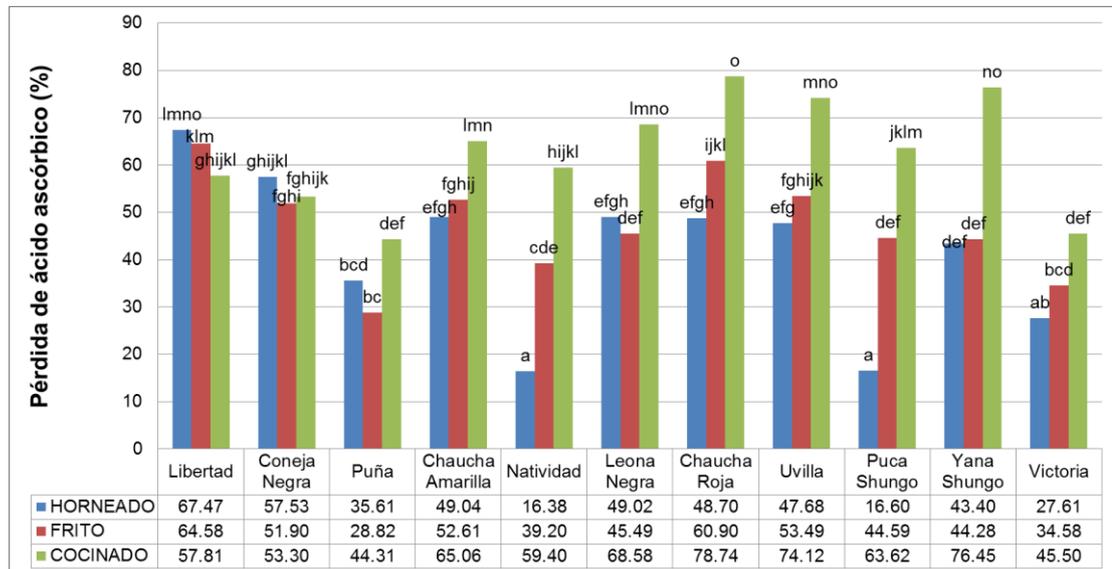


Figura 20. Porcentaje de pérdida de la concentración de ácido ascórbico en la interacción proceso por variedad.

Se observó una tendencia similar en el estudio de Zang & Hamauzu (2004) en donde se demostró que la vitamina C presente en brócoli se pierde en gran medida durante la cocción pues tuvo una disminución de hasta 34% en los brócolis cocidos y de 29.5% los brócolis sometidos a cocción por microondas. Pighín & Rossi (2010) también mencionan que la cantidad de ácido ascórbico presente en las espinacas frescas se reduce notablemente luego de ser cocinadas (81% de pérdida), mientras que las espinacas cocinadas por microonda apenas alcanzaron una pérdida del 26%, según dichos autores estos resultados son atribuibles principalmente a pérdidas por solubilidad en el agua utilizada para el caso de la cocción y por daños tisulares en el vegetal que favorece la extracción de ácido ascórbico durante la cocción por microonda. En cuanto al efecto de la fritura, Lencina et al. (2012) en su análisis de grasas y vitamina C en papas congeladas fritas, reportan porcentajes de pérdida en un rango de 35 a 25% en las papas fritas con aceite de girasol y entre 25 a 4,5 % para las papas fritas en aceite de

oliva debido al calor específico de cada aceite, pues existe una mayor destrucción de vitamina C a mayor tiempo de exposición a altas temperaturas.

4.3.4. MINERALES

Hornear, freír o cocinar los cultivares de papa provocó una pérdida del contenido de minerales presentes tales como hierro y zinc. La pérdida de la concentración inicial de estos minerales varió según la variedad, el proceso aplicado y la interacción de estos dos factores

4.3.4.1. Hierro

La Tabla 11 presenta los resultados de la concentración de hierro presente en las variedades de papa horneadas, fritas y cocinadas.

Tabla 11. Contenido total de hierro presente en las variedades de papa procesadas.

| VARIEDAD | <i>Hierro (mg/kg)</i> | | |
|-------------------------|-----------------------|--------------|-----------------|
| | HORNEADO | FRITO | COCINADO |
| <i>Libertad</i> | 20.50 ± 0.8 | 29.74 ± 0.3 | 24.00 ± 0.6 |
| <i>Coneja negra</i> | 49.00 ± 0.4 | 31.19 ± 0.2 | 31.00 ± 0.1 |
| <i>Puña</i> | 42.00 ± 0.5 | 30.93 ± 0.3 | 26.00 ± 0.4 |
| <i>Chaucha amarilla</i> | 24.40 ± 0.7 | 31.18 ± 0.2 | 28.00 ± 0.5 |
| <i>Natividad</i> | 42.00 ± 0.7 | 28.66 ± 0.4 | 33.00 ± 0.5 |
| <i>Leona negra</i> | 40.00 ± 0.5 | 44.14 ± 0.1 | 27.00 ± 0.4 |
| <i>Chaucha roja</i> | 31.00 ± 0.6 | 36.02 ± 0.3 | 51.00 ± 0.6 |
| <i>Uvilla</i> | 29.00 ± 0.7 | 36.26 ± 0.3 | 45.00 ± 0.6 |
| <i>Pucashungo</i> | 24.00 ± 0.6 | 24.07 ± 0.3 | 25.00 ± 0.3 |
| <i>Yanashungo</i> | 41.00 ± 0.5 | 34.75 ± 0.1 | 30.00 ± 0.4 |
| <i>Victoria</i> | 25.00 ± 0.6 | 23.47 ± 0.2 | 27.00 ± 0.5 |

Todos los métodos de preparación disminuyeron el contenido inicial de hierro de los cultivares de papa, sin embargo para la mayoría de las variedades, la cocción en agua, fue el proceso de mayor afectación con un

rango de variación del 51 al 86% de pérdida mientras que las variedades en estado frito y horneado presentaron una pérdida similar con valores que fluctuaron entre 37 al 88%. La figura 21 muestra los porcentajes de pérdida de hierro que obtuvo cada variedad de papa luego de ser procesada.

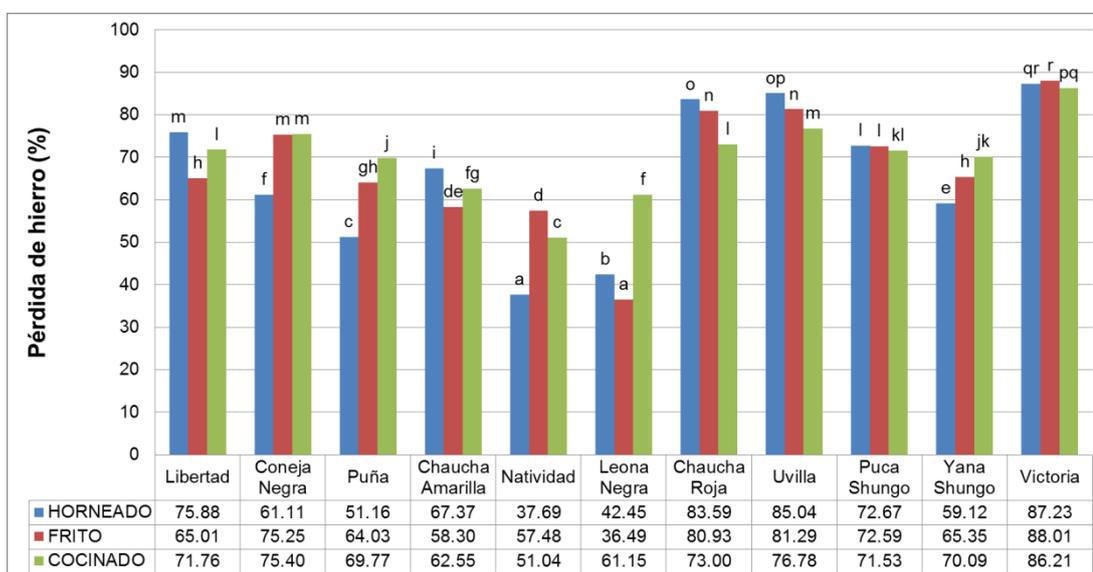


Figura 21. Porcentaje de pérdida de la concentración de hierro en la interacción proceso por variedad.

El porcentaje de pérdida de hierro varió significativamente por efecto de la variedad y el proceso aplicado. La variedad Victoria en estado frito, horneado y cocinado, presentó la mayor pérdida de hierro con porcentajes de 88, 87 y 86 %, mientras que la variedad Leona Negra presentó la menor pérdida tanto en estado frito como horneado, 36 y 42% resultado similar presentó la variedad Natividad horneada con una pérdida del 38%.

Resultados similares fueron obtenidos por Moncada &Gualdrón (2006) en papa, maduro y yuca. Los investigadores concluyeron que las mayores pérdidas de hierro alcanzaron las papas y las yucas peladas y cocinadas por inmersión debido principalmente a la migración de los minerales hacia el agua de cocción mientras que en los procesos de fritura y horneado presentaron una menor pérdida de hierro en los dos alimentos debido a la deshidratación por la temperatura elevada utilizada en ambos procesos.

Según Joshua *et al.* (2012), cocinar las verduras por más de 15 minutos disminuye el contenido de hierro debido a que a mayor tiempo de cocción, mayor son las pérdidas de minerales por lixiviación.

4.3.4.2. Zinc

Al aplicar los métodos de preparación sobre los cultivares de papa, estas presentaron una disminución notable de la concentración inicial de zinc, la tabla 12 presenta los resultados obtenidos en las variedades de papa horneadas, fritas y cocinadas.

Tabla 12. Contenido total de zinc presente en las variedades de papa procesadas.

| VARIEDAD | Zinc (mg/kg) | | |
|-------------------------|--------------|-------------|-------------|
| | HORNEADO | FRITO | COCINADO |
| <i>Libertad</i> | 11.00 ± 0.9 | 12.12 ± 0.4 | 10.00 ± 0.5 |
| <i>Coneja negra</i> | 12.00 ± 0.8 | 12.25 ± 0.2 | 8.00 ± 0.4 |
| <i>Puña</i> | 10.00 ± 0.9 | 11.73 ± 0.3 | 9.00 ± 0.3 |
| <i>Chaucha amarilla</i> | 14.00 ± 0.8 | 13.36 ± 0.3 | 14.00 ± 0.4 |
| <i>Natividad</i> | 8.00 ± 0.7 | 13.78 ± 0.2 | 11.00 ± 0.3 |
| <i>Leona negra</i> | 16.00 ± 0.9 | 14.53 ± 0.3 | 8.00 ± 0.3 |
| <i>Chaucha roja</i> | 9.00 ± 0.7 | 12.01 ± 0.2 | 13.00 ± 0.3 |
| <i>Uvilla</i> | 9.00 ± 0.6 | 12.27 ± 0.3 | 11.00 ± 0.4 |
| <i>Pucashungo</i> | 7.00 ± 0.6 | 10.08 ± 0.2 | 7.00 ± 0.4 |
| <i>Yanashungo</i> | 11.00 ± 0.7 | 17.1 ± 0.2 | 9.00 ± 0.5 |
| <i>Victoria</i> | 11.00 ± 0.9 | 9.82 ± 0.3 | 8.00 ± 0.2 |

La variedad Yana shungo en estado frito presentó el menor porcentaje de pérdida de zinc (43%) seguido de la variedad Chaucha Amarilla la cual alcanzó pérdidas en los tres procesos que variaron entre el 47 al 49%. Las variedades Victoria y Natividad alcanzaron pérdidas que variaron entre el 74 al 85% tanto en estado frito, horneado como cocinado. La figura 22 muestra los porcentajes de pérdida de zinc que obtuvo cada variedad de papa luego de ser procesadas.

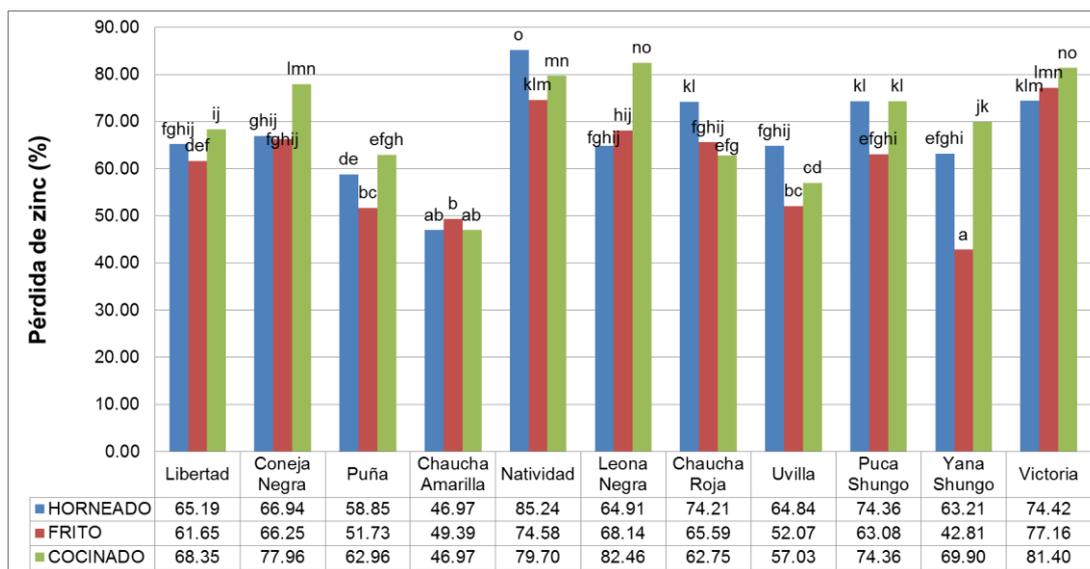


Figura 22. Porcentaje de pérdida de la concentración de zinc en la interacción proceso por variedad.

De los procesos aplicados el cocinado fue el tratamiento que provocó una mayor disminución de zinc para la mayoría de los cultivares con valores que fluctuaron entre el 57 al 82% de pérdida, sin embargo la fritura y el horneado alcanzaron valores similares con un rango de variación entre 43 a 77% de pérdida.

Un estudio realizado Suárez *et al.* (2004) evaluó el contenido de cenizas como indicador del contenido de minerales en papas sometidas a los procesos de fritura, cocción en agua y asado concluyendo que las papas cocidas en agua, mostraron las menores concentraciones de estos nutrientes lo que se asocia a pérdidas por lixiviación, mientras que las papas fritas y asadas retuvieron la mayor cantidad de cenizas debido a la deshidratación y pérdidas de almidón que se producen en la fritura y el asado, resultados similares fueron obtenidos en la mayoría de las variedades estudiadas en la presente investigación. Asimismo Kimura & Itokawa (1990) señala que las pérdidas de minerales de los vegetales son altas luego de someter a procesos de hervor y troceado seguido por el secado la fritura y el guisado.

Según Vásquez et al. (2005) el contenido de nutrientes de los alimentos puede alterarse por tres vías: la absorción de nutrientes desde el exterior (los alimentos fritos absorben parte de los nutrientes del aceite de fritura), la liberación de nutrientes del alimento hacia el exterior (lixiviación de minerales al agua de remojo y/o cocción) o la destrucción de los nutrientes (es el caso de la vitamina C o la A por exposición al oxígeno, por calor intenso o continuado).

4.4. DETERMINACIÓN DE LA BIODISPONIBILIDAD

Para determinar la biodisponibilidad de cada compuesto analizado, las muestras de papa en estado crudo y procesado fueron sometidas al proceso de digestión *in vitro* tal como está descrito en el capítulo anterior.

4.4.1. BIODISPONIBILIDAD DE POLIFENOLES

La tabla 13 presenta los resultados de la biodisponibilidad *in vitro* de polifenoles de las variedades de papa en estado crudo y sometidas a diversos métodos de cocción.

Tabla 13. Biodisponibilidad *in vitro* de compuestos fenólicos de las variedades de papa procesadas y no procesadas.

| VARIEDAD | <i>Polifenoles biodisponibles (%)</i> | | | |
|-------------------------|---------------------------------------|------------|------------|------------|
| | CRUDO | HORNEADO | FRITO | COCINADO |
| <i>Libertad</i> | 37.2 ± 0.6 | 28.7 ± 1.3 | 12.3 ± 0.5 | 26.4 ± 1.0 |
| <i>Coneja negra</i> | 38.3 ± 0.3 | 20.1 ± 1.1 | 8.1 ± 0.9 | 23.4 ± 0.6 |
| <i>Puña</i> | 38.2 ± 0.7 | 17.2 ± 1.5 | 11.3 ± 0.5 | 25.1 ± 0.7 |
| <i>Chaucha amarilla</i> | 33.9 ± 0.5 | 19.9 ± 0.8 | 14.0 ± 1.0 | 26.9 ± 1.3 |
| <i>Natividad</i> | 37.4 ± 0.7 | 24.7 ± 0.4 | 15.5 ± 0.3 | 33.9 ± 1.5 |
| <i>Leona negra</i> | 36.1 ± 1.4 | 20.3 ± 1.4 | 8.1 ± 0.7 | 24.1 ± 1.3 |
| <i>Chaucha roja</i> | 27.7 ± 0.8 | 18.3 ± 1.1 | 6.7 ± 1.3 | 22.0 ± 1.4 |
| <i>Uvilla</i> | 45.0 ± 0.3 | 24.4 ± 1.1 | 19.3 ± 0.7 | 20.9 ± 0.9 |
| <i>Puca shungo</i> | 36.0 ± 0.5 | 17.4 ± 0.4 | 16.7 ± 0.3 | 30.6 ± 0.8 |
| <i>Yana shungo</i> | 48.5 ± 0.3 | 16.9 ± 0.5 | 14.1 ± 0.4 | 22.3 ± 0.3 |
| <i>Victoria</i> | 44.9 ± 0.4 | 20.1 ± 0.1 | 13.3 ± 1.3 | 31.9 ± 0.9 |

La figura 23 indica que el contenido de polifenoles biodisponibles varía significativamente por efecto de la variedad, el proceso aplicado y por la interacción de ambos factores.

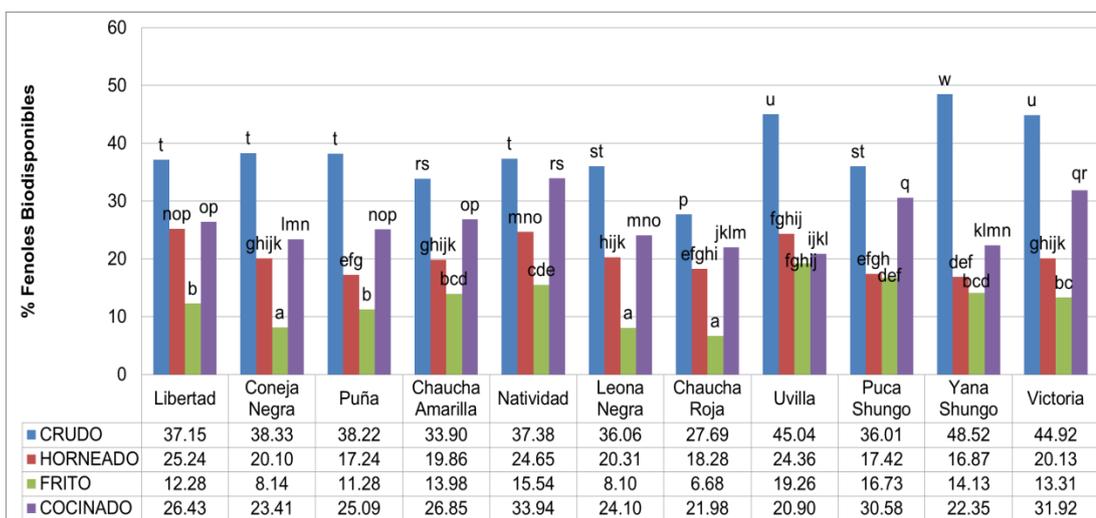


Figura 23. Efecto del proceso sobre la biodisponibilidad de polifenoles presentes en diferentes cultivares de papa.

Los diferentes procesos aplicados a las papas, afectan la biodisponibilidad de los compuestos fenólicos, en mayor grado el proceso de fritura y en menor proporción el proceso de cocción. Los cultivares en estado crudo presentaron el mayor contenido de fenoles biodisponibles variando así entre el 28 al 49% mientras que en los procesos el rango de variación fue entre el 7 al 34%. Por ejemplo, la variedad Yana shungo en estado crudo presentó un 48.52% de fenoles biodisponibles reduciéndose al 16.87% en la papa horneada, 14.13% frita y 22.35% en la papa cocinada.

La biodisponibilidad de los compuestos fenólicos fue alta en las papas en estado crudo las cuales retuvieron el mayor contenido de polifenoles totales, resultado que puede ser respaldado por el estudio realizado por Silberberg *et al.* (2006) en donde explica que una cantidad mayoritaria de compuestos fenólicos presentes en la dieta, puede mejorar su biodisponibilidad debido a la saturación de sus conjugados.

El porcentaje de biodisponibilidad de los compuestos fenólicos disminuyó en las papas procesadas, resultado provocado por posibles interacciones entre los polifenoles y algunos componentes presentes en la matriz del alimento tales como los polisacáridos presentes en la papa como el almidón (Parada & Aguilera, 2007).

El proceso que afectó en mayor grado la biodisponibilidad de compuestos fenólicos fue la fritura, con un promedio de 12%, este resultado diverge con el estudio de Lesser *et al.* (2006) en donde explica que la adición de grasa en la dieta, incrementa la biodisponibilidad de un tipo de polifenol (quercetina) hasta un 38%.

Según Manach *et al.* (2005), la biodisponibilidad varía según el tipo de polifenol ya que tienen diferentes formas y pesos moleculares, para su absorción estas sustancias deben ser hidrolizadas tanto por enzimas intestinales como por la flora bacteriana del colon, de lo contrario, estas características particulares pueden limitar su absorción. Durante el ensayo *in vitro* postulado en la presente investigación, algunos compuestos fenólicos

de gran peso molecular pudieron no ser lo suficientemente hidrolizados por las enzimas utilizadas (enzimas intestinales) lo que dificultó el paso a través de la membrana celular utilizada. El estudio de Déprez *et al.* (2001), mostró un experimento *in vitro* utilizando capas individuales de células Caco-2 como un modelo de absorción en el intestino delgado, llegando a la conclusión de que sólo los dímeros y trímeros de flavanoles son capaces de cruzar el epitelio intestinal.

4.4.2. BIODISPONIBILIDAD DE CAROTENOIDES

Al igual que en los polifenoles, la biodisponibilidad de los carotenoides cambió según la variedad, el proceso aplicado y la interacción de estos dos factores. En la tabla 14 se puede apreciar el porcentaje de biodisponibilidad obtenido para cada proceso y variedad.

Tabla 14. Biodisponibilidad *in vitro* de carotenoides presentes en las variedades de papa procesadas y no procesadas.

| VARIEDAD | <i>Carotenoides biodisponibles (%)</i> | | | |
|-------------------------|--|------------|------------|------------|
| | CRUDO | HORNEADO | FRITO | COCINADO |
| <i>Libertad</i> | 18.5 ± 0.1 | 6.3 ± 1.0 | 41.0 ± 3.4 | 19.6 ± 1.9 |
| <i>Coneja negra</i> | 33.7 ± 0.1 | 4.6 ± 1.9 | 62.1 ± 2.1 | 28.2 ± 3.2 |
| <i>Puña</i> | 36.3 ± 0.2 | 21.3 ± 1.9 | 80.5 ± 2.1 | 35.1 ± 1.4 |
| <i>Chaucha amarilla</i> | 24.7 ± 0.3 | 13.1 ± 0.8 | 83.4 ± 1.7 | 33.9 ± 1.5 |
| <i>Natividad</i> | 15.4 ± 0.3 | 16.3 ± 0.5 | 53.5 ± 3.0 | 27.4 ± 1.2 |
| <i>Leona negra</i> | 22.1 ± 0.3 | 10.3 ± 3.0 | 52.5 ± 3.0 | 23.8 ± 1.2 |
| <i>Chaucha roja</i> | 27.5 ± 0.2 | 19.4 ± 1.9 | 62.7 ± 3.2 | 35.7 ± 0.9 |
| <i>Uvilla</i> | 23.9 ± 0.1 | 14.2 ± 0.7 | 40.7 ± 3.0 | 32.1 ± 1.8 |
| <i>Pucashungo</i> | 16.6 ± 0.1 | 5.4 ± 1.2 | 46.1 ± 3.8 | 34.3 ± 0.7 |
| <i>Yanashungo</i> | 25.0 ± 0.1 | 12.1 ± 0.5 | 48.7 ± 3.2 | 28.0 ± 1.8 |
| <i>Victoria</i> | 13.2 ± 0.2 | 19.4 ± 1.4 | 56.2 ± 2.4 | 25.7 ± 0.6 |

En la figura 24 se puede apreciar que los cultivares en estado frito presentaron el mayor porcentaje de carotenoides biodisponibles, con un rango de variación 40-83%, mientras que el proceso que afectó en mayor grado la biodisponibilidad, fue el horneado con un rango de variación entre 5 a 21 %.

Tanto las variedades en estado crudo como las cocinadas presentaron una biodisponibilidad similar con valores que fluctuaron entre 13 al 33%. Las variedades Puña y Chaucha Amarilla horneadas, fritas y cocidas presentaron una mayor biodisponibilidad de carotenoides totales, mientras que las variedades Puca shungo y Yana shungo mostraron valores menores. Los cultivares de papa en estado crudo presentaron en promedio 23% de carotenoides biodisponibles, este valor se incrementó a 29% por efecto de la cocción y alcanzó un máximo de 57% en las papas fritas.

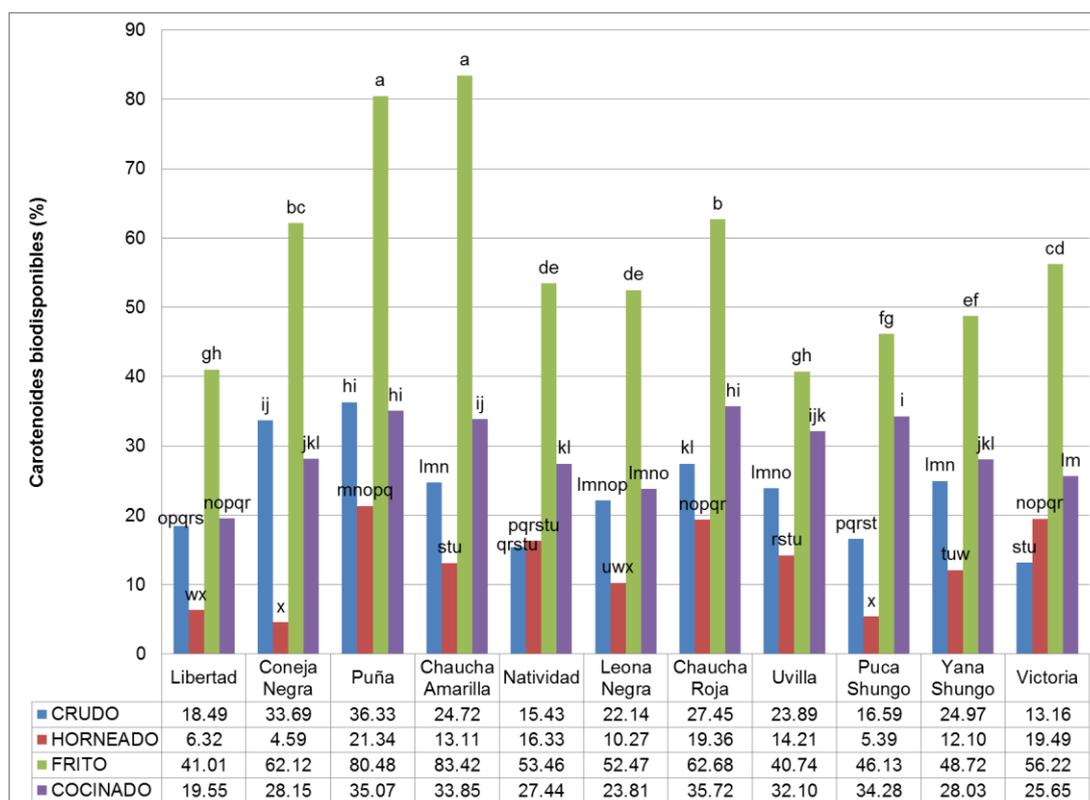


Figura 24. Efecto del proceso sobre la biodisponibilidad de carotenoides presentes en diferentes cultivares de papa.

Resultados similares fueron obtenidos por Hedrén & Svanberg (2002) con zanahoria amarilla. En este caso, determinaron un 21 % de accesibilidad de los carotenoides totales en la hortaliza cruda y homogenizada; cuando la zanahoria fue troceada, la bioaccesibilidad descendió a 3 %. Cuando los investigadores aplicaron un proceso de cocción la biodisponibilidad se elevó a 27 % y con la adición de aceite, durante este proceso la biodisponibilidad alcanzó un máximo de 39 %.

Lemmens et al. (2009), también mencionan que la biodisponibilidad de β -caroteno presente en las zanahorias y trans-licopeno presente en los tomates aumenta cuando se somete a procesos térmicos moderados como la cocción, efecto atribuible al ablandamiento de la estructura de las paredes celulares, permitiendo una mayor liberación de carotenoides. Estos autores recalcan que la adición de aceite incrementa significativamente la absorción de ambos carotenoides. Corraud *et al.* (2013) demostró que la cocción moderada de espinaca, mejora la biodisponibilidad de los carotenoides pero afecta su contenido total.

Considerando el efecto de los procesos, el menor porcentaje de biodisponibilidad, se obtuvo en los cultivares de papa horneadas, alcanzando un promedio de 13%, posiblemente debido a la formación de subproductos que reducen la absorción de compuestos bioactivos deseables (Parada & Aguilera, 2007).

4.4.3. BIODISPONIBILIDAD DE ÁCIDO ASCÓRBICO

Los cultivares de papa a pesar de haber sufrido una importante pérdida de ácido ascórbico luego de ser sometidos a diversos métodos de cocción, fue el compuesto con mayor porcentaje de biodisponibilidad en todos los procesos. Los resultados pueden apreciarse en la tabla 15.

Tabla 15. Porcentaje de biodisponibilidad *in vitro* de ácido ascórbico presente en las variedades de papa procesadas y no procesadas.

| VARIEDAD | Ácido ascórbico biodisponible (%) | | | |
|-------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|
| | CRUDO | HORNEADO | FRITO | COCINADO |
| <i>Libertad</i> | 97.5 ^a ± 0.8 | 81.9 ^{defghijklm} ± 2.4 | 86.9 ^{abcdeghij} ± 2.4 | 76.0 ^{klmn} ± 1.7 |
| <i>Coneja negra</i> | 92.2 ^{abcd} ± 3.7 | 88.1 ^{abcde} ± 2.9 | 79.2 ^{efghijklmn} ± 3.9 | 72.6 ^{mn} ± 2.9 |
| <i>Puña</i> | 87.9 ^{abcde} ± 2.5 | 72.3 ^{mn} ± 3.9 | 76.9 ^{hijklmn} ± 4.6 | 75.4 ^{mn} ± 3.2 |
| <i>Chaucha amarilla</i> | 89.4 ^{abcde} ± 1.4 | 88.3 ^{abcde} ± 3.2 | 84.2 ^{bcdeghijkl} ± 2.9 | 60.8 ^{op} ± 3.6 |
| <i>Natividad</i> | 90.9 ^{abcd} ± 2.5 | 87.3 ^{abcde} ± 2.1 | 88.5 ^{abcde} ± 4.7 | 59.1 ^p ± 2.8 |
| <i>Leona negra</i> | 91.5 ^{abcd} ± 3.3 | 72.5 ^{mn} ± 3.7 | 72.6 ^{mn} ± 3.5 | 74.3 ^{lmn} ± 3.2 |
| <i>Chaucha roja</i> | 89.3 ^{abcde} ± 1.3 | 89.5 ^{abcde} ± 4.7 | 82.6 ^{bcdeghijklm} ± 4.0 | 79.0 ^{fghijklmn} ± 3.3 |
| <i>Uvilla</i> | 93.5 ^{ab} ± 1.5 | 77.4 ^{ghijklmn} ± 2.8 | 84.6 ^{bcdeghijkl} ± 3.5 | 57.3 ^p ± 3.3 |
| <i>Puca shungo</i> | 93.1 ^{abc} ± 2.5 | 88.7 ^{abcde} ± 3.2 | 85.9 ^{bcdeghijk} ± 4.6 | 70.2 ^{no} ± 2.8 |
| <i>Yana shungo</i> | 88.6 ^{abcde} ± 3.3 | 86.2 ^{bcdeghijk} ± 3.9 | 75.7 ^{klmn} ± 3.1 | 70.9 ^{no} ± 4.1 |
| <i>Victoria</i> | 86.3 ^{bcdeghijk} ± 3.1 | 87.5 ^{abcde} ± 4.8 | 76.4 ^{ijklmn} ± 3.9 | 78.2 ^{fghijklmn} ± 2.7 |

*Letras diferentes en cada columna representan diferencia significativa para Tukey (5%)

La cocción en agua, fue el proceso de mayor afectación en la biodisponibilidad, obteniendo un promedio de 70% posiblemente por la disminución de su cantidad Castillo & Miranda (2009), mientras que los cultivares de papa en estado crudo, horneado y frito presentaron promedios de 90, 84 y 81%, respectivamente.

La biodisponibilidad del ácido ascórbico varió significativamente por efecto de la variedad de papa y el proceso aplicado. Las variedades Libertad, Uvilla, Puca shungo, Coneja Negra, Leona Negra y Natividad en estado crudo, presentaron valores que fluctuaron entre 89 a 98 %, mientras que para las variedades Uvilla, Natividad y Chaucha Amarilla, en estado cocido, la biodisponibilidad disminuyó a valores que variaron entre 57 a 79 %.

A pesar de la termolabilidad de este nutriente, cuando la papa se somete a diferentes procesos térmicos, se determinó que este compuesto es el más biodisponible tanto en los tubérculos crudos como procesados. Según Salas (2008) la vitamina C tiene una tasa de absorción elevada, aproximadamente del 85% cuando ocurre en el intestino delgado a través de un transporte activo.

4.4.4. BIODISPONIBILIDAD DE MINERALES

Los diferentes procesos aplicados incrementaron la biodisponibilidad de hierro y zinc de los cultivares de papa en estado crudo, a continuación se detalla los resultados obtenidos para cada mineral.

4.4.4.1. Biodisponibilidad de Hierro

Los cultivares de papa en estado crudo presentaron el menor porcentaje de biodisponibilidad, con un promedio de 5% mientras que el proceso de cocción aumentó la biodisponibilidad del mineral hasta un promedio de 11%, los procesos de horneado y fritura alcanzaron un porcentaje de hierro biodisponible similar, con promedios de 8% aproximadamente. La tabla 16 muestra el porcentaje de hierro biodisponible de cada variedad sometido a los diferentes métodos de cocción.

Tabla 16. Porcentaje de biodisponibilidad *in vitro* de hierro presente en las variedades de papa procesadas y no procesadas.

| VARIEDAD | Hierro biodisponible (%) | | | |
|-------------------------|------------------------------|---|------------------------------|------------------------------|
| | CRUDO | HORNEADO | FRITO | COCINADO |
| <i>Libertad</i> | 5.3 ^{efghijk} ± 1.0 | 16.8 ^b ± 3.0 | 6.5 ^{efghijk} ± 1.2 | 6.7 ^{efghijk} ± 2.6 |
| <i>Coneja negra</i> | 3.2 ^{ijk} ± 0.5 | 6.5 ^e ^{efghijk} ± 0.9 | 7.3 ^{efghijk} ± 1.4 | 7.2 ^{efghijk} ± 1.4 |
| <i>Puña</i> | 4.3 ^{ghijk} ± 0.9 | 5.2 ^{efghijk} ± 0.9 | 6.2 ^{efghijk} ± 1.8 | 8.5 ^{defghi} ± 1.9 |
| <i>Chaucha amarilla</i> | 3.8 ^{hijk} ± 1.0 | 8.1 ^{defghij} ± 2.0 | 8.2 ^{defghij} ± 1.7 | 14.1 ^{bc} ± 1.8 |
| <i>Natividad</i> | 4.3 ^{ghijk} ± 0.8 | 4.9 ^{efghijk} ± 1.2 | 9.6 ^{cdefg} ± 2.2 | 7.4 ^{efghijk} ± 1.7 |
| <i>Leona negra</i> | 9.5 ^{cdefg} ± 1.3 | 9.9 ^{cdef} ± 1.4 | 5.5 ^{efghijk} ± 1.4 | 9.2 ^{cdefgh} ± 1.6 |
| <i>Chaucha roja</i> | 3.1 ^{jk} ± 0.4 | 9.5 ^{cdefg} ± 1.3 | 6.6 ^{efghijk} ± 1.9 | 6.4 ^{efghijk} ± 0.7 |
| <i>Uvilla</i> | 3.3 ^{ijk} ± 0.3 | 6.7 ^{efghijk} ± 2.5 | 5.9 ^{efghijk} ± 1.4 | 8.5 ^{defghij} ± 1.0 |
| <i>Puca shungo</i> | 7.3 ^{efghijk} ± 1.1 | 6.9 ^{efghijk} ± 1.5 | 11.2 ^{cde} ± 1.6 | 17.5 ^{ab} ± 2.9 |
| <i>Yana shungo</i> | 3.9 ^{hijk} ± 0.8 | 4.2 ^{ghijk} ± 1.4 | 5.3 ^{efghijk} ± 1.3 | 14.6 ^{bc} ± 2.3 |
| <i>Victoria</i> | 2.2 ^k ± 0.3 | 9.8 ^{cdef} ± 2.3 | 13.4 ^{bcd} ± 2.1 | 22.7 ^a ± 2.7 |

*Letras diferentes en cada columna representan diferencia significativa para Tukey (5%)

La variedad Puña presentó un porcentaje de hierro disponible similar tanto procesada como en estado crudo mientras que la mayoría de las variedades comparten grupos homogéneos en al menos dos procesos con excepción de los cultivares Victoria y Puca shungo cuyos resultados son diferentes para cada proceso. Los resultados obtenidos del cultivar Victoria variaron en gran medida según el proceso aplicado, alcanzando así el mayor porcentaje de hierro biodisponible en la cocción por inmersión (22%) y el menor en la papa cruda (2%) mientras que en los procesos de horneado y fritura, obtuvo un porcentaje del 10 y 13%, respectivamente.

Un estudio comparativo demostró que la cocción tradicional puede aumentar el porcentaje de hierro biodisponible en ciertas legumbres tales como las alubias, estas presentaron una accesibilidad de 1.66% de hierro en estado crudo incrementando hasta un 29.37% de hierro biodisponible cuando la alubia fue cocida en agua (Viadel, 2002).

De acuerdo a Monsen (1988), la disponibilidad de hierro no hemínico presente en 25 dietas alimentarias comunes de Estados Unidos, varía del 2 al 20%, se observó una tendencia similar en el estudio de Reddy *et al.*

(2000) quienes reportaron valores de hierro no hemo biodisponible entre 1.2 y 19.7%. Asimismo, los datos reportados en este estudio señalaron que el hierro dializable varió de 4.20 a 22.73% en las papas procesadas y de 2.2 a 9.5% en papas en estado crudo.

La absorción de hierro puede ser aumentada o inhibida por compuestos que están presentes en la matriz del alimento. Según González et al. (2005), la presencia de polifenoles puede reducir la biodisponibilidad de hierro debido a la formación de complejos insolubles de compleja asimilación, en el presente estudio, las papas crudas alcanzaron una concentración alta de polifenoles y el mayor porcentaje de polifenoles biodisponibles (45%) las mismas cuyo porcentaje de hierro dializable fue baja (5%), es decir, la absorción de hierro se vio afectada por la presencia de altos niveles de compuestos fenólicos. Asimismo Gaitán *et al.* (2006) menciona que el ácido ascórbico es un estimulador de la absorción de hierro, tal hipótesis no resultó en las papas cocinadas por inmersión, las cuales alcanzaron la mayor pérdida de ácido ascórbico (62%) pero su hierro dializable fue el más alto (11%), resultado posible por el ablandamiento de las paredes celulares que causa el proceso de cocción, ya que contribuye a la liberación de micronutrientes de menor peso molecular tales como el hierro, por lo que pudo contribuir a una mejor absorción de dicho micronutriente.

4.4.4.2. Biodisponibilidad de Zinc

Al igual que el hierro, las papas crudas presentaron el menor porcentaje de zinc biodisponible (12%) mientras que los procesos de cocción y horneado, alcanzaron porcentajes altos de biodisponibilidad con promedios de 29 y 27% respectivamente, en cuanto al proceso de fritura, este alcanzó un promedio de 19%. La tabla 17 presenta los resultados de biodisponibilidad in vitro de zinc de los diferentes cultivares de papa en estado crudo y procesadas.

Tabla 17. Porcentaje de biodisponibilidad *in vitro* de zinc presente en las variedades de papa procesadas y no procesadas.

| VARIEDAD | Zinc biodisponible (%) | | | |
|-------------------------|--------------------------------|------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| | CRUDO | HORNEADO | FRITO | COCINADO |
| <i>Libertad</i> | 9.8 ^{qrs} ± 2.3 | 41.5 ^{bc} ± 1.2 | 11.6 ^{opqrs} ± 3.1 | 18.7 ^{hijklmno} ± 2.0 |
| <i>Coneja negra</i> | 10.9 ^{pqrs} ± 1.7 | 25.8 ^{efgh} ± 1.0 | 18.7 ^{hijklmno} ± 1.8 | 7.2 ^{efghijk} ± 1.4 |
| <i>Puña</i> | 15.4 ^{klmnopqr} ± 3.3 | 41.8 ^{ab} ± 0.9 | 13.8 ^{lmnopqr} ± 2.2 | 24.4 ^{efghi} ± 1.4 |
| <i>Chaucha amarilla</i> | 9.9 ^{qrs} ± 2.9 | 24.4 ^{efghi} ± 0.9 | 21.0 ^{ghijkl} ± 3.2 | 28.3 ^{def} ± 1.2 |
| <i>Natividad</i> | 5.1 ^s ± 1.3 | 37.4 ^{bc} ± 1.1 | 20.6 ^{ghijkl} ± 3.3 | 21.1 ^{efghijk} ± 1.0 |
| <i>Leona negra</i> | 12.0 ^{mnpqrs} ± 1.3 | 23.6 ^{efghij} ± 0.7 | 19.2 ^{hijklm} ± 1.9 | 18.8 ^{hijklmn} ± 1.8 |
| <i>Chaucha roja</i> | 16.3 ^{klmnopq} ± 2.4 | 24.5 ^{efghi} ± 1.1 | 40.6 ^{bc} ± 2.6 | 18.0 ^{jklmnop} ± 1.0 |
| <i>Uvilla</i> | 14.3 ^{klmnopqr} ± 2.9 | 24.2 ^{efghi} ± 1.2 | 11.0 ^{pqrs} ± 2.3 | 34.5 ^{cd} ± 1.6 |
| <i>Puca shungo</i> | 16.5 ^{jklmnopq} ± 1.9 | 29.3 ^{de} ± 1.3 | 19.2 ^{hijklm} ± 4.2 | 41.8 ^{ab} ± 2.7 |
| <i>Yana shungo</i> | 14.8 ^{klmnopqr} ± 2.3 | 20.0 ^{ghijkl} ± 1.2 | 12.4 ^{mnpqrs} ± 3.3 | 34.7 ^{bcd} ± 2.1 |
| <i>Victoria</i> | 8.9 ^{rs} ± 1.2 | 11.9 ^{nopqrs} ± 1.2 | 15.8 ^{klmnopqr} ± 4.8 | 48.8 ^a ± 1.7 |

*Letras diferentes en cada columna representan diferencia significativa para Tukey (5%)

El contenido de zinc biodisponible varía significativamente por efecto del proceso y la variedad estudiada es así como las variedades Victoria y Puca shungo sometidas al proceso de cocción alcanzaron el mayor porcentaje de zinc dializable (49 y 42%), asimismo las variedades Puña y Libertad en el proceso de horneado (42%) y Chaucha Roja en la fritura (41%) mientras que las variedades Natividad, Victoria, Libertad, Chaucha Amarilla y Coneja Negra en estado crudo apenas alcanzaron una biodisponibilidad de zinc en un rango de 5 a 11%.

Los estudios de Paredes & Bolaños (2009) y López *et al.* (2010) afirman que la presencia de fitatos reduce la biodisponibilidad de zinc por ser un

poderoso quelante de minerales. Según Guerrero (2013), el contenido de fitatos presentes en las papas reduce significativamente luego de someterlas a procesos de pelado y a métodos de preparación como el horneado y la fritura, este estudio concluye que en las papas peladas y horneadas disminuye el contenido de ácido fítico en mayor proporción que en las papas peladas y fritas. Asimismo Poveda (2013), determinó que los procesos de pelado y cocción reducen el contenido de fitatos presentes en las papas, ya que la mayor parte de estos compuestos se concentran en la cáscara además, con el proceso térmico se logra una reducción del 67% de antinutricionales. Los resultados obtenidos en la presente investigación, ratifican que la presencia de fitatos influye en la absorción de zinc pues los procesos que alcanzaron una mayor biodisponibilidad de zinc fueron la cocción y el horneado los mismos que según Guerrero (2013) y Poveda (2013), ocasionan pérdidas altas del contenido de fitatos, de igual manera, los autores recalcan que la fritura retiene una mayor cantidad de fitatos por lo que su porcentaje de zinc biodisponible fue bajo, con respecto a las papas crudas, el contenido de fitatos y polifenoles es significativamente alto lo que podría haber sido la razón del porcentaje bajo de zinc biodisponible en las mismas.

Los estudios de biodisponibilidad *in vitro* a pesar de ser económicos y comunes para determinar la digestibilidad de los alimentos, no son tan precisos como los métodos de biodisponibilidad *in vivo*, la noción de la biodisponibilidad depende en gran medida de muchas variables fisiológicas tales como la absorción intestinal, el metabolismo intracelular y otros procesos bioquímicos llevados a cabo en el organismo los cuales actúan de manera diferente según el compuesto considerado, por lo que la correlación entre ambos métodos deben ser considerados para una mayor precisión del estudio.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

Se caracterizó químicamente las papas en estado crudo determinando que las concentraciones de los compuestos analizados variaron en un amplio rango dependiendo del genotipo (variedades) y del proceso aplicado (cocción, fritura y horneado). La variedad Yana shungo tuvo el mayor contenido de fenoles totales (967.38 mg/100g) y de carotenoides totales (1505.97 ug/100g), la papa Libertad presentó la concentración más alta de ácido ascórbico (145.99 mg/100g) mientras que las variedades Victoria y Uvilla de Hierro (195.8 y 193.8 ppm) y Natividad de Zinc (54.2 ppm). Su contenido se vio afectado luego de que las papas fueron sometidas a tratamientos térmicos caseros tales como el horneado, la fritura y la cocción por inmersión.

Las papas en estado crudo presentaron una pobre biodisponibilidad para la mayoría de los compuestos analizados ya que sus paredes celulares poco blandas limitaron la liberación y posterior absorción de tales compuestos, sin embargo los polifenoles fueron mejor biodisponibles en las papas crudas debido a la saturación del contenido polifenólico que tiene la matriz de la papa cruda.

Las papas procesadas presentaron una disminución considerable del contenido de fenoles totales siendo el proceso de cocción el de mayor afectación con pérdidas de hasta el 63%, seguido del horneado (58%) y por último la fritura (44%). En las papas crudas se registraron los mayores porcentajes de biodisponibilidad de compuestos fenólicos con valores entre 28 - 49%, valores que disminuyeron a 7 - 34% en las papas procesadas debido a las posibles interacciones entre los polifenoles y algunos componentes presentes en la matriz de la papa que pudieron obstruir la absorción de dichos compuestos.

La fritura produjo una pérdida casi total de la concentración de carotenoides con rangos de variación del 83 al 98% de pérdida, probablemente porque al tener una estructura química hidrofóbica, existieron pérdidas por lixiviación en el aceite y por la alta temperatura a la que se llevó este proceso (170-180°C), sin embargo los carotenoides fueron mayormente biodisponibles en las papas fritas ya que estos compuestos son solubles en grasa.

Por su estructura química, el ácido ascórbico es muy sensible, puede degradarse por oxidación, pH alcalino y temperaturas elevadas, por tal motivo, sus pérdidas fueron altas en los tres procesos aplicados ya que las elevadas temperaturas producen pérdidas de vitaminas termolábiles, consecuentemente en la cocción se registraron mayores pérdidas en la mayoría de las variedades con valores que fluctuaron entre el 44 al 78% porque en este proceso, además de influir la alta temperatura, también se tiene pérdidas por la hidrosolubilidad del compuesto. A pesar de su termolabilidad, la Vitamina C tuvo una tasa de disponibilidad elevada tanto en las papas crudas como en las procesadas. La cocción en agua, fue el proceso de mayor afectación en la biodisponibilidad, registrando un promedio de 70%.

Todos los métodos de preparación provocaron una disminución del contenido inicial de hierro y zinc, sin embargo para la mayoría de variedades, la cocción en agua fue el proceso de mayor afectación, con pérdidas de hasta el 86% para el caso del hierro y de hasta el 82% para el caso del zinc debido principalmente a una migración de los minerales hacia el agua de cocción. A pesar de estas pérdidas, el proceso de cocción aumentó la biodisponibilidad de ambos minerales de 9 a 22% para hierro y de 17 a 49% para el zinc posiblemente porque el ablandamiento de las paredes celulares que causa el proceso de cocción, contribuye a la liberación de micronutrientes de menor peso molecular tales como los minerales que están presentes en la matriz de la papa.

5.2. RECOMENDACIONES

Realizar investigaciones futuras referentes al efecto del procesamiento sobre la biodisponibilidad de estos cinco compuestos analizados en papas con cáscara ya que presentan mayores cantidades de tales compuestos y los preserva de mejor manera.

Determinar las condiciones óptimas de cada proceso (cocción, fritura y horneado) que ayuden a retener una mayor proporción de los compuestos analizados.

Verificar los valores obtenidos mediante un estudio *in vivo* que ayude a determinar con mayor precisión la biodisponibilidad de los compuestos analizados.

BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA

- Argyri, K., Birba, A., Miller, D., Komaitis, M., & Kapsokafalou, M. (2009). Predicting relative concentrations of bioavailable iron in foods using in vitro digestion: New developments. *Food Chemistry*, 602-607.
- Astiasarán, I., & Martínez, J. (2005). *Alimentos: Composición y Propiedades*. España: S.A. McGraw- Hill/ Interamericana DE España.
- Aura, A. (2005). *In vitro digestion models for dietary phenolic compounds*. Vtt Publications.
- Badui, D. (2006). *Química de Alimentos*. Zaragoza, España: Editorial Acribia.
- Badui, S. (2006). *Química de los Alimentos* (4ta edición ed.). México: Paerson.
- Begoña, A., Granado, F., & Inmaculada, B. (2001). *Carotenoides y Salud Humana*. Madrid, España: Fundación Española de Nutrición.
- Belitz, H., Grosch, W., & López, M. (1997). *Química de los Alimentos*. Editorial Acribia.
- Binaghi, M., L., L., P., R., & M., V. (2007). Evaluación de la influencia de distintos componentes de la dieta sobre la biodisponibilidad potencial de minerales en alimentos complementarios. *Revista chilena de nutrición Vol. 34*.
- Bornhorst, G., & Singh, R. (2014). Gastric Digestion In Vivo and In Vitro: How the Structural Aspects of Food Influence the Digestion Process. *Annual Review of Food Science and Technology*, 111-132.
- Brennan, J. (2013). *Manual del Procesado de Alimentos*. Acribia Editorial.
- Burgos, G. A. (2012). . Carotenoid concentrations of native Andean potatoes as affected by cooking. *Food Chemistry*, Vol 133(4), 1131-1137.
- Burgos, G., S., A., Amoros, W., Salas, E., & Bonierbale, M. (2009). Ascorbic acid concentration of native andean potato varieties as affected by environment, cooking and storage. *Journal of Food Composition and Analysis*, Vol (22), 533-538.
- Calabró, S., Carone, F., Cutrignelli, M., D'Urso, S., Piccolo, G., Tudisco, R., y otros. (2006). *The effect of haymaking on the neutral detergent soluble fraction of two intercropped forages cut at different growth stages*. Italy: Univerdad de Napoli "Feredico II".

- Cámara, F. (2004). *Biodisponibilidad mineral de menús escolares*. España: Universidad de Córdoba.
- Castillo, P., & Miranda, L. (2009). *Cinética de la degradación de la vitamina C en el jugo concentrado y congelado de maracuyá*. Campinas, Brasil: Universidad de Campinas.
- CIP. (2007). *Centro Internacional de la Papa: Laboratorio de Nutrición y Calidad*. Recuperado el 14 de Enero de 2014, de Hierro y Zinc: <https://research.cip.cgiar.org/confluence/display/CIPQNLesp/Hierro+y+Zinc>
- Colombatto, D. (2000). *Análisis de Alimentos: Aplicaciones prácticas*. Buenos Aires, Argentina: Universidad de Buenos Aires.
- Corraud, J., Berger, J., Cristol, J., & Avallone, S. (2013). Stability and bioaccessibility of different forms of carotenoids and vitamin A during in vitro digestion. *Food Chemistry*, Vol 136(2):87, 1-7.
- COVENIN. (1997). *Aceites Vegetales Comestibles. Norma General*.
- Crozier, A., Jaganath, I., & Clifford, M. (2009). Dietary phenolics: chemistry, bioavailability and effects of health . *Natural Products Report*, 965-1096.
- EUFIC. (Mayo de 2010). *European Food Information Council*. Recuperado el 06 de Marzo de 2014, de <http://www.eufic.org/article/es/nutricion/vitaminas-minerales-fitonutrientes/artid/biodisponibilidad-nutrientes-como-sacar-maximo-partido-alimentos/>
- FAO. (2006). *Estudio de la cadena de papa en Ecuador*. Recuperado el 5 de Octubre de 2013, de http://www.fao.org/fileadmin/templates/esa/LISFAME/Documents/Ecuador/cadena_papa.pdf
- FAO. (2008). *Año Internacional de la Papa: Usos de la Papa*.
- Gaitán, D., Olivares, M., Arredondo, M., & Pizarro, A. (2006). Biodisponibilidad de Hierro en Humanos. *Revista Chilena de Nutrición*, 142-148.
- García, C. (2008). *Técnicas de Cocción Saldables Aplicables a la Alimentación Mediterránea*. España: Universidad de Córdoba.

- Gil, A. (2010). *Trata de Nutrición: Composición y Calidad Nutritiva De Los Alimentos*. Médica Panamericana.
- González, R. (2005). Biodisponibilidad de Hierro. *Revista Costarricense de Salud Pública*, Vol 14, N°26.
- Guerrero, G. (2013). *Efecto del procesamiento en la disminución de compuestos antinutricionales en once cultivares de papa (Solanum Tuberosum)*. Ambato - Ecuador: Universidad Técnica de Ambato.
- Hedrén, E., & Svanberg, U. (2002). Estimation of carotenoid accessibility from carrots determined by an in vitro digestion method. *European Journal Clinical of Nutrition*, Vol. 56 (5) 25-30.
- Jin, S., Ou, B., Decker, E., & McClements, J. (2011). In vitro human digestion models for food applications. *Food Chemistry*, 1-12.
- Joshua, Z., Timothy, A., & Suleiman, M. (2012). The effect of cooking time on the vitamin C dietary fiber and mineral compositions of some local vegetables. *Science World Journal* , Vol.1, 20-30.
- Keijbets, H. (2009). *Procesamiento de la papa para el consumidor: Evolución y desafíos*. Recuperado el 5 de Octubre de 2013, Bitácora de la papa: <http://bitacoradelapapa.wordpress.com/2009/02/23/procesamiento-de-la-papa-para-el-consumidor-evolucion-y-desafios/>
- Kimura, M., & Itokawa, Y. (1990). Cooking losses of minerals in foods and its nutritional significance. *Journal of Nutritional science and vitaminology*, Vol.36, 25-32.
- Konrad, H., & Grimm, P. (2007). *Nutrición: texto y atlas*. Editorial Médica Panamericana.
- Lassa, S. (2008). *Evaluación de las Propiedades Físicas y Disponibilidad de Minerales de Expendidos Fortificados, Elaborados en Base a Maíz y Soja*. Santa Fe, Argentina: Universidad Nacional del Litoral.
- Latham, M. (2002). *Nutrición Humana en el Mundo de Desarrollo*. Nueva York, Estados Unidos: FAO: Alimentación y Nutrición N°29.
- Lemmens, L., Van Buggenhout, S., Oey, I., & Van Loey, A. H. (2009). Towards a better understanding of the relationship between the β -carotene in vitro bio-accessibility and pectin structural changes: a case study on carrots. *Food Res Int*, Vol. 42(9):132, 23-30.

- Lencina, M., Gomez, M., Costa, E., Ábalos, A., Frigola, A., & Estevés, M. (2012). Análisis de grasas y vitamina C en papas congeladas fritas en diferentes aceites . *Diaeta*, Vol. 30, 28-34.
- Lesser, S., Cermak, R., & Wolfram, S. (2006). The fatty acid pattern of dietary fat influences the oral bioavailability of the flavonol quercetin in pigs. *British Journal of Nutrition*, 1047-1052.
- López, D., Castillo, C., & Diazgranados, D. (2010). El Zinc en la Salud Humana. *Revista Chilena de Nutrición SciELO*, 234-239.
- MAGAP. (2012). *Informe Situacional de la Cadena de la Papa*. Recuperado el 5 de Octubre de 2013, de <http://servicios.agricultura.gob.ec/sinagap/phocadownloadpap/Comercializacion/Boletines/papa/Boletin%20Papa%202012.pdf>
- Manach, C., Williamson, G., Morand, C., Scalbert, A., & Rémésy, C. (2005). Bioavailability and bioefficacy of polyphenols in humans. *The American Journal of Clinical Nutrition*.
- Mangels, A., Block, G., Frey, C., Patterson, B., Taylor, P., Norkus, E., y otros. (1993). The bioavailability to humans of ascorbic acid from oranges, orange juice and cooked broccoli is similar to that of synthetic ascorbic acid. *The Journal of nutrition*, 54-61.
- Marín, Z. (2008). *Elementos de Nutrición Humana*. Universidad Estatal a Distancia.
- Marti, P., Mena, P., Cánovas, J., Micol, v., & Saura, D. (2009). Vitamin C and the role of citrus juices as functional food. *Natural product communications*, 677-700.
- Martínez, A. (2003). *Carotenoides*. Medellín, Colombia: Universidad de Antioquia.
- Meléndez, A., Vicario, I., & Heredia, F. (2004). Importancia nutricional de los pigmentos carotenoides. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición (ALAN)*, 149-155.
- Miglio, C., Chiavarro, E., Visconti, A., Fogliano, V., & Pellegrini, N. (2008). Effects of different cooking methods on nutritional and physicochemical characteristics of selected vegetables. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 139-147.

- Moncada, L., & Gualdrón, L. (2006). Retención de Nutrientes en la Cocción, Freído y Horneado de Tres Alimentos Energéticos. *Revista de Investigación, Universidad La Salle*, 179-187.
- Monsen, E. (1988). Iron nutrition and absorption: dietary factors which impact iron bioavailability. *Journal of American Dietetic Association*, Vol(88), 786-790.
- Monteros, C., Grijalva, A., Vásquez, W., & López, G. (2005). *Las papas nativas en el Ecuador*. Quito, Ecuador: Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias, Centro Internacional de la Papa, Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación.
- Monteros, C., Yumisaca, F., Andrade-Piedra, J., & Reinoso, I. (2010). *Papas Nativas de la Sierra Centro y Norte del Ecuador: Catálogo etnobotánico, morfológico, agronómico y de calidad*. Quito, Ecuador: Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), Centro Internacional de la Papa (CIP).
- Osorio, E., Giraldo, J., & Narváez, W. (2012). Metodologías para determinar la digestibilidad de los alimentos utilizados en la alimentación canina. (págs. 87-97). Manizales, Colombia: Universidad de Caldas.
- Oviedo, A. (2005). *Estudio de características físico-químicas en clones promisorios de papa*. Quito, Ecuador: Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Facultad de ciencias exactas y naturales escuela de ciencias químicas.
- Palafox, H., Ayala, J., & González, G. (2011). The Role of Dietary Fiber in the Bioaccessibility and Bioavailability of Fruit and Vegetable Antioxidants. *Journal of Food Science*.
- Parada, J., & Aguilera, J. (2007). Food Microstructure Affects the Bioavailability of Several Nutrients. *Journal of Food Science*, Vol 72, N°2.
- Paredes, G., & Bolaños, R. (2009). Biodisponibilidad de Zinc. *Revista Peruana de Pediatría*, Vol (62), 80-90.
- Peña, W. (2009). *Evaluación del Contenido de Glicoalcaloides en el pelado, cocción y fritura de variedades de papa nativa*. Quito, Ecuador: INIAP - EPN.
- Pérez, A., Jarén, M., & Garrido, J. (17 de Diciembre de 2009). *Biodisponibilidad de Fitoquímicos: Técnicas de Control y Medida*, Departamento de Biotecnología de Alimentos. Recuperado el 24 de

Febrero de 2014, de Instituto de la Grasa, CSIC:
http://digital.csic.es/bitstream/10261/19695/1/Biodisponibilidad_Fitoquimicos_Digital_CSIC.pdf

- Pertuz, S., & Castillo, S. (2013). Composición, valor nutricional y tendencias. *Fedepapa*, 4-9.
- Pico, S., Gutiérrez, D., Aragón, I., Escobar, A., Ortiz, D., Sánchez, T., y otros. (2011). Evaluación de la composición nutricional, antinutricional y biodisponibilidad *in vitro* de diferentes extractos foliares. *Revista Chilena de Nutrición*, 168-176.
- Pighín, A., & Rossi, A. (2010). Espinaca fresca, supercongelada y en conserva: contenido de vitamina C pre y post cocción. *Revista Chilena de Nutrición*, 201-207.
- Pinos, W. (2011). *Estudio del sistema de pelado de papas para disminuir el tiempo de preparación de papas fritas en la empresa de comida rápida (Pilita)*. Ambato, Ecuador: Universidad Técnica de Ambato.
- Piñeiro, R. (2010). *Nutrición y Rendimiento Escolar*. Lima, Perú: I Congreso Mundial de Neuroeducación.
- Poveda, M. (2013). *Valoración de compuestos fitoquímicos en once variedades de papa, cultivadas en tres localidades de Ecuador*. Ambato - Ecuador: Universidad Técnica de Ambato.
- Quinteros, M., Mendoza, R., & Herrera, A. (2012). *Efecto del procesamiento sobre el contenido de minerales en tres variedades de papa criolla (Solanum tuberosum grupo phureja)*. Brasil: ALAP 2012.
- Quirós, A., Palafox, H., Robles, R., & Gonzáles, G. (2012). Interacción de Compuestos Fenólicos y Fibra Dietaria: Capacidad Antioxidante y Biodisponibilidad. *Revista de Ciencias Biológicas y de la Salud*, Volumen XIII N°3.
- Reddy, M., Hurrell, R., & Cook, J. (2000). Estimation of nonheme-iron bioavailability from meal composition. *The American Journal of Clinical Nutrition*, Vol (71), 937-943.
- Robertfroid, M. (2002). Functional foods: concepts and application to inulin and oligofrutose. *British Journal of Nutrition*, Vol (87), 139-143.
- Rodríguez, A., Cifuentes, T., Trevor, G., & Spencer, J. (2014). Impact of cooking, proving, and baking on the polyphenol content of wild blueberry. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 3979–3986.

- Rodríguez, D. (2000). *Carotenoides y Preparación de Alimentos: La Retención de los Carotenoides Provitamina A en Alimentos Preparados, Procesados y Almacenados*. Brasil: Universidad Estatal de Campinas.
- Rodríguez, M. (2008). *Bases de la Alimentación Humana*. Netbiblo.
- Rodríguez-Amaya, D., & Mieko, K. (2004). *Harvest plus Handbook for carotenoid analysis. Harvest Plus Technical Monograph 2*. . Washington, DC and Cali: : International Food Policy Research Institute (IFPRI) and International Center for Tropical Agriculture (CIAT).
- Romero, G. (2011). *Módulo Curso Académico*. Bogotá, Colombia: Universidad Nacional Abierta y a Distancia.
- Rovira, F. (2010). Biodisponibilidad mineral: evaluación . *Alimentación, nutrición y salud*, 1-8.
- Salas, J. (2008). *Nutrición y Dietética clínica 2da edición*. España: Elsevier.
- Sananes, L. (2006). *Alimentación Fisiológica*. Libros EnRed.
- Serra, L., & Aranceta, J. (2006). *Nutrición y salud pública: métodos, bases científicas y aplicaciones*. España: Elsevier.
- Sherwood, S., & Pumisacho, M. (2002). *El cultivo de la papa en el Ecuador*. Abya Yala.
- Silberberg, M., Morand, C., Mathevon, T., Besson, C., Manach, C., Scalbert, A., y otros. (2006). The bioavailability of polyphenols is highly governed by the capacity of the intestine and of the liver to secrete conjugated metabolites. *European Journal of Nutrition*, Vol.2, 88-96.
- Soler, A. (2009). *Estudio de la Capacidad Antioxidante y la Biodisponibilidad de los Compuestos Fenólicos del Aceite de Oliva. Primeras Etapas en el Desarrollo de un Aceite de Oliva Funcional*. Lérida, España: Universidad de Lérida.
- Soriano, J. (2011). *Nutrición básica humana*. Valencia, España: Universidad de Valencia.
- Suarerna, A. (2008). La fritura de los alimentos: pérdida y ganancia de nutrientes en los alimentos fritos. *Perspectivas en nutrición humana*, 77-88.

- Suarez, P., Rodriguez, E., & Díaz, C. (2004). Cambios en el valor nutritivo de patatas durante distintos tratamientos culinarios. *Ciencia y Tecnología Alimentaria*, 251-261.
- Tomás, F. (2003). Los polifenoles de los alimentos y la salud. *Alimentación, Nutrición y Salud*, 41-53.
- Torres, L., Cuesta, X., Monteros, C., & Rivadeneira, J. (Diciembre de 2011). *Centro Internacional de la Papa*. Recuperado el 26 de Enero de 2014, de <http://cipotato.org/region-quito/informacion/inventario-de-tecnologias/variedades/>
- Urdampilleta, A., Martinez, J., & González. (2010). Intervención dietético-nutricional en la prevención . *Nutrición Clínica y Dietética Hospitalaria*, 27-41.
- Valencia, M., Ronayne, P., & Pita, M. (2013). Biodisponibilidad de nutrientes minerales. *Revista Farmacéutica, Academia Nacional de Farmacia y Bioquímica*, Vol (155), 18-35.
- Vásquez, C., De Cos Blanco, A., & López, C. (2005). *Alimentación y nutrición: manual teórico práctico*. Madrid - España: Díaz de Santos.
- Verdú, J. (2013). *Nutrición para educadores*. Ediciones Díaz de Santos.
- Viadel, B. (Abril de 2002). *Biodisponibilidad de calcio, hierro y zinc en leguminosas mediante ensayos in vitro con cultivos celulares*. Valencia, España: Universitat de Valencia.
- Vinson, J., & Bose, P. (1988). Comparative bioavailability to humans of ascorbic acid alone or in a citrus extract. *The American journal of clinical nutrition*, 1-4.
- Waterhouse, A. (2002). *Current Protocols in Food Analytical Chemistry*. USA: University of California, Davis, I1.1.1- I.1.8.
- Williams, M. (2002). *Nutrición para la salud, la condición física y el deporte*. Universidad de Maryland: Paidotribo.
- Zang, D., & Hamauzu, Y. (2004). Phenolics, ascorbic acid, carotenoids and antioxidant activity of brócoli and their changes during convencional and microwave cooking. *Food Chemistry*, Vol. 88, 503-509.

ANEXOS

ANEXO I

1. DETERMINACIÓN DE FENOLES TOTALES

1.1. PROCEDIMIENTO

1.1.1. MUESTREO Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

Se parte de muestra liofilizada de papa cruda.

1.1.2. EXTRACCIÓN DE COMPUESTOS FENÓLICOS TOTALES.

Pesar una porción de muestra liofilizada en un tubo de vidrio. El peso depende del color de la muestra (0.8 a 1.0 g para muestras de color blanco o crema, 0.5 a 0.7 g para muestras amarillas o rojas, y 0.1 a 0.4 para muestras moradas)

Añadir 10 ml de metanol al 70 %, homogenizar en un vortex durante 10 segundos y sonicar durante 10 minutos (primera extracción).

Filtrar el extracto metanólico a través de papel filtro Whatman # 4 en una fiola volumétrica de 25ml.

Añadir 10 ml de metanol al 70% al residuo del filtrado, homogenizar un vortex y colocar en baño maría a 80°C durante 5 minutos. (Segunda extracción) Sin agitación y enfriar en agua helada.

Filtrar el extracto en la fiola volumétrica y enrasar a 25 ml con la solución extractante.

1.1.3. DETERMINACIÓN DE CFT

Colocar 400 µl de la muestra en un tubo de ensayo. En el caso del blanco de muestra colocar 400 µl de agua destilada. Después de esto, seguir los mismos pasos para las muestras y el blanco de muestra.

Añadir 8 ml de agua destilada y 500 µl del reactivo de Folin Ciocalteau 2N (reactivo puro), mezclar y dejar reposar durante 6 minutos.

Añadir 1500 µl de solución de carbonato de sodio saturado y mezclar muy bien. Colocar los tubos en baño maría a 40°C durante 30 minutos.

Leer la absorbancia a 765nm y calcular la concentración de los compuestos fenólicos totales en base a la curva estándar y expresar los resultados en mg ácido clorogénico/100g de muestra.

1.1.4. PREPARACIÓN DE LA CURVA ESTÁNDAR PARA CFT

Preparar una solución stock de ácido clorogénico a una concentración de 5000 mg/l, para ello pesar 250 mg de ácido clorogénico en un vaso de precipitado y disolver en 5 ml de metanol puro. Trasvasar la solución a una fiola de 50 ml protegida a la luz, y enrasarlo con agua destilada.

A partir de la solución stock preparar soluciones estándares de ácido clorogénico con concentraciones de 50, 100, 200, 300, 400, 500, 700, 1000 y 1500 mg/l par ello tomar alícuotas de 0.25, 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5, 2.5, 5, 7.5 ml de la solución stock y llevar a una fiola de 25 ml con agua destilada, analizar cada estándar con duplicado.

De cada solución estándar colocar 100ul en un tubo de ensayo y 100 ul de agua destilada en el caso del blanco de reactivo, añadir 8 ml de agua destilada y 500 ul del reactivo de FolinCiocaltaeu.

Mezclar en el vortex y dejar reposar por 6 min.

Añadir 1500 ul de la solución saturada de carbonato de sodio y mezclar.

Colocar los tubos en baño maría a 40 °C durante 30 min.

Leer la absorbancia a 765nm.

1.2. PREPARACIÓN DE LOS REACTIVOS

1.2.1. SOLUCIÓN EXTRACTANTE: METANOL 70%

En una probeta de vidrio, medir 300 ml de agua destilada y transferir a una fiola de 1 L, enrasar con metanol puro.

1.2.2. SOLUCIÓN DE CARBONATO DE SODIO SATURADA (20%)

Pesar 50 g de carbonato de sodio anhidro, añadir 200ml de agua destilada, y colocar en el agitador calentador hasta que se disuelva completamente y ebullición. Dejar la solución y enfriar a temperatura ambiente y añadir una cucharadita (aproximadamente 1.5 g) de carbonato de sodio para saturar la solución, agitar hasta que esté completamente disuelto. Después de 24 horas, filtrar la solución con doble papel filtro Whatman #2, el filtrado se trasvasa a una fiola de 250 ml y enrasar con agua destilada. Transferir la solución a un frasco ámbar.

1.3. REFERENCIA

Waterhouse A. 2002. Current Protocols in Food Analytical Chemistry. University of California, Davis, U.S.A. I1.1.1-I.1.1.8

ANEXO II

2. DETERMINACION DE CAROTENOIDES TOTALES

2.1. PROCEDIMIENTO

2.1.1. MUESTREO Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

Para cada genotipo recolectar entre 4 y 5 tubérculos frescos de papa por repetición. Los tubérculos deben ser representativos del genotipo a analizar y las repeticiones pueden ser de campo o de laboratorio dependiendo del interés del científico.

Lavar con abundante agua asegurando que se remueva todo residuo de suelo, enjuagar con agua destilada y secar al ambiente.

Cortar cada tubérculo, cortar en cuadrados, homogenizar en un procesador de alimentos y analizar inmediatamente.

2.1.2. EXTRACCIÓN

Pesar una porción de la muestra homogenizada en un tubo de vidrio. El peso de la muestra depende de su coloración (6-8 g para las muestras con color de pulpa amarillo pálido y 4-5 g para las muestras con color pulpa amarillo intermedio y de 2-3 g para las muestras de pulpa amarillo intenso).

Añadir 40 ml de acetona helada, homogenizar en el ultraturrax durante 1 minuto a 21000rpm y filtrar con succión a través de un embudo con filtro incorporado, recibiendo el extracto en un matraz protegido de la luz. Lavar el ultraturrax y el residuo con una pequeña cantidad de acetona.

Repetir la extracción hasta que el residuo quede sin color. Usualmente solo se requiere 3 extracciones.

2.1.3. TRANSFERENCIA DE ÉTER DE PETRÓLEO

Colocar 30 ml de éter de petróleo y una pequeña cantidad de agua destilada en una pera de separación de 500ml.

Transferir el extracto de acetona al éter de petróleo en 4 fracciones. Después de cada transferencia, añadir 200ml de agua destilada dejando que esta caiga suavemente por las paredes de la pera de separación. Dejar que las 2 fases se separen y descartar la fase acuosa inferior.

Lavar 4 veces con 200 ml de una solución diluida de cloruro de sodio (aproximadamente 1%) para evitar la formación de emulsiones. Dejar que las 2 fases se separen durante 3 minutos y descartar la fase acuosa.

2.1.4. SAPONIFICACIÓN

Recoger el extracto etéreo en un matraz de 125ml y añadir algunos cristales del antioxidante BHT (2,6-di-tert-butil-4-metilfenol).

Añadir un volumen de 40 ml de solución metanólica de hidróxido de potasio al 10%. Cubrir con papel aluminio y dejar que la mezcla se agite a oscuras a temperatura ambiente durante 3 horas.

Después de tres horas transferir el extracto saponificado a una pera de separación de 500 mL. Recolectar la fase metanólica en el mismo matraz y añadir un volumen similar de acetona.

Añadir 25 ml de éter etílico a la fase etérea y transferir la fase metanólica en 4 fracciones.

Después de cada transferencia, agitar la pera de separación y añadir 200 mL de agua destilada dejando que esta caiga por las paredes de la pera. Dejar que repose 3 minutos y descartar la fase acuosa.

Lavar 4 veces con 200 mL de agua destilada. Dejar que las 2 fases se separen durante 3 minutos y descartar la fase acuosa.

Concentrar con nitrógeno gaseoso hasta que el extracto etéreo tenga un volumen aproximado de 25 ml.

Filtrar el extracto etéreo a través de un embudo que contiene sulfato de sodio anhidro y colectar en una fiola de 25ml. Enrasar con éter de petróleo.

2.1.5. ANÁLISIS ESPECTROFOTOMÉTRICO DE CAROTENOIDES TOTALES

Leer el extracto etéreo a 450 nm y calcular la concentración de Carotenoides totales usando el coeficiente de absorción recomendado para mezclas de carotenoides (2500).

2.2. PREPARACIÓN DE LA CURVA ESTÁNDAR DE CAROTENOIDES

Para preparar la curva estándar de cada carotenoide, seguir el siguiente procedimiento:

Disolver el estándar en éter de petróleo (stock). En algunos casos es necesario agregar un poco de acetona para hacer el carotenoide más soluble.

Leer el stock en el espectrofotómetro a la longitud de onda apropiada para cada carotenoide y hacer el cálculo de la concentración utilizando el coeficiente de extinción correspondiente a la longitud de onda y al solvente utilizado.

Inyectar 1 ml del stock en HPLC bajo las mismas condiciones mencionadas para la muestra. Integrar cada carotenoide a la longitud de onda correspondiente y determinar la pureza del mismo. Con el área determinada hacer el cálculo correspondiente de los puntos de la curva estándar que cubren el rango de área encontrada en las muestras y realizar las diluciones apropiadas para cada punto de la curva.

2.2.1. PREPARACIÓN DE LOS REACTIVOS

2.2.1.1. Solución metanólica de KOH al 10 %

Pesar 100 g de hidróxido de potasio en 1 litro de metanol (agitar con la ayuda de una barra magnética hasta disolver completamente). Almacenar en un frasco hasta su uso durante el análisis.

2.3. REFERENCIAS

Rodriguez-Amaya, D. and K. Mieko. 2004. Harvest plus Handbook for carotenoid analysis. Harvest Plus Technical Monograph 2. Washington, DC and Cali: International Food Policy Research Institute (IFPRI) and International Center for Tropical Agriculture (CIAT).

Burgos, G., Salas, E., Amoros, W., Auqui, M., Munoa, L., Kimura, M., Bonierbale, M., (2009). Total and individual carotenoid profiles in the Phurejagrou of cultivated potatoes: I. Concentrations and relationships as determined by Spectrophotometry and High Performance Liquid Chromatography (HPLC). Journal of Food Composition and Analysis, 22, 503-508.

Burgos, G., Salas, E., Amoros, W., Munoa, L., Sosa P., Diaz, C., Bonierbale, M (2012) Carotenoid concentrations of native Andean potatoes as affected by cooking. Food Chemistry 133,1131-1137

ANEXO III

3. ANÁLISIS DE ÁCIDO ASCÓRBICO

3.1. PROCEDIMIENTO

3.1.1. MUESTREO Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

Para cada genotipo coleccionar entre 4 y 5 tubérculos de papa por repetición. Los tubérculos deben ser representativos de cada genotipo y las repeticiones pueden ser de campo o de laboratorio dependiendo del interés científico.

Lavar con abundante agua asegurando que se remueva todo el residuo del suelo, enjuagar con agua destilada y secar al ambiente.

Cortar los tubérculos en 4 secciones longitudinales, tomar 2 secciones opuestas de cada tubérculo y con la ayuda de un rallador obtener de 3 a 5 rodajas de cada sección, cortarlo en cuadrados pequeños, mezclar y proceder con el análisis inmediatamente.

3.1.2. EXTRACCIÓN

Pesar 7.5 g de muestra (previamente bien mezclada) directamente en el tubo de vidrio de extracción.

Agregar 38 mL de la solución extractante (ácido oxálico 0.4 % y acetona 20%) y homogenizar en el ultraturrax durante 1 minuto.

Enjuagar el útil de dispersión y las paredes del tubo de vidrio con la misma solución extractante (aproximadamente 3 mL).

Filtrar el extracto a través de dos papeles filtro Whatman #2, utilizando vacío, volver a enjuagar las paredes de tubo de vidrio y filtrar. Vaciar a una fiola de 50 mL (protegida de la luz) y envasar con solución extractante.

3.1.3. DETERMINACIÓN

Mezclar 1 mL de la solución extractante con 9 mL de la solución diluida del 2,6 DCIP y después de 1 minuto leer la absorbancia (blanco de reactivo) a 520 nm.

Colocar en un tubo de ensayo; 1 mL del extracto (solución filtrada de la muestra), agregar 9mL de la solución diluida del 2,6 DCIP, tomar el tiempo de 1 minuto, agitar y leer la absorbancia a 520nm (hacer 2 lecturas por cada fiola). Lo llamaremos absorbancia del blanco de la muestra (Abs M) luego, en un tubo de ensayo, colocar 1 mL del extracto, agregar 9 ml de agua destilada, mezclar y leer la absorbancia a 520nm. Lo llamaremos absorbancia del blanco de muestra (BM).

A la absorbancia de la muestra (Abs M) restar la absorbancia del blanco de muestra (BM). Sustraer a este valor, la absorbancia del blanco reactivo (BR). El resultado de esta sustracción (Abs Real de la muestra) es utilizado para determinar la concentración ($\mu\text{g/mL}$) de ácido ascórbico de la muestra en referencia a la curva estándar.

3.2. PREPARACIÓN DE LA CURVA ESTÁNDAR DEL ÁCIDO ASCÓRBICO

Preparar una solución stock de ácido ascórbico a una concentración de 100 $\mu\text{g/ml}$, para ello pesar 100 mg de ácido ascórbico en un vaso de precipitado y disolver en 50ml de solución extractante. Trasvasar la solución a una fiola de 100ml protegida de la luz, y enrasarlo con solución extractante.

A partir de la solución stock preparar soluciones estándares con concentraciones de 5, 10, 20,30,40 y 50 $\mu\text{g/ml}$. para ello, tomar alícuotas de 0.25, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 y 2.5 mL de 1a solución stock de ácido ascórbico, y enrasar a 50 ml con solución extractante.

Realizar el autocero con agua destilada

En un tubo de ensayo colocar 1 mL de la solución extractante con 9 mL de la solución diluida del 2,6 DCIP después de 1 minuto leer la absorbancia 520nm, lo llamaremos blanco reactivo (BR).

Colocar en un tubo de ensayo, 1 mL de cada solución estándar, agregar 9 mL de la solución diluida del 2,6 DCIP, tomar el tiempo de 1 minuto, agitar y leer la absorbancia a 520nm (realizar 2 lecturas), lo que llamaremos absorbancia del estándar (AbsSt).

Luego en otro tubo, colocar 1 mL del estándar y agregar 9mL de agua destilada, mezclar y leer a 520 nm, lo llamaremos absorbancia del blanco del estándar (Bst.)

$$\text{Abs Real St} = \text{BR} - (\text{AbsSt} - \text{BSr})$$

Las absorbancias obtenidas para cada concentración serán promediadas y luego ploteadas: concentración ($\mu\text{g/L}$) vs Absorbancia real, y por medio de la regresión lineal se determina la ecuación con la cual se podrá calcular las concentraciones de las muestras de papa.

3.2.1. PREPARACIÓN DE REACTIVOS

3.2.1.1. Solución extractante: Acido oxálico 0.4 % y Acetona 20 %

Pesar 4g de ácido oxálico y disolver en 100 mL de agua destilada (agitar con la ayuda de un magneto hasta disolver completamente). Agregar agua destilada hasta 500 mL y adicionar 200 mL de acetona. Agitar lentamente y medir pH, llevarlo hasta pH 1.1 con ácido sulfúrico concentrado (evitar la evaporación de la acetona cubriendo el vaso de precipitado con un papel aluminio). Finalmente transferir la solución extractante a una fiola de 1L y enrasar con agua destilada.

3.2.1.2. Solución Stock de 2,6 dicloroindofenol (DCIP)

Pesar 100mg de 2,6 DCIP y disolver en 100 mL de agua tibia (40°C-50°C), y llevarlo a ebullición. Agregar 84 mg de NaHCO₃, y seguir agitando. Transferir la solución a una fiola y enrasar a 500 mL con agua destilada. Filtrar al vacío y almacenar la solución en una botella de vidrio ámbar. Esta preparación debe ser realizada evitando la luz.

Para su uso, la solución stock debe ser diluida con agua destilada de tal manera que cuando 1 mL de la solución extractante y 9 mL de solución 2,6 DCIP reaccionen, se obtenga un valor de absorbancia (a 250nm) entre 0.33 y 0.350. Este valor de absorbancia es usualmente obtenido cuando se diluye 1mL de la solución stock de 2,6 DCIP en 13 mL de agua destilada.

3.3. REFERENCIAS

Egoaville, M. J., Sullivan, M.F. Kozempel and W. Jones. J. 1998. Ascorbic acid determination in processed potatoes. *American Potato Journal*. Vol 65:91-97.

G. Burgos, S. Auqui, W. Amoros, E. Salas, M. Bonierbale. 2009. Ascorbic acid concentration of native Andean potato varieties as affected by environment, cooking and storage. *Journal of Food Composition and Analysis* 22 (2009) 533-538.

ANEXO IV

4. DETERMINACIÓN DE MINERALES

Se coloca los crisoles que contienen las cenizas en la Sorbona, se adiciona 10ml de agua destilada y 5 ml de ácido clorhídrico concentrado, se digiere a baja temperatura hasta que el volumen se reduzca a la tercera parte.

Se retiran los crisoles de la plancha y se enfría, se filtra usando papel cuantitativo y se recibe el filtrado en un balón de 100ml.

4.1. DETERMINACIÓN DE ZINC

4.1.1. PROCEDIMIENTO

Tomar 10 ml de la solución madre, agitar y leer

Preparar la curva estándar de zinc de 5 y 0.5 ppm

Colocar en tubos de ensayo la solución estándar de calcio y manganeso 0, 1,2, 3, 4, 5 ml, y adicionar agua bidestilada hasta 9 ml y adicionar 1 ml de la solución de lantano al 1%.

Leer en el espectrofotómetro de absorción atómica de llama, primero los estándares luego las muestras.

4.1.1.1. Cálculos

$$Zn(ppm) = \frac{LR * Fd}{Pm}$$

Donde:

LR = Lectura de Regresión

Fd = Factor de dilución

Pm = Peso de la muestra

4.2. DETERMINACION DE HIERRO

4.2.1. PROCEDIMIENTO

Tomar 0.5 ml del filtrado, añadir 4 ml de agua bidestilada, 0.5 ml de la solución de lantano al 1% y agitar.

De esta solución tomar 0.5 ml, añadir 4 ml de agua bidestilada, 0.5 ml de la solución de lantano y agitar.

Preparar la curva estándar de calcio y magnesio de 5 y 0.5 ppm:

Colocar en tubos de ensayo la solución estándar de calcio y magnesio 0, 1, 2, 3, 4, 5 ml, adicionar agua bidestilada hasta 9 mL y añadir 1 ml de la solución de lantano al 1%.

Leer en el espectrofotómetro de absorción atómica de llama, tomando en cuenta primero los estándares luego las muestras.

4.2.1.1. Cálculos

$$Ca(\%) = \frac{LR * Fd}{Pm}$$

Donde:

LR = Lectura de Regresión

Fd = Factor de dilución

Pm = Peso de la muestra (g)

4.3. REFERENCIAS

Método de análisis de minerales del Departamento de Nutrición y Calidad, INIAP.

ANEXO V

5. DETERMINACIÓN DE LA BIODISPONIBILIDAD *IN VITRO*

| | |
|--|---|
| <p>1. 10g de muestra molida + 100ml de H₂O 18MΩ</p>  | <p>2. Ajuste a pH 2</p>  |
| <p>3. Adición 10ml de pepsina</p>  | <p>4. Incubación a 37 °C por 2 horas con agitación</p>  |
| <p>5. Colocación de las muestras en las membranas de diálisis</p> | <p>6. Adición de PIPES</p>  |



7. Incubación a 37 °C por 1 hora con agitación



8. Adición de pancreatina



9. Incubación a 37 °C por 2 horas con agitación



10. Retenido



11. Dializado

