

*Antioxidantes*

<b>ABREVIATURAS Y NOMENCLATURA</b> .....	<b>3</b>
<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>4</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>4</b>
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>6</b>
<b>MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>6</b>
<b>2.1 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>6</b>
<b>2.1.1 Antioxidantes</b> .....	<b>6</b>
<b>2.1.2 Los compuestos fenólicos</b> .....	<b>8</b>
<b>2.1.3 Flavonoides</b> .....	<b>9</b>
<b>2.1.4 Ligninas</b> .....	<b>10</b>
<b>2.1.5 Taninos</b> .....	<b>11</b>
<b>2.1.6 Absorción y metabolismo de compuestos fenólicos</b> .....	<b>12</b>
<b>Radicales libres:</b> .....	<b>14</b>
<b>2.1.7 Concepto de radical libre:</b> .....	<b>14</b>
<b>2.1.8 Clases de radicales libres</b> .....	<b>15</b>
<b>2.1.9 Radicales libres generados en el metabolismo humano</b> .....	<b>17</b>
<b>2.1.11 Estrés oxidativo en la salud humana</b> .....	<b>21</b>
<b>2.1.12 Equilibrio y desequilibrio entre la producción de especies reactivas y las defensas antioxidantes del organismo</b> .....	<b>22</b>
<b>2.2 CARACTERIZACIÓN DE LAS ESPECIES ESTUDIADAS</b> .....	<b>25</b>
<b>2.2.1 AVENA</b> .....	<b>25</b>
<b>2.2.2 QUINUA</b> .....	<b>26</b>
<b>2.2.3 MAÍZ</b> .....	<b>28</b>
<b>2.2.4 TARWI</b> .....	<b>30</b>
<b>2.2.5 QENTU</b> .....	<b>32</b>
<b>2.2.6 PAPA O PATATA</b> .....	<b>33</b>
<b>2.2.7 MACA</b> .....	<b>35</b>
<b>2.2.8 CAMOTE O BATATA</b> .....	<b>36</b>
<b>2.2.9 ISAÑO</b> .....	<b>38</b>
<b>2.2.10 WALUSA (WALUSA) O MALANGA</b> .....	<b>39</b>
<b>2.2.10 b TARO</b> .....	<b>39</b>
<b>La walusa</b> .....	<b>40</b>
<b>2.2.10b. El taro o papa japonesa</b> .....	<b>41</b>
<b>2.2.11 AJIPA</b> .....	<b>42</b>
<b>2.2.12 YACÓN</b> .....	<b>43</b>
<b>2.2.13 OCA</b> .....	<b>44</b>
<b>2.2.14 KHAYA</b> .....	<b>46</b>
<b>2.2.15 HABA</b> .....	<b>46</b>
<b>2.2.16 ARVEJA</b> .....	<b>47</b>
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>49</b>
<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>49</b>
<b>3.1. OBJETIVO GENERAL</b> .....	<b>49</b>
<b>3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b> .....	<b>49</b>
<b>CAPITULO 4</b> .....	<b>50</b>
<b>MATERIALES Y METODOS</b> .....	<b>50</b>
<b>4.1 Equipos y reactivos</b> .....	<b>50</b>
<b>Método FRAP</b> .....	<b>50</b>
<b>Método ABTS</b> .....	<b>50</b>
<b>Fenoles totales por el método de folin ciocalteu</b> .....	<b>51</b>
<b>Flavonoides totales</b> .....	<b>51</b>

<b>4.2 Fundamento teórico de los métodos utilizados</b> .....	<b>52</b>
<b>4.2.1 MÉTODOS ET (transferencia electrónica)</b> .....	<b>52</b>
4.2.1 Teoría del ensayo ABTS/TAC .....	52
4.2.2 Teoría del ensayo FRAP .....	54
4.2.3 Teoría del ensayo de fenoles totales de folin ciocalteau, F-C.....	56
4.2.4 Teoría del ensayo de flavonoides totales.....	56
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	<b>58</b>
<b>PARTE EXPERIMENTAL</b> .....	<b>58</b>
<b>5.1.1 UNIDAD DE ANÁLISIS</b> .....	<b>58</b>
<b>5.1.2 RECOLECCION DE MUESTRAS</b> .....	<b>58</b>
5.1.3 Tratamiento de las muestras .....	59
5.1.4 Extracción de las muestras .....	59
5.1.5 Procedimiento del ensayo ABTS/TAC .....	60
5.1.6 Método FRAP .....	61
5.1.7 Procedimiento del ensayo de fenoles totales .....	63
5.1.8 Procedimiento del ensayo de flavonoides totales.....	64
<b>CAPÍTULO 6</b> .....	<b>66</b>
<b>RESULTADOS</b> .....	<b>66</b>
<b>6.2 Ensayos de TAC</b> .....	<b>66</b>
6.2.1 Método FRAP .....	66
6.2.2 Ensayo ABTS .....	70
6.2.3 Ensayo de TPC - Total Phenolic Content (Determinación de Fenoles Totales) ...	74
6.2.4 Ensayo de Flavonoides Totales.....	78
<b>RESUMEN FINAL</b> .....	<b>83</b>
<b>CAPITULO 7</b> .....	<b>87</b>
<b>7.- CONCLUSIONES y DISCUSIONES</b> .....	<b>87</b>
<b>CAPITULO 8</b> .....	<b>90</b>
<b>8.- RECOMENDACIONES</b> .....	<b>90</b>
<b>CAPITULO 9</b> .....	<b>91</b>
<b>9.- BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>91</b>
<b>ANEXOS</b> .....	<b>103</b>

## **ABREVIATURAS Y NOMENCLATURA**

ABTS ácido 2, 2' Azinobis-3-etil- benzotiazolin-6 sulfónico

AL Alcaloides

CF Compuestos fenólicos

F-C Folin & Ciocalteu (ácido fosfomolibdico-fosfotúngstico)

FL Flavonoides

FRAP Ferric Reducing Antioxidant Power (Poder antioxidante de reducción férrica)

GAE Galic Acid Equivalent (equivalente de ácido gálico)

TAC Total Antioxidant Capacity (capacidad antioxidante total)

TROLOX Ácido 6-hidroxi-2, 5, 7, 8-tetrametilcroman-2-carboxílico

TPTZ 2, 4, 6-tri (2 piridil)-s-triazina

NADPH Nicotin-Adenosin Di Fosfato Hidro nucleótido

SD Desviación estándar

# **CAPÍTULO 1**

## **INTRODUCCIÓN**

Bolivia es un país mega-diverso en el reino vegetal, en sus Zonas Andina, Amazónica, es un centro originario de una gran cantidad de especies alimentarias. Estas especies son tanto endémicas y domesticadas por las culturas originarias de nuestro continente, como cultivos introducidos de otras regiones del mundo, en lapsos que comprenden tiempos que van de varios siglos a pocos decenios.

La dieta boliviana está caracterizada por el consumo de alimentos de origen vegetal, tales como cereales, frutas, papas y otros. La carne, la leche y sus derivados, siguen después en la preferencia dietética de los bolivianos. Los hogares de estatus social más alto, tienen mayor disponibilidad de consumo de todos los grupos alimenticios y por ello, su preferencia es por el consumo de alimentos ricos en grasa y proteínas, la llamada “dieta occidental”. Los hogares de estatus socioeconómico más bajo, mayormente prefieren alimentos más baratos aunque existe la tendencia de adopción de dietas occidentales,, contribuyendo a la disminución del consumo de alimentos tradicionales. Este modelo de dieta occidental asociado a la poca actividad física y el consumo creciente de alcohol y tabaco, además del aumento del estrés, está directamente relacionado con el aumento de peso, ocasionando obesidad y por lo tanto, enfermedades crónicas y degenerativas. En América latina los hábitos alimenticios y la forma de vida están cambiando drásticamente, llevándonos a un rápido aumento de la obesidad.

En la actualidad la actividad antioxidante de los alimentos está captando el interés de la población, debido a que existe evidencia científica de que los antioxidantes presentes en los alimentos promueven la salud humana. Muchos antioxidantes naturales presentan buenos efectos biológicos, incluyendo los antibacterianos, antivirales, antialérgicos y anti-trombóticos.

Los alimentos que presentan mayor actividad antioxidante son los ricos en vitaminas, compuestos fenólicos y entre ellos principalmente los flavonoides

### *Antioxidantes*

El interés en el estudio de antioxidantes naturales ha aumentado considerablemente en años recientes, particularmente en la región andina esto debido a su gran diversidad de cultivos, lo que muestran gran variedad en coloración, forma, tamaño, componentes de nutrientes principales y metabolitos secundarios.

El objetivo del presente trabajo es de evaluar la capacidad antioxidante total de un grupo de alimentos de origen vegetal del Departamento de La Paz, departamento que se caracteriza por su amplia biodiversidad. Los alimentos fueron recolectados en varias localidades y comunidades tales como: Quirambaya. En las faldas del nevado Illampu, Achacachi, Huarina, Sipa Sipa, Tiahuanacu (comunidad de Achacala), Larecaja, Warisata, en el cantón Sorata, Luribay, Achocalla y Charazani. Las muestras de tarwi (*Lupinus sp*). fueron cosechadas en el Campus Universitario de Cota-Cota.

Como fue mencionado anteriormente, el sustento para el presente trabajo es la amplia biodiversidad que tiene el Departamento de La Paz, y que comprende tanto alimentos vegetales originarios como alimentos introducidos en los que se determinó la actividad antioxidante total, el contenido de flavonoides y fenoles totales.

Este trabajo es una contribución al conocimiento de las propiedades de alimentos bolivianos de origen vegetal, tanto originarios, como introducidos, como un aporte al cumplimiento de los objetivos del Proyecto “Antioxidantes en Alimentos de Bolivia” a través del uso de metodologías para la determinación de la actividad antioxidante, contenido de compuestos fenólicos y flavonoides. Este trabajo intenta servir como una base de datos inicial para futuras investigaciones tanto en el campo nutricional como en el de tecnología de alimentos.

El presente trabajo estudia alimentos comprendidos en un rango de alturas entre 2500 y 4000 m.s.n.m., en condiciones de baja humedad, alta exposición a radiación ultravioleta; factores que condicionan el metabolismo proporcionando a dichos alimentos propiedades químicas importantes lo que resulta necesario investigar.

## **CAPÍTULO 2**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

##### **2.1.1 Antioxidantes**

Se dice que los alimentos tienen propiedades antioxidantes cuando son capaces de neutralizar la acción oxidante de una entidad molecular inestable, los radicales libres, sin perder su propia estabilidad electroquímica. Los radicales libres son productos naturales intermediarios del metabolismo que dentro de la homeostasis metabólica normal son regulados por la acción de una serie de enzimas y vitaminas como la SOD-superóxido dismutasa y la GPX glutatión peroxidasa, aparte del efecto de algunas vitaminas (C y E) y oligoelementos, como el zinc y el selenio. Al radical libre producto de estrés de diferentes tipos, condiciones anormales de radiación, etc., se les atribuye ser causantes de los procesos de envejecimiento y de varias otras enfermedades. (Starke y Reed, 2003). Los antioxidantes, por lo tanto, son un grupo amplio de compuestos: vitaminas, compuestos fenólicos, minerales, colorantes naturales y enzimas. Muchos de los antioxidantes se encuentran en alimentos vegetales, por lo que se recomienda con efecto beneficioso incluir frutas, legumbres, tubérculos, verduras y hortalizas o cereales integrales en nuestra dieta.

Millones de radicales libres bombardean diariamente nuestras células. El hecho de que necesiten tantos años para causar daños mayores se debe a la eficacia homeostática de los sistemas enzimáticos que para neutralizarlos produce nuestro propio organismo. Nuestro sistema de protección inmunitaria está luchando contra los radicales libres en todo momento.

El problema para el organismo humano se produce cuando tiene que tolerar de forma continúa un exceso de radicales libres, los cuales -aparte de ser producidos por el metabolismo normal- son generados por varios factores que actúan sobre o penetran en nuestro cuerpo. Las tensiones sociales, las presiones políticas y emocionales, la contaminación ambiental, la polución industrial y acústica, el humo del tabaco, los herbicidas, pesticidas, el consumo de ciertas grasas, etc., son algunos de los factores que incrementan excesivamente la generación

### *Antioxidantes*

de radicales libres. Este exceso supera la resistencia (capacidad de reponer su homeostasis) metabólica y no puede ya ser eliminado por el cuerpo (Flores, 2000).

Los radicales libres no sólo dañan las membranas de las células, sino que llegan a destruir y mutar la información genética de las células (ácidos nucleídos), facilitando así el camino para que se desarrollen diversos tipos de enfermedades. La acción de los radicales libres está ligada al cáncer así como al daño causado en las arterias por el colesterol "malo" LDL (Low Density Lipoprotein Cholesterol), lo que relaciona directamente a las especies reactivas con las enfermedades cardiovasculares.

Existen cada vez más pruebas de la intervención de los radicales libres y de otras moléculas reactivas en los procesos patológicos. La principal evidencia proviene de estudios epidemiológicos que muestran correlaciones estadísticas entre la incidencia de patologías y la presencia insuficiente por concentraciones bajas de nutrientes antioxidantes en el plasma sanguíneo o alimentos (Murray et al, 1997)

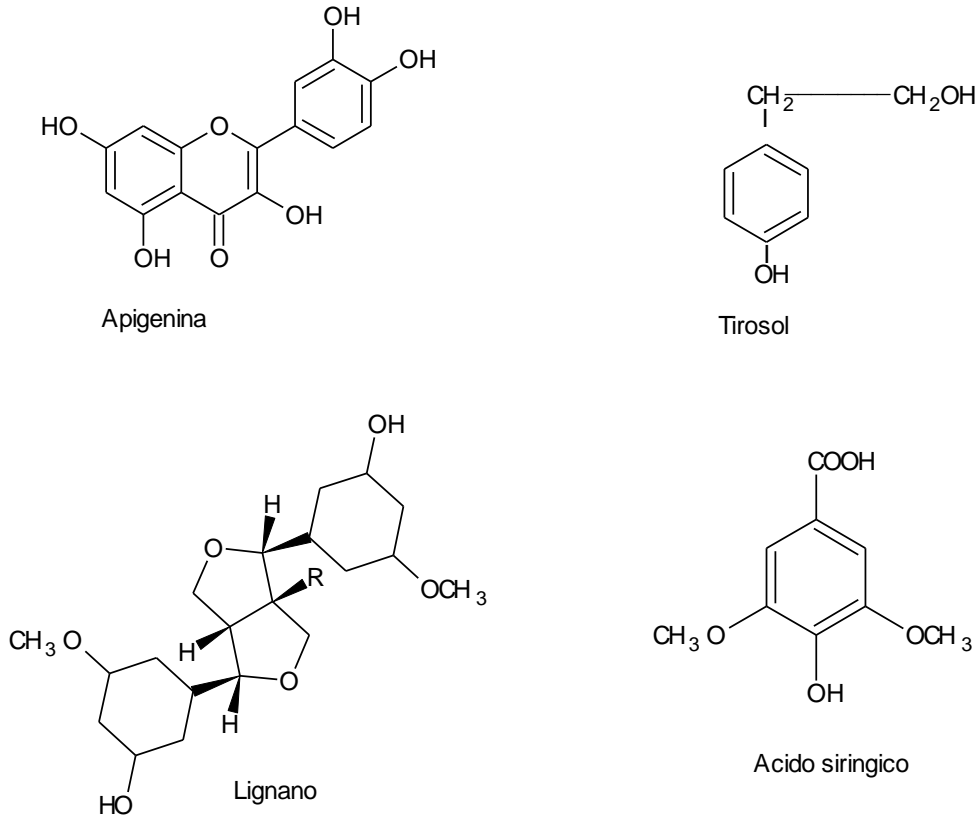
Los antioxidantes ceden a los radicales libres sus propios electrones salvando así nuestras células de sufrir daño. Entre los antioxidantes por excelencia encontramos al  $\beta$ -caroteno, la vitamina C, la vitamina E, y el selenio (Starke y Reed, 2003). La vitamina E es un antioxidante importante en el organismo y actúa en la fase lipídica de las membranas en todas las células.

A la fecha los estudios aún son insuficientes, ni es bastante la información sobre la predisposición genética responsable de la actividad antioxidante. Tampoco es suficiente la información sobre el aporte y el efecto del aporte de complementos nutricionales de los antioxidantes mencionados. No se ha llegado a complementar los estudios realizados in vitro con estudios in vivo. Sin embargo, se recomienda aumentar el consumo de cereales, nueces, frutas y vegetales, todos ellos ricos en antioxidantes naturales, como los compuestos fenólicos (entre ellos los flavonoides). Se va estableciendo una fuerte corriente de opinión en la comunidad científica que nos indica que el efecto antioxidante está relacionado al consumo integral de estas sustancias con la matriz que los contiene y que tiene una relación directa con hábitos alimentarios apropiados y con un ejercicio físico moderado y apropiado.

## Antioxidantes

### 2.1.2 Los compuestos fenólicos

El término «compuestos fenólicos» engloba a todas aquellas sustancias que poseen varias funciones fenol, nombre popular del hidroxibenceno, unido a estructuras aromáticas o alifáticas. Únicamente, algunos compuestos fenólicos de la familia de los ácidos fenoles no son polifenoles, sino monofenoles.



**Fig. 1: Ejemplos de estructuras de compuestos fenólicos**

**Fuente . ( Gimeno y Creus, 2004)**

Los fenoles se encuentran casi en todos los alimentos de origen vegetal. Son alimentos ricos en fenoles la cebolla, el té, el vino tinto, el cacao, el aceite de oliva virgen, etc. Estas sustancias influyen en la calidad, aceptabilidad y estabilidad de los alimentos, ya que actúan como colorantes, antioxidantes y proporcionan sabor.

No toda ingesta de compuestos fenólicos es nutricionalmente favorable. Si bien muchos de ellos cumplen una función antioxidante, entre sus propiedades químicas está la de quelar metales y por lo tanto pueden impedir su absorción si no se estructura adecuadamente la ingesta que conforma el bolo alimentario.



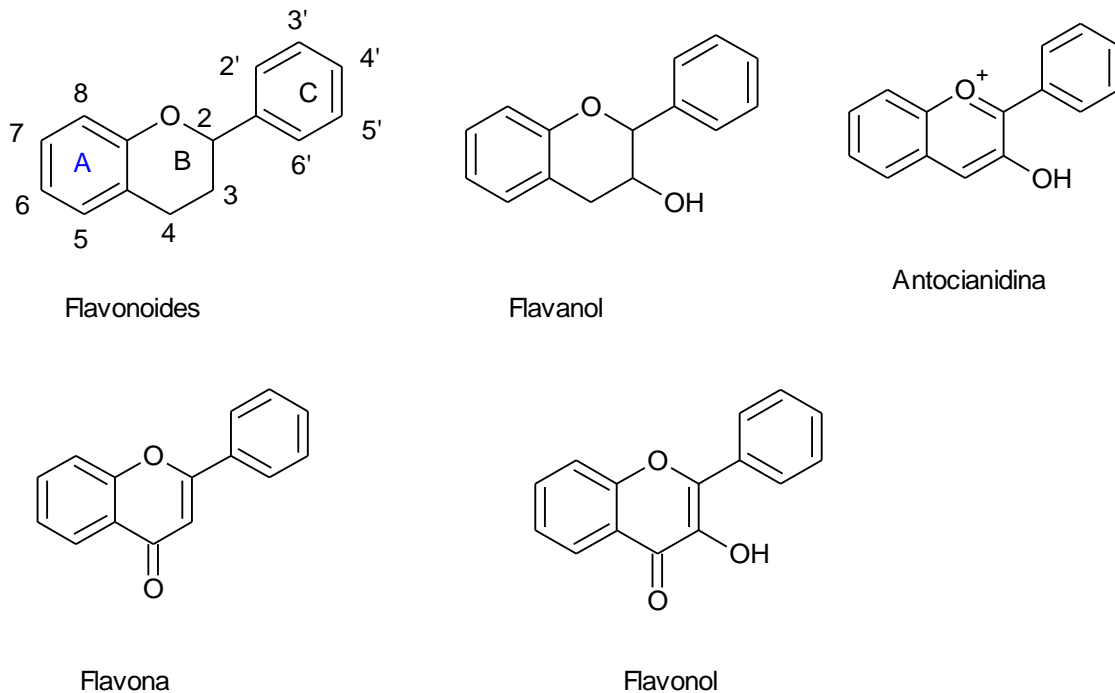
### Antioxidantes

Los componentes fenólicos de la pared celular primaria son principalmente el ácido ferúlico y el ácido p-cumárico, los cuales se encuentran generalmente esterificados a la arabinosa y la galactosa de los polisacáridos pécticos. Al parecer tienen como función limitar la extensión de la pared celular y podrían desempeñar un papel importante en la resistencia a patógenos fúngicos (McNeil et al., 1984; Schnitzler et al., 1992).

Existen numerosos compuestos fenólicos simples en las paredes celulares, cuya función es aún casi desconocida (Parr et al., 1997). Además, tampoco se puede olvidar la presencia de taninos condensados, unidos a la pared celular (Amrani y Glorie 1994).

### 2.1.3 Flavonoides

Los flavonoides son compuestos de bajo peso molecular que comparten un esqueleto común de difenilpiranos (C6-C3-C6), compuesto por dos anillos de fenilos (A y B) ligados a través de un anillo C de pirano (heterocíclico). Los átomos de carbono en los anillos C y A se numeran del 2 al 8, y los del anillo B desde el 2' al 6'12 (fig. 2).



**Fig 2 . Flavonoides Estructura básica y tipos.**

**Fuente (Martínez-Flores y cols. 2002)**

### *Antioxidantes*

En función de los grados de oxidación e insaturación del anillo heterocíclico se pueden diferenciar varias clases de flavonoides y dentro de cada clase se pueden establecer diferencias en base a la naturaleza y número de los sustituyentes unidos a los anillos (Robards et al., 1999). Los flavonoides se encuentran a menudo hidroxilados en las posiciones 3, 5, 7, 3', 4' y 5'. La presencia o ausencia de un grupo hidroxilo unido a la posición 3 determina la subdivisión en las dos clases principales de flavonoides; los 3-hidroflavonoides (flavanoles, flavonoles, flavanonoles, flavan-3,4-dioles o leucoantocianidinas, antocianidinas, pro-antocianidinas o taninos condensados) y los flavonoides no hidroxilados en posición 3 (flavonas, isoflavonas, flavanonas).

La mayoría de los tejidos vegetales pueden sintetizar flavonoides, los cuales se presentan en forma de glucósidos solubles en agua en las hojas y frutas empleadas en la alimentación humana. Las agluconas de los flavonoles y flavonas no se encuentran en el vegetal fresco pero pueden presentarse como consecuencia del procesamiento. Los azúcares predominantemente se unen al núcleo del flavonoide mediante enlace p-glucosídico, preferentemente en posición 3, aunque las uniones se pueden producir en otras posiciones. Se han identificado más de 80 azúcares diferentes unidos a los flavonoides; monosacáridos, disacáridos, trisacáridos e incluso tetrasacáridos (Hollman y Arts 2000). Los azúcares más comunes son glucosa, galactosa, ramnosa, arabinosa, xilosa y ácido glucurónico (Manach et al., 2004.)

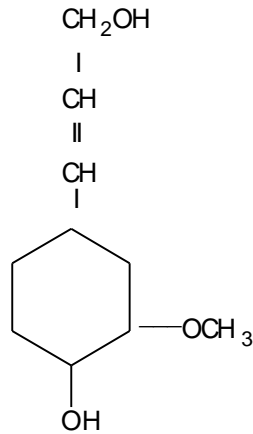
Las isoflavonas son compuestos fitoquímicos que se encuentran en las plantas. Son un tipo de fitoestrógenos que se asemejan al estrógeno humano con una estructura química más débil. Simulando estrógeno humano en ciertas partes del cuerpo, los isoflavonas proveen muchos beneficios a la salud que ayudan a evitar enfermedades. Los isoflavonas se encuentran en las leguminosas y en algunos otros vegetales. Sin embargo, en los granos de soya es donde se encuentra la mayor concentración de todos estos compuestos (sobre todo daidzeína y genisteína). Las isoflavonas también se encuentran en los granos de otras leguminosas, como en los lupinos (altramuces, tarwi), las arvejas, las habas, el trébol, etc.

#### **2.1.4 Ligninas**

Las ligninas son polímeros complejos de moléculas fenólicas. Como modelo base de estructura la lignina es el segundo polímero hidrocarbonado en abundancia después de la celulosa.

### *Antioxidantes*

Su presencia en las paredes celulares secundarias, debido a su carácter hidrofóbico, desplaza el agua, aumentando tanto la resistencia química como física y la rigidez de las paredes (Azcón-Bieto y Talón, 1993).

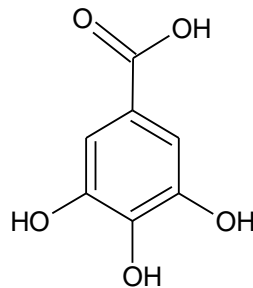


**Fig 3. Estructura de la lignina**  
**Fuente (Chabannes et al., 2001).**

Las funciones de la lignina están asociadas con el soporte mecánico de los órganos de las plantas, la conducción de la savia a través de los elementos vasculares lignificados, y mecanismos de defensa (Boudet, 2000)

### **2.1.5 Taninos**

Los taninos son compuestos fenólicos hidrosolubles de sabor áspero y amargo. Suelen acumularse en las raíces y cortezas de plantas y frutos, y están también presentes en sus hojas, aunque en menor proporción.



**Fig 4. Tanino (acido galico)**  
**Fuente. (Taiz y Zeiger. 2006.)**

### *Antioxidantes*

En nutrición a los taninos también se les considera sustancias antinutritivas, ya que en elevadas concentraciones que facilitan su condensación pueden limitar la absorción de algunos nutrientes, como es el caso del hierro. (Taiz y Zeiger 2006)

#### **2.1.6 Absorción y metabolismo de compuestos fenólicos**

El metabolismo de los compuestos fenólicos sigue una ruta común que implica reacciones de conjugación y reconjugación (Scalbert y Williamson 2000; Karakaya 2004). La mayoría de los compuestos fenólicos se encuentran en los alimentos en forma de ésteres, glucósidos o polímeros que no pueden ser absorbidos directamente en el intestino. Para ello deben ser previamente hidrolizados por enzimas intestinales o por la microflora del colon. La acción de las bacterias del colon implica la rotura de los anillos aromáticos de los compuestos fenólicos y la consiguiente producción de ácidos aromáticos simples, generalmente de menor biodisponibilidad y actividad.

Durante el curso de la absorción, los compuestos fenólicos son conjugados en intestino e hígado mediante reacciones de metilación, glucuronidación, sulfatación, o sus combinaciones. Estos conjugados son transportados por el plasma a los distintos tejidos y órganos, principalmente unidos a albúmina. Su eliminación se produce mayoritariamente por orina y bilis. Los compuestos fenólicos que siguen la ruta biliar son secretados en el duodeno, donde son sometidos a la acción de enzimas bacterianas, especialmente la p-glucuronidasa, tras la cual son reabsorbidos.

La absorción y metabolización de compuestos fenólicos está influida por factores tales como la liposolubilidad o hidrosolubilidad de la molécula, la unión a azúcares o ácidos orgánicos, o el grado de polimerización. Los coeficientes de partición parecen ejercer un efecto importante en la absorción de agluconas, glucósidos y compuestos fenólicos unidos a ácidos orgánicos. Así, las agluconas hidrofílicas no son capaces de atravesar la pared intestinal por difusión pasiva y por tanto su absorción depende de transportadores de membrana. Por ejemplo, se ha identificado en ratas un mecanismo de transporte saturable dependiente del sodio para los ácidos ferúlico y cinámico (Manach et al., 2004). El coeficiente de partición influirá también en el caso de compuestos fenólicos hidrofóbicos glucosilados, unidos a ácidos orgánicos o con sustituyentes esterificados. Compuestos hidrofílicos de similares características estructurales serán degradados por esterases de la microflora del colon, como paso previo a su absorción (Karakaya 2004).

### *Antioxidantes*

La glucosilación influye claramente en la absorción de compuestos fenólicos. La absorción gástrica de flavonoides como quercetina y daidzeína ha sido observada en estudios en ratas, pero no así la de sus glucósidos (Manach et al., 2004). Las agluconas y los polifenoles unidos a glucosa, galactosa o xilosa son absorbidos en el intestino delgado tras su deglucosilación por los enzimas p-glucosidasa y lactasa-floricin-hidrolasa (Karakaya 2004), mientras que los compuestos fenólicos unidos a ramnosa deben llegar al colon y ser hidrolizados por las ramnosidasas bacterianas antes de su absorción (Manach et al., 2004). Flavonoides acilados como la epicatequina y epigalocatequina son absorbidos sin deconjugación ni hidrólisis previa. Las agluconas de las isoflavonas son absorbidas en el estómago, mientras que sus glucósidos son absorbidos en el intestino (Karakaya 2004). Los antocianos, por el contrario, parecen constituir una excepción ya que las formas predominantes en sangre son sus glucósidos intactos. Algunos autores han sugerido la existencia de un mecanismo específico de absorción de los antocianos a nivel gástrico, que podría implicar su transporte vía bilitranslocasa gástrica (Passamonti et al., 2002; Manach et al., 2004).

El grado de polimerización de los compuestos fenólicos determina la facilidad de su absorción intestinal. Un claro ejemplo es el de las proantocianidinas (ej. procianidinas B<sub>2</sub> y B<sub>3</sub>), que se caracterizan por su naturaleza polimérica y su elevado peso molecular. Esta característica estructural limita su absorción intestinal de modo que oligómeros de más de tres unidades es poco probable que sean absorbidos en el intestino delgado. No obstante, estudios in vitro sugieren que los oligómeros de procianidina podrían ser hidrolizados a mezclas de monómeros y monómeros de flavonoles. Sin embargo, a pesar de su baja biodisponibilidad, las proantocianidinas podrían ejercer efectos fisiológicos en el tracto gastrointestinal a nivel local tras su degradación a ácidos fenólicos por la acción bacteriana (Manach et al., 2004).

Los efectos beneficiosos derivados del consumo de compuestos fenólicos dependen de la cantidad consumida y de su biodisponibilidad. La gran variedad estructural de los compuestos fenólicos, así como la influencia de factores genéticos, agronómicos, del procesado y almacenamiento sobre sus niveles en los alimentos, hace difícil estimar con exactitud la ingesta de compuestos fenólicos en la dieta (Duthie et al., 2003). Se estima que la ingesta aditiva de flavonoles, flavanonas, flavanoles e isoflavonas en las sociedades occidentales es de 100-150 mg/día.

### *Antioxidantes*

A estas cantidades habría que añadir una ingesta variable de ácidos hidroxycinámicos, antocianos y proantocianidinas, aportada principalmente por café, té, bayas y vino. Así, la ingesta total de compuestos fenólicos probablemente alcanza 1 g/día en personas que ingieren varias raciones de fruta y verdura al día (Manach et al., 2004).

### **Radicales libres:**

#### **2.1.7 Concepto de radical libre:**

Un radical libre es una especie química definida, una molécula o fragmento de molécula, que contiene uno o más electrones desapareados en su orbital externo lo que lo convierte en un compuesto altamente inestable y fugaz con gran capacidad de formar otros radicales libres por reacciones químicas en cadena (Halliwell B.1994). Tienen una vida media del orden de milisegundos debido a su gran reactividad, aunque ella varía según el tipo de radical libre. Asimismo, existen también radicales libres nitrogenados o especies reactivas de nitrógeno (ERN), que por su importancia ha visto acrecentar su estudio considerablemente en los últimos tiempos.

<b>Radical</b>	<b>Sustrato<sup>a</sup></b>	<b>Concentración<sup>b</sup></b>	<b>Vida media A ( 37° C)</b>
<b>HO•</b>	LH	1 M	10 <sup>-9</sup> seg.
<b>RO•</b>	LH	100mM	10 <sup>-6</sup> seg
<b>ROO•</b>	LH	1mM	7 seg
<b>L•</b>	O <sub>2</sub>	20mM	10 <sup>-8</sup> seg
<b>Q•</b>			días

**Tabla 1- Vida media de algunos radicales libres celulares**

**Fuente ( Doménech 2006)**

- a) El sustrato elegido son moléculas diana típicas de las especies de la primera columna.
- b) Los valores de concentración tratan de reproducir la selectividad “in vivo” del radical por su molécula diana.

## *Antioxidantes*

### **2.1.8 Clases de radicales libres**

Existen muchas clases de radicales libres, tanto EROs (Especies Reactivas del Oxígeno) como ERNs (Especies Reactivas del Nitrógeno). Algunos de los radicales libres más importantes son:

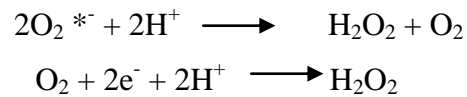
#### **2.1.8.1 Anión superóxido ( $O_2^{\bullet-}$ )**

Estado de reducción del oxígeno de un electrón, formado en muchas reacciones de autooxidación. Es relativamente poco reactivo, pero potencialmente tóxico, ya que puede iniciar reacciones que den lugar a otros intermediarios a su vez muy reactivos. Puede formarse como producto de muchas reacciones catalizadas enzimáticamente, (Behard et al. 1979), y también en reacciones no enzimáticas del oxígeno con la cisteína o la riboflavina, o bien se produce en la cadena respiratoria mitocondrial (Boveris y Oshino. 1972)



#### **2.1.8.2 Peróxido de hidrógeno ( $H_2O_2$ )**

El agua oxigenada se forma como resultado del estado de reducción de dos electrones del oxígeno, formado a partir del radical  $O_2^{\bullet-}$  por dismutación, o directamente del  $O_2$



No es un radical libre, pero su toxicidad es importante ya que atraviesa fácilmente las membranas. Muchas enzimas producen agua oxigenada a partir de oxígeno (Fridovich, 1986). También puede producirse por reacciones químicas, como la auto oxidación del ácido ascórbico catalizada por el cobre. Se convierte en agua por acción de la catalasa, un proceso que determina su vida media.

#### **2.1.8.3 Hidroxilo ( $OH^{\bullet}$ )**

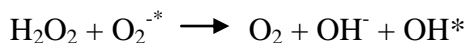
Estado de reducción de tres electrones de la molécula de oxígeno. Es la especie más reactiva, con una vida media estimada de alrededor de  $10^{-9}$  s (Liochev y Fridovich 1994). Puede generarse in vivo como consecuencia de radiaciones de alta energía (rayos X, rayos  $\gamma$ ) que pueden provocar rotura hemolítica del agua corporal. La luz UV no tiene suficiente energía como para escindir una molécula de agua, pero puede dividir el agua oxigenada en 2 moléculas de radical hidroxilo.

### *Antioxidantes*

Otro proceso todavía más importante en la formación del radical hidroxilo es la llamada reacción de Fenton (Fenton, 1894):



También a partir de agua oxigenada y del radical superóxido el radical hidroxilo puede formarse por la Reacción de Haber-Weiss (Haber y Weiss, 1934):



Esta reacción es catalizada por metales como hierro o cobre.

#### **2.1.8.4 Peroxilo (ROO•)**

Formado a partir de hidroperóxidos orgánicos, por ejemplo lípidos, o ROOH por pérdida de hidrógeno. Tiene una vida media relativamente larga (del orden de segundos).

#### **2.1.8.5 Oxígeno singulete (O<sub>2</sub>)**

Es una forma excitada del oxígeno molecular. No es un radical libre y se forma in vivo por acción de la luz sobre las moléculas de oxígeno. Su vida media es alrededor de 10<sup>-6</sup> segundos, dependiendo de la naturaleza de la matriz circundante. Puede interaccionar con otras moléculas transfiriéndoles su energía de excitación o combinándose químicamente con ellas. Puede formarse en la oxidación del NADPH en los microsomas, en la actividad de varias enzimas como la xantin-oxidasa, la lacto-peroxidasa, lipo-oxigenasa y prostanglandin-sintetasa, entre otras (Kanofsky, 1989)

#### **2.1.8.6 Óxido nítrico (NO•)**

El estudio del (NO•) ha cobrado gran relevancia por la importante función fisiológica que desempeña, además es considerado un intermediario tóxico importante por su condición de radical libre. Es un gas lipofílico e hidrosoluble, cuya vida media es relativamente larga (3-5 s). Su formación tiene lugar por una reacción en la que la enzima óxido nítrico-sintasa cataliza la conversión de L-arginina a L-citrulina dando como subproducto NO• en numerosos tipos celulares (Nisoliy Clementi 2003). Dicha enzima presenta tres isoformas: la neuronal n-NOs (tipo I), la endotelial e-NOs (tipo III) y la inducible i-NOs (tipo II) (Bredt y Glatt. 1991; Lamas y Marsden. 1992). Es capaz de inducir la peroxidación lipídica en lipoproteínas, interferir con la señalización celular por nitración de residuos tirosina, oxidar grupos tioles y guanosinas, de degradar carbohidratos y de fragmentar ADN (Beckman y Chen 1994)



## Antioxidantes

El óxido nítrico genera anión peroxinitrito (ONOO<sup>-</sup>) al reaccionar con el anión superóxido (Miles y Bohle. 1996), tal como se muestra en la siguiente reacción:



### 2.1.8.7 Dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>•)

El dióxido de nitrógeno es un radical libre contaminante producido primariamente a partir de la oxidación del NO• atmosférico (Postlethwait y Langford. 1995). Es un iniciador muy efectivo de la cadena de peroxidación lipídica (Kaur y Halliwell 1994)

Especie	Símbolo
Radical superóxido	O <sub>2</sub> <sup>•-</sup>
Radical Hidroperóxido	HO <sub>2</sub> <sup>•</sup>
Peróxido de hidrogeno	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>
Radical hidroxilo	OH <sup>•</sup>
Radical alcóxido	RO <sup>•</sup>
Radical Peróxido	ROO <sup>•</sup>
Óxido nítrico	NO <sup>•</sup>
Dióxido de nitrógeno	NO <sub>2</sub>

**Tabla 2 tipo de radicales libres**  
**Fuente. (Postlethwait y Langford 1995).**

### 2.1.9 Radicales libres generados en el metabolismo humano

Una vez generados, los radicales libres se aparean rápidamente a un electrón desapareado cediendo o arrancando un electrón, uniéndose a otro radical libre o a una estructura molecular adyacente no radicalaria, con el fin de estabilizarse. La vida aerobia precisa oxígeno para oxidar los nutrientes provenientes de la dieta y obtener así energía. La reducción parcial de la molécula de oxígeno puede generar EROs como el hidroperóxido de hidrógeno (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) y los radicales libres, superóxido (O<sub>2</sub><sup>•-</sup>), hidroperóxilo (HO<sub>2</sub><sup>•</sup>) e hidroxilo (.OH) (Gutteridge, JM 1995). Los óxidos de nitrógeno, óxido nítrico (.ON) y dióxido nítrico (NO<sub>2</sub>•), son asimismo radicales libres.

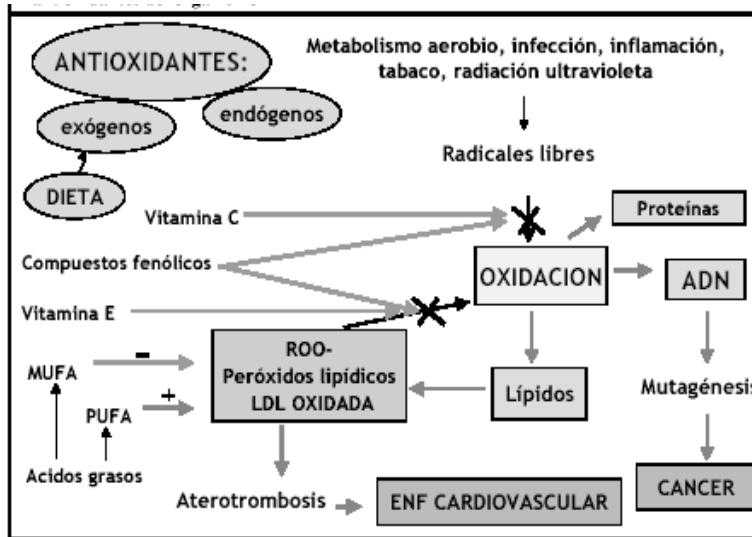
## *Antioxidantes*

El óxido nítrico presenta un especial interés al ser sintetizado por las células endoteliales como factor vasodilatador. Cuando el óxido nítrico reacciona con el superóxido se produce el peroxinitrito ( $\text{ONOO}^-$ ), con un gran poder oxidante. (Gutteridge JM.1995)

La definición de radical libre también incluye los metales de transición cuando tienen uno o más electrones desapareados (Gutteridge JM.1995). A concentraciones moderadas y dada su corta existencia, los radicales libres pueden desempeñar un importante papel como mediadores en la regulación de varios procesos fisiológicos. (Droge 2002), como mediadores de los efectos del factor de crecimiento derivado de las plaquetas sobre las células musculares lisas (Sundaresan et. al 1995), activadores de la adenilato-ciclase (Tan et.al 1995) o vasodilatador como en el caso del óxido nítrico (ON). (Moncada y Vane. 1979). Sin embargo, a concentraciones elevadas, pueden dañar la mayoría de los constituyentes celulares y son notablemente peligrosos para los organismos vivos (Droge 2002). Los radicales libres se sintetizan fisiológicamente en el organismo humano como parte del metabolismo energético, pero la producción se incrementa frente a diferentes agresiones como infecciones, ejercicio físico extremo, dietas desequilibradas, tóxicos alimentarios y contaminantes ambientales entre otros.

Los ácidos grasos poliinsaturados (AGPI) son especialmente sensibles, dentro del grupo de los lípidos, al ataque de los radicales libres; los cuales pueden alterar la actividad celular, tanto a nivel de funciones de membrana, del metabolismo o de expresión génica (Cross, et al 1987).

Los radicales libres son capaces de dañar (reversible o irreversiblemente) todo tipo de compuestos, incluyendo ácidos nucleicos, proteínas y aminoácidos libres, lípidos, carbohidratos y macromoléculas del tejido conectivo (figura 5) (Cross, et al 1987).



**Fig 5. Desequilibrio entre la producción de especies reactivas y las defensas antioxidantes del organismo**

**Fuente (Cross et al 1987)**

### 2.1.10.1 Oxidación proteica

La oxidación proteica se define como una modificación covalente en una proteína inducida por especies reactivas. (Shacter, 2000). Los cambios oxidativos en proteínas pueden comportar diversas consecuencias en su función, como la inhibición de la actividad enzimática, un incremento de la susceptibilidad a la agregación y proteólisis, un aumento o disminución de la captación celular y una alteración de la inmunogénesis (Shacter 2000). Los carbonilos proteicos son los marcadores de la modificación oxidativa proteica más ampliamente utilizados, aunque existen otros como la o-tirosina, cloro-, nitro- y di-tirosina (Chevion, et al 2000). Las especies reactivas de oxígeno y nitrógeno, pueden oxidar los aminoácidos de proteínas formando los carbonilos proteicos, que han sido asociados con el envejecimiento y la severidad de algunas patologías (Chevion, et al 2000).

### **2.1.10.2 Oxidación del ácido desoxirribonucleico**

El ADN en las células vivas sufre constantemente lesiones a nivel molecular seguidas de procesos fisiológicos de reparación (Loft y Poulsen 1998). Los productos de las lesiones oxidativas del ADN, como nucleósidos y bases oxidados, tienen una naturaleza hidrofílica y suelen excretarse en orina sin sufrir cambios metabólicos. Cabe destacar que los productos de oxidación del ADN en orina representarían la proporción media de lesión en el organismo, mientras que el nivel de bases oxidadas en el ADN nuclear de una muestra sería la concentración específica de esa muestra (Loft y Poulsen 1998). Los marcadores de lesión oxidativa de ADN en humanos son la determinación de nucleósidos y bases oxidados en orina (8-oxo-2'-deoxiguanosina, 8-oxoguanina, timin-glucol, timidin-glucol y 5-hidroxi metiluracilo), y la detección de modificaciones en ADN aislado de tejido o células (Natella, et al 2001; Oltra, et al 2001; Loft y Poulsen 1996).

### **2.1.10.3 Peroxidación lipídica**

Los radicales libres inician y causan la peroxidación de los lípidos (triglicéridos, fosfolípidos, lipoproteínas), particularmente aquellos que componen las membranas celulares. La peroxidación lipídica es un proceso radicalario autocatalítico que transcurre en 3 etapas. La etapa de iniciación se desarrolla cuando los radicales libres captan un átomo de hidrógeno ( $H^+$ ) de un carbono metileno de un AGPI, formándose un doble enlace alterno coplanar denominado DC (Gutteridge 1995).

Tras la pérdida del átomo de hidrógeno, el átomo de carbono queda con un electrón desapareado generándose un radical carbonilo (R.) que se estabiliza formando un DC. En la etapa de propagación el DC reacciona con el oxígeno dando lugar a un radical peróxido (ROO), el cual seguidamente capta otro  $H^+$  de otro AGPI, dando lugar a un lipoperóxido (ROOH) y a otro radical carbonilo, iniciándose una reacción en cadena autocatalítica (figura 3) (Gutteridge, 1995). En la fase de terminación 2 radicales carbonilo reaccionan entre ellos formando un producto estable e inactivo (R-R) o cuando un radical peróxido es estabilizado por un antioxidante.

## *Antioxidantes*

Un lipoperóxido es una especie químicamente bastante estable pero en presencia de metales divalentes como el  $\text{Fe}^{2+}$ , puede generar un radical alcoxilo, que conlleva la formación de determinados productos terminales de oxidación de toxicidad diversa como el malondialdehído, hidroxinonenal y hexanal (Jialal y Devaraj, 1996)

La peroxidación lipídica tiene un papel trascendental en la fisiopatología de la arteriosclerosis, sobre todo si consideramos la hipótesis oxidativa de la enfermedad arteriosclerótica (papel de la LDL oxidada) (Gutteridge .1995).

### **2.1.11 Estrés oxidativo en la salud humana**

El oxígeno es esencial para los organismos vivos. Sin embargo, la generación de especies reactivas del oxígeno (ROS) y radicales libres (RL) es inevitable en el metabolismo aeróbico. Estas especies oxidantes provocan daños acumulativos en moléculas fundamentales para el funcionamiento del organismo, tales como proteínas, lípidos y ADN. No obstante, el organismo tiene sus propios mecanismos de defensa para hacer frente a la acción de las especies oxidantes. En determinadas situaciones las defensas antioxidantes pueden verse desbordadas por la excesiva generación de ROS. Este desequilibrio entre especies oxidantes y antioxidantes se conoce como estrés oxidativo, el cual está asociado a numerosas enfermedades y al proceso de envejecimiento (Lee. et al., 2004).

La dieta juega un papel importante en la prevención de enfermedades relacionadas con el estrés oxidativo, fundamentalmente a través del aporte de compuestos bioactivos de origen vegetal. Entre ellos, las vitaminas hidrosolubles y liposolubles, carotenoides y una gran variedad de compuestos fenólicos, cuya actividad antioxidante y potenciales efectos beneficiosos están siendo ampliamente investigados en los últimos años (Prior, et al 2003). Así, las evidencias epidemiológicas que asocian el consumo de vegetales y frutas con una menor incidencia de enfermedades crónicas, junto con la mayor preocupación de los consumidores por mantener un estado de salud adecuado, está llevando a las industrias alimentarias a diseñar alimentos que supongan un aporte extra de estos antioxidantes naturales.

### 2.1.12 Equilibrio y desequilibrio entre la producción de especies reactivas y las defensas antioxidantes del organismo

Los efectos dañinos de los radicales libres están controlados en el organismo humano mediante un amplio espectro de antioxidantes endógenos (enzimas antioxidantes, glutatión, albúmina, transferrina, ceruloplasmina, ácido úrico, bilirrubina, albúmina) y exógenos de origen dietario [vitaminas E y C, carotenoides, selenio, etc. Dentro del grupo de compuestos fenólicos (CF), se encuentran los ácidos fenólicos, fenoles no carboxílicos y flavonoides] (figura 6) (Gutteridge 1995).

Muchos compuestos antioxidantes actúan por un único mecanismo, pero otros como por ejemplo los CF pueden tener acciones combinadas (Ramón, et al 1996; Bravo 1998). Los compuestos fenólicos estabilizan los radicales libres al ceder un hidrógeno de sus grupos hidroxilos, formándose un puente de hidrógeno entre dos grupos cercanos. El grado de actividad de los CF y de otros muchos antioxidantes, está relacionado con el número de grupos hidroxilo que posee la molécula (Nicolaiiew et al. 1998, Rice, et al. 1996)

Según su modo de actuación en el organismo los antioxidantes se clasifican en primarios, secundarios o terciarios, como se ve en la fig 6.

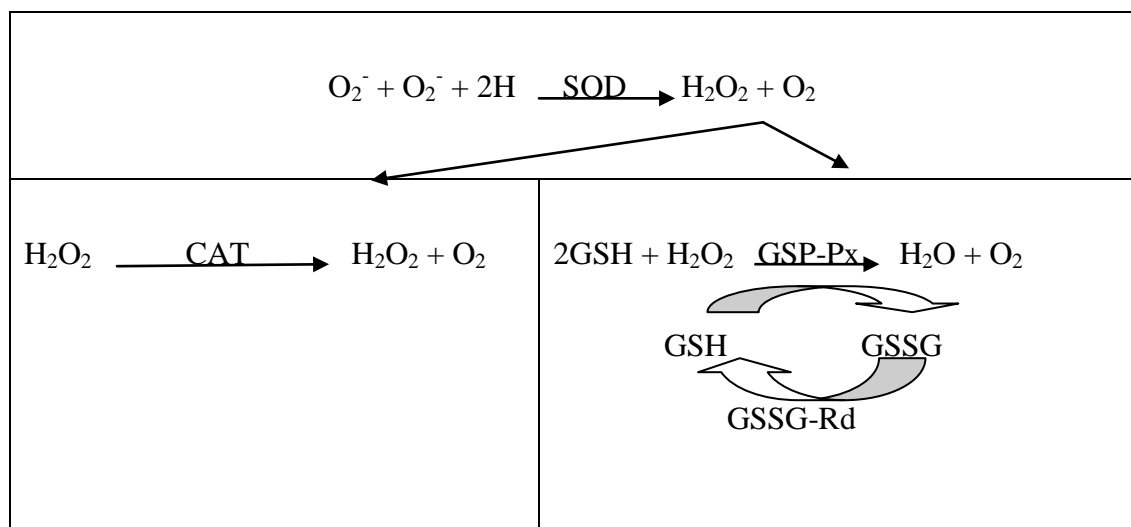
<b>Primarios:</b> impiden la formación de radicales libres (quelantes de metales de transición)
<b>Secundarios:</b> interrumpen la reacción de propagación por inactivación (como el $\alpha$ -tocoferol y el ácido ascórbico) o desplazan a las especies reactivas de oxígeno (como el ácido ascórbico, carotenoides, glutatión peroxidasa y la mayoría de enzimas antioxidantes)
<b>Terciarios:</b> reparan el daño causado a las moléculas o eliminan aquellas que se han estropeado

**Fig 6. Clasificación de los compuestos antioxidantes según su modo de actuación**

**Fuente: (Kumpulainen y Salonen , 1999)**

## Antioxidantes

Entre los componentes del sistema antioxidante endógeno destacan las enzimas antioxidantes. Están representadas las distintas vías metabólicas de acción de estas enzimas antioxidantes. La paroxanasa es una enzima extracelular específica de las lipoproteínas de alta densidad (HDL) que se encuentra asociada a la apolipoproteína-A1 (Navarro-Lopez 2002) -enzima es capaz de hidrolizar los peróxidos lipídicos y destruir las moléculas proinflamatorias producidas por la inflamación de las lipoproteínas de alta densidad (LDL) (Navarro-Lopez 2002). La concentración de la paroxanasa aumenta de forma masiva en las placas de ateroma, posiblemente en respuesta al aumento del estrés oxidativo (Hegele 1999).



SOD, superóxido dismutasa; CAT, catalasa; GSH-Px, glutatión peroxidasa; GSSG-Rd, glutatión reductasa; GSH, glutatión reducido; GSSG, glutatión oxidado; GSH-S-T, glutatión transferasa; PON, paroxanasa

### Fig 7. Enzimas antioxidantes endógenas

Fuente (Navarro-Lopez 2002)

Las actividades enzimáticas de la superóxido dismutasa (SOD) y glutatión peroxidasa (GSH-Px) están consideradas como las defensas antioxidantes endógenas más importantes del organismo frente a la producción de radicales libres. (Ferrari et al. 1998). En los mamíferos existen 3 isoenzimas de SOD, 2 -intracelulares (CuZn-SOD citosólica y Mn-SOD mitocondrial) y 1 - extracelular.

## *Antioxidantes*

La SOD cataliza la dismutación del anión superóxido ( $O_2^{\cdot-}$ ) a  $H_2O_2$ . El  $H_2O_2$  es desactivado por la catalasa así como por la GSH-Px, que oxida el glutatión (GSH), formándose  $H_2O$  más  $O_2$ . Asimismo la GSH-Px, cuya actividad es selenio-dependiente, convierte los hidroperóxidos formados por los radicales libres en alcoholes no tóxicos. La isoenzima glutatión-S-transferasa (GSH-S-T) es selenio-no-dependiente, a diferencia de la GSH-Px, y participa en la biotransformación de muchos compuestos (Ceballos-Picot et al. 1992); La GSH-S-T puede catalizar la conjugación del GSH con una gran variedad de peróxidos orgánicos (los lipoperóxidos inclusive) formándose compuestos más hidrosolubles (Ceballos-Picot et al. 1992). La glutatión reductasa (GSSG-Rd) tiene la función de regenerar el glutatión oxidado (GSSG).

Las actividades de las enzimas antioxidantes dependen del equilibrio entre su consumo o inactivación, y su inducción. La inducción mantenida de enzimas antioxidantes representaría un factor protector frente a la generación de radicales libres (Davies 1995). Así, el incremento de actividad de CuZn-SOD y GSH-Px se considera uno de los efectos beneficiosos del procedimiento isquémico sobre el miocardio. Por otra parte, se han descrito grados bajos de actividad SOD y GSH-Px en enfermedades relacionadas con el estrés oxidativo incluyendo la EC (enfermedad coronaria), diabetes mellitas, neoplasias, enfermedades glomerulares renales y enfermedades cerebrales asociadas al envejecimiento.

La actividad de estas enzimas está siendo investigada en la actualidad como posible marcador biológico de diversas patologías como la aterosclerosis. (Landmesser et al. 2000, Kesavulu et al. 2001. Toh et al. 2000. Turi. et al. 1997, De la Torre et al. 1996. Yegin et al. 1997)



## **2.2 CARACTERIZACIÓN DE LAS ESPECIES ESTUDIADAS**

### **2.2.1 AVENA**

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta

Clase: Liliopsida

Orden: Poales

Familia Poaceae (Gramineae)

Género: Avena L.

Especie: A. sativa.

Nombre común: Avena sativa



La avena, *Avena sativa* L., es un nombre común de las semillas o granos de cierto género de plantas y de las propias plantas. El género contiene unas 25 especies distribuidas por las regiones templadas frías de todo el mundo. Varias se cultivan como forraje para caballos y ganado vacuno y como cereal para consumo humano (Caceres, 1993).

Entre los fitoquímicos encontrados en los granos se incluyen varios antioxidantes, fitoestrógenos (isoflavonas, coumestanos y lignanos) y oligosacáridos (fructanos, inulina y oligofructosa) (Ruiz .2005)

#### **2.2.1.2 Morfología de la especie**

Esta planta tiene raíces reticulares, potentes y más abundantes que en el resto de los cereales. Su tallo es grueso y recto con poca resistencia a los vientos, su longitud puede variar de 50 cm. a un metro y medio. Sus hojas son planas y alargadas, con un limbo estrecho y largo de color verde oscuro, sus flores se presentan en espigas de dos o tres de ellas. Tiene menor resistencia al frío que la cebada y el trigo. Se siembra a principios de la primavera, para cosecharla a fines del verano. Es exigente en agua por su alto coeficiente de transpiración, aunque el exceso puede perjudicarla. Es muy sensible a la sequía, sobre todo en el periodo de formación del grano. (Cáceres, 1993).

### **2.2.1.3 Distribución de la especie**

El cultivo de la avena se realiza en las siguientes zonas

- a) Zona alto andina de 3000 a 4000 m.s.n.m.
- b) Zona de ladera de 2500 a 3000 m.s.n.m.
- c) Zona de valle de 2300 a 2500 m.s.n.m.

La avena es un cereal anual cultivado y en Bolivia se siembra en las zonas alto-andinas, en laderas y valles (2200 a 4000 m.s.n.m.). Se siembra tanto al secano como bajo riego en cualquier época del año y se adapta bien a diferentes tipos de suelo (arcilloso, areno-arcilloso, franco –arenoso) además es tolerante a la acidez del suelo. (Cáceres, 1993)

### **2.2.1.4 Usos y aplicaciones de la especie**

Se utiliza el grano como forraje para el ganado vacuno y como cereal para el consumo humano ya que es rico en proteínas de alto valor biológico, grasas y un gran número de vitaminas, minerales. Es el cereal con mayor proporción de grasa vegetal, un 65% de grasas no saturadas y un 35% de ácido linoleico. También contiene hidratos de carbono de fácil absorción, además de sodio, potasio, calcio, fósforo, magnesio, hierro, cobre, zinc, vitaminas B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, B<sub>3</sub>, B<sub>6</sub> y E. además contiene una buena cantidad de fibras, que no son tan importantes como nutrientes pero que contribuyen al buen funcionamiento intestinal. La harina de avena contiene antioxidantes que evitan la rancidez de productos alimenticios.

## **2.2.2 QUINUA**

Reino: Plantae  
División: Magnoliophyta  
Familia: Amaranthaceae  
Clase: Magnoliopsida  
Orden: Chenopodium  
Especie: C. quínoa  
Género: Chenopodium



## *Antioxidantes*

La quinua o quínoa, *Chenopodium quínoa* Willd.), es un grano de la familia *Chenopodiaceae* que crece desde el nivel del mar en Chile y Perú, hasta los 4000 m.s.n.m. en los Andes, aunque su difusión se incrementa a partir de los 2500 m.s.n.m.

Se produce en las zonas andinas de Argentina, Bolivia, Chile, Colombia, Ecuador y Perú además de los Estados Unidos (Estado de Colorado). Bolivia es el primer productor mundial seguido de Perú y los Estados Unidos. Se le denomina pseudocereal porque no pertenece a la familia de las gramíneas en la que están los cereales.

Por coherencia científica denominamos a la quinua y a la cañihua “granos andinos”. Debido a su alto contenido de almidón sus usos son similares a los de un cereal (Hellin y Higman.2001).

Desde el punto de vista químico los reportes de la composición química de la quinua dan a conocer la presencia de tres tipos de saponinas terpenoides. son:

- (1)isorhamnetina 3-O-β-D-apiofuranosil-(1→2)-O-[α-L-rhamnopiranosil (1→6)]-β-D-glucopiranosido.
- (2) quercetin 3-O-β-D-galactopiranosido;
- (3) quercetin 3-O-β-D-apiofuranosilo (1→2)-O-[α-L-rhamnopiranosilo (1→ 6)]-β-D-glucopiranosido.

La astringencia en el sabor de este grano es producida por presencia de las saponinas y flavonoides glucósilados así como dos flavonol-glucósidos. El mayor grupo de metabolitos secundarios aislados pertenece a la familia de los flavonoides. (Ruales y Nail, 1993).

### **2.2.2.1 Morfología de la especie**

La quinua es una planta anual, dicotiledónea que puede alcanzar una altura de 1 a 3 m. Las hojas son anchas y poliformes (diferentes formas en la misma planta). El tallo central comprende hojas lobuladas y quebradizas y puede tener o no ramas, dependiendo de la variedad o densidad del sembrado. Las flores son pequeñas y carecen de pétalos. Generalmente son bisexuales y se autofertilizan. El grano es seco y mide aproximadamente 2 mm de diámetro (de 250 a 500 semillas por panoja), circundando al cáliz, el cual tiene el mismo color que la planta. (Hellin y Higman.2001)

### **2.2.2.2 Distribución de la especie**

La quinua es también conocida como “arrocillo”, trigo inca, kinua (en quechua), quinhua (en mapuche) y “arroz del Perú”. Es netamente sudamericana (Andes de Colombia, Perú, Ecuador, Chile, Bolivia), y se cultiva desde hace unos 3000 a 5000 años. Hay variedades de *Chenopodium* parientes de la quinua, que como el *Chenopodium album* se cultivan en zonas asiáticas desde los Himalayas, hasta Vietnam. (Hellin y Higman.2001)

### **2.2.2.3 Usos y aplicaciones de la especie**

El grano de la quinua es un alimento rico, muy completo y de fácil digestión y posee los 10 aminoácidos esenciales para el consumo humano. Tradicionalmente los granos de quinua se tuestan y con ellos se produce harina. También pueden ser cocidos, añadidos a las sopas, usados como cereales, pastas e inclusive se fermentan para obtener cerveza y chicha de quinua, bebida blanca tradicional de los Andes. Cuando se cuece toma un sabor similar a la nuez. (Hellin y Higman.2001).

La harina de quinua es producida y comercializada en Perú, Bolivia y Colombia (aunque en menor cantidad), sustituyendo muchas veces a la harina de trigo, enriqueciendo así a sus derivados como ser panes, tortas y galletas. Uno de los platos típicos es él “pesque” que se prepara con leche. La quinua con queso se puede combinar con huevo frito e incluso con un trozo de carne. (Hellin y Higman.2001)

### **2.2.3 MAÍZ**

Reino: Plantae  
División: Magnoliophyta  
Clase: Liliopsida  
Orden: Poales  
Familia: Poaceae  
Género: Zea  
Especie: Zea mays



*Zea mays*, es una gramínea anual, originaria de las Américas e introducida en Europa a partir del siglo XVI. Se ha documentado el cultivo de algunas de sus variedades en la China, donde se habría difundido a partir del Tíbet ya en el siglo XV como resultado de las expediciones del Almirante Zheng He y la “Flota del Tesoro”. Su origen americano mayoritario es el más probable. Actualmente es el cereal más sembrado en el mundo en volumen de producción, superando al trigo y al arroz. Es conocido con el nombre común de maíz que tiene origen caribe. En quechua se conoce como sara. *Zea mays* recibe también en español nombres como oroña, danza, millo, mijo o panizo. En México, las mazorcas maduras, pero frescas reciben el nombre de elote que viene del nombre nahuatl elotl, que en Sudamérica y otros países del área sudamericana recibe el nombre de choclo. Al eje fibroso de la mazorca se denomina marlo en Bolivia, coronta en el Perú. (Cáceres, 1993) y corncob en inglés

El ácido ferúlico es el principal compuesto fenólico en el maíz, Zeaxantina, carotenoides. La cantidad y tipo de tocoferoles presentes en el grano de maíz pueden considerarse un factor de calidad ya que ellos poseen actividad provitamínica E y a su vez protegen de la oxidación a las dobles ligaduras de los ácidos grasos insaturados ( Cirilo y Andrade. 1998). Por otro lado, la presencia de antocianidinas en los maíces morados como responsables de tal color fue demostrada (De Pascual et al., 2002)

### **2.2.3.1 Morfología de la especie**

*Zea mays* es una planta monoica, sus inflorescencia masculinas y femeninas se encuentran en la misma planta. Si bien la planta es anual, su rápido crecimiento le permite alcanzar hasta los 2,5 m de altura, con un tallo erguido, rígido y sólido. El tallo está compuesto a su vez por tres capas: una epidermis exterior cerosa, impermeable y transparente, una pared por donde circulan las sustancias alimenticias y una médula de tejido esponjoso y blanco donde almacena reservas alimenticias, en especial azúcares. Las hojas toman una forma alargada íntimamente arrolladas al tallo, del cual nacen las mazorcas. Cada mazorca consiste de un tronco que está cubierto por filas de granos, la parte comestible de la planta

### **2.2.3.2 Distribución de la especie**

Se cultiva mucho en los Andes sudamericanos, en los territorios que ocupaba el antiguo Imperio Inca. El maíz dulce es el tipo más cultivado para consumo humano directo. La producción de maíz en Bolivia el año 2007 se estimó en 770.365 TM (Anuario Estadístico 2007. INE)

### **2.2.3.3 Usos y aplicaciones de la especie**

Puede cocinarse entero, desgranado (como ingrediente de ensaladas, sopas y otras comidas). La harina de maíz (polenta) puede cocinarse sola o emplearse como ingrediente de otras recetas. El aceite del germen de maíz es relativamente uno de los más económicos y es muy usado para freír alimentos. (Cáceres, 1993) En la cocina latinoamericana el maíz tiene participación importante en diversos platos como: tortillas, humintas o humitas, locros, choclo o chococho, arepas, cachapas, hallacas, hallaquitas, tamales que en muchos casos re enlazan al pan de trigo en la cocina local. En muchos países de esta región es muy importante el consumo de harina de maíz precocida. (Cáceres, 1993). Los copos de maíz han sido popularizados en el consumo de la población de los Estados Unidos como cereal para infantes.

## **2.2.4 TARWI**

Reino:	Plantae
División:	Magnoliophyta
Clase:	Magnoliopsida
Orden:	Fabales
Familia:	Fabaceae
Subfamilia:	Faboideae
Tribu:	Cytiseae
Género:	Lupinus
Sub género:	Platycarpos
Especie:	L. mutabilis.



## *Antioxidantes*

Nombre común: Quechua: tarwi, tarhui (Bolivia, Perú), Aymará: tauri, chuchus muti, (Ecuador y Norte de Perú) chocho, chochito, (Azángaro, Perú) castellano: altramuz andino, lupino, chocho: Andean lupine, peral lupin, lupino andino, lupino perla.

El tarwi (*Lupinus mutabilis Sweet*) es una leguminosa que fija nitrógeno atmosférico en cantidades apreciables de cerca de 100 Kg. /ha, restituyendo la fertilidad del suelo cultivada en el área andina desde épocas preincaicas. Se desarrolla en valles templados y áreas alto andinas (Jacobsen y Mujica..2006)

### **2.2.4.1 Morfología de la especie**

Es una leguminosa herbácea erecta de tallos robustos, algo leñosa. Alcanza una altura de 0.8-2.0 m. se cultiva principalmente entre los 2000 y 3800 m. de altitud, en climas templados y fríos. (Jacobsen. y Mujica2006)

### **2.2.4.2 Distribución de la especie**

Se cultiva tradicionalmente en los Andes desde los 1500 m. encontrándose en Venezuela, Colombia, Ecuador, Perú, Bolivia, Chile y Argentina. Sus semillas son usadas en la alimentación humana. Los lupinos ocupan uno de los primeros lugares entre los alimentos nativos con elevado contenido de proteínas y aceites a nivel mundial. (Jacobsen y Mujica.2006)

### **2.2.4.3 Usos y aplicaciones de la especie**

Su uso se ha visto restringido por el contenido de alcaloides en los cotiledones que le dan un intenso sabor amargo, lo que lleva a la necesidad de desamargarlo para su uso alimentario. Industrialmente se ha obtenido harina de tarwi y con ella se amplía su uso en la panificación, utilizando hasta un 15% con la ventaja de mejorar considerablemente el valor proteico y calórico. El contenido de lecitina de sus aceites mejora la calidad del pan. Asimismo permite mejor conservación del pan debido a la retrogradación del almidón. También su importancia radica en la elevada cantidad de aceite que contienen sus semillas; gracias a la cual es considerada como la soya de los Andes. Reviste importancia en la alimentación humana por ser un alimento altamente nutritivo y de gran facilidad de

## *Antioxidantes*

preparación, así como bajo costo, permite preparar una gama de platillos: entradas, sopas, guisos, postres y bebidas. En fresco, se puede utilizar en guisos, en purés, en salsas, cebiche de chocho, sopas (crema de tarwi); guisos (pepian), postres (mazamoras con naranja) y refrescos (jugo de papaya con harina de tarwi). (Jacobsen y Mujica..2006)

### **2.2.5 QENTU**

Orden: Caryophyllales  
Familia: Polygonaceae  
Género: Rumex  
Especie: Rumex acetosella  
Nombres comunes: Acedorilla, vinagrerita y vinagrita.



#### **2.2.5.1 Morfología de la especie**

La planta de qentu tiene un tamaño de hasta 40 cm. de alto: un tallo erguido o tendido en el suelo y con las puntas ascendentes, verdes o rojizas, estriadas, simples o ramificadas, sin pelos. En el lugar donde nace cada hoja y rodeando al tallo y a veces la base del peciolo, se encuentra la ocrea que es un tubo membranoso, translucido, que se rompe y destruye pronto. Ocrea desgarrada, translucida y con frecuencia rojiza. Hojas: alternas, de hasta 6 cm. De largo, sobre largos peciolos (de 1 a 10 cm de largo). Las flores dispuestas en finas panículas ubicadas en las puntas de los tallos. Aunque son delgados los ejes de la inflorescencia, parecen gruesos en comparación con las diminutas flores. Flores: muy pequeñas, de 1 a 1.5 mm. De largo, generalmente unisexuales, de color rojo o amarillo, las masculinas con 6 pétalos. El fruto es seco y de una sola semilla (un aquenio). La semilla se dispersa rodeada por el perianto. (Correll, 1970)

En un estudio realizado acerca de la actividad antioxidante del qentu fueron medidos el contenido de fenoles y flavonoides (Tejeda, L et.al 2008). En otro estudio los fenoles hemodina, rutina, hiperina fueron encontrados (Bagiu y Krivenchuk 1964)



### **2.2.5.2 Distribución de la especie**

La planta está difundida en la mayor parte del hemisferio norte. En Norteamérica es una mala hierba común en campos, prados y arbolados. Prefiere suelos húmedos, así que prospera en llanos inundadizos y pantanos serranos. En Bolivia se expande en toda la región altiplánica. . (Correll, 1970)

### **2.2.5.3 Usos y aplicaciones de la especie**

Se usa como nutrimento forrajero para las ovejas, y como agente agrio para cuajar la leche para el queso. Las hojas tienen un sabor a limón, agrio agradable. Tiene un número de aplicaciones y de remedios atribuidos por la gente que incluyen el tratamiento para la inflamación, tratamiento del cáncer, diarrea, escorbuto y fiebre. Un té o infusión hecha del vástago y las hojas se puede utilizar como diurético. También tiene ciertas características y aplicaciones astringentes. Otras aplicaciones históricas incluyen las de vermífugo, pues la planta contiene compuestos tóxicos para los parásitos intestinales. (Correll, 1970)

### **2.2.6 PAPA O PATATA**

Reino: Plantae  
División: Magnoliophyta  
Clase: Magnoliopsida  
Subclase: Asteridae  
Orden: Solanales  
Familia: Solanaceae  
Género: Solanum  
Especie: *S. tuberosum*



La papa o patata (*Solanum tuberosum*) es una solanácea originaria del altiplano andino en un área que coincide aproximadamente con el sur peruano y la región circunlacustre del lago Titicaca en Bolivia. Ha llegado a ser cultivada en casi todo el mundo por su tubérculo comestible. Ha sido cultivada y consumida al menos desde el VIII milenio a.n.e. Fue introducida en Europa por los conquistadores españoles. Tardó en incorporarse a la dieta por contener sustancias tóxicas en su parte aérea, y desde el siglo XIX se ha convertido en uno de los principales cultivos del planeta. (Ayala, 1990)

## *Antioxidantes*

Los principales carotenoides en la papa son luteína, zeaxantina, y violaxantina todos de los cuales son xantófilas. Existen trazas de alfa - o beta-caroteno, lo que significa que la papa no es una fuente de esa pro-vitamina. En cuanto a los compuestos fenólicos, varios ácidos fenólicos o flavonoídicos fueron encontrados tales como catequina, ácido ferúlico y otros, siendo el ácido clorogénico es fenólico mayoritario.(Brown 2005)

### **2.2.6.1 Morfología de la especie**

*S. tuberosum* es anual, de tallo erecto que puede medir hasta 1 m de altura. Sus hojas son compuestas, con 7 foliolos de forma lanceolada, con grados variables de pilosidad. Las flores tienen forma de estrella y sus pétalos están fusionados. El color de la flor puede ser blanco, rosado o violeta con el centro amarillo. Su fruto es un tomatillo (el “makhunku”) verde o amarillo mucho más pequeño que el tomate, que contiene en su interior alrededor de unas 400 semillas. Sin embargo, la reproducción de la papa prácticamente se efectúa por la siembra de los tubérculos “semilla”. La parte que se consume es el tubérculo; o sea, el engrosamiento subterráneo de los tallos que almacenan sustancias de reserva. Los tubérculos están cubiertos por una exodermis que aparece al romperse la epidermis y que va engrosándose con el tiempo. Sobre su superficie existen “ojos”, hundimientos que resguardan las yemas vegetativas en las que se originan los tallos, dispuestos en forma helicoidal. Las lenticelas son orificios que permiten la respiración. (Ayala, 1990)

### **2.2.6.2 Distribución de la especie**

En cuanto a la altura, se cultiva este tubérculo hasta las altitudes de 4200 m.s.n.m. Perú es el país que más variedades ofrece, con más de cuatro mil, seguido de Bolivia que tiene más de 2000 tan sólo en la Estación de Toralapa (PROINPA, Cochabamba).

### **2.2.6.3 Usos y aplicaciones de la especie**

La producción mundial anual se estima en 300 millones de toneladas (para el año 2000), siendo China el mayor productor, tras el colapso de la Unión Soviética. A partir de la fermentación de las cáscaras y de los tubérculos enteros se obtiene una variedad de vodka. Por deshidratación, mediante congelación, se produce el llamado chuño. La tunta es la papa congelada y lavada en corrientes de agua fría.

## *Antioxidantes*

La tunta es el antecedente de los actuales purés instantáneos de papas (usados por los aliados en la Segunda Guerra Mundial y luego difundidos en todo el mundo). (Ayala, 1990)

### **2.2.7 MACA**

Reino:	Plantae
División:	Magnoliophyta
Clase:	Magnoliopsida
Orden:	Brassicales
Familia:	Brassicaceae
Género:	<i>Lepidium</i>
Especie:	<i>L. meyenii</i>



Quechua y español: maca, maka, maino, chichita del ayak, el willku del ayak.

La maca (*Lepidium meyenii* Walp o *Lepidium peruvianun* Chacón) es una planta herbácea anual o bianual nativa de los Andes de Bolivia y el Perú, donde se cultiva por su hipocótilo comestible. Además de su uso alimentario, se sostiene que sus raíces poseen propiedades que aumentan la fertilidad. Los pobladores andinos desde la antigüedad la utilizaban para mejorar sus capacidades físicas y mentales. (Garró .1996). La presencia de prostaglandinas se ha reportado en maca así como de flavonoides, antocianinas y taninos. Entre los flavonoides encontrados se puede mencionar a la quercetina. (Lee et al.2004)

#### **2.2.7.1 Morfología de la especie**

La maca (*Lepidium meyenii*) es una brasicéa calificada como uno de los tubérculos andinos de más alto contenido proteico (10%). Este tubérculo, de aspecto insignificante y que tiene el tamaño y forma de un rábano común tiene una fase reproductiva de cinco meses, con una floración que dura dos meses. Su raíz es de forma globosa redondeada, axonomorfa, tiene colores que varían desde el amarillo claro hasta el negro; pasando por el marrón, el morado, etc. Con tamaños 3-6 cm de diámetro transversal y de 4-7 cm longitudinal, no existe una verdadera diferencia en el sabor.

## *Antioxidantes*

Las hojas de la maca son arrosetadas, compuestas, con vainas ensanchadas, pecíolo largo con la cara superior aplanada. Limbo compuesto, su largo es de 6 a 9 cm (Garró .1996).

### **2.2.7.2 Distribución de la especie**

La maca es un cultivo tradicional de las regiones montañosas andinas. Son plantas extraordinariamente tolerantes a la escarcha, y tienen la característica de crecer a altitudes sumamente altas del ecosistema de la puna inhóspita de Bolivia y Perú en las regiones montañosas centrales (3800 a 4800 m). La puna es una zona severa, ecológica donde sólo crecen los céspedes alto andino, patatas amargas y maca. El aire tiene un bajo contenido en oxígeno, la luz del sol es sumamente intensa, y las temperaturas pueden ir de calurosa durante el día a temperaturas de congelación por la noche. Debido a los vientos sumamente altos (el “phuku”) el área carece de árboles y ninguna planta crece con mayor altitud a unas pulgadas (Garró 1996).

### **2.2.7.3 Usos y aplicaciones de la especie**

Se cuecen los tubérculos frescos o se asan en la ceniza. Las raíces secas son principalmente hervidas en la leche para crear una gacha sabrosa, fragante. También se prepara un dulce popular, una bebida fragante, fermentada (la chicha de maca), a menudo mixto con alcohol para obtener los “cócteles de maca” También se consumen las hojas de la maca en ensaladas. Utilizan las macas para engordar a los cuyes para la mesa.

## **2.2.8 CAMOTE O BATATA**

Reino: Plantae  
División: Magnoliophyta  
Clase: Magnoliopsida  
Orden: Solanales  
Familia: Convolvulaceae  
Género: Ipomoea  
Especie: I. batatas



## *Antioxidantes*

El camote, batata, boniato (*Ipomoea batatas*) es una planta de la familia de las convolvuláceas, cultivada por su raíz tuberosa comestible. En cuanto a su contenido de antioxidantes, se puede mencionar, que se identificaron 17 diferentes carotenoides, de los cuales 8 se encuentran en mayor proporción, mientras que los 9 restantes sólo fueron detectados. De los carotenoides encontrados, se identificaron cuatro en forma conclusiva:  $\beta$ -caroteno,  $\delta$ -caroteno, auroxantina y crocetina; siendo el más abundante el  $\beta$ -caroteno (Lugo y Jaramillo. 2000)

### **2.2.8.1 Morfología de la especie**

Se cultiva sobre todo por la gruesa raíz comestible que es una tuberosa oblonga y voluminosa que llega a medir 30 cm. de largo. Su color varía del amarillo claro y oscuro al rojo, violeta y morado. Hay dos tipos principales: de carne seca y harinosa y de carne blanda y húmeda, de color amarillo (Ayala, 1990).

### **2.2.8.2 Distribución de la especie**

Según estadísticas de la FAO el año 2005, la China es el principal productor, cultivando el 83% del total mundial; islas Salomón tiene la mayor producción per cápita del mundo: 160 Kg. por persona por año. El camote es un alimento reconocido como eficaz en la lucha contra la desnutrición debido a sus características nutritivas, facilidad de cultivo y productividad. El camote en Bolivia se produce tanto en la zona altiplánica como en los valles mesotérmicos. (Ayala, 1990).

### **2.2.8.3 Usos y aplicaciones de la especie**

Esta raíz tuberosa forma parte de la cocina típica de todos los países que lo cultivan desde épocas prehispánicas. Se consume como mermelada, o como carne de batata. El camote es muy popular en el Perú y Bolivia en muchos platos típicos reemplazando a la papa, enriqueciendo notablemente la variedad gastronómica boliviana. En Perú se conocen 2016 variedades. En México el camote es consumido generalmente como confitura o postre y ocasionalmente, como alimento para los bebés debido a su facilidad de digestión. En los Estados Unidos es muy consumido caramelizado como acompañante en la cena del Día de Acción de Gracias. (Ayala, 1990).

### **2.2.9 ISAÑO**

Reino: PLantae  
División: Magnoliophyta  
Clase: Magnoliopsida  
Orden: Brassicales  
Familia: Tropeolaceae  
Género: Tropaeolum  
Esapecie: Tropaeolum tuberosum



Mashwa o isaño: Nombres comunes: Bolivia, Perú, Ecuador (isaño, mashwa, mashua, maswallo, mazuko, mascho) Colombia (cubio).

En el isaño se encontró como antioxidantes antocianinas y otros flavonoides. (Chirinos. et al. 2006)

#### **2.2.9.1 Morfología de la especie**

Es una planta herbácea anual de crecimiento erecto cuando es tierna y de tallos postrados con follaje compacto cuando es madura. Esto le permite competir ventajosamente con las malas hierbas. A primera vista los tubérculos pueden ser confundidos con la oca, pero se distinguen por su forma cónica, jaspes oscuros y mayor concentración de yemas en la parte distal y un sabor agrio. El ciclo vegetativo de esta especie varía entre 220 y 245 días. A diferencia de la oca y ulluco, produce gran cantidad de semillas viables. (Gonzales, et al 2003)

#### **2.2.9.2 Distribución de la especie**

La mashua es cultivada desde Colombia hasta Bolivia, de los 3000 a los 4000 m, con una mayor concentración entre 3500 y 3800 m. pese a la pobre calidad de suelos, temperaturas extremas, radiación, variación en precipitación y los vientos de los Andes, la planta crece rápidamente, repele insectos, suprime malezas y maximiza la fotosíntesis. Es un cultivo de gran productividad (Gonzales, . et al. 2003)

### **2.2.9.3 Usos y aplicaciones de la especie**

A los tubérculos se les atribuyen propiedades anafrodisíacas desde la época de los incas, que la incluían en la alimentación de sus soldados. Hoy se sabe que los niveles de testosterona se reducen significativamente en ratas macho alimentadas con isaño. El isaño por su mayor rendimiento por hectárea tiene importancia para satisfacer la alimentación de los habitantes de menores recursos en zonas rurales marginales en los Andes altos. Se prepara en forma de sancochado, asado o como “thayacha”; esta última consiste en exponer los tubérculos por una noche a los efectos de la helada. Al día siguiente se comen, acompañados de miel de chancaca (miel de caña de azúcar). (Gonzales. et al. 2003)

### **2.2.10 WALUSA O MALANGA**

Reino: Vegetal

Clase: Angiospermae

Subclase: Monocotyledoneae

Orden: Spathiflorae

Familia: Araceae

Género: Xanthosoma

Especie: *X. sagittifolium*

Nombres comunes: Walusa, walusa o papa walusa en Bolivia, Perú y Ecuador, malanga en el Caribe



### **2.2.10 b TARO**

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta

Clase: Liliopsida

Subclase: Monocotyledoneae

Orden: Alismatales

Familia: Araceae

Género: Colocasia

Especie: *C. esculenta*

Nombres comunes: taro, walusa japonesa en Bolivia, papa japonesa en otros países.



En los Yungas de Bolivia existe una confusión entre la denominada papa japonesa o taro (*Colocasia esculenta*) a la que también denominan walusa japonesa y la walusa propiamente dicha (*Xanthosoma sagittifolium*).

### **La walusa**

Varios autores coinciden que el origen de la walusa está ubicado en los trópicos americanos y específicamente en la zona de las Antillas, y que luego se trasladó al oeste del continente americano. Cuando los europeos llegaron al continente americano, encontraron este producto desde el sur de México hasta Bolivia. Entre los países de América Central o del Sur, en la zona de las Antillas se ha encontrado la mayor cantidad de ecotipos (variedades) de este producto. (Zavala .2001)

#### **2.2.10.1 Morfología de la especie**

Es una planta herbácea de comportamiento perenne si no se la cosecha, tiene un tallo principal subterráneo corto, del que brotan ramificaciones secundarias, laterales, horizontales, engrosadas, comestibles y que se las conoce como cormelos. Los cormelos tiene una corteza de color marrón oscuro y la pulpa es blanca o amarilla según la variedad y tienen nudos de donde nacen las yemas. En su base, las hojas forman un pseudo tallo cilíndrico corto; los peciolo son largos y acanalados; la lámina es grande; de las hojas salen inflorescencias, la duración del ciclo de crecimiento es de 270 a 330 días durante los seis primeros meses se desarrollan cormos y hojas. (Zavala, 2001)

#### **2.2.10.2 Distribución de la especie**

En Bolivia se encuentra desde la región de los Yungas paceños hasta la zona de Ixiamas en la provincia Iturralde.

#### **2.2.10.3 Usos y aplicaciones de la especie**

La walusa tiene utilización muy variada; los cormelos se consumen cocidos, fritos, o como harina para algunos usos. Es utilizado como sustituto de la papa en sopas o estofados. Tiene un contenido de almidón superior al de la yuca. Las hojas verdes de algunos ecotipos de malanga, con bajo contenido de oxalatos pueden consumirse cocinados como hortalizas. Su elevado contenido de fósforo y calcio la hacen un nutrimento útil, sin embargo su consumo y popularidad han sido desplazados por la papa. (Zavala . 2001)



## **2.2.10b. El taro o papa japonesa**

### **2.2.10b.1 Morfología de la especie**

Hierba perenne de hasta 1,5 m de altura, con tallos gruesos que parten de un cormo grande; estolones delgados producidos a menudo a partir de cormos fuera del tallo: Hojas foliares de hasta 60 cm de largo y 50 cm de ancho, con forma de punta de flecha, con superficie superior verde oscura y aterciopelada; hojas peltadas (insertas al tallo por la parte posterior de la hoja); pecíolos grandes, suculentos, a menudo púrpura cerca de la cima. Inflorescencia en un tallo carnoso más corto que los pecíolos de las hojas; parte de tallo carnoso envuelta por una bráctea larga y amarilla. Flores pequeñas, densas en la parte superior del tallo carnoso, con flores femeninas de abajo y por encima de las flores masculinas. El fruto es una baya pequeña, en racimos en el tallo carnoso.

### **2.2.10b.2 Distribución de la especie**

Originario de la India y del sudeste asiático el taro fue primeramente nativo de las tierras húmedas bajas de Malasia (taloos). Se estima que el taro ya era cultivado en la India húmeda tropical ya hacia 5000 a.n.e. Fue traída a nuestro continente desde África como cultivo para alimento de los esclavos (Greenwell. 1947). Ahora está difundida en todo el trópico y gran parte de las zonas subtropicales.

### **2.2.10b.3 Usos y aplicaciones de la especie**

Las hojas de taro son ricas en vitaminas y minerales y son buena fuente de tiamina, riboflavina, hierro, fósforo, y zinc, y un buen recurso de vitamina B6, vitamina C, niacina, potasio, cobre, y manganeso, pero por su contenido de oxalato de calcio deben hervirse por más de 20 min y el agua de hervido debe ser descartada. Los cormos de taro tienen un contenido alto en almidón, y son buena fuente de fibra dietética, vitamina B6, y manganeso. El ácido oxálico puede estar presente en el cormo y especialmente en la hoja, por lo que este alimento no debe ser ingerido por personas con problemas de riñones, gota o artritis reumática. El taro se hierve, se cuece, o se corta y se fríe como *témpura*. La variedad pequeña redonda se pela y hierve, se vende a veces congelada, empacada con sus propios líquidos o enlatado. En China, el taro se usa a veces como un ingrediente en el niangao, una especie de dulce denso, hecho de harina de arroz que se come durante el Año Nuevo Chino. En Hawai el puré de taro es uno de los alimentos típicos esenciales en la comida nativa.

### **2.2.11 AJIPA**

Reino:	Plantae
División:	Magnoliophyta
Clase:	Magnoliopsida
Orden:	Fabales
Familia:	Fabaceae
Subfamilia:	Faboideae
Tribu:	Phaseoleae
Género:	<i>Pachyrhizus</i>
Especie:	<i>P. ahipa</i>



La ajipa, *Pachyrhizus ahipa*, tiene varias cualidades que son consecuencia de la sabiduría agronómica de los indígenas andinos, quienes para que los tubérculos tengan mayor desarrollo arrancan las vainas de la leguminosa.

#### **2.2.11.1 Distribución de la especie**

La ajipa se cultiva sólo en unos pocos bolsones de las montañas andinas de Bolivia y del Perú, en los valles fértiles entre 1500 a 3000 m.sn.m. En La Paz se encuentra en el valle de Luribay, tras el nevado Illimani, en la comunidad de Anquioma. Actualmente México vende alrededor de 11000 toneladas de jícama (*Pachyrhizus erosus*) por año. Este pariente de la ajipa es una trepadora que necesita un soporte para desarrollarse, por ello muchas veces se cultiva coasociada con maíz. La ajipa tiene la ventaja de ser una planta pequeña de alta productividad y de no necesitar soporte.

#### **2.2.11.2 Usos y aplicaciones de la especie**

Su raíz tuberosa es comestible y puede consumirse cruda. Al ser una legumbre produce granos y vainas comestibles. Sus hojas y tallos producen una sustancia con propiedades insecticidas (rotenona). Sus tubérculos son henchidos y carnosos. En el interior, estas raíces tuberosas son suculentas, blancas, dulces, de agradable sabor y crujientes como manzana. Son una adición atractiva a las ensaladas de verduras y de frutas. Pueden ser cocidas al vapor o hervidas y tienen la propiedad de conservar su textura crujiente, incluso después de la cocción

### **2.2.12 YACÓN**

Reino: Plantae  
División: Magnoliophyta  
Clase: Magnoliopsida  
Orden: Asterales  
Familia: Asteraceae  
Género: *Smallanthus*  
Especie: *S. sonchifolius*



El yacón (*Smallanthus sonchifolium* sin. *Polimnia Sonchifolia*) es una planta cultivada en los Andes por su raíz tuberosa de textura crujiente, sabor dulce, pariente del girasol. La raíz está compuesta mayormente de agua y oligofructanos. En el norte peruano es conocido como “yacón” o “llacón” y “lajuash”. En el centro del Perú y en la región aymara de Bolivia se conoce como “aricoma”. En Bolivia se llama “llacjon”, “llakun” y “yakuma”, en Ecuador “jícama” o “jiquima” y en Colombia y Venezuela “jiquima” y “jiquimilla”.

Tanto las raíces como las hojas contienen compuestos con un alto poder antioxidante: ácido clorogénico, triptófano y varios fenoles derivados del ácido cafeico. Se determinó 67,64 mg GAE/100g en compuestos fenólicos totales, la capacidad antioxidante usando los métodos de DPPH y ABTS. Expresado en actividad antioxidante de vitamina C equivalente (VCEAC) fue 15,66 mgAAE/100g y de ARP (poder antirradical) expresados como 1000/EC50 fue 5,34 y 2,22 uM/g la TAC. El contenido de compuestos fenólicos en yacón fue : 46,38 ppm; ácido clorogénico, 7,28 ppm ácido cafeico, 0,003 ppm; rutina, 21,22 ppm ácido ferúlico, 0,01 ppm morina, 6,33 ppm (Muñoz. et al; 2007)

#### **2.2.12.1 Morfología de la especie**

Las plantas de yacón pueden crecer más de 2 m en altura y producir flores pequeñas, amarillas y discretas al final de la temporada de crecimiento. A diferencia de otros vegetales de raíz cultivados por los incas (ulluco, oca), el yacón no es sensible a los fotoperiodos y puede producir una cosecha comercial en los trópicos. (Rea 1998)

### **2.2.12 .2 Distribución de la especie**

El yacón está distribuido en la región subandina de la cuenca Amazónica, desde el Ecuador hasta Bolivia, también en el norte de la cuenca del Paraná, en el Brasil y el Paraguay, también hay distribución en algunas localidades de Panamá, Colombia y Venezuela en la cual esta especie es conocida sólo en estado silvestre. (Rea 1998). Su cultivo está difundido en el valle de Sorata.

### **2.2.12.3 Usos y aplicaciones de la especie**

Es un antidiabético efectivo de una activa potencia hipoglucémica, o sea reduce el nivel de azúcar en la sangre. Reduce la cantidad de colesterol y triglicéridos (contra la arteriosclerosis). Favorece el desarrollo de la bifidobacterias y del *Bacillus subtilis* en el colon. Evita el crecimiento de microorganismos putrefactivos que tienden a provocar diarreas. Puede corregir desordenes estomacales bastantes comunes como acidez, indigestiones trastornos gástricos. Mejora la asimilación de calcio. Estimula la síntesis de vitaminas del complejo B. Aporta bajo contenido calórico. Los azúcares presentes no son cariogénicos. Coadyuva al control del estreñimiento, aumento de la excreción. Fortalece la respuesta del sistema inmunológico y previene infecciones gastrointestinales. (Rea 1998)

### **2.2.13 OCA**

Reino: Plantae  
Division: Magnoliophyta  
Clase: Magnoliopsida  
Orden: Geraniales  
Familia: Oxalidaceae  
Género: Oxalis  
Especie: O. tuberosa



Botanical Oxalis tuberosa Molina

Nombre en Quechua: O'qa, okka

Aymará: apiua, apilla

Español: quiba, ciuva, ibias, papa roja

La oca o ibia (*Oxalis tuberosa*) es una planta perenne que se cultiva en la puna de los Andes Centrales y meridionales entre los 3000 y 3900 m.s.n.m.

En general, los compuestos caracterizados en la oca son ácido caféico, ácido vanílico y ácido cinámico así como fenoles que pertenece al grupo flavan-3-ol, flavona y flavanone, antocianinas (Chirinos et al., 2009)

### **2.2.13.1 Morfología de la especie**

La oca es una planta herbácea compacta, perenne, tuberosa, normalmente 20-30 cm de alto, con tallos cilíndricos, que varían de color desde amarillo y verde a un rojo púrpuro. Los tallos normalmente suben de la base de la planta. La oca tiene una arquitectura de la planta eficaz para la fotosíntesis debido a su área de hoja sumamente alta (debido a la forma de su crecimiento y al ángulo de la hoja, forma y espesor). (Gonzales, 2003)

### **2.2.13.2 Distribución de la especie**

Se distribuye en todo el altiplano boliviano, en regiones de La Paz, Potosí, Oruro, Chuquisaca. La oca puede ser una de las cosechas andinas más antiguas. Se han encontrado tubérculos en las tumbas de los nativos de las costas, a cientos de kilómetros de su hábitat de la región montañosa.

### **2.2.13.3 Usos y aplicaciones de la especie**

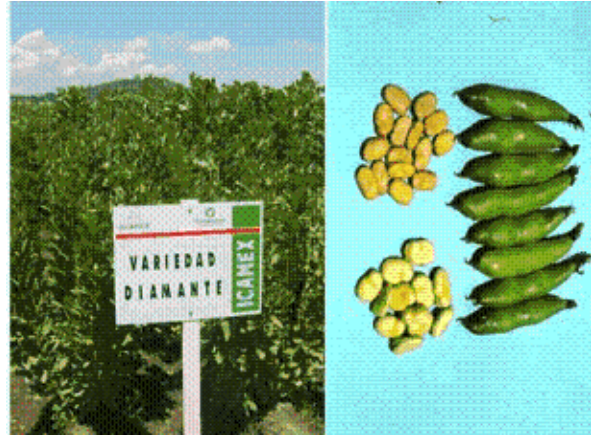
La oca puede consumirse de muchas maneras. En los Andes, algunos la comen cruda, partida y madurada al sol (khawi). La mayoría, sin embargo, las agrega a los estofados y sopas; y cocidas al vapor, hervidas o cocidas como las patatas. En México la oca se rocía normalmente con sal, limón y pimiento picante y también la comen cruda. Se las utiliza en confituras y escabechadas en vinagre. En los Andes, los tubérculos se asolean unos días para que se pongan dulces, y la cantidad de glucosa puede duplicarse. Casi siempre las variedades amargas se utilizan en productos secos (khawi o khaya) en las que el amargor es eliminado, por maduración solar en el caso del khawi u obteniendo un producto de proceso similar a la tunta en el caso de la khaya, obteniendo productos que pueden guardarse sin refrigeración. (Gonzales, 2003)

### **2.2.14 KHAYA**

La khaya es la oca deshidratada y lavada en agua corriente que se guarda para tiempos de carestía y puede conservarse por bastante tiempo. Es de color gris de unos 8 cm. de largo promedio. (Gonzales, 2003)

### **2.2.15 HABA**

Reino:	Plantae
División:	Magnoliophyta
Clase:	Magnoliopsida
Orden:	Fabales
Familia:	Leguminosa
Tribu:	Fabeae
Sub. Familia:	Papilionoidea
Género:	Vicia
Especie:	Vicia faba L.



Las habas son un alimento introducido en los Andes bolivianos desde hace 470 años. Es originaria como cultivo del Cercano Oriente mediterráneo habiéndose extendido pronto por toda la cuenca mediterránea, los romanos seleccionaron el tipo de grano grande y aplanado que es el que actualmente se emplea como hortaliza para su consumo en estado fresco. Se ha adaptado muy bien en los ecosistemas del Altiplano debajo de la puna y en los valles,

#### **2.2.15.1 Morfología de la especie**

Tallos.- de coloración verde, fuertes, angulosos y huecos, ramificados, de hasta 1.5 m de altura. Según el ahijamiento de la planta varía el número de tallos.

Hojas.- alternas, compuestas, con folíolos anchos ovales-redondeados, de color verde y desprovisto de zarcillos.

Flores.- axilares, agrupadas en racimos cortos de 2 a 8 flores, poseyendo una mancha grande de color negro o violeta en las alas, que raras veces van desprovistas de mancha.

## *Antioxidantes*

Fruto.- legumbre de longitud variable, pudiendo alcanzar hasta más de 35 cm. El número de granos oscila entre 2 y 9. El color de la semilla es verde amarillento, aunque las hay de otras coloraciones más oscuras. . (Cáceres, 1993).

### **2.2.15.2 Distribución de la especie**

La producción de haba en Bolivia se realiza en todo el altiplano y en los valles mesotérmicos. Las habas han sido introducidas en el actual territorio boliviano desde hace 470 años y han prosperado y mutado aclimatándose desde entonces a las condiciones del Altiplano Boliviano y de sus valles mesotérmicos. Son variedades diferentes de las mediterráneas, mutadas para crecer en condiciones de mayor altura s.n.m. (Cáceres, 1993) y mayor radiación UV. Es grande la producción de habas en Challapata y en Huarina.

### **2.2.15.3 Usos y aplicaciones de la especie**

Las habas, una especie introducida en los Andes en el siglo XVI por los españoles, las estudiamos porque en casi 470 años de cultivo ininterrumpido en la puna, el altiplano y los valles, han sufrido una serie de mutaciones y se han acomodado a condiciones ecológicas de crecimiento muy diferentes a las de su hábitat mediterráneo original. Pueden emplearse en consumo fresco, o aprovechando solo los granos, dependiendo del estado de desarrollo en que se encuentren; o como materia prima para la industria transformadora, tanto para enlatado como para congelado. Su contenido de antioxidantes y otros metabolitos secundarios es pues probablemente diferente de las variedades originalmente introducidas.

### **2.2.16 ARVEJA**

Reino: Plantae  
División: Magnoliophyta  
Clase: Magnoliopsida  
Orden: Fabales  
Familia: Fabaceae  
Subfamilia: Papilionoidea  
Tribu: Viciae  
Género: Pisum  
Especie: P. sativum



## *Antioxidantes*

Estudiamos las arvejas, especie introducida en los Andes en el siglo XVI por los españoles, porque en cerca de 470 años de cultivo ininterrumpido en el altiplano y los valles, han sufrido una serie de mutaciones y se han acomodado a condiciones ecológicas de crecimiento muy diferentes a las de su hábitat original. (Cáceres, 1993) Las especies cultivares de arveja aparecieron relativamente poco después del trigo y la cebada, y se supone que ya se cultivaban hacia el 7.800 a.n.e. en el Cercano Oriente. La arveja (*Pisum sativum*), cuyos sinónimos son guisante, alverja o chícharo es la pequeña semilla comestible de esta planta que se cultiva para su producción y de la cual algunas variedades, como la llamada “tirabeque” o la arveja china pueden consumirse íntegramente incluyendo a las vainas por ser muy tiernas. Su contenido de antioxidantes y otros metabolitos secundarios es probablemente diferente de las variedades originalmente introducidas.

### **2.2.16.1 Morfología de la especie**

La planta posee un sistema vegetativo poco desarrollado aunque con una raíz pivotante que tiende a profundizar bastante. Las hojas están formadas por pares de folíolos terminados en zarcillos. Las inflorescencias nacen arracimadas en brácteas foliáceas que se insertan en las axilas de las hojas. Las semillas (guisantes) se encuentran en vainas de entre 5 a 10 cm. De largo que contienen entre 4 y 10 unidades.

### **2.2.16.2 Distribución de la especie**

La producción de la arveja se la realiza en gran cantidad en los diferentes países del mundo haciendo de este un guisante de gran consumo alimenticio, por lo que en Bolivia se produce tanto como en el altiplano y en el valle. La arveja se cultiva en los lechos de los ríos antes de la época de lluvias y por su rápida maduración se cosecha antes de que el caudal de aguas inunde los cultivos.

### **2.2.16.3 Usos y aplicaciones de la especie**

Las arvejas son cultivadas fundamentalmente para la obtención de granos tiernos inmaduros; que pueden destinarse directamente al consumo humano o procesarse, ya sea para la obtención de productos congelados, enlatados o encurtido.



## **CAPÍTULO 3**

### **OBJETIVOS**

#### **3.1. OBJETIVO GENERAL**

Determinar la capacidad antioxidante total, el contenido de compuestos fenoles y flavonoides totales de los siguientes alimentos que se producen en el departamento de La Paz:

quinua, quentu (forrajero), avena, papa, maíz, camote, ajipa, isaño, tarwi, yacón, walusa, taro, maca, oca, khaya, haba, arveja.

#### **3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Determinar la capacidad antioxidante por el método FRAP en los diferentes extractos acuosos (buffer acetato de sodio 0.1 M PH =5) y no acuosos (acetónicos).
- Determinar la capacidad antioxidante por el método ABTS en los diferentes extractos acuosos (buffer acetato de sodio 0.1 M PH =5) y no acuosos (acetónicos).
- Determinar la presencia de flavonoides totales de los extractos acuosos (buffer acetato de sodio 0.1 M PH =5) y no acuosos (acetónicos)
- Determinar la presencia de fenoles totales por el método de Folin y Ciocalteau en los diferentes extractos acuosos (buffer acetato de sodio 0.1 M PH =5) y no acuosos (acetónicos).
- Analizar resultados y seleccionar los alimentos con mayor TAC

## **CAPITULO 4**

### **MATERIALES Y METODOS**

#### **4.1 Equipos y reactivos**

##### **Método FRAP**

(Ferric Reducing Antioxidant Power) se basa en la habilidad de reacción de reducción que tiene el hierro. En la reacción el Fe III se reduce a Fe II el cual presenta un intenso color azul.

Se utilizó los siguientes equipos: **Equipo UV – Visible** Marca: Perkin Elmer. Modelo: Lamda 25 UV / VIS, Spectro meter. Características: Espectrofotómetro de doble haz para el rango UV/ visible. **Vortex** Marca: Labnet. Modelo: VX100. Características: Rango de velocidad 200 -3000 rpm. Funcionamiento automático o al tacto a temperatura de 4°C – 65 °C. **pH – metro** Marca: DENVER INSTRUMENT. Modelo: Ultra Basic. Características: Digital. los reactivos que se utilizaron son: **a)** Buffer acetato , pH 3.6 **b)** TPTZ = (2,4,6-tripiridil-s-triazina): MM (TPTZ) = 312.3g/mol **c)** Cloruro férrico = MM (FeCl<sub>3</sub>•6H<sub>2</sub>O) = 270.3 g/mol Concentración necesaria: 20 mmol/L. **d)** Trolox = 6-hidroxy-2,5,7,8-tetramethylchroman-2-carboxylic acid, = 97% MM (TROLOX) = 250.29 g/mol Concentración necesaria: 5 mM. **e)** acido clorhídrico 40 mmol/L

##### **Método ABTS**

Se utiliza el radical catión (ABTS<sup>+</sup>) que se produce por la reacción de ABTS (2,2' ácido azinobis-3-etil- benzotiazolin-6- sulfónico) con persulfato de potasio formando un radical de color verde intenso, el cual es decolorado en presencia de compuestos antioxidantes.

Los equipos que se utilizaron son los siguientes: **Equipo UV – Visible** Marca: Perkin Elmer. Modelo: Lamda 25 UV / VIS, Spectro meter. Características: Espectrofotómetro de doble haz para el rango UV/ visible. **Vortex** Marca: Labnet. Modelo: VX100. Características: Rango de velocidad 200 -3000 rpm. Funcionamiento automático o al tacto

## *Antioxidantes*

a temperatura de 4°C – 65 °C. **pH – metro** Marca: DENVER INSTRUMENT. Modelo: Ultra Basic. Y los reactivos que se utilizaron son los siguientes. **a)** ABTS = sal diamónica del ácido 2,2-azino-bis (3-etilbenzo tiazolin-6-sulfónico) = 98%. **b)** Persulfato de Potasio = 140 mmol/L:  $M_M$ : 270.3 g/mol. **c)** Buffer acetato, pH 5.0 **d)** Trolox = ácido 6-hidroxi-2, 5, 7,8-tetrametilcroman-2-carboxílico, = 97%  $M_M$  (trolox) = 250.29 g/mol Concentración necesaria: 5 mM.

## **Fenoles totales por el método de Folin-Ciocalteu**

Mediante este método se mide los fenoles totales (taninos, compuestos. fenólicos simples, flavonoides, taninos y otros) presentes en extractos o muestras usando el reactivo Folin Ciocalteu.

Los equipos que se utilizaron son: **Estufa**. Marca: Binder, Modelo FED 53. Made in Germany de 300°C. **Equipo UV – Visible** Marca: Perkin Elmer. Modelo: Lambda 25 UV / VIS, Spectrometer. Características: Espectrofotómetro de doble haz para el rango UV/ visible. **Vortex** Marca: Labnet. Modelo: VX100. Características: Rango de velocidad 200 - 3000 rpm. Funcionamiento automático o al tacto a temperatura de 4°C – 65 °C. **pH – metro** Marca: DENVER INSTRUMENT. Modelo: Ultra Basic y los reactivos son: **a)** Acido gálico =  $M_m$  = 170.; Sigma, G-7384, 100 g **b)** Folin- Ciocalteu's phenol reagent, = 2.0 Normal; Sigma, F-9252, 500 mL **c)** Carbonato de sodio =; BDH, 102404H, 500 g.

## **Flavonoides totales**

La concentración de flavonoides totales se expresan en relación a miligramos de catequina, flavonoide con el que se realizó la curva patrón. Por lo que utilizamos los siguientes equipos para este método: **Equipo UV – Visible** Marca: Perkin Elmer. Modelo: Lamda 25 UV / VIS, Spectro meter. Características: Espectrofotómetro de doble haz para el rango UV/ visible. **Vortex** Marca: Labnet. Modelo: VX100. Características: Rango de velocidad 200 -3000 rpm. Funcionamiento automático o al tacto a temperatura de 4°C – 65 y los reactivos son: a) Hidróxido de sodio 1 M. b) Nitrito de Sodio al 10%. c) Cloruro de aluminio =  $AlCl_3 \cdot 6H_2O$  al 20%. d) Catequina.

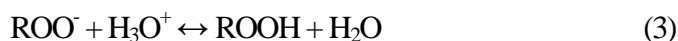
## **4.2 Fundamento teórico de los métodos utilizados**

### **4.2.1 MÉTODOS ET (transferencia electrónica)**

No existe un único parámetro para evaluar la capacidad antioxidante de alimentos y fluidos biológicos u otro tipo de muestras, como por ejemplo, al parámetro de dureza' del agua ampliamente aceptado, definido como la cantidad de mg de dureza equivalente de CaCO<sub>3</sub> por 100 mL de agua; gracias al cual toda la comunidad científica entiende lo mismo si se expresa un nivel dado de dureza del agua. En el caso de la capacidad antioxidante, desafortunadamente, no es posible utilizar un parámetro análogo y relativamente simple, debido a que esta propiedad es generada por moléculas de diversos tipos, con distinta relación de estructura. Por ello, es recomendado utilizar más de un método de determinación de capacidad antioxidante.

(Starke-Reed, 2003)

Los mecanismos de acción antioxidante se basan en las siguientes reacciones:



Estas reacciones (1, 2 ,3) son relativamente lentas y dependientes del disolvente y del pH del medio de reacción. De hecho, en la mayoría de los ensayos basados en la ET, la acción antioxidante se simula con un muestra de prueba de potencial redox, es decir, los antioxidantes reaccionan con una muestra de prueba colorida (agente oxidante). Los ensayos espectrofotométricos se basan en medir la capacidad de un antioxidante de reducir un oxidante, el cual cambia de color cuando se reduce. El grado de cambio de color (ya sea un aumento o disminución de absorbancia a una determinada longitud de onda) está correlacionado con la concentración de antioxidantes en la muestra. (Resat- Apak (2007)

### **4.2.1 Teoría del ensayo ABTS/TAC**

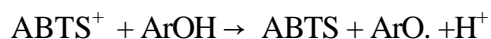
El ensayo ABTS / TAC (Trolox Equivalent Antioxidant Capacity) mide la decoloración, de un radical ABTS+, el cuál presenta un color verde intenso.

## Antioxidantes

La reacción en la que se basa este ensayo puede resumirse como sigue:



$$\lambda_{\text{max}} = 734 \text{ nm}$$

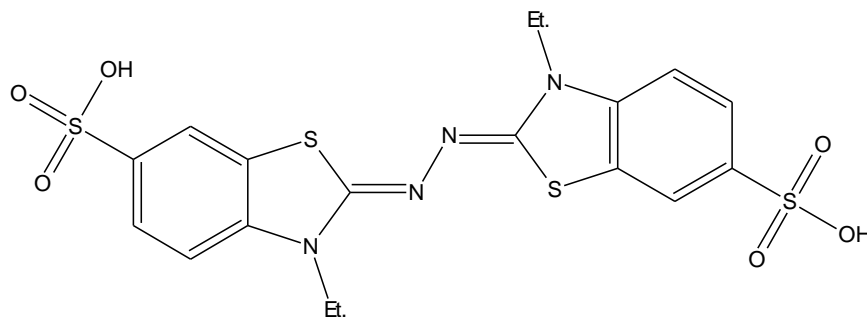


Donde

ABTS es el ácido 2,2'-azino-bis (3-etilbenzotiazolin-6-sulfónico, y

TAC es Trolox®-Equivalent Antioxidant Capacity (también se usa como nombre del ensayo).

Pese a que otras longitudes de onda tales como 415 y 645 nm se han usado en el ensayo ABTS/TAC, el pico a la longitud de onda 734 nm ha sido preferido debido a la menor interferencia de otros pigmentos de las plantas. (Pulido, et al.2000)



Estructura química de ABTS proyectada

**Fig. 8. ABTS**

**Fuente (Miller, 1993).**

El ensayo ABTS mide la capacidad antioxidante en equivalentes de trolox. Este ensayo fue reportado por primera vez por Miller y Rice-Evans (Miller, 1993). El ensayo ABTS se basa en la capacidad de captura que tiene el anión radical  $\text{ABTS}^{\bullet+}$  [del ácido 2,2'-azinobis (3-etilbenzotiazolina-6-sulfónico)] de vida larga. El  $\text{ABTS}^{\bullet}$  es oxidado por los radicales peroxilo u otros oxidantes a su forma de radical catión  $\text{ABTS}^{\bullet+}$  el cual es de color intenso, y la capacidad antioxidante de los compuestos de prueba se mide como inhibición óptica complementaria a la absorbancia (disminución del color), al reaccionar directamente con el

radical  $\text{ABTS}\cdot^+$ . Los resultados de los compuestos a analizar se expresan en relación con equivalentes de trolox utilizado como reactivo de calibración (Prior et al.: 2005).

Re et al., desarrollaron un ensayo mejorado de decoloración del catión radical  $\text{ABTS}\cdot^+$  usando persulfato como oxidante, compensando con ello las debilidades del ensayo original ferril-mioglobulina/ABTS. En la actualidad, entre las tres pruebas ABTS desarrolladas en diferentes periodos, precisamente el ensayo ABTS/TAC I ( $\text{ABTS}\cdot^+$  generado enzimáticamente con met-mioglobina y peróxido de hidrógeno), ABTS/TAC II (generación del radical con filtración sobre el oxidante  $\text{MnO}_2$ ), y ABTS/TAC III (con oxidante  $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$ ) totalmente diferentes uno del otro, fueron aplicables a medios solventes diferentes, y sus hallazgos para un antioxidante dado podían variar significativamente. El ABTS/TAC I medía la habilidad de retrasar la formación del radical así como la captura del radical. (Benzie, y Strain, 1996).

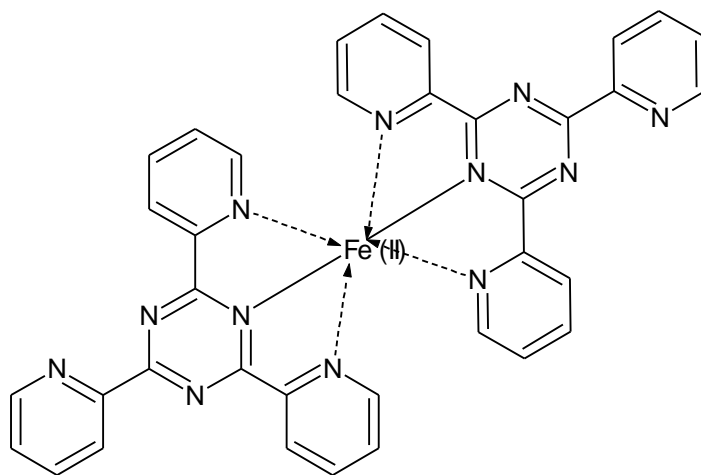
Entre las ventajas de este método podemos mencionar, la reproducibilidad, su uso flexible en diferentes medios tales como acuosos o lipofílicos de extractos de alimentos y fluidos fisiológicos, ya que el reactivo es soluble tanto en medios solventes acuosos como orgánicos. La determinación de los valores ABTS/TAC de una cantidad considerable de muestras de alimentos ha sido evaluada por varios grupos de investigación, y los resultados han sido detallados en varios artículos (Gil 2000, Pellegrini et al.: 2003, Proteggente et al.: 2002, Nielsen et al.: 2003, Pietta et al 2000, y Cao et al.: 1998).

El  $\text{ABTS}\cdot^+$  reacciona suavemente con antioxidantes, y puede ser usado en un amplio rango de pH del medio de reacción. De acuerdo a (Awika et al. 2003), el  $\text{ABTS}\cdot^+$  (figura 4)

#### **4.2.2 Teoría del ensayo FRAP**

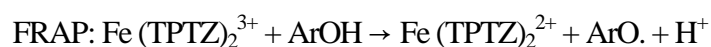
El ensayo FRAP (Ferric Reducing Ability of Plasma) implica medir la habilidad reductora del catión férrico (Benzie and Strain: 1996). Se basa en la reducción del catión férrico a ferroso que forma un complejo en presencia de un ligando que estabiliza el Fe (II) tal como la tripiridil-triazina (TPTZ). Este complejo presenta absorción a 593 nm.

Los valores de FRAP se obtienen midiendo los cambios de absorbancia a la longitud de onda dada después de ser añadida la muestra y dichos valores son comparados con una curva estándar de trolox expresándolos como equivalentes de trolox de la misma forma que en método ABTS



**Fig. 9. FRAP:  $[\text{Fe}(\text{II})(\text{TPTZ})_2]^{2+}$  (Ferrous tripyridyltriazine cation)**  
**Fuente (Benzie y Strain: 1996, 1999)**

Donde TPTZ es el ligando 2,4,6-tripiridil-s-triazina



El ensayo FRAP puede presentar valores no representativos en análisis sobre muestras de tipo biológicas, debido a que el complejo colorido se forma a un pH = 3.6 definitivamente ácido, mucho más bajo que el pH fisiológico. Por otro lado es poco sensible a compuestos antioxidantes del tipo tiol (o sea, que contienen SH).

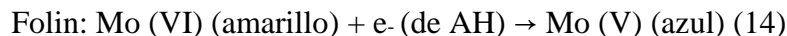
Por otro lado, (Ou et al 2002) reportó que el método FRAP puede presentar interferencias tanto en la cinética de la reacción de oxidación como en la cuantificación de algunos compuestos fenólicos.

### **4.2.3 Teoría del ensayo de fenoles totales de Folin-Ciocalteu, F-C.**



Reactivo de Folin. Heteropolianión molibdofosfowolfrámico en el cual el Mo (VI) es reducido a Mo (V) con un e- donado por un antioxidante.

El ensayo espectrofotométrico desarrollado por Folin-Ciocalteu (F-C) se utiliza para determinar los compuestos fenólicos totales (TPC-Total Phenolic Compounds). Se fundamenta en una reacción de oxidación / reducción que es el mecanismo básico; gracias al carácter reductor del reactivo F-C. Se utiliza como reactivo una mezcla de ácidos fosfowolfrámico y fosfomolibdico en medio básico, que se reducen al oxidar los compuestos fenólicos, originando óxidos azules de wolframio ( $\text{W}_8\text{O}_{23}$ ) y molibdeno ( $\text{Mo}_8\text{O}_{23}$ ). La absorbancia del color azul desarrollado se mide a una  $\lambda$  de 765 nm. Los resultados se expresan en mg de ácido gálico por g de muestra

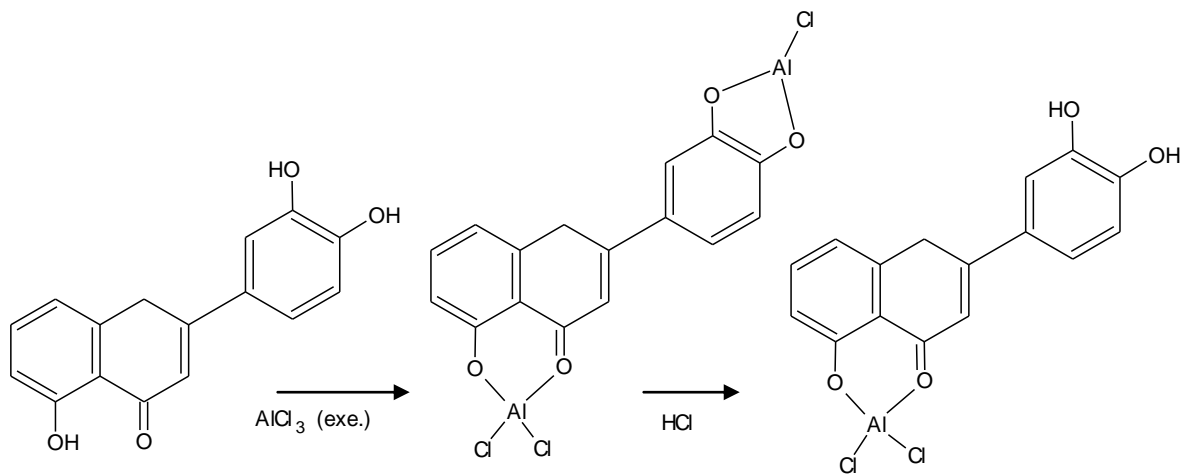


$$\lambda_{\text{max}} = 765 \text{ nm}$$

### **4.2.4 Teoría del ensayo de flavonoides totales**

El  $\text{AlCl}_3$  anhidro forma quelatos con flavonoides orto-dihidroxiados, 3-hidroxiados y 5-hidroxiados en medio básico. Estos quelatos presentan una coloración rosada indicando la presencia de flavonoides. Los valores de flavonoides totales son expresados en valores de mg de catequina equivalente por gramo de muestra.





El  $\text{AlCl}_3$  anhidro forma quelatos con flavonoides orto-dihidroxiados, 3-hidroxiados y 5-hidroxiados. En el caso de los orto-dihidroxiados el quelato es inestable a pH ácido, mientras que los quelatos formados con 3- y/o 5-hidroxiados son estables.

**Fig. 10 Reacción de quelación del ión  $\text{Al}^{3+}$  con flavonoides**  
Fuente. (Markham, 1968)

Otra aplicación de este método consiste en relacionar las variaciones de las absorbancias del espectro de absorción de los diferentes tipos de complejos flavonoides-Aluminio con las estructuras de los mismos. Por lo ejemplo, si al determinar el espectro con  $\text{AlCl}_3$  / HCl y se mantiene un desplazamiento batocrómico de 35-55 nm en la banda I (comparado con el espectro metanólico) se trata de una flavona o un flavonol 5-hidroxiado. Si el desplazamiento es de 17 - 20 nm se puede tratar de una flavona o un flavonol 5-hidroxiado y 6-oxigenado. Si el desplazamiento es de 50-60 nm, se trata de una flavona o un flavonol 3-hidroxiado (con o sin 5-OH).

## CAPÍTULO 5

### PARTE EXPERIMENTAL

#### 5.1.1 UNIDAD DE ANÁLISIS

Las especies alimenticias seleccionadas para el presente trabajo son: quinua, quentu (forrajero), avena, papa, maíz, camote, ajipa, isaño, tarwi, yacón, walusa, taro, maca, oca, khaya, haba, arveja.

#### 5.1.2 RECOLECCION DE MUESTRAS

Las muestras fueron obtenidas de diferentes localidades del departamento de La Paz entre los meses de Abril y Mayo durante los años 2005-2008 como se detalla en la Tabla 3

MUESTRA	LUGAR
Avena	La Cumbre camino a Sorata
Arveja	Achocalla
Haba	Achocalla
Walusa japonesa	Charazani
Papa walusa	Amarupampa
Isaño negro	Curva
Khaya	Mercado Rodríguez
Ajipa	Mercado Rodríguez
Camote	Mercado Rodríguez
Yacon (a)	Pairumani
Yacon (b)	Pairumani
Oca (a)	Curva
Oca (b)	Curva
Tarwi	Amarette
Tarwi	Campus universitario Cota-cota
Quentu	Warisata
Quinua (q 1)	Patata (Sorata)
Quinua silvestre (q 2)	Patata (Sorata)
Quinua (q 3)	Camino a Warista
Quinua roja (q 4)	Camino a Achacachi y Huarina
Quinua (q 5)	Camino a Huarina de Utahuarina
Quinua amarilla (q 6)	Camino a Achacachi – Huarina

Quinoa (q 7)	Camino a Sipe Sipe
Quinoa (q 8)	Tiahuanaco (comunidad Achala)Teodoro Copana's
Quinoa (q 9)	Comunidad de Caluyo ( casa de Domingo Cabrera)
Papa (waycha)	Comunidad de Caluyo ( casa de Domingo Cabrera)
Maíz amarillo cp1	Campus universitario (Cota Cota)
Maíz amarillo cp2	Campus universitario (Cota Cota)
Maíz negro cn1	Campus universitario (Cota Cota)
Maíz negro cn2	Campus universitario (Cota Cota)
Maca amarillo	Chiarumani a 10 km del norte de Patacamaya
Maca roja	Chiarumani a 10 km del norte de Patacamaya

**Tabla 3. Lugares de muestreo de los diferentes alimentos de estudio**

### **5.1.3 Tratamiento de las muestras**

Una vez transportadas las muestras a los laboratorios de química de alimentos del IIQ, las mismas fueron limpiadas y separadas de elementos extraño para luego ser congeladas a -80°C hasta su respectivo tratamiento.

### **5.1.4 Extracción de las muestras**

Las muestras fueron extraídas en dos diferentes fracciones (tampón acético y solvente acetónico), en solución tampón a pH =5 en buffer preparado con ácido acético 0,2 M y acetato de sodio 0,2 M y en acetona. En el caso de leguminosas se tomó 10 g de muestra y 20 mL de buffer, y en el caso de tubérculos 5 g de muestra y 25 mL de buffer. En el extracto acetónico se procesó 1 g de la pulpa residual de centrifugación de la muestra extraída con el buffer acético con 8 mL de acetona respectivamente, a una temperatura no mayor a 4°C por centrifugación a 20.000 rpm durante 20 min. Los resultados se expresados como valores promedios de seis repeticiones durante tres días. Todas las muestras se colocaron en el congelador-fijado en -80 ° C antes de cada prueba. (Peñarrieta, M., et al., 2005)

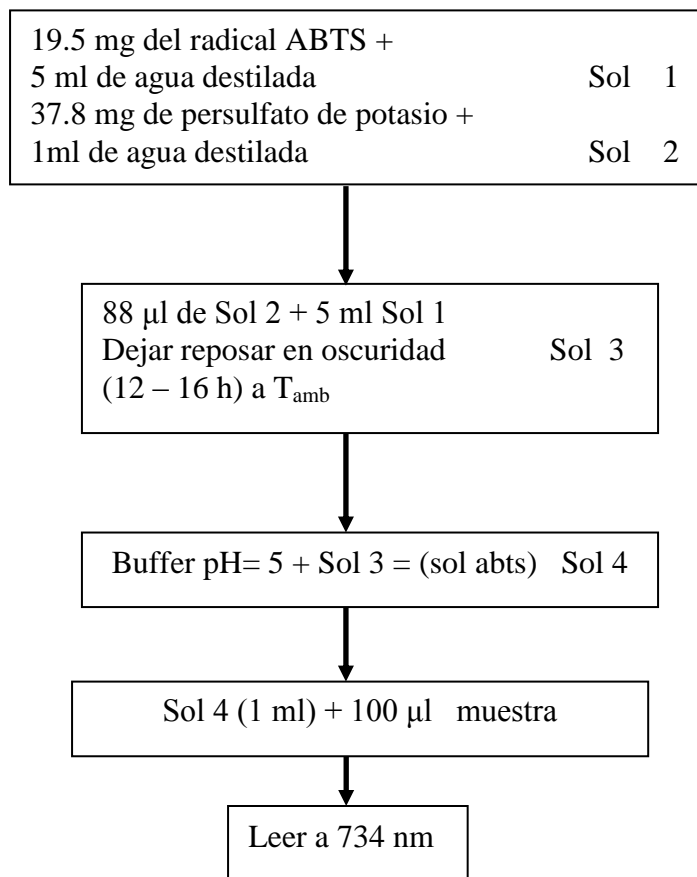
### **5.1.5 Procedimiento del ensayo ABTS/TAC**

El procedimiento de ABTS/TAC se siguió de acuerdo al método descrito por (Re et al. 1999). El compuesto ABTS (7 mmol/l) fue oxidado a un catión radical ABTS<sup>•+</sup> de color azul-verde, utilizando el persulfato del potasio (140 mmol/l). La reacción fue llevada a cabo, durante 12-16 horas a temperatura ambiente en la oscuridad. Este reactivo fue estable después de 2-3 días, guardado en la oscuridad.

El día del análisis la solución de ABTS<sup>•+</sup> fue diluida con una solución buffer acetato a pH 5, a una absorbancia de 0.7000 ( $\pm 0.02$ ) a una longitud de onda de 734 nm.

Se mezcla 100  $\mu$ L de cada muestra con 1 mL de ABTS (diluido) y se mide la absorbancia después de un minuto a 734 nm a 25 °C, la prueba se realiza por duplicado, cuyas lecturas servirán para el cálculo de valores de ABTS

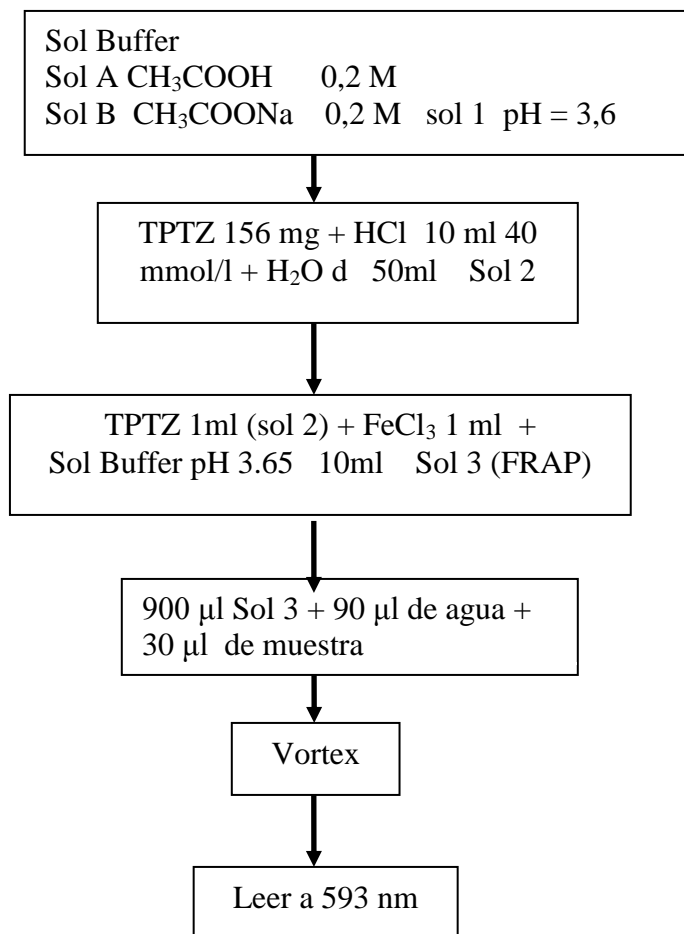
El porcentaje de inhibición de las muestras, fueron comparadas con una curva estándar de Trolox (20-200  $\mu$ mol/l).



**Fig. 11. Diagrama de determinación de la actividad antioxidante por el radical ABTS**

### 5.1.6 Método FRAP

El procedimiento se siguió de acuerdo al método descrito por (Benzie, I. F. F., 1996) método FRAP (Ferric Reducing Antioxidant Power) El complejo amarillo de  $\text{Fe}^{3+}$ -TPTZ (2,4,6-tripiridil-s-triazina) fue reducido al complejo azul de  $\text{Fe}^{2+}$ -TPTZ por el electrón que dona una sustancia, en medio ácido. Cualquier electrón donado por una sustancia, con una alta reactividad y un bajo potencial redox, puede llevar a la formación del complejo azul  $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$  TPTZ.



**Fig. 12. Diagrama de cuantificación de FRAP**

La solución FRAP fue mezclada con 25.0 ml de Buffer Acetato pH 3.6, 2.50 ml de solución de TPTZ (10 mmol/L) y 2.50 ml de cloruro férrico (20 mmol/L). Una relación de 10,1,1. Preparar justo antes del experimento, guardar en frasco café.

Se mezcló 30µL de cada muestra, con 900 µL de FRAP y 90 µL H<sub>2</sub>O y se midió la absorbancia después de 10 minutos a 593 nm a 25 °C. La absorbancia final de las muestras, fueron comparadas con una curva estándar de Trolox (100-1000 µmol/l).

Las curvas estándares fueron repetidas diariamente, durante tres días, al igual que las muestras. Cuyas lecturas servirán para el cálculo de valores de FRAP.

### **5.1.7 Procedimiento del ensayo de fenoles totales**

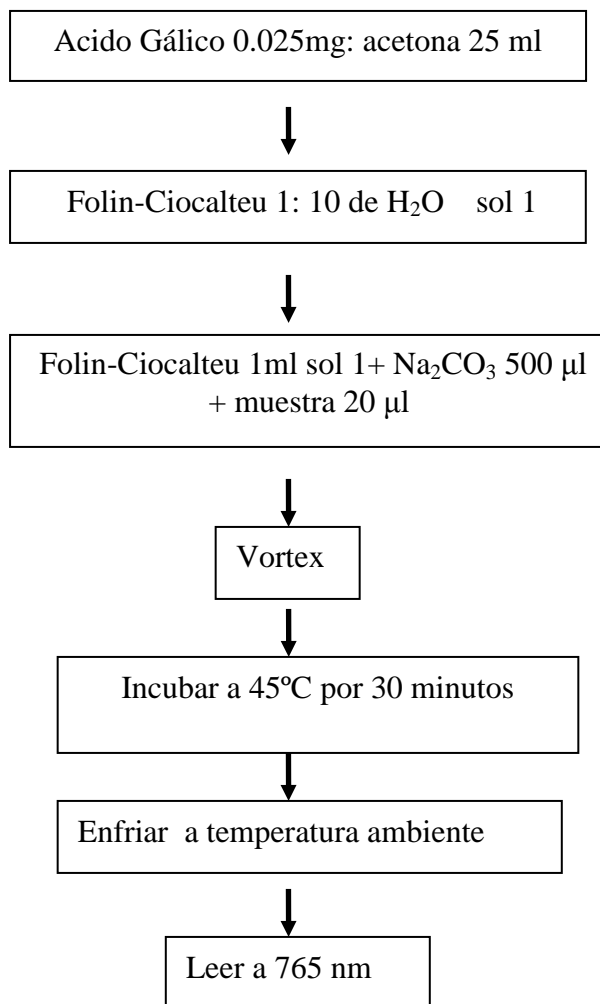
El procedimiento se siguió de acuerdo al método descrito por (Singleton & Rossi, 1965). Folin – Ciocalteu es un método para determinar los Compuestos Fenólicos Totales utilizando el reactivo Folin & Ciocalteu (solución de ácido fosfomolibdico y ácido fosfowolfrámico).

Los compuestos fenólicos son oxidados a fenolatos, por el reactivo Folin -Ciocalteu en medio alcalino, formando un complejo de molibdeno – tungsteno de color azul.

Se preparó una solución de ácido gálico 1:1 (mg/ml) en acetona al 80%. La solución de Folin & Ciocalteu se preparo en una relación 1:10 en H<sub>2</sub>O. Solución de Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> al 7.5% relación (p/v).

Se mezcló 20 µL de cada muestra, con 1 ml de la solución Folin & Ciocalteu y 500 µL de la solución de Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>. La mezcla se calentó durante 30 min. a 45 °C, se espero a que la mezcla llegue a la temperatura ambiente, luego se midió la absorbancia a de la misma 765 nm.

La absorbancia final de cada muestra fue comparada con una curva estándar de ácido gálico (20-200 mg/L). Cuyas lecturas servirán para el cálculo de valores de fenoles totales.



**Fig. 12. Diagrama de cuantificación de fenoles totales**

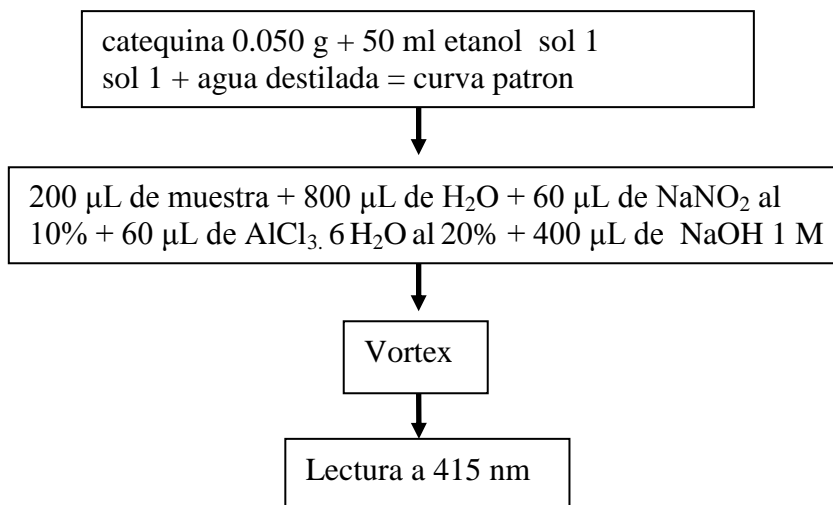
### 5.1.8 Procedimiento del ensayo de flavonoides totales

El procedimiento se siguió de acuerdo al método descrito por (Peñarrieta, et al., 2007) cómo una modificación del método propuesto por Zhishen, et al. 1999. Se utilizó para la muestra un volumen patrón de (catequina 0.050 g + 50 ml etanol) sol 1 preparada con agua destilada. La sol 1 de 20-200 µL es medida a 510 nm, para realizar la curva patrón. Para las muestras de estudio, en un tubo de ensayo se colocan los reactivos en el siguiente orden 200 µL de muestra + 800 µL de H<sub>2</sub>O + 60 µL de NaNO<sub>2</sub> al 10% + 60 µL de AlCl<sub>3</sub> · 6 H<sub>2</sub>O al 20% + 400 µL de NaOH 1 M, se agita en el vortex tornándose a un color rosado.



## *Antioxidantes*

Luego se mide su absorbancia en el espectrofotómetro de UV/Vis a una longitud de onda de 510 nm cuyas lecturas servirán para el cálculo de valores de flavonoides.



**Fig. 13. Diagrama de cuantificación de flavonoides totales**

## **CAPÍTULO 6**

### **RESULTADOS**

Los resultados finales son la sumatoria de los dos valores obtenidos tanto para el extracto con buffer acético como para el extracto acetónico, expresado en  $\mu\text{mol/g}$  muestra fresca siendo así el resultado TAC final de las muestras en estudio.

#### **6.2 Ensayos de TAC**

En las siguientes tablas se muestran los valores del TAC de los diferentes extractos para las muestras de Quinoa, Quentu, Avena, Papa, Maíz, Haba, Arveja, Camote; Ajipa, Isaño, Tarwi, Yacón, Taro (walusa japonesa o papa japonesa), Walusa (malanga), Maca, Caya.

##### **6.2.1 Método FRAP**

En el método FRAP. se forma un complejo de color amarillo que es el  $\text{Fe}^{3+}$ -TPTZ (2,4,6-tripiridil-s-triazina) que es reducido al complejo azul de  $\text{Fe}^{2+}$ -TPTZ por el electrón que dona. Previo a esto se realizó una curva estándar con el patrón trolox, (100-1000  $\mu\text{mol/l}$ ). Cada muestra fue medida por duplicado en tres diferentes días. Los valores de la curva estándar se utilizaron para calcular tanto los valores de TAC para la fracción acetónica como la buffer. El resultado se reportó en unidades  $\text{TAC}/\mu\text{mol/g}$ .

- Primer día.
- Segundo día.
- Tercer día

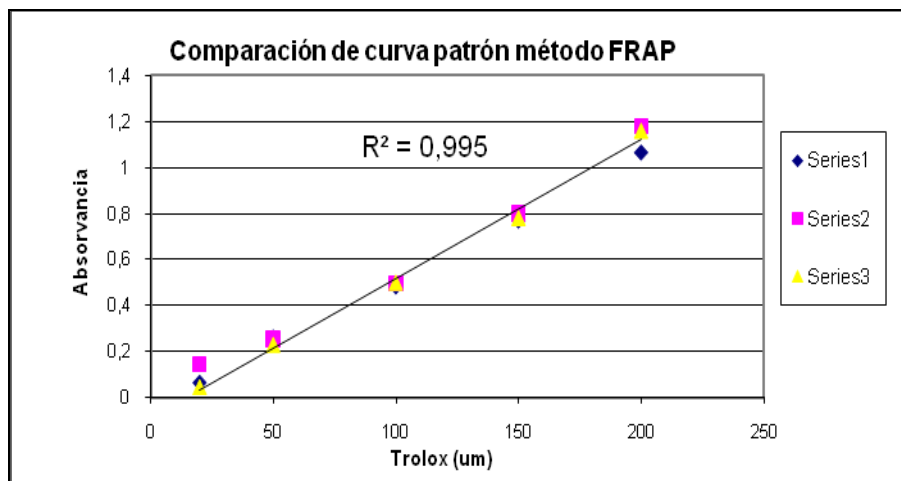


Fig. 14. Curva de calibración método FRAP



Foto 1. Patrón de la curva de calibración, método FRAP

En la tabla 4 se muestran los datos de TAC de los extractos de buffer acético de las diferentes muestras en estudio. Donde se puede observar que las muestras más activas son: la quinua silvestre (q2), el quentu, y la oca (a). Mientras que las muestras con menor actividad antioxidante son de: walusa, maíz amarillo y camote.

MUESTRA	Absorbancia	Pendiente	$\overline{TAC}$ $\mu\text{mol} / \text{gmf}$	SD
Avena	0,2313	0,0011	6,3	0,32
Arveja	0,4880	0,0011	3,3	0,20
Haba	0,5714	0,0011	2,1	0,05
Papa japonesa (Taro)	0,5066	0,0011	1,2	0,04
Walusa (Malanga)	0,4400	0,0011	0,7	0,03
Isaño negro	0,3701	0,0011	7,4	0,43
Khaya	0,2752	0,0011	2,4	0,11
Ajipa	0,5881	0,0011	5,4	0,25
Camote	0,3896	0,0011	1,9	0,07
Yacon a	0,1623	0,0011	2,1	0,13
Yacon b	0,4784	0,0011	2,2	0,07
Oca a	0,3936	0,0011	9,4	0,63
Oca b	0,5686	0,0011	4,8	0,30
Tarwi a	0,3971	0,0011	1,6	0,13
Tarwi b	0,5051	0,0011	7,4	0,25
Quentu	0,1693	0,0011	17,7	0,45
Quinoa q1	0,8749	0,0011	4,0	0,16
Quinoa silvestre q2	0,6063	0,0011	22,2	0,46
Quinoa q3	0,1417	0,0011	4,2	0,11
Quinoa roja q4	0,7583	0,0011	4,8	0,16
Quinoa q5	0,1473	0,0011	8,6	0,25
Quinoa amarilla q6	0,1716	0,0011	5,6	0,25
Quinoa q7	0,3012	0,0011	3,4	0,04
Quinoa q8	0,1899	0,0011	5,1	0,32
Quinoa q9	0,1292	0,0011	9,2	0,15
Papa (Waycha)	0,1818	0,0011	4,0	0,06
Maíz amarillo cp1	0,3379	0,0011	1,4	0,12
Maíz amarillo cp2	0,3900	0,0011	1,4	0,39
Maíz negro cn1	0,2960	0,0011	3,0	0,16
Maíz negro cn2	0,2324	0,0011	7,9	1,16
Maca amarillo	0,6209	0,0011	3,2	0,004
Maca roja	0,4880	0,0011	3,0	0,02

**Tabla 4 Determinación del TAC por el ensayo FRAP en el extracto acético**

La tabla 5 presenta los valores de actividad antioxidante de los extractos acetónicos determinados por el método FRAP. Se puede observar que en general los valores de estos extractos son menores que los valores de los extractos realizados en buffer

## Antioxidantes

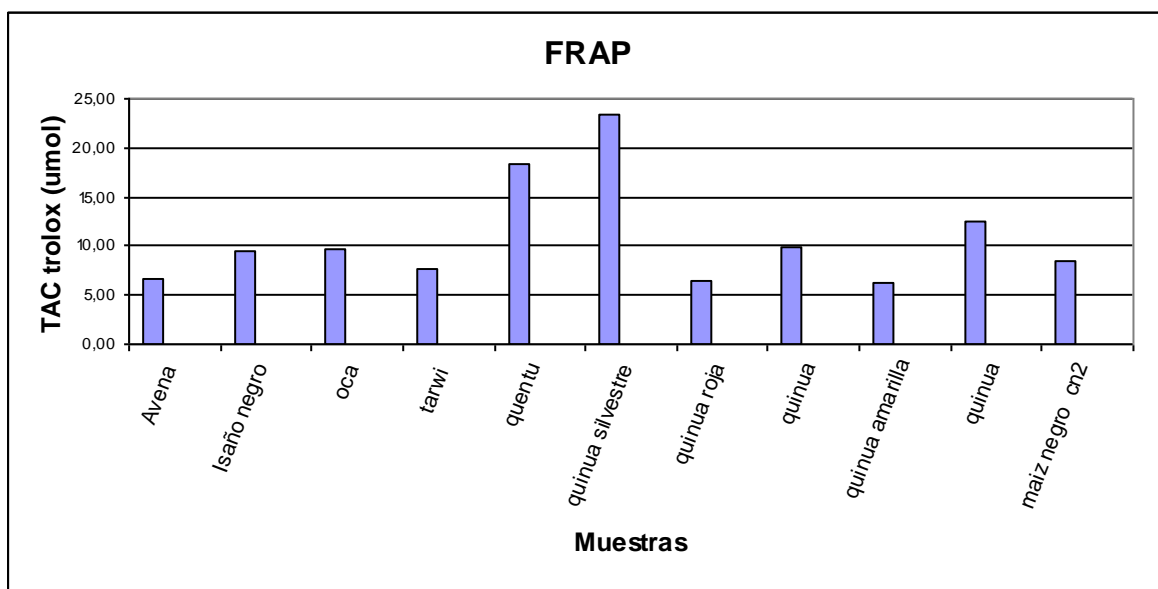
Los datos con mayor valor de TAC son: isaño negro y quinua (q9), y que el método no detecto actividad antioxidante en maca amarilla

MUESTRA	Absorbancia	Pendiente	$\overline{TAC}$ $\mu\text{mol} / \text{gmf}$	SD
Avena	0,0228	0,0011	0,35	0,03
Arveja	0,3087	0,0011	0,50	0,03
Haba	0,4483	0,0011	0,32	0,02
Papa japonesa (Taro)	0,3370	0,0011	0,09	0,004
Walusa (Malanga)	0,5105	0,0011	1,88	0,07
Isaño negro	1,1390	0,0011	2,09	0,19
Khaya	0,3187	0,0011	0,26	0,01
Ajipa	0,3365	0,0011	0,23	0,01
Camote	0,4079	0,0011	0,20	0,01
Yacón a	0,0291	0,0011	0,02	0,001
Yacón b	0,0418	0,0011	0,35	0,01
Oca a	0,1593	0,0011	0,26	0,01
Oca b	0,2682	0,0011	0,92	0,00
Tarwi a	0,4525	0,0011	0,50	0,02
Tarwi b	0,6662	0,0011	0,34	0,03
Quentu	0,2751	0,0011	0,67	0,04
Quinua q1	0,3471	0,0011	0,40	0,01
Quinua silvestre q2	0,5523	0,0011	1,27	0,70
Quinua q3	0,2298	0,0011	1,17	0,99
Quinua roja q4	0,2269	0,0011	1,66	0,63
Quinua q5	0,1148	0,0011	1,28	0,06
Quinua amarilla q6	0,0950	0,0011	0,53	0,03
Quinua q7	0,0879	0,0011	2,07	0,13
Quinua q8	0,0575	0,0011	0,82	0,05
Quinua q9	0,0585	0,0011	3,21	0,97
Papa (Waycha)	0,0458	0,0011	0,28	0,03
Maíz amarillo cp1	0,1692	0,0011	1,53	0,94
Maíz amarillo cp2	0,0257	0,0011	1,40	0,00
Maíz negro cn1	0,2271	0,0011	0,59	0,01
Maíz negro cn2	0,4163	0,0011	0,61	0,01
Maca amarillo	0,5339	0,0011	nd	0,00
Maca roja	0,6563	0,0011	0,28	0,03

**Tabla 5 Determinación del TAC por el ensayo FRAP en el Extracto Acetónico**

Nd = no detectable

En la figura 15 se puede observar los valores con mayor actividad antioxidante medidos en las diferentes muestras de la cual son expresados como la suma de los extractos realizados en, buffer y acetona, por el método FRAP, donde quinua silvestre (q2) y quentu destacan como los más altos.



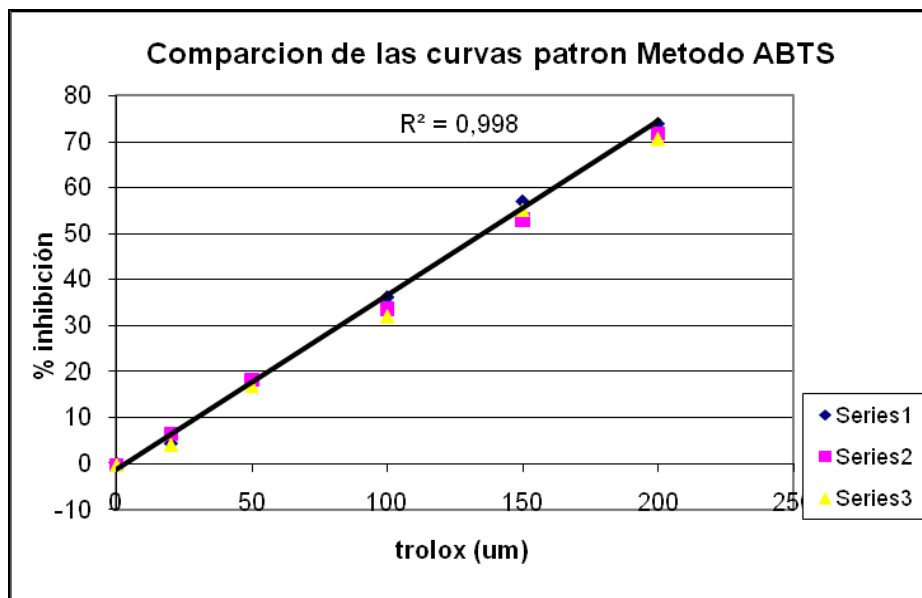
**Fig. 15. Valores TAC-FRAP de las especies más representativas obtenidas en el ensayo.**

### 6.2.2 Ensayo ABTS

Para este ensayo el ABTS (7 mmol/l) es oxidado al catión radical  $ABTS^{+•}$  de color azul-verde, utilizando el persulfato del potasio (140 mmol/l).

El porcentaje de inhibición de las muestras, fue comparado con una curva estándar de Trolox (20-200  $\mu\text{mol/l}$ ). En todas las determinaciones se trabajó con los dos extractos, el extracto con buffer (ácido acético/acetato de sodio) y el extracto acetónico, medido en tres diferentes días. El resultado se reportó en unidades equivalentes de trolox, TE/  $\mu\text{mol/gfw}$

- Primer día.
- Segundo día.
- Tercer día



**Fig. 16. Curva de calibración método ABTS**



**Foto 2. Patrón de la curva de calibración, método ABTS**

De los valores obtenidos de TAC de los extractos realizados con buffer (ácido acético/acetato de sodio) podemos ver que los extractos con mayor actividad antioxidante son: quinua silvestre (q2), quentu. Los que tienen menor actividad antioxidante son: papa walusa y, camote. Se puede advertir que existe cierta relación de la actividad con el método FRAP.

MUESTRA	Absorbancia	Pendiente	$\overline{TAC}$ $\mu\text{mol} / \text{gmf}$	SD
Avena	0,1798	0,3398	6,77	0,05
Arveja	0,1905	0,3398	0,79	0,01
Haba	0,2840	0,3398	0,68	0,03
Walusa japonesa	0,4700	0,3398	0,23	0,01
Papa walusa	0,4107	0,3398	0,10	0,01
Isaño negro	0,2048	0,3398	11,45	1,98
Khaya	0,4299	0,3398	2,02	0,07
Ajipa	0,4996	0,3398	0,37	0,04
Camote	0,5034	0,3398	0,38	0,03
Yacón a	0,3433	0,3398	3,25	0,09
Yacón b	0,1733	0,3398	9,68	0,11
Oca a	0,3470	0,3398	3,11	0,50
Oca b	0,5620	0,3398	3,53	0,41
Tarwi a	0,5238	0,3398	0,20	0,01
Tarwi b	0,5325	0,3398	0,78	0,02
Quentu	0,5341	0,3398	29,64	0,59
Quinoa q1	0,2837	0,3398	2,69	0,10
Quinoa silvestre q2	0,3646	0,3398	33,34	1,13
Quinoa q3	0,4689	0,3398	2,21	0,08
Quinoa roja q4	0,4028	0,3398	2,21	0,16
Quinoa q5	0,5032	0,3398	3,71	0,19
Quinoa amarilla q6	0,5002	0,3398	1,04	0,05
Quinoa q7	0,3984	0,3398	1,89	0,13
Quinoa q8	0,5900	0,3398	3,04	0,06
Quinoa q9	0,5146	0,3398	1,45	0,10
Papa (Waycha)	0,4429	0,3398	1,16	0,04
Maíz amarillo cp1	0,5538	0,3398	0,78	0,05
Maíz amarillo cp2	0,4350	0,3398	0,67	0,03
Maíz negro cn1	0,3536	0,3398	1,01	0,03
Maíz negro cn2	0,3995	0,3398	10,34	0,46
Maca amarillo	0,2405	0,3398	0,75	0,03
Maca roja	0,2912	0,3398	1,11	0,01

**Tabla 6 Determinación del TAC por el ensayo ABTS en el extracto con buffer acetato**

En la tabla 7 son expuestos los valores de TAC de los extractos acetónicos y se puede ver valores muy bajos en comparación con los obtenidos en extractos obtenidos con el buffer, pero no obstante se observan algunas muestras con alto contenido de antioxidantes tal es el caso de : quinoa silvestre (q2) y quentu.



## Antioxidantes

Por otro lado en muchas de las muestras el método no detectó actividad antioxidante lo que puede asumirse que en estas fracciones el contenido de antioxidantes es despreciable.

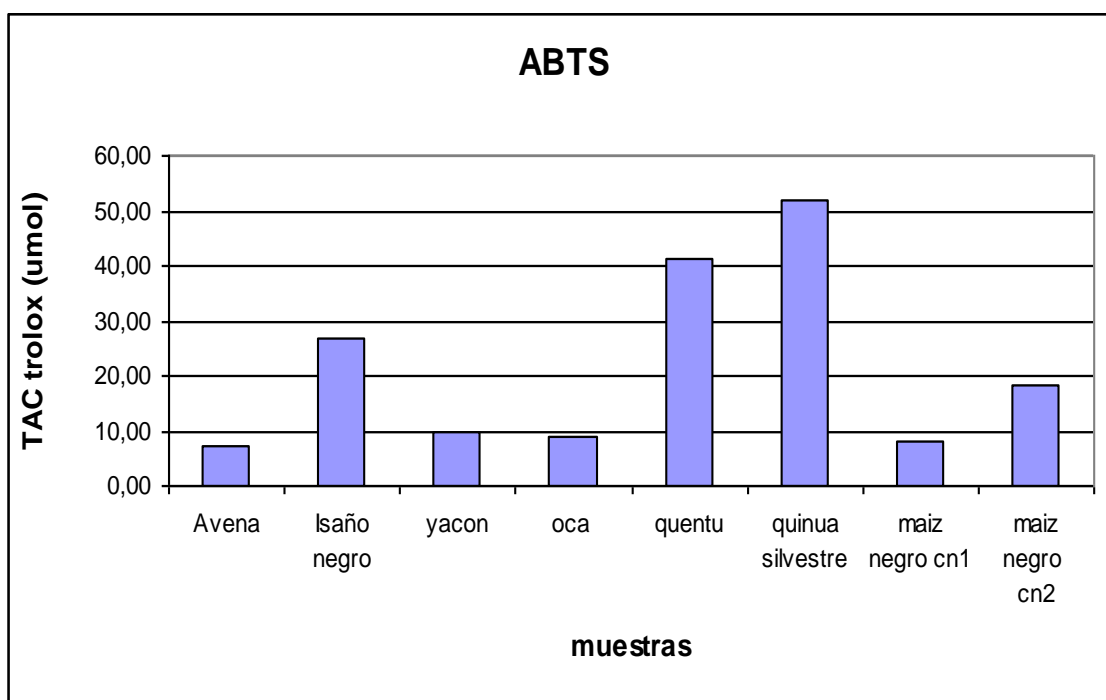
MUESTRA	Absorbancia	Pendiente	$\overline{TAC}$ $\mu\text{mol} / \text{gmf}$	SD
Avena	0,6096	0,3398	0,39	0,09
Arveja	0,6911	0,3398	nd	0,00
Haba	0,7038	0,3398	nd	0,00
Walusa japonesa	0,3036	0,3398	0,90	0,03
Papa walusa	0,5560	0,3398	1,92	0,26
Isaño negro	0,2336	0,3398	15,35	0,55
Khaya	0,4847	0,3398	0,71	0,07
Ajipa	0,6674	0,3398	nd	0,00
Camote	0,5910	0,3398	0,17	0,06
Yacon a	0,5572	0,3398	0,01	0,01
Yacon b	0,5105	0,3398	0,15	0,07
Oca a	0,6522	0,3398	2,28	0,09
Oca b	0,6395	0,3398	5,38	0,08
Tarwi a	0,4606	0,3398	nd	0,00
Tarwi b	0,1642	0,3398	nd	0,00
Quentu	0,8875	0,3398	11,83	0,70
Quinoa q1	1,1970	0,3398	0,07	0,01
Quinoa silvestre q2	0,4807	0,3398	18,56	0,40
Quinoa q3	0,6539	0,3398	0,80	0,10
Quinoa roja q4	0,2853	0,3398	0,21	0,13
Quinoa q5	0,5705	0,3398	0,41	0,18
Quinoa amarilla q6	0,6422	0,3398	0,08	0,07
Quinoa q7	0,6044	0,3398	0,18	0,10
Quinoa q8	0,6450	0,3398	0,15	0,05
Quinoa q9	0,6520	0,3398	0,61	0,08
Papa (Waycha)	0,6450	0,3398	0,23	0,07
Maíz amarillo cp1	0,6156	0,3398	2,50	0,30
Maíz amarillo cp2	0,6186	0,3398	2,40	0,61
Maíz negro cn1	0,5723	0,3398	7,04	0,48
Maíz negro cn2	0,5665	0,3398	7,99	0,22
Maca amarillo	0,4516	0,3398	0,26	0,04
Maca roja	0,3691	0,3398	0,49	0,09

**Tabla 7 Determinación del TAC por el Ensayo TAC/ABTS en el extracto acetónico**

Nd = no detectable

En la gráfica 17 se observan las muestras más representativas en función a la actividad antioxidante determinada por el método ABTS, dicha gráfica muestra la sumatoria de los datos de extractos buffer y acetónico.

Los valores más altos de los extractos (buffer y acetónico) se presentan en las muestras de quinua silvestre (q2) y quentu,. Lo mismo fue observado por el método FRAP donde n las mismas muestras presentan la mayor actividad.



**Fig. 17. Valores TAC-ABTS de las especies más representativas obtenidas en el ensayo.**

### 6.2.3 Ensayo de TPC - Total Phenolic Content (Determinación de Fenoles Totales)

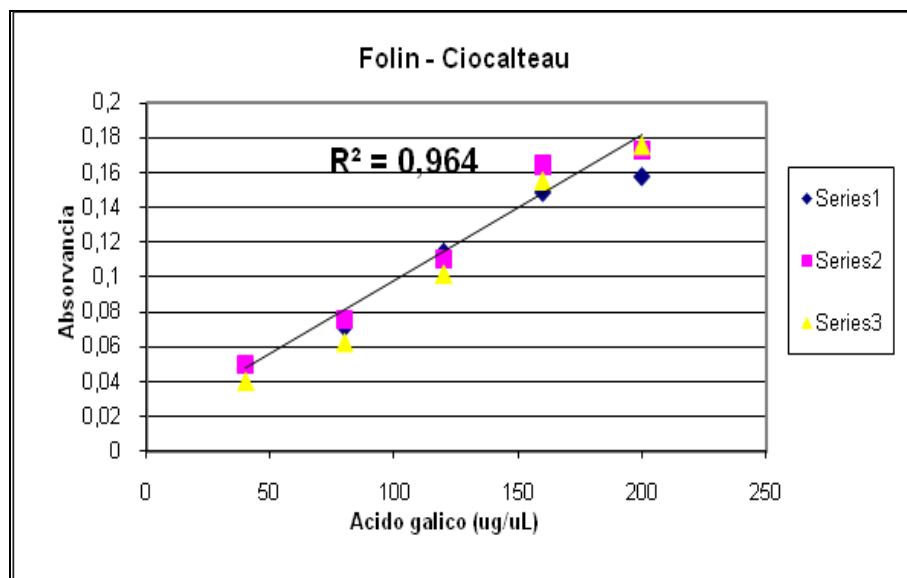
Folin – Ciocalteu es un método para determinar los Compuestos Fenólicos Totales utilizando el reactivo Folin & Ciocalteu (solución de ácido fosfomolibdico y ácido fosfowolfrámico).

Los compuestos fenólicos son oxidados a fenolatos, por el reactivo Folin -Ciocalteu en medio alcalino, formando un complejo de molibdeno – wolfram de color azul.

## Antioxidantes

En todas las determinaciones se trabajó con los dos extractos, el extracto con buffer (ácido acético/acetato de sodio) y el extracto acetónico, medido por duplicado en tres diferentes días. El resultado se reporta en unidades equivalentes de ácido gálico, GAE/mg/ mL

- Primer día.
- Segundo día.
- Tercer día



**Figura 18. Curva de calibración, método Folin-Ciocalteu**



**Foto 3. Patrón de la curva de calibración, método Folin-Ciocalteu**

## Antioxidantes

En la siguiente tabla podemos observar los valores obtenidos de fenoles totales de los extractos buffer acetato. Donde se observa que los valores obtenidos presentan relación con los métodos FRAP y ABTS donde se siguen destacado los alimentos con mayor cantidad en fenoles, quentu, y quinua silvestre (q2), y también se puede observar que los valores más bajos tarwi (b), papa walusa.

MUESTRA	Absorbancia	Pendiente	FenolesT. μmol / gmf	SD
Avena	0,0451	0,0017	0,82	0,04
Arveja	0,0355	0,0017	0,29	0,07
Haba	0,0352	0,0017	0,04	0,01
Walusa japonesa	0,1227	0,0017	0,19	0,04
Papa walusa	0,0373	0,0017	0,02	0,00
Isaño negro	0,1176	0,0017	1,11	0,64
Khaya	0,0527	0,0017	0,15	0,01
Ajipa	0,0365	0,0017	0,11	0,01
Camote	0,0284	0,0017	0,09	0,003
Yacon a	0,1427	0,0017	0,09	0,01
Yacon b	0,0669	0,0017	0,09	0,01
Oca a	0,0267	0,0017	0,80	0,49
Oca b	0,0368	0,0017	0,91	0,62
Tarwi a	0,0611	0,0017	0,16	0,01
Tarwi b	0,0387	0,0017	0,13	0,01
Quentu	0,0404	0,0017	8,24	0,00
Quinua q1	0,0250	0,0017	0,91	0,08
Quinua silvestre q2	0,0892	0,0017	3,82	0,00
Quinua q3	0,0504	0,0017	1,00	0,01
Quinua roja q4	0,0575	0,0017	0,98	0,03
Quinua q5	0,0559	0,0017	0,83	0,06
Quinua amarilla q6	0,0556	0,0017	1,09	0,07
Quinua q7	0,0457	0,0017	0,89	0,08
Quinua q8	0,0585	0,0017	0,84	0,07
Quinua q9	0,0540	0,0017	0,93	0,08
Papa (Waycha)	0,0467	0,0017	0,30	0,03
Maíz amarillo cp1	0,0541	0,0017	0,24	0,01
Maíz amarillo cp2	0,0456	0,0017	0,18	0,02
Maíz negro cn1	0,0729	0,0017	0,85	0,04
Maíz negro cn2	0,0556	0,0017	0,98	0,04
Maca amarillo	0,0457	0,0017	1,63	0,00
Maca roja	0,0498	0,0017	0,58	0,30

**Tabla 8 Determinación de TPC por el ensayo Folin & Ciocalteu en el Extracto con Buffer Acetato**

## Antioxidantes

Los valores del extracto acetónico son más bajos por lo explicado en los anteriores métodos, pero también de la misma forma siguen resaltando con mayor actividad antioxidante el quentu, isaño negro, en este caso la oca (b), mientras que los más bajos el camote, maca amarilla y maca roja. Por lo que podemos mencionar en este caso en particular que algunos datos resaltaron especialmente en el extracto polar, tal es el caso de la papa walusa y la oca.

MUESTRA	Absorbancia	Pendiente	FenolesT. μmol / gmf	SD
Avena	0,0240	0,0017	0,23	0,03
Arveja	0,0354	0,0017	0,39	0,05
Haba	0,0354	0,0017	0,16	0,03
Walusa japonesa	0,0409	0,0017	0,33	0,02
Papa walusa	0,0377	0,0017	0,89	0,12
Isaño negro	0,1189	0,0017	2,66	0,37
Khaya	0,0280	0,0017	0,14	0,01
Ajipa	0,0349	0,0017	0,16	0,03
Camote	0,0317	0,0017	0,10	0,02
Yacon a	0,0550	0,0017	0,03	0,00
Yacon b	0,0414	0,0017	0,31	0,03
Oca a	0,0353	0,0017	0,23	0,03
Oca b	0,0367	0,0017	1,07	0,11
Tarwi a	0,0592	0,0017	0,96	0,10
Tarwi b	0,0763	0,0017	1,04	0,05
Quentu	0,0432	0,0017	2,40	0,08
Quinua q1	0,0837	0,0017	0,25	0,04
Quinua silvestre q2	0,0796	0,0017	0,25	0,02
Quinua q3	0,0230	0,0017	0,14	0,02
Quinua roja q4	0,0351	0,0017	0,37	0,03
Quinua q5	0,0119	0,0017	0,21	0,02
Quinua amarilla q6	0,0266	0,0017	0,15	0,01
Quinua q7	0,0230	0,0017	0,80	0,08
Quinua q8	0,0250	0,0017	0,21	0,02
Quinua q9	0,0350	0,0017	0,43	0,04
Papa (Waycha)	0,0189	0,0017	0,16	0,01
Maíz amarillo cp1	0,0252	0,0017	0,60	0,05
Maíz amarillo cp2	0,0229	0,0017	0,73	0,09
Maíz negro cn1	0,1053	0,0017	1,02	0,09
Maíz negro cn2	0,1358	0,0017	0,85	0,05
Maca amarillo	0,1421	0,0017	0,17	0,01
Maca roja	0,1455	0,0017	0,17	0,02

**Tabla 9 Determinación de FT por el ensayo Folin –Ciocalteu en el extracto acetónico**

En el siguiente cuadro (fig. 19 se graficó las muestras más sobresalientes con mayor actividad en fenoles totales donde se destaca el quentu. Las muestras restantes se encuentran por debajo de la mitad de actividad antioxidante con relación al más alto (quentu).

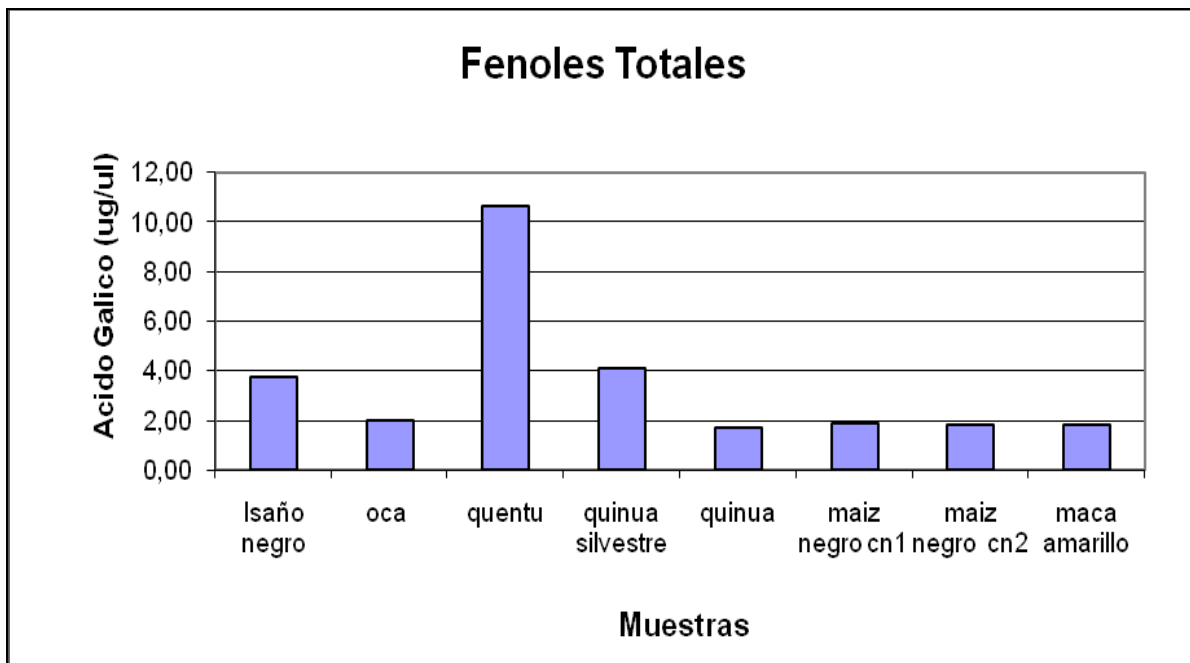


Fig. 19. Valores GAE de las especies más representativas obtenidas en el ensayo.

#### 6.2.4 Ensayo de Flavonoides Totales

En todas las determinaciones se trabajó con los dos extractos, el extracto con buffer acetato y el extracto acetónico, medido en tres diferentes días. El resultado se reporta en unidades de equivalentes de catequina, CE/ $\mu$ mol por gramo.

- Primer día.
- Segundo día.
- Tercer día

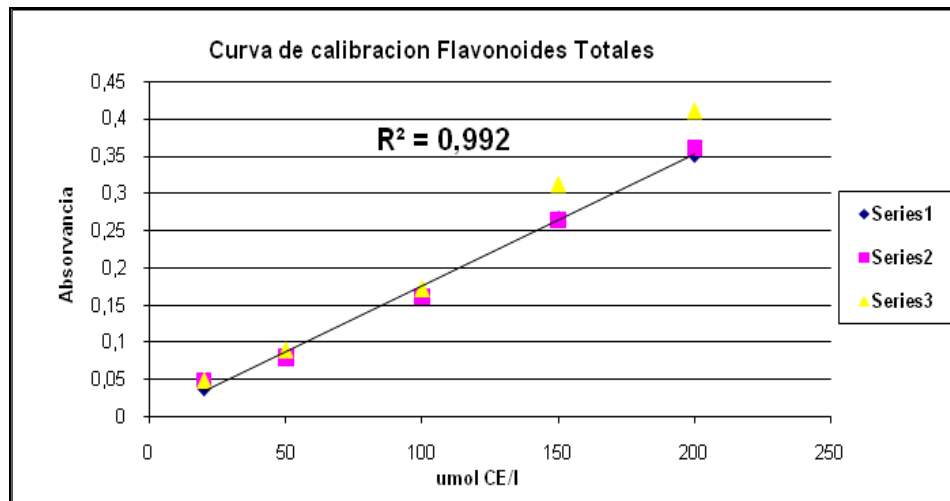


Figura 20. Curva de calibración, método flavonoides totales



Foto 4. Patrón de la curva de calibración, método flavonoides totales

En los valores obtenidos del extracto buffer acetato se destacaron las muestras anteriormente mencionadas, como ser la quinua silvestre (q2) y el quentu. En este caso la maca amarilla junto con la papa walusa y la walusa japonesa resultaron los más bajos.

MUESTRA	Absorbancia	Pendiente	<i>FlavonoidesT</i> μmol / gmf	SD
Avena	0,1460	0,0017	2,65	0,22
Arveja	0,1732	0,0017	0,37	0,03
Haba	0,3174	0,0017	0,37	0,02
Walusa japonesa	0,0716	0,0017	0,11	0,02
Papa walusa	0,2010	0,0017	0,11	0,01
Isaño negro	0,1685	0,0017	0,43	0,04
Khaya	0,1680	0,0017	0,47	0,03
Ajipa	0,0350	0,0017	0,11	0,02
Camote	0,0370	0,0017	0,12	0,02
Yacón a	0,0755	0,0017	0,37	0,05
Yacón b	0,1397	0,0017	0,43	0,03
Oca a	0,1115	0,0017	0,40	0,04
Oca b	0,1767	0,0017	0,41	0,03
Tarwi a	0,1354	0,0017	0,37	0,02
Tarwi b	0,1346	0,0017	1,10	0,13
Quentu	0,0365	0,0017	5,32	0,13
Quinoa q1	0,0822	0,0017	1,28	0,11
Quinoa silvestre q2	0,2891	0,0017	6,02	0,12
Quinoa q3	0,0710	0,0017	0,66	0,06
Quinoa roja q4	0,3260	0,0017	0,60	0,04
Quinoa q5	0,0367	0,0017	1,03	0,06
Quinoa amarilla q6	0,0339	0,0017	0,66	0,05
Quinoa q7	0,0563	0,0017	0,43	0,06
Quinoa q8	0,0356	0,0017	0,43	0,06
Quinoa q9	0,0259	0,0017	0,94	0,04
Papa (Waycha)	0,0242	0,0017	0,45	0,02
Maíz amarillo cp1	0,0547	0,0017	0,12	0,01
Maíz amarillo cp2	0,0683	0,0017	0,13	0,02
Maíz negro cn1	0,0362	0,0017	1,00	0,07
Maíz negro cn2	0,0386	0,0017	1,83	0,10
Maca amarillo	0,3240	0,0017	2,02	0,003
Maca roja	0,1354	0,0017	1,93	0,003

**Tabla 10 Determinación de Flavonoides Totales en el Extracto con Buffer Acetato**

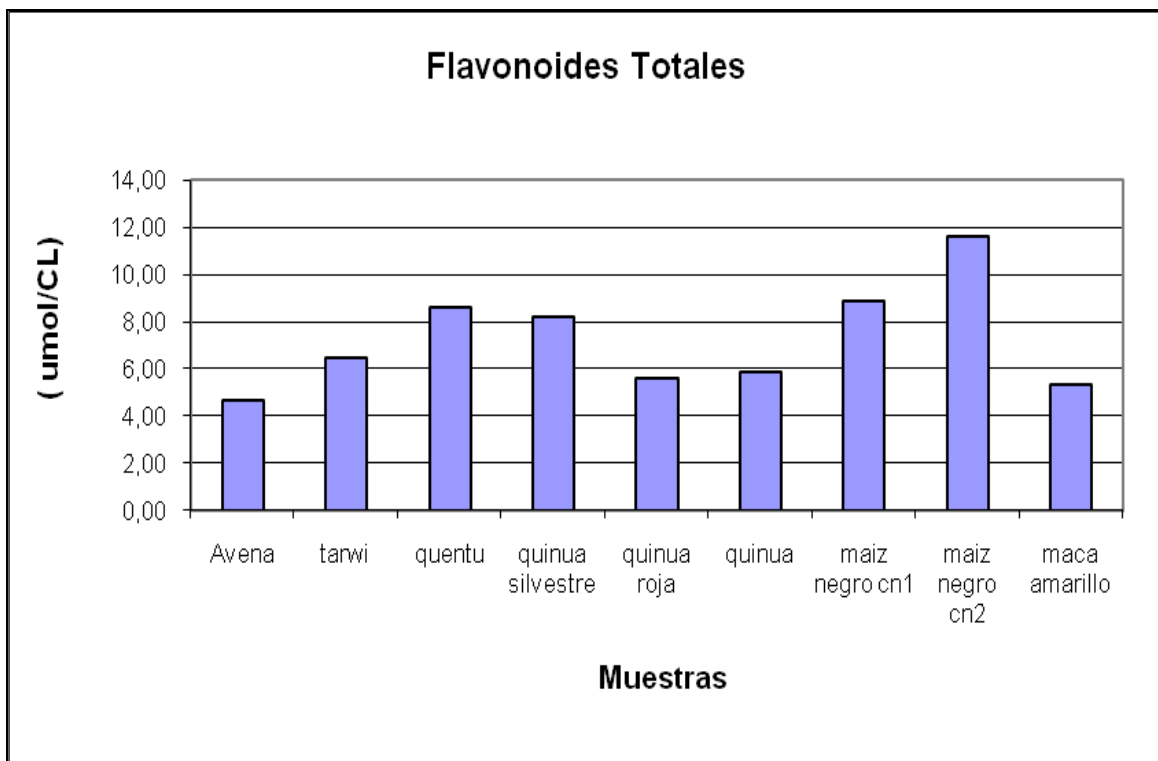
En la determinación de flavonoides de los extractos acetónico podemos ver que también los valores son bajos al igual que en los anteriores métodos pero es este caso no existe valores no detectables como en fenoles totales. También cabe mencionar que los valores obtenidos no son tan bajos como los extractos buffer acetato, destacándose con mayor actividad antioxidante, muy diferente a los demás el tarwi (a), la quinua roja (q4) y las dos variedades de maíz negro.



MUESTRA	Absorbancia	Pendiente	FlavonoidesT	
			$\mu\text{mol} / \text{gmf}$	SD
Avena	0,0518	0,0017	1,98	0,12
Arveja	0,1538	0,0017	1,58	0,18
Haba	0,2034	0,0017	0,92	0,05
Walusa japonesa	0,3043	0,0017	0,49	0,03
Papa walusa	0,0869	0,0017	2,03	0,22
Isaño negro	0,1171	0,0017	1,36	0,15
Khaya	0,1685	0,0017	0,87	0,07
Ajipa	0,0327	0,0017	0,14	0,02
Camote	0,0672	0,0017	0,21	0,03
Yacon a	0,1743	0,0017	0,07	0,01
Yacon b	0,3273	0,0017	0,77	0,09
Oca a	0,0797	0,0017	0,54	0,04
Oca b	0,0928	0,0017	0,63	0,27
Tarwi a	0,1489	0,0017	6,10	0,42
Tarwi b	0,1818	0,0017	1,43	0,15
Quentu	0,5355	0,0017	3,26	0,05
Quinoa q1	0,2283	0,0017	0,28	0,03
Quinoa silvestre q2	0,4261	0,0017	2,17	0,06
Quinoa q3	0,0258	0,0017	2,65	0,16
Quinoa roja q4	0,1532	0,0017	5,00	0,23
Quinoa q5	0,1171	0,0017	1,52	0,17
Quinoa amarilla q6	0,1853	0,0017	0,65	0,03
Quinoa q7	0,0829	0,0017	3,94	0,14
Quinoa q8	0,0557	0,0017	2,08	0,17
Quinoa q9	0,1766	0,0017	4,95	0,31
Papa (Waycha)	0,0615	0,0017	0,39	0,08
Maíz amarillo cp1	0,0983	0,0017	0,68	0,03
Maíz amarillo cp2	0,1421	0,0017	2,13	0,28
Maíz negro cn1	0,1141	0,0017	7,85	0,50
Maíz negro cn2	0,1974	0,0017	9,77	0,50
Maca amarillo	0,1816	0,0017	3,28	0,13
Maca roja	0,2773	0,0017	1,37	0,06

**Tabla 11 Determinación de Flavonoides Totales en el Extracto Acetónico**

La figura 21 representa las muestras con mayor cantidad de flavonoides, en este caso resaltó el maíz negro, por encima del quentu y la quinoa silvestre no existiendo mucha diferencia como en el caso de fenoles totales.

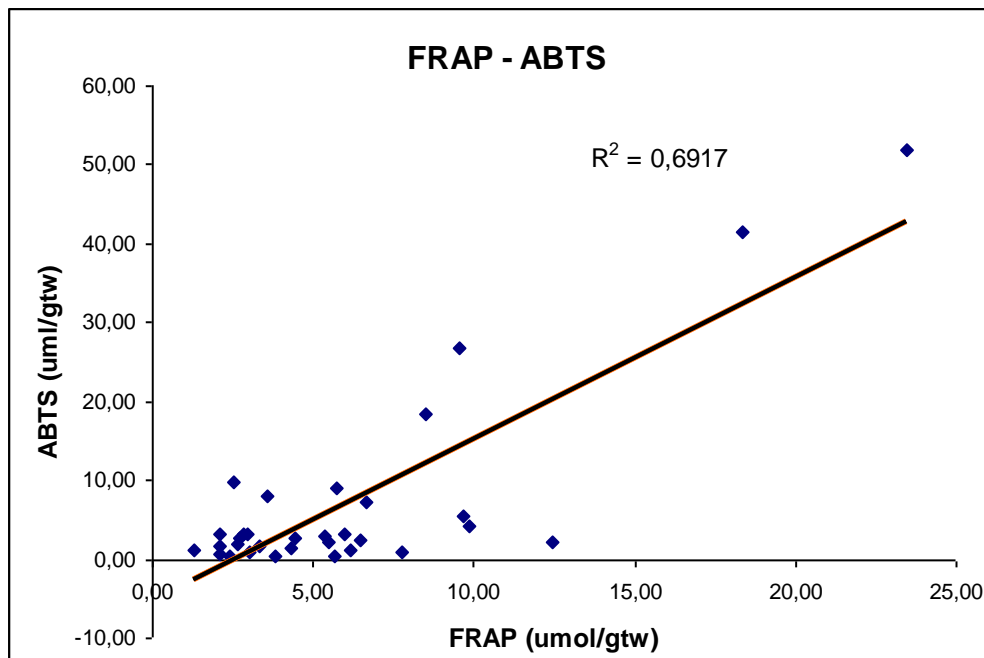


**Fig. 21. Valores CE de las especies más representativas obtenidas en el ensayo.**

**TABLA DE RESUMEN FINAL DE LOS DATOS**

MUESTRA	FRAP	ABTS	TPH	TF
Avena	6,63	7,16	1,05	4,63
Arveja	3,84	0,33	0,68	1,96
Haba	2,42	0,39	0,20	1,29
Walusa japonesa	1,31	1,12	0,52	0,60
Papa walusa	2,63	2,02	0,91	2,13
Isaño negro	9,53	26,80	3,77	1,79
Khaya	2,70	2,72	0,29	1,34
Ajipa	5,65	0,35	0,27	0,25
Camote	2,09	0,55	0,19	0,33
Yacon a	2,10	3,26	0,12	0,44
Yacon b	2,53	9,83	0,40	1,19
Oca a	9,66	5,39	1,03	0,95
Oca b	5,74	8,90	1,97	1,04
Tarwi a	2,12	1,78	1,13	6,47
Tarwi b	7,73	1,81	1,17	2,52
Quentu	18,35	41,46	10,65	8,58
Quinoa q1	4,43	2,76	1,16	1,56
Quinoa silvestre q2	23,48	51,90	4,07	8,19
Quinoa q3	5,36	3,01	1,14	3,30
Quinoa roja q4	6,44	2,42	1,35	5,60
Quinoa q5	9,86	4,12	1,05	2,55
Quinoa amarilla q6	6,15	1,12	1,24	1,31
Quinoa q7	5,46	2,07	1,69	4,37
Quinoa q8	5,95	3,19	1,05	2,52
Quinoa q9	12,44	2,05	1,36	5,90
Papa (Waycha)	4,31	1,39	0,46	0,85
Maíz amarillo cp1	2,96	3,28	0,84	0,80
Maíz amarillo cp2	2,81	3,07	0,91	2,26
Maíz negro cn1	3,57	8,05	1,87	8,85
Maíz negro cn2	8,50	18,32	1,83	11,59
Maca amarillo	3,05	1,01	1,80	5,30
Maca roja	3,32	1,60	0,75	3,30

**Tabla 12 TAC sumatoria del extracto buffer acético más el extracto acetónico en los diferentes casos como ser, TPC, TF, ABTS, FRAP.**

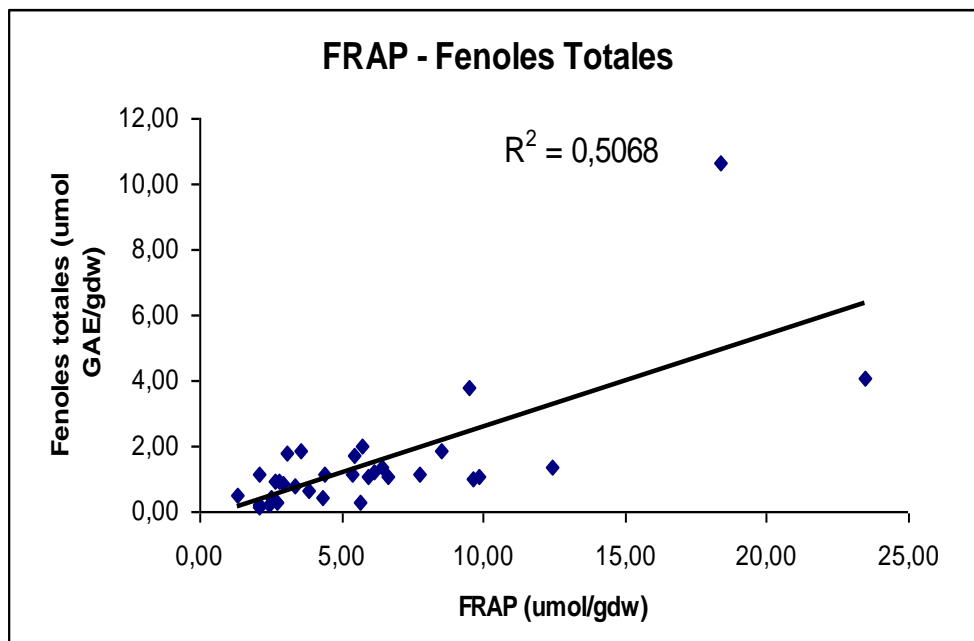


**Tabla 13. Correlación entre métodos FRAP – ABTS**

**Relación de los valores medios del TAC mediante los métodos ABTS y FRAP.**

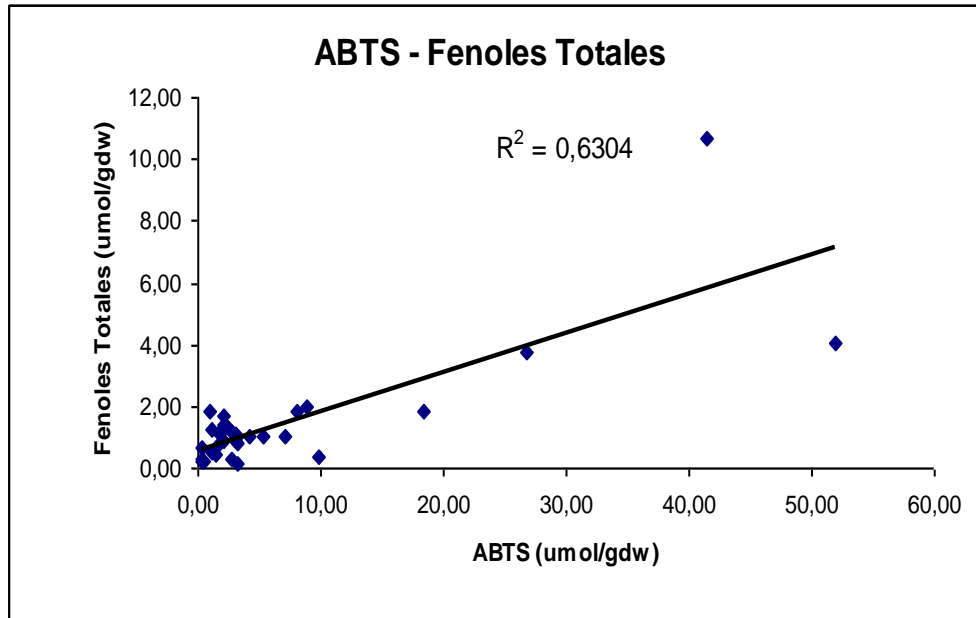
Con todos los valores medios del TAC de los extractos de las muestras de quinua, quentu (forrajero), avena, papa, maíz, camote, ajipa, isaño, tarwi, yacón, walusa, taro, maca, oca, khaya, haba, arveja.

Según la tabla 13 se puede ver que en el método FRAP los valores de TAC son relativamente mayores a los resultados presentados por el método ABTS, pero existe una relación entre los dos métodos con un coeficiente de correlación  $R= 0,69$ , mostrando alta correlación entre ambas determinaciones..



**Tabla 14. Correlación entre métodos FRAP – Fenoles Totales**

De la misma manera la relación de los valores medios del TAC y fenoles totales de por los métodos FRAP y Fenoles totales, mostró correlación lineal ( $R = 0,50$ ), pero tenemos que tomar en cuenta que el método FRAP verifica la presencia de antioxidantes de una manera general, en cambio el método de los fenoles totales es un método más específico la cual relaciona al grupo de los fenoles como ser cumarinas, lignanos, quinonas, taninos y otros.



**Tabla 15. Correlación entre métodos ABTS – Fenoles Totales**

Relación de los valores medios del TAC mediante los métodos ABTS y Fenoles totales. De los diferentes alimentos en estudio del departamento de La paz. Como nos muestra el  $R = 0,63$  existe una considerable relación entre ambos métodos en forma general, pero existe algunos alimentos como el isaño que se encuentra fuera de la línea de correlación, ya que presenta valores bajos de fenoles totales  $1,34 \text{ umol/g}$  y altos de ABTS  $26,80 \text{ umol/g}$ . Esto puede deberse a la mayor sensibilidad del método de ABTS que el de fenoles en este tipo de muestras en particular ya que se hicieron bastante replicas para corroborar dicho resultado,

## **CAPÍTULO 7**

### **CONCLUSIONES y DISCUSIONES**

En el presente trabajo se realizó un barrido sistemático de la actividad antioxidante total y el contenido de compuestos fenólicos (flavonoides y fenoles totales) de tubérculos y raíces, cereales, y leguminosas de alimentos bolivianos.

El objetivo de este trabajo fue determinar cuantificar la actividad antioxidante de los diferentes alimentos colectados, objetivo que fue alcanzado a través de la aplicación de los métodos establecidos como ser ABTS, FRAP, flavonoides y fenoles totales.

La tabla 12 presenta el resumen de la actividad antioxidante cuantificada en los diferentes alimentos en estudio.

Este trabajo se constituye en uno de los primeros estudios y en el primer barrido sistemático de actividad antioxidante que se han realizado en Bolivia aportando datos relacionados a estudios de tubérculos, cereales y leguminosas, dando relevancia a estos alimentos y su consideración tanto para su uso en la producción de nuevos productos alimenticios como su valoración desde el punto de vista nutricional.

#### **Comparación de los valores obtenidos con valores de literatura**

##### **Tubérculos y raíces**

Los tubérculos estudiados en el presente trabajo son: isaño, camote, oca, papa, khaya, walusa, ajipa, yacón y maca. Sus valores son presentados en la tabla 12. El alimento que presentó un alto valor en actividad antioxidante (TAC) es el isaño presentando por el método FRAP un valor de 9,56  $\mu\text{mol/g}$  y por el método ABTS un valor de 26,80  $\mu\text{mol/g}$ . Comparando estos valores con aquellos obtenidos por literatura, podemos mencionar que sólo fue encontrado un estudio sobre el isaño respecto a su actividad antioxidante en una investigación boliviana (Salluca et al. 2008) donde presentó valores de 8,4  $\mu\text{mol/g}$  y 11,8  $\mu\text{mol/g}$ . por los métodos FRAP y ABTS respectivamente, valores que se encuentran en el rango de nuestra investigación, particularmente en comparación con el método FRAP.

## *Antioxidantes*

En relación con las demás muestras de tubérculos el valor más bajo de TAC fue determinado en el camote con un valor de 2,09  $\mu\text{mol/g}$  de trolox equivalente por el método FRAP y 0,55  $\mu\text{mol/g}$  por el método ABTS. En comparación con otros estudios, Halvorsen et al 2002 determinó un valor de 1,6  $\mu\text{mol/g}$  (FRAP) en una muestra tomada en México, presenta un valor algo más bajo pero dentro del mismo rango que el de nuestra investigación.

### **Leguminosas.**

Entre las leguminosas de estudio en el presente trabajo tenemos: arveja, haba, tarwi. Cabe destacar que estas muestras el TAC determinado, por los diferentes métodos. Entre las muestras de leguminosas la de mayor capacidad antioxidante es el tarwi con FRAP 7,73  $\mu\text{mol/g}$  y ABTS 1,81  $\mu\text{mol/g}$  lo que en comparación al estudio realizado por (Peñarrieta et al 2005). Presentó valores de FRAP 2,4  $\mu\text{mol/g}$  y ABTS 2,1  $\mu\text{mol/g}$ . siendo que en FRAP se obtuvo un valor menor que el nuestro, pero en el caso de ABTS son valores similares. Y en las leguminosas el TAC con menor valor es la haba con FRAP 2,42  $\mu\text{mol/g}$  y ABTS 0,39  $\mu\text{mol/g}$  viendo una relación con los datos obtenidos por (Halvorsen et al 2002) en FRAP (1,99  $\mu\text{mol/g}$ ) esta muestra fue obtenida en Noruega por lo que son datos aproximados de la parte experimental y teórica.

### **Granos.**

Entre los granos tenemos la quinua, quentu, avena y maíz. En este caso se determinó el TAC de las muestras ya mencionadas y cabe destacar que existen muestras con un valor elevado de TAC: quinua silvestre (q2) que fue obtenida en Sorata y el quentu en Warisata. En quinua silvestre los datos que obtuvimos por el método FRAP fueron 23,48  $\mu\text{mol/g}$  y por ABTS de 51,90  $\mu\text{mol/g}$ . En el caso del quentu los valores fueron 18,35  $\mu\text{mol/g}$  por FRAP y 41,46  $\mu\text{mol/g}$ , por ABTS. En comparación con datos de literatura obtenidos en quinua, Pasko et al 2009 obtuvo por el método FRAP un valor de 4,97  $\mu\text{mol/g}$  mientras que Peñarrieta et al 2005 obtuvo 2,53  $\mu\text{mol}$  por FRAP 3,38  $\mu\text{mol/g}$  y ABTS 2,53  $\mu\text{mol/g}$  claro que ellos no trabajaron con quinua silvestre si no con las otras variedades comunes como ser la quinua amarilla (q6) y la roja (q4). En caso del quentu los valores obtenidos por (Tejeda et al. 2008) fue de FRAP 320,2  $\mu\text{mol/g}$  y ABTS 13,4  $\mu\text{mol/g}$ .



## *Antioxidantes*

Existe una gran diferencia pero podemos indicar que los dos son valores bastante altos. En los valores de TAC más bajos podemos mencionar al maíz amarillo obtenido del campus universitario de Cota-cota, con valores en FRAP de 2,82 y ABTS 3,07 pero en el caso del maíz negro se obtuvieron valores de FRAP 8,50  $\mu\text{mol/g}$  comparables con aquellos obtenidos por Halvorsen et al. 2002 (8,8  $\mu\text{mol/g}$ ) por el método FRAP en una muestra obtenida en Asia.

En general podemos indicar que por los cuatro métodos utilizados para la determinación de la capacidad antioxidantes de los diferentes alimentos de estudio la quinua silvestre, quentu, maíz negro, isaño negro son los que tienen mayor capacidad antioxidante. Este se puede deber al contenido de compuestos antioxidantes presentes en estas muestras, en particular antocianinas que son los responsables del color de los maíces morados (Cortéz et al., 2006) que también pueden estar presentes en el isaño. En el caso particular de la quinua silvestre este es el primer trabajo que reporta un estudio de antioxidantes en este tipo de muestra, pero es conocida la presencia de flavonoides y otros compuestos fenólicos en variedades de la misma familia tal es el caso de la cañahua (Peñarrieta et al., 2008).

## **CAPÍTULO 8**

### **RECOMENDACIONES**

- Realizar trabajos posteriores para determinar la TAC e identificar los compuestos responsables de TAC en extractos de tubérculos, cereales, granos y leguminosas de mayor consumo de la población boliviana.
- Desarrollar los métodos para medir la capacidad antioxidante total. Esto podría involucrar antioxidantes solubles en agua e insolubles en agua así como también sería muy interesante el estudio de enzimas responsables de la capacidad antioxidante.
- Determinar la TAC mediante los ensayos de DPPH y ORAC.
- Se plantea también que es necesario estudios concernientes a la determinación de TAC en alimentos procesados de los que se realizó en crudo.
- También es necesario un estudio minucioso sobre los efectos a la salud que brindan los tubérculos, cereales, granos y leguminosas andinos incluyendo el estudio sobre el papel que juegan estos compuestos fenólicos como antioxidantes o como prooxidantes en la patogénesis de algunas enfermedades crónicas.

## **CAPÍTULO 9**

### **BIBLIOGRAFÍA**

- Amrani- Joutei, K y Glories. 1995. Tanins et anthocyanes : localisation dans la baie de raisin et mode d'extraction. *Revue Française d' Oenologie*. 153: 28-31.
- Anuario Estadístico 2007. INE (Instituto Nacional de Estadística de Bolivia).
- Arnao, M.B. 2000 Some Methodological problems in the determination of antioxidant activity using chromogen radicals: a practical case. *Trends of Food Science and Technology*. vol. 11, peg. 419-421
- Apak, R. Guclu, K. Ozyurek, M. Karademir, S.E. Altun, M. 2005. Total antioxidant capacity assay of human serum using copper (II)-neocuproine as chromogenic oxidant the cuprac method. *Free Radicals Research*. 39, 949-961.
- Apak, R. 2007. Comparative evaluation of various total antioxidant capacity assays applied to phenolic compounds with the CUPRAC Assay, *Molecules*, 12, 1496-1547
- Ayala, G. 1990 Raíces Andinas contribuciones al conocimiento y a la capacitación. universidad mayor nacional de san marcos, Lima Perú.
- Awika, JM. 2005. Anthocyanins from black sorghum and their antioxidant properties. *Food Chemistry*. 90(1-2): 293-231
- Awika, J.M.; Rooney, L.W.; Wu, X.; Prior, R.L.; Cisneros-Zevallos, L. 2003, Screening Methods to Measure Antioxidant Activity of Sorghum (*Sorghum bicolor*) and Sorghum Products. *J. Agric. Food Chem*. 51, 6657-6662.
- Azcón-Bieto, J. Talón, M. 1993. *Fisiología y bioquímica vegetal*. Interamericana. (Ed.) Mc Graw-Hill, Madrid, España.
- Behard, T. Carrie, D. Boyer, MJ. Boudjemaa, B. Ferrieres, J. Delay, M. . 1979. Production of oxygen free radicals in myocardial infarction

treated by thrombolysis. Analysis of glutathione peroxidase, superoxide dismutase and malondialdehyde. *Arch Mal Coeur Vaiss*; 87:1289-96.

- Beckman, J. S. J. Chen, 1994. Reactions of nitric oxide, superoxide and peroxynitrite with superoxide dismutase in neurodegeneration. *Prog Brain Res* 103: 371-80
- Benzie, I. F. F., Strain, J.J., 1996 The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of “antioxidant power” The FRAP assay, *Analytical Biochemistry*., 239, 70–76.
- Boudet, A. 2000. Lignins and lignification: selected issues. *Plant Physiology and Biochemistry*, 38, 81 -96.
- Boveris, A. Oshino, N. 1972. “The cellular production of hydrogen peroxide.” *Biochemistry J* 128(3): 617-30.
- Bagiu O. K., y Krivenchuk, P. E. 1964: *Chemical abstract*. 64,7040
- Bravo, L. 1998. Polyphenols: chemistry, dietary sources, metabolism, and nutritional significance. *Nutrition Reviews*; 56:317-33.
- Brecht, D. S. C. E. Glatt, 1991. “Nitric oxide synthase protein and Mrna are discretely localized in neuronal populations of the mammalian CNS together with NADPH diaphorase.” *Neuron* 7(4): 615-24.
- Brown C.R. 2005. “Antioxidants in potato” *american journal of potato research*; 8 2; ProQuest Biology Journals.
- Cao, G.; Verdon, C.P.; Wu, A.H.B.; Wang, H.; Prior, R.L. 1995. Automated assay of oxygen radical absorbance capacity with the cobas fara II. *Clin. Chem.*, 41, 1738-1744.
- Cascales, R. 2008. “tesis doctoral” “Extracción de compuestos fenólicos de la uva al vino, papel de las enzimas de maceración” Universidad de Murcia ,
- Caceres, V. E. *Cultivos andinos*”, La Paz Bolivia, 1993.
- Ceballos-Picot, I. Trivier, J-M. Nicole, A. Sinet, PM. Thevenin, M. 1992 Age-Related modifications of copper-zinc superoxide dismutase and glutathione-related enzyme activities in human erythrocytes. *Clinical Chemistry*; 38:66-70.

- Cirilo, A. G. y Andrade, F. H. 1998. Maíz. en: calidad de productos agrícolas. bases ecofisiológicas, genéticas y de manejo agronómico. Aguirrezábal, L. A. N. y Andrade, F. H., eds. Unidad Integrada Balcarce. p. 76-136.
- Cortes G.A., salinas M.Y. San martin-martinez E. and Martines-bustos F. 2005. Stability of anthocyanins of blue maize (*Zea mays* L.) after nixtamalization of separated pericarp-germ tip cap and endosperm fractions. *Journal of Cereal Science*, 43, 57-62.
- Chabannes, M., Ruel, K., Yoshinaga, A., Chabbert, B., Jauneau, A., Joseleau, J.P. and Boudet A.M. 2001
- Chevion, M. Berenshtein, E. and Stadtman, E.R. 2000. Human studies related to protein oxidation: protein carbonyl content as a marker of damage. *Free Radicals Research*; 33 S:S99-108.
- Chirinos, R., Campos, D. Warnier, M. y Pedreschi, R. 2006 Antioxidant properties of mashua (*Tropaeolum tuberosum*) phenolic extracts against oxidative damage using biological in vitro assays, Larondelle Instituto de Biotecnología (IBT), Universidad Nacional Agraria La Molina – UNALM, Av. La Molina s/n, Lima, Perú.
- Chirinos, R., Betalleluz-Pallardel, I., Huamán, A. y Arbizu, C. 2009 “HPLC-DAD characterisation of phenolic compounds from Andean oca (*Oxalis tuberosa* Mol.)” tubers and their contribution to the antioxidant capacity. *Food Chemistry* 113 1243–1251
- Correll, D. Johnston, 1970 (quentu) M. Manual of the vascular plants of Texas. Texas Research Foundation. Renner, Texas, USA,.
- Cross, CE. Halliwell, B. Borish, E-T., Pryor, W-A. Ames, B-N. Saul, R-L. 1987 Oxygen radicals and human disease. *Annals of Internal Medicine*; 107:526-45.
- Davies, K-J. 1995 Oxidative stress: the paradox of aerobic life. *Biochem Soc Symp*; 61:1-31.

- De la Torre, M-R. Casado, A. Lopez-Fernandez, M-E. Carrascosa D, Casado, MC. Venarucci, D. 1996. Human aging brain disorders: role of antioxidant enzymes. *Neurochem Res*; 21:885-88.
- De Pascual-Teresa,S. Santos-Buelga, C. y Rivas-Gonzalo, J. LC-MC (2002), Analysis of anthocyanins from purple corn cob, *Journal of the Science of Food and Agriculture* 82 pp. 1003–1006.
- Droge, W. 2002 Free radicals in the physiological control of cell function. *Physiol Rev*;82:47-95.
- Duthie, G-G. Gardner, P-T. Kyle, JAM. 2003. Plant polyphenols: are they the new magic bullet. *Proc Nutr Soc.* 62:599-603.
- Doménech de Antonio, E. 2006. “tesis doctoral” “Efectos de la administración de antioxidantes orales en las adaptaciones al ejercicio físico”.
- Gimeno Creus, E. 2004 “Compuestos Fenolicos” vol 23 núm
- Ferrari, R. Agnoletti, L. Comini, L. Gaia, G. Bachetti, T. Cargnoni, A. 1998. Oxidative stress during myocardial ischaemia and heart failure. *Eur Heart J*; 19 Suppl B: B2-11.
- Flores, J. 2000. *Farmacología humana*. 3era edición. Masson. Barcelona. España.sp.
- García Alonzo, FJ. 2005. “tesis doctoral” “evaluación in vitro en in vivo de la funcionalidad de un producto rico en antioxidantes” Universidad de Murcia.
- Fenton, HJH. 1894. Oxidation of tartaric acid in presence of iron. *Jchem. Soc trans.* 65(65), 899-911
- Fridovich, I. (1986). “Biological effects of the superoxide radical.” *Arch Biochem Biophys* 247(1): 1-11.
- Garró, V. 1996. Investigación química y biológica de *Lepidium Meyenii walp* (maca). *Revista Theorema*, año 4 N°6 Lima Perú.
- Gil, MI. 2000. Antioxidant activity of pomegranate juice and its relationship with phenolic composition and processing. *Journal of Agricultural and Food Chemistry.* 48: 4581-4589

- Gonsales, S. Terrazas, F. Almanza, J. y Condori, P. 2003, Tuberose PROINPA (Produccion de OCA (Oxalis tuberosa), PAPALISA (Ullucus tuberosus) e ISAÑO (Tropaeolum tuberosum). importancia, zonas productoras, manejo y limitantes. Cochabamba – Bolivia pag 46.
- Gutteridge JM. 1995. Lipid peroxidation and antioxidants as biomarkers of tissue damage. *Clinical Chemistry*;41:1819-28.
- Greenwell, A.B.H. 1947 Taro with special reference to its culture and uses in Hawaii: *Economic Botany* 1:276-289
- Halvorsen, B.L, Holte, K., Myhrstad, M.C.W., Barikmo, I., Hvattum, E., Remberg, S.V., Wold, A.B., Haffner, K., Baugerod, H., Andersen, L.N., Moskaug, J.O., Jacobs Jr., D.R. and Blomhoff, R. 2002. A systematic screening of total antioxidants in dietary plants, *Journal of Nutrition*, 132, 461-471.
- Halliwell, B. 1994. Free radicals, antioxidants, and human disease: curiosity, cause, or consequence. *Lancet*; 344:721-24.
- Halliwell, B. 2000. Lipid peroxidation, antioxidants and cardiovascular disease: how should we move forward. *Cardiovasc Res*;47:410-18.
- Hegele RA. 1999. Paraoxonase genes and disease. *Ann Med*; 31:217 -24.
- Hellin, J., y Higman S. 2001, Quinoa and rural livelihoods in Bolivia, Peru and Ecuador, Quito Ecuador,
- Hollman P.C.H. Arts ICW. 2000. Flavonols, flavones and flavanols: Nature, occurrence and dietary burden. *J Sci Food Agric*. 80:1081-1093.
- Haber F. Weiss, J. 1934, *Proc r soc London sec A*. 147, 332
- Jacobsen, S. y M. 2006 . “El tarwi (Lupinus Mutabilis Sweet.) y sus parientes silvestres” pag. 458 – 482.
- Lugo, J. y Jaramillo, M.E. 2000 “identificación y cuantificación de los carotenoides presentes en camote amarillo (Ipomoea batatas) durante el almacenamiento”
- Jialal I, Devaraj S. 1996. Low-density lipoprotein oxidation, antioxidants, and atherosclerosis: a clinical biochemistry perspective. *Clin Chem*; 42:498-506.

- Kanofsky, J. R. (1989). "Singlet oxygen production by biological systems." *Chem Biol Interact* 70 (1-2): 1-28.
- Karakaya, S. 2001. Antioxidant activity of some foods containing phenolic compounds. *Int. J. Food. Sci. Nutr.* 52:501-508.
- Kaur, H. y Halliwell B. 1994. "Evidence for nitric oxide-mediated oxidative damage in chronic inflammation. Nitrotyrosine in serum and synovial fluid from rheumatoid patients." *FEBS Lett* 350 (1): 9-12.
- Kesavulu, MM. Rao, BK. Giri, R. Vijaya, J. Subramanyam, G. Apparao, C. 2001. Lipid peroxidation and antioxidant enzyme status in Type 2 diabetics with coronary heart disease. *Diabetes Res Clin Pract*;53:33-39.
- Kumpulainen, JT. Salonen, JT. 1999. Antioxidants, lipid peroxidation and cardiovascular diseases, In, *Natural antioxidants and anticarcinogenesis nutrition, health and disease*, The Royal Society of Chemistry ed.. p. 3-8.
- Kyoung, Ch. O. Kim, D. Smith, N. Schroeder, D. Taek, H. J. Yong, L. Ch. "Daily 2005. Consumption of phenolics and total antioxidant capacity from fruit and vegetables in the American diet". *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 1715–1724.
- Lamas, S., P. A. Marsden, et al. 1992. "Endothelial nitric oxide synthase: molecular cloning and characterization of a distinct constitutive enzyme isoform." *Proc Natl Acad Sci U S A* 89 (14): 6348-52.
- Landmesser, U. Merten, R. Spiekermann, S. Buttner, K. Drexler, H. Hornig, B. 2000. Vascular extracellular superoxide dismutase activity in patients with coronary artery disease: relation to endothelium-dependent vasodilation. *Circulation*;101:2264-70.
- Lee, K-J. Dabrowski, K. Rinchar, J. 2004. Supplementation of maca (*Lepidium meyenii*) tuber meal in diets improves growth rate and survival of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum) alevins and juveniles. ; 35: 215-23.
- Liochev, S. I. y Fridovich, I. 1994. "The role of O<sub>2</sub>. – in the production of HO.: in vitro and in vivo." *Free Radic Biol Med* 16(1): 29-33.



- Loft S, Poulsen HE. 1996; Cancer risk and oxidative DNA damage in man. *J Mol Med* 74:297-312.
- Loft S, Poulsen HE. 1998. Estimation of oxidative DNA damage in man from urinary excretion of repair products. *Acta Biochim Pol*; 45:133-44.
- Markham, K. R.; Mabry, T. J.; *PHYTOCHEMISTRY* 7, 1197-1200 (1968).
- Manach C, Scalbert A, Morand C, Rémésy C, Jiménez L. 2004. Polyphenols: food sources and bioavailability. *Am J Clin Nutr.* 79:727-747.
- Martínez-Flórez,S., González-Gallego,J., CulebrasJ.M. y . Tuñón. M.A. 2002. “Los flavonoides: propiedades y acciones antioxidantes” Departamento de Fisiología, Universidad de León y \*Hospital de León. España XVII (6) 271-278
- McNeil, M.; Darvill, A. G.; Fry, S. C. Albersheim, P. 1984. Structure and function of the primary cell walls of plants. *Annual Review of Biochemistry*, 53: 625-663.
- Miles, A. M., Bohle, D. S. 1996. “Modulation of superoxide dependent oxidation and hydroxylation reactions by nitric oxide.” *J Biol Chem* 271(1): 40-7.
- Miller NJ, Diplock AT, Rice-Evans C, Davies MJ, Gopinathan V, and Milner A. 1993. A novel method for measuring antioxidant capacity and its application to monitoring the antioxidant status in premature neonates. *Clinical Science.* 84: 407-412
- Moncada S, Vane JR. 1979. Arachidonic acid metabolites and the interactions between platelets and blood-vessel walls. *N Engl J Med*; 300:1142-47.
- Montserrat Fitò Colomer 2003. “tesis doctoral” “Efectos antioxidantes del aceite de oliva y de sus compuestos fenólicos” Universidad Autónoma de Barcelona.
- Murray, R. Mayes, P. Granner, D. y Rodwell, V. 1997. *Bioquímica de harper. manual moderno.* 14 edición. México, D.F. p 678.

- Muñoz AM, Ramos-Escudero D, Alvarado-Ortiz C, Castañeda B. 2007. Evaluación de la capacidad antioxidante y contenido de compuestos fenólicos en recursos vegetales promisorios. *Rev Soc Quím Perú.*; 73(3):142-49.
- Natella F, Ghiselli A, Guidi A, Ursini F, Scaccini C. 2001. Red wine mitigates the postprandial increase of LDL susceptibility to oxidation. *Free Radic Biol Med*; 30:1036-44.
- Navarro-Lopez F. 2002; [Genes and coronary heart disease]. *Rev Esp Cardiol* 55:413-31.
- Nicolaiew N, Lemort N, Adorni L, Berra B, Montorfano G, Rapelli S et al. 1998; Comparison between extra virgin olive oil and oleic acid rich sunflower oil: effects on postprandial lipemia and LDL susceptibility to oxidation. *Ann Nutr Metab* 42:251-60.
- Nielsen, ILF. Haren, GR. Magnussen, EL. Dragsted, LO. y Rasmussen, SE. 2003. Quantification of anthocyanins in commercial black currant juices by simple high-performance liquid chromatography. Investigation of their Ph stability and antioxidative potency. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 51: 5861-5866
- Nilsson, J. Antioxidant Capacity in Fruit and Vegetables-Cultivar Variation- Storage 2003. Tesis doctoral. Conditions-human antioxidant status.. Instituto de tecnología de Lund, Suecia
- Nilsson J., Pillai D., Önning G., Persson C., Nilsson A. & Åkesson B. 2005. "Comparison of the ABTS and FRAP methods to the total antioxidant capacity in extracts of fruit and vegetables." *Molecular Nutrition and Food Research*, , 49, 239 – 246.
- Nisoli, E. Clementi, E. 2003. "Mitochondrial biogenesis in mammals: the role of endogenous nitric oxide." *Science* 299 (5608): 896-9.
- Oltra AM, Carbonell F, Tormos C, Iradi A, Saez GT. 2001. Antioxidant enzyme activities and the production of MDA and 8-oxo-Dg in chronic lymphocytic leukemia. *Free Radic Biol Med*; 30:1286-92.

- Parr, A. J.; Ng, A.; Waldron, K. W. 1997. Ester-linked phenolic components of carrot cell walls. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 45: 2468-2471.
- Passamonti S, Vrhovsek U, Mattivi F. (2002). The interaction of anthocyanins with bilitranslocase. *Biochem Biophys Res Commun.* 296:631-636
- Pasko P. Barton, H. Zagrodzki P. Gorinstein S. Fołta M. Zachwieja Z. Anthocyanins, 2009 total polyphenols and antioxidant activity in amaranth and quinoa seeds and sprouts during their growth. *Food Chemistry*
- Pellegrini, R. N, Proteggente, A. Pannala, A. 1999. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay, *Free Radic. Biol. Med.*, 26, 1231–1237.
- Pellegrini, N.; Serafini, M.; Colombi, B.; Del Rio, D. ; Salvatore, S.; Bianchi, M.; Brighenti, F. 2003. Total antioxidant capacity of plant foods, beverages and oils consumed in Italy assessed by three different in vitro assays. *J. Nutr.*, 133, 2812-2819.
- Peñarrieta J. M., Alvarado J.A., Åkesson B. & Bergenståhl B. 2005 “Total antioxidant capacity in Andean food species from Bolivia” *Revista Boliviana de Química*, 22, 89-93
- Peñarrieta J. M., Alvarado J.A., Åkesson B. & Bergenståhl B. 2008 “Total Antioxidant Capacity and content of flavonoids and other phenolic compounds and in canihua (*Chenopodium pallidicaule*) an Andean pseudo-cereal” *Molecular Nutrition and Food Research*, 52,708-717.
- Pietta, P.-G. 2000. Flavonoids as Antioxidants. *J. Nat. Prod.* 63, 1035-1042
- Perez, J. Fulgencio ,C. 2005. literature data may underestimate the actual antioxidant capacity of cereals. *J. Agric. Food Chem.*, 53, 5036-5040
- Postlethwait, E. M., Langford, S. D. 1995. “NO<sub>2</sub> reactive absorption substrates in rat pulmonary surface lining fluids.” *Free Radic Biol Med* 19 (5): 553-63.

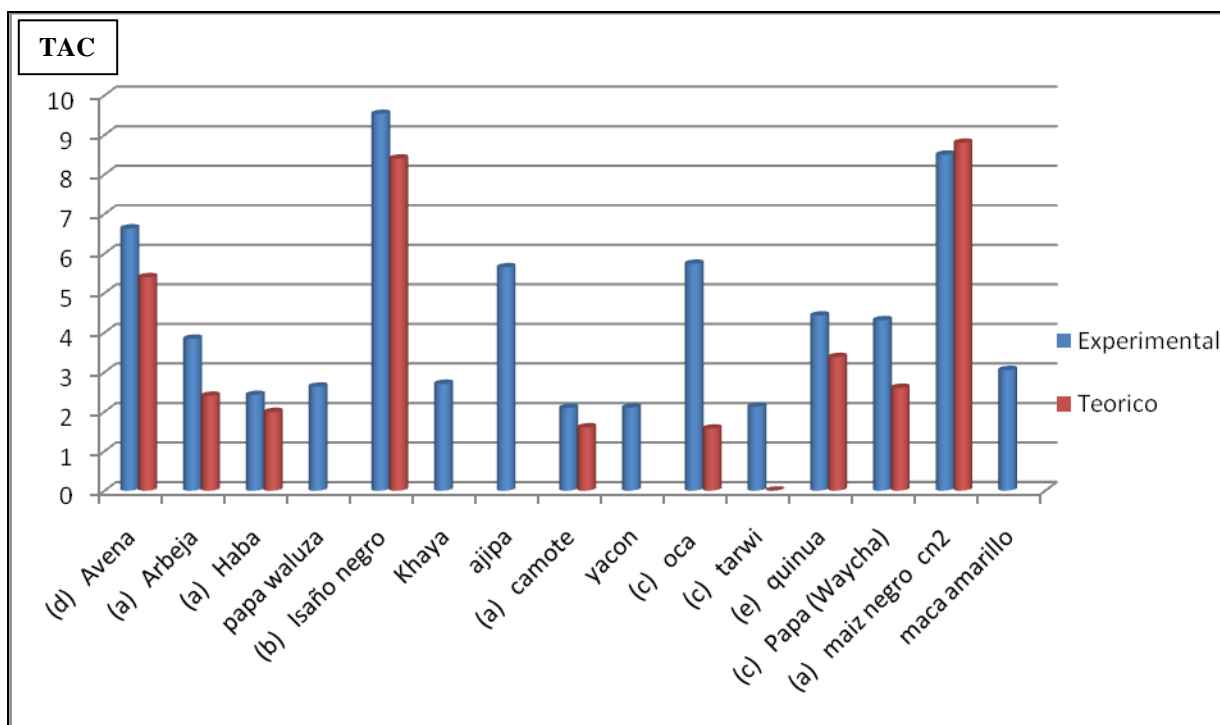
- Pulido, R. Bravo, L. Saura-Calixto, F. 2000. Antioxidant activity of dietary polyphenols as determined by a modified ferric reducing/antioxidant power assay. *J. Agric. Food Chem.*, 48, 3396-3402.
- Prior RL, Wu X, Schaich K. 2005. Standardized methods for the determination of antioxidant capacity and phenolics in foods and dietary supplements. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 53: 4290-4302
- Proteggente, A.R.; Pannala, A.S.; Paganga, G.; van Buren, L.; Wagner, E.; Wiseman, S.; van de Put, F.; Dacombe, C.; Rice-Evans, C.A 2002, The antioxidant activity of regularly consumed fruit and vegetables reflects their phenolic and vitamin C composition. *free radic. Res.* 36, 217-233.
- Ramón JR, Alonso MB, Rubio S, Ramón BM, Plaza Celemin L, Mostaza JM. 1998. Antioxidantes de la dieta y enfermedad coronaria. *Clin Cardio vascular*; 14:29-38.
- Rea, J. “Recursos Genéticos del Yacón”. Fascículo 18. CIP. Lima, Perú. pg. 1-27.
- Rice-Evans, CA, Miller NJ, Paganga, G. 1996. Structure-antioxidant activity relationships of flavonoids and phenolic acids. *Free Radic Biol Med*;20:933-56.
- Robards K, Prentzler PD, Tucker G, Swatsitang P, Glover W. 1999. Phenolic compounds and their role in oxidative processes in fruits. *Food Chem.* 66:401-436.
- Rosales López, M.. C. 2003 “Informe de práctica de especialidad optimización del proceso de bioseparación de compuestos fenólicos a partir de dos variedades de frijol negro (*Phaseolus vulgaris* ), maíz azul (*Zea mays*) y Flor de Jamaica (*Hibiscus sabdariffa* ) Instituto Tecnológico de Costa Rica, Escuela de Biología. Carrera de Ingeniería en Biotecnología.
- Ruales J, Nair BM.1993. Saponins, phytic acid, tannins and protease inhibitors in quinoa (*chenopodium quinoa willd*) seeds. *Food Chem* , 48: 137-43.
- Ruíz, N.A- F. 2005“Beneficial effects of a diet rich in whole grains *Revista Chillena de Nutrición* Vol. 32, No 3.

- Salluca, T. Peñarrieta J. M., Alvarado J.A. Bergenståhl B J. 2008. Determination of total phenolic compounds content and the antioxidant capacity of andean tubers and roots (isaño, oca, ulluco and arracacha) *Revista Boliviana de Química*, Volumen 25, no.1
- Scalbert A, Williamson G. 2000. Dietary intake and bioavailability of polyphenols. *Journal of Nutrition*.130:2073S-2085S.
- Schnitzler, J. P.; Madlung, J.; Rose, A.; Seitz, H. U. 1992. Biosynthesis of p-hydroxybenzoic acid in elicitor-treated carrot cell cultures. *Planta*, 188: 594-600.
- Shacter E. 2000. Quantification and significance of protein oxidation in biological samples. *Drug Metabolism Review*;32:307-26.
- Singleton, V.L. y Rossi, J.A. Jr. 2005. Colorimetry of total phenolic With phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagent.
- Starke-Reed, P., 2003. *Antioxidantes. nutrición del instituto nacional de estudios sobre el envejecimiento*. Maryland, Estados Unidos.
- Stratil Pavel, Kledjus Borivoj, y Kabau Vlastimil 2004. "Determination of total content of phenolic compounds and their antioxidant activity in vegetables. evaluation of spectrophotometric methods" *JAFc*, 53 3
- Sundaresan M, Yu ZX, Ferrans VJ, Irani K, Finkel T. 1995. Requirement for generation of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> for platelet-derived growth factor signal transduction. *Science*; 270:296-99.
- Taiz, L y Zeiger, E.. 2006" *Secondary Metabolites and plant defense*". En: *Plant Physiology, Fourth Edition*. Sinauer Associates. Capítulo 13.
- Tan CM, Xenoyannis S, Feldman RD. 1995. Oxidant stress enhances adenylyl cyclase activation.;77:710-17.
- Tapia, M, E. 1990. "cultivos andinos subexplotados y su aporte a la alimentación" *FAO/RLALC*. Lima, Perú;
- Tejada, L., Penarrieta, J.M.. Alvarado J.A., Åkesson, B, and Bergenståhl, B. 2008. "Determination of total antioxidant capacity and total phenolic compounds in andean grains (quinua, cañihua, amaranth and qentu). *Revista Boliviana de Química Volumen 25, no.1*

## *Antioxidantes*

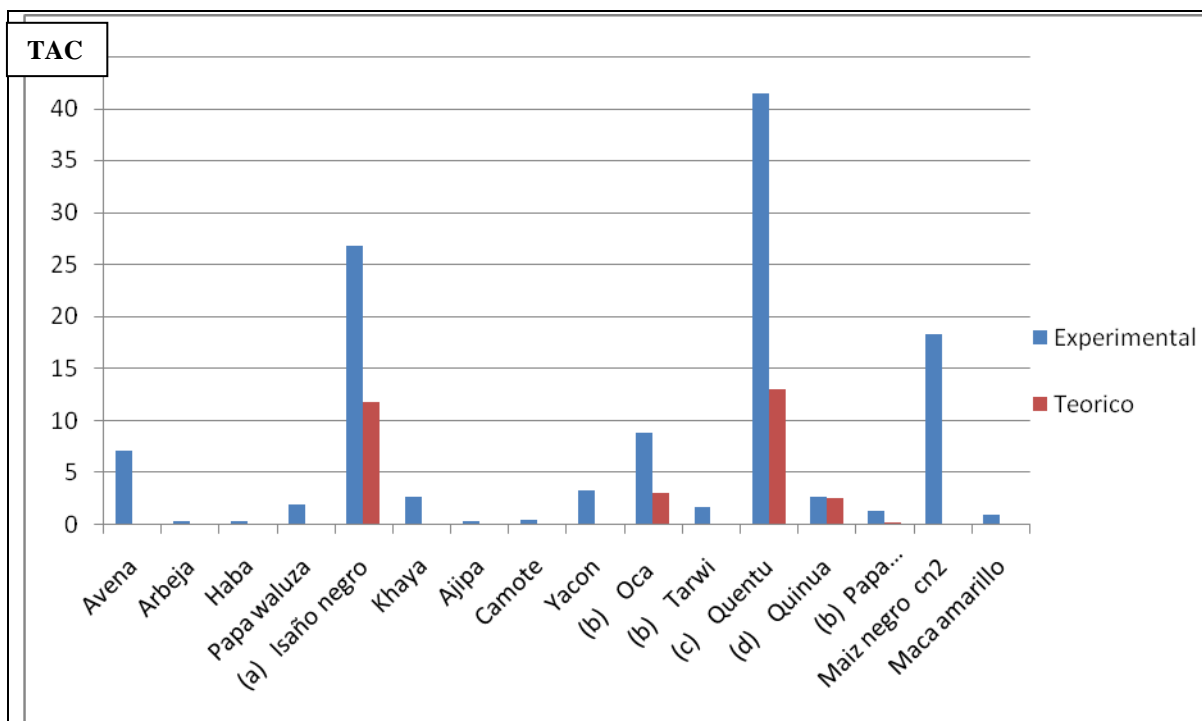
- Toh Y, Kuninaka S, Mori M, Oshiro T, Ikeda Y, Nakashima H et al. 2000; Reduced expression of manganese superoxide dismutase. mRNA may correlate with invasiveness in esophageal carcinoma. *Oncology* 59:223-28.
- Turi S, Nemeth I, Torkos A, Saghy L, Varga I, Matkovics B et al. 1997; Oxidative stress and antioxidant defense mechanism in glomerular diseases. *Free Radic Biol Med* 22:161-68.
- ZAVALA, P, 2001.Universidad Tecnológica Equinoccial. Tesis de Grado. Propuesta de Comercialización para promocionar la exportación de Malanga en Santo Domingo de los Colorados, Págs. 80-189.
- Yegin A, Yegin H, Aliciguzel Y, Deger N, Semiz E. 1997. Erythrocyte selenium-glutathione peroxidase activity is lower in patients with coronary atherosclerosis. *JPN Heart J.* 38:793-98
- Ou, B.; Huang, D.; Hampsch-Woodill, M.; Flanagan, J.A.; Deemer, E.K. . 2002. Analysis of antioxidant activities of common vegetables employing oxygen radical absorbance capacity (orac) and ferric reducing antioxidant power (FRAP) assays: A Comparative Study. *J.Agric. Food Chem.* 50, 3122-3128.

## ANEXOS



**Fig. 22 Valores totales de FRAP teóricos y experimentales en las diferentes especies.**

- a) Halvorsen, B.L, Holte, K., Myhrstad, M.C.W., Barikmo, I., Hvattum, E., Remberg, S.V., Wold, A.B., Haffner, K., Baugerod, H., Andersen, L.N., Moskaug, J.O., Jacobs Jr., D.R. and Blomhoff, R. 2002. A systematic screening of total antioxidants in dietary plants, *Journal of Nutrition*, 132, 461-471.
- b) Salluca, T. Peñarrieta J. M., Alvarado J.A. Bergenståhl B J.. 2008. Determination of Total Phenolic compounds content and the Antioxidant Capacity of Andean Tubers and Roots (Isaño, Oca, Ulluco and Arracacha) *Revista Boliviana de Química*, Volumen 25, no.1
- c) Peñarrieta J. M., Alvarado J.A., Åkesson B. & Bergenståhl B. 2005 "Total Antioxidant Capacity in Andean food species from Bolivia" *Revista Boliviana de Química*, 22, 89-93
- d) Perez, J. Fulgencio, C. 2005. Literature Data may underestimate the Actual Antioxidant Capacity of Cereals. *J. Agric. Food Chem.*, 53, 5036-5040
- e) Pasko P. Barton, H. Zagrodzki P. Gorinstein S. Fořta M. Zachwieja Z. Anthocyanins, 2009 Total polyphenols and Antioxidant Activity in Amaranth and Quinoa seeds and sprouts during their Growth. *Food Chemistry*



**Fig. 23 Valores totales de ABTS teóricos y experimentales en las diferentes especies**

a) Salluca, T. Peñarrieta J. M., Alvarado J.A. Bergenståhl B J.. 2008. Determination of Total Phenolic Compounds Content and the Antioxidant Capacity of Andean Tubers and Roots (Isañño, Oca, Ulluco and Arracacha). Revista Boliviana de Química, Volumen 25, no.1

b) Peñarrieta J. M., Alvarado J.A., Åkesson B. & Bergenståhl B. 2005 "Total Antioxidant Capacity in Andean food species from Bolivia" Revista Boliviana de Química, 22, 89-93

c) Tejada, L., Penarrieta, J.M.. Alvarado1,J.A., Åkesson, B, and Bergenståhl, B. 2008. "Determination of Total Antioxidant Capacity and Total Phenolic Compounds in Andean Grains (quinua, cañihua, amaranth and qentu). Revista Boliviana de Química Volumen 25, no.1

d) Pasko P. Barton, H. Zagrodzki P. Gorinstein S. Folta M. Zachwieja Z. Anthocyanins, 2009 Total Polyphenols and Antioxidant Activity in Amaranth and Quinoa Seeds and Sprouts during their Growth. Food Chemistry



