

**UNIVERSIDAD NACIONAL JOSÉ MARÍA ARGUEDAS**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL**



Presentado por:

**Br. MARIBEL ALLCCA CUSI**

**INFLUENCIA DE LA CONCENTRACIÓN DE SACAROSA  
Y TEMPERATURA EN LA DESHIDRATACIÓN  
OSMÓTICA DE LA OCA (*Oxalis Tuberosa*)**

ASESOR:

**Ing. FREDY TAIPE PARDO**

**ANDAHUAYLAS - APURÍMAC - PERÚ**

**2017**



Universidad Nacional José María Arguedas

Identidad y Excelencia para el Trabajo Productivo y el Desarrollo

FACULTAD DE INGENIERIA

### APROBACIÓN DEL ASESOR

El que suscribe:

Ingeniero en Industrias Alimentarias **FREDY TAIPE PARDO**, identificado con Colegiatura CIP N° 88460, profesor asociado a tiempo completo, adscrito al Departamento Académico de Ingeniería y Tecnología Agroindustrial, por la presente hace constar:

**CERTIFICA,**

Que, la bachiller en ingeniería agroindustrial **MARIBEL ALLCCA CUSI** ha culminado satisfactoriamente el informe final de tesis intitulado **"INFLUENCIA DE LA CONCENTRACIÓN DE SACAROSA Y TEMPERATURA EN LA DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA DE LA OCA (*Oxalis tuberosa*)"**, para optar el título profesional de Ingeniero Agroindustrial.

Andahuaylas, 29 de agosto del 2017

Ing. Fredy Taipe Pardo  
Asesor de Tesis

Br. Maribel Allcca Cusi  
Tesisista



Universidad Nacional José María Arguedas

Identidad y Excelencia para el Trabajo Productivo y el Desarrollo

FACULTAD DE INGENIERIA

### APROBACIÓN DE JURADO DICTAMINADOR

LA TESIS: INFLUENCIA DE LA CONCENTRACIÓN DE SACAROSA Y TEMPERATURA EN LA DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA DE LA OCA (*Oxalis tuberosa*); para optar el título profesional de ingeniero agroindustrial, ha sido evaluada por el jurado dictaminador conformado por:

**PRESIDENTE** : Ing. MSc. JULIO CÉSAR SICHEZ MUÑOZ

**SECRETARIO** : Ing. GINA GENOVEVA TORO RODRIGUEZ

**VOCAL** : Ing. Mag. ABEL MANUEL SERNA HERRERA

Habiendo sido aprobado por UNANIMIDAD, en la ciudad de Andahuaylas el día 13 del mes de Julio del año 2017.

Andahuaylas, 04 de setiembre del 2017

Atentamente,

Ing. MSc. Julio César Sichez Muñoz  
PRESIDENTE DEL JURADO DICTAMINADOR

Ing. Gina Genoveva Toro Rodriguez  
SECRETARIO DEL JURADO DICTAMINADOR

Ing. Mag. Abel Manuel Serna Herrera  
VOCAL DEL JURADO DICTAMINADOR



## FACULTAD DE INGENIERIA

### ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS

En el local salón de grados de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial, de la Sede Académica Santa Rosa de la Universidad Nacional José María Arguedas de la ciudad de Andahuaylas, siendo las cuatro de la tarde del día jueves trece del mes de julio del año dos mil diecisiete; se reunieron el Ing. M.Sc. Julio Cesar Sichez Muñoz, la Ing. Gina Genoveva Toro Rodríguez y el Ing. Mag. Abel Manuel Serna Herrera, integrantes del Jurado Evaluador del Informe Final de Tesis intitulado: "INFLUENCIA DE LA CONCENTRACIÓN DE SACAROSA Y TEMPERATURA EN LA DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA DE LA OCA (*OXALIS TUBEROSA*)", cuya autora es la Bachiller en Ingeniería Agroindustrial **MARIBEL ALLCCA CUSI**, con el propósito de proceder a la sustentación y defensa de dicha tesis.

Luego de la sustentación y defensa de la tesista, el Jurado Evaluador **ACORDO: APROBAR** por **UNANIMIDAD** a la Bachiller en Ingeniería Agroindustrial **MARIBEL ALLCCA CUSI**, obteniendo la siguiente calificación y mención:

Nota escala vigesimal		Mención
Números	Letras	
14	CATORCE	BUENO

En señal de conformidad, se procedió a la firma de la presente acta en 03 ejemplares.

Ing. M.Sc. Julio Cesar Sichez Muñoz  
Presidente del Jurado Evaluador

Ing. Gina Genoveva Toro Rodríguez  
Primer Miembro del Jurado Evaluador

Ing. Mag. Abel Manuel Serna Herrera  
Segundo Miembro del Jurado Evaluador

### **DEDICATORIA**

*A Dios quién supo guiarme por el buen camino y darme las fuerzas para seguir adelante y alcanzar mis objetivos, a mi querida hija Mariana por ser la razón de mi vida y quien me da valor de seguir adelante, a mis padres Cirilo y Victoria, al padre de mi hija Miguel y a mis hermanos por su comprensión y apoyo incondicional*

Errar es humano, pero más lo es culpar de ello a otros  
**Baltasar Gracián**

## **AGRADECIMIENTO**

*A Dios por guiar mi camino, por fortalecerme, darme salud, ponerme a personas bellas en mi camino, permitirme desarrollar y culminar satisfactoriamente este trabajo de investigación.*

*A mis padres Cirilo y Victoria y a mis hermanos por sus sabios consejos y apoyo incondicional.*

*Al padre de mi hija Miguel por ser parte de mi vida y por su apoyo incondicional*

*A la Universidad Nacional José María Arguedas en especial a la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial por permitirme utilizar sus laboratorios, materiales para poder obtener mis datos experimentales, asimismo por acogerme durante los años de estudios y a los profesores por compartir sus conocimientos y experiencias.*

*A mi asesor Ing. Fredy Taipe Pardo por brindarme su orientación, apoyo y compartir sus conocimientos para culminar satisfactoriamente este trabajo de investigación.*

*A los integrantes del jurado evaluador al Ing, MSc. Julio Cesar Sichez Muñoz (Presidente), Ing. Gina Genoveva Toro Rodriguez (Primer miembro) y al Ing. MSc. Abel Serna Herrera (Segundo Miembro)*

*A todas, mis amigas y compañeros, por brindarme sus enseñanzas y ofrecerme su amistad a lo largo del tiempo que estuvimos albergados en las aulas de la UNA*

## INDICE

DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTO .....	ii
GLOSARIO DE ABREVIATURAS .....	x
RESUMEN.....	xi
ABSTRACT .....	xii
I. INTRODUCCIÓN.....	17
II. REVISION DE LITERATURA.....	18
2.1. OBJETIVOS .....	18
2.2. PROBLEMA .....	18
2.3. HIPÓTESIS .....	18
2.4. ANTECEDENTES .....	19
2.5. Oca (oxalis tuberosa).....	23
2.5.2. Descripción botánica.....	23
2.5.2.1. Morfología vegetativa .....	23
2.5.2.2. Los tubérculos .....	24
2.5.3. Variedad de la oca .....	25
2.5.4. Condiciones agroecológicos.....	25
2.5.4.1. Suelos y Altitud.....	25
2.5.4.2. Temperatura.....	25
2.5.4.3. Luminosidad.....	25
2.5.4.4. Precipitación.....	25
2.5.4.5. Vientos.....	25
2.5.5. Usos del tubérculo.....	26
2.5.5.1. Comidas tradicionales.....	26
2.5.5.2. Harina de oca .....	26
2.5.5.3. Medicinal.....	26
2.5.6. Composición química.....	27
2.5.7. Ácido oxálico .....	28
2.5.8. Escaldado .....	28
2.5.8.1. Ventajas de la utilización del escaldado .....	28
2.6. Coeficiente de difusión .....	29
2.7. Ósmosis.....	29
2.8. Deshidratación osmótica (DO).....	29
2.9. Etapas de la deshidratación osmótica.....	31



2.9.1. Primera etapa de la deshidratación osmótica .....	31
2.9.2. Últimas etapas de la deshidratación osmótica.....	31
2.10. Difusión de agua.....	32
2.11. Transferencia de masa de la deshidratación osmótica.....	32
2.12. Cinética de la deshidratación osmótica.....	33
2.13. Factores que afectan el proceso de deshidratación osmótica.....	33
2.13.1. Tipo de agente osmótica.....	34
2.13.1.1. Sacarosa.....	34
2.13.1.2. Fructosa.....	35
2.13.1.3. Jarabe de maíz de alto peso molecular.....	36
2.13.2. Concentración del soluto.....	37
2.13.3. Tiempo de inmersión.....	38
2.13.4. Temperatura de la solución osmótica.....	38
2.13.5. Relación solución: alimento.....	39
2.13.6. pH de la solución .....	39
2.13.7. Propiedades del soluto empleado.....	39
2.13.8. Agitación de la solución osmótica.....	40
2.13.9. Geometría y tamaño del producto.....	40
2.14. Ventajas de la deshidratación osmótica.....	40
2.15. Desventaja de la deshidratación osmótica.....	41
2.16. Alimentos mínimamente procesados.....	42
III. MATERIALES Y METODOLOGIA.....	43
3.1. MATERIALES.....	43
3.1.1. Lugar de ejecución.....	43
3.1.2. Material de estudio.....	43
3.1.3. Universo y / o población .....	43
3.1.4. Muestra.....	43
3.2. METODOLOGÍA.....	45
3.2.1. Acondicionamiento de las muestras.....	45
3.2.2. Preparación de las soluciones.....	45
3.2.3. Proceso de deshidratación osmótica.....	45
3.2.4. Descripción del proceso.....	45
3.2.5. Evolución de la transferencia de la masa.....	48
3.2.6. Determinación de la difusividad efectiva.....	49
3.3. Análisis estadístico.....	50

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	51
4.1. Caracterización de la oca ( <i>Oxalis tuberosa</i> ) .....	51
4.2. Influencia de la concentración de sacarosa y la temperatura en la transferencia de masa como: pérdida de peso, pérdida de agua, ganancia de sólidos y humedad. ....	53
4.3. Determinación del coeficiente de difusividad efectiva - $D_{ef}$ .....	57
CONCLUSIONES.....	58
RECOMENDACIONES.....	59
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....	60
ANEXOS.....	65

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Composición química de la oca.....	27
Tabla 2: Ventajas de agentes osmóticos.....	37
Tabla 3: Equipos, materiales e insumos.....	44
Tabla 4: Matriz de tratamiento.....	50
Tabla 5: Caracterización de la materia prima.....	51
Tabla 6: Valores de la oca después de la deshidratación osmótica.....	51
Tabla 7: Promedio del ° Brix del jarabe .....	52
Tabla 8: Coeficiente de difusividad efectiva $D_{ef}$ , .....	57

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Morfología vegetativa, floral y tubérculo. ....	24
Figura 2. Difusión de agua en el secado .....	29
Figura 3. Diagrama de transferencia de masa. ....	30
Figura 4. Primera etapa de la deshidratación .....	31
Figura 5. Última etapa de la deshidratación osmótica .....	31
Figura 6. Permeabilidad membranas.....	32
Figura 7. Transferencia de masa.....	33
Figura 8. Estructura de sacarosa.....	35
Figura 9. Estructura de fructosa .....	36
Figura 10. Estructura de maltodextrina .....	37
Figura 11. Diagrama de flujo cualitativa de la deshidratación osmótica de la oca(Oxalis tuberosa).....	47
Figura 12. Variables independientes y dependientes de la investigación .....	50
Figura 13. Gráfico de interacción para la humedad .....	52
Figura 14. Gráfico de interacción para la pérdida de peso. ....	53
Figura 15. Gráfico de interacción para la pérdida de agua .....	54
Figura 16. Gráfico de interacción para ganancia de sólidos.....	56

## INDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Fotos del proceso de deshidratación osmótica de la oca.....	66
Anexo 2: Tabla de Análisis de Varianza para pérdida de peso (%) (ANOVA).....	71
Anexo 3: Tabla de Optimización de respuesta.....	71
Anexo 4: Tabla de Análisis de Varianza para de humedad (%) .....	71
Anexo 5: Tabla de Optimización de respuesta.....	72
Anexo 6: Tabla de Análisis de Varianza para pérdida de agua (%) .....	72
Anexo 7: Tabla de Optimizar Respuesta para pérdida de agua (%) .....	72
Anexo 8: Tabla de Análisis de Varianza para ganancia de sólidos (ANOVA).....	73
Anexo 9: Tabla de Optimizar Respuesta para ganancia de sólidos (%) .....	73
Anexo 10: Figura de Ln X* vs. Tiempo para el Tratamiento (40°Brix y 15°C).....	74
Anexo 11: Figura de Ln X* vs. Tiempo para el Tratamiento (40°Brix y 30°C).....	74
Anexo 12: Figura de Ln X* vs. Tiempo para el Tratamiento (50°Brix y 15°C).....	75
Anexo 13: Figura de Ln X* vs. Tiempo para el Tratamiento (50°Brix y 30°C).....	75
Anexo 14: Resumen del análisis de difusividad efectiva.....	76
Anexo 15: Datos obtenidos de los parámetros de la transferencia de masa.....	80
Anexo 16: Diagrama de flujo cuantitativo.....	81
Anexo 17: Matriz de consistência.....	82

## GLOSARIO DE ABREVIATURAS

ANOVA	: Análisis de varianza
A.O.A.C	: Association of Official Analytical Chemist
AW	: Actividad de agua
°Brix	: Grados brix
cm <sup>2</sup>	: Centímetro cuadrado
cm	: Centímetro
°C	: Centígrados
DO	: Deshidratación osmótica
GS	: Ganancia de sólidos
H	: Humedad.
KPa	: Kilo pascales.
Kg <sub>f</sub>	: Kilogramo fuerza
NaCl	: Cloruro de sodio
PP	: Pérdida de peso
PA	: Pérdida de agua
Rpm	: Revoluciones por minuto
Ph	: Ph
SSC	: Contenido de solidos totales
Kw	: Pérdida de agua
Kss).	: Ganancia de sólidos solubles
Dsse	: Difusividad efectiva de sólidos solubles
Dwe	: Difusividad efectiva agua

## RESUMEN

La oca (*oxalis tuberosa*) utilizada en el presente estudio fue proveniente del distrito de Turpo, provincia de Andahuaylas, departamento de Apurímac, fue seleccionada manualmente eliminando unidades con magulladuras, golpes y pudrición, se lavó para eliminar tierra, material extraño e impurezas, se mondó con la ayuda de un cuchillo, se trozo en forma de cubos de 1x1x1 cm de aristas aproximadamente, luego se hizo un escaldo por un minuto a una temperatura de 60 °C para ablandar y facilitar la deshidratación osmótica, luego se introdujo en solución hipertónica de sacarosa de 40 y 50 °brix y temperaturas de 15 °C y 30 °C. El objetivo del presente trabajo fue estudiar la influencia de la concentración de sacarosa y la temperatura en la deshidratación osmótica de la oca. El diseño factorial empleado fue  $2^n = 2^2 = 4$  tratamientos con dos niveles de temperatura (15 °C y 30°C) y dos niveles de concentración de sacarosa (40 °brix y 50 °brix) por triplicado. Se determinó la variación de peso, humedad de la oca y °brix, en el jarabe cada 10 minutos, mientras que los parámetros de la transferencia de masa se determinó mediante las respuestas experimentales: Pérdida de peso (PP), Pérdida de Agua (PA) y Ganancia de Sólidos (GS) durante 4 horas. Se realizó además el cálculo del coeficiente de Difusividad efectiva, dichas respuestas determinaron mayores valores al trabajar con los niveles más altos. Para la pérdida de peso (PP), alcanzó valores de 6.368, 7.198, 8.780, 13.458 % para T1, T2, T3 y T4, respectivamente. Para la pérdida de humedad con 69.066, 69.533, 67.800, 67.533% respectivamente. Para la pérdida de agua (PA) se llegó a los valores de 22.437, 22.771, 26.532 y 27.991 %, para T1, T2, T3 y T4 respectivamente. La ganancia de sólidos (GS) llegó a 20.144, 19.421, 20.271 y 19.811 % para T1, T2, T3 y T4 respectivamente. El mejor tratamiento de deshidratación osmótica fue el tratamiento T4 (50°Brix y 30°C).

## ABSTRACT

The oca (*Oxalis tuberosa*) came from the Turpo district, province of Andahuaylas, Apurímac department, was manually selected by removing units with bruises, blows and rot, washed to remove soil, foreign material and impurities, was weeded with the help of A knife is cut into cubes of 1x1x1 cm of rough edges,

Then aScaled for one minute at a temperature of 60 ° C to soften and facilitate osmotic dehydration, then it was introduced in hypertonic solution of sucrose of 40 and 50 ° brix and temperatures of 15 ° C and 30 ° C.

The objective of the present work was to study the influence of sucrose concentration and temperature on the osmotic dehydration of the oca. The factorial design employed was  $2n = 22 = 4$  treatments with two temperature levels (15 ° C and 30 ° C) and two levels of sucrose concentration (40 ° brix and 50 ° brix) in triplicate.

The weight variation, goose's moisture and ° brix, were determined in the syrup every 10 minutes, while the d mass transfer parameters were determined by the experimental responses: Weight Loss (PP), Water Loss (PA ) And Solids Gain (GS) for 4 hours

The calculation of the effective diffusivity coefficient was also performed, these responses determined higher values when working with the highest levels. For weight loss (WL), it reached values of 6,368, 7,198, 8,780, 13,458% for T1, T2, T3 and T4, respectively.

For the loss of moisture with 69,066, 69,533, 67,800, 67,533% respectively. For the loss of water (LW) the values of 22.437, 22.771, 26.532 and 27.991% were reached for T1, T2, T3 and T4 respectively. The gain of solids (GS) reached 20,144, 19,421, 20,271 and 19,811% for T1, T2, T3 and T4 respectively. The best osmotic dehydration treatment was the T4 treatment (50 ° Brix and 30 ° C).



## I. INTRODUCCIÓN

La oca, es un tubérculo andino, originario del sur del Perú, que se cultiva entre 3000 y 3900 m.s.n.m. contiene proteínas, carbohidratos calcio, fósforo, hierro y principalmente vitamina C, presenta intervalos de humedad entre 70- 80 %, se consume mayormente sancochada, es muy dulce y agradable sobre todo si se deja solear. (Rivera, 1995.) Constituye la base alimenticia del poblador andino, que podrían ser revalorizados utilizando una tecnología adecuada para darle un valor agregado, por ello se ha realizado un estudio de la influencia de la concentración de sacarosa y temperatura en la deshidratación osmótica de la oca (*Oxalis tuberosa.*), poder entender cómo se genera la transferencia de solutos desde y hacia el alimento, entender como la concentración de sacarosa y la temperatura del medio inciden en la disminución del contenido de humedad de la oca.

El propósito de la deshidratación osmótica de la oca es proporcionar al consumidor productos de fácil consumo, parecidos sensorialmente al producto fresco, con una vida útil más prolongada.

El proceso de deshidratación osmótica es frecuentemente aplicado para conservar la calidad y estabilidad de los productos, sin tener pérdidas considerables en compuestos aromáticos; además de que puede ser utilizado como una operación previa en el secado y la liofilización, reduciéndose así los costos energéticos, es un proceso tecnológicamente sencillo, se puede trabajar con pequeños volúmenes de producto, produce un daño mínimo en la estructura del alimento deshidratado ya que no debe someterse a altas temperaturas.

La deshidratación osmótica de alimentos incluye dos tipos de transferencia de masa: la difusión del agua del alimento a la solución y la difusión de solutos de la solución al alimento, es un tratamiento de eliminación parcial de agua, donde se sumerge la materia prima en una solución hipertónica originándose dos flujos principales una salida de agua desde el alimento hacia la solución y una entrada de solutos desde la solución hacia el alimento, ambos flujos se ven afectados por factores tales como la temperatura de trabajo, la concentración de la solución, el tipo de soluto usado y las características propias del alimento originándose así una transferencia de masa desde la región de mayor concentración hacia la de menor concentración.

## II. REVISION DE LITERATURA

### 2.1. OBJETIVOS

#### Objetivo general

- Evaluar la Influencia de la concentración de sacarosa y la temperatura en la deshidratación osmótica de la oca (*Oxalis tuberosa*)

#### Objetivos específicos

- Determinar la influencia de la concentración de sacarosa y la temperatura en la transferencia de masa como: pérdida de peso, pérdida de agua, ganancia de sólidos y humedad.
- Determinar el coeficiente de difusividad efectiva a través de la segunda ley de Fick.

### 2.2. PROBLEMA

¿Cómo influye la concentración de sacarosa y la temperatura en la deshidratación osmótica de la oca (*Oxalis tuberosa*)?

### 2.3. HIPÓTESIS

#### Hipótesis general

- La concentración de sacarosa y temperatura influirá en la deshidratación osmótica de la oca (*Oxalis tuberosa*).

#### Hipótesis específicos

- La concentración de sacarosa y temperatura influirá en la pérdida de peso, pérdida de agua, ganancia de sólidos y humedad en la deshidratación osmótica de la oca (*Oxalis tuberosa*)
- La concentración de sacarosa y la temperatura influirá en el coeficiente de difusividad efectiva.

## 2.4. ANTECEDENTES

**Acevedo et al., (2013)**, en su investigación titulada “**deshidratación osmótica de pulpa de tamarindo (*Tamarindus indica* L) influencia de la temperatura y la concentración**”. Reporta la pérdida de agua de la pulpa de tamarindo alcanzo valores de 52,8; 52,9 y 53,5 %, para concentraciones de solución del 30, 40 y 60 %, respectivamente a 50 °C durante las cuatro primeras horas y de 48,9, 49,6 y 51,8 %, para las concentraciones de solución del 30, 40 y 60 %, respectivamente, a 30 °C, durante las cuatro primeras horas. También reporto la pérdida de peso (53,9 %) de la pulpa y menciona que es mayor a medida que aumenta la temperatura del proceso y la concentración de sacarosa en la solución hipertónica. Observo también un aumento en la ganancia de sólidos, (0,008 %) con el incremento de la temperatura y de la concentración de la solución osmodeshidratante. Luego de las seis horas, la ganancia de sólidos decae, lo cual, se puede atribuir al fenómeno a que se lleva a cabo una impregnación del material con solutos provenientes de la solución. En conclusión se obtuvo que a mayor concentración y temperatura de la solución, se produzcan mayores pérdidas de agua, peso y ganancia de sólidos.

**Arreola et al., (2007)**, en su investigación titulada “**Aplicación de Vacío en la Deshidratación Osmótica de Higos (*ficus carica*)**”

determinaron los coeficientes de difusión efectivos y los coeficientes de transferencia de masa para la pérdida de agua y ganancia de sólidos en el proceso de deshidratación osmótica de higos (*ficus carica*), a tres concentraciones de sacarosa en solución (55, 65 y 75 %) y dos temperaturas (35 y 45 °C), bajo vacío constante (aprox. 40 kPa). Observo que la velocidad de pérdida de agua se incrementa conforme se incrementa la concentración de la solución osmótica y la temperatura. A la concentración de 55 % de sacarosa y 35 °C, la diferencia de concentraciones tiene mayor influencia en la transferencia de agua, debido quizá a la menor viscosidad de la solución osmótica que impregna masivamente al producto, resultando en una ganancia de agua, debido a la dificultad de los solutos para penetrar en la fruta. Conforme aumenta la concentración de sacarosa, se puede observar que aumenta la presión osmótica de la solución y con esto la pérdida de agua, es decir, prevalece la deshidratación, aunque la velocidad de transferencia de sólidos sigue siendo menor. Para 45 °C, la velocidad de transferencia de agua disminuye conforme aumenta la concentración.

Con el coeficiente de difusión se puede observar la menor rapidez en el transporte de solutos a 55 % de sólidos en solución y 45 °C, donde la diferencia de concentraciones es la principal fuerza motriz de la transferencia. Los coeficientes de difusión y de transferencia de materia para agua incrementaron con la temperatura y los valores mayores se obtuvieron para una concentración de 65 % de azúcar y 35 °C. La concentración de la solución osmótica y la temperatura influyen considerablemente durante el proceso debido a que un aumento de esta última intensifica la eliminación de agua y la penetración de sacarosa.

**Garzón, (2014). En su investigación titulada “bombones rellenos de mashua (*tropaeolum tuberosum*) deshidratadas por ósmosis”**

Estudio los efectos de la variación de temperatura (30, 40 y 50 °C) y concentración de solución osmótica (30, 40 y 50 °Brix) en la deshidratación osmótica de la mashua, durante 6 horas con agitación, temperatura y concentración de solución osmótica. Se realizó un análisis estadístico de varianza unifactorial del contenido de humedad final, pérdida de peso (PA), ganancia de sólidos (GS) y efectividad (PA/GS) del proceso. Se observó una pérdida significativa en el contenido de humedad final de 55,98 % en el tratamiento T3B3 (50 °C – 50 °Brix) influenciado directamente por la mayor temperatura y mayor concentración de solución osmótica para la deshidratación del tubérculo. Se indica que el tratamiento T3B3 (50 °C - 50 °Brix) es el más eficaz en la pérdida de peso.

La aplicación de bajas temperatura en la solución osmótica contribuye al % de ganancia de sólidos; no así las altas temperaturas cuya ganancia de sólidos disminuye, todos los tratamientos aplicados durante la deshidratación osmótica indican efectividad en el proceso debido a que presentan valores superiores a la unidad siendo el mejor tratamiento T3B3 (50°C - 50 °Bx) debido a su incremento de temperatura y concentración de solución osmótica en el proceso osmodeshidratante. Los mejores tratamientos en los cuales se obtuvieron resultados con mayor pérdida de peso, ganancia de sólidos solubles y efectividad en el proceso de deshidratación osmótica fueron T3B2 (50 °C - 40°Brix) y T3B3 (50°C - 50°Brix).

**Della & Mascheroni (2011) en su investigación titulado “deshidratación de papas por métodos combinados de secado, deshidratación osmótica, secado por microondas y convección con aire caliente.”** buscó el valor de las variables que maximizan la pérdida de peso (PP), incrementando la pérdida de agua (PA) y minimizando la ganancia de sólidos (GS), El producto final se obtuvo

a partir de cubos de 1 cm de arista los cuales se deshidrataron osmóticamente durante 1 h en una solución de 40 % de sacarosa y 10 % de sal a una temperatura de 40 °C, un nivel de agitación de 120-130 rpm donde la velocidad de deshidratación osmótica, en función del tiempo, aumenta con el incremento en la concentración de sacarosa. También se puede inferir que la mayor pérdida de peso se produce aproximadamente durante las dos primeras horas de deshidratación osmótica para todas las concentraciones de sacarosa ensayadas el producto pierde mayor cantidad de agua cuando se halla inmerso en las soluciones de concentración en sacarosa elevadas debido a que la fuerza impulsora, diferencia entre las presiones osmóticas en el interior del producto y la solución pero la ganancia de sólidos es inferior a altas concentraciones de sacarosa debido probablemente a la formación de una capa de sacarosa superficial sobre el producto que impide el ingreso dentro del mismo. Finalmente, se llevó a cabo el secado combinado que consistió en el secado simultáneo por convección con aire caliente y microondas a una potencia del 60 % respecto de la máxima del equipo.

**Martínez, (2012), en su trabajo de investigación titulada “efecto de la concentración y temperatura en la deshidratación osmótica del tomate de árbol (*Cyphomandra betacea*)”,** menciona que el diseño factorial empleado fue un AxB con tres niveles para el “Factor A” Concentración: (50°, 55° y 60 ° Brix) y cuatro niveles para el “Factor B” Temperatura: (25°, 35°, 45° y 55 °C), corrido con una replicación y en una relación fruta: jarabe (1:2.5). Se determinó la variación de peso y humedad de la fruta, y °Brix, pH en el jarabe cada 60 minutos, mientras que la cinética de deshidratación osmótica se determina mediante las respuestas experimentales: Pérdida de peso (Ppt), Pérdida de Agua (Pat) y Ganancia de Sólidos (Gst) durante 6 horas. Se realizó además el cálculo del coeficiente de Difusividad. Después de iniciar la deshidratación osmótica, los sólidos solubles del jarabe empiezan a disminuir pues estos empiezan a incorporarse a la fruta. La reducción de °Brix es más drástica durante la primera hora del proceso debido a la gran presión osmótica que se ejerce para equilibrar el sistema fruta: jarabe que se encuentra con una diferencia de concentración alta, los contenidos iniciales del jarabe fueron de 50°, 55° y 60° Brix y al cabo de 6 horas se reduce entre 7 y 12 °Brix notándose que en los tratamientos con 60° Brix de concentración hubo una mayor reducción y a una temperatura mayor de 55 °C. Dichas respuestas determinaron mayores valores al trabajar con los niveles más altos. A un nivel de

significación de  $\alpha=0,05$  se encontró que los dos factores influyen significativamente en el proceso, así y en forma general se establece que los dos factores se relacionan de manera directamente proporcional con los valores de pérdida de peso, pérdida de agua y ganancia de sólidos, notándose un predominio de la temperatura sobre la concentración de la solución osmótica. El mejor tratamiento determinado mediante la cinética de deshidratación osmótica fue el tratamiento a2b3 (60°Brix 55°C).

**Vega-Gálvez et al., (2006)** en su investigación titulado “**Deshidratación osmótica de la papaya chilena (*Vasconcellea pubescens*) e influencia de la temperatura y concentración de la solución sobre la cinética de transferencia de materia**” utilizó dos variables experimentales: la temperatura (30, 40, 50 °C) y concentración (40, 50 y 60%) de la solución osmótica. Se analizó el efecto de la temperatura sobre los parámetros cinéticos y difusividad efectiva de agua y sólidos solubles. Se observó la pérdida de agua y la ganancia de sólidos aumentan a medida que aumenta el tiempo de tratamiento, además se aprecia que a medida que aumenta la concentración de la solución, mayor es la variación de masa de agua, siendo la más alta a una concentración de 60%, para todas las temperaturas de trabajo. En general, para todas las temperaturas de trabajo se observa la marcada influencia de la concentración sobre la ganancia de sólidos solubles, debido a que mayor concentración de sacarosa, mayor es la ganancia de sólidos solubles, la concentración de la solución osmótica es más influyente que la temperatura en la cinética de pérdida de agua ( $K_w$ ) y de ganancia de sólidos solubles ( $K_{ss}$ ). La difusividad efectiva agua ( $D_{we}$ ) y de sólidos solubles ( $D_{sse}$ ) obtenidos para las diferentes temperaturas y concentraciones de trabajo, ambas difusividades, presentan una clara dependencia positiva con la concentración de la solución osmótica, los valores de  $D_{we}$  y  $D_{sse}$  aumentan significativamente a medida que aumenta la concentración. Sin embargo, la influencia de la temperatura sobre estos parámetros no es del todo clara. De acuerdo al diseño factorial, se observó que la temperatura no influyó sobre la difusividad efectiva de agua y ganancia de sólidos, pero sí la concentración de la solución osmótica. La mejor condición de salida de agua y ganancia de sólidos solubles durante la deshidratación osmótica de la papaya chilena fue a 30 °C con una concentración del 60 %.

## **2.5. OCA (*Oxalis tuberosa*)**

### **2.5.1. 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. Es una planta herbácea y anual que se cultiva en la puna de los andes centrales y meridionales y entre los 3.000 a 3.900 msnm. Es una planta adaptada al clima de los andes, produce tubérculos de agradable sabor y alto contenido calórico, siendo así uno de los alimentos preferidos del poblador andino, es un cultivo tradicional de la región andina como sustituto y complemento de la papa, aunque tarda más en alcanzar la madurez, y tiene en consecuencia un rendimiento menor, la oca es más resistente que la papa a las plagas, y garantiza por lo tanto una producción estable. (Failier, 1990)

**Taxonomía:** Según Ferreyra (2001) la oca tiene la siguiente clasificación taxonómica:

Clase: Dicotiledoneae

Orden: Geraniales

Familia: Oxalidaceae

Género: *Oxalis*

Especie: *Oxalis tuberosa* Molina

Nombre común: "Oca"

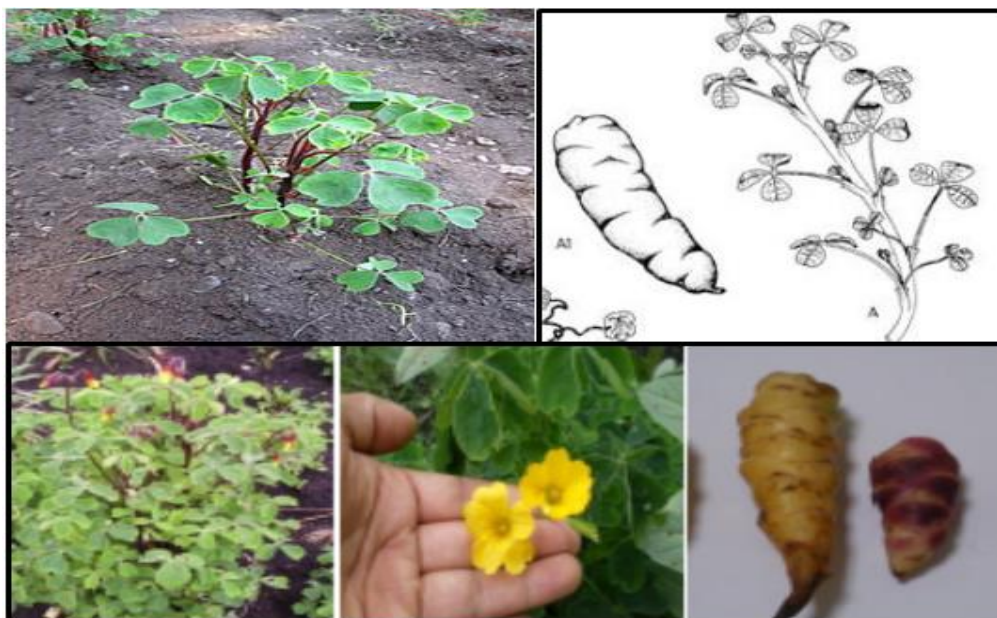
### **2.5.2. Descripción botánica**

#### **2.5.2.1. Morfología vegetativa**

Es una herbácea anual, crece entre 0.20 y 0.40 m. Los tallos son cilíndricos y suculentos. Su diámetro varía de 0.5 a 1.5 cm. Los tallos brotan de la base a la planta y le dan una forma cónica o semiesférica. Los entrenudos son más cortos y delgados en la parte inferior. En las plantas adultas es frecuente que los tallos se doblen hacia fuera. El color del tallo varía, según el clon, de verde a granate oscuro. Las hojas son alternas, trifoliadas con pecíolos acanalados de 2 a 9 cm de longitud. Los folíolos son obcordiformes de 1 a 4 cm de largo, tienen la cara superior lisa y de color verde oscuro, la cara inferior es densamente pubescente de color púrpura o verde (Robles, 2014)

### 2.5.2.2. Los tubérculos

Alcanzan longitudes de 5 a 15 cm de forma variada: cilíndrica a ovoides, y de color llamativo: blanco, morados a casi negro, rosados o amarillos, a menudo con áreas enteras de distinto color, uniformes o punteado. Las yemas tienen tamaño y profundidad diferentes, según el clon y a menudo son de distinto color



**Figura 1:** Morfología vegetativa, floral y tubérculo.

### 2.5.3. Variedades de la oca

Existen al menos 50 variedades. Las mayores colecciones de germoplasma de oca se encuentran en Perú, en Cusco, donde se registran 400 accesos, también en Puno y Huancayo; y en Ecuador en Quito.

Las variedades de oca más comunes en nuestro país son las siguientes:

- Zapallo oca, de tubérculos amarillos.
- Chachapea oca, de tubérculos grises y dulces.
- Paucar oca, de tubérculos rojos y dulces.
- Mestiza oca, de tubérculos blancos.
- Nigro oca, de tubérculos negruzcos.
- Luncho oca, de tubérculos blancos y amargos, usados en la preparación de chuño.
- Huari chuchu, de tubérculos rojos muy alargados.
- Khella sunti, de tubérculos blanquecinos muy desteñidos.
- Chair achacana, de tubérculos amarillos con listones negros.



- Lluchu gorra, de tubérculos rosados que al cocinarse desprenden su hollejo.
  - Kheni harinosa, de tubérculos amarillos muy intenso, casi anaranjados.
  - Uma huaculla, de tubérculos rojos con yemas negras y gran tamaño.
- (Barrera *et al.*, 2004).

## **2.5.4. Condiciones agroecológicas para el cultivo**

### **2.5.4.1. Suelos y Altitud.**

El límite de altitud con mayor concentración de parcelas y mayor producción de oca, se encuentra en la franja comprendida entre los 3 000 y 3 800 metros sobre el nivel del mar. En general, la oca se desarrolla bien en suelos francos, profundos y con un buen contenido de materia orgánica, para obtener mejores rendimientos. Se ha reportado que la tolerancia de acidez del cultivo de la oca, varía de 5.3 a 7.8 de pH. (Ferreira, 1986).}

### **2.5.4.2. Temperatura.**

La oca es resistente a bajas temperaturas y prospera en climas fríos moderados, las heladas destruyen su follaje. Temperaturas por encima de los 28° C destruyen la planta. (Ferreira, 1986).

### **2.5.4.3. Luminosidad.**

La oca, como la mayor parte de los tubérculos andinos requiere de períodos diurnos menores de 12 horas para iniciar la formación del tubérculo. En la mayoría de los casos los días más largos producen solamente el desarrollo del follaje. (Ferreira, 1986)

### **2.5.4.4. Precipitación.**

En los Andes, el cultivo de la oca crece en lugares donde las lluvias varían de 570 a 2150 mm. Distribuidas uniformemente a través de las etapas de crecimiento. (Ferreira, 1986).

### **2.5.4.5. Vientos**

Estos cultivos responden altamente a las labores agrícolas en términos de fertilización, aporcado, escarda y sobre todo al control de plagas y enfermedades, incrementándose su producción hasta niveles de 40-50 t/ha, comparables a los más elevados rendimientos de papa. (Ferreira, 1986).

## **2.5.5. Usos del tubérculo**

### **2.5.5.1. Comidas tradicionales**

Al fresco, recién cosechada, se utiliza para sopas, cortada como las papas y, al decir de algunas personas, tiene un gusto mejor que el de la papa. El proceso de asoleo de la oca no tiene un número de días determinado; recién cosechada, presenta un color claro que va poniéndose amarilla tras cada día de sol. Las ocas se pueden asolear de dos modos: directamente extendidas sobre el suelo al sol o colgadas sobre una soga, amarradas entre dos de ellas. En ocasiones, se escogen las ocas pequeñas para locro (y comidas de sal) y las grandes para endulzar. Ya endulzadas por el asoleo, las ocas se comen preferentemente con dulce (miel de panela) o en coladas. La colada de oca tiene un gusto y un color muy semejantes a los del zapallo. (Failier, 1990)

### **2.5.5.2. Harina de oca**

Se puede producir 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. (Failier, 1990)

### **2.5.5.3. Medicinal**

- Las hojas frescas o secas, hervidas en agua, se aplican sobre los flemones, tumores y abscesos para su maduración. También se usa en baños o fomentos como desinfectantes y para aliviar las molestias que producen la picadura de insectos.
- La infusión de las hojas y los tallos como bebida, es de gran ayuda para combatir la cistitis y la uretritis ó inflamación de la Uretra.
- Para aliviar las molestias causadas por la Gastritis, se recomienda beber en ayunas una cucharada del zumo de los tallos y tubérculos de la planta.
- Contra el dolor de garganta, así como para acelerar la maduración de los abscesos, da buenos resultados el aplicar como emplastos los lugares afectados con la pasta que se prepara con harina de Quinoa y tubérculos de Oca molidos
- Los tubérculos frescos, molidos y mezclados con vaselina se aplican sobre el acné. (Failier, 1990)

### 2.5.6. Composición química

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.

**Tabla 1:** Composición química de la oca

Parámetro	Unidad
Humedad	83 %
Cenizas	3,39 %
Proteína	9 %
Fibra	2,16 %
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.*, 2004.

### **2.5.7. 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. (Barrera *et al.*, 2004)

### **2.5.8. Escaldado**

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.

El 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 pre tratamiento que normalmente se aplica entre la preparación y su subsecuente procesado. (Fernandez, 2008).

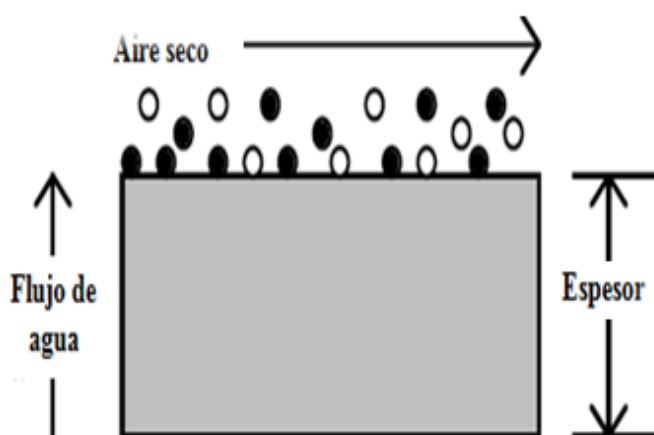
#### **2.5.8.1. Ventajas de la utilización del escaldado**

- Elimina los gases de los tejidos vegetales, en especial el gas intracelular, para incrementar la densidad y evitar la oxidación del producto.
- 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.
- 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. (Fernandez, 2008).

## 2.6. Coeficiente de difusión

Para determinar la difusividad efectiva de forma simplificada se puede utilizar la Ecuación 08. Esta ecuación corresponde a la solución de la ecuación de Fick para una lámina plana sometida a unas condiciones en las que el contenido de humedad de la superficie se encuentra en equilibrio con las condiciones del aire y la transferencia de masa externa desde la superficie es elevada comparado con la transferencia de agua en el interior del producto.

La Segunda Ley de Fick, considerando una distribución de humedad uniforme al inicio y que la resistencia externa a la transferencia de masa es omitible (Alvarado, 1996).



**Figura 2.** Difusión de agua en el secado

## 2.7. Osmosis

La ósmosis es el flujo neto de agua a través de una membrana semipermeable inducida por una diferencia de concentraciones de soluto. El proceso osmótico es un tipo de difusión pasiva caracterizada por la inmersión del alimento en donde se basa en el paso parcial de agua removida a través de la membrana semipermeable desde la solución más diluida (hipotónica) a la más concentrada que rodea la membrana (hipertónica - jarabe concentrado de sólidos solubles), la difusión continuará hasta que las dos soluciones tengan la misma concentración (Apaza, 2007).

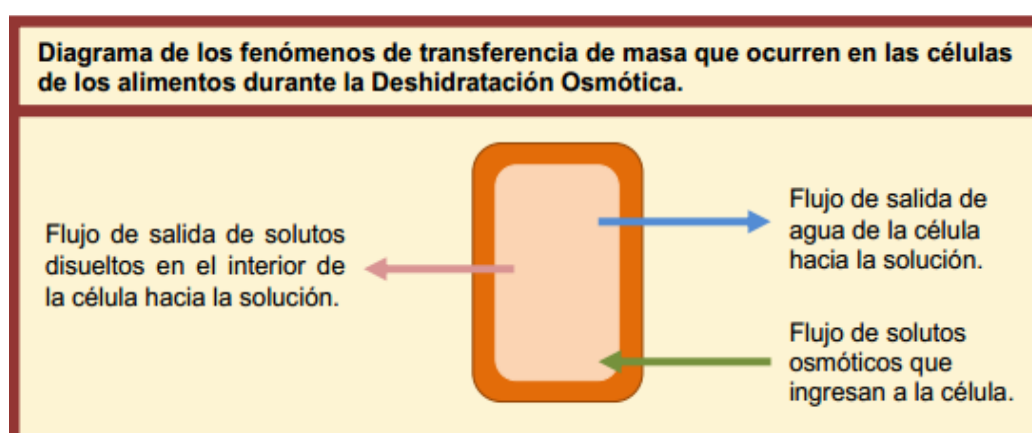
## 2.8. Deshidratación Osmótica (DO)

La reducción del contenido de agua de alimentos es uno de los métodos comúnmente empleados para su preservación. Las tecnologías más utilizadas están basadas en la evaporación del agua, la deshidratación osmótica ha cobrado gran interés debido a las bajas temperaturas de operación usadas (20-50) °C, lo

cual evita el daño de productos termolábiles, además de reducir los costos de energía para el proceso. La deshidratación osmótica consiste en sumergir los alimentos en soluciones hipertónicas con el objetivo de producir dos efectos principales: flujo de agua desde el producto hacia la solución hipertónica y flujo de solutos hacia el interior del alimento. En algunos casos se puede presentar la salida de solutos como son los ácidos orgánicos. Este fenómeno, aunque es poco importante por el bajo flujo de sólidos perdidos. (Genina *et al.*, 2002).

Se han identificado dos etapas en el proceso de la deshidratación osmótica. En la primera etapa denominada deshidratación, la pérdida de agua es mayor que la ganancia de sólidos y en una segunda etapa, llamada impregnación, se obtiene una ganancia de sólidos mayor a la pérdida de agua. En esta segunda etapa, la masa total del sólido aumenta con el tiempo. (Colina, 2010).

La deshidratación osmótica es una técnica que permite eliminar parcialmente el agua de los tejidos de los alimentos por inmersión en una solución hipertónica, sin dañar el alimento y afectar desfavorablemente su calidad, por lo general, la deshidratación osmótica no disminuye la actividad acuosa del alimento de manera tal de estabilizarlo totalmente, sino que sólo extiende su vida útil. Por ello la necesidad de aplicar otros procesos posteriores como secado, congelado o liofilizado, entre otros posibles. La pérdida de agua puede ser aproximadamente del 50-60% de su contenido inicial, existiendo entonces la posibilidad de producir significativas modificaciones en el volumen, forma y estructura del alimento. Así como también variaciones apreciables en los valores de los coeficientes de difusión y de transferencia de masa, etc., durante el transcurso del proceso. (Rastogi *et al.*, 2002).



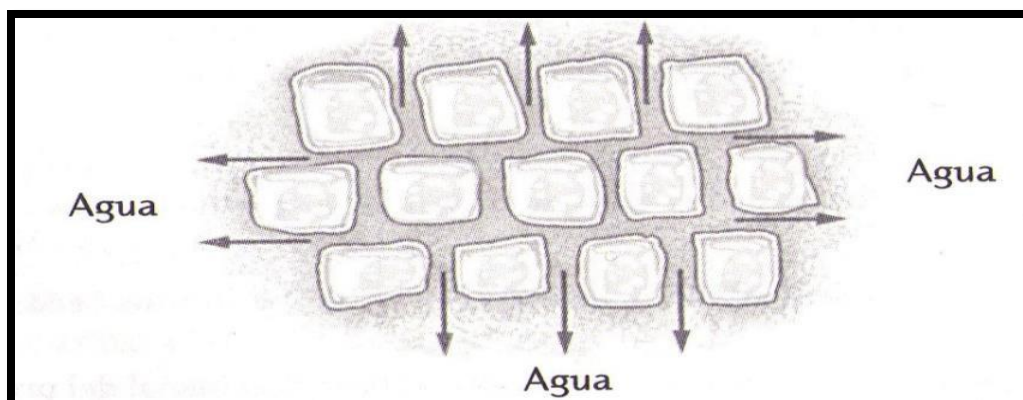
**Figura 3.** Diagrama de transferencia de masa.

Fuente: Sharma *et al.*, 2003.

## 2.9. Etapas de la deshidratación osmótica

### 2.9.1. Primera etapa de la deshidratación osmótica.

Como indica la Figura 4 en la primera etapa de la deshidratación se observa el alimento en estado fresco e intacto estructuralmente en donde el agua comienza a ser eliminada por capilaridad en el transcurso del proceso osmótico (Colina, 2010).

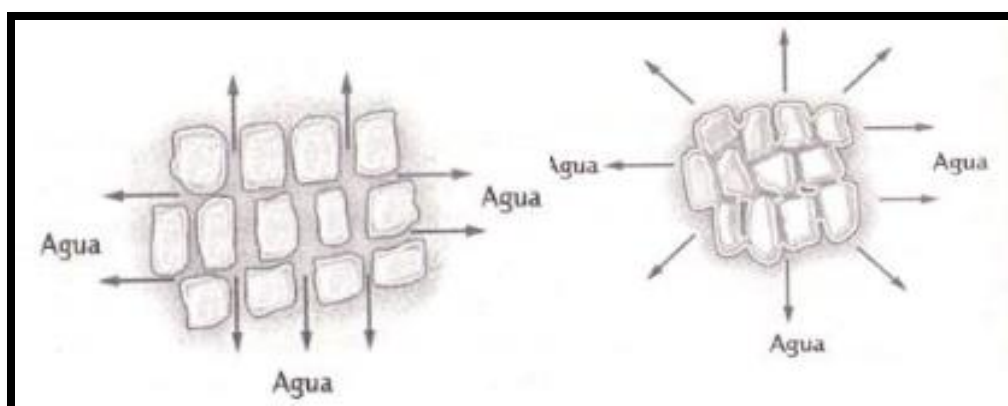


**Figura 4.** Primera etapa de la deshidratación

Fuente: Colina, 2010.

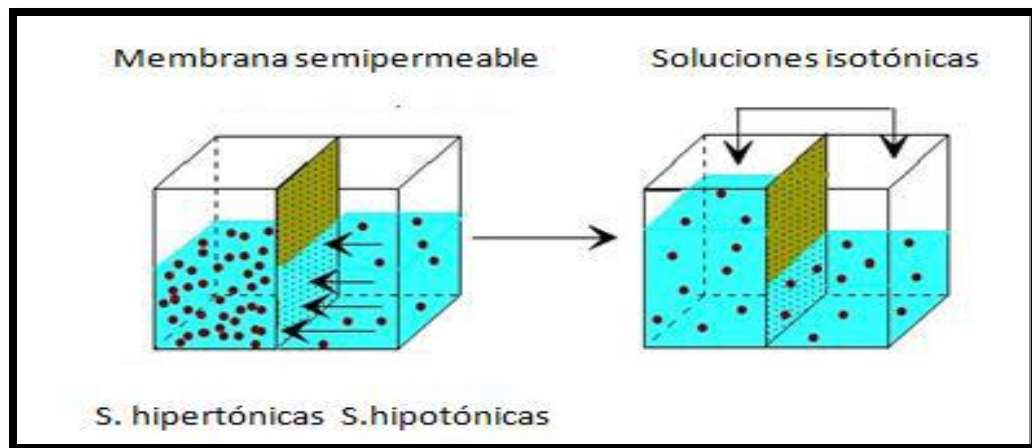
### 2.9.2. Últimas etapas de la deshidratación osmótica

Como demuestra la Figura 5 el agua interna del alimento se va eliminando, en donde sus células se observan ligeramente compactadas y distribuidas hacia el exterior en un proceso de capilaridad. Mientras que si la velocidad de eliminación de agua incrementa de forma abrupta se presenta un proceso de difusión de agua activa y acelerada en donde finalmente las células se observan deformadas y colapsadas por la influencia de la tensión superficial (Colina, 2010).



**Figura 5.** Última etapa de la deshidratación osmótica

Fuente: Colina, 2010



**Figura 6.** Permeabilidad membranas

Fuente: Hernández, 2007

### 2.10. Difusión de agua

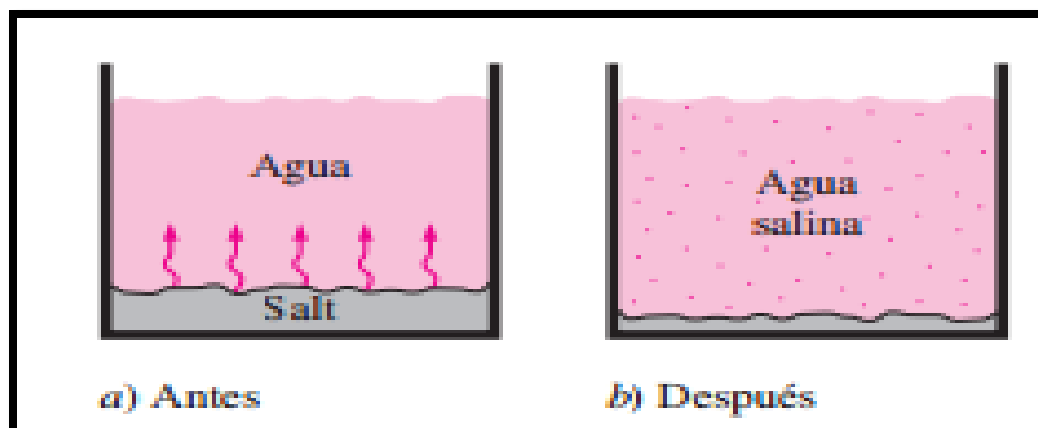
La difusión de agua es un proceso basado en el método isotérmico de deshidratación osmótica de forma pasiva que permite una mayor concentración de solutos y menor contenido de agua en el alimento según la estructura de la membrana celular del alimento en donde se basa en la composición, características y morfología del producto. (Colina, 2010).

### 2.11. Transferencia de masa en la deshidratación osmótica

Es común observar que siempre que existe una falta de equilibrio de un producto en un medio, la naturaleza tiende a redistribuirlo hasta que se establece un “equilibrio” o “igualdad”. Con frecuencia, a esta tendencia se le menciona como la fuerza impulsora, mecanismo que se encuentra detrás de muchos fenómenos de transporte que ocurren en forma natural. Si se define la cantidad de un producto por unidad de volumen como la concentración del mismo, puede decirse que el flujo de un producto siempre se presenta en la dirección de la concentración decreciente; es decir, desde la región de alta concentración hacia la de baja concentración (figura7). El producto sencillamente se escurre en el curso de la redistribución y, de este modo, el flujo es un proceso de difusión. (Holman, 1999).



Siempre que existe diferencia de concentración de una cantidad física en un medio, la naturaleza tiende a igualar las cosas al forzar un flujo desde la región de alta concentración hacia la de baja.



**Figura 7.** Transferencia de masa

Fuente: Holman, 1999.

### 2.12. Cinética de deshidratación osmótica.

La cinética de deshidratación osmótica permite determinar la variación de peso, ganancia de sólidos solubles y pérdida de agua en función del tiempo (Hidalgo *et al.*, 2009). La pérdida de agua produce un encogimiento del producto. Si el encogimiento es más lento se genera una mayor absorción de sólidos, lo cual no es deseable. Si este es más rápido se produce una mejor deshidratación osmótica del producto (Cornejo *et al.*, 2000)

### 2.13. Factores que afectan el proceso de deshidratación osmótica

La transferencia de masa durante la deshidratación osmótica ocurre a través de las membranas y paredes celulares. El estado de las membranas celulares puede variar de parcialmente a totalmente permeable. Este fenómeno puede llevar a cambios significativos en la arquitectura de los tejidos. Durante la remoción osmótica de agua de los alimentos, el frente de deshidratación se mueve desde la superficie que está en contacto con la solución hacia el centro. El esfuerzo osmótico asociado puede resultar en la desintegración celular. La causa más probable del daño celular puede atribuirse a la reducción de tamaño causada por la pérdida de agua durante la deshidratación osmótica, resultando en la pérdida de contacto entre la membrana celular externa y la pared celular (Rastogi *et al.*, 2002). El transporte de masa en la deshidratación osmótica depende de varios factores:

### **2.13.1. Tipo de agente osmótico**

Los más comúnmente usados son la sacarosa para frutas y el cloruro de sodio para vegetales, pescados y carnes; si bien también distintas mezclas de solutos han sido probados, otros agentes osmóticos pueden ser: glucosa, fructosa, dextrosa, lactosa, maltosa, polisacáridos, maltodextrina, jarabes de almidón de maíz y sus mezclas. La elección dependerá de varios factores tales como costo del soluto, compatibilidades organolépticas con el producto terminado y preservación adicional otorgada por el soluto al producto final y de la influencia del soluto sobre las características organolépticas del producto tratado (Rahman y Perera, 1996).

Las propiedades de la solución deshidratante afectan fuertemente la eficiencia de la deshidratación osmótica, de hecho, un factor importante a tener en cuenta al momento de elegir el agente osmótico es su influencia sobre la relación pérdida de agua/ganancia de sólidos y, en consecuencia, su tendencia a promover o reducir la impregnación (Sacchetti et al., 2001).

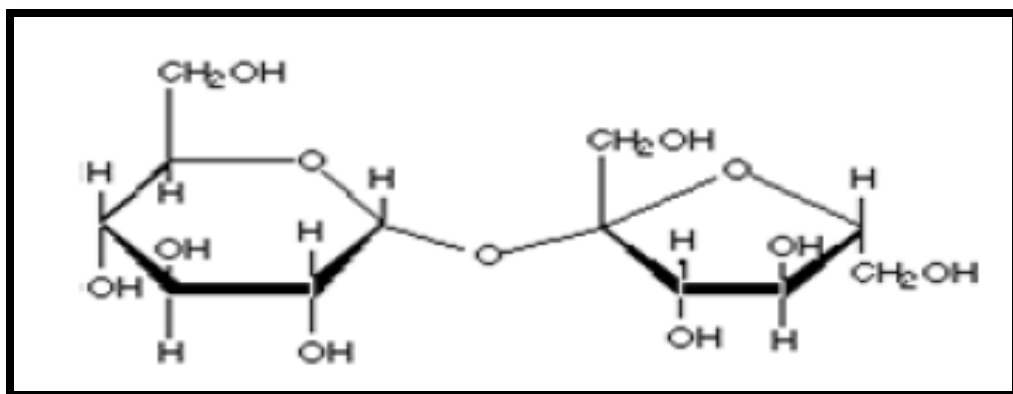
En líneas generales, la solución osmótica debe tener una actividad acuosa baja, sabor aceptable y compatible con el alimento deshidratado y con la dieta humana. Habitualmente se usan soluciones de azúcares (sacarosa, glucosa, fructosa, jarabe de maíz, sorbitol) para el procesamiento de frutas y soluciones de sales (NaCl, CaCl<sub>2</sub>) para vegetales, carne y pescado. Además, la selección de un agente osmótico particular depende de su costo, su peso molecular y las características del producto a deshidratar (Osorio et al., 2007).

#### **2.13.1.1. Sacarosa**

Es el edulcorante natural por excelencia, este disacárido representa el 60-80% de los edulcorantes y el 30% de los carbohidratos de la dieta humana. Es muy utilizada industrialmente por sus propiedades físicas de caramelización, higroscopicidad relativamente baja y su estabilidad en muchos procesos alimenticios. También es un preservador efectivo contra mohos como resultado de la presión osmótica en soluciones de alta concentración. El dulzor que proporciona a los alimentos es considerado un índice de referencia para el aportado por otros edulcorantes, ya que no desarrolla sabor residual. El peso molecular de la sacarosa es 342 g/mol.

La sacarosa (azúcar común de mesa), soluble en agua la cual se obtiene de la caña de azúcar o remolacha; consta de una  $\alpha$ -glucosa y una  $\beta$ -fructosa, unidas mediante un enlace glicosídico entre sus dos carbonos anoméricos.

(Macarulla, 2007). Conocido como el endulzante mayormente utilizado a nivel alimenticio para diversas aplicaciones a nivel industrial y doméstico (Madrid, 2007). 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. (Barat, Grau y Maupoey, 1998). Se usan soluciones azucaradas con concentraciones iniciales en el rango 40 – 70 %, a mayores concentraciones de soluto más azúcar ingresa en el alimento. (Brennan, 2008).



**Figura 8.** Estructura de sacarosa

Fuente: Madrid, 2007

#### 2.13.1.2. Fructosa

La fructosa, o levulosa, es una forma de azúcar encontrada en las frutas y en la miel. Es un monosacárido con la misma fórmula empírica que la glucosa pero con diferente estructura. Es una cetohehexosa (6 átomos de carbono) (Figura 1). Su poder energético es de 4 kilocalorías por cada gramo. Su fórmula química es C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>6</sub> (Forristal, 2001).

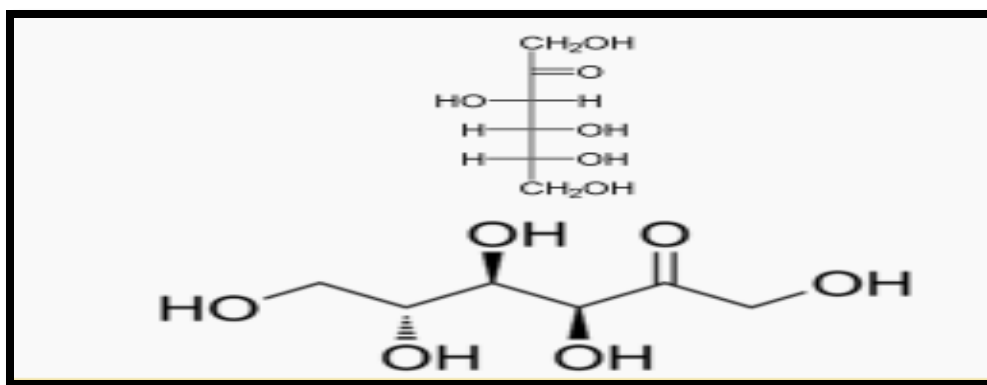
Todas las frutas naturales tienen cierta cantidad de fructosa (a menudo con glucosa), que puede ser extraída y concentrada para hacer un azúcar alternativo (Forristal, 2001).

Se utiliza como edulcorante para los diabéticos ya que tomado en dosis moderadas no precisa insulina para ser metabolizado. A diferencia del azúcar refinado que se absorbe instantáneamente produciendo una subida y una

bajada rápida de energía, la fructosa, es metabolizada y guardada, en parte, por el hígado en forma de glucógeno como reserva para cuando necesitemos hacer un esfuerzo (Arnau, 2007).

La fructosa produce escasos efectos en el nivel de glucosa en la sangre y no estimula la secreción de insulina es ideal en dietas que necesiten tener lo más equilibrado posible los niveles de insulina como diabéticos, deportistas y sobre todo personas que quieren adelgazar (Arnau, 2007).

En exceso, favorece el aumento de los triglicéridos plasmático, hecho que se ha de contemplar en caso de *hipertrigliceridemia* (Arnau, 2007).

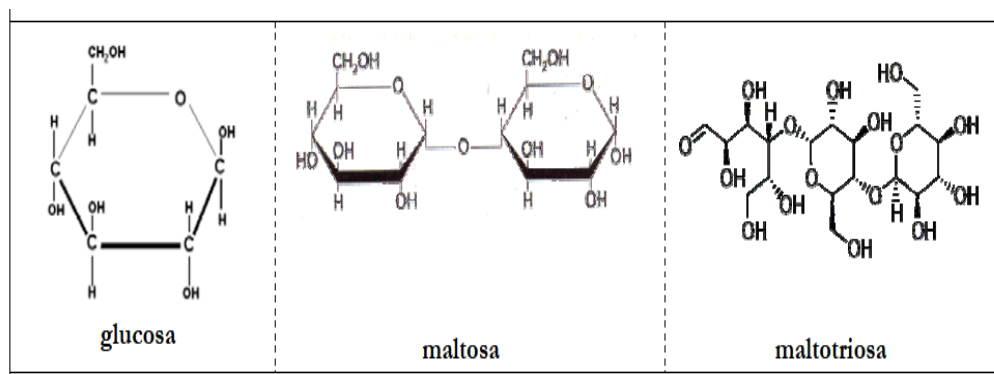


**Figura 9.** Estructura de fructosa

Fuente: Arnau, 2007

### 2.13.1.3. Jarabe de maíz de alto peso molecular

Está compuesto por glucosa (16%), maltosa (12%), maltotriosa (10%) y azúcares de alto peso molecular (62%). Es decir que todos sus azúcares tienen un peso molecular superior al del xilitol y todos, salvo la glucosa, tienen un peso molecular mayor al de la sacarosa. Debido a esta distribución de tamaños moleculares, su comportamiento durante la deshidratación osmótica es diferente de otros solutos. Diversos autores han estudiado el comportamiento de los jarabes de maíz como agentes osmóticos y dieron cuenta de la presión osmótica que promueven estos jarabes son de amplio uso en la fabricación industrial de caramelos, dulce de leche y golosinas en general. (Lerici et al., 1985).



**Figura 10.** Estructura de maltodextrina

Fuente: Leric et al., 1985

**Tabla 2:** Ventajas de agentes osmóticos.

Nombre	Usos	Ventajas
Cloruro de sodio	para carnes y vegetales	alta disminución de la actividad del agua
Sacarosa	principalmente frutas	aumentar la retención de sustancias volátiles
Lactosa	principalmente verduras	sustitución parcial de sacarosa
Glicerol	frutas y vegetales	mejora la textura

Fuente. (Hidalgo, 2009).

### 2.13.2. Concentración del soluto

Existen diferentes agentes osmóticos los más comúnmente usados son la sacarosa para frutas y el cloruro de sodio para vegetales, pescados y carnes; si bien también mezclas de solutos han sido probadas. También se pueden utilizar: glucosa, fructosa, dextrosa, maltodextrina, jarabes de almidón de maíz y sus combinaciones. El aumento de la concentración de la solución incrementa la pérdida de agua del producto y la velocidad de secado ya que la actividad de agua de la solución decrece con un aumento en la concentración de solutos este no implica un aumento en la impregnación de sólidos al producto. Con el incremento en la concentración de la solución se forma una capa de soluto sobre la superficie del producto que actúa como barrera reduciendo la pérdida de nutrientes y, a muy altas concentraciones, pueden dificultar también la pérdida de agua. (Cornejo *et al.*, 2000).

### **2.13.3. Tiempo de inmersión**

El tiempo es un factor de enorme relevancia, debido a que los cambios más importantes del fenómeno de deshidratación ocurren durante las dos primeras horas del proceso, la mayor ganancia de sólidos durante los primeros 60 minutos y la condición de equilibrio se alcanza a tiempos prolongados. Las temperaturas altas y concentraciones altas del agente osmótico disminuyen el tiempo de permanencia del producto en el jarabe hasta que la deshidratación osmótica llegue a su etapa final; sin embargo los menores tiempos de proceso no son los más adecuados. La elección del tiempo de proceso adecuado dependerá de las necesidades del producto final (Cornejo *et al.*, 2000).

### **2.13.4. Temperatura de la solución osmótica**

La temperatura del proceso es uno de los parámetros más importantes en la cinética de pérdida de agua y la ganancia de solutos. La ganancia de solutos es menos afectada que la pérdida de agua por la temperatura ya que a altas temperaturas el soluto no puede difundir tan fácilmente como el agua a través de la membrana celular de los tejidos del producto. (Moy 1978)

Las temperaturas cercanas a 60 ° C pueden inducir una ligera degradación de los tejidos, lo cual favorece la incorporación de solutos al tejido y que la influencia de la temperatura en la ganancia de solutos ha sido demostrada y bien documentada por varios autores; aunque esta influencia varía de acuerdo a la naturaleza del producto tratado y de las características del tratamiento aplicado, sin embargo, la aplicación de temperaturas por encima de 60 ° C puede provocar cambios perjudiciales contra la integridad del tejido alimentario, además de causar pardeamiento interno y ocasionar pérdida de compuestos termolábiles (como vitaminas, compuestos aromáticos, entre otros). Las temperaturas más usadas en osmodeshidratación son de 25 ° C, 30 ° C, 40 ° C y 60 ° C. (Suca, 2007).

La fuerza impulsora para la transferencia de calor es la diferencia de temperatura. Como contraste, la fuerza impulsora para la transferencia de masa es la diferencia de concentración. Puede verse la temperatura como una medida de la "concentración de calor" y, de este modo, una región a alta temperatura es aquella que tiene una alta concentración de calor, por lo tanto, tanto el calor como la masa se transfieren de las regiones más concentradas hacia las menos concentradas. Si no hay diferencia de temperatura entre dos regiones, entonces

no existe transferencia de calor. De modo semejante, si no existe diferencia entre las concentraciones de una especie en regiones diferentes de un medio, no habrá transferencia de masa. (Holman, 1999).

#### **2.13.5. Relación solución: alimento**

La relación solución osmótica: alimento expresa la cantidad de solución requerida por unidad de peso del alimento a procesar cuando se sumerge el alimento en la solución, éste va perdiendo agua de manera progresiva y a una velocidad directamente proporcional al nivel de concentración de la solución. El agua, por tanto, diluye la solución osmótica a la misma velocidad con que fluye desde el alimento. Esto provoca un descenso muy pronunciado de la fuerza osmótica (Suca, 2007).

#### **2.13.6. pH de la solución**

La acidez de la solución aumenta la pérdida de agua debido a que se producen cambios en las propiedades tisulares y consecuentemente cambios en la textura de las frutas y vegetales que facilitan la eliminación de agua (Suca, 2007).

#### **2.13.7. Propiedades del soluto empleado**

El proceso osmótico también depende de las propiedades físicoquímicas de los solutos empleados: pesos moleculares, estado iónico y solubilidad del soluto en el agua. Esta última es muy importante pues define la máxima concentración del soluto que puede emplearse en la solución (Mafart, 1991). Cuando se utilizan soluciones con solutos de mayor peso molecular, la pérdida de agua se incrementa y la ganancia de solutos resulta despreciable respecto de cuando se usa un soluto de menor peso molecular. Por consiguiente en el proceso osmótico, la pérdida de agua se favorece con el empleo de solutos de peso molecular alto y la impregnación es superior con solutos de bajo peso molecular. La combinación de dos o más solutos en la solución puede hacer más eficiente la deshidratación al proporcionar cada uno de ellos la ventaja que los caracteriza. (Grabowski et al., 2007). Cuando se usan dos solutos como sacarosa y sal se forma una barrera de sacarosa en la superficie que evita la penetración de la sal, cuya presencia en la solución mantiene una baja actividad de agua y en consecuencia produce una continua pérdida de agua y una ganancia de solutos baja. Esta combinación resulta ser más eficiente que si se usa la sal o la sacarosa

solas; de esta manera la deshidratación es mayor y la penetración de solutos es menor (Baroni y Hubinger, 2000)

#### **2.13.8. Agitación de la solución osmótica**

La agitación periódica al sistema también produce un importante aumento en la velocidad de deshidratación. A medida que avanza el tiempo de contacto del producto con el jarabe, ésta se va rodeando de su propia agua, la cual se va difundiendo lentamente por el jarabe concentrado. Al estar rodeada de agua el producto, la diferencia de concentraciones entre el jarabe y la pared celular se hace menor, con lo que también se disminuye la velocidad de salida de agua. Si el sistema es agitado, el agua que ha salido es retirada del contacto y vecindario de la pared y es reemplazada por jarabe concentrado que permite el nuevo establecimiento de una alta diferencia de concentración entre el interior del producto y el jarabe. Esto permite entonces el aumento de la velocidad de deshidratación (Maestelli, 1997)

#### **2.13.9. Geometría y tamaño del producto**

El tamaño influye en la velocidad de deshidratación y en la absorción de solutos puesto que la superficie por unidad de volumen se modifica para los diferentes tamaños. En el caso de cubos o esferas al aumentar el lado o el radio, respectivamente, la superficie por unidad de volumen disminuye y entonces, la pérdida de agua resulta inferior para tamaños superiores. Lerici, *et al.*,(1985) encontraron que al aumentar la superficie por unidad de volumen, la pérdida de agua aumenta hasta un máximo y luego decrece para los diferentes tamaños mientras que los sólidos ganados aumentan. La disminución en la pérdida de agua se atribuye a la formación de una capa superficial de solutos sobre el producto que impide la difusión de agua hacia la solución, en el caso de soluciones muy concentradas de soluto.

#### **2.14. Ventajas de la deshidratación osmótica**

- Es eficiente desde el punto de vista energético ya que se lleva a cabo generalmente en condiciones cercanas a la temperatura ambiente sin que el agua cambie de fase. (Rahman y Perera, 1996).
- Mejora de la calidad en términos de color, sabor, aroma y textura. Los mecanismos por los cuales se retiene el aroma y el sabor, se conserva el color y se mejoran las propiedades texturales en el alimento se desconocen.



El fenómeno de retención de aroma podría atribuirse a la adsorción de sustancias volátiles sobre la matriz del alimento, a las interacciones físico químicas entre las sustancias volátiles y otras sustancias que se hallan en el interior del alimento y/o al encapsulamiento microregional en el que los compuestos volátiles se inmovilizan en “jaulas” formadas por la asociación con sólidos disueltos (Flink y Karel, 1970).

- Es un proceso tecnológicamente sencillo.
- Se puede trabajar con pequeños volúmenes de producto.
- Produce un daño mínimo en la estructura del alimento deshidratado ya que no debe someterse a altas temperaturas.
- Por lo general, no se requiere tratamiento químico previo para evitar el pardeamiento del producto, pues al estar sumergido en la solución se minimiza el contacto con el oxígeno y de esta manera, se retarda el proceso oxidativos. Otro de los efectos del azúcar es la prevención de la pérdida de sabores y aromas volátiles al formar una capa superficial recubriendo el alimento que impide la salida de estos compuestos volátiles.
- Estabilidad del producto durante el almacenamiento, el producto obtenido de la deshidratación osmótica es más estable que el producto no tratado durante su almacenamiento, debido a la menor actividad acuosa consecuencia de los solutos ganados y la pérdida de agua. A menores actividades de agua, se reducen las reacciones químicas deteriorativas y el crecimiento de microorganismos y su producción de toxinas. (Sharma et al., 2003).

#### **2.15. Desventaja de la deshidratación osmótica**

- No se puede aplicar en todos los alimentos, sólo en aquellos que presentan estructura sólida.
- Cuando el alimento se sumerge en una solución concentrada, puede aparecer un pequeño residuo de la misma solución al finalizar el proceso; esto puede minimizarse si se escurre el alimento.
- Al haber una inmersión del alimento en el jarabe, se ocasiona flotación, pues algunas muestras del alimento serán menos densos. El jarabe no circulará completamente sobre los trozos y superficies y se obtendrá una ósmosis parcial. Puede solucionarse colocando un contra peso de manera que el alimento siempre esté en contacto con la solución concentrada.

### **2.16. Alimentos mínimamente procesados**

Los avances científicos han permitido encontrar nuevas técnicas de conservación donde se aplican diversos factores como la temperatura, aw, pH o la adición de conservadores; estos promueven la preservación de los alimentos; sin embargo al emplear alguno de ellos de manera individual y en proporciones elevadas alteran considerablemente en la calidad del alimento al perder algunas de sus propiedades nutrimentales y organolépticas. En los últimos años los consumidores demandan alimentos de alta calidad, poco procesados y lo más parecidos a un producto fresco, para ello surgen los denominados alimentos mínimamente procesados, son aquellos a los que se aplican tratamientos ligeros, tratamientos no térmicos y factores de conservación convencionales en forma inteligente y combinada: los cuales en dosis bajas representan obstáculos para el crecimiento microbiano y las reacciones deteriorativas. Los hábitos de alimentación del hombre han cambiado con el tiempo (Welti y Bermudez, 2007). Los alimentos mínimamente procesados además de satisfacer los gustos del consumidor permiten alargar la vida útil también presentan un valor añadido, al mantener sus nutrientes al máximo y una alta calidad sensorial (Herrero y Romero, 2006).

### III. MATERIALES Y METODOLOGIA

#### 3.1. MATERIALES

##### 3.1.1. Lugar de ejecución

El trabajo de investigación se desarrolló, en el laboratorio de Química de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional José María Arguedas. (UNAJMA), ubicada en el barrio de Santa Rosa del distrito de Talavera, provincia de Andahuaylas del departamento de Apurímac.

##### 3.1.2. Material de estudio

Para la investigación se recolecto los tubérculos de oca (*Oxalis tuberosa*), la cantidad de 3 kilogramos (La cantidad de la oca se tomó como referencia de Della Macheroni, 2011), este se consiguió entre los meses de febrero y marzo meses en los cuales se encuentran ya maduros y en el mercado para su comercio. Estos tubérculos se consiguieron del distrito de Turpo provincia de Andahuaylas, departamento de Apurímac. Posteriormente se utilizó para la investigación.

##### 3.1.3. Universo y/o población

El universo de estudio son las Ocas (*Oxalis tuberosa*) que se producen en el distrito de Turpo, con una maduración fisiológica adecuada que comprende entre 5 a 6 meses.

##### 3.1.4. Muestra

Para obtener la muestra se realizó un muestreo estratificado al azar, esto consistió en recolectar las ocas con las siguientes características: las ocas (*Oxalis tuberosa*) de la variedad blanca, sin magulladuras, de buen tamaño, homogéneo y sanos, una vez obtenido los tubérculos con estas características se tomaron al azar una cantidad de 3 kg.

El muestreo estratificado es un diseño de muestreo probabilístico en el que dividimos a la población en subgrupos o estratos. La estratificación puede basarse en una amplia variedad de atributos o características de la población. Implica primero agrupar la población en segmentos homogéneos y luego hacer el muestreo de datos de cada segmento o estrato (Severo, 2010)

**Tabla 3:** Equipos, materiales e insumos

EQUIPOS		DESCRIPCIÓN	MARCA
01	Estufa eléctrica		MEMMERT/INB 400
01	Cocina		
01	Balanza digital	precisión de capacidad 100 g. Sensibilidad 0.01 g.	ABS200-4.
01	Balanza analítica	de 1/1000 g de graduación de 200 g de capacidad,	
01	Refractómetro	Capacidad de 60 °brix	
<b>MATERIALES</b>			
02	Vasos precipitados	Capacidad de 600 ml, material de vidrio	FORTUNA
12	Vasos precipitados	Capacidad de 100 ml, material de vidrio	FORTUNA
12	Placas Petri	Material de vidrio	FORTUNA
01	Probetas	Capacidad de 100 ml, material de vidrio	FORTUNA
01	Termómetro digital		
02	Vaguetas	Material de vidrio	S/M
01	pH – metro.		S/M
01	Pizeta	Material de plástico	S/M
01	Olla	Material de acero inoxidable	S/M
01	Mesa	Material mayólica	S/M
02	Tinas	Material de plástico	BASA
01	Jarra	Capacidad de 2 litros, material de plástico	BASA
01	Cucharon	Material de madera	S/M
01	Tabla de picar	Material de madera	S/M
01	Colador	Tamaño medianos, material de acero inoxidable	S/M
02	Cuchillos	Material de acero inoxidable	S/M
<b>INSUMOS</b>			<b>Marca</b>
1kg	Sacarosa (azúcar)	Azúcar blanca	Casa grande

## 3.2. METODOLOGÍA

### 3.2.1. Acondicionamiento de las muestras

Se cortaron con un cuchillo de acero inoxidable cubos de oca de 1 cm de arista, las cuales fueron llevadas inmediatamente a un envase que contenga agua, a fin de evitar el pardeamiento enzimático. Luego se enjuagaron con abundante agua, aplicando un suave masaje por 2 min a fin de eliminar el almidón superficial, y evitar la precipitación de esta en la sacarosa.

### 3.2.2. Preparación de las soluciones

Se prepararon soluciones de sacarosa de 40 y 50 °Brix, se utilizó 80 g de azúcar y 120 ml de agua destilada para una concentración de 40 °Brix y 100 g de azúcar y 120 ml de agua destilada para una concentración de 50 °Brix.

### 3.2.3. Proceso de deshidratación osmótica.

Las muestras preparadas (cubos de oca), se introdujeron en las soluciones hipertónicas, la relación de peso y volumen de solución se obtuvo a partir de la siguiente ecuación (Mavroudis et al., 1998).

$$V_s = 0.993 \times W_0 - 0.5211 \dots \dots \dots \text{ec. (01)}$$

Dónde:

Vs: es el volumen de la solución en mL.

W<sub>0</sub>: es el peso de la oca trozada en g.

Se dejó en reposo sin agitación los trozos de ocas a la temperatura 15 y 30°C, y se controló la concentración de sacarosa a intervalos de tiempo de 10 min hasta que alcance el equilibrio. La relación de solución y muestra es de 1:1, obtenido a partir de la ecuación, se utilizó 20 g de oca para 20 ml de solución hipertónica, alcanzando el equilibrio llegado las cuatro horas.

### 3.2.4. Descripción del proceso

**Recepción.-** Se decepcionó las ocas de variedad blanca en estado de madurez, cultivada en el distrito de Turpo, provincia de Andahuaylas, departamento de Apurímac.

**Selección de la oca.-** Se seleccionaron las ocas sanas sin golpes.

**Pesado 1.-** Se pesaron las ocas en una balanza analítica la cantidad total de 3 kilogramos.

**Lavado.-** Se efectuó con un chorro de agua a presión para eliminar la presencia de partículas extrañas adheridas a las paredes de la oca.

**Pelado.-** La cáscara se retiró manualmente con un cuchillo aceros inoxidables y colocados en un recipiente de plástico con agua.

**Cortado.-** Se cortaron en cubos de 1 cm de grosor, y colocadas en un recipiente con agua.

**Escaldado.-** Se sumergieron los cubos de oca en agua caliente a 70 °C por 1 minutos, para ablandar y facilitar el ingreso de sólidos.

**Drenado 1.-** se drenaron los cubos de ocas mediante un colador

**Preparación de la solución.-** Se prepararon soluciones de azúcar comercial en agua fría, con concentraciones de 40 y 50 °Brix de sólidos solubles.

**Sumergido.-** Se introdujeron los cubos de oca en la solución.

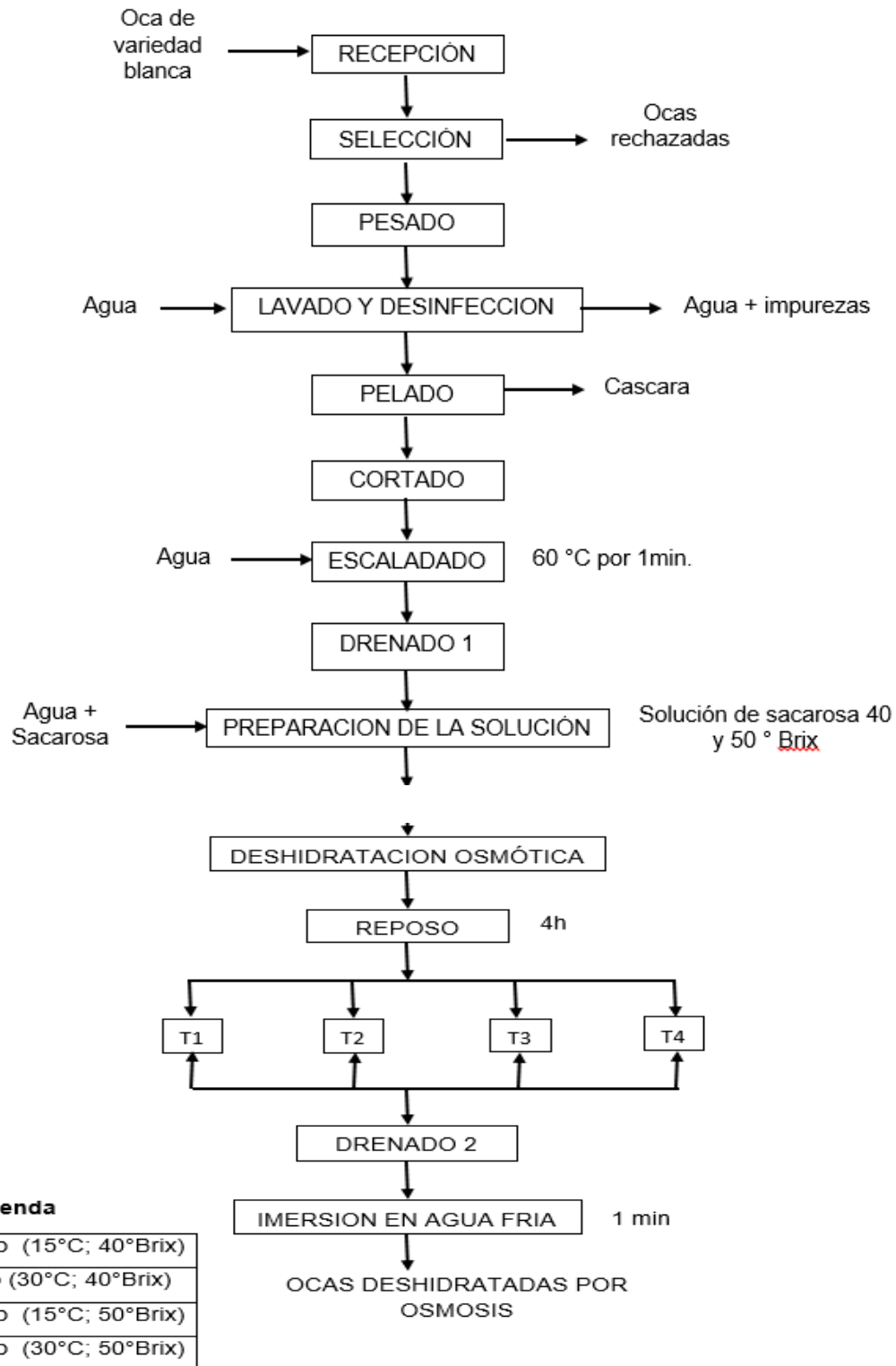
**Reposo.-** Se dejó en reposo durante 6 horas, agitando delicadamente cada 10 minutos y tomando nota los °Brix de la solución

**Análisis.-** Durante la deshidratación se realizaron mediciones de peso en la oca y °Brix en el jarabe.

**Drenado 2.-** Se drenaron los cubos de oca mediante un colador.

**Inmersión.-** Se realizó una breve inmersión de 1 minuto en agua fría para eliminar los residuos y evitar las subsecuentes adherencias.

## DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE DESHIDRATACION OSMOTICA DE LA OCA



**Figura 11.** Diagrama de flujo cualitativa de la deshidratación osmótica de la oca (*Oxalis tuberosa*)

### 3.2.5. Evolución de la transferencia de masa

La evolución de la transferencia de masa de las variedades de oca, se midió a través de la pérdida de peso (PP, pérdida de agua (PA) y ganancia de sólidos (GS). (Rocca y Mascheroni, 2011), las ecuaciones para determinar dichos parámetros se muestran a continuación:

#### Pérdida de peso (PP)

$$PP (\%) = \left( \frac{m_o - m_f}{m_o} \right) X 100 \dots \dots \dots (ec. 02)$$

Dónde:

$m_o$ : Masa inicial de la muestra de oca fresca

$m_f$ : Masa de muestra deshidratada osmóticamente a tiempo.

#### Contenido de sólidos totales (ST)

$$ST (\%) = \left( \frac{m_s}{m_o} \right) X 100 \dots \dots \dots (ec. 03)$$

$$H (\%) = 100 - TS (\%)$$

Dónde:

$m_s$ : Masa de la oca seca para determinado tiempo t.

#### Pérdida de agua (PA)

$$PA (\%) = \left[ \left( 1 - \frac{TS^o}{100} \right) - \left( 1 - \frac{TS}{100} \right) \left( 1 - \frac{PP}{100} \right) \right] X 100 \dots \dots \dots (ec. 04)$$

Dónde:

$TS^o$  = Contenido de sólidos totales iniciales

$TS$  = Contenido de sólidos totales para determinado tiempo, t

#### Ganancia de sólidos (GS).

$$GS (\%) = \left[ \left( 1 - \frac{PP}{100} \right) \frac{ST}{100} - \frac{ST^o}{100} \right] X 100 \dots \dots \dots (ec. 05)$$

#### Determinación de humedad de la oca

Se determinó la cantidad de agua presente en la muestra se basa en la pérdida de peso de la muestra por calentamiento en una estufa, refiriendo su peso al peso total de la muestra y expresada como porcentaje. Según método 925.10 (A.O.A.C., 2005). La humedad se determinó por el método de estufa hasta peso constante, aplicándose la siguiente ecuación:



$$\%H = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100 \dots \dots \dots (ec.06)$$

Donde:

%H: Porcentaje de humedad

$W_1$ : Peso de la muestra fresca (g)

$W_2$ : Peso de la muestra seca (g)}

### 3.2.6. Determinación de difusividad efectiva

De acuerdo a (Daudin, 1983) citado por (Gabas, 1998), señala que para calcular la difusión de agua debido a la gradiente de concentración se utiliza la ley de Fick, esta ley enfoca principalmente a estudios de efectos globales de transporte de fenómenos internos, consecuente describe los posibles mecanismos de migración.

$$\frac{X - X_e}{X_0 - X_e} = \exp(-Kt) \dots \dots \dots ec. (07)$$

Donde:

$X^*$ : razón de humedades

$X$ : Contenido de agua (kg/kg de producto Seco)

$X_e$ : Contenido de agua en el equilibrio (kg/kg de producto Seco)

$X_0$ : Contenido de agua inicial (kg/kg de producto Seco)

Esta correlación es utilizada por muchos estudiosores, para determinar la difusividad efectiva. La relación para las diferentes geometrías es:

$$K = \frac{\pi^2 Def}{4L_0^2} \dots \dots \dots (08) \text{ (para laminas, placas)}$$

Despejando

$$X^* = e^{-\left(\frac{\pi^2 Dt}{4\left(\frac{Z}{2}\right)^2}\right)} = \ln X^* = \ln e^{-\left(\frac{\pi^2 Dt}{4\left(\frac{Z}{2}\right)^2}\right)}$$

$$\ln X^* = -\left(\frac{\pi^2 Dt}{4\left(\frac{Z}{2}\right)^2}\right) \dots \dots \dots (10)$$

Donde:

D: coeficiente de difusión (m<sup>2</sup>/s)

$X^*$ : razón de humedades

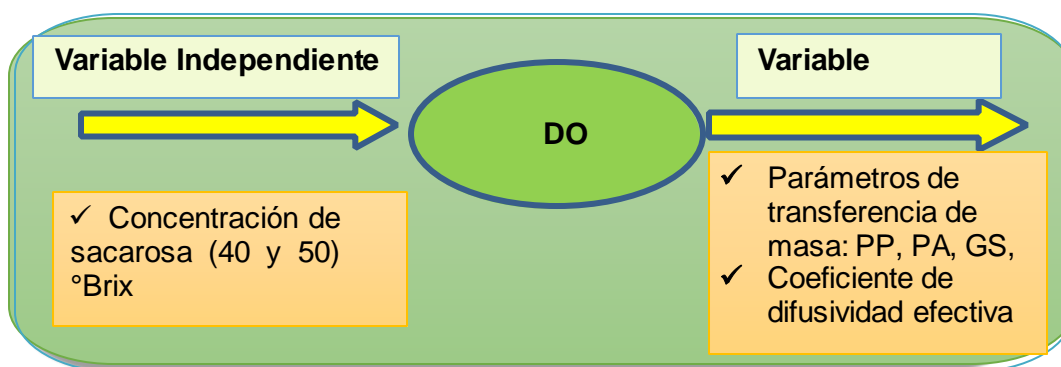
t: tiempo (s)

Z: grosor

### 3.3. Análisis estadístico

#### Diseño factorial

Con un diseño factorial  $2^2$  se estudió el efecto de dos factores considerando dos niveles en cada uno, cada réplica de este diseño consiste de  $2 \times 2 = 4$  combinaciones o tratamientos se consideraron como variables de entrada o independiente a la concentración de sacarosa y la temperatura con los siguientes niveles concentración de 40 y 50 °brix y temperatura de 15 y 30°C como variable de respuesta, salida o dependiente están los parámetros de la transferencia de masa como pérdida de peso (PP), pérdida de agua (PA), ganancia de solidos (GS) y coeficiente de difusividad efectiva. Se realizó un ANOVA Para ello se utilizó el programa Excel (2010), el software estadísticos STATGRAPHICS Plus 5.1 Gutiérrez, (2008)



**Figura 12.** Variables independientes y dependientes de la investigación

**Tabla 4:** Matriz de tratamiento

Tratamientos	Temperatura (°C)	Concentración (°Brix)	Resultados
1	15	A	A <sub>15</sub>
2	30	A	A <sub>30</sub>
3	15	B	B <sub>15</sub>
4	30	B	B <sub>30</sub>

**Fuente:** Gutiérrez, (2008)

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Caracterización de la oca (*Oxalis tuberosa*)

**Tabla 5:** Caracterización de la materia prima.

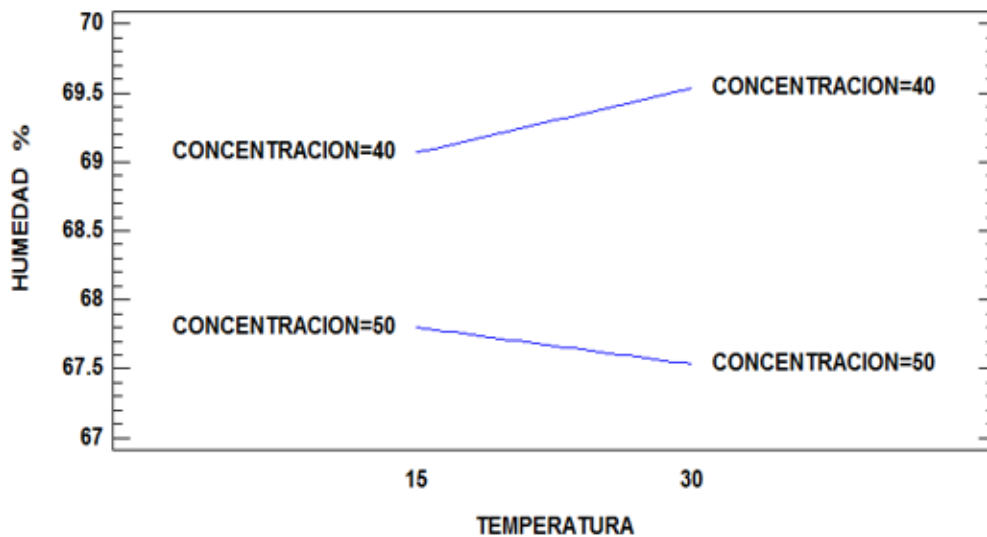
Características	Valores
Sólidos solubles (°Brix)	6.5 ± 0.5
Humedad (%)	88.41 ± 0.854
pH	6 ± 1

La humedad determinada de la oca fresca fue 88.41% representa un valor elevado en comparación con lo obtenido por Rivera (1995) indicó que la humedad de la oca está entre 70 - 80 %, sin embargo Espín *et al.*, (2004), indica que la oca alcanza un 83% de humedad promedio, si bien es cierto no menciona la variedad, el contenido de humedad está razonablemente cerca al valor encontrado aquí.

**Tabla 6:** Valores de la oca después de la deshidratación osmótica

Tratamientos	Brix final	Peso final (g)	Humedad final
Tratamiento 1	18.873 ± 0.469	18.726 ± 0.196	69.066 ± 1.172
Tratamiento 2	18.686 ± 0.508	18.560 ± 0.052	69.533 ± 1.270
Tratamiento 3	22.600 ± 0.173	18.244 ± 0.216	67.800 ± 0.346
Tratamiento 4	22.733 ± 0.058	17.308 ± 0.356	67.533 ± 0.115

La tabla 5 reporta los °Brix de la oca después de la deshidratación osmótica obteniendo el tratamiento 4 con mayor sólidos solubles, mayor pérdida de peso y mayor pérdida de humedad.



**Figura 13.** Gráfico de interacción para la humedad

En la figura 13 indica que para una temperatura 30°C y concentración de sacarosa 50 °Brix la humedad es 67.533 %, para una temperatura de 15°C y concentración de sacarosa de 50 °Brix la humedad es 67.800 %, para temperatura de 15°C y 40°Brix la humedad es 69.066 % y para 30°C y 40 °Brix la humedad es 69.533 %. Entonces a mayor concentración de sacarosa y mayor temperatura menor es la humedad en la oca deshidratada, por lo tanto podemos decir que hay influencia de la temperatura y concentración de sacarosa en la humedad del producto.

En el anexo 4, el análisis de varianza muestra la significancia de cada uno de los factores. Puesto que a una temperatura el valor-P es menor que 0,05, este factor tiene un efecto estadísticamente significativo sobre la humedad con un 95 % de nivel de confianza, es decir los niveles de temperatura influyen en la pérdida de humedad del producto.

### Grados Brix final del jarabe

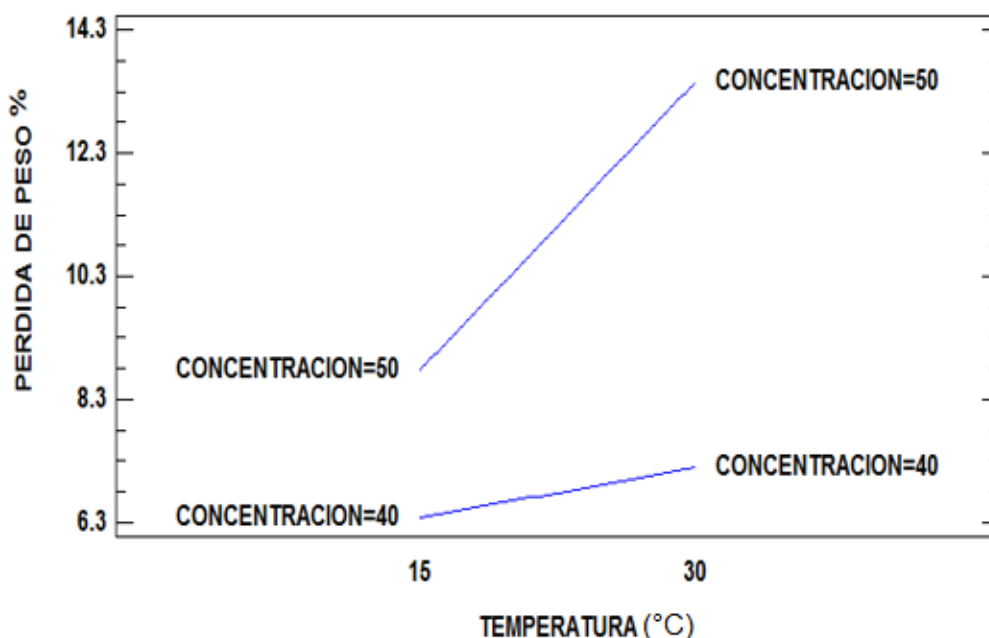
**Tabla 7:** Promedio del ° Brix del jarabe

Replicas	°Brix del jarabe			
	T1	T2	T3	T4
R1	29.059	29.147	37.147	37.059
R2	30.176	29.118	37.294	36.882
R3	29.618	28.853	39.382	36.765

La tabla 7 reporta los datos de Grados °Brix en el jarabe, para los diferentes tratamientos empleados. Como es lógico después de iniciar la deshidratación osmótica, los sólidos solubles del jarabe empiezan a disminuir pues estos empiezan a incorporarse a la oca. Los contenidos iniciales del jarabe fueron de 40 y 50 °Brix y al cabo de 4 horas se reduce así como se puede observar en la tabla 6. Obteniendo con menor °Brix el tratamiento cuatro a mayor temperatura de 30 °C y mayor concentración de sacarosa de 50°Brix, esto significa que hay influencia de la temperatura y concentración de sacarosa esto coincide con Martínez, (2012), menciona que los contenidos iniciales del jarabe fueron de 50°, 55° y 60° Brix y al cabo de 6 horas se reduce entre 7 y 12 °Brix notándose que en los tratamientos con 60° Brix de concentración hubo una mayor reducción y a una temperatura mayor de 55 °C.

#### 4.2. Influencia de la concentración de sacarosa y la temperatura en la transferencia de masa como: pérdida de peso, pérdida de agua, ganancia de sólidos y humedad.

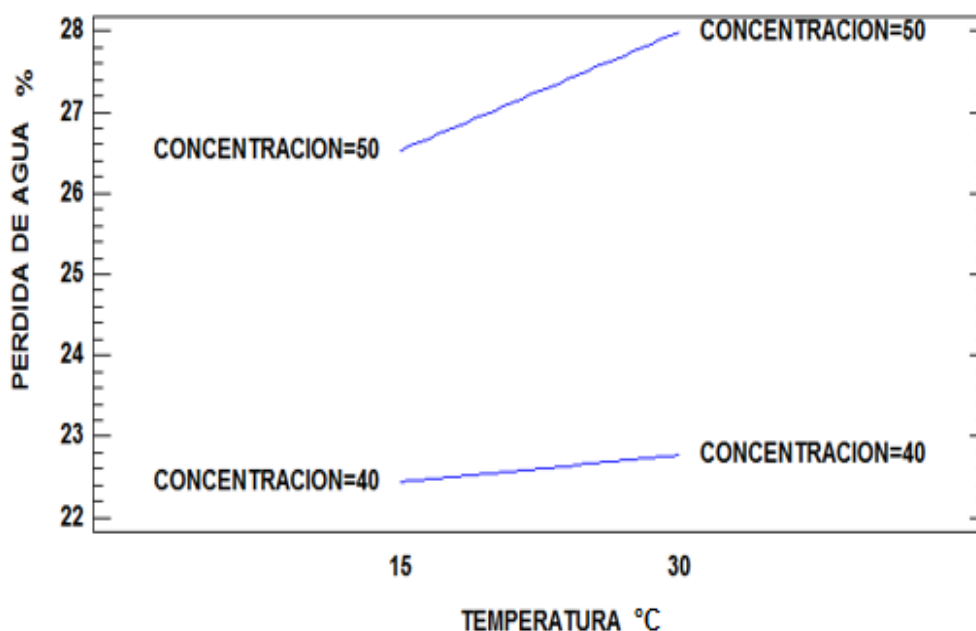
Para la evaluación de la transferencia de masa, se consideraron los parámetros como la pérdida de peso (PP); pérdida de agua (PA) y ganancia de sólidos (GS).



**Figura 14.** Gráfico de interacción para la pérdida de peso.

De la figura 14, se observa que a una concentración de sacarosa de 40 °Brix y a una temperatura de 15 °C, la pérdida de peso es inferior obteniendo un valor de 6.368 %, que a una concentración de sacarosa de 50 °Brix y una temperatura de 30 °C la pérdida de peso fue 13.458 %. Es decir que una mayor concentración de sacarosa y mayor temperatura, tiene mayor influencia en la pérdida de peso. De acuerdo con la ANOVA (anexo 2), tanto los dos efectos principales (concentración de sacarosa y temperatura) como el efecto de interacción (concentración x temperatura) tienen un efecto significativo sobre la pérdida de peso, puesto que a una temperatura y concentración de sacarosa los valores-p son menores que 0.05, esto con un nivel de confianza al 95 %. Es decir que la temperatura y la concentración influyen en la pérdida de peso.

Della Rocca & Mascheroni (2011), mencionan que la mayor pérdida de peso se presentó a medida que aumento la temperatura de proceso y la concentración de la solución osmodeshidratante. También Acevedo et al., (2013), estudio la influencia de la temperatura y concentración de sacarosa en la deshidratación osmótica de tamarindo y menciona que a mayor concentración de sacarosa y temperatura de la solución, se produce mayor pérdida de peso.

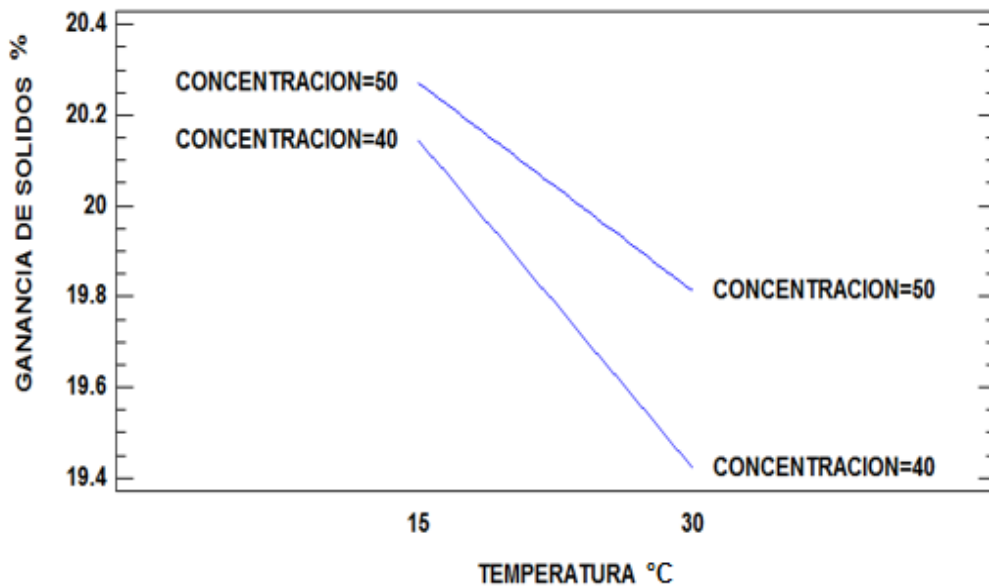


**Figura 15.** Gráfico de interacción para la pérdida de agua

De la figura 15, se observa que la pérdida de agua se incrementa con la concentración de sacarosa y la temperatura, presentando mayor pérdida de agua

el tratamiento cuatro a una temperatura de 30 °C y concentración de sacarosa de 50 °Brix, también se observa que a una concentración de 40 °Brix y una temperatura de 15°C el % de la pérdida de agua es menor. Y de acuerdo con la ANOVA (anexo 6), tanto los dos efectos principales (concentración de sacarosa y temperatura) como el efecto de interacción (concentración x temperatura) tienen un efecto significativo sobre la pérdida de agua, puesto que a una temperatura y concentración de sacarosa los valores-p son menores que 0.05, esto con un nivel de confianza al 95 %. Es decir que el producto pierde mayor cantidad de agua cuando se halla inmerso en las soluciones de concentración de sacarosa elevada y mayor temperatura.

según Garzón, (2014), estudio los efectos de la variación de temperatura (30, 40 y 50 °C) y concentración de solución osmótica (30, 40 y 50 °Brix) en la deshidratación osmótica de la mashua, menciona que obtuvo los mejores resultados a mayor temperatura y concentración de solución osmótica. También Della Rocca & Mascheroni (2011), estudio la deshidratación de papas por métodos combinados de secado, deshidratación osmótica, secado por microondas y convección con aire caliente, menciona que el producto pierde mayor cantidad de agua cuando se halla inmerso en las soluciones de concentración de sacarosa elevadas, debido a que la fuerza impulsora entre las presiones osmóticas en el interior del producto y la solución. Y Arreola et al., (2007), menciona que la concentración de la solución osmótica y la temperatura influyen considerablemente durante el proceso debido a que un aumento de esta última intensifica la eliminación de agua y la penetración de sacarosa.



**Figura 16.** Gráfico de interacción para ganancia de sólidos.

Finalmente se ha evaluado la ganancia de sólidos (GS), de la figura 16, se observa que a una temperatura de 30 °C y una concentración de sacarosa de 40 °brix la ganancia de sólidos es menor, también se observa que hay mayor ganancia de sólidos a una temperatura de 15 °C y una concentración de sacarosa de 50 °brix por lo tanto se puede afirmar que la concentración de sacarosa influye en la ganancia de sólidos mas no la temperatura.

Según Vega-Gálvez et al., (2006). Deshidratación osmótica de la papaya chilena (*Vasconcellea pubescens*) e influencia de la temperatura y concentración de la solución sobre la cinética de transferencia de materia utilizo dos variables experimentales: la temperatura (30, 40, 50 °C) y concentración (40, 50 y 60%) de la solución osmótica. Menciona que de acuerdo al diseño factorial que utilizo observó que la temperatura no influyó sobre ganancia de sólidos, pero sí la concentración de la solución osmótica. La mejor de ganancia de sólidos solubles durante la deshidratación osmótica de la papaya chilena fue a 30 °C con una concentración del 60 %. Sin embargo Acevedo et al., (2013), evaluó la cinética de deshidratación osmótica en pulpa de tamarindo (*Tamarindus indica* L.), Areola et al.,(2007) y Garzón, (2014), mencionan que la concentración de la solución osmótica y la temperatura influyen considerablemente durante el proceso debido a que un aumento de esta última intensifica la eliminación de agua y la penetración de sacarosa. En cambio Della Roca & Mascheroni (2011), menciona que la ganancia de sólidos es inferior a altas concentraciones de sacarosa debido probablemente a la formación de una capa de sacarosa superficial sobre el



producto que impide el ingreso dentro del mismo, esto podría ser según (Baroni y Hubinger, 2000), por qué se utilizó soluciones con solutos de mayor peso molecular como la sacarosa, donde la pérdida de agua se incrementa y la ganancia de solutos resulta despreciable debido a que el incremento en la concentración de la solución se forma una capa de soluto sobre la superficie del producto que impide la penetración del producto.

#### 4.3. Determinación del coeficiente de difusividad efectiva - $D_{ef}$

Para determinar el coeficiente de difusividad efectiva  $D_{ef}$ , se utilizó la ecuación (02), considerando una longitud de arista  $L_0$  igual a 1 cm para la oca deshidratada.

**Tabla 8:** Coeficiente de difusividad efectiva  $D_{ef}$ ,

Temperatura (°C)	Concentración (Brix)	Coef. de difusividad $D_{ef}$ (m <sup>2</sup> /s)
15	40	$3.75 \times 10^{-11}$
15	50	$5.20 \times 10^{-11}$
30	40	$1.13 \times 10^{-10}$
30	50	$7.95 \times 10^{-11}$

De la tabla 8 los valores establecidos en los diferentes tratamientos y condiciones se encuentran entre  $3.75 \times 10^{-11}$  a  $1.13 \times 10^{-10}$  m<sup>2</sup>/s los cuales se encuentran similares a los reportados por diferentes autores como Della Rocca y Mascheroni (2011) cuyo valor de  $D_{ef}$  es de  $5.7 \times 10^{-10}$  m<sup>2</sup>/s. Vega-Gálvez *et al.*, (2006) menciona que la difusividad efectiva obtenidos para las diferentes temperaturas y concentraciones de trabajo están de  $9,53 \times 10^{-10}$  -  $40,43 \times 10^{-10}$  m<sup>2</sup>/s, presentan una clara dependencia positiva con la concentración de la solución osmótica, los valores aumentan significativamente a medida que aumenta la concentración. Arreola *et al.*, (2007), menciona que al aumentar la concentración, la presión osmótica favorece la difusión del agua hacia la solución, por lo que se tienen mayores coeficientes efectivos de agua que de solutos. Los coeficientes de difusión y de transferencia de materia para agua incrementaron con la temperatura y los valores mayores se obtuvieron para una concentración de 65% de azúcar y 35°C. La concentración de la solución osmótica y la temperatura influyen considerablemente durante el proceso debido a que un aumento de esta última intensifica la eliminación de agua y la penetración de sacarosa.

## CONCLUSIONES

- La concentración de sacarosa y temperatura influye en la deshidratación osmótica debido a que hubo un descenso en los grados °Brix del jarabe y un incremento en la pérdida de peso, pérdida de agua y ganancia de sólidos en la oca.
- Los valores de transferencia de masa determinados mediante la pérdida de peso, pérdida de agua y ganancia de sólidos aumentan considerablemente con el incremento de la temperatura y la concentración de sacarosa, esto al ser mayor favorece la velocidad de transferencia, obteniendo el mejor tratamiento a 30 °C y 50 °Brix.
- El coeficiente de difusividad -  $D_{ef}$  para la deshidratación osmótica de la oca en solución hipertónica de 40 °Brix y 50 °Brix se encuentra en el rango de  $3.75 \times 10^{-11}$  a  $1.13 \times 10^{-10}$  m<sup>2</sup>/s , evaluadas a 15°C y 30°C.
-

## **RECOMEDACIONES**

- Las condiciones recomendadas para deshidratar la oca mediante ósmosis son 50°Brix de concentración de jarabe y 30°C de Temperatura.
- Por su alto contenido proteico de la oca, se recomienda realizar investigaciones en osmodeshidratacion utilizando otras variedades de la oca y otros tipos de agentes osmóticos, esto a fin de conocer las diferencias.
- En próximas investigaciones se debería estudiar otro factor que afecta a la deshidratación osmótica como la agitación constante del jarabe que reduciría el tiempo del proceso.
- Con el fin de aprovechar la producción de la oca que existe en nuestra localidad se recomienda desarrollar más investigaciones ya que no hay suficiente antecedentes de este producto.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Association of Official Analysis Analytical chemists, official methods of Analysis A.O.A.C., (2005). 18va ed. Editorial A.O.A.C. International, Estados Unidos. pp. 4 – 39.
- Acevedo, D.; Tirado, D.; Guzmán, L. (2013). Deshidratación osmótica de la pula de tamarindo (*Tamarindus indica L.*) influencia de la temperatura y la concentración. Universidad de Cartagena, Programa Ingeniería de Alimentos, Facultad de Ingeniería.
- Alvarado, J. (1996). “Principios de Ingeniería Aplicados a los Alimentos”. Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos. Editorial Radio Comunicaciones. Quito-Ecuador, págs. 424-445.
- Arnau, J. (2007). Endulzante natural: La Fructosa. Disponible en [www.enbuenasmanos.com/articulos](http://www.enbuenasmanos.com/articulos). Consultado el 10 de octubre del 2011.
- Arreola, S.; Rosas, M. (2007). Aplicación de vacío en la deshidratación osmótica de higos (*ficus carica*). Facultad de estudios superiores Cuautitlán, México.
- Apaza, C. A. (2007). Deshidratación osmótica de Alimentos. *Boletín de Divulgación Tecnológica Agroindustrial*.
- Azuara, E., Beristain, C.I., Gutiérrez, G.F. (1998), A Method for continuous kinetic evaluation of osmotic dehydration. *Lebensmittels-Wissenschaft und Technologie*.
- Barat, J., Grau, A. y Maupoey, P. (1998). Deshidratación osmótica de alimentos. Departamento de Tecnología de Alimentos. Universidad Politécnica de Valencia. España. pp. 1-18, 53-70.
- Baroni A. y Hubinger M.,(2000) Osmotic dehydration of tomatoes in binary and ternary Solutions, *Dehydration Processes*, pp 1274-1278
- Brennan, J. (2008). Manual de procesado de los alimentos. Zaragoza (España): Editorial ACRIBIA.
- Barrera, V., Tapia, C. y Monteros, A. (2004). Alternativas para la conservación y uso sostenible en el ecuador. Serie: conservación y uso de la biodiversidad de raíces y tubérculos andinos: Una década de investigación para el desarrollo (1993- 2003). INIAP, CIP. En Raíces y tubérculos andinos (pág. 176 p.). Quito, Ecuador - Lima, Perú.

- Campos, A.; Ochoa, D.; Trejo, F. (2012). *Deshidratación osmótica de placas de chayote (sechium edule) utilizando soluciones hipertónicas de cloruro de sodio y sacarosa*. Tesis para optar título de ingeniero
- Colina, M. L. (2010). *Deshidratación de Alimentos*. Edt. Trillas, México D.F.
- Cornejo, M. V. (2010). *Deshidratación de rebanadas de aguacate variedad Hass por el método OSMO-VAC (osmótico-vació) y evaluación de calidad*. Tesis de maestría, Instituto politécnico nacional, México DF.
- Cornejo, Z. F. (2000). *Modelación matemática de la cinética de deshidratación osmótica de la Carica papaya Guayaquil Ecuador*. Tesis para optar el título de ingeniería de alimentos. Escuela superior politécnica la litoral universidad de mecánica y ciencia de la producción.
- Cañizares, A.; Bonafine O.; Laverde, D. (2007). *Deshidratación de productos vegetales*. INIA. Centro de Investigaciones Agrícolas.
- Della, Rocca; Mascheroni, R. (2011). *Deshidratación de papas por métodos combinados de secado, deshidratación osmótica, secado por microondas y convección con aire caliente*, Proyecciones, Argentina.
- Espin S., et. al., 2004, en *Raíces y Tubérculos Andinos: Alternativas para la Conservación y Uso Sostenible en el Ecuador*: INIAP-CIP, Quito: 91-116.
- Failier, T.; Morales, M.; Holle. (1990). *Raíces y tubérculos andinos*. Centro Internacional de la papa, Lima, Perú.
- Ferreira, R. (1986). *Flora del Perú Dicotiledoneas*. Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú.
- Fernandez, C. (2008). *Caracterización reologica y optimización de la textura de purés de patata frescos y congelados. Efectos del proceso y adición de crioprotectores*. Memoria para optar el grado de Doctor. Madrid, España. Universidad Complutense de Madrid, Facultad de Veterinaria.
- Forristal, L. (2001). *The Murky World of High-Fructose Corn Syrup*.
- Flink J., Karel M., (1970), *Effects of process variables on retention of volatiles in freeze-drying*. Journal of Food Science.
- Gabas, A. L. (1998). *Secado de uvas italianas en lecho fijo: tesis para optar el grado de magister en Ingeniería de Alimentos*. Campinas. 1998. Universidad Estatal de Campinas. 137p.

- Garzón, M. (2014). Bombones rellenos de mashua (*tropaeolum tuberosum*) deshidratadas por ósmosis. Tesis para optar título de ingeniero de alimentos, Quito.
- Genina, S. (2002). Deshidratación osmótica como alternativa para la conservación de frutas tropicales. Avance y perspectiva.
- Gutiérrez, H.; De la Vara, R. (2008). Análisis y diseño de experimentos, segunda edición. Editorial McGraw-Hill, México.
- Grabowski, S., Marcotte, M., Quan, D., Taherian, A.R., Zareifard, M.R., Poirier, M., Kudra, T. (2007). Kinetics and quality aspects of Canadian blueberries and cranberries dried by osmo-connective method. *Drying Technology*, pp. 367-374.
- Herrero A. M. y M. D Romero A. (2006), Innovaciones en el procesado de alimentos: tecnologías no térmicas. *Rev med univ Navarra*.
- Hernandez, J. (2007). Cinética del secado de productos agrícolas. México distrito federal de México.
- Hidalgo, A.; Vargas, G. (2009). Análisis del efecto del tipo de agente osmótico en la transferencia de masa durante el secado y en la vida útil del babaco deshidratado, Tesis para optar título de ingeniería de alimentos. Escuela superior Politécnica del Litoral Universidad de Mecánica y Ciencia de la Producción, Guayaquil Ecuador
- Holman, J.P. (1999). Transferencia de calor, décima edición. Editorial McGraw-Hill, México.
- Lerici C.; Pinnavaia, G.; Rosa M.D.; Bartolucci L., (1985). Osmotic dehydration of fruit: influence of osmotic agent on drying behaviour and product quality, *Journal of Food Science*.
- Madrid, A. (2007). Confitería y Pastelería: Manual de formación. Madrid - España: AMV EDICIONES.
- Mafart P., (1991). Ingeniería Industrial Alimentaria, Procesos Físicos de conservación, Volumen I, Editorial Acribia, S.A., Zaragoza, España
- Mazzeo, M.; León L.; Hernández H.; Guapacha H. (2006). Deshidratación osmótica de arveja (*Pisum sativum L.*) y habichuela (*Phaseolus vulgaris L.*) utilizando soluciones de glicerol y cloruro de sodio. *Rev. Vector*, Vol 1, No. 1 Enero - Diciembre 2006, p. 9–28. Universidad de Caldas.

- Martínez Barrera Carlos, A. (2012). “efecto de la concentración y temperatura en la deshidratación osmótica del tomate de árbol (*Cyphomandra betacea*)”, Tesis para optar título de ingeniería de alimentos. Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos, Ambato - Ecuador
- Mavroudis, E., Gekas, V.; Joholm, I. (1998). Osmotic dehydration of apples – effects of agitation and raw material characteristics, *J. Food Eng.*
- Machucay, S. (2009). Deshidratación osmótica de frutas. Tesis de Grado, Universidad Nacional del Centro del Perú. Junín, Perú: Universidad Nacional del Centro del Perú.
- Maestrelli A. (1997). Fundamentos de la Técnica de Deshidratación Osmótica de Frutas. En *Curso Taller: Deshidratación Osmótica Directa de vegetales*. ICTA-ILVA. Universidad Nacional de Colombia. Santa Fé de Bogotá. 19 pp.
- Moy J., Lau N., Dollar A. (1978). Effects of sucrose and acids on osmotic dehydration of tropical fruits. *J. Food Proc. Preserv.*, 2, 131
- Rastogi, N.; Niranjana, K., (2002). Enhanced mass transfer during osmotic dehydration of high pressure treated pineapple. *Journal of Food Science*.
- Rahman, S.; Perera C., (1996). Osmotic dehydration: a pretreatment for fruit and vegetables to improve quality and process efficiency. *The Food Technologist*,
- Rivera, R. (1995). Cultivos Andinos en el Perú. Investigaciones y perspectivas de su desarrollo. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, Ministerio de Agricultura. Editorial Minerva, Lima.
- Robles, N. (2014). Efecto del tiempo y temperatura de pasteurización en el contenido de vitamina C y capacidad antioxidante en zumo de oca. Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Agroindustrial. UNA – Puno.
- Sacchetti, G.; Gianotti, A.; Dalla Rosa, M. (2001) Sucrose salt combined effects on mass transfer kinetics and product acceptability study on apple osmotic treatments. p. 163-173.
- Sierra, G. (2010). Estudio de la deshidratación osmótica de la arveja china (*Pisum sativum* L.) mediante dos metodologías, directa e indirecta, como alternativa tecnológica al sector hortofrutícola del país. Tesis de licenciatura, facultad de Ingeniería Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Suca, A. (2007). Deshidratación Osmótica de Alimentos, *boletín de divulgación tecnológica agroindustrial*.

- Shafiur, M. (2003). Manual de conservación de los alimentos. Editorial Acribia, Zaragoza España.
- Sharma, S.; Mulvaney. (2003). Ingeniería de alimentos operaciones unitarias y prácticas de laboratorio. Editorial *Limusa S.A.* México.
- Tepper, M. (1996). Transferencia de masa durante la deshidratación osmótica de palta fuerte, Memoria de título, Universidad de Chile Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales.
- Vega, Gálvez. (2006). Deshidratación osmótica de la papaya chilena (*Vasconcellea pubescens*) e influencia de la temperatura y concentración de la solución sobre la cinética de transferencia de materia.
- Jarén, C. (2005). Perfil del consumidor de frutas, hábitos y tendencia. Fruticultura Professional.
- Welti J. C.; Bermúdez A. (2007). Nuevas tendencias en el procesamiento de alimentos disponible en línea.



# **ANEXOS**

**Anexo 1:** Fotos del proceso de deshidratación osmótica de la oca



**Foto 01:** Tubérculo de ocas de la variedad blanca



**Foto 02:** Oca (*Oxalis tuberosa*) peladas y colocadas en un recipiente con agua para evitar pardeamiento.



**Foto 03:** Cubos de Oca (*Oxalis tuberosa*), para la deshidratación osmótica.



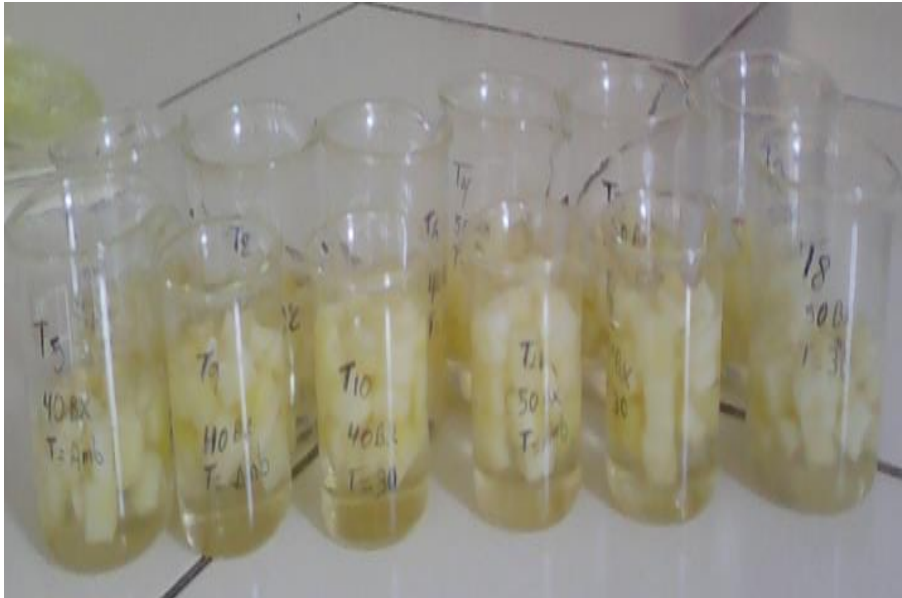
**Foto 04:** Escaldado de las ocas para ablandar y facilitar el ingreso de sólidos.



**Foto 05:** Preparando las soluciones hipertónicas de sacarosa



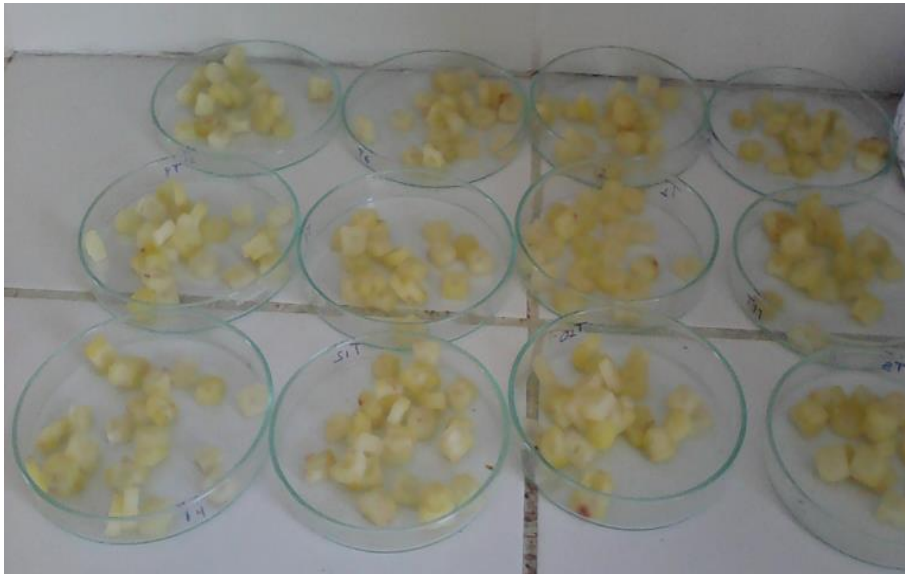
**Foto 06:** Cubos de ocas en vasos precipitados de 100 ml



**Foto 07:** Deshidratación osmótica de los cubos de oca en solución de sacarosa.



**Foto 08:** Deshidratación osmótica de la oca a una temperatura de 30 °C.



**Foto 10:** Ocas ya deshidratadas osmóticamente

**Anexo 2:** Tabla de Análisis de Varianza para pérdida de peso (%) (ANOVA)

<b>Fuente</b>	<b>Suma de Cuadrados</b>	<b>Gl</b>	<b>Cuadrado Medio</b>	<b>Razón-F</b>	<b>Valor-P</b>
A:TEMPERATURA	22.7563	1	22.7563	13.38	0.0106
B:CONCENTRACION	56.3984	1	56.3984	33.17	0.0012
AB	11.1073	1	11.1073	6.53	0.0432
bloques	0.532912	2	0.266456	0.16	0.8583
Error total	10.2023	6	1.70039		
Total (corr.)	100.997	11			

**Anexo 3:** Tabla de Optimización de respuesta

<b>Factor</b>	<b>Bajo</b>	<b>Alto</b>	<b>Óptimo</b>
TEMPERATURA	15.0	30.0	30.0
CONCENTRACION	40.0	50.0	50.0

Valor óptimo = 13.4583

Esta tabla muestra la combinación de los niveles de los factores, la cual maximiza % PERDIDA DE PESO sobre la región indicada.

**Anexo 4:** Tabla de Análisis de Varianza para de humedad (%)

<b>Fuente</b>	<b>Suma de Cuadrados</b>	<b>Gl</b>	<b>Cuadrado Medio</b>	<b>Razón-F</b>	<b>Valor-P</b>
A:CONCENTRACION DE SACAROSA	0.403333	1	0.403333	0.50	0.5040
B:TEMPERATURA	8.00333	1	8.00333	10.02	0.0194
AB	0.03	1	0.03	0.04	0.8527
bloques	1.44667	2	0.723333	0.91	0.4533
Error total	4.79333	6	0.798889		
Total (corr.)	14.6767	11			

**Anexo 5:** Tabla de Optimización de respuesta

<b>Factor</b>	<b>Bajo</b>	<b>Alto</b>	<b>Óptimo</b>
CONCENTRACION DE SACAROSA	40.0	50.0	50.0
TEMPERATURA	15.0	30.0	30.0

Valor óptimo = 69.5333

Esta tabla muestra la combinación de los niveles de los factores, la cual maximiza % DE HUMEDAD sobre la región indicada.

**Anexo 6:** Tabla de Análisis de Varianza para pérdida de agua (%)

<b>Fuente</b>	<b>Suma de Cuadrados</b>	<b>GI</b>	<b>Cuadrado Medio</b>	<b>Razón-F</b>	<b>Valor-P</b>
A:TEMPERATURA	2.41024	1	2.41024	0.59	0.4725
B:CONCENTRACION	65.0723	1	65.0723	15.86	0.0073
AB	0.949781	1	0.949781	0.23	0.6475
bloques	0.66393	2	0.331965	0.08	0.9233
Error total	24.6177	6	4.10296		
Total (corr.)	93.714	11			

**Anexo 7:** Tabla de Optimizar Respuesta para pérdida de agua (%)

<b>Factor</b>	<b>Bajo</b>	<b>Alto</b>	<b>Óptimo</b>
TEMPERATURA	15.0	30.0	30.0
CONCENTRACION	40.0	50.0	50.0

Valor óptimo = 27.9913

Esta tabla muestra la combinación de los niveles de los factores, la cual maximiza % PERDIDA DE AGUA sobre la región indicada.



**Anexo 8:** Tabla de Análisis de Varianza para ganancia de sólidos (ANOVA)

<b>Fuente</b>	<b>Suma de Cuadrados</b>	<b>Gl</b>	<b>Cuadrado Medio</b>	<b>Razón-F</b>	<b>Valor-P</b>
A:TEMPERATURA	1.04843	1	1.04843	1.80	0.2277
B:CONCENTRACION	0.200467	1	0.200467	0.35	0.5783
AB	0.0518768	1	0.0518768	0.09	0.7752
bloques	2.36709	2	1.18354	2.04	0.2112
Error total	3.48561	6	0.580935		
Total (corr.)	7.15347	11			

**Anexo 9:** Tabla de Optimizar Respuesta para ganancia de sólidos (%)

<b>Factor</b>	<b>Bajo</b>	<b>Alto</b>	<b>Óptimo</b>
TEMPERATURA	15.0	30.0	15.0
CONCENTRACION	40.0	50.0	50.0

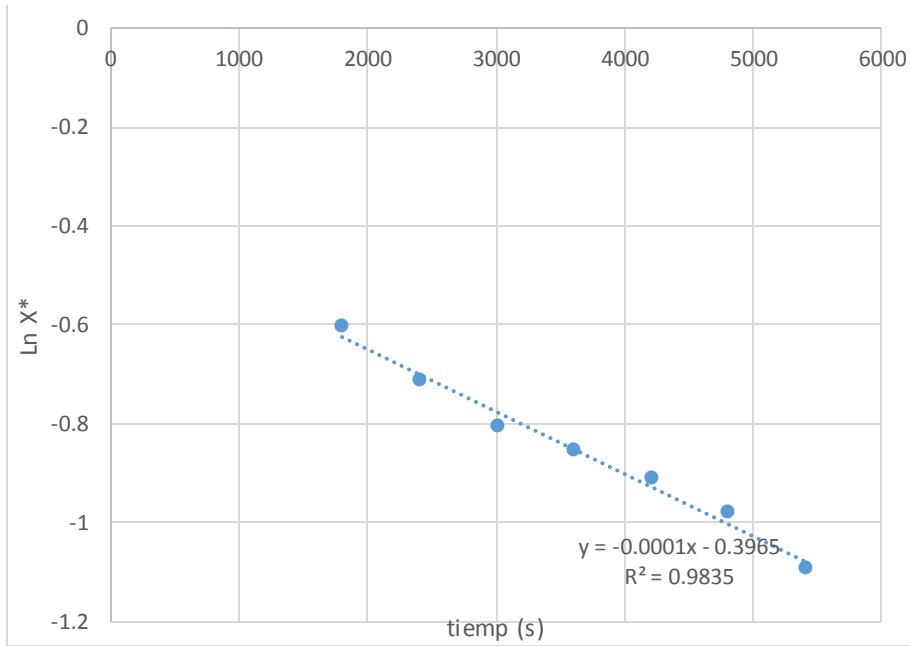
Esta tabla muestra la combinación de los niveles de los factores, la cual maximiza % GANANCIA DE SOLIDOS sobre la región indicada. Estableciendo los límites alto y bajo.

**Optimizar Respuesta**

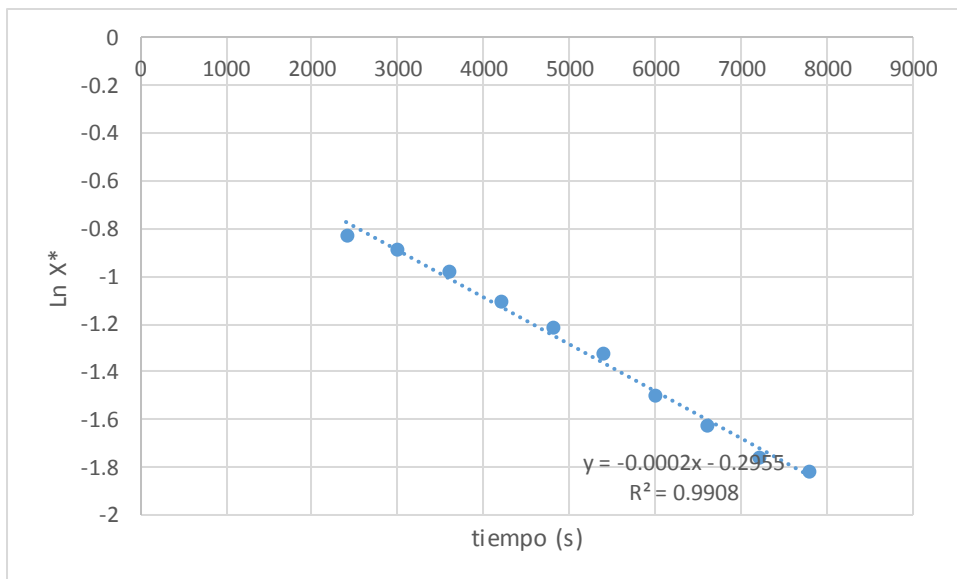
Meta: maximizar % GANANCIA DE SOLIDOS

Valor óptimo = 20.271

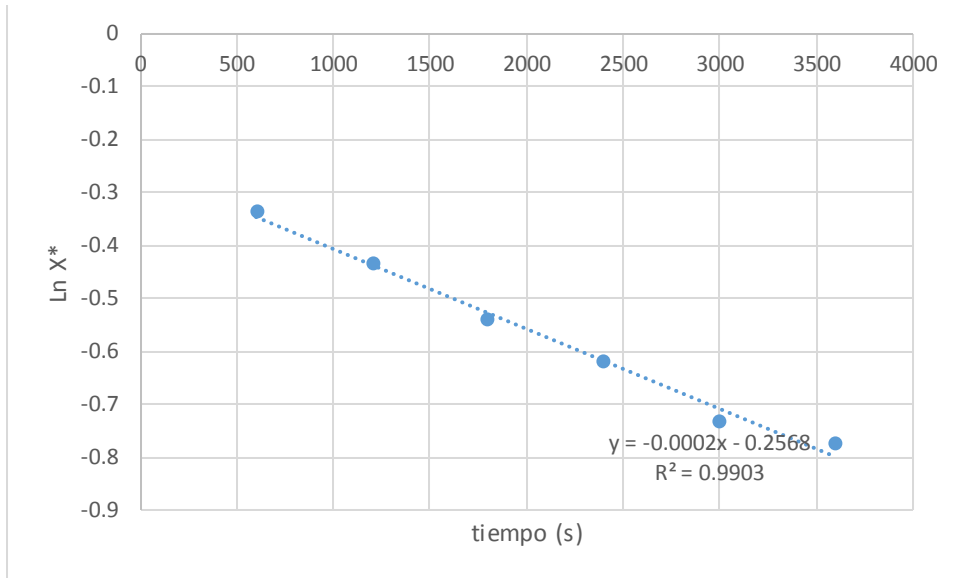
**ANEXO 10:** Figura de Ln X\* vs. Tiempo para el Tratamiento (40°Brix y 15°C)



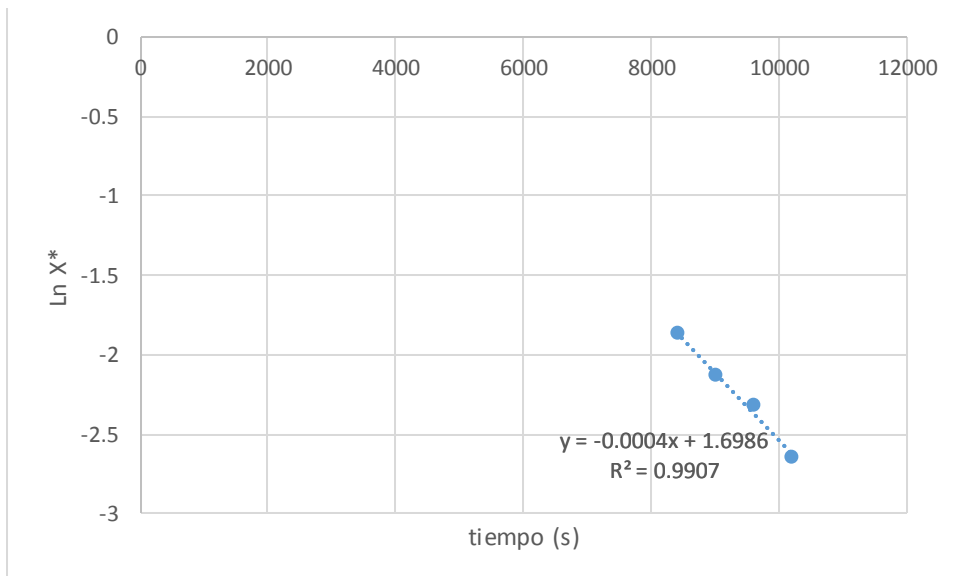
**ANEXO 11:** Figura de Ln X\* vs. Tiempo para el Tratamiento (40°Brix y 30°C)



**ANEXO 12:** Figura de Ln X\* vs. Tiempo para el Tratamiento (50°Brix y 15°C)



**ANEXO 13:** Figura de Ln X\* vs. Tiempo para el Tratamiento (50°Brix y 30°C)



**Anexo 14:** Resumen del análisis de difusividad efectiva

TRATAMIENTO 1		Pi	3.1415		
15°C - 40°BRIX		L	0.01 m2		
Tirmpo (min)	tiempo (seg)	Humedad	X*	Def. (m2/s)	Ln X*
0	0	0.884300	1.00000	3.75E-11	0
10	600	0.800000	0.71453		-0.33613366
20	1200	0.760000	0.57907		-0.54632823
30	1800	0.751000	0.54859		-0.60039545
40	2400	0.734000	0.49103		-0.71125805
50	3000	0.721000	0.44700		-0.80518987
60	3600	0.715000	0.42668		-0.85170988
70	4200	0.708000	0.40298		-0.9088683
80	4800	0.700000	0.37589		-0.97846159
90	5400	0.688000	0.33525		-1.09287194
100	6000	0.675000	0.29123		-1.23364449
110	6600	0.667000	0.26414		-1.33128296
120	7200	0.650000	0.20657		-1.57711792
130	7800	0.647000	0.19641		-1.62754878
140	8400	0.645000	0.18964		-1.6626401
150	9000	0.634000	0.15239		-1.8813293
160	9600	0.624000	0.11852		-2.13264373
170	10200	0.614000	0.08466		-2.46911596
180	10800	0.600000	0.03725		-3.29009652

TRATAMIENTO 2		Pi	3.141592			
30°C-40°BRIX		L	0.01 m2			
Tiempo (min)	tiempo (seg)	Humedad	X*	Dif (m2/s)	Ln X*	
0	0	0.88430	1.00000	5.20E-11	0	
10	600	0.80000	0.71453		-0.33613366	
20	1200	0.74500	0.52828		-0.63813578	
30	1800	0.72000	0.44362		-0.81279447	
40	2400	0.71800	0.43684		-0.82817938	
50	3000	0.71100	0.41314		-0.88397074	
60	3600	0.70000	0.37589		-0.97846159	
70	4200	0.68700	0.33187		-1.10302431	
80	4800	0.67700	0.29800		-1.21065497	
90	5400	0.66800	0.26752		-1.31854394	
100	6000	0.65500	0.22350		-1.49833705	
110	6600	0.64700	0.19641		-1.62754878	
120	7200	0.64000	0.17271		-1.75616616	
130	7800	0.63700	0.16255		-1.81679078	
140	8400	0.63500	0.15577		-1.85935039	
150	9000	0.62400	0.11852		-2.13264373	
160	9600	0.61800	0.09821		-2.32069596	
170	10200	0.61000	0.07111		-2.64346935	
180	10800	0.59000	0.00339		-5.68799179	

TRATAMIENTO 3		Pi	3.141592			
15 °C - 50°BRIX		L	0.01 m2			
Tiempo (min)	tiempo(s)	Humedad	X*	Dlif. (m2/s)	Ln x*	
0	0	0.8843	1.00000	1.13E-10	0	
10	600	0.8000	0.71453		-0.33613366	
20	1200	0.7800	0.64680		-0.43571836	
30	1800	0.7610	0.58246		-0.54049731	
40	2400	0.7480	0.53844		-0.61908759	
50	3000	0.7310	0.48087		-0.73216473	
60	3600	0.7250	0.46055		-0.7753369	
70	4200	0.7180	0.43684		-0.82817938	
80	4800	0.7050	0.39282		-0.9344016	
90	5400	0.6880	0.33525		-1.09287194	
100	6000	0.6750	0.29123		-1.23364449	
110	6600	0.6670	0.26414		-1.33128296	
120	7200	0.6500	0.20657		-1.57711792	
130	7800	0.6470	0.19641		-1.62754878	
140	8400	0.6450	0.18964		-1.6626401	
150	9000	0.6340	0.15239		-1.8813293	
160	9600	0.6240	0.11852		-2.13264373	
170	10200	0.6120	0.07789		-2.55249757	
180	10800	0.6120	0.07789		-2.55249757	
190	11400	0.6120	0.07789		-2.55249757	
200	12000	0.6120	0.07789		-2.55249757	

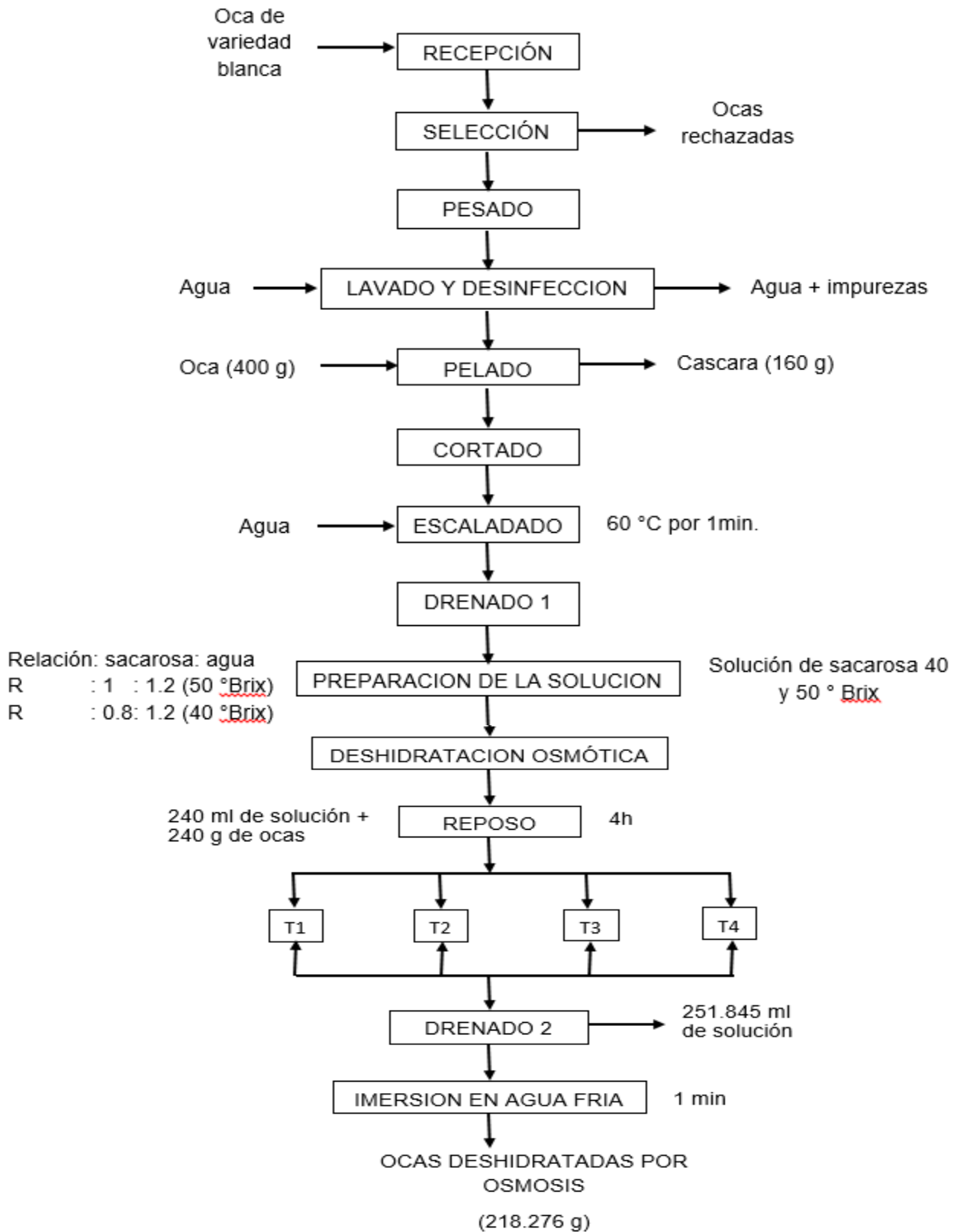
TRTAMIENTO 4		Pi	3.141592		
30 °C - 50 °BRIX		L	0.01 m2		
Tiempo (min)	tiempo (s)	Humedad	X*	Dif. (m2/s)	Ln X*
0	0	0.8843	1.00000	7.95E-11	0
10	600	0.8000	0.71453		-0.33613366
20	1200	0.7450	0.52828		-0.63813578
30	1800	0.7200	0.44362		-0.81279447
40	2400	0.7180	0.43684		-0.82817938
50	3000	0.7110	0.41314		-0.88397074
60	3600	0.7000	0.37589		-0.97846159
70	4200	0.6870	0.33187		-1.10302431
80	4800	0.6770	0.29800		-1.21065497
90	5400	0.6680	0.26752		-1.31854394
100	6000	0.6550	0.22350		-1.49833705
110	6600	0.6470	0.19641		-1.62754878
120	7200	0.6400	0.17271		-1.75616616
130	7800	0.6370	0.16255		-1.81679078
140	8400	0.6350	0.15577		-1.85935039
150	9000	0.6240	0.11852		-2.13264373
160	9600	0.6180	0.09821		-2.32069596
170	10200	0.6100	0.07111		-2.64346935
180	10800	0.5960	0.02370		-3.74208164
190	11400	0.5960	0.02370		-3.74208164
200	12000	0.5960	0.02370		-3.74208164

**Anexo 15:** Datos obtenidos de los parámetros de la transferencia de masa

	Temperatura (°C)	Concentración (°brix)	Peso inicial (g)	Peso final (g)	ST (%)	PP (%)	PA (%)	GS (%)	H (%)
Tratamiento 1	15	40	20	18.5	31.8	7.500	21.800	20.706	68.2
	15	40	20	18.843	29.6	5.785	21.712	20.024	70.4
	15	40	20	18.836	31.4	5.820	23.801	19.702	68.6
Tratamiento 2	30	40	20	18.5	31.2	7.500	24.640	19.640	68.8
	30	40	20	18.594	31.2	7.030	24.674	19.624	68.8
	30	40	20	18.587	29	7.065	19.000	19.000	71
Tratamiento 3	15	50	20	18	32.6	10.000	26.516	21.800	67.4
	15	50	20	18.412	32	7.940	26.199	18.712	68
	15	50	20	18.32	32	8.400	26.882	20.301	68
Tratamiento 4	30	50	20	17.698	32.4	11.510	27.379	20.014	67.6
	30	50	20	17.227	32.6	13.865	27.874	20.049	67.4
	30	50	20	17	32.4	15.000	28.721	19.371	67.6



**Anexo 16:** Diagrama de flujo cuantitativo de la deshidratación osmótica de la oca (*Oxalis tuberosa*)



Anexo 17: Matriz de consistencia

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	DEFINICIÓN DE OPERACIONES					RECOLECCIÓN DE DATOS	
			VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	INDICADOR	VALORES ESC	DISEÑO O MÉTODO	TÉCNICA	INSTRUMENTO
¿Cómo influye la temperatura y la concentración de sacarosa en la deshidratación osmótica de la oca?	<p><b>GENERAL</b> Evaluar Influencia de la concentración de sacarosa y temperatura en la deshidratación osmótica de la oca (<i>Oxalis tuberosa</i>)</p> <p><b>ESPECÍFICOS</b> Determinar la influencia de la concentración de sacarosa y temperatura en la transferencia de masa como: pérdida de peso, pérdida de agua, ganancia de sólidos y humedad.</p> <p>Determinar el coeficiente de difusividad efectiva a través de la segunda ley de Fick.</p>	<p><b>GENERAL:</b> La concentración de sacarosa y temperatura influirán en la deshidratación osmótica de la oca (<i>Oxalis tuberosa</i>).</p> <p><b>ESPECÍFICOS:</b> La concentración de sacarosa y temperatura influirán en la pérdida de peso, pérdida de agua y ganancia de sólidos de la deshidratación osmótica de la oca (<i>Oxalis tuberosa</i>)</p>	<p><b>Variables Independientes</b> Temperatura (°C).</p>	Se refiere al Grado o nivel térmico de un cuerpo.	Temperatura	°C	Experimental	Lectura	Termómetro digital
			<p>Concentración de Sacarosa en °Brix</p>	Se refiere a la relación que hay entre la cantidad de soluto y la cantidad de disolvente	Concentración de sólidos solubles	°Brix	Experimental	Lectura	Refractómetro
			<p><b>Variables dependientes:</b> Parámetros de la transferencia de masa: pérdida de peso, pérdida de agua, ganancia de sólidos</p>	Se refiere a la pérdida de peso, pérdida de agua, humedad y ganancia de sólidos en la deshidratación osmótica de la oca	% de pérdida de peso, pérdida de agua, humedad y ganancia de sólidos	%	Experimental	Det. Directa  Por formulas.	
			<p>Coeficiente de difusividad efectiva</p>	Se refiere a la migración de agua por difusión en sólidos representada por la segunda ley de Fick, m <sup>2</sup> /s	Migración de agua por difusión de sólidos en m <sup>2</sup> /s	%	Experimental	Det. Directa  Por formulas.	

