

# CAPITULO I

## FUNDAMENTO TEÓRICO

### 1.1. OCA (*Oxalis tuberosa*, Mol)

#### 1.1.1. Origen y distribución

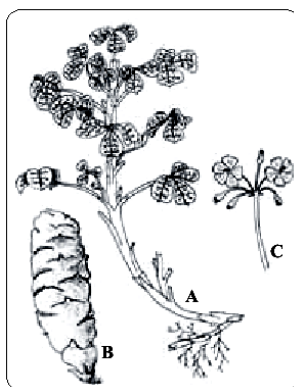
La oca es una especie nativa de al menos 8.000 años de antigüedad, que procede de la zona de los Andes comprendida entre Venezuela, Colombia, Ecuador, Perú y Bolivia, donde se viene cultivando desde la época precolombina. Con posterioridad llegó hasta México, y más recientemente se ha introducido en Nueva Zelanda.

#### 1.1.2. Taxonomía

**Tabla 1. Clasificación Taxonómica de la oca**

Familia	Oxalidaceae (oxalis)
Nombre Científico	<i>Oxalis tuberosa</i> , Mol
Nombre Común	Oca

Fuente: Tapia *et al.*, 2007.



Fuente: Tapia *et al.*, 2007.

**Figura 1. Oca. Sus componentes: A. Planta, B. Tubérculo, C. Flor**

### **1.1.3. Descripción botánica**

Planta herbácea anual, alcanza una altura de 20 y 70 cm.

#### **1.1.3.1. Tallos**

El tallo es cilíndrico y succulento, con ligera pubescencia (presencia de pelos) que varía de color, con hábito de crecimiento erecto en las primeras etapas, para ser decumbente o postrada en la madurez.<sup>(31)</sup>

#### **1.1.3.2. Hojas**

La hoja de la oca es muy característica, alterna y trifoliada con pecíolo de longitud muy variable (2 – 9 cm) y pubescente.

#### **1.1.3.3. Flores**

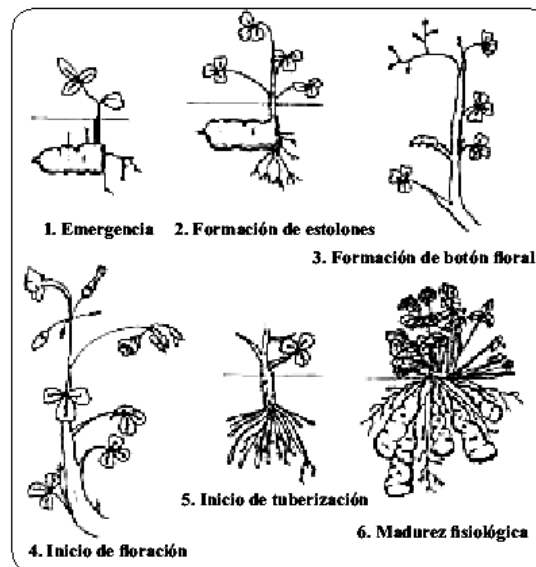
En las ocas las flores se disponen en dos cimas de 4 a 5 flores. El cáliz está formado por 5 sépalos agudos y verdes. La corola tiene 5 pétalos unidos en la base y festoneado en la parte superior, de color amarillo. La flor tiene 10 estambres en dos grupos de 5, de diferente longitud cada uno.

#### **1.1.3.4. La semilla**

La semilla requiere de por lo menos 3 semanas para su germinación, la tuberización inicia a los 105 días aproximadamente después de la germinación y el máximo crecimiento de tubérculos ocurre entre los 170 y 230 días. El índice de tuberización puede llegar hasta 6,6 g/días.<sup>(37)</sup>

### 1.1.3.5. Tubérculo

Los tubérculos tienen formas elipsoidales, claviformes y cilíndricas, con yemas (ojos) en toda la superficie y de colores variados, amarillo, blanco, rojo y morado.<sup>(31)</sup>



Fuente: Tapia *et al.*, 2007.

Figura 2. Oca. Fases fenológicas del cultivo

### 1.1.4. Agroecología de la oca

La oca se cultiva en la sierra ecuatoriana, principalmente en sistemas de agricultura de subsistencia entre 2000 y 4000 (m.s.n.m.). El límite de altitud con mayor concentración de parcelas y mayor producción está entre los 3000 y 3800 (m.s.n.m.).

Tabla 2. Características Agroclimáticas de la oca

Clima	Lluvia: 570 – 2150 mm Temperatura: 6 – 15 °C
Fotoperíodo óptimo	9 horas
Periodo vegetativo	180 – 210 días
Suelo	Suelos negro – andinos Tolera pH entre 5,3 y 7,8

Fuente: Tapia, 1990.

### **1.1.5. Fertilización**

La oca responde altamente a la fertilización con materia orgánica (4 a 6 t/ha), complementada con nitrógeno y fósforo a niveles adecuados de 80 – 40 – 0.<sup>(36)</sup>

### **1.1.6. Siembra, época y densidad**

La siembra se hace con tubérculos en buen estado sanitario y en lo posible conservados en un cuarto frío (11 °C, luz difusa).

La época de siembra varía según la altitud y el ecotipo, no hay una época del año en que se deba sembrar las ocas, sino que se siembra cuando se disponga de semillas y facilidades.<sup>(11)</sup>

Se debe sembrar cuando hay una buena acumulación de lluvias, es decir más de 120 mm.

La densidad depende del tamaño y peso de la semilla (tubérculo); puede variar entre 800 Kg/ha de semilla pequeña y 1300 Kg/ha de semilla de mayor tamaño.<sup>(36)</sup>

La densidad óptima de plantas de oca está entre 66000 a 80000 plantas por hectárea, con un distanciamiento de 0,50 m entre surcos y 0,37 m entre golpes, resultando un rendimiento de 72 T.M./ha.<sup>(37)</sup>

### **1.1.7. Labores culturales**

En la mayoría de casos se aporca una sola vez, pero responde con mejor producción a la repetición del aporque. Se ha demostrado que el control de malezas beneficia a la producción, lo cual se efectúa al momento del segundo aporque, elevándose el rendimiento de 6 t/ha a más de 20 t/ha, cuando el deshierbo está acompañado de una buena fertilización complementaria.

### **1.1.8. Cosecha**

La época de cosecha es oportuna cuando se marchitan las hojas, lo que ocurre a los seis a siete meses de acuerdo al ecotipo. El escarbe debe hacerse con mucho cuidado para no dañar a los tubérculos.

Es importante la clasificación de tubérculos sanos para la selección de la semilla y destinar aquellos que están atacados por plagas o manchas, producto del ataque de gusanos, a la transformación y la alimentación animal.<sup>(36)</sup>

### **1.1.9. Caracterización de la colección de oca en la Estación Experimental Santa Catalina (EESC) de INIAP (provincia de Pichincha, cantón Mejía, parroquia Cutuglahua)**

A partir de ciertas características morfológicas, tales como color de los tallos, color secundario de la piel y su distribución, color secundario de la pulpa, el largo del tallo principal, días a la madurez fisiológica, número de tubérculos por planta, se definen tres diferentes grupos genéticos.

Dentro de los grupos, se definieron, morfotipos con caracteres distintivos para cada uno.

#### **1.1.9.1. El grupo 1**

Cuenta con accesiones provenientes de la provincia de Carchi, Chimborazo, Cotopaxi, Pichincha, Azuay, Bolívar, Cañar, Sucumbíos, y Tungurahua.

Conformado por plantas de poca altura, que presentan precocidad, mejores rendimientos y menor incidencia a enfermedades.

### Caracteres cualitativos predominantes:

- **Color de los tallos:** Tallos verde amarillentos y verde predominante con rojo grisáceo.
- **Color secundario de la piel:** Presenta color rosado y rojo pálido, distribuidos principalmente en los ojos.
- **Color de la pulpa:** Principalmente amarillo.

**Tabla 3. Caracteres cuantitativos predominantes**

	Valor Promedio
Largo del tallo principal	41,6 mm
Madurez fisiológica	249,8 días
Número de tubérculos por planta	59,5 tubérculos
Peso de tubérculo por planta	1065,5 g

**Fuente:** Barrera *et al.*, 2004.

Dentro de este grupo se definieron cuatro morfotipos: M1, M2, M3 y M4.

#### 1.1.9.2. El grupo 2

Las accesiones de este grupo se localizan, principalmente en la provincia, de Pichincha, Carchi, Imbabura, Chimborazo, Cañar, Azuay, El Oro, Loja, Bolívar y Cotopaxi.

Constituido por plantas con características morfológicas intermedias en relación con los dos grupos.

### Caracteres cualitativos predominantes:

- **Color de los tallos:** Este grupo presenta tallos verdes predominantes con rojo grisáceo, y un reducido porcentaje presenta tallos verde amarillentos.
- **Color secundario de la piel:** La mayoría de las accesiones de este grupo no presentan color secundario de la piel.
- **Color de la pulpa:** Predomina el color blanco amarillento, o bien la ausencia de coloración.

**Tabla 4. Caracteres cuantitativos predominantes**

	Valor Promedio
Largo del tallo principal	50,7 mm
Madurez fisiológica	263 días
Número de tubérculos por planta	90,6 tubérculos
Peso de tubérculo por planta	1016,3 g

**Fuente:** Barrera *et al.*, 2004.

Dentro de este grupo se definieron diez morfotipos: M5, M6, M7, M8, M9, M10, M11, M12, M13, M14.

### **1.1.9.3. El grupo 3**

Cuenta con accesiones provenientes de la provincia de Chimborazo, Cañar, Carchi, Imbabura, Pichincha, Cotopaxi, Tungurahua, Bolívar, Azuay, Loja y El Oro.

Conformado por plantas de mayor altura; es más tardío y presenta menor rendimiento.

#### **Caracteres cualitativos predominantes:**

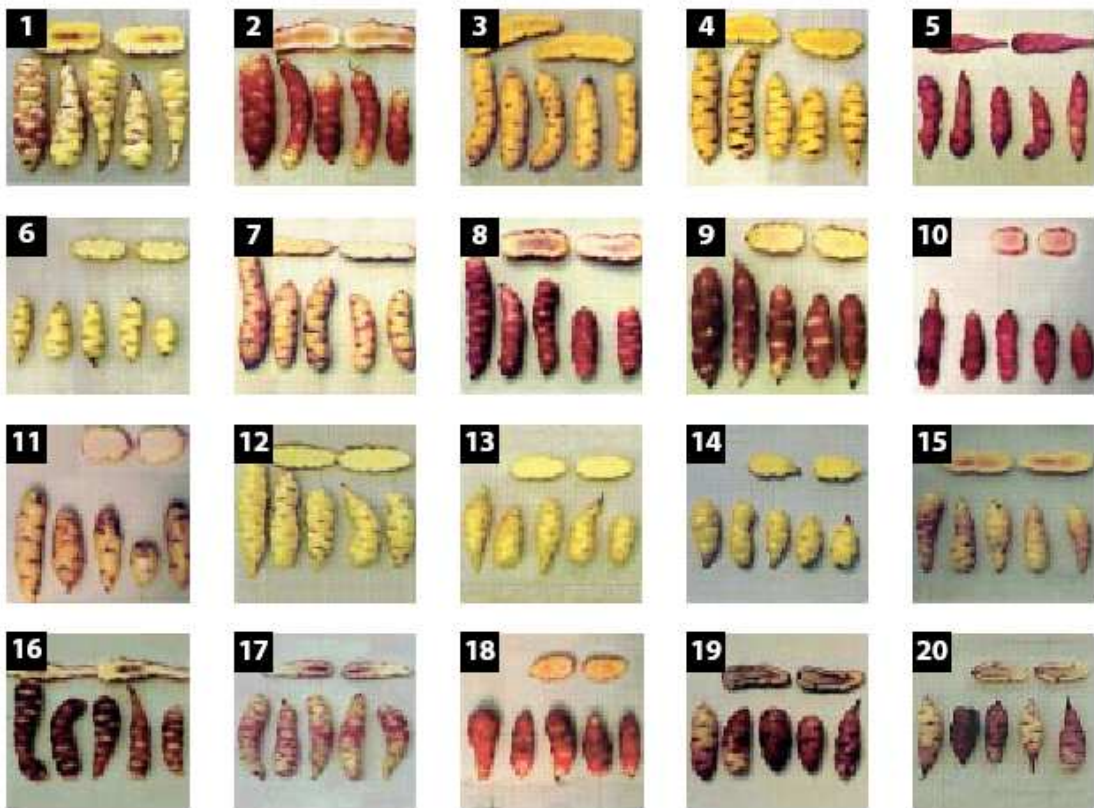
- **Color de los tallos:** Principalmente rojo grisáceo y púrpura rojizo.
- **Color secundario de la piel:** Presenta color blanco y púrpura grisáceo, observado sobre todo en los ojos e irregularmente distribuido.
- **Color secundario de la pulpa:** Púrpura grisáceo.

**Tabla 5. Caracteres cuantitativos predominantes**

	Valor Promedio
Largo del tallo principal	61,7 mm
Madurez fisiológica	275 días
Número de tubérculos por planta	74,79 tubérculos
Peso de tubérculo por planta	813,4 g

**Fuente:** Barrera *et al.*, 2004.

Dentro de este grupo, se definen seis morfotipos: M15, M16, M17, M18, M19, M20.<sup>(11)</sup>



Fuente: Barrera *et al.*, 2004.

**Figura 3. Morfotipos definidos con la caracterización morfológica de la colección de oca del INIAP. En el recuadro superior izquierdo de cada fotografía se incluye el número del morfotipo identificado**

#### 1.1.10. Composición química de la oca

Debido a que la cantidad de agua en los alimentos es altamente variable, es necesario expresar los valores en base a la materia seca, o presentar de manera simultánea el contenido de humedad. Es importante señalar que otros factores aparte de la variabilidad genética como son las prácticas culturales, el clima y el tipo de suelo, pueden influir en la composición nutricional.<sup>(11)</sup>



**Tabla 6. Composición Química de la oca\***

<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	
Humedad	77,73	%
Cenizas	3,39	%
Proteína	4,60	%
Fibra	2,16	%
Ext. Etéreo (grasa)	1,66	%
Carbohidratos Totales	88,19	%
Almidón	42,17	%
Azúcares Totales	9,68	%
Azúcares Reductores	7,62	%
Calcio	0,012	%
Fósforo	0,14	%
Magnesio	0,006	%
Sodio	0,018	%
Potasio	1,30	%
Cobre	2,25	ppm
Hierro	48,85	ppm
Manganeso	5,35	ppm
Cinc	5,95	ppm
Yodo	3,65	ppm
Vitamina C	34,53	(mg/100 g mf)
Ácido Oxálico	82,93	(mg/100 g mf)
Energía	399	(Kcal/100 g)

**Fuente:** Espín *et al.*, 2001.

\*Datos expresados en base seca – muestra entera  
Promedio de 30 determinaciones/análisis/especie  
**mf** = materia fresca

En promedio el tubérculo contiene entre 70 a 80 % de humedad, 9 % de proteína con un buen balance de aminoácidos esenciales, que varía entre los diferentes ecotipos, 9 a 22 % de carbohidratos ricos en azúcar y fáciles para digerir, tiene un alto contenido de almidón, 1,66 % de grasa y 2,16 % de fibra, minerales y ácidos orgánicos (oxalatos solubles), (Tapia, 2007; Tapia, 1990).

#### **1.1.10.1. Ácido oxálico**

La oca recién cosechada se caracteriza por el contenido de oxalatos, que le puede dar un sabor agrio, en general, este parámetro varía entre los diferentes ecotipos. Los tubérculos ácidos o amargos contienen cantidades de ácido oxálico de 108 a 70 mg/100 g.<sup>(11)</sup>

**Tabla 7. Nomenclatura Química, Propiedades Físicas y Químicas del Ácido Oxálico**

Nombre químico	Ácido Oxálico
Sinónimos	Ácido Etanodióico
Fórmula	$C_2H_2O_4$ o $(COOH)_2$
pH	1 (10 g/l $H_2O$ a 20 °C)
Punto de ebullición	149 – 160 °C
Densidad	1,65 g/cm <sup>3</sup> a 20 °C
Solubilidad en agua	8,7 g/100 ml a 20 °C
Peso molecular	90,04 g/mol
Punto de fusión	189,5 °C

Fuente: <http://www.corquiven.com.ve>. PDF

Su nombre se deriva del género de plantas *Oxalis*, por su presencia natural en ellas, se encuentra en una amplia gama de vegetales en forma de sales (oxalatos) de potasio, incluyendo algunos consumidos como alimento.<sup>(30)</sup>

**Tabla 8. Ácido oxálico presente en vegetales\***

Alimento	Ácido Oxálico (mg)
Espinacas (hojas)	571,00
Oca (mf)	82,93
Alcachofa	8,80
Apio	6,80
Coliflor	6,60
Zanahoria	6,10
Col	4,90

Fuente: Martínez, 2000.

\*Contenido en 100 g de alimento en peso neto

mf = materia fresca

### 1.1.11. Usos del tubérculo

En diferentes pruebas de producción, la oca ha mostrado un gran potencial en la producción tanto de alimentos, como de productos derivados como harinas e incluso alcohol.

#### 1.1.11.1. Harina de oca

Con rendimientos de 15 a 35 t/ha se puede producir 1300 a 2350 Kg/ha de almidón, a partir de la oca blanca. Esa harina puede reemplazar hasta un 20 % de harina de trigo en productos de panificación, de buena calidad, de la que Perú y Bolivia son deficitarios.<sup>(36)</sup>

### **1.1.11.2. Comidas tradicionales**

La oca se presta para preparar platos de diferentes gustos y tradiciones, en fresco se consume con sal, limón y ají, la oca generalmente asoleada se la consume entera con cáscara, después de ser cocida por 20 minutos o en la preparación de mazamorra, también se hacen dulces y mermeladas.

Puede prepararse en numerosas formas: horneadas, sancochadas, fritas, encurtidas, mezcladas con ensaladas, torta de oca endulzada, quimbolitos de oca dulce, muchines de oca endulzada, emborrajados de oca, ocas en almíbar, ocas enconfitadas, etc.<sup>(39)</sup>

## **1.2. ALTERNATIVAS PARA DISMINUIR LA CONCENTRACIÓN DE ÁCIDO OXÁLICO PRESENTE EN LA OCA**

La cantidad de ácido oxálico es variable en los diferentes ecotipos de ocas. Aquellas que tienen un alto contenido, son generalmente percibidas como agrias, proporcionando una sensación desagradable al paladar y puede dar mal sabor a los alimentos producidos a base de este tubérculo, por lo que se requieren procesos para disminuir la concentración de este ácido orgánico.

### **1.2.1. Escaldado**

Es un tratamiento térmico suave, de corta duración, a temperatura moderada, consiste en el calentamiento rápido del producto hasta una temperatura predeterminada, su mantenimiento durante el tiempo adecuado y a continuación un enfriamiento rápido, para evitar la proliferación de microorganismos termófilos.

Las combinaciones tiempo/temperatura son muy variables para los distintos alimentos y procesos y deben determinarse específicamente para cada situación.

Para dar una idea aproximada, se considera normales tratamientos durante 1 – 15 minutos a 70 – 100 °C.

El escaldado es un pretratamiento que normalmente se aplica entre la preparación y su subsecuente procesado.

#### **1.2.1.1. Mecanismo del escaldado**

Las células vegetales son estructuras con una membrana que están contenidas en paredes celulares semirrígidas. La membrana exterior o citoplasmática actúa como una piel, manteniendo la presión de turgencia en el interior de la célula. La pérdida de la presión de turgencia da lugar al ablandamiento del tejido.

El calor inactiva las enzimas y daña la membrana citoplasmática y otras membranas que se vuelven permeables al agua y solutos. Un efecto inmediato es la pérdida de la presión de turgencia. El agua y los solutos pueden entrar y salir de las células, lo que origina la pérdida de nutrientes en el tejido.<sup>(14)</sup>

#### **1.2.1.2. Ventajas de la utilización del escaldado**

- Elimina los gases de los tejidos vegetales, en especial el gas intracelular, para incrementar la densidad y evitar la oxidación del producto.<sup>(15)</sup>
- Inactiva las enzimas que alteran la calidad del producto procesado. Es importante inactivar las enzimas (peroxidasas, catalasas, lipooxigenasas), que aceleran las pérdidas de color, textura, la producción de aromas y sabores extraños o la disminución de nutrientes.<sup>(14)</sup>
- Incrementa la flexibilidad y produce el encogimiento de los tejidos, lo que permite una manipulación más segura en la siguiente fase del proceso, reduciéndose las roturas.
- Se reduce la flora microbiana de la superficie de los vegetales, actuando como operación final de limpieza y descontaminación de los residuos de pesticidas.

### **1.2.1.3. Escaldado con agua**

El sistema convencional consiste en introducir el producto en un tanque con agua, que se mantiene a la temperatura adecuada, y hacerlo permanecer en el baño el tiempo necesario para que se complete el tratamiento.

Cuando se emplea el agua caliente, esta actúa como un extractor sólido – líquido, dando lugar en el producto a pérdidas de materiales solubles: proteínas, azúcares, sustancias minerales, vitaminas, ácidos, etc., que disminuirán su valor nutritivo, pasando al agua. A la vez, el escaldado con agua tiene un efecto beneficioso de lavado.<sup>(15)</sup>

Es inevitable que se produzcan pérdidas de peso en los tejidos, ya que tanto el agua como los solutos salen de las células.

Es importante controlar las condiciones tiempo/temperatura para evitar el exceso de tratamiento que daría lugar a un gran ablandamiento en algunos productos procesados.<sup>(14)</sup>

### **1.2.2. Deshidratación osmótica (DO)**

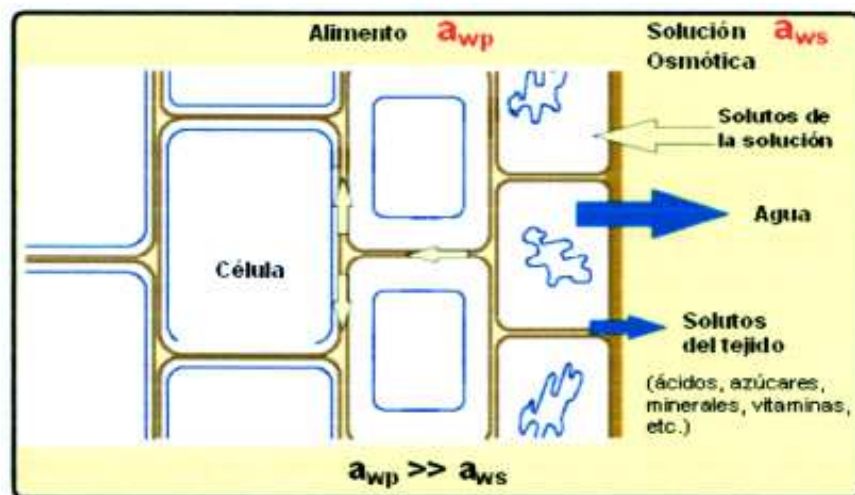
La deshidratación osmótica en alimentos comenzó a ser estudiada, a partir de que en 1966 se propusiera este término para el proceso por el cual, se puede extraer agua a través de una membrana semipermeable empleando, para ello, una solución concentrada.<sup>(10)</sup>

En dicho proceso el agua se difunde a través de la membrana de la solución más diluida a la más concentrada hasta alcanzar el equilibrio. De tal forma que el proceso permite reducir hasta 80 % del agua libre del alimento, protegiéndolo, e incluso mejorando características como el color y el sabor.

La deshidratación osmótica (DO) es un proceso que consiste en la inmersión del alimento sólido, ya sea entero o en piezas, en soluciones acuosas de alta concentración en solutos (azúcar y sal fundamentalmente).

La DO provoca al menos dos flujos principales simultáneos en contracorriente: un importante flujo de agua junto con sustancias hidrosolubles (azúcares, vitaminas, ácidos, pigmentos, cuantitativamente despreciables) del alimento hacia la solución, y una transferencia simultánea de soluto desde la solución hacia el alimento.

Estos flujos son provocados por las gradientes de agua y soluto, a un lado y otro de las membranas que forman el tejido parenquimático del producto.



Fuente: Spiazzi y Mascherono, 2001.

**Figura 4. Transferencia de materia en la deshidratación osmótica**

La velocidad a la que sale el agua del alimento es mayor a la de los sólidos solubles hacia el interior de la pieza de alimento.<sup>(9)</sup>

La transferencia de materia se realiza hasta que las actividades de agua de la solución osmótica y del alimento se igualen. (Barbosa *et al.*, 2000)

La cantidad de sólidos solubles presentes en el alimento, así como la cantidad y distribución de los espacios intracelulares del tejido, afecta de manera importante, a los procesos de intercambio de materia en la deshidratación osmótica, así como la temperatura de trabajo, donde entre 40 y 50 °C se pierde la permeabilidad selectiva de las membranas por efecto del calor.

#### **1.2.2.1. Solución osmótica**

Las soluciones usadas para deshidratar son ricas en solutos que deprimen la actividad de agua de dicha solución, y que por lo tanto crean una diferencia de presión osmótica entre el producto a deshidratar y la solución.<sup>(9)</sup>

Los solutos comúnmente utilizados son mono y disacáridos (glucosa, fructosa, sacarosa), la inclusión de 0,5 – 2,0 % de sal en la solución de azúcar puede aumentar la velocidad de ósmosis.<sup>(9, 14)</sup>

Para hacer el proceso de DO más económico es conveniente reutilizar la solución osmótica. Los sólidos insolubles se pueden eliminar por filtración y la solución se concentra hasta su contenido en sólidos inicial. La decoloración puede limitar el número de veces que se puede reutilizar la solución. Puede ser necesario un ligero tratamiento térmico para inactivar microorganismos, en general levaduras, que pueden acumularse en la solución.<sup>(14)</sup>

#### **1.2.2.2. Factores que afectan la deshidratación osmótica**

Entre los principales factores se considera los siguientes:

**Geometría del producto:** En general geometrías que ofrecen mayor área de contacto benefician la transferencia de masa. Igualmente, se tiene pérdidas de más 1,3 veces mayores, cuando el grosor de las rodajas pasa de 10 a 5 mm.

En el proceso de reducción de tamaños se debe tomar en cuenta otros factores como: la facilidad de operación, costo y características físicas del producto final.<sup>(9)</sup>

**Temperatura del proceso:** El incremento de la temperatura de proceso provoca un aumento de la velocidad de transferencia de materia, tanto en lo que se refiere a la salida de agua como a la entrada de sólidos solubles. (Barat *et al.*, 1998)

En general, cuanto más alta es la temperatura de la solución osmótica, mayor es la velocidad de eliminación de agua. Las temperaturas usadas se encuentran en el intervalo 20 – 70 °C. A mayores temperaturas, existe el peligro de que se dañen las paredes celulares. Lo que provocaría una pérdida excesiva del material soluble, tales como vitaminas del alimento.<sup>(14)</sup>

**Razón alimento/solución:** La utilización de proporciones alimento/jarabe mayormente empleadas son: 1/3 y 1/5 (Crespo, 1980; Arboleda, 1999), las mismas que favorecen la pérdida de agua y la ganancia de sólidos en el alimento.

**Concentración de la solución osmótica:** Afecta en el sentido de definir la fuerza impulsadora en cuanto a la transferencia de materia, así como a la distinta viscosidad de la solución y de la fase líquida del alimento que va aumentando su viscosidad a medida que se concentra, hasta alcanzar la de la solución osmótica en el equilibrio.

Una solución con alta concentración produce un efecto denominado encostramiento y consiste en la formación de una capa superficial en el alimento con una elevada concentración que supone una barrera en la transferencia de materia entre el producto y la solución.<sup>(9)</sup>

Se usan soluciones azucaradas con concentraciones iniciales en el rango 40 – 70 %, a mayores concentraciones de soluto mas azúcar ingresa en el alimento.<sup>(14)</sup>



**Naturaleza del agente osmótico:** La elección del soluto o solutos resulta fundamental para definir el comportamiento del producto durante el proceso de deshidratación osmótica, se basa en aspectos como:

- **La masa molecular:** El tamaño de la molécula de soluto en cuestión va a suponer una mayor o menor facilidad para atravesar la red tridimensional constituida por los distintos constituyentes que conforman la estructura del alimento.<sup>(9)</sup>
- **Características sensoriales del producto:** Deben ser comestibles, con un sabor aceptable. (Barbosa, 2000)
- **El costo del soluto y disponibilidad en el mercado:** Afecta al precio de venta del producto que a pasado por un proceso de deshidratación osmótica.<sup>(10)</sup>

### 1.2.2.3. Ventajas del uso de la deshidratación osmótica

Los alimentos obtenidos por este método presentan varias ventajas:

- Así como el agua se elimina por ósmosis, algunos ácidos de las frutas también se pierden, con lo que resulta generalmente un producto más suave al paladar en términos de textura y astringencia.<sup>(6)</sup>
- Durante la ósmosis la alta concentración del jarabe que rodea a los trozos de fruta genera favorable acción inhibitoria del pardeamiento u oscurecimiento de la fruta causado por enzimas, (González, 1987).
- La estructura de los alimentos se conserva mejor debido a que la eliminación del agua se realiza sin cambio de estado.
- Protege la pérdida de ciertos nutrientes hidrosolubles, como es el caso de la vitamina C en las frutas.<sup>(9)</sup>
- La cantidad de sustancias osmóticas que penetran en el tejido pueden ajustarse a requerimientos individuales. También, la composición química del alimento, se puede regular de acuerdo a las necesidades del proceso, tal es el caso de la fritura de frutas en donde la deshidratación parcial de un alimento es imprescindible para que este tenga ciertas características que faciliten su procesamiento, (Casp y Abril, 2003).

La deshidratación osmótica no reduce suficientemente la actividad de agua para impedir la proliferación de los microorganismos. El proceso aumenta en cierta forma, la vida útil del alimento, pero no lo preserva totalmente.

Por esta razón, es necesaria la aplicación de otros métodos de conservación, tales como congelación, deshidratación (secado solar, con aire o a vacío), liofilización, fritura.<sup>(15)</sup>

### **1.3. ALTERNATIVA DE PROCESAMIENTO AGROINDUSTRIAL**

En nuestro país la agroindustria no elabora productos a partir de la oca para la alimentación humana, por lo que, mediante los procesos de deshidratación osmótica y fritura se busca dar una nueva alternativa de uso a este tubérculo andino.

#### **1.3.1. Fritura de alimentos**

La fritura por inmersión es un proceso antiguo y popular que se originó y desarrolló en el área mediterránea debido a la disponibilidad del aceite de oliva. Hoy en día muchos alimentos procesados se preparan mediante fritura en todo el mundo, ya que además de conseguir el cocinado del alimento, proporciona buen sabor, aromas, y texturas únicas que mejoran la palatabilidad general.<sup>(14)</sup>

El proceso de fritura se realiza a altas temperaturas en tiempos cortos (algunos minutos), permite incorporar aceite al producto, como consecuencia de la deshidratación involucrada se consiguen texturas externas crocantes mientras las interiores permanecen húmedas pero cocidas, a la vez que se producen pocas pérdidas en rendimiento y valor nutricional.<sup>(1)</sup>

### 1.3.1.1. El proceso de fritura

La fritura por inmersión puede definirse como un proceso de cocinado de alimentos mediante su inmersión en un fluido comestible (grasa) a una temperatura por encima del punto de ebullición del agua. Las altas temperaturas de fritura oscilan entre 130 – 190 °C.

La fritura por inmersión es un proceso complejo que implica simultáneamente una transferencia de masa y calor dando lugar a un flujo a contracorriente de vapor de agua (burbujas) y aceite en la superficie del alimento.

El proceso de fritura provoca alteraciones físico – químicas y cambios microestructurales significativos en los principales componentes del alimento, muchas de las características deseables de los alimentos fritos se derivan de la formación de una estructura amalgamada: una corteza o capa externa seca, porosa, crujiente y grasienta con el interior, húmedo y cocinado.

La corteza es el resultado de varias alteraciones que principalmente ocurren a nivel celular y subcelular y se localizan en las capas más externas del producto. Estos cambios físicos y químicos incluyen: el daño físico producido cuando el producto se corta y se forma una superficie rugosa con salida de material intracelular, la gelatinización del almidón y la consecuente deshidratación, desnaturalización proteica, pérdida de la adhesión celular, evaporación del agua y deshidratación rápida del tejido y finalmente, la absorción del aceite.<sup>(14)</sup>

La temperatura usada para la fritura es determinada principalmente por consideraciones económicas y requerimientos del producto. A temperaturas altas, los tiempos de procesamiento son reducidos y el grado de producción por lo tanto incrementado. El tiempo tomado por el alimento para estar completamente frito depende de:

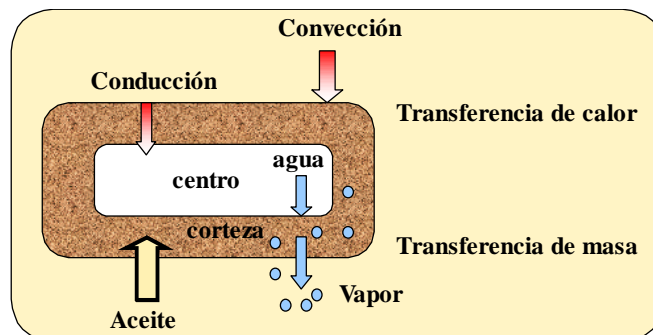
- El tipo de alimento.
- La temperatura del aceite.
- El grosor del alimento.
- El método de fritura (inmersión o superficial).
- Los cambios requeridos en las características del alimento.<sup>(20)</sup>

Las temperaturas superficiales que se alcanzan durante la fritura, permiten la inactivación enzimática, la reducción del aire intercelular y la destrucción de microorganismos, incluidos los patógenos, por efecto del calor y de la reducción de la actividad de agua, cuando el alimento se procesa en finas rodajas.<sup>(13, 14)</sup>

### 1.3.1.2. Transferencia de calor y masa durante la fritura por inmersión

Durante la fritura por inmersión en aceite caliente ocurre transferencia simultánea de calor y masa.

En la Figura 5, se muestra un diagrama esquemático del proceso, donde se observa como se transfiere el calor por convección desde el aceite caliente a la superficie del producto y luego por conducción desde la superficie hacia el interior. La transferencia de masa se caracteriza por la pérdida de agua (humedad superficial) del alimento en forma de vapor de agua y por el paso de aceite al interior del alimento.<sup>(14)</sup>



Fuente: Brennan, 2006.

**Figura 5. Diagrama de la transferencia simultánea de calor y masa durante la fritura**

Durante el proceso de fritura la temperatura de la corteza se aproxima a la del aceite caliente, reduciendo la humedad, mientras que en la región central la temperatura se limita a valores por debajo del punto de ebullición del líquido intersticial (aproximadamente 105 °C), suficiente para producir la gelatinización del almidón y la cocción del alimento, cuando todo el líquido se ha evaporado de la región central la temperatura comienza a elevarse, acercándose a la temperatura del aceite.<sup>(1, 14)</sup>

Se distinguen cuatro fases diferentes durante el proceso de fritura atendiendo a la transferencia de calor y agua:

**Calentamiento inicial:** Dura unos pocos segundos, corresponde el periodo de tiempo durante el cual la temperatura de la superficie alcanza el punto de ebullición del líquido. La transferencia de calor se da por convección natural y no hay evaporación de agua.

**Ebullición en la superficie:** Se caracteriza por la repentina pérdida de agua, el comienzo de la formación de la corteza y un régimen de convección forzado debido a la turbulencia causada por la ebullición del agua presente en la superficie del alimento.

**Fase de disminución de las pérdidas:** Es la fase más larga, en el que la humedad interna abandona el alimento, la temperatura en el centro se eleva hasta el punto de ebullición, la capa de corteza aumenta de grosor y finalmente la transferencia de vapor en la superficie disminuye.

**Punto final de burbujeo:** Se produce cuando aparentemente ya no se aprecia la salida de burbujas de vapor del alimento, debido a la reducción de la transferencia de calor en la interfase costra e interior del alimento, o por la eliminación total del agua del alimento.<sup>(14)</sup>

### **1.3.1.3. Factores que afectan a la absorción de aceite en el producto**

La absorción de aceite por parte del producto es compleja, porque mientras el vapor esté presente en los poros del alimento, impedirá el paso del aceite al interior del mismo, y sólo cuando disminuya la salida del vapor el aceite podrá transferirse al alimento, esto dependerá de las propiedades de permeabilidad de la costra formada en la superficie del alimento.

Terminado el proceso de fritura el alimento es retirado del aceite caliente y empieza el enfriamiento, la presión del vapor disminuye y produce un efecto de succión, ayudando a que el aceite depositado en la superficie del alimento pueda atravesar la costra.<sup>(13)</sup>

Entre los factores que afectan a la incorporación de aceite en el producto destacan: el tiempo y la temperatura de fritura, tamaño, forma y composición química del alimento, contenido de humedad, la tensión interfacial inicial, la porosidad, la costra formada durante el proceso, los pretratamientos aplicados al producto y en menor grado, la cantidad y composición del aceite.<sup>(13, 20)</sup>

Entre los pretratamientos utilizados en la fritura se destacan el escaldado, la congelación y la inmersión en soluciones azucaradas, tratamientos que pueden ser aplicados independientemente o combinados entre sí. El objetivo principal de éstos es mejorar la textura del alimento, evitando que se produzca una excesiva contracción, y disminuir el contenido final de aceite en el producto, así el pretratamiento de inmersión en solución azucarada afecta al contenido final de aceite, esto ocurre por cuanto los espacio de los poros que ocupaba el agua antes de la fritura son utilizados en parte por el soluto de la solución azucarada.<sup>(13)</sup>

#### **1.3.1.4. Aceites utilizados en el proceso de fritura**

El proceso de fritura usa aceites y grasas como medio de transferencia de calor al producto, los alimentos pueden freírse en una amplia variedad de aceites vegetales (maíz, girasol, semilla de soya, etc.), shortenings, grasas animales o una mezcla de ellos.<sup>(14)</sup>

Los criterios principales usados para seleccionar aceites de fritura son: prolongada estabilidad en la fritura, fluidez, aroma suave, baja tendencia a formar espuma o humo, baja tendencia a formar gomas (polímeros), estabilidad oxidativa del aceite en los alimentos ya fritos durante el almacenaje, buena estabilidad del aroma del producto, proporcionar a los productos una superficie café – dorada, exenta (libre) de grasa y de excelente textura y el precio.<sup>(1, 14)</sup>

Durante el proceso de fritura disminuye la capacidad calórica del aceite mientras aumenta la conductividad térmica y la viscosidad, esta última a causa de la formación de dímeros y polímeros.<sup>(1)</sup>

##### **1.3.1.4.1. Cambios y reacciones en los aceites durante la fritura**

Los aceites utilizados en el proceso de fritura experimentan gradualmente ciertos cambios químicos durante su uso, sobre todo si hay residuos que potencian las reacciones de alteración actuando como catalizadores. Los principales cambios y alteraciones químicas de los aceites calentados son:

**Formación del color:** La causa del obscurecimiento de los aceites en la fritura se debe a que todos los alimentos que se fríen aportan sustancias, como por ejemplo: azúcares, almidones, proteínas, etc., los mismos que se doran y/o reaccionan con el aceite.<sup>(26)</sup>

**Hidrólisis:** Descomposición de los triglicéridos, en contacto con la humedad o agua, dando lugar a diglicéridos, monoglicéridos y ácidos grasos libres, lo que provoca una mayor tendencia a la formación de humo y a producir olores y sabores indeseables.

**Autooxidación:** Las reacciones de oxidación no enzimática se ven favorecidas por las altas temperaturas, además de otros factores como la presencia de oxígeno, la incidencia de luz y la presencia de sustancias extrañas. Las grasas que han sufrido un proceso de oxidación tienden a oscurecerse, aumentando la viscosidad, incrementando la formación de espuma y desarrollan gustos y olores anómalos.

**Polimerización:** Los radicales libres formados en las reacciones anteriores tienden a combinarse entre ellos o con otros ácidos grasos y dan lugar a polímeros (gomos) que forman, en la superficie del aceite y en los laterales de la freidora, una capa muy adherente, difícil de eliminar y de consistencia plástica.<sup>(8)</sup>

#### **1.4. ESTABILIDAD EN EL ALMACENAMIENTO Y TIEMPO DE VIDA DE ANAQUEL**

En general la estabilidad hace referencia a la acción del producto bajo determinadas condiciones de prueba y el monitoreo del producto hasta su perecimiento. El tiempo transcurrido hasta el perecimiento es el tiempo de vida útil.<sup>(35)</sup>

La vida útil de los productos alimenticios se define como el periodo de tiempo a partir de la fecha de producción, durante el cual el alimento se conserva apto para el consumo desde el punto de vista sanitario y mantiene características sensoriales y funcionales por encima de un grado límite de calidad, previamente establecido como aceptable. (Man, 2004)



En la industria alimentaría la estabilidad básica de un producto alimenticio depende de varios factores como: cambio que sufren sus ingredientes, del proceso de manufactura, del material de empaque, de los gases circundantes y la distribución del producto empaçado.<sup>(35)</sup>

#### **1.4.1. Métodos para la predicción del tiempo de vida útil**

En la industria la manera más habitual de establecer la caducidad o tiempo de vida útil de anaquel de un alimento, es realizar pruebas de almacenamiento del producto en cuestión, en condiciones similares a las que probablemente tenga lugar durante el almacenamiento, distribución, exposición para la venta y uso por el consumidor.<sup>(29)</sup>

**Normal:** Ensayo que se lleva a cabo bajo condiciones medio ambientales de temperatura y humedad, persiguiendo determinar la estabilidad básica del alimento.

**Acelerada:** A escala industrial es importante saber si determinado producto soporta el almacenamiento prolongado por lo cual se realiza pruebas aceleradas de vida útil consistentes en colocar el producto bajo condiciones severas, usualmente de temperatura y humedad relativa mayor a la normal, o temperatura mayor y humedad relativa menor. Estas condiciones aceleran la tasa de degradación y en consecuencia al producto se deteriora más pronto.

**Extrema:** La condición extrema además de acelerar el deterioro de productos es utilizada generalmente para evaluar materiales de empaque principalmente.<sup>(35)</sup>

En general las pruebas de vida útil se llevan a cabo para determinar: la estabilidad básica de un producto alimenticio, el efecto de los cambios en los ingredientes, los efectos del cambio de fabricación (usualmente simplificando el proceso de producción original), los efectos de los diferentes tipos de materiales de empaque.<sup>(41)</sup>

## 1.5. DETERIORO DE PRODUCTOS TIPO SNACK ALMACENADOS

Teniendo en cuenta que los productos snack se caracterizan por su bajo contenido de humedad, textura (crocancia) y su contenido en aceite alto, después de la fritura, y si a esto se le añade una  $a_w$  menor que 0,6 son improbables las alteraciones por causa de microorganismos, (Roberson, 1993; Man, 2004).

Los principales mecanismos de deterioro de estos productos son:

**Pérdida de textura (crocancia):** Su pérdida se debe a la absorción de la humedad; esta es la causa principal del rechazo de los snacks por parte de los consumidores.

**Enranciamiento de la grasa (oxidación de lípidos):** Lo cual lleva a la formación de olores y sabores desagradables en el alimento. Para minimizar el desarrollo de la rancidez, el producto debe estar protegido del oxígeno, luz y trazas de iones metálicos.<sup>(32)</sup>

## 1.6. ENVASADO DE ALIMENTOS

Las funciones del envasado son las de contener el producto y protegerlo frente a diversos riesgos que puedan afectar desfavorablemente su calidad durante la manipulación, distribución, almacenamiento, comercialización y venta del producto.

El envasado consiste en la protección de materiales por medio de recipientes diseñados para aislar los contenidos de las influencias externas, de esta forma, el producto está contenido en un ambiente apropiado en el interior del envase.<sup>(14)</sup>

La temperatura, la humedad, actividad del agua, concentración de oxígeno, la luz, microorganismos son los principales factores que causan el deterioro de los alimentos y pueden ser controlados por el material de envasado.

Al conocer las reacciones deteriorativas que influyen en la calidad de los alimentos se puede elegir un adecuado material de envasado, lo que minimizará los cambios indeseables en las propiedades sensoriales y maximizará el desarrollo y mantenimiento de propiedades deseables del producto.<sup>(32)</sup>

## **1.6.1. Materiales utilizados para el envasado de alimentos**

### **1.6.1.1. Películas flexibles**

A los materiales en forma de lámina continua de hasta 0,25 mm de grosor se les denomina películas, son flexibles, generalmente transparentes, a menos que se pigmenten deliberadamente y hasta cierto punto termoplásticas (termosellado).

La mayoría de las películas se encuentran constituidas por un polímero o una mezcla de dos o más polímeros a los que se añade otras sustancias para conferirles propiedades funcionales específicas que mejoren su apariencia o sus posibilidades de manipulación.

#### **1.6.1.1. 1. Polipropileno (PP)**

El polipropileno (PP) se obtiene por polimerización a baja presión de propileno en presencia de un catalizador. La película normalmente se extruye en rodillos enfriados y se conoce como polipropileno modelado. De buenas propiedades mecánicas, en general las películas son flexibles y muy transparentes, poco permeables al vapor de agua y los gases y fácilmente termosellables.

#### **1.6.1.1. 2. Películas metalizadas**

Muchas películas flexibles pueden estar cubiertas por una lámina metálica, el proceso supone el calentamiento del metal, generalmente aluminio, a temperaturas de 1500 – 1800 °C en una cámara de vacío mantenida a muy baja presión, aproximadamente 0,13 Pa. El metal se vaporiza y se deposita sobre la película, que pasa a través de una corriente de vapor en un rodillo enfriado.

Ofrecen mayor resistencia al paso de vapor de agua y de los gases, además proporciona rigidez, opacidad y es fácilmente termosellable.<sup>(14)</sup>

### **1.6.2. Envasado en atmósfera modificada**

El envasado en atmósfera modificada (MAP) es un procedimiento que consiste en sustituir el aire que rodea al producto que queremos conservar, por un gas o una mezcla de gases antes de su cierre, lo que ofrece mejores condiciones para el mantenimiento de la calidad física y microbiológica del producto por un periodo de tiempo mayor.

Cuando envasamos o conservamos un alimento en una atmósfera normal, el oxígeno presente en la misma puede provocar:

- Oxidaciones de las grasas.
- Reacciones enzimáticas destructoras de la calidad.
- Pérdidas del color típico de cada alimento.
- Aparición de aromas y sabores desagradables.

#### **1.6.2.1. Conservación de los alimentos en envases individuales con gases protectores**

En este caso los alimentos se envasan en pequeñas porciones siendo protegidos de las condiciones exteriores por un film o película de diversos tipos y se procede a la sustitución de la atmósfera interna por gases protectores.

Según el tipo de material del envase, la permeabilidad del mismo será mayor o menor, la atmósfera interna con el paso del tiempo se modifica como resultado de los procesos respiratorios del contenido o por disolución de algún tipo de gas en el producto, pero en general consigue el propósito de alargar la vida del alimento en buenas condiciones hasta su consumo.

Los gases más utilizados en el envasado de los alimentos son:

**Nitrógeno (N<sub>2</sub>):** Es totalmente inerte por lo que no reacciona con el producto, conservando muy bien su calidad.

**Anhídrido carbónico (CO<sub>2</sub>):** Inhibe el desarrollo de microorganismos y trabaja muy bien en combinación con el frío, ya que aumenta su solubilidad al descender la temperatura.

**Oxígeno (O<sub>2</sub>):** En combinación con el N<sub>2</sub> y el CO<sub>2</sub>, mantiene la frescura y el color de algunos alimentos.<sup>(27)</sup>

## 1.7. ANÁLISIS SENSORIAL

El análisis sensorial es una ciencia multidisciplinaria en la que intervienen panelistas humanos que utilizan los sentidos de la vista, olfato, gusto, tacto y oído para medir las características sensoriales de un determinado producto.<sup>(4)</sup>

No existe ningún instrumento que pueda reproducir o reemplazar la respuesta humana; por tanto la evaluación sensorial resulta un factor esencial en cualquier estudio sobre alimentos para él: desarrollo, mejoramiento, control de calidad, estudio sobre almacenamiento, aceptación de productos y la investigación de mercados.<sup>(40)</sup>

### 1.7.1. Tipos de pruebas

Existen diferentes tipos de pruebas en la evaluación sensorial:

#### 1.7.1.1. Pruebas orientadas al producto

En las pruebas orientadas hacia el producto, se emplean pequeños paneles que funcionan como instrumentos de medición. Los paneles se utilizan para identificar diferencias entre productos alimenticios similares o para medir la intensidad de características como sabor, olor, gusto, textura y apariencia. Por lo general estos paneles constan de 5 a 15 panelistas. (Watts, 1992)

Las pruebas orientadas a los productos, se utilizan comúnmente en los laboratorios de alimentos, incluyen pruebas de diferencia, pruebas de ordenamiento por intensidad, pruebas de puntaje por intensidad, pruebas afectivas y pruebas de análisis descriptivo.

#### **1.7.1.1.1. Pruebas descriptivas**

Son las que permiten describir, comparar y valorar las características de las muestras en función de unas categorías o tipos (patrones) definidos previamente.<sup>(21)</sup>

#### **1.7.1.1.2. Pruebas afectivas**

Estas se dirigen fundamentalmente hacia los consumidores y pretenden evaluar su nivel de satisfacción, preferencia o la aceptación de un determinado producto; para el fin se puede hacer uso de escalas como la hedónica, que es la más popular de las escalas afectivas, (Watts, 1992).

#### **1.7.1.1.3. Pruebas de diferencia**

Se usan para determinar si hay una diferencia perceptible entre productos, En su respuesta, el panelista no tiene en cuenta sus gustos particulares. (Vaclavik, 2002; Fortín, 2001)

Estas pruebas pueden utilizarse para determinar si ha ocurrido un cambio perceptible en la apariencia, sabor o textura de un alimento como resultado de su almacenamiento. También para comparar la vida útil de un producto concreto envasado en diferentes materiales de envase, o si ha ocurrido un cambio en el proceso de elaboración. (Vaclavik, 2002; Fortín, 2001)

#### **1.7.1.1.4. Prueba triangular**

Es un tipo de prueba de diferencia usada con más frecuencia. En esta, a cada panelista se le dan tres muestras codificadas, dos de las cuales son iguales se les pide que indiquen cual es la muestra diferente, aún si ellos no encuentran ninguna diferencia entre las muestras (en caso de duda, los panelistas deben decidirse por una), (Watts, 1992).

## MARCO CONCEPTUAL

**Ácido orgánico:** Son aquellas sustancias que se encuentran presentes y de forma original en algunas plantas, son propias de las mismas.

**Ácido oxálico:** Se encuentra en muchas plantas en forma de sales (oxalatos) de potasio. Su sal de calcio también aparece en ciertos vegetales, las sales y esteres de este ácido de denominan oxalatos.

**Concentración:** Es la cantidad de una sustancia en masa o volumen específico de un medio o de un material biológico, entre otros.

**(DCA):** Diseño completamente al azar, se lo utiliza en investigaciones de laboratorio, invernadero, parte pecuaria, es decir en investigaciones donde haya ambientes controlados, alta homogeneidad. Este tipo de diseño no utiliza réplicas, utiliza observaciones o repeticiones.

**Ecotipos:** Es una misma especie, genéticamente diferenciada que está restringida a un hábitat específico, un ambiente particular.

**Ósmosis:** Es un fenómeno en el que se produce el paso o difusión de un disolvente a través de una membrana semipermeable (permite el paso de disolventes, pero no de solutos) desde una disolución más diluida a otra más concentrada.

**Oxidación:** La oxidación es una reacción en cadena que, una vez iniciada, continúa hasta la oxidación total de las sustancias sensibles

**Plasmólisis:** Efecto de salida de agua desde el interior de la célula al exterior, por un proceso de ósmosis, cuando se encuentra en un medio hipertónico (alta concentración de solutos), para igualar las concentraciones interna y externa.



**Rancidez:** La rancidez de un aceite o grasa alimentaria consiste en modificaciones de orden fisicoquímico, muy comunes de apreciar, que pueden cambiar sus propiedades organolépticas, llegando a provocar su rechazo como alimentos aptos.

**(RTAs):** Raíces y Tubérculos Andinos del Ecuador.

**Snack:** La palabra traducida al idioma Castellano quiere decir bocadito o aperitivo y las definiciones de este término comprende “una comida rápida, ligera y ocasional, o pequeñas porciones de alimento”. Los snacks se clasifican de acuerdo al tipo de técnicas que han sido usadas para su alcance; así por ejemplo, tenemos los snacks obtenidos mediante un proceso de fritura (chips de frutas y tubérculos); otros que han pasado por procesos de extrusión y/o expansión (hojuelas de maíz, cebada, chitos, etc.).

**Tubérculo:** Rizoma engordado y convertido en órgano de reserva.

**Turgencia:** Efecto de entrada de agua al interior de la célula cuando se encuentra en un medio hipotónico (baja concentración de solutos), por un proceso de ósmosis. La célula se hinchará y aumentando de volumen.