

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



PUNO

PERU

2009

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL

**“EFECTOS DE LA DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA Y
DESHIDRATACIÓN CONVENCIONAL SOBRE LA
COMPOSICION QUIMICA DE LA OCA (*Oxalis tuberosa* Mol)
VARIEDAD “KEÑI”**

TESIS

PRESENTADO POR:

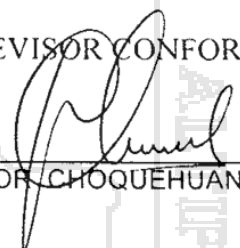
Bach. EDY FERNANDO TITO CARPIO

PARA OPTAR EL TÍTULO DE:

INGENIERO AGROINDUSTRIAL

APROBADO POR EL JURADO REVISOR CONFORMADO POR:

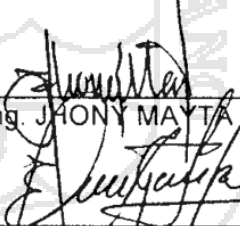
PRESIDENTE


Ing. M.Sc. F. VICTOR CHOQUEHUANCA CACERES

PRIMER MIEMBRO

Ing. EDUARDO MANZANEDA CABALA

SEGUNDO MIEMBRO


Ing. J. TONY MAYTA HANCCO

DIRECTOR DE TESIS


Ing. EDGAR GALLEGOS ROJAS

ASESOR DE TESIS

ING. M.Sc. WENCESLAO T. MEDINA ESPINOZA

PUNO

PERU

2009

Área: Ingeniería y tecnología
Tema: Propiedades físicas y estructurales

DEDICATORIA

**A Dios por darme vida
y salud para lograr uno
de mis objetivos trazados.**

**Con mucho cariño y eterna gratitud a
mis padres Percy Tito y Mercedes
Carpio, por darme la vida su afecto y
su ejemplo. Ustedes quienes siempre
confiaron, motivaron, perseveraron y
lucharon por mi futuro metas como
triumfos que hoy se hace realidad.**

**A mi querida hija Anais Ximena
que es mi alegría y razon de mi
vida. A Giovanita quien supo
estar ahí dandome aliento y su
apoyo incondicional para seguir adelante.**

**A mis hermanos Nilton, Alan,
Deyanira como tambien a mi cuñada
Martha y sobrinita Sheyli por su
apoyo incondicional y motivación
para mi superacion.**

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional del Altiplano de Puno, por habernos brindado una formación Profesional, a los docentes de la Facultad de Ciencias Agrarias, por los conocimientos y enseñanzas impartidas durante nuestra formación.

A mis asesores de Tesis ING. M.Sc. WENCESLAO T. MEDINA ESPINOZA, Ing. ING. EVA ADRIANA UGARTE LARICO quienes fueron los que me motivaron e incentivaron y apoyaron para la realización de este trabajo de investigación a quien expreso mis más sinceros agradecimientos

Como también a mi asesor de Tesis Ing. NILS L. HUAMAN CASTILLA gran amigo a quien expreso mi afectuoso agradecimiento por su inestimable, permanente e incondicional apoyo y orientación en la realización del trabajo de investigación.

A mis amigos que siempre me han acompañado y con los cuales he contado desde que los conocí en nuestra primera casa de estudios y digna Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial Herbert y Walter gracias por su apoyo incondicional

INDICE

	Pag.
Indice de tablas	
Indice de figuras	
Indice de cuadros	
Indice de anexos	
Indice de apéndices	
RESUMEN	1
CAPITULO I	
INTRODUCCION	2
CAPITULO II	
REVISION DE LITERATURA	4
2.1. Oca	4
2.1.1. Descripción	4
2.1.2. Clasificación taxonómica	4
2.1.3. Producción	4
2.2. Secado	5
2.2.1. Clasificación de las operaciones de secado	6
A) Parámetros del producto	7
2.2.2. Curvas de velocidad de secado	8
2.2.3. Mecanismos cinética del secado transferencia de mas y calor	11
2.3. Deshidratación osmótica	14
2.3.1. Osmosis	14
2.3.2. Deshidratación osmótica	15
2.3.3. Membrana semipermeable	17
2.3.4. Soluciones osmóticas	18
2.3.4.1. Funciones que ejerce la maltodextrina, glucosa, cloruro de sodio Como agentes osmodeshidratantes	20
2.3.5. Factores que influyen en la velocidad de osmodeshidratacion	21
2.4. Mecanismos básicos de transferencia de calor	23
a) Conducción	24
b) Convección	25
c) Radiación	26
2.5. Transferencia de masa	26
2.5.1 Difusión molecular	26
2.6. Actividad de agua (Aw)	27
2.7. Rehidratación	27
CAPITULO III	
MATERIALES Y METODO	28
3.1. Materiales	28
3.1.1 Materia prima	28
3.1.2 Materiales y equipos de laboratorio	28
3.2. Metodología	29
3.3. Métodos de análisis	33
A) Análisis químico proximal	33
B) Medio osmótica	36
C) Rendimiento de oca osmodeshidratada secado convencional	37
D) Análisis microbiológico	37
3.4. Análisis Estadístico	39

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN	43
4.1. Características de la oca	43
4.2. Evaluación del proceso de osmosis y curvas de secado en la etapa De osmodeshidratacion	44
4.3. Estadística tratamiento de osmodeshidratacion	57
4.4. Estadística tratamiento de secado en estufa	58
4.5. Evaluación de producto final	60
4.3.1. Análisis químico	60
4.3.2. Análisis microbiológico	61
CONCLUSIONES	63
RECOMENDACIONES	64
BIBLIOGRAFIA.	65
ANEXOS.	69
APENDICES.	81



INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Producción agrícola anual en miles de toneladas métricas de la oca.....	5
Tabla 2. Secuencia de datos a realizar en la deshidratación osmótica de la oca entre el tiempo y su respectivo peso.....	32
Tabla 3. Secuencia de datos que se utilizo en el secado convencional de la oca entre el tiempo y su respectivo peso.....	32
Tabla 4. Parámetros de concentración y tiempos.....	55

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Proceso de osmodeshidratacion en la célula de un producto frutihortícola.....	18
Figura 2. Diagrama de flujo de la deshidratación osmótica y secado convencional de la oca <i>Oxalis Tuberosa</i> Mol variedad keñi.....	30
Figura 3. Diagrama de flujo de la metodología y análisis estadístico.....	40

INDICE DE GRAFICOS

Grafico 1. Tipos de humedad.....	06
Grafico 2. Grafica de los datos como humedad libre en función al tiempo.....	10
Grafico 3. Curva de Velocidad de secado en función del contenido de humedad libre.....	10
Grafico 4. Modelo de curva de velocidad de secado para proceso de osmodeshidratacion.....	23
Grafico 5. Curva de velocidad de perdida de peso en oca, variedad Keñi Variación del peso en el tiempo deshidratación osmótica M1, M2, M3.....	46
Grafico 6. Tendencia de comportamiento de pérdida de peso en oca variedad keñi.....	47
Grafico 7. Curva de velocidad de deshidratación osmótica en oca variedad keñi 60% de maltodextrina.....	49
Grafico 8. Curva de velocidad de deshidratación osmótica variedad keñi (curva de secado M1).....	50
Grafico 9. Curva de velocidad de deshidratación osmótica variedad keñi (curva de secado M1).....	50

Grafico 10. Curva de velocidad de deshidratación osmótica variedad keñi (curva de secado M2).....	52
Grafico 11. Curva de velocidad de deshidratación osmótica variedad keñi (curva de secado M2).....	52
Grafico 12. Curva de velocidad de deshidratación osmótica variedad keñi (curva de secado M3).....	53
Grafico 13. Curva de velocidad de deshidratación osmótica variedad keñi (curva de secado M3).....	53
Grafico 14. Curva de velocidad de deshidratación osmótica variedad keñi (curva de secado).....	54
Grafico 15. Curva de velocidad de deshidratación osmótica variedad keñi (curva de velocidad de secado).....	55

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Estructura del diseño experimental de la determinación de la humedad.....	41
Cuadro 2. Estructura del diseño experimental de la determinación del tiempo de secado.....	41
Cuadro 3. Valores fisicoquímicos de la oca (oxalis tuberosa Mo1) variedad keñi.....	43
Cuadro 4. Resultados de análisis bacteriológicos en oca variedad keñi.....	44
Cuadro 5. Promedio de datos deshidratación osmótica en oca variedad keñi.....	45
Cuadro 6. Prueba multiple experimental de duncan osmodeshidratacion	58
Cuadro 7. ANVA (Metodos de deshidratación osmótica M1, M2 y M3).....	58
Cuadro 8. Prueba multiple experimental de Duncan secado convencional.....	59
Cuadro 9. ANVA (Tiempos de secado entre métodos M1, M2 y M3).....	60
Cuadro 10. Resultados del Análisis Físico Químicas de la oca	60
Cuadro 11. Análisis microbiológico de oca sin osmodeshidratar y oca osmodeshidratada.....	61
Cuadro 12. Frutas y hortalizas desecadas, deshidratadas o liofilizadas.....	62

INDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Composición química de especies pertenecientes al banco de germoplasma del INIAP.....	69
Anexo 2. Tamaño y forma de los gránulos de almidón.....	70
Anexo 3. Certificado análisis bromatológico de la oca.....	71
Anexo 4. Certificado análisis microbiológico de la oca.....	72

Anexo 5. Certificado análisis bromatológico del producto osmodeshidratado.....	73
Anexo 6. Certificado análisis microbiológico del producto osmodeshidratado.....	74
Anexo 7. Determinación de azúcares reductores del producto final.....	75
Anexo 8. Certificado determinación de de ácido oxálico del producto final.....	76
Anexo 9. Imágenes de la metodología de osmodeshidratación en oca.....	77
Anexo 10. Esquema de metodología McFarland	78
Anexo 11. Balance de masa.....	79

INDICE DE APÉNDICE

Apéndice 1. Gráficos experimentales obtenidos para la determinación de curvas de pérdida de peso en el tiempo “tratamiento de osmosis”.....	81
Apéndice 2. Gráfico experimentales obtenidos para la determinación de curvas de velocidad de osmodeshidratación en oca.....	82
Apéndice 3. Se muestra los datos para el procesamiento de las curvas de osmodeshidratación tratamientos M1, M2, M3.....	84
Apéndice 4. Gráficos experimentales obtenidos para la determinación de curvas de secado para velocidad decreciente.....	86
Apéndice 5. Datos obtenidos para la determinación de curvas de secado M1.....	87
Apéndice 6. Datos obtenidos para la determinación de curvas de secado M2.....	89
Apéndice 7. Datos obtenidos para la determinación de curvas de secado M3.....	90
Apéndice 8. Gráficos experimentales obtenidos para la determinación de curvas de secado sin proceso de osmodeshidratación.....	91
Apéndice 9. A continuación los datos para la determinación de curvas de secado sin tratamiento de osmosis (se muestra 60 datos de 72) ojo	92
Apéndice 10. Cálculo para el tiempo de secado.....	93
Apéndice 11. ANVA (Métodos de Deshidratación Osmótica M1, M2, M3).....	97
Apéndice 12. ANVA (Tiempo de secado entre métodos M1, M2, M3).....	97

RESUMEN

La determinación de los efectos de la deshidratación osmótica y deshidratación convencional sobre la composición química de la oca (*oxalis tuberosa Mol*) variedad “keñi”, se llevó a cabo en la Universidad Nacional del Altiplano - Puno, ubicada a 3820 m.s.n.m., tuvo como objetivos evaluar los parámetros de concentración y el tiempo para el procesamiento de la oca por osmosis y su efecto en los cambios fisicoquímicos y microbiológicos que ocurren en la osmodeshidratación y el secado por el método convencional. Se utilizó tres tratamientos para la osmodeshidratación los cuales fueron: muestra M1 (60% de maltodextrina), M2 (45% de maltodextrina y 15% de NaCl), M3 (40% maltodextrina y 25% de NaCl), luego se realizó el secado convencional a 60° C para poder realizar las curvas de velocidad de secado, los análisis físico químicos y microbiológicos correspondientes. Los resultados de deshidratación osmótica como de deshidratación convencional demuestran que la deshidratación osmótica en oca es mucho mejor que la convencional, en cuanto a contenido de humedad y tiempos de secado, así como mejora otros aspectos fisicoquímicos, microbiológico, en este caso la oca en la osmodeshidratación tuvo como mejor tratamiento a la muestra M3 con 15,6 horas y humedad de 12,7% en el proceso de osmosis combinado con secado convencional. Dichas evaluaciones mostraron buenos cambios tanto fisicoquímicos mejorando su concentración de proteínas y contenido de azúcares reductores. Los tratamientos M1 Y M2 no fueron óptimos debido a la baja fuerza iónica que presentaban en su concentración haciendo que los parámetros de tiempo de secado fueron prolongados y exponían a la materia orgánica, las características físico químicas del producto osmodeshidratado, es superior a la materia prima original de igual manera los análisis microbiológicos fueron óptimos.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Los conocimientos tradicionales, los usos y la amplia diversidad de cultivos andinos significa una fuente importante de ingresos que debe ser sistematizada e incentivada a través de acciones que contribuyan a una mayor sensibilización, mayor conocimiento y a un mejor uso y conservación sostenible de este potencial. En la actualidad los agricultores son poseedores de una alta gama de cultivos tradicionales en comparación con otras regiones de Latino América, por lo que representa un microcentro de la biodiversidad de tubérculos y raíces andinas.

La "oca" (*Oxalis tuberosa* Mol) es originaria del Altiplano Peruano. Crece en ambientes templado-fríos, entre los 3000 y 4000 m.s.n.m. 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 de la región Puno. Por todas estas razones es el tubérculo que mas se cultiva después de la papa.

Con el trabajo de investigación, se quiere dar a conocer aspectos importantes en el proceso de secado por osmosis y convencional en oca. Los problemas de calidad del producto final, como rajaduras y agrietamientos, se originan en buena parte desde el procedimiento empleado para el proceso de secado. Conocer los tiempos de duración del secado y su contenido de humedad son aspectos fundamentales en la cadena productiva del sector. Tradicionalmente los productores de oca no han dado la importancia al proceso de secado. El secado es considerado como un proceso natural, pero se debe saber como eliminar el agua dentro del producto. El contenido de humedad en la oca determina las propiedades físico-mecánicas así como sus aplicaciones. Además el contenido de humedad varía de acuerdo al método de secado empleado.

Haciendo las recomendaciones pertinentes del porque cada proceso y método empleado que contribuyan a su optimización con el conocimiento de variables, temperatura y humedad relativa se puede proyectar el tiempo que tardara el secado,

permitiendo al sector agroindustrial tener disponibilidad de materia para una entrega oportuna y en una muy buena calidad física y organoléptica como producto terminado.

Por tales consideraciones el objetivo general del presente trabajo de investigación fue:

OBJETIVO GENERAL

- Evaluar el efecto de la deshidratación osmótica y secado convencional sobre la composición química en oca (*Oxalis tuberosa* Mol) variedad “keñi”

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar los parámetros de concentración y el tiempo para el procesamiento de la oca por osmosis.
- Conocer los cambios fisicoquímicos y microbiológicos que ocurren en la osmodeshidratación y el secado por el método convencional.

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 OCA

2.1.1 DESCRIPCIÓN.

Es una planta herbácea y anual, posee tallos cilíndricos y suculentos los cuales brotan de la base de la planta, presentando entrenudos más cortos en la parte inferior. Estos tubérculos presentan diferentes aspectos, pudiendo ser elipsoidales, cilíndricos, claviformes, etc. y presentan variedad de colores. Es original del altiplano peruano, es un tubérculo de agradable sabor y alto contenido calórico, que es muy preferido por los pobladores andinos. (Pomar y Gerardo, 1998)

2.1.2 CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA:

➤ Orden	:	Geraniales
➤ Sub orden	:	Geraniaceas
➤ Familia	:	Oxalidaceae
➤ Género	:	Oxalis
➤ Nombre Común	:	oca
➤ Nombre científico	:	<i>Oxalis Tuberosa</i> Mol.

Fuente: (Repo C., 1993)

2.1.3 PRODUCCION.

Se observa en el Tabla N° 1 la variación de producción agrícola de oca en toneladas métricas, que en los años de 1990 a 1994 la producción es ascendente pero como también en algunos años disminuye por diferentes factores, pero entre los años de 1995 a 2006 se observa la ascendencia de la producción que va en aumento en cada año, entonces a partir del 2007 y 2008 se observa una pequeña disminución en el incremento de la oca en Puno.

Tabla N° 1: Producción agrícola anual en miles de toneladas métricas de la oca

AÑOS	EN MILES DE TONELADAS MÉTRICAS
1990	31.30
1991	61.80
1992	35.40
1993	51.40
1994	59.59
1995	63.49
1996	73.60
1997	81.60
1998	101.64
1999	104.46
2000	122.37
2001	119.63
2002	125.05
2003	116.34
2006	103.049
2007	95.476
2008	25.000

Fuente: (Ministerio de Agricultura Dpto. de estadística e informática, 2008)

2.2 SECADO.

El secado es la reducción de la cantidad de agua que tiene un sólido tanto en superficie como en su interior. En todos los sectores, los procesos de secado tienen gran importancia ya sea para mejorar la calidad de un producto final o bien para reducir la cantidad de un residuo. En determinados casos, la reducción de humedad permite la valorización energética. (Cruz y Diop, 1990)

Entendemos por “secado” la disminución de la humedad de un sólido húmedo mediante un procedimiento térmico. A veces el concepto de secado se extiende a la eliminación de agua mediante procedimientos mecánicos (prensado, filtrado, centrifugado, etc.), sin embargo en este caso es preferible denominar al proceso como deshidratación de alimentos. (Cruz y Diop, 1990)

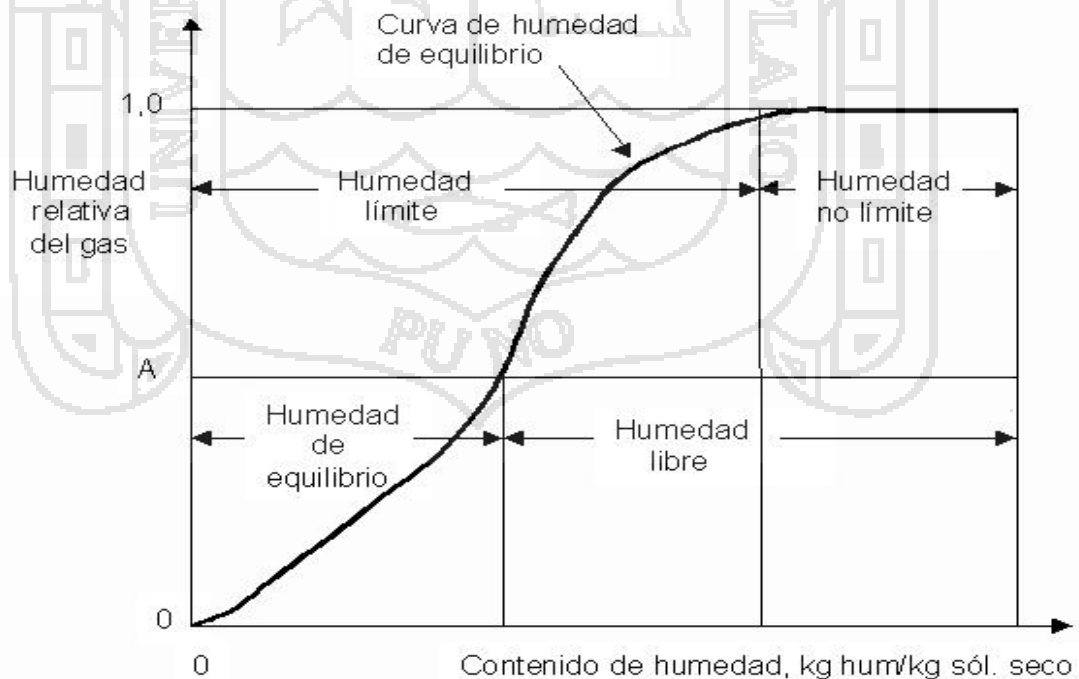
a) Utilidades: El secado de los alimentos es uno de los métodos más antiguos utilizados para su conservación, ya que al reducirse el contenido de agua en un alimento:

- ☞ Se reduce la posibilidad de su deterioro biológico, y se reducen otros mecanismos de deterioro.
- ☞ Se reduce su peso y volumen, aumentando la eficacia de los procesos de transporte y almacenaje.

2.2.1 CLASIFICACIÓN DE LA OPERACIÓN DE SECADO.

De modo general se pueden clasificar las operaciones de secado en continuas y discontinuas. En las operaciones continuas pasan continuamente a través del equipo tanto la sustancia a secar como el gas. La operación discontinua en la práctica se refiere generalmente a un proceso semicontinuo, en el que se expone una cierta cantidad de sustancia a secar a una corriente de gas que fluye continuamente en la que se evapora la humedad. (Treybal, 1965)

Grafico 1. Tipos de humedades



A) PARÁMETROS DEL PRODUCTO

A.1) Humedad inicial

El contenido de humedad, es decir la cantidad de agua evaporable existente en un producto, se expresa con relación a su masa total o a su masa seca (esto es la masa que se obtiene descontando la masa de agua evaporable que contiene). En los cálculos de secado se emplean una como otra definición para expresar el contenido de humedad. (Perry y Chilton, 1981)

A.2) Humedad de equilibrio

En la desecación de sólidos es importante distinguir los materiales higroscópicos de los no higroscópicos. Un material higroscópico absorbe y retiene un porcentaje concreto de humedad en determinadas condiciones de humedad del aire. La humedad así retenida se llama contenido de humedad de equilibrio, porque se encuentra en estado de equilibrio con el vapor de agua del aire que lo rodea. El contenido de humedad de equilibrio de un sólido tiene una importancia especial en la desecación, porque representa un contenido de humedad límite para condiciones dadas de humedad y temperatura del aire. (Perry y Chilton, 1981)

A.3) Humedad libre

La humedad libre de un sólido, con respecto al aire en condiciones determinadas es la diferencia entre la humedad del sólido y la humedad de equilibrio con el aire en las condiciones dadas. Es decir es la humedad que puede perder el sólido después de un contacto suficientemente prolongado con aire en condiciones dadas y constantes, y depende tanto de la humedad del sólido como de la humedad relativa del aire. (Perry y Chilton, 1981).

A.4) Humedad crítica

Es el contenido de humedad que tiene el producto a secarse en el momento en que hay una transición en la velocidad de secado, es decir

del momento de secado a velocidad constante pasa a velocidad decreciente. El punto en el cual termina la intensidad constante y empieza a disminuir la intensidad de la desecación se llama contenido crítico de humedad. (Perry y Chilton, 1981)

2.2.2 CURVA DE VELOCIDAD DE SECADO:

La cinética de secado de un material no es más que la dependencia de la humedad del material y de la intensidad de evaporación con el tiempo o variables relacionadas con este, como la propia humedad o las dimensiones del equipo.

La intensidad de evaporación se determina a través de la velocidad de secado, que es el cambio de humedad (base seca) en el tiempo.

A partir de las curvas de cinética de secado (x vs t , dx/dt vs x), que deben ser obtenidas a nivel de laboratorio, puede tenerse una idea del tiempo de secado, del consumo de energía, del mecanismo de migración de humedad, de las condiciones predominantes en la transferencia de calor y masa y de la influencia que tienen en la velocidad de secado las variables del proceso tales como: temperatura, humedad de entrada, velocidad del aire, etc.

Los datos que se obtienen de un experimento de secado por lotes generalmente se expresan como peso total W del sólido húmedo (sólido seco más humedad) a diferentes tiempos de t horas en el periodo de secado. Estos valores pueden convertirse a datos de velocidad de secado con los siguientes procedimientos.

Primero se recalculan los datos. Si W es el peso del sólido húmedo en Kg. totales de agua más sólido seco y W_s es el peso del sólido seco en kg.

$$X_t = \frac{W - W_s}{W_s} \frac{\text{kg totales de agua}}{\text{kg sólido seco}} \left[\frac{\text{lb totales de agua}}{\text{lb sólido seco}} \right] \quad (\text{Ec.1})$$

Después de haber establecido las condiciones de secado constante, se determina el contenido de humedad de equilibrio, X^* Kg. humedad de equilibrio/Kg. de sólido seco. Con esto se procede a calcular el valor del contenido de humedad libre X en Kg. de agua libre/Kg. de sólido seco para cada valor de X_t .

$$X = X_t - X^* \quad (\text{Ec.2})$$

Usando los datos calculados con la (Ec2), se traza una gráfica del contenido de humedad libre X en función del tiempo t en hr, tal como se muestra en la figura. Para obtener una curva de velocidad de secado a partir de esta gráfica, se miden las pendientes de las tangentes de la curva, lo cual proporciona valores de dx/dt para ciertos valores de t .

Se calcula entonces, la velocidad R para cada punto.

$$R = \frac{-L_s dX}{A dt} \quad (\text{Ec.3})$$

Donde:

R es la velocidad de secado en Kg. $H_2O/hr. m^2$

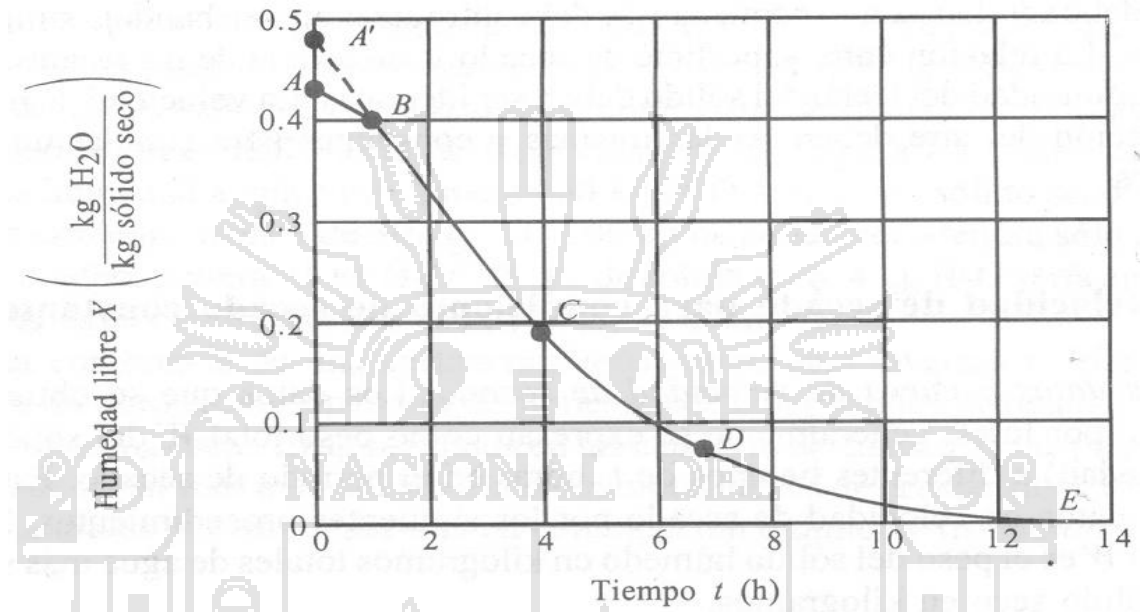
L_s es Kg. de sólido seco usado, y

A es el área superficial expuesta al secado en m^2 .

Curva típica de Velocidad de secado para condiciones de secado constante:

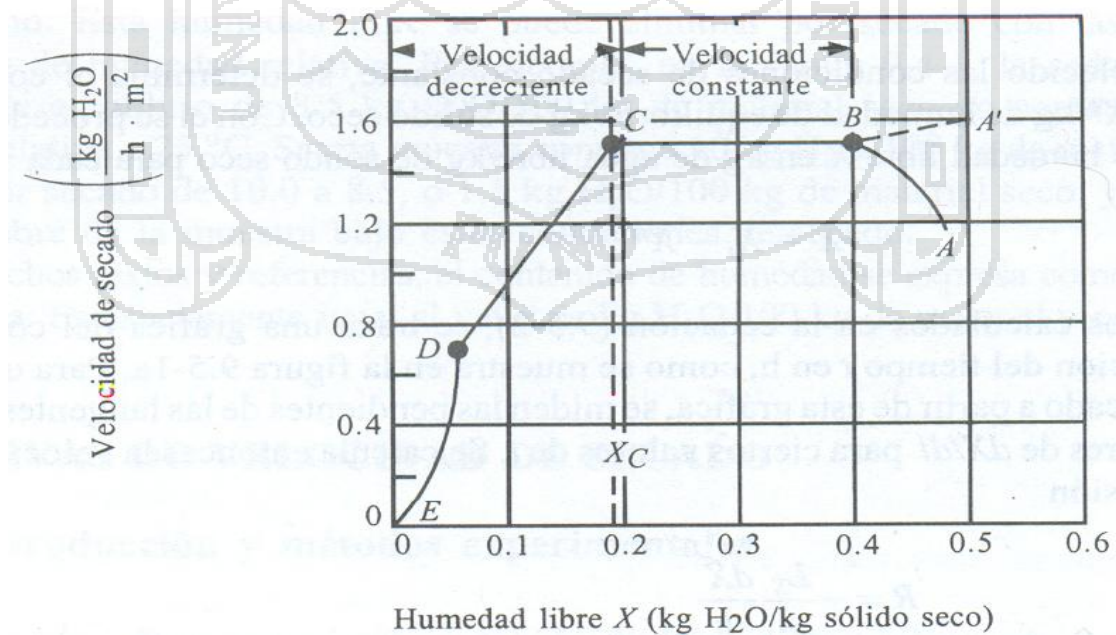
En la Grafico 2, se muestra la curva de velocidad de secado para condiciones de secado constante.

Gráfico .2 Gráfica de los datos como humedad libre en función del tiempo



Fuente: (Geankoplis, 1998)

Gráfico 3 Curva de velocidad de secado en función del contenido de humedad libre.



Fuente: (Geankoplis, 1998)

Empezando con un tiempo cero, el contenido inicial de humedad libre corresponde al punto A. Al principio, el sólido suele estar a una temperatura inferior a la que tendrá al final. Y la velocidad de evaporación irá en aumento. Al llegar al punto B, la temperatura de la superficie alcanza su valor de equilibrio. Por otra parte si el sólido está bastante caliente al principiar la operación, la velocidad de secado puede iniciarse en un punto A'. Este periodo inicial de ajuste con estado inestable suele ser bastante corto y generalmente se ignora en el análisis de los tiempos de secado.

La curva de la Grafico 3 es recta entre los puntos B y C, por lo que la pendiente y la velocidad son constantes durante este periodo. Este periodo de velocidad constante de secado corresponde a la línea BC en la Grafico 3.

En el punto C: de ambas gráficas, la velocidad de secado comienza a disminuir durante el periodo de velocidad decreciente, hasta llegar punto D. En este primer periodo de velocidad decreciente, la velocidad corresponde a la línea CD en la Grafico 3. Y por lo general, es lineal.

En el punto D la velocidad de secado disminuye con más rapidez aún, hasta que llega al punto E, donde el contenido de humedad de equilibrio es X^* , y $X = X^* - X^* = 0$. En el secado de algunos materiales, la región CD puede no existir o bien constituir la totalidad del periodo de velocidad decreciente. (Geankoplis, 1998)

2.2.3 MECANISMOS Y CINÉTICA DE SECADO. TRANSFERENCIA DE MASA Y CALOR.

Un elemento fundamental en el proceso de secado es el estudio de la intensidad de la transferencia de masa en el mismo. Para esto es necesario conocer los elementos más útiles de la transferencia de calor y masa que funcionen en los secaderos de contacto directo.

Según (Madariaga ,1995), esta depende de una serie de factores que van desde condiciones internas a externas.

2.2.3.1. LAS CONDICIONES EXTERNAS

Están definidas por la resistencia a la transferencia de calor y de masa de la capa límite del gas, y en el caso que predominen, el secado no dependerá de las características del sólido sino de las condiciones del gas, y estará controlado por la transferencia de masa y calor entre el gas y la superficie del sólido, empleándose en la evaporación todo el calor que se recibe del gas, la cual se comporta como una superficie libre de agua.

2.2.3.2. LAS CONDICIONES INTERNAS

Están definidas, por la transferencia de calor y de masa a través del sólido. En el caso que predominen, es decir, que la resistencia a la transferencia de masa a través del material sea muy superior a la de la capa límite del gas, la difusión interna controlará el proceso y lo más importante será las propiedades del sólido.

Cuando se seca un sólido se producen dos procesos fundamentales y simultáneos:

- Transmisión del calor para evaporar el líquido.
- Transferencia de masa en humedad interna y líquido evaporado.

Independientemente del mecanismo de transmisión de calor el cual puede ser por conducción, convección, radiación o una combinación de cualquiera de estos, el calor tiene que pasar primero a la superficie exterior y desde estar al interior del sólido. Excepto el secado por electricidad de alta frecuencia, que genera el calor intercambiante, esto conduce a la circulación de calor desde el interior hasta la superficie exterior (Menon and Mujundar, 1992), (Treybal, 1965), (Perry J. H. 1986). También se ha reportado otro tipo de secado llamado secado por sublimación.

En el secado por convección el calor necesario para la evaporación del líquido se transmite por un agente gaseoso o un vapor que pasa por encima del sólido o lo atraviesa.

En el secado por conducción el producto que debe secarse se encuentra en recipientes calentado o se desplaza por encima de estos. El calor también se difunde en el sólido a través de la conductividad del propio sólido. (Chemical. Eng, 1980)

En el secado por radiación el calor se transmite por las superficies radiantes próximas.

En el secado dieléctrico la energía es generada en el interior del propio material mediante un campo electromagnético de alta frecuencia en la zona de microondas. (De La Peña Vilar ,1994)

También se reporta en la literatura el secado por sublimación, denominando así al secado en estado de congelación al vacío profundo. Según el método de transmisión del calor este procedimiento es análogo al secado por conducción pero debido a sus peculiaridades el secado por sublimación se destaca como un grupo especial. (Kasatkin, 1985)

2.2.3.3. MOVIMIENTO DE LA HUMEDAD DENTRO DEL SÓLIDO.

Cuando se produce la evaporación superficial, debe haber un movimiento de humedad desde las profundidades del sólido hacia la superficie.

La naturaleza del movimiento influye en el secado en los períodos de caída del régimen. (Menon & Mujundar, 1992)

A continuación se explicarán brevemente algunas de las teorías que se adelantaron para explicar el movimiento de la humedad y la relación de ésta con las curvas de régimen.

- a) **Difusión líquida:** Se puede producir la difusión de la humedad líquida debido a los gradientes de concentración entre las profundidades del sólido, donde la concentración es alta y la superficie donde ésta es baja. (Treybal, 1965).

- b) **Movimiento capilar:** La humedad no límite en sólidos granulares y porosos tales como arcillas, pigmentos de pinturas y otros semejantes, se traslada a través de capilares e intersticios de los sólidos mediante un mecanismo que implica tensión superficial. Los capilares se extienden desde pequeños receptáculos de humedad dentro del sólido hasta la superficie de secado. A medida que se lleva a cabo el secado, al principio la humedad se traslada por capilaridad hacia la superficie con suficiente rapidez, siendo constante el régimen de secado.
- c) **Difusión de vapor:** Especialmente si se suministra calor a una superficie de un sólido mientras en otra el secado continua, se puede evaporar la humedad debajo de la superficie, difundiéndola hacia afuera como vapor. También se puede evaporar debajo de la superficie, las partículas de humedad existentes en sólidos granulares en forma aislada de la porción mayor de humedad que fluye a través de los capilares.
- d) **Presión:** Durante el secado debido a la concentración de las capas externas de un sólido, se puede compeler la humedad hacia la superficie. Usualmente solo podemos conjeturar sobre cual de los mecanismos es el apropiado para cada sólido en particular, debiendo apoyarnos en el trabajo más o menos empírico de los regímenes experimentales de secado.

2.3 DESHIDRATACION OSMOTICA

La deshidratación osmótica, como tratamiento preliminar a la conservación de alimentos por calor, permite trabajar con temperaturas de proceso no tan altas, disminuir el consumo de energía, aumentar la velocidad de proceso, así como modificar la estructura y características sensoriales del producto. Todo lo anterior es resultado de la disminución del contenido de agua. Por otro lado, al reducir el contenido de agua se reduce también el volumen del producto, el volumen del empaque. (Lenart y Flink, 1994).

2.3.1 ÓSMOSIS

La ósmosis puede ser definida como el transporte de un disolvente a través de una membrana semipermeable, que separa dos soluciones de diferente

concentración. La dirección de la corriente es siempre desde la solución más diluida (generalmente el disolvente puro) hacia la más concentrada.

El fenómeno de ósmosis se presenta cuando una solución esta separada de su solvente por una membrana semipermeable. La ósmosis es la difusión de solvente a través de la membrana desde la parte de menor a la de mayor concentración. Las membranas biológicas tienen permeabilidades distintas y se dice que son semipermeables, es decir que son permeables para las moléculas del solvente o pequeñas moléculas, pero no permiten el paso libre todas las moléculas disueltas, pues la ósmosis tiende a igualar las concentraciones de las soluciones en ambos lados de una membrana. El resultado final es la extracción de agua pura del medio ambiente. (Fito y Chiralt, 1995)

El fenómeno de ósmosis está sujeto a las siguientes leyes definidas: (Fito y Chiralt, 1995)

- a.- Para que el fenómeno de ósmosis tenga lugar, precisa de interposición de una membrana semipermeable.
- b.- Precisa que dicha membrana semipermeable sea mojada, o mejor dicho que se deje inhibir por los líquidos que constituyen el solvente.
- c.- Es indispensable que los líquidos que separa la membrana sean miscibles el uno en el otro.

Si un elemento anatómico se halla sumergido en el agua (medio hipotónico) éste pasará a hinchar la célula. Si por el contrario, se sumerge en un medio fuertemente concentrado (medio hipertónico) entonces el agua, la que sale del alimento y este se corruga y deseca. Finalmente, la introducción en un medio de igual concentración molecular (medio isotónico), no gana ni pierde agua. (Fito y Chiralt, 1995)

2.3.2 DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA

La deshidratación osmótica (D.O) consiste en la inmersión de un alimento en una solución de actividad de agua (A_w) inferior a la suya, lo que establece

un flujo de agua desde el alimento a la solución y un flujo de soluto en sentido contrario. (Adambounou y Castaigne , 1990)

La deshidratación osmótica (DO) ha cobrado gran interés debido a las bajas temperaturas de operación usadas (20-50 °C), como también el proceso de ósmosis se puede realizar a temperatura ambiente lo cual evita el daño de productos termolábiles, además de reducir los costos de energía para el proceso. El proceso de ósmosis 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. La idea es obtener tecnologías relativamente sencillas con bajos montos de inversión y adecuadas a nuestras condiciones socioeconómicas. (Raoult y Wack, 1994).

La reducción del contenido de agua de alimentos es uno de los métodos comúnmente empleados para su preservación. Se han identificado dos etapas en este proceso:

En la primera, 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. Dado el fenómeno de inclusión de solutos, se presenta como un método alternativo de formulación de productos. En trabajos recientes se ha encontrado que este proceso permite modificar la composición del producto y, como consecuencia, mejorar sus propiedades nutricionales, sensoriales y funcionales. Otra aplicación consiste en aumentar la estabilidad durante el almacenamiento e incluso modificar el contenido de sólidos al final de este proceso. Dentro de ciertos límites, por ejemplo usando soluciones de glucosa, maltodextrina y sal como soluciones osmóticas, se puede incrementar el nivel de deshidratación y disminuir la impregnación de sal en hongos, en un proceso de deshidratación osmótica realizado en dos etapas. (Genina, 2002).

La deshidratación Osmótica es una técnica que aplicada a productos frutihortícolas permite reducir su contenido de humedad (hasta un 50-60%

en base húmeda) e incrementar el contenido de sólidos solubles. Si bien el producto obtenido no es estable para su conservación, su composición química permite obtener, después de un secado con aire caliente o una congelación, un producto final. (Spiazzi y Mascheroni ,1999)

El fenómeno de deshidratación osmótica se ha tratado de explicar a partir de los conceptos fundamentales de transferencia de masa al establecer el origen de las fuerzas impulsoras difusivas involucradas. El mecanismo de impregnación se considera que es un producto de casi saturación de las capas exteriores o superficiales; la mayoría de las explicaciones y el modelado y cálculo de los parámetros que los describen han sido calculados a partir de la segunda ley de Fick. (Genina, 2002).

La ecuación 4. Muestra la segunda ley de Fick para la difusión molecular (GeanKoplis, 1998):

$$\frac{dc}{dt} = D \frac{d^2c}{dx^2} \quad (\text{Ec.4})$$

Donde:

$\frac{dc}{dt}$ = Derivada parcial de la concentración con respecto al tiempo

$\frac{d^2c}{dx^2}$ = Doble derivada parcial de la concentración con respecto a la dirección x

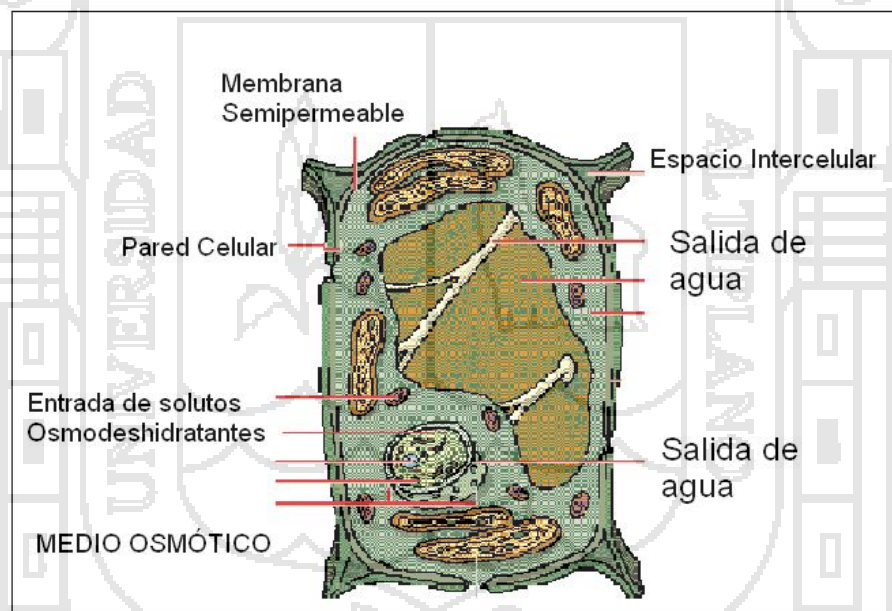
D = Difusividad ($\text{m}^2 \times \text{s}^{-1}$)

2.3.3 MEMBRANA SEMIPERMEABLE

Una membrana semipermeable es cualquier membrana, animal, vegetal, o sintética en la que el agua puede penetrar y traspasar con mucha facilidad que los otros componentes que se encuentran en solución en la misma. (Lenart y Flink ,1994)

En la figura 1, se muestra a la célula del alimento en un medio osmótico, donde se observa el flujo de los solutos osmodeshidratantes hacia la pared celular del alimento y la salida de agua hacia la solución osmótica. Los dos flujos que se consideran al modelar la deshidratación osmótica. Se considera que la membrana celular es semipermeable, con lo que sólo es posible transferencia de agua y de sales y azúcares naturales (fructosa, glucosa, maltodextrina) a través de ella hacia el espacio extracelular. Una vez que el agua y los constituyentes naturales alcanzan los espacios extracelulares, se transfieren hacia la solución osmótica. A su vez, los solutos de la solución osmótica se transfieren hacia el producto mediante un mecanismo semejante pero de dirección opuesta. (Spiazzi y Mascheroni, 1999)

Figura 1. Proceso de Osmosis en la célula de un producto frutihortícola



Fuente: Spiazzi y Mascheroni (1999)

2.3.4 SOLUCIONES OSMÓTICAS

A) SOLUCIÓN HIPERTÓNICA

El medio más concentrado se denomina hipertónico, el menos concentrado hipotónico, y si las concentraciones son iguales, isotónicos. (Andreotti y Palmas, 1995).

B) PROPIEDAD DE LAS SOLUCIONES HIPERTONICAS

Una propiedad destacable de una solución es su capacidad para ejercer una presión osmótica. Si se separa dos soluciones de concentraciones diferentes por una membrana semipermeable (una membrana que permite el paso de las moléculas del solvente, pero impide el paso de las del soluto), las moléculas del solvente pasarán de la solución menos concentrada a la solución de mayor concentración, haciendo a esta última más diluida. (Horton, 1998)

C) SOLUTOS EMPLEADOS EN DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA

C.1) GLUCOSA

La glucosa es la base de los carbohidratos por lo tanto es un azúcar, un polvo fino blanco de olor y sabor característicos. Los jarabes de glucosa en polvo son obtenidos por el proceso de secado por aspersion del jarabe de glucosa, obteniéndose un polvo blanco y soluble el cual puede ser manejado más convenientemente que un jarabe viscoso. Los sólidos de jarabe de maíz se utilizan en diversas aplicaciones en alimentos, en donde no es posible utilizar los jarabes de maíz debido a las condiciones de proceso. Se utilizan en la industria alimenticia por sus propiedades de proveedor de cuerpo, control de sabor dulce, etc. Son utilizados en helados y helados en polvo, mermeladas y jaleas, pasteles, rellenos de galletas, etc. (Geankoplis, 1998)

C.2) CLORURO DE SODIO

Ese es el nombre químico de la conocida sal de mesa o la que se utiliza en la cocina. La sal fue el aditivo más antiguo y más utilizado de todos los tiempos, desde hace más de 5000 años se usaba para curar y conservar carnes y pescados. Su efecto conservante se debe al fuerte poder deshidratante que tiene sobre los tejidos y sus células: la deshidratación no permite que se desarrollen los microorganismos responsables de la putrefacción. Estos microorganismos necesitan de una

cierta cantidad de agua, de una concentración de ácidos y de una temperatura y tiempo determinado para crecer favorablemente. El agregado de sal modifica el medio que ellos pueden utilizar y por esa causa no prosperan y su crecimiento se inhibe: este proceso es muy conveniente para conservar un alimento por largo tiempo. (Who/ Fao, 1998)

C.3) MALTODEXTRINA

La maltodextrina pertenece al grupo de los oligosacáridos parte de los carbohidratos por lo mismo es un azúcar, cuando se combinan entre tres y nueve unidades de azúcar. Las maltodextrinas contienen hasta nueve unidades de glucosa, son producidas para su uso comercial y se obtienen a partir de una hidrólisis parcial (descomposición) del almidón. Son menos dulces que los monosacáridos o los disacáridos. Es un polvo fino blanco de olor y sabor característicos. Es el resultado de la hidrólisis enzimático de suspensiones de almidón de maíz previamente gelatinizado. Las maltodextrinas se utilizan en diversas aplicaciones en alimentos, principalmente como agentes de relleno, acarreadores y controladores de sabor dulce. (Who/Fao, 1998)

Se pueden utilizar para, reducir la pérdida de volumen en producto almacenado ó en tránsito, absorber grasas y aceites para mantener las propiedades de libre flujo, estandarizar la calidad de productos naturales (especies, sabores), diluir ingredientes de alto valor (sabores, intensificadores de sabor), etc. La maltodextrina es un ingrediente que puede utilizarse como proveedor de cuerpo, controlador de higroscopicidad, agente de secado, agente de control de sabor dulce, etc. (Who/Fao, 1998)

2.3.4.1 FUNCIÓN QUE EJERCE LA MALTODEXTRINA, GLUCOSA Y CLORURO DE SODIO COMO AGENTES OSMÓTICOS:

El agua se separa de los microorganismos poniéndolos en soluciones que contengan grandes cantidades de soluto disuelto, como azúcar o sal. Las células pierden agua, en estas condiciones, se detienen sus procesos vitales. En efecto, el fenómeno de la ósmosis permite extraer el agua del interior de las células con lo que se prolonga la conservación de los alimentos. (Horton, 1998)

La maltodextrina y la glucosa son azúcares y mezclados con el cloruro de sodio que es sal, diluidos en agua destilada forman soluciones hipertónicas, una propiedad destacable de estas soluciones por su capacidad para ejercer una presión osmótica. Al poner al alimento en soluciones que contengan cloruro de sodio o sal, maltodextrina y glucosa los tres solutos conocidos como agentes de secado, el producto sufre un choque osmótico brutal, el medio externo a las células del alimento es fuertemente hipertónico (más concentrado que el interior celular), por lo que el agua fuga rápidamente, el agua "huye" constantemente de su cuerpo a través de la membrana semipermeable de las células del alimento, hacia la mayor concentración del exterior que contiene concentraciones de sales y azúcares como son el cloruro de sodio con la glucosa y el cloruro de sodio con la maltodextrina. Además el uso de las concentraciones de estos solutos favorece la inhibición del pardeamiento enzimático en el producto (Horton, 1998)

2.3.5. FACTORES QUE INFLUYEN EN LA VELOCIDAD DE OSMODESHIDRATACION.

La reducción del peso del alimento sumergido en la solución o jarabe concentrado durante un tiempo determinado, puede ser tomada como indicador de la velocidad de deshidratación. La velocidad de pérdida de peso de un determinado alimento sucede inicialmente de manera mas acelerada con un

progresivo retardo a medida que avanza el tiempo de contacto con el medio osmótico. (Andreotti y Palmas, 1995)

Los factores que dependen del alimento son: la permeabilidad y características estructurales de las paredes o membranas celulares: la cantidad de superficie que se ponga en contacto con el jarabe y la composición de los jugos interiores de la pulpa. Los trozos de piña sumergidos en jarabe pierden mayor cantidad de agua que las rodajas de banano en el mismo tiempo, debido a la estructura más "apretada" y la mayor cantidad de almidones que posee el banano. De manera análoga, perderán agua más rápido los trozos de piña en forma de cubos de dos centímetros, que las rodajas de 10 cm de diámetro. Esto es debido a la mayor superficie específica expuesta al jarabe que tiene la forma de cubos. (Andreotti y Palmas, 1995)

La concentración del jarabe influye directamente sobre la velocidad, porque al mantener una alta diferencia de concentraciones a lado de la membrana, se incrementa más la presión osmótica, favoreciendo un rápido flujo de agua a través de la membrana en busca del equilibrio. (Lerici, 1997)

Otros factores que influyen en la velocidad de deshidratación están, los relacionados con las condiciones del sistema alimento: jarabe. Estos factores son la temperatura y la agitación. El aumento de la temperatura del sistema va a producir cambios en la permeabilidad de la pared celular y en la fluidez del jarabe. El aumento de la permeabilidad produce una mayor velocidad de deshidratación, debido a la mayor movilidad de las moléculas y a la pérdida de la selectividad de la membrana, la cual permite un mayor intercambio de agua que sale de la fruta, pero también un mayor ingreso de solutos o componentes del jarabe. La agitación periódica al sistema también produce un importante aumento en la velocidad de deshidratación. A medida que avanza el tiempo de contacto de la fruta con el jarabe, esta se va rodeando de su propia agua, la cual se va difundiendo lentamente por el jarabe concentrado. Al estar rodeada de agua la fruta, 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 será reemplazada por jarabe concentrado que permitirá el nuevo establecimiento de una alta diferencia de concentración entre el aumento de la velocidad de deshidratación. (Lericí, 1997)

Otro factor que aumenta la velocidad de deshidratación es la relación fruta: jarabe, cuando esta relación es una parte de alimento por una de jarabe, la posibilidad de disminuir la velocidad es mayor, debido a que el agua que sale del alimento diluye el jarabe más rápidamente que si la relación alimento: jarabe se cambia a tres a uno. Recientemente se ha incluido otro factor que puede acelerar el proceso de deshidratación, como es la disminución de la presión atmosférica mediante aplicación de vacío al sistema. Esta técnica permite la salida de gases ocluidos en el interior de las paredes del alimento los cuales son una barrera para la osmodeshidratación. Además la disminución de la presión permite una salida más rápida del agua por la ausencia parcial de la barrera que ejerce la fuerza de la gravedad sobre la pared celular. (Lericí, 1997)

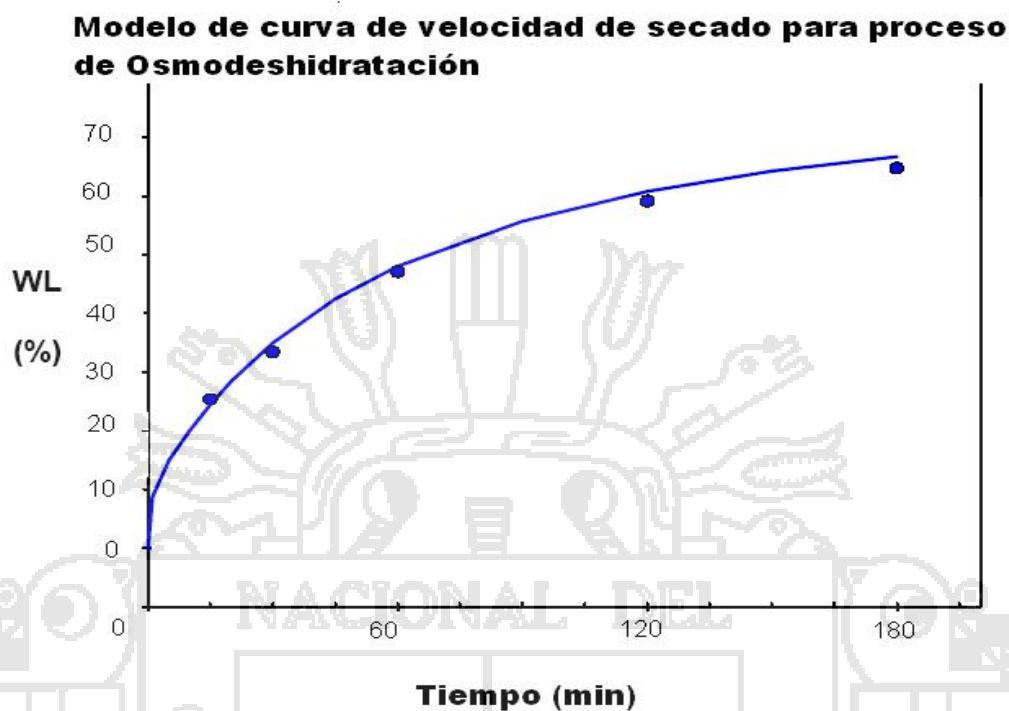
En la Grafico 4 se muestra la curva de velocidad de osmodeshidratación.

Donde:

$WL (\%) = \text{Pérdida de peso en porcentaje} \text{ y } \text{Tiempo (minutos)}$

Donde se grafica los datos de pérdida peso en porcentajes en su respectivo tiempo.

Grafico 4



Fuente: (Spiazzi y Mascheroni ,2001)

2.4 MECANISMOS BÁSICOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR.

La transferencia de calor se puede verificar por medio de uno o más de los tres mecanismos de transferencia: conducción, convección o radiación, (Geankoplis, 1995).

a) **Conducción.**

Por este mecanismo, el calor puede ser conducido a través de sólidos, líquidos y gases. El ejemplo común de conducción a través de sólidos opacos es de los ladrillos de las paredes de un horno o la pared de un tubo metálico (Mc Cabe, 1991). La conducción se verifica mediante la transferencia de energía cinética entre moléculas adyacentes. Este tipo de transferencia siempre está presente, en mayor o menor grado, en sólidos, líquidos y gases en los que existe un gradiente de temperatura. (Geankoplis, 1995)

La conducción corresponde a uno de los mecanismos más comunes de transmisión de calor. Si en un medio continuo existe un gradiente de

temperatura, el calor puede fluir sin que se produzca un desplazamiento observable de la materia. Esta clase de flujo térmico se denomina conducción molecular o simplemente conducción. La conducción tiene lugar a escala molecular, y el mecanismo corresponde a un transporte de la cantidad de movimiento de las moléculas individuales a lo largo del gradiente de temperatura (Mc Cabe, 1991) y (Singh & Heldman, 1998). La conducción de calor es usualmente interpretada como un intercambio molecular de energía cinética. En este concepto, como las moléculas del material son calentadas, ellas se ponen en movimiento y a su vez impactan elásticamente a las moléculas vecinas, de esta manera a través del espesor del material. Esta forma de transferencia de calor describe el flujo de calor de un alimento sólido durante el calentamiento o enfriamiento, (Singh & Heldman, 1998).

La ley de Fourier para la conducción unidireccional del calor establece que la velocidad instantánea del flujo térmico $\Delta Q/\Delta t$ es igual al producto de tres factores: al área A de la sección considerada y normal al flujo de calor; al gradiente de temperatura $-\Delta T/\Delta x$, que representa la relación del incremento de temperatura al gradiente de longitud en la dirección de flujo, y a la conductividad termal k (en $\text{W m}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$), la expresión matemática de la ley de Fourier es:

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = Q = -k \hat{A} \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad \text{Ecu (5)}$$

Esta expresión diferencial es general para la conducción unidireccional, siendo válida para los casos en que el gradiente de temperatura $-\Delta T/\Delta x$ varía con el tiempo y con la posición del punto figurativo. En todos los casos en que se presenta un flujo térmico por conducción, tiene que existir un gradiente de temperatura. Si la temperatura de un punto dado varía con el tiempo, la velocidad del flujo térmico variará también con el tiempo. Se dice entonces que la conducción de calor representa un estado no estacionario o transiente de transferencia de calor cuando la temperatura varía con la posición y con el tiempo (Mc Adams, 1964).

$$dQ/dt = -k dA \frac{dT}{dx} \quad \text{Ecu (6)}$$

Donde:

dQ/d = Flujo de calor

d = Área a través de la cual el calor fluye

∇t = Gradiente de temperaturas

b) Convección.

La transferencia de calor por convección según implica el transporte de calor en un volumen y la mezcla de elementos macroscópicos de porciones calientes y frías de un gas o un líquido. Además, con frecuencia incluye también el intercambio de energía entre una superficie sólida y un fluido. Conviene aclarar que hay una diferencia entre la transferencia de calor por convección forzada en la que se provoca el flujo de un fluido sobre una superficie sólida por medio de una bomba, un ventilador u otro dispositivo mecánico y la convección libre o natural, en la cual un fluido más caliente o más frío que está en contacto con la superficie sólida causa una circulación debido a la diferencia de densidades que resulta del gradiente de temperaturas en el fluido. Todo fluido que está en movimiento lleva asociada consigo una energía que hace que exista una transferencia de calor, por mezcla de una parte del fluido con otra que se encuentran a diferentes temperaturas, debido precisamente a este movimiento. El movimiento de líquidos o gases se produce por diferencia de densidades debido a la diferencia de temperaturas; esto hace que se presente un transporte de calor en forma natural, (Geankoplis, 1995).

$$Q = h A (T_p - T_r) \quad \text{Ecu (7)}$$

Donde: Q = Flujo de calor

A = Área a través de la cual el calor fluye

h = Coeficiente de transferencia de calor convectivo

T_p = Temperatura constante estacionaria (superficial, externa)

T_r = Temperatura del fluido convectivo

c) Radiación.

La radiación difiere de la conducción y la convección en que no se requiere un medio físico para la transferencia. La radiación es la transferencia de energía a

través del espacio por medio de ondas electromagnéticas, de manera similar a las ondas electromagnéticas que propagan y transfieren la luz. (Geankoplis, 1995)

2.5 TRANSFERENCIA DE MASA:

Es una operación unitaria que interviene en la destilación, absorción, secado y extracción líquido-líquido. Cuando se está transfiriendo masa de una fase a otra o a través de una sola fase, el mecanismo básico es el mismo ya sea que se trate de gases, líquidos o sólidos. La transferencia de masa es decisiva en muchas áreas de la ciencia y la ingeniería. Se verifica cuando el componente de una mezcla emigra en una misma fase o de una fase a otra, a causa de la diferencia de concentración entre dos puntos. Muchos fenómenos comunes implican una transferencia de masa. (Geankoplis, 1998)

2.5.1 DIFUSIÓN MOLECULAR

La difusión molecular (o el transporte molecular) puede definirse como la transferencia (o el movimiento) de moléculas individuales a través de un fluido por medio de los movimientos individuales y desordenados de las moléculas. Se puede imaginar a las moléculas desplazándose en líneas rectas y cambiando su dirección al rebotar con otras moléculas después de chocar con ellas. Puesto que las moléculas se desplazan en trayectorias desordenadas, a la difusión molecular a veces se le llama también proceso de camino desordenado. (Geankoplis, 1998)

2.6 ACTIVIDAD DE AGUA (A_w)

Es la relación entre la presión de vapor del agua del alimento y la del agua pura a la misma temperatura. La A_w influencia el crecimiento, la resistencia y la supervivencia de microorganismos y la tasa de reacción de la mayoría de los procesos de degradación de la calidad. En general, las bacterias son menos tolerantes a una A_w reducida que las levaduras y especialmente los mohos. La A_w puede ser reducida por deshidratación por adición de solutos como sal, azúcar, etc. y bajando la temperatura. Muy pocos microorganismos y ningún patógeno crece

a A_w menor que 0,7. Se suele combinar la A_w con otras barreras, en alimentos secos puede ser única barrera. (Lenart y Flink , 1984)

La disminución del valor actividad de agua provoca la inhibición de procesos metabólicos y del crecimiento microbiano, así como la anulación parcial de la capacidad de supervivencia de la microflora. Los requerimientos de agua de los microorganismos son bastante distintos. (Gruda y Postolski, 1996).

2.7 REHIDRATACIÓN

La rehidratación no es el proceso inverso de la deshidratación, puesto que ésta provoca cambios que son irreversibles: se modifica la textura, los solutos migran y parte de las sustancias volátiles se pierde. El tratamiento térmico reduce el grado de hidratación del almidón y la elasticidad de las paredes celulares y coagula además las proteínas reduciendo su capacidad de retención del agua. La velocidad y la intensidad de la rehidratación sirven como medida de la calidad del producto deshidratado: los alimentos deshidratados en condiciones óptimas se deterioran menos y se rehidratan más rápidamente y de forma más completa que los deshidratados en peores condiciones. (Fellows, 1994)

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo de investigación se realizó en los siguientes laboratorios: Facultad de Ingeniería Química Laboratorio de control de calidad, Procesamiento de Productos Agrícolas, Pastas y Harinas; de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial, laboratorio Microbiológico de la Facultad de Medicina Humana de la Universidad Nacional del Altiplano entre el 2 de agosto del 2008 hasta el 19 de marzo del 2009

3.1 MATERIALES.

3.1.1 MATERIA PRIMA.

Para la realización de este proyecto se utilizó oca, *Oxalis tuberosa* Mol variedad keñi proveniente del centro de investigación INIA para lo cual se tomó 5 Kg. de oca fresca el cual se utilizó en todas las muestras 400g de rodajas de oca de 5cm de radio y 0.2 cm de espesor para cada tratamiento.

3.1.2 MATERIALES Y EQUIPOS DE LABORATORIO.

MATERIALES:

- 03 Termómetros -10 a 110 °C
- Lunas de reloj
- Vasos precipitados 250 ml PYREX USA
- Campana desecadora
- Crisoles de porcelana
- Probetas
- Pipetas volumétricas de 10y 20 ml
- Balones de extracción
- Erlenmeyer de 50,100,250 ml. PYREX USA
- Matraz de 500 ml
- Porta tubos
- Mufla

EQUIPOS:

- Estufas tipo cilindro
- Equipo de extracción Soxhlet
- Selladora
- Balanza Analítica OHAUS Scout
- pH meter model 420 A marca Orión
- Refractómetro R L1 Nr 5120
- Campana de Desección
- Cocinillas Eléctrica
- Cuenta colonias

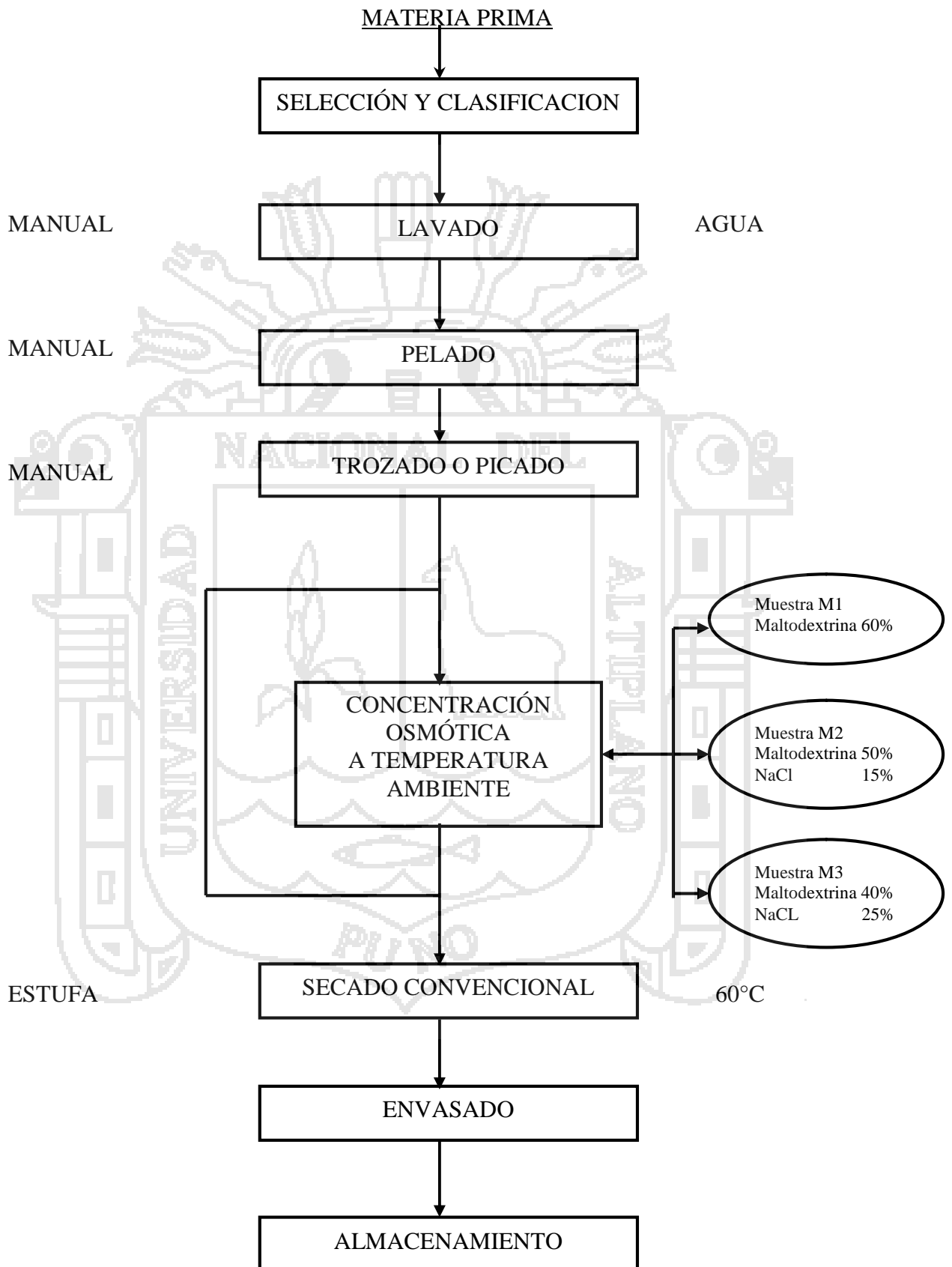
REACTIVOS:

- Acido sulfúrico 50% Q.P.
- Acido bórico 25% Q.P.
- Hidróxido de sodio 0.1N
- Acido clorhídrico 0.05N
- Indicador de Fenoftaleina
- Agua destilada
- Agua peptonada

3.2 METODOLOGÍA.

Las operaciones seguidas para la elaboración de oca osmodeshidratada y la deshidratación convencional, se describen a continuación en el diagrama de flujo presentado en la figura. 2

Fig. 2. DIAGRAMA DE FLUJO DE LA DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA Y SECADO CONVENCIONAL DE LA OCA (*Oxalis tuberosa* Mol) Variedad “keñi”



☞ **SELECCIÓN Y CLASIFICADO**

Se utilizaron ocas con adecuada presentación, sanas, enteras, como requisito mínimo indispensable

☞ **LAVADO**

Se realizo el lavado con la finalidad de reducir y lograr desprender el polvo y tierra que tuviera adherida, con el fin de eliminar sustancias extrañas, para este proceso se utilizo agua corriente.

☞ **PELADO**

Se elimino las cáscaras usando cuchillo de acero inoxidable.

☞ **TROZADO Ó PICADO**

Operación que se realizo con un cubitador manual de 1 cm. de lado, con la finalidad de uniformizar los trozos y rodajas de oca para la preconcentración osmótica.

☞ **CONCENTRACIÓN OSMÓTICA**

En esta operación se utilizo como medio osmótico maltodextrina con NaCl en distintas concentraciones y a temperatura ambiente de tal manera que cada concentración se evaluó en distintos tiempos, el cual se obtuvo una disminución de humedad en un 50%, para luego pase a un secado convencional a 60°C, con el fin de no dañar sus propiedades organolépticas por la reducción de tiempo y temperatura. Para esta fase las concentraciones osmóticas se realizaron en envases de aluminio con agua destilada en una dilución de (pulpa: agua) (1:2) esto significa 1 medio osmótico y 2 de oca maltodextrina con NaCl, para así evaluar los cambios fisicoquímicos, microbiológicos que ocurren en la oca, también se tomaron los pesos en el tubérculo en diferentes tiempos para obtener las curvas de secado.

Tabla 2. Secuencia de datos que se utilizo en la deshidratación osmótica de la oca entre el tiempo y su respectivo peso.

Tiempo (min)	Muestra total(g)
0	P1
15	P2
15	P3
15	P4
15	P5
30	P6
30	P7
60	P8
60	P9
60	P10
60	P11
...

SECADO

Luego de una concentración osmótica donde se ha reducido una gran cantidad de humedad en la materia prima se realizo la operación del secado artificial con aire forzado a una temperatura de 60°C

Tabla 3. Secuencia de datos que se utilizo en el secado convencional de la oca entre el tiempo y su respectivo peso.

Tiempo (min)	Muestra total(g)
0	P1
15	P2
15	P3
15	P4
15	P5
30	P6
30	P7
60	P8
60	P9
60	P10
60	P11
...

☞ ENVASADO

Se envaso en bolsas de polietileno de alta densidad para cada muestra obtenida.

☞ ALMACENAMIENTO

Se almaceno durante 6 meses para evaluar los cambios fisicoquímicos y microbiológicos del producto osmodeshidratado

3.2.2 MÉTODOS DE ANÁLISIS.

A) ANÁLISIS QUÍMICO PROXIMAL

A.1) Determinación de humedad.- Se realizó por desecación a estufa a 65°C con una muestra de 5 gramos, hasta lograr peso constante durante 12 horas. La determinación de humedad se hizo por diferencia de peso entre el peso inicial y el peso final, obteniéndose en forma directa el porcentaje de humedad (AOAC, 1990) ver Anexo 3

$$\% \text{ Humedad} = \frac{\text{Peso total} - \text{Peso final}}{\text{Peso muestra}} \times 100$$

Donde:

$$\text{Peso total} = \text{Peso vaso} + \text{Peso muestra húmeda.}$$

$$\text{Peso final} = \text{Peso vaso} + \text{Peso muestra seca.}$$

A.2) Determinación de Proteína.- Se determinó por el método semimicro Kjeldahl, usando el factor 6.25, para llevar el nitrógeno a proteína total. El procedimiento comprende tres fases: digestión, destilación y titulación.

Se pesó 0.1 gramos de muestra se envolvió en papel filtro, se introdujo en el balón kjeldahl, se agregó 25 mililitros de H₂SO₄ concentrado y se colocó en la cocina eléctrica para la digestión completa.

A la muestra digerida se agregó NaOH e inmediatamente se conectó el vapor para que se produzca la destilación. Se conectó el refrigerante y

se recibió el destilado en un Erlenmeyer con contenido de ácido bórico más indicador de pH; la destilación terminó cuando hay un viraje de color. Luego se procedió a la titulación y se anotó el gasto de HCl.

Los cálculos se hicieron con la siguiente fórmula (AOAC, 1990): ver Anexo 3

$$\% \text{ Nitrógeno} = \frac{\text{ml de HCl} \times \text{Normalidad} \times \text{meq}}{\text{gramos de muestra}} \times 100$$

$$\% \text{ Proteína} = 6.25 \times \% \text{ Nitrógeno}$$

A.3) Determinación de Cenizas.- Se determinó calcinando la muestra en mufla a una temperatura de 650°C, para quemar todo el material orgánico. Se pesó dos gramos de la muestra en un crisol previamente tarado y deshumedecido. Se calcinó en la mufla durante cuatro horas hasta obtener un peso constante. En los primeros 30 minutos de calcinación se sacó el crisol y se dejó enfriar, con el disgregador se rompió las partículas incineradas en forma uniforme y se introdujo nuevamente el crisol, transcurrido el tiempo de tres horas se sacó el crisol y se dejó enfriar a temperatura ambiente, se colocó en un desecador y luego se pesó.

El porcentaje de cenizas se determinó de la siguiente manera (AOAC, 1990): ver Anexo 3

$$\% \text{ Ceniza} = \frac{\text{Peso del crisol y la ceniza} - \text{peso del crisol}}{\text{Peso de la muestra}} \times 100$$

A.4) Determinación de grasa.- Se procedió mediante el método de Soxhlet, para lo cual se pesó dos gramos de muestra, se empaquetó en un papel filtro Whatman N° 2, se colocó el paquete en el cuerpo del aparato Soxhlet, previamente tarado libre de humedad y luego se agregó el hexano. Seguidamente se conectó a una fuente de calor, al calentarse se evaporó y ascendió a la parte superior del cuerpo del Soxhlet, allí se condensó por refrigeración y el hexano cayó nuevamente sobre la muestra, regresando al balón por sifón. Se evaporó el hexano

remanente en el balón en una estufa a 60°C y enfrió en una campana. Los cálculos se realizaron con la siguiente fórmula. (AOAC, 1990): ver Anexo 3

$$\% \text{ Grasa} = \frac{(\text{Peso del balón} + \text{grasa}) - (\text{Peso del balón vacío})}{\text{Peso de la muestra}} \times 100$$

A.5) Fibra bruta.- Se procedió de la siguiente manera:

Digestión Ácida:

Se pesó 3 gramos de muestra (exenta de grasa) en un vaso de 600 ml, se hirvió durante 30 minutos con 200 ml de H₂SO₄ al 1,25 %.

Luego de 30 minutos de hervido, se filtró y lavó con agua destilada caliente hasta neutralizar la acidez.

Digestión Alcalina:

Se añadió 200 ml de NaOH 1.25% y se hirvió por 30 minutos Se filtró al vacío en una cápsula de cerámica porosa, lavando con agua destilada caliente, luego poner a la estufa por 2 horas y pesar, este peso se llamará P1. Luego se puso a la mufla para eliminar la materia orgánica y obtener las cenizas y se pesó nuevamente P2. Los cálculos se hicieron (AOAC, 1990): ver Anexo 3

$$\text{Fibra neta} = P1 - P2$$

$$\text{Fibra cruda} = \frac{P1 - P2}{\text{Peso de la muestra}} \times 100$$

A.6) Carbohidratos totales.- Se calculó por diferencia restando de 100, los porcentajes de humedad, proteína, grasa, fibra y cenizas, como se muestra en la fórmula. (AOAC, 1990): ver Anexo 3

$$\% \text{ Carbohidratos} = 100 - (\% \text{ cenizas} + \% \text{ fibra} + \% \text{ grasa} + \% \text{ proteína})$$

A.7) Determinación de ° Brix:

Se determinó utilizando un refractómetro, para lo cual se preparó 5 g. de muestra, se trituró en un mortero para extraer el jugo de la oca, se empezó limpiando el refractómetro cuidadosamente con agua destilada, se calibró a cero y se colocó la muestra del jugo de la oca solo una gota, termostatado a 20° C y se procedió a leer inmediatamente el valor. (AOAC, 1998)

A.8) Determinación de azúcares reductores método de Fehling -soxhlet

Para su valoración se pesaron 12.5g en un matraz aforado de 250ml, se agregan 10 ml de agua, se agita, se clarifica por adición de 21 ml de reactivo (acetato de Zinc 21.9%, adicionado de 3 ml de ácido acético), y 18 ml de reactivo ferrocianuro de potasio se vuelve a agitar bien, se completan los 250 ml y se filtra en una alícuota de este filtrado, se determina los azúcares directamente reductores (glucosa, fructosa y maltosa). Esto se determinó mediante el método de Musson y Walter el cual se coloca en dos matraces cónicos 25 ml de Fehling I (34,639g CuSO_4 para 500ml), 25 ml de Fehling II (173g tartrato de sodio y potasio y 50 g NaOH para 5ml), 50 ml de agua destilada y una alícuota (25-50ml) del filtrado con los azúcares reductores. Ambos matraces se calientan en rejillas se filtra a través de un crisol se lava con agua caliente un poco de alcohol y luego con éter se seca el crisol a 105°C por 30 minutos se enfría en desecador y se pesa como óxido cuproso por lectura de tablas se obtiene el equivalente en glucosa multiplicado por 0.95 se obtiene el equivalente en glucosa se obtiene en almidón (AOAC, 1998)

B) MEDIO OSMÓTICO

B.1) Determinación de ° Brix.- Se determinó utilizando un refractómetro termostatado a 20 °C se empezó limpiando el refractómetro cuidadosamente con agua destilada, luego se calibra a cero se colocó la muestra del medio osmótico y se procede a leer inmediatamente el valor indicado. Maltodextrina de grado 50 al ser de ese grado el

brixometro no determina esos azucares, en tal sentido la maltodextrina fue utilizada exclusivamente para la osmodeshidratacion.

B.2) Determinación del valor de pH.- El pH se determinó utilizando un potenciómetro, previamente calibrado utilizando solución buffer, para lo cual se preparó la muestra, seguidamente se procedió a introducir el electrodo y leer inmediatamente el valor (AOAC, 1998)

C) RENDIMIENTO DE OCA OSMODESHIDRATADA Y SECADO CONVENCIONAL.

Se realizó pesando la cantidad de oca osmodeshidratada, obtenido a partir de 0.4 Kg de materia prima, calculándose el rendimiento de acuerdo a la siguiente fórmula.

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Peso final del producto}}{\text{Peso de la materia prima}} \times 100$$

D) ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO

Se realizo los análisis microbiológicos de la oca osmodehidrata, y secado convencional almacenadas a temperatura ambiente (10 a 15° C) durante seis meses y de las oca sin someter a ningún tipo de proceso, expuestas al mismo ambiente y al mismo tiempo mencionado, estos análisis son a través el método (Mc farland, 1963) ver Anexo10

D.1) NUMERACIÓN DE BACTERIAS AEROBIAS MESÓFILAS VIABLES.

Primera dilución

Se pesaron 25g de muestra molida y se añadió 225 ml de la solución reguladora de peptona en el agitador, estéril, se agitó a la velocidad de 15,000 a 20,000 rpm, durante 3 minutos.

Segunda dilución

Agitando el alimento homogenizado, se tomó 1,0 ml con una pipeta y se vertió en tubo que contenía 9 ml de solución reguladora de peptona; se mezcló cuidadosamente, pipeteando diez veces

Con la misma pipeta, se tomó 1,0 ml de la primera dilución y se vertió en el tubo de la segunda dilución, que contenía 9 ml de solución reguladora de peptona, se mezcló con una pipeta nueva, se tomó 1,0 ml de la segunda dilución, se vertió a un tubo para una tercera dilución y se repitió la operación por cuarta vez. Se agitó cuidadosamente.

Una vez que se prepararon las diluciones, luego se vertió con una pipeta, 1 ml de cada una de las diluciones que se sembraron en la placas petri que contenían el medio de cultivo agar licuado Plate Count a 45°C. Se incubaron las placas petri en posición invertida durante 48 horas a una temperatura de 37°C. Luego de la incubación se contaron las colonias. (Mc farland, 1963)

D.2) RECuento DE STAPHYLOCOCCUS AUREUS

De la primera dilución preparada de la forma arriba indicada se sembraron en las placas petri ,1 ml. de dilución, conteniendo el medio de cultivo agar de 15 ml. Baird - Parker .Y las placas invertidas se incubaron durante 24 y 48 horas a 37°C. (Mc farland, 1963)

D.3) ENUMERACIÓN DE COLIFORMES FECALES

De la primera dilución preparada de la forma, arriba indicada. Se inoculó cada uno de los tres tubos que contenían caldo de triptosa y sulfato de lauril con 1.0 mililitros del alimento homogenizado. Se repitió la misma operación con el primero y del segundo tubo de dilución, se utilizó para cada una de estas diluciones una nueva pipeta esterilizada.

Los tubos de caldo de treptosa y sulfato de lauril se incubaron durante 24 y 48 horas, a 37° C. Luego se observaron los tubos para ver si tuvo presencia de gases. (Mc farland, 1963)

D.4) RECUENTO DE HONGOS Y LEVADURAS.

De la primera dilución, mencionada en la parte arriba, se sembraron en las placas petri un ml. de dilución, conteniendo el medio de cultivo agar 15 ml. Saboraud Dextrosa 45°C. Se incubaron las placas petri en posición invertida durante 72 horas a una temperatura de 25 °C. Se contaron las colonias, primero a los tres días y después de nuevo al cabo de cinco días existiendo ausencia de colonias. (Mc farland, 1963)

D.5) DETECCIÓN DE SALMONELLA

Procedimiento.

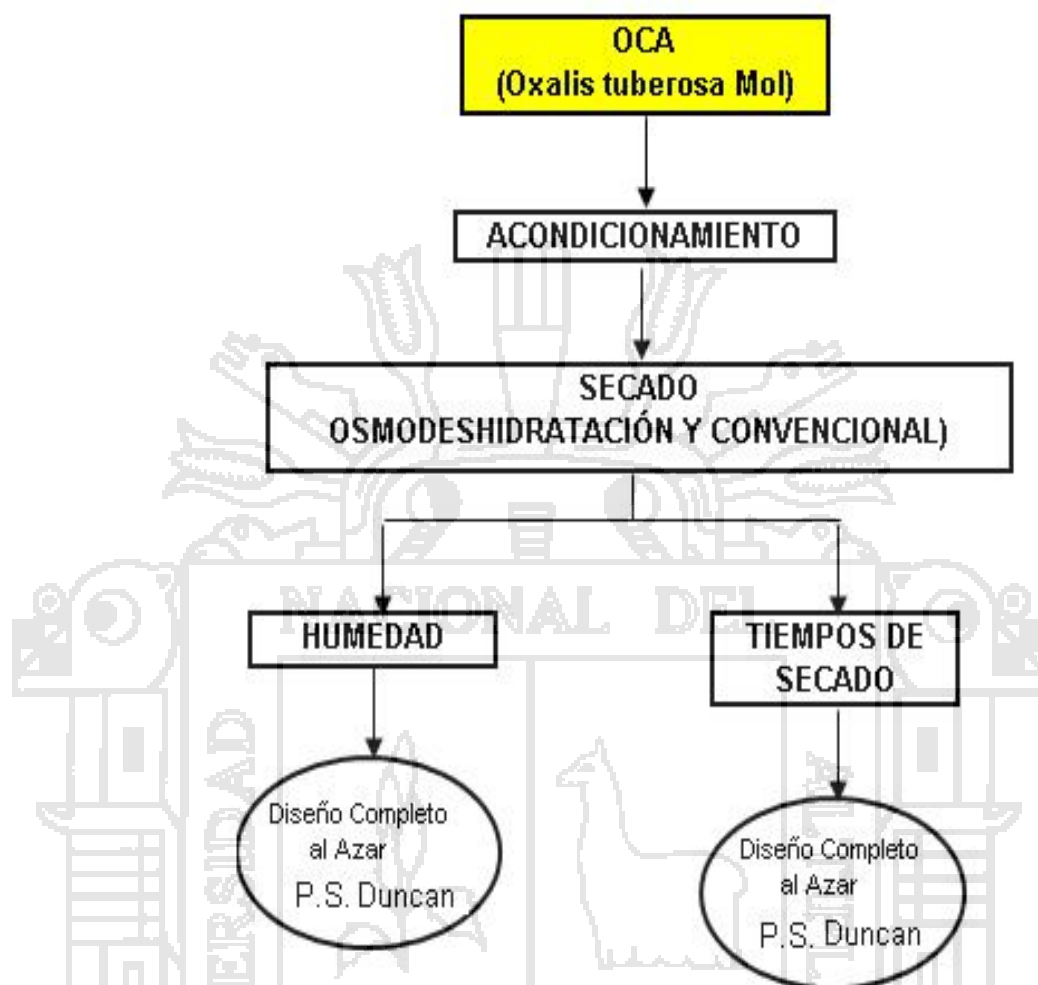
De la dilución antes mencionada

Se vertió asépticamente la oca osmodeshidarata homogenizada (muestra de 10 g) mezclado con 90 ml de caldo lactosado, en un matraz de 250 ml. se incubó a 37°C durante 18-24 horas, luego se llevó un ml de esta mezcla a un tubo de ensayo con 10 ml de caldo tetrionato se incubó a una temperatura de 42 °C durante 24 – 48 horas, luego con un asa coolí de lleva a una placa petri conteniendo agar .Al cabo de 18 -24 horas, se extiende en estrías el contenido de cada frasco enriquecida sobre una cápsula de Petri . Se incubaron durante 24 horas a 37° C. Y luego se procedieron a contar las colonias que serían incoloras o de color rosa a rojo oscuro, de translucidas a opacas con el medio circundante de color rosa a rojo. (Mc farland, 1963)

3.3 ANÁLISIS ESTADÍSTICO.

En la Figura 3, se muestra un resumen de los análisis estadísticos aplicados para la evaluación de los resultados.

Fig. 3. Diagrama de flujo de la metodología y análisis estadístico



Al término de las experiencias, se efectuó el Análisis de Varianza (ANVA). Y la prueba de significancia múltiple Duncan.

3.3.1 HUMEDAD

Para comparar los resultados del % de humedad del proceso de osmohidratación en oca, para cada método o tratamiento se aplicó el Diseño Completamente al Azar con tres repeticiones (Cuadro N° 1), efectuando su respectivo Análisis de Varianza (ANVA) y determinar la existencia de diferencia significativa entre los tratamientos aplicados a este proceso de osmohidratado.

Cuadro N° 1. Estructura del diseño experimental de la determinación del % de humedad.

	TRATAMIENTOS OSMODESHIDRATACIÓN (i)			
	M 1	M 2	M 3	Parámetros a evaluar
REPETICIONES (j)	H ₁	H ₁	H ₁	% HUMEDAD
	H ₂	H ₂	H ₂	
	H ₃	H ₃	H ₃	

Modelo estadístico

$$r_{ij} = \mu + T_i + V_{ij}$$

Donde:

V_{ij} = error residual

μ = media general del rendimiento obtenido de todo el diseño

T = Tratamientos de osmodeshidratación

H = % de humedad

3.3.2 TIEMPOS DE SECADO.

Para comparar los resultados del tiempo de secado después del proceso de osmosis en oca, para cada método o tratamiento se aplicó el Diseño Completamente al Azar con tres repeticiones (Cuadro N° 2), efectuando su respectivo Análisis de Varianza (ANVA) y determinar la existencia de diferencia significativa entre los tratamientos aplicados a este proceso de secado.

Cuadro N° 2. Estructura del diseño experimental de la determinación del tiempo de secado.

	TRATAMIENTOS OSMODESHIDRATACIÓN (i)			
	M 1	M 2	M 3	Parámetros a evaluar
REPETICIONES (j)	T ₁	T ₁	T ₁	Tiempo
	T ₂	T ₂	T ₂	
	T ₃	T ₃	T ₃	

Modelo estadístico

$$r_{ij} = \mu + T_i + v_{ij}$$

Donde:

v_{ij} = error residual

μ = media general del rendimiento obtenido de todo el diseño

T_i = Tratamientos de osmodeshidratación

t = Tiempo de secado



CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 CARACTERÍSTICAS DE LA OCA

En el Cuadro N° 3, se presentan los resultados obtenidos en el análisis bromatológico realizado al producto en estudio para la evaluación del osmodeshidratado y secado convencional.

Cuadro N° 3. Valores fisicoquímicos de la oca fresca (*Oxalis tuberosa* Mol) variedad Keñi.

Descripción	%
Humedad	77,34
Proteína	5,36
Grasa	0,61
Carbohidratos	87,19
Ceniza total	3,39
Fibra	2,16
Extracto etéreo	1,29
Energía (Kcal. /100 gr.)	399,0
Acido oxálico	0.432
Azucares reductores%	2.14

Fuente: Laboratorio de control de calidad Facultad de Química UNA - Puno

Del Cuadro N° 3 se observa que el agua es el constituyente principal de este tubérculo, (Brío y Espin ,1999) indican que el contenido de humedad de 77,63%, seguido de carbohidratos con un 87% y un contenido proteico y graso de 5.36 y 0,61 respectivamente, resultados obtenidos que son similares a los encontrados en el presente estudio.

El cuadro N° 4 nos muestra los resultados microbiológicos de la microflora bacteriana inicial realizado por el método de McFarland, que se detalla a continuación.

Cuadro N°4. Resultados de análisis microbiológico en oca fresca, variedad Keñi.

DESCRIPCION	sin Procesar UFC/g
	%
Enumeración de coliformes fecales	2,0 x 10 ³
Recuento de Mesófilos viables	2,0 x 10 ⁶
Recuento de hongos y levaduras	1,0 x 10 ⁴
Recuento Staphylacoccus aureus	Negativo
Detección de Salmonella	Negativo

Fuente Laboratorio de Microbiología Facultad de Medicina Humana UNA-Puno

Los resultados obtenidos son variables ya que dependen del medio de cultivo, almacenamiento, desarrollo de la prueba de análisis y otros externos como el tiempo de exposición, estos valores serán usados para realizar un comparativo final con nuestro proceso de deshidratado y secado convencional.

4.2 EVALUACION DEL PROCESO DE OSMOSIS Y CURVAS DE SECADO EN LA ETAPA DE OSMODESHIDRATACIÓN.

A. Proceso de Osmosis

En el Cuadro N° 5, se presentan los resultados de las rodajas de oca, cuyo peso inicial para el proceso de deshidratado fue de 400 gramos, para las concentraciones muestra M1(maltodextrina 60%), muestra M2 (maltodextrina 50% y 15% de NaCl) y muestra M3 (maltodextrina 40% y 25% de NaCl), el volumen inicial de agua utilizado para preparar el medio osmotico fue de 266ml en todos los tratamientos, el volumen de concentración oscilo de 299 ml en M1, 314 ml en M2 y 322 ml en M3. Los promedios de los datos se muestran a continuación en cuadro ya antes mencionado.

Cuadro N° 5. Promedio de datos deshidratación osmótica en oca, variedad Keñi.

Descripción	M1	M2	M3
Peso oca (g)	400	400	400
Volumen inicial (ml)	280	280	280
Volumen concentración (ml)	299	314	322
Peso maltodextrina (g)	168	140	112
Peso Cloruro de sodio (g)	---	42	70
Volumen final concentración (ml)	418	439,2	450
Humedad inicial (%)	77,34	77,34	77,34
Humedad final (%)	59,07	56,33	54,25

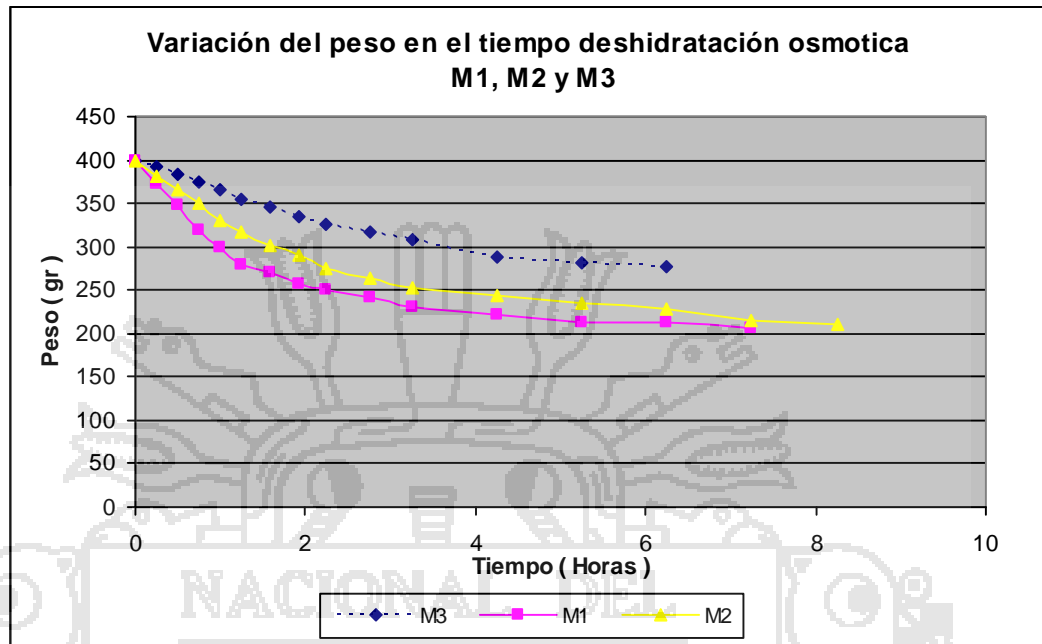
Según (Inazu y Iwasaky, 2000). El volumen inicial se obtiene de la relación agua: peso de producto, esta relación es 0,5 a 0,7 de agua por 1 de producto o en forma mas resumida de la relación 0,7: 1. El peso de maltodextrina y NaCl se obtiene a partir del volumen inicial según los porcentajes ya propuestos en el trabajo de investigación.

El aumento de los niveles de concentración se deben a que el producto durante este proceso unitario elimina agua como indica, (Barbosa, 2002).

B. Evaluación del peso y velocidad de osmodeshidratación

En la Grafico 5 se muestra la perdida de peso durante 6 horas para las diferentes concentraciones M1, M2 y M3. Mientras que la grafico 6 nos muestra la tendencia o el ajuste lineal de las diferentes concentraciones osmóticas de pérdida de peso. Ver apéndice 3

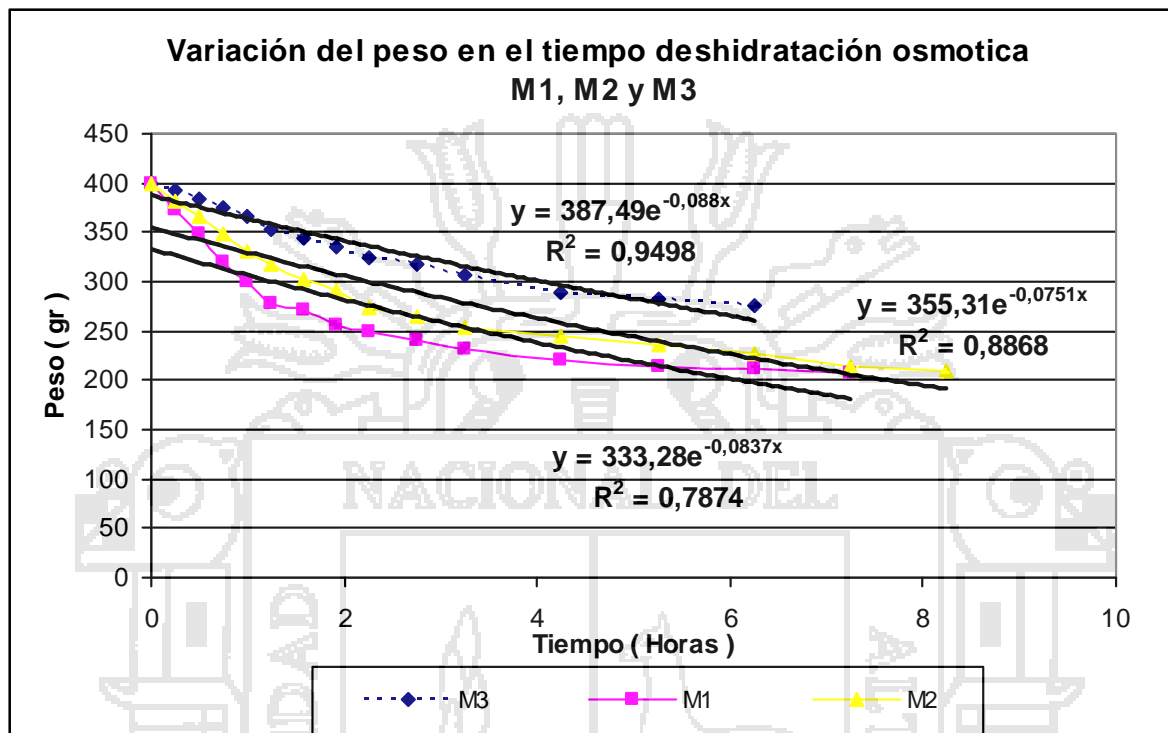
Grafico 5. Curva de velocidad de perdida de peso en oca, variedad Keñi



En la Grafico 5. Se observa la perdida de peso durante el proceso de osmosis La maltodextrina y el NaCl, diluidos en agua destilada forman soluciones hipertónicas, por ende ejercen una presión osmótica sobre la oca, este alimento en estas soluciones se produce un choque osmotico ya que el medio externo a las células vegetales de la oca es fuertemente hipertónico, por lo que el agua pierde peso rápidamente a través de la membrana semipermeable de la oca, hacia la mayor concentración del exterior que contiene maltodextrina y NaCl. En la grafico 6 se observa que el tratamiento M3 es el que mas rápidamente perdió peso o se deshidrato, esto se debería a la fuerza iónica que ejerce la sal (NaCl) originando una presión osmótica mayor lo que se refleja en la figura 8

Además según (Horton, 1998), el uso de las concentraciones de estos solutos favorece la inhibición del pardeamiento enzimático en la oca.

Grafico 6. Tendencia de comportamiento de pérdida de peso en oca, variedad Keñi



En la Grafico 6, se muestra el ajuste de la curva, siendo el mejor ajuste la tendencia exponencial para la deshidratación osmótica por tener un mejor R^2 que la tendencia lineal, siendo el tratamiento de M3 quien tiene mejor coeficiente de variabilidad R^2 con 0,9498 frente a M1 y M2.

Además el tratamiento M3 muestra la mayor pendiente de este ajuste con 0,088gr de agua/hora esta pérdida se explica por la fuerza hipertónica que ejercen las soluciones en el medio osmótico, entonces la pérdida de peso en M3 es más veloz, donde se pierde mayor cantidad de humedad del alimento y se le denomina periodo de velocidad constante, a partir de esa hora la velocidad de pérdida de peso comienza a decrecer y pertenece al periodo de velocidad decreciente.

En la Grafico 6 se muestra que durante las primeras 3 horas el alimento pierde peso con mayor velocidad, donde se pierde mayor cantidad de agua y se le

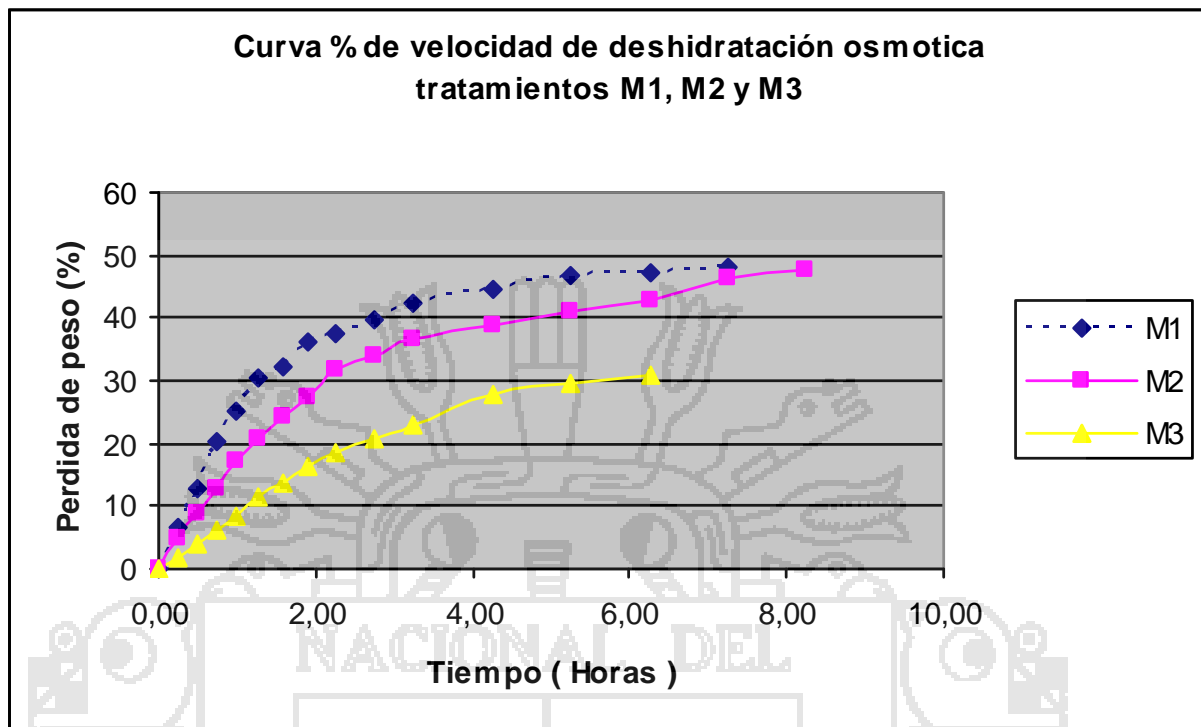
denomina periodo de velocidad constante, a partir de esa hora este comienza a descender y pertenece al periodo de velocidad decreciente siendo la perdida de peso mas notoria en M1 que en M2 y M3, y a partir de estas 3 horas empieza el periodo de velocidad decreciente hasta las 6 horas una vez finalizada el mismo, donde se observa que el producto empezó a ganar peso debido a la impregnación de los solutos osmodeshidratantes, por lo que se detuvo el proceso, ya que nuestro objetivo es solo reducir el contenido de humedad. Los datos se muestran en el ver apéndice 3

(Valera, 2005) indica que este proceso es una relación directa de perdida de peso y perdida de humedad (%), siendo su comportamiento del tipo exponencial, esto con la finalidad de poder explicar con la pendiente cuan rápido se da la perdida de agua por acción del soluto y por la entrada del mismo al interior del producto deshidratado.

(Fennema, 2000) nos indica que las maltodextrinas con menor ED (equivalencia dextrosa), siendo las maltodextrinas con grado mayor a 20 son fuertemente higroscópicas, por los grupos OH y H, que predominan en su estructura molecular lo que le facilita captar moléculas de agua mediante puentes de hidrogeno, esto explicaría el fenómeno deshidratación osmótica, sin embargo también menciona que la adición del cloruro de sodio ejerce una fuerza mucho mas intensa que son las iónicas ya que la sal se disocia en dos componentes cloro y sodio, teniendo el agua mayor preferencia por los mismos ya que lo que predomina en este fenómeno es la carga del soluto y solvente, del grafico 6 se observa que M3 se deshidrato mas rápido debido a la combinación mas alta de sal respecto a M2 y M1 lo que explica los resultados obtenidos.

En la Grafico7, se observa que hasta la tercera hora es el área de pérdida de peso (%) de mayor velocidad y desde este punto empieza el área de pérdida de peso de menor velocidad. Hasta la hora 6, las tres curvas son similares, pero a partir de esa hora la Maltodextrina M2 y M3 empieza a perder mayor porcentaje de peso que Maltodextrina M1, hasta la hora 8, desde ese punto la Maltodextrina M2 continúa perdiendo mayor peso en relación a M1 y M3.

Grafico 7. Curva de velocidad de deshidratación osmótica en oca, variedad Keñi



De la Grafico 7 se observa la pérdida de peso (%), siendo este una relación directa de la pérdida de humedad, ya que el peso que pierde el producto es agua (Chafer, 2000). La deshidratación osmótica (DO) es una técnica de concentración de sólidos (o remoción de agua) que consiste en sumergir frutas o verduras, trozadas o enteras, en una solución hipertónica compuesta por azúcares, NaCl, maltodextrinas y otros solutos capaces de generar una presión osmótica alta. A diferencia de otras técnicas como el curado de la carne y la salazón de queso, la deshidratación osmótica se basa en una remoción significativa de agua frente a una menor entrada de solutos al alimento. Lo que explica los resultados obtenidos en la figura 10. Ver apéndice 3

C. Evaluación de las curvas de secado

➤ Tratamiento maltodextrina 60% (M1).

En las Grafico 8, se observó una disminución significativa de la humedad del sólido durante las 3 primeras horas considerándose como el periodo de velocidad constante, a partir de este punto la caída de humedad del sólido es más moderada con una menor pendiente siendo considerada el

periodo de velocidad decreciente hasta la hora 9.5. Los datos de esta operación se muestran en el Ver apéndice 5

La Grafico 8 nos muestra una tasa de pérdida de agua en el tiempo en base seca de 0,0959 (Kg agua/kg masa seca * h)

Grafico 8. Curva de velocidad de deshidratación osmótica en oca, variedad Keñi

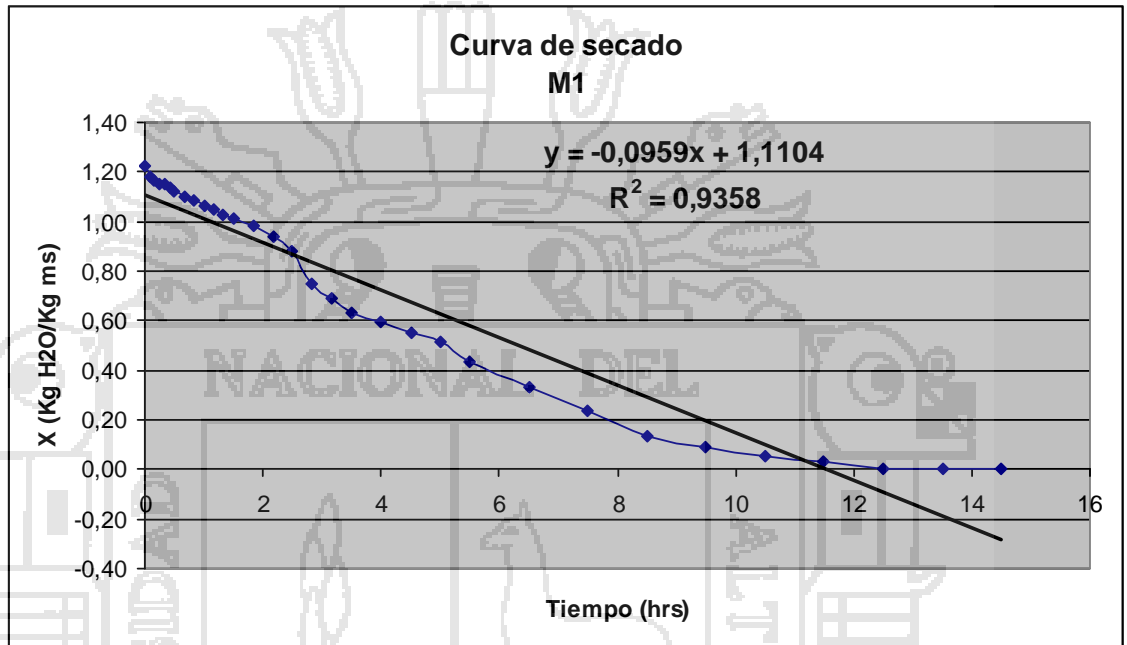
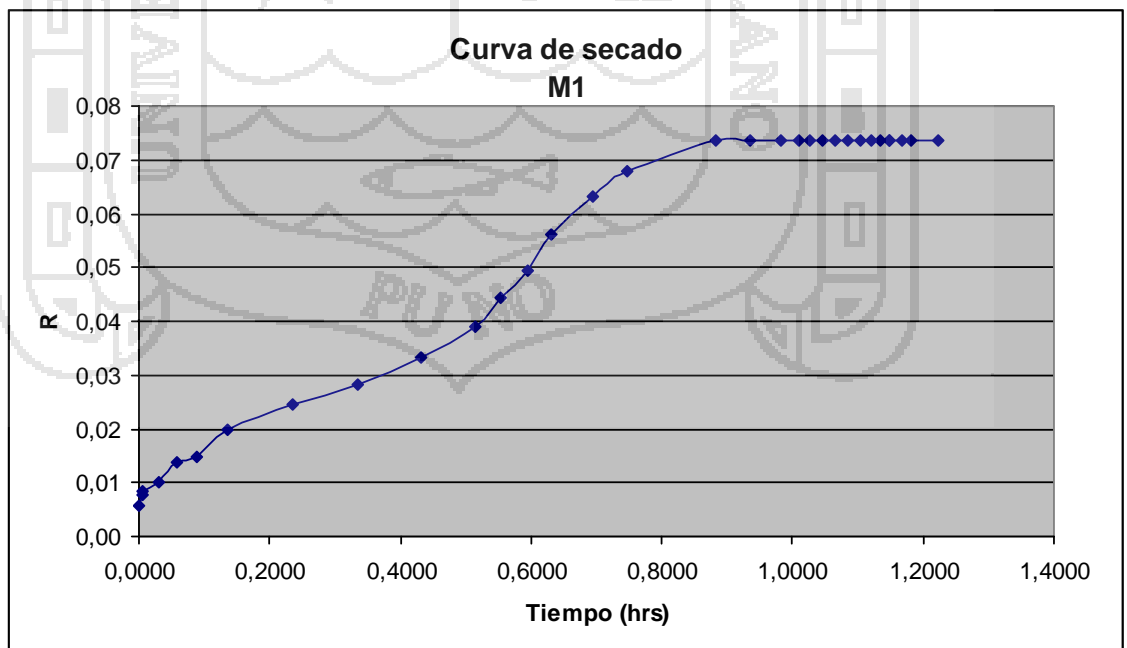


Grafico 9. Curva de velocidad de deshidratación osmótica en oca, variedad Keñi



La Grafico 9 nos muestra la curva de velocidad de secado que es una grafica característica que nos permite mostrar zonas de diferentes fases como la fase 1 que tiene un comportamiento exponencial, fase 2 velocidad de secado cuasi exponencialmente decreciente, y una ultima fase decreciente, el comportamiento de esta ultima fase nos muestra un acoplamiento de agua ligada en monocapa al alimento, que están adheridas al solidó como parte del agua ligada, mostrando además que en esta ultima fase de tratamiento al material (conveccion forzada), no es suficiente para arrancar las aguas de moléculas por calor (calor de sorcion) que permitan al material la continuidad del proceso y lleven a un contenido de agua mas bajo.

➤ **Tratamiento maltodextrina 50% y NaCl 15% (M2).**

En la Grafico 10 La eliminación de agua se da en una serie de etapas diferenciadas entre sí por la velocidad de secado, la etapa inicial ocurre cuando la oca y el agua contenida en el, se calientan ligeramente. Posteriormente se produce una reducción importante del contenido de agua a velocidad de secado constante, ésta etapa tiene lugar a temperatura constante. En general la etapa de velocidad de secado constante finaliza al alcanzarse la humedad crítica; luego se presenta uno o varios períodos de velocidad de secado decreciente. La humedad crítica se identifica por el cambio brusco de la pendiente en la curva de velocidad de secado como se observa en la Grafico 11.

En comparación con el proceso anterior, se llega mas rápido al final de este periodo la explicación radicaría en el cloruro de sodio que se le añade a la solución que hizo que gran parte del agua libre fijada a monocapa sea retirada y por ello el contenido de humedad es de 54% a diferencia del primero que es de 59%, siendo en 5% menor respecto del primero, con lo cual se demuestra que la sal ejerce una presión osmóticas mas fuerte que hace que el tiempo de secado así como el contenido de humedad se reduzcan.

La Grafico 10 nos muestra una tasa de perdida de agua en el tiempo en base seca de 0,1298 (Kg agua/kg masa seca * h), siendo una pendiente mas alta en comparación con la primera (Grafico 8) en 0,0959 (Kg agua/kg masa seca * h). Que explicaría nuestros resultados

Grafico 10. Curva de velocidad de deshidratación osmótica en oca, variedad Keñi

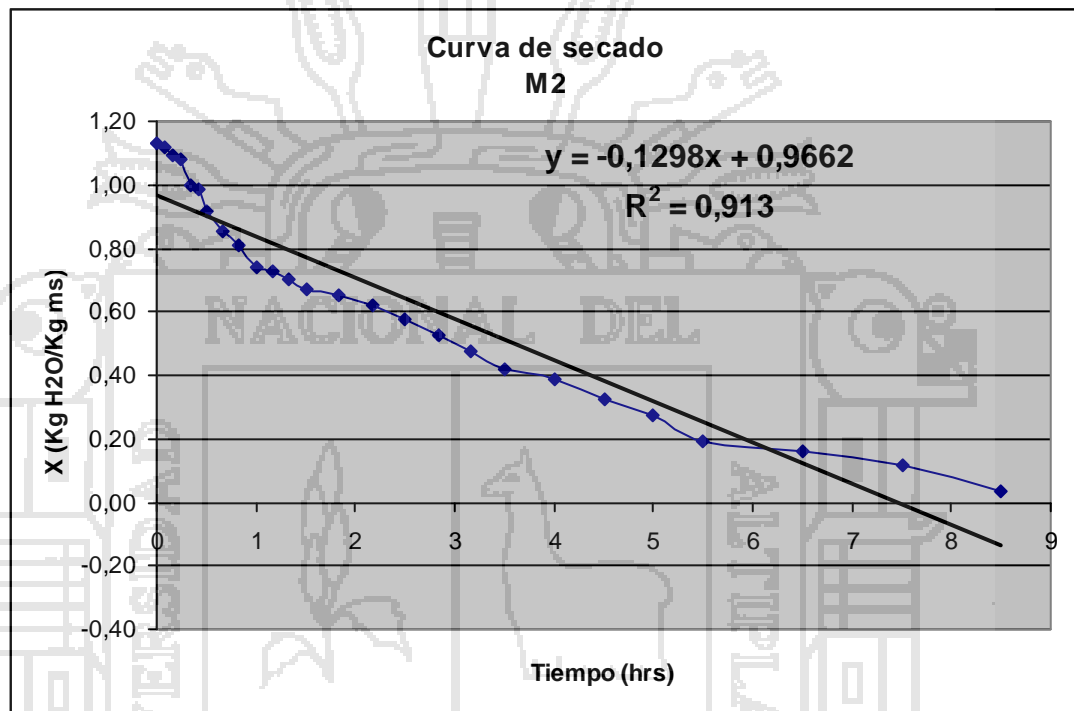
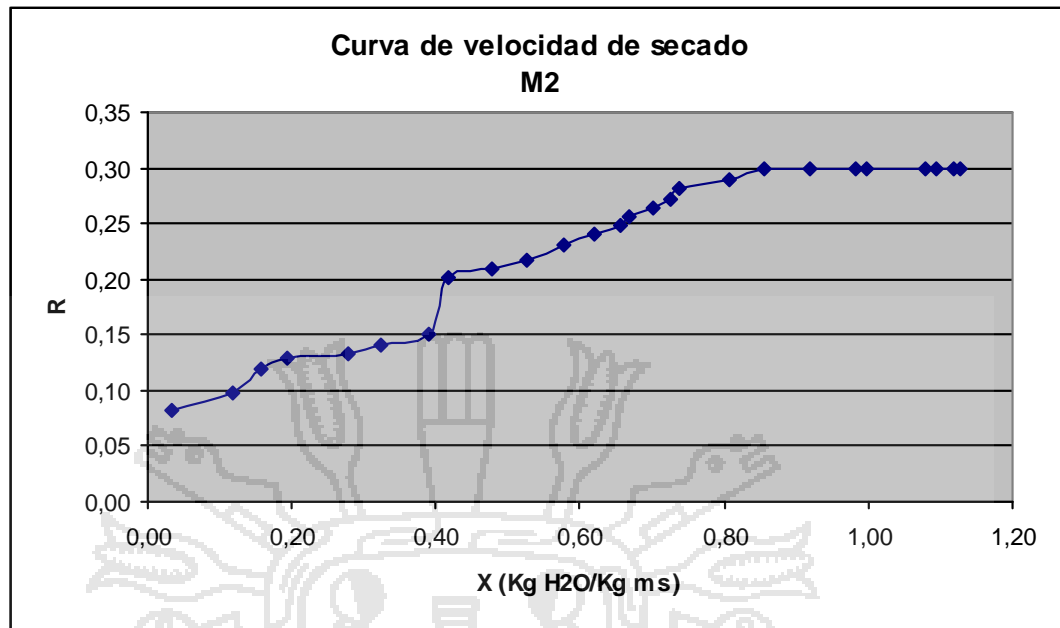


Grafico 11. Curva de velocidad de deshidratación osmótica en oca, variedad Keñi



➤ **Tratamiento maltodextrina 40% y NaCL 25% (M3)**

Nuestra velocidad constante es mucho mas rápida en M3 que en M1 y M2 esto se debería a la fuerza que ejerce el cloruro de sodio que rápidamente capto más agua en el proceso de osmosis lo que influencio en nuestros resultados, la pendiente es de 0,1538, un descenso moderado con relación a M2 esto porque gran parte del contenido de humedad se pierde en el periodo de velocidad constante y la poca humedad restante se vaporiza lentamente.

Gráfico 12. Curva de velocidad de deshidratación osmótica en oca, variedad Keñi

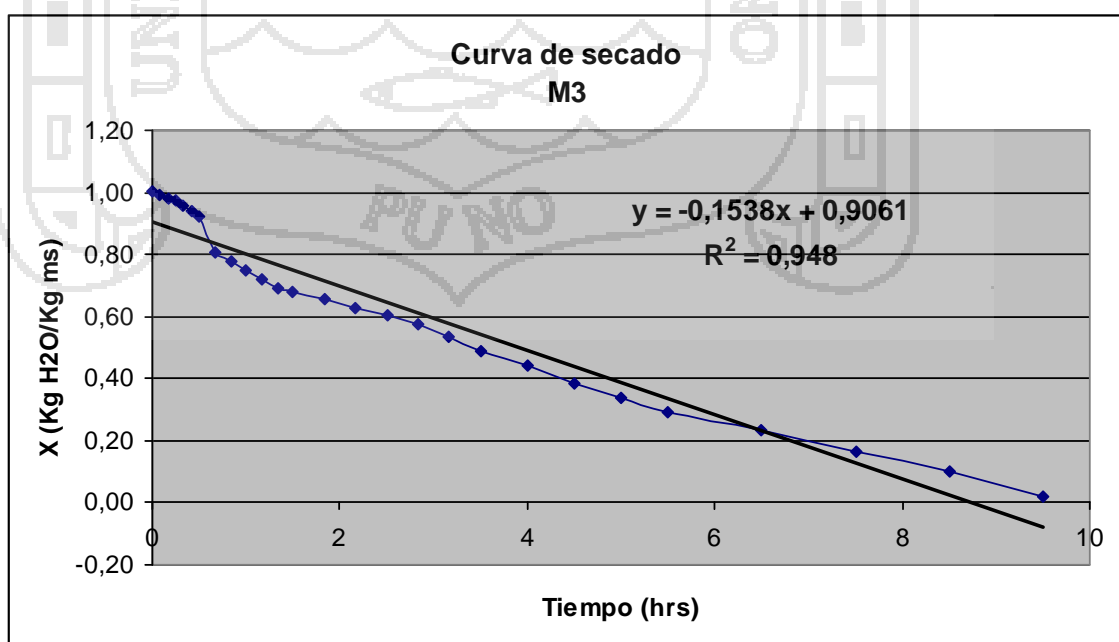


Grafico 13. Curva de velocidad de deshidratación osmótica en oca, variedad Keñi

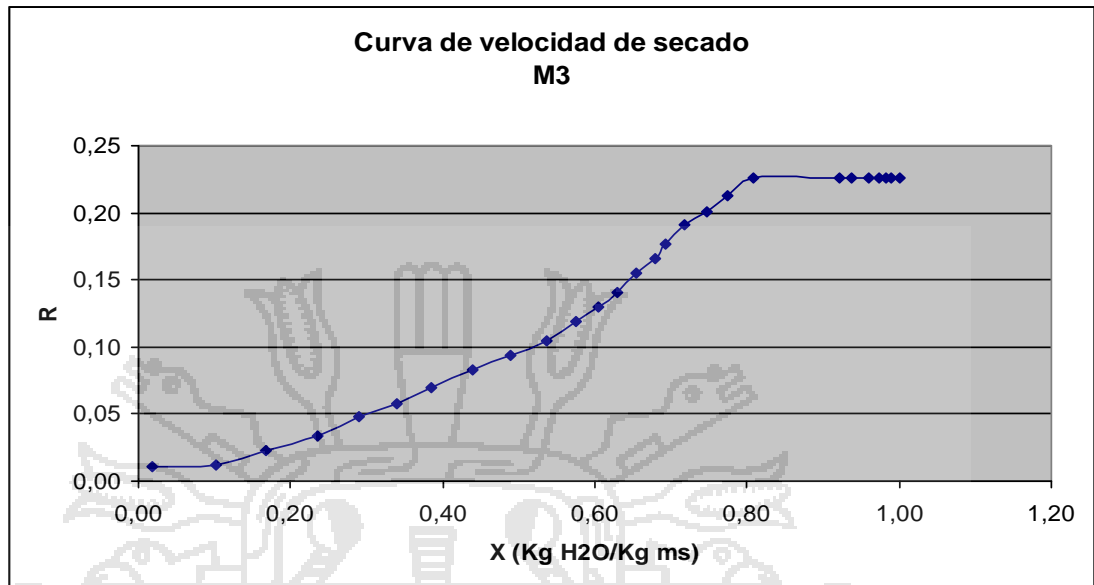


Grafico 12 nos muestra como en el periodo constante existe una gran eliminación del contenido de agua que es directamente proporcional al tiempo, en comparación con los tratamientos M2 y M1 el contenido de humedad desciende en 2 y 6 %. estos niveles estarían explicados por la velocidad de secado así como la concentración de sal aplicada a este tratamiento.

(Ponting, 2005) en sus estudios de osmodeshidratación e fruta muestra la cantidad de pérdida de agua de la papaya y la carambola deshidratada osmóticamente en soluciones de sacarosa a 40, 50 y 60°Brix. El experimento realizado a 60° Brix es el que presenta las mayores pérdidas de agua. Se puede determinar que mientras más alta es la concentración del jarabe de sacarosa mayor es la pérdida de agua en la fruta; aunque este aumento de la pérdida de agua también se ve afectado por el incremento de la temperatura; tal como lo han demostrado estudios realizados con otras frutas. Esto confirma nuestros resultados ya que a mayor concentración de NaCl mayor es la fuerza de osmodeshidratación.

➤ **Tratamiento Secado Convencional 60°C**

Con el interés de conocer la influencia del tratamiento osmótico se efectuó el secado convencional, se realizó la determinación de la velocidad de secado convencional esta velocidad esta determinada por la pendiente que es la perdida de agua en el tiempo esto para las muestras de oca secas por el método convencional.

Las Grafico 14 y 15, nos muestran una tendencia general de la velocidad de secado que es mas prolongada en el tiempo de secado 55 horas, en comparación con los tratamientos de osmodeshidratacion, demostrando su eficiencia en tiempo de horas siendo su humedad final de 13%.

Nuestra velocidad constante es mucho mas lenta 0,0014 (kg agua/kg ms*h), que los tratamientos de osmodeshidratación esto se debería a la fuerza que ejerce la maltodextrina y el cloruro de sodio que rápidamente capto más agua en el proceso de osmosis lo que influencio en nuestros resultados,

Grafico 14. Curva de velocidad de deshidratación osmótica en oca, variedad Keñi.

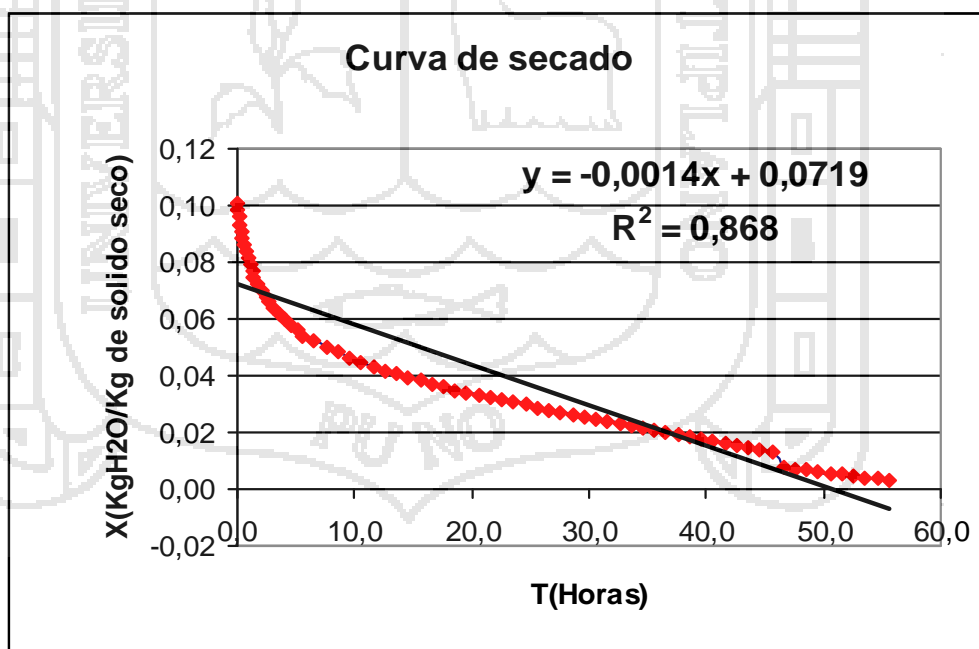
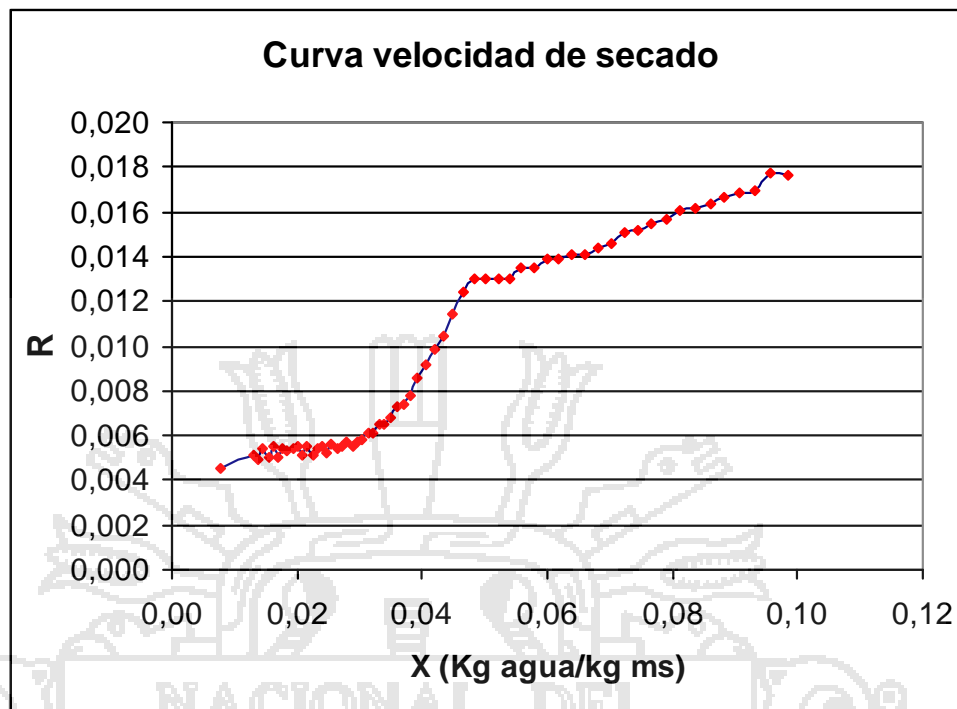


Grafico 15. Curva de velocidad de deshidratación osmótica en oca, variedad Keñi



(Ponting, 2005) en su estudio de osmodeshidratación y comparación con secado convencional en frutas nos muestra en sus gráficas de velocidad de secado que para el secado convencional de las muestras de papaya y carambola el periodo de velocidad constante (BC) es menor en comparación con el de las muestras tratadas osmóticamente. Este se puede explicar debido a que la presencia de azúcar produce una migración del agua hacia la superficie del sólido produciendo el aumento del agua menos ligada en la fruta. Mientras que, para el período decreciente (CD) la pendiente para el proceso de secado con las muestras tratadas osmóticamente es mayor en comparación con la del secado convencional, por ende las muestras tratadas osmóticamente tendrán mayor velocidad de secado en este período de la curva. En el periodo (D) analizado en las dos gráficas, se observa la disminución de la velocidad de secado con mayor rapidez hasta llegar al punto E; donde el contenido de humedad de equilibrio es cercano a 0.

Esto se debe a las diferentes formas de ligar el agua; en las que existen uniones fuertes y débiles; éstas últimas son más fáciles de romper facilitando la salida del agua libre de la superficie de la fruta. Lo cual se demuestra a través de la determinación del coeficiente de difusión del agua. (Ponting, 2005) observa los coeficientes de difusión del agua para los dos procesos; en donde se observa que el secado de las muestras con tratamiento osmótico es mayor

(Kw), es decir, que posee menos resistencia a la difusión del agua que el secado convencional. Disminuyendo así la velocidad de secado.

D. Parámetros de concentración del producto.

En la Tabla 4, de acuerdo a los cálculos de los tiempos de curvas de osmodeshidratación y curvas de velocidad de secado se obtiene los siguientes resultados de tiempos para las muestras que se estudiaron:

Tabla 4. Parámetros de Concentración y Tiempo

Concentración	Tiempo de Ósmosis (horas)	Humedad Proceso Osmosis (%)	Secado en estufa (horas)	Tiempo Total de ósmosis mas Secado en estufa (horas)
M1	7.9	59.07	20.5	28.4
M2	9.25	56.33	18.5	27.75
M3	7.27	54.25	15.6	22.87
Secado Convencional	-	-	45.9	45.9

De las soluciones osmóticas mencionadas en la Tabla 4, se puede observar que la concentración más adecuada para el proceso de deshidratación osmótica es la de M3 porque al someterse 54.25% de humedad en 15.6 horas, que en comparación de las otras concentraciones mencionadas en la tabla es la que perdió mayor humedad y por lo tanto se sometió a menor tiempo de secado en estufa. Y observando el tiempo total de deshidratado, también es la que requirió menor tiempo de procesamiento. La concentración que le sigue en tiempo fue M2 que también se expuso en el proceso de ósmosis 9.25 horas, quedando la oca con 56.3 % de humedad y con un secado por 18.5 horas, el tiempo total de secado fue 27.75 horas. Estas fueron las dos mejores concentraciones porque perdieron mayor porcentaje de humedad y fueron sometidas a menos tiempo de secado en la estufa que las otras muestras; la M1 al someterse a 7.9 horas de ósmosis, quedó con 59.07 % cuyo tiempo total de deshidratación de 28.4 horas. Cuando se sometió al proceso de ósmosis a las ocas, perdieron humedad lo cual ayudó a someter a menos tiempo de secado en estufa al alimento; sin embargo se

sometieron a las ocas frescas solamente a Secado convencional (SC) utilizando solo la estufa en tiempo de secado fue de 45.9 horas, más tiempo que el que se utiliza para la deshidratación osmótica y se quedó con 13.7 % de humedad final.

La diferencia de tiempos de ósmodeshidratación en los diferentes tratamientos es porque a la hora de ósmosis, mencionadas en la Tabla 4, el alimento ya no perdía peso, sino ganaba; y se procedió a cortar el proceso de osmodeshidratación.

4.3. Estadística de tratamientos de Osmodeshidratación

La prueba estadística se realizó con ayuda del programa staticgraphic versión 5.0 para determinar el análisis de varianza que demuestra que si existe diferencia estadística significativa a un 95% de probabilidad ver cuadro 7, entre los tratamientos de deshidratación osmótica, dicha prueba nos dice que al menos uno de los métodos es más eficiente en el deshidratado osmótico, para saber cual de los métodos es más eficiente realizamos una prueba de comparación múltiple de duncan al 95% dicha prueba nos muestra que el tratamiento M3 difiere significativamente de M1 y M2 siendo más eficiente.

Cuadro N° 6. Prueba múltiple experimental

Método: 95,0 %, Duncan

	<i>Replicas</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos homogéneos</i>
M1	3	0,941267	A
M2	3	0,9456	AB
M3	3	0,9686	C

Duncan nos hace una separación de individuos por familias y los clasifica en grupos homogéneos al observar el cuadro 6 observamos que tenemos 3 grupos de familias A, B y C cada uno perteneciente a un tratamiento de osmodeshidratación, notamos que los grupos de homogéneos son las familias A y B que pertenecen a los tratamientos M1 y M2 siendo similares, esto nos indica que no existe diferencia entre ellas y que el efecto es similar, sin embargo el grupo C es diferente a los dos primeros. Entonces existe una diferencia significativa los tratamientos que pertenecen al grupo C que son las medias de

los promedios M3 frente a los tratamientos M1 y M2 de los grupos AB. Entonces la maltodextrina y el NaCl lo que influye en los resultados de osmodeshidratación. Mejorando la deshidratación osmótica, la manera como quitan las moléculas de agua de la superficie de la fruta es más rápida frente a los tratamientos M1 y M2. Lo que se observa en nuestros resultados.

Cuadro N° 7. ANVA (Metodos de deshidratación osmótica M1, M2 y M3).

ANVA Valor de Humedad Vs Tratamientos

	G.L.	Suma de cuadrados	cuadrados medios	Fc	P (valor)
Tratamientos	2	29,34	14,67	5,26	0,048
Error	6	16,72	2,79		
Total	8	46,06			

4.4. Estadística de tratamientos de secado de estufa

La prueba estadística (García R., 2004) se realizó con ayuda del programa Statgraphic versión 5.0 para determinar el análisis de varianza que demuestra que si existe diferencia estadística significativa a un 95% de probabilidad ver cuadro 9, entre los tratamientos de osmodeshidratación que fueron sometidos a secado convencional, dicha prueba nos dice que al menos uno de los métodos es más eficiente en el tiempo de secado, para saber cual de los métodos es más eficiente realizamos una prueba de comparación múltiple de Duncan al 95% dicha prueba nos muestra que el tratamiento M3 difiere significativamente de M1 y M2 siendo más eficiente.

Cuadro N° 8. Prueba múltiple experimental

Método: 95,0 %, Duncan

	Replicas	Media	Grupos homogéneos
M1	3	4,345	A
M2	3	4,127	AB
M3	3	5,9686	C

Entonces existe una diferencia significativa los tratamientos que pertenecen al grupo C, que es la media de los promedios frente a los tratamientos M1 y M2 a los grupos homogéneos AB. Dicha prueba nos detalla cuales tratamientos

difieren entre si, separándolos por grupos homogéneos, siendo la concentración de maltodextrina y el NaCl lo que influye en los tiempos de secado.

Hace una separación y comparación por familias de grupos homogéneos teniendo al tratamiento M3 como familia del grupo homogéneo C y a los tratamientos M1 y M2 como familias de los grupos homogéneos A y B, como observamos el cuadro 8 notamos que el grupo C es diferente de los demás concluimos que este es el mejor tratamiento frente a los demás tratamientos de osmodeshidratación.

Cabe resaltar que no se hizo comparación estadística con el secado convencional porque los tiempos de secado son desde ya muy amplios entre ambos métodos ya que el primero (osmodeshidratación) no refiere tiempo por debajo de 20 horas y el secado convencional nos da tiempos por encima de las 40 horas, entonces es de concluir que el método de osmodeshidratación mejora ampliamente los tiempos de secado, por ello no referimos o incluimos el método estadístico en la misma.

Cuadro N° 9. ANVA (Tiempos de secado entre métodos M1, M2 y M3).

ANVA Tiempo (horas) Vs Tratamientos

	G.L.	Suma de cuadrados	cuadrados medios	Fc	P (valor)
Tratamientos	2	45,484	22,742	202,65	0,0048
Error	6	0,673	0,112		
Total	8	46,157			

4.3 Evaluación del producto final.

4.3.1 Análisis químicos

La Composición Fisicoquímica de la oca fresca sin osmodeshidratar y oca osmodeshidratada se encuentran en la cuadro 10

Cuadro N° 10 Resultados del Análisis Físico Químicas de la oca

Determinaciones	Productos			
	Oca Fresca	Producto M1	Producto M2	Producto M3
	Promedio	Promedio	Promedio	Promedio
Humedad %	77,34	13,7	13,5	12,7
Cenizas %	3.39	4,55	4,92	4,55
Proteína %	5.36	5,79	6,09	5,79
Grasa %	0.61	0,99	1,02	0,99
Fibra %	2.16	2,86	2,99	2,86
Carbohidratos %	87.19	72,11	71,48	72,11
Energía (Kcal. /100 g)	399.0	339,0	339,7	342,9
Acido oxálico %	0.432	0.131	0.118	0.089
Azucares reductores%	2.14	5.10	5.89	8.62

Fuente: laboratorio de control de calidad Facultad de Ingeniería Química UNA-Puno

La Cuadro N° 10 nos muestra la diferencia de humedad entre producto fresco y producto final M1, M2 y M3 de 77.34, 13.7, 13.5, 12.7% respectivamente, esto por el efecto marcado que ejerce el proceso de osmodeshidratación sobre el producto, el secado sobre las muestras, mostrándose aumento en el contenido bromatológico del producto esto por concentraciones, eliminación del agua (vapor) y aumento de la base seca del mismo en proteína, grasa y carbohidratos, esta diferencia es debida a que al extraer el agua por efecto de la osmodeshidratación, se aumenta los valores porcentuales, de acuerdo a lo manifestado por (Woolfe ,2001). Mostrando valores deseables en el tratamiento M3, lo que nos hace aceptar este tratamiento solo por tiempos de secado y por composición proximal.

4.3.2 Análisis Microbiológicos

Los resultados del antes y después se muestran en la Cuadro N° 12

Cuadro N° 11. Análisis microbiológico de oca sin osmodeshidratar y oca osmodeshidrata.

DESCRIPCION	sin Procesar	M1	M2	M3
	UFC/g	UFC/g	UFC/g	UFC/g
Enumeración de coliformes fecales	2,0 x10 ³	Negativo	Negativo	Negativo
Recuento de Mesófilos viables	2,0 x 10 ⁶	2,0 x 10 ²	2,0 x 10 ²	1,5 x 10 ²
Recuento de hongos y levaduras	1,0 x 10 ⁴	1,0 x 10 ²	1,5 x 10 ²	1,9 x 10 ²
Recuento Staphylacoccus aureus	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo
Detección de Salmonella	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo

Fuente: Facultad de Medicina Laboratorio de Microbiología UNA-Puno

(Minsa, 2008). Informa que de la Norma Sanitaria sobre criterios microbiológicos de calidad sanitaria e inocuidad para los alimentos y bebidas de consumo humano. Como se detalla en el siguiente cuadro; basándonos que este es un producto osmodeshidratado lo consideramos a fin a este procedimiento.

Cuadro N° 12. Frutas y hortalizas desecadas, deshidratadas o liofilizadas

Frutas y hortalizas desecadas, deshidratadas o liofilizadas						
Agente microbiano	Categoría	Clase	n	c	Limite por g.	
					m	M
Mohos	3	3	5	1	10	10 ²
Levaduras	3	3	5	1	10	10 ²
<i>Escherichia coli</i>	5	3	5	2	10	5x10 ²
<i>Salmonella sp.</i>	10	2	5	0	Ausencia/25 g	---

Fuente (Minsa, 2008).

Nuestros resultados comparados con el Cuadro N° 12, muestra nuestros recuentos de hongos y levaduras están dentro del rango permisible que nos da (DIGESA, 2008), los mesofilos y coliformes fecales fueron reducidos hasta límites aptos para consumo humano. Los resultados obtenidos se deberían al descenso de la Aw

según (fenenma, 2000), al bajar la Aw de los alimentos y hacerlos de humedad intermedia reducimos el nivel de patógenos en el alimento.

(Garcia, 2003) menciona el efecto del cloruro de sodio en los patógenos estos microorganismos son proteínas y al verse expuestas por estas fuerzas se deshidratan y pierden movilidad causando su senescencia, esto confirmaría nuestros resultados que a mayor concentración de sal mayor inhibición microbiana. Los recuentos microbianos determinado para el producto osmodeshidratado se encuentra dentro de los estándares permisibles. Siendo Apto para el consumo humano en el reporte realizado por el Laboratorio de Microbiología de la Facultad de Medicina Humana de la UNA – PUNO.



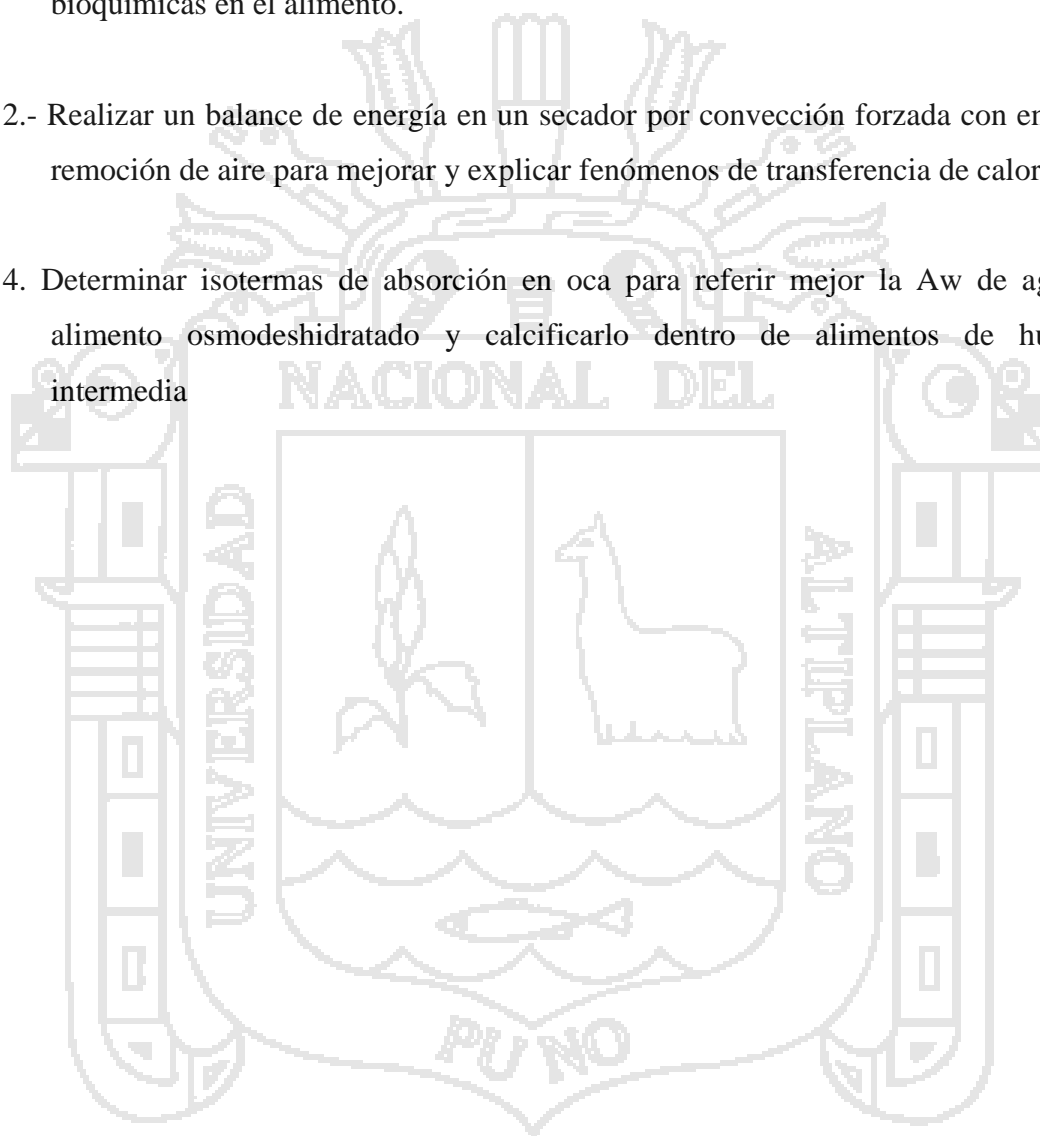
CONCLUSIONES

PRIMERA: Los tratamientos M1 Y M2 no fueron óptimos debido a la baja fuerza iónica que presentaban en su concentración haciendo que los parámetros de tiempo de secado fueron prolongados y exponían a la materia orgánica a la solubilización en el medio, reduciendo su concentración inicial. Para rodajas de oca de 5cm de radio y 0,2cm de espesor tiene como parámetros de osmodeshidratación de 40% de maltodextrina y 25% de sal con un tiempo total de proceso de osmosis mas secado convencional fue de 22,87 horas, frente al secado convencional directo que fue de 55 horas.

SEGUNDA: Las características físico químicas del producto osmodeshidratado, es superior a la materia prima original en porcentaje de proteínas, grasas, cenizas y energía. La osmodeshidratación reduce hasta un 50% el contenido de humedad inicial conservando las características fisicoquímicas y reduciendo la carga microbiana en más de un 75%, siendo el producto apto para consumo humano. El secado convencional en la velocidad de secado es más lento y las características fisicoquímicas se degradan en cantidades mínimas es así que se opta por una osmodeshidratación antes de un secado convencional

RECOMENDACIONES

- 1.- Evaluar diferentes productos de osmodeshidratación y estudiar las reacciones bioquímicas en el alimento.
- 2.- Realizar un balance de energía en un secador por convección forzada con entrada y remoción de aire para mejorar y explicar fenómenos de transferencia de calor.
4. Determinar isotermas de absorción en oca para referir mejor la A_w de agua del alimento osmodeshidratado y calcificarlo dentro de alimentos de humedad intermedia



BIBLIOGRAFÍA

1. Adambounou, T.L. y Castaigne, F. (1990) Deshidratation pertielle par osmose Desbananes at determination courbes de sortion isotherme smosi. Industria conserve,58,90-95, Estados Unidos
2. Andreotti, R y Palmas.D. 1995. Conservazione di pesche parziamente disidratate per osmosi diretta. Industria Conserve, Estados Unidos
3. AOAC. 1990. Official Methods of Analysis Association of Official Agricultural Chemist 13 Edition Washington D, Estados Unidos.
4. Barbosa-Canovas, G.,2002. *Deshidratación de alimentos*. Acribia, España
5. Cháfer,M. 2000. Deshidratación osmótica de corteza de naranja (Valencia Late) y mandarina (Satsuma). Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Valencia. España.
6. Cruz J.F. y Diop A., Avances en la ingeniera agrcola: tecnicas de almacenamiento, Boletn de Servicios Agrícolas de la FAO N 74, 1990
7. De La Peña Vilar. " Secado directo e indirecto". Riera Nadeu. SA, Barcelona. 1994
8. Espín *et al.*, 1999. Caracterización Físico - Química, Nutricional y Funcional de Raíces y Tubérculos Andinos Composición química de materiales promisorios de siete especies de RTAs del Ecuador,pertenecientes al Banco de Germoplasmadel INIAP pag 3
9. Fellows, P. 1994 ,Tecnología del Procesado de los alimentos, Editorial Acribia Zaragoza España.
10. Fennema, O.R.2000 .Introducción a la Ciencia de los Alimentos. Editorial Acribia Zaragoza ,España.Edición N° 2.
11. Fito, P y Chiralt, A. 1995. An update on vacuum osmotic dehydration. In: Food preservation by moisture control: Fundamentals and applications. Eds.G.V, Estados Unidos.
12. Garcia R. 2004 curso basico de STATGRAPHICS PLUS 5.1 (ON LINE). Area de informatica y comunicaciones, Universidad Complutense de Madrid <http://www.sisoft.ucm.es/Manuales/sgwin51esp.pdf>> (03 oct. 2006)
13. Garcia, 2003 experimentos en microbiologia ED. C.E.C.S.A. mexico

14. GeanKoplis,C.J. 1998. Procesos de Transporte y Operaciones Unitarias. Editorial Continental, S.A de C.V., México.
15. Genina ,P .2002 ,Tesis doctoral, Cinvestav . Simulación en el Departamento de Biotecnología y Bioingeniería la Pontificia Universidad Católica de Chile,Chile.
16. Z. Gruda, J. Postolski. 1996. Acribia. Tecnología de la Congelación de los Alimentos Biología de los microorganismos. Pag 131
17. Horton, D.1998.Underground Caops.Long – Terin trends in production of roots an tubers. Winrock Internacional, Morrilton, AK, E.U.
18. Jay, J.M.1984 . Microbiología Moderna de los Alimentos,Editorial ACRIBIA, Zaragoza,España.2 da. Edición.
19. Kasatkin A. 1985 " Operaciones básicas y aparatos en la tecnología química. T-I./pág 262-366.
20. Laura, E. (1995) Manual para el Control de Calidad de los Alimentos. Universidad Nacional del Altiplano Facultad de Ciencias Biológicas Puno-Perú.
21. Lenart,A & Flink ,J.M.(1984) Osmotic concentration of potato – I. Criteria for the end-point of the osmosis process. J. Food Technol. Vol. 19, no. 1 (1984), pp. 45-63. Canadá,
22. Lericic,C 1997. Osmotic Dehydration of fruit. J.Food Science, 50. 1217-1219.
23. Mc farland, 1963. Revista Latinoamericana de microbiologia pag 129, Escuela Nacional de Ciencias Biológicas (Mexico),
24. Mc ADAMS,. WILLIAM. H. (1964). "Transmisión de calor". Tercera Edición.
25. Madariaga Arrizurieta J. F. " El secado de biomasa residual de la caña de azúcar" Tesis para C. Dr. C. T. ISJAE. Fac. de Ing. Mecánica. Ciudad de la Habana. 1995.
26. Menon and Mujundar . " Drying of solids". Mc Graw Hill, Montreal, Canadá.1992
27. Mc.Cabe, W.L., y Smith,J.C. 1991 Operaciones básicas de Ingeniería Química 2ª Ed.McGraw Hill.Nueva York. E.U
28. Ministerio de Agricultura Dpto. Informática y Estadística2007. Puno-Perú.

29. Ministerio de Salud (MINSA)DIGESA .2008. Norma Sanitaria sobre criterios microbiológicos de calidad sanitaria e inocuidad para los alimentos y bebidas de consumo humano. Perú.
30. Mohaimen, N.N. (1980). Termal properties of food and agricultura products. New York: G&B publication
31. Perry J. H. 1986" Chemical Engineering Handbook. 6^{ta} Edición. Mc Graw Hill, New York./pág 20, 7-20, 8
32. Perry,R.H., y Chilton, C.H 1981 Manual del Ingeniero Químico,McGraw Hill.Nueva York.
33. Pomar y Gerardo, 1998.Tuberización in vitro de Oxalis tuberosa Mol. "oca" como una alternativa para la producción de tubérculo semilla.
34. Ponting G. 2005 Osmotic dehydration of fruits. Journal Food Tecnology. Vol 20: 125 - 128
35. Treybal R. C. 1965 " Operaciones con transferencia de masa". Cap. XII./pág 653
36. T. INAZU AND K. IWASAK, 2000. Mathematical Evaluation of Effective Moisture Diffusivity in Fresh Japanese Noodles (Udon) by Regular Regime Theory JOURNAL OF FOOD SCIENCE—Vol. 65, No. 3.
37. Raoult-Wack,A.L.1994 Trends in Food Sci. Techn. London.
38. REPO c. 1998. Introducción a la Ciencia y Tecnología de Granos Andinos Comisión de Tecnología Andina Lima
39. Singh P y Heldman D.1998 Introducción a la Ingeniería de los Alimentos.Editorial Acribia,S.A. Zaragoza (España).
40. Spiazzi,E A y Mascheroni, R.H. 1999 .Modelo de Deshidratación Osmótica de Alimentos Vegetales Simulación en CIDCA (Centro de Investigación y Desarrollo en Criotecnología de Alimentos) La Plata - Argentina.
41. Spiazzi ,E.A. y Mascheroni, R.H. 2001. Deshidratación osmótica de productos frutihortícolas.Actas del VI Congreso Argentino de Ciencia y Tecnología de Alimentos pp. 473- 475.Argentina.
42. Valera A. ; Zambrano J.; Materano W, 2005 . Quimica I efectos de la concentración de solutos y la relacion fruta /jarabe sobre la deshidrtacion osmótica de mango en cilindros. Agronomica Trop 55(1) 117-132

43. Villacrés y Espín, 1998. Caracterización Físico - Química, Nutricional y Funcional de Raíces y Tubérculos Andinos Tamaño y forma de los gránulos de varios almidones pag 12
44. Woolfe , 2001. Effect of osmotic solution concentration, temperature, and vacuum impregnation Deshidratación osmótica
45. Who/Fao (1998), Carbohydrates in human nutrition. FAO food and nutrition Paper no. 66. FAO, Rome. Italia.



ANEXO 1

COMPOSICIÓN QUÍMICA DE ESPECIES PERTENECIENTES AL BANCO DE
GERMOPLASMA DEL INIAP

PARAMETRO	ESPECIE		
	Mashua	oca	Melloco
Humedad (%)	63,7	77,73	84,34
Cenizas (%)	4,81	3,39	5,93
Proteína (%)	9,17	4,60	10,01
Fibra (%)	5,86	2,16	2,63
Extracto Etereo (%)	4,61	1,66	1,24
Carbohidrato total (%)	75,40	88,19	80,12
Ca (%)	0,006	0,012	0,02
P (%)	0,32	0,14	0,263
Mg (%)	0,11	0,0065	0,107
Na (%)	0,044	0,018	0,03
K (%)	1,99	1,30	2,48
Cu (ppm)	9,00	2,25	10,71
Fe (ppm)	42	48,85	59,42
Mn (ppm)	7,00	5,35	9,19
Zn (ppm)	43,00	5,95	23,94
I (ppm)		3,65	
Almidon (%)	46,92	42,17	70,5
Azucar Total (%)	42,81	9,68	6,63
Azucares reductores (%)	35,83	7,62	
Energía (kcal/100g)	440,0	399,0	412
Vitamina C (mg/100g mf)	77,37	34,53	26,03
Eq Retinol /100g mf	73,56		
Acido Oxalico/100g mf		82,93	

Fuente: Espín, 1999.

* Datos expresados en Base Seca, muestra entera

1/

Se refiere al contenido expresado como glucosa

Valores promedio de 30 determinaciones para cada análisis y por especie

mf = materia fresca

ANEXO 2

TAMAÑO Y FORMA DE LOS GRANULOS DE ALMIDON DE TUBERCULOS

Tubérculo/Raíz	Rendimiento ¹ (%)	Residuo ¹ (%)	Fibra cruda (%) [*]
Oca	14,00 ± 1,40 b	2,88 ± 0,36	0,007 ± 0,005
Melloco	7,17 ± 0,83 d	3,14 ± 0,81	0,008 ± 0,003
Mashua	4,61 ± 1,07 e	2,75 ± 0,70	0,010 ± 0,008
Miso	12,23 ± 2,00 c	21,70 ± 8,94	0,027 ± 0,014
Zanahoria blanca	16,22 ± 2,68 a	2,97 ± 1,05	0,006 ± 0,005
Papa	16,13 ± 1,67 a	2,13 ± 0,98	0,002 ± 0,001

Fuente: Villacrés y Espin, 1998

¹/ En base a peso fresco de tubérculo/raíz^{*} Base seca

ANEXO 3

CERTIFICADO ANALISIS BROMATOLOGICO DE LA OCA.



Universidad Nacional del Altiplano - Puno
FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA
 Ciudad Universitaria - Apartado 291 - Telefax: (051) 366190 - Fax (051) 366190



CERTIFICADO DE ANALISIS

ASUNTO : ANALISIS FISICOQUIMICO DE LA OCA FRESCA (*Oxalis Tuberosa* Mol)

INTERESADO : BACH. EDY FERNANDO TITO CARPIO

MOTIVO : TESIS DE INVESTIGACION
 "EFECTOS DE LA DESHIDRATACION OSMOTICA Y DESHIDRATACION CONVENCIONAL SOBRE LA COMPOSICION QUIMICA DE LA OCA (*Oxalis Tuberosa* Mol) VARIEDAD KENT"

MUESTREO : 06/03/2008 (POR EL INTERESADO)

ANALISIS : 07/03/2008

CARACTERISTICAS ORGANOLEPTICAS

ASPECTO : SOLIDO FRESCO

COLOR : AMARILLO BLANCO

CARACTERISTICAS FISICOQUIMICAS

Descripción	%
Humedad	77,34
Proteína	5,36
Grasa	0,61
Carbohidratos	87,19
Ceniza total	3,39
Fibra	2,16
Energía (Kcal/100 gr)	399,0
Acido oxálico	0,432
Azúcares reductores	2,14



Edy Fernando Tito Carpio
 ANALISIS QUIMICO
 FACULTAD INGENIERIA QUIMICA
 UNA - PUNO

PUNO C.U. 09 de Agosto 2008

Web: <http://www.unap.edu.pe> - E-mail: fiq_unapuno@hotmail.com

ANEXO 4

CERTIFICADO ANALISIS MICROBIOLÓGICO DE LA OCA.



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO-PUNO
FACULTAD DE MEDICINA HUMANA
LABORATORIO DE PARASITOLOGIA Y MICROBIOLOGIA



INFORME

SOLICITANTE : Bach. EDY FERNANDO TITO CARPIO
 PRODUCTOS : OCA (*Oxalis tuberosa mol*) variedad keñi
 ANALISIS SOLICITADO: MICROBIOLÓGICO (TESIS)
 FECHA DE RECEPCION: 05 DE AGOSTO DEL 2008
 FECHA DE ANALISIS : 06 DE AGOSTO DEL 2008
 REFERENCIA : Las Muestras se Recepcionó en Laboratorio

RESULTADOS DE ANALISIS MICROBIOLÓGICO DE OCA SIN OSMODESHIDRATAR:

MUESTRA	ESPECIES	RESULTADO
1	Enumeración de coliformes fecales	NEGATIVO
	Recuento de Mesofilos viables	$2,0 \times 10^6$
	Recuento de hongos y levaduras	$1,1 \times 10^4$
	Recuento Staphylococcus aureus	NEGATIVO
	Detección de Salmonella	NEGATIVO
2	Enumeración de coliformes fecales	NEGATIVO
	Recuento de Mesofilos viables	$1,9 \times 10^6$
	Recuento de hongos y levaduras	$0,9 \times 10^4$
	Recuento Staphylococcus aureus	NEGATIVO
	Detección de Salmonella	NEGATIVO
3	Enumeración de coliformes fecales	NEGATIVO
	Recuento de Mesofilos viables	$2,1 \times 10^6$
	Recuento de hongos y levaduras	$0,7 \times 10^4$
	Recuento Staphylococcus aureus	NEGATIVO
	Detección de Salmonella	NEGATIVO

INTERPRETACION: Los recuentos de los microorganismos analizados, se encuentran por debajo de los rangos permisibles, no encontrando gérmenes e indicadores de Contaminación.

PUNO, C.U. 22 DE AGOSTO DEL 2008.


 Palacios Frisachua
 MICROLOGO
 C.U. 126



ANEXO 5

CERTIFICADO ANALISIS BROMATOLOGICO DEL PRODUCTO OSMODESHIDRATADO.



Universidad Nacional del Altiplano - Puno

FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA

Ciudad Universitaria - Apartado 291 - Telefax: (051) 366190 - Fax (051) 366190



CERTIFICADO DE ANALISIS

ASUNTO : ANALISIS FISICO QUIMICO DE LA OCA (*Oxalis tuberosa* Mol) (PRODUCTO FINAL)

INTERESADO : BACHELY FERNANDO ITTO CARPIO

MOTIVO : TESIS DE INVESTIGACION "EFECTOS DE LA DESHIDRATACION OSMOTICA Y DE SHIDRATACION CONVENCIONAL SOBRE LA COMPOSICION QUIMICA DE LA OCA (*Oxalis tuberosa* Mol) VARIEDAD "KENI"

MUESTREO : 08/03/2009 (POR EL INTERESADO)

ANALISIS : 09/03/2009

CARACTERISITICAS ORGANOLEPTICAS

ASPECTO : SOLIDO

COLOR : BLANCO

CARACTERISITCAS FISICO QUIMICAS

DETERMINACIONES	PRODUCTO	PRODUCTO	PRODUCTO
	M1	M2	M3
	PROMEDIO %	PROMEDIO %	PROMEDIO %
HUMEDAD	13.7	13.5	12.7
CENIZA	4.55	4.92	4.55
PROTEINA	5.79	6.09	5.79
GRASA	0.99	1.02	0.99
FIBRA	2.86	2.99	2.86
CARBOHIDRATOS	72.11	71.48	72.11
ENERGIA	339 Kcal	339.7 Kcal	342.9 Kcal

PUNO, C. U. 10 DE MARZO DEL 2009



Ing. German Quille Calizaya
ANALISTA QUIMICO
FACULTAD INGENIERIA QUIMICA
UNA - PUNO

Web: <http://www.unap.edu.pe> - E-mail: fiq_unapuno@hotmail.com

ANEXO 6

CERTIFICADO ANALISIS MICROBIOLÓGICO DEL PRODUCTO
OSMOSHIDRATADO.



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO-PUNO
FACULTAD DE MEDICINA HUMANA
LABORATORIO DE PARASITOLOGIA Y MICROBIOLOGIA



INFORME

SOLICITANTE : Bach. EDY FERNANDO TITO CARPIO
PRODUCTOS : OCA (*Oxalis tuberosa mol.*) variedad keñi
ANÁLISIS SOLICITADO: MICROBIOLÓGICO (TESIS)
FECHA DE RECEPCIÓN: 10 DE MARZO DEL 2009
FECHA DE ANÁLISIS : 10 DE MARZO DEL 2009
REFERENCIA : Las Muestras se Recepcionó en Laboratorio

**PROMEDIO DEL ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DE OCA SIN
OSMOSHIDRATAR Y OCA OSMOSHIDRATADA**

ESPECIES	SIN PROCESAR UFC/g 06/08/2008	M1 UFC/g	M2 UFC/g	M3 UFC/g
Enumeración de coliformes fecales	NEGATIVO	NEGATIVO	NEGATIVO	NEGATIVO
Recuento de Mesófilos viables	$2,0 \times 10^6$	$2,0 \times 10^2$	$2,0 \times 10^2$	$1,5 \times 10^2$
Recuento de hongos y levaduras	$1,0 \times 10^4$	$1,0 \times 10^2$	$1,5 \times 10^2$	$1,9 \times 10^2$
Recuento Staphylococcus aureus	NEGATIVO	NEGATIVO	NEGATIVO	NEGATIVO
Detección de Salmonella	NEGATIVO	NEGATIVO	NEGATIVO	NEGATIVO


INTERPRETACION: Los recuentos de los microorganismos analizados, se encuentran por debajo de los rangos permisibles, no encontrando gérmenes e indicadores de Contaminación.

PUNO, C.U. 19 DE MARZO DEL 2009.


 Lorgio Palacios Frisancho
 MICROBIOLOGO
 200 1125

ANEXO 7


CERTIFICADO DETERMINACIONE DE AZUCARES REDUCTORES DEL PRODUCTO FINAL



Universidad Nacional del Altiplano - Puno

FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA

Ciudad Universitaria - Apartado 291 - Telefax: (051) 366190 - Fax (051) 366190



CERTIFICADO DE ANALISIS

ASUNTO : DETERMINACION DE AZUCARES REDUCTORES DE LA OCA (PRODUCTO FINAL)

INTERESADO : BACHELY FERNANDOTTO CARPIO

MOTIVO : TESIS DE INVESTIGACION "EFECTOS DE LA DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA Y DESHIDRATACIÓN CONVENCIONAL SOBRE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA OCA (*Oxalis tuberosa* Mol) VARIEDAD "KENI"

MUESTREO : 08/03/2009 (POR EL INTERESADO)

ANALISIS : 09/03/2009

CARACTERISITICAS ORGANOLEPTICAS


ASPECTO : SOLIDO

COLOR : BLANCO

AZUCARES REDUCTORES OCA (*Oxalis tuberosa* Mol)

DETERMINACIONES	PRODUCTO M1	PRODUCTO M2	PRODUCTO M3
	PROMEDIO %	PROMEDIO %	PROMEDIO %
AZUCARES REDUCTORES	5.10	5.89	8.62

PUNO, C. U. 10 DE MARZO DEL 2009



Ing. German Quiro-Chalvaya
ANALISTA QUIMICO
FACULTAD INGENIERIA QUIMICA
UNA - PUNO

Web: <http://www.unap.edu.pe> - E-mail: fiq_unapuno@hotmail.com

ANEXO 8

CERTIFICADO DETERMINACIONE DE ACIDO OXALICO DEL PRODUCTO FINAL



Universidad Nacional del Altiplano - Puno

FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA

Ciudad Universitaria - Apartado 291 - Telefax: (051) 366190 - Fax (051) 366190



CERTIFICADO DE ANALISIS

ASUNTO : DETERMINACION DE ACIDO OXALICO DE LA OCA (*Oxalis tuberosa* Mol) PRODUCTO FINAL

INTERESADO : BACH. EDY FERNANDO TITO CARRIO

MOTIVO : TESIS DE INVESTIGACION "EFECTOS DE LA DESHIDRATACION OSMOTICA Y DESHIDRATACION CONVENCIONAL SOBRE LA COMPOSICION QUIMICA DE LA OCA (*Oxalis tuberosa* Mol) VARIEDAD "KENI"

MUESTREO : 08/03/2009 (POR EL INTERESADO)

ANALISIS : 09/03/2009

CARACTERISTICAS ORGANOLEPTICAS

ASPECTO : SOLIDO

COLOR : BLANCO

ACIDO OXALICO OCA (*Oxalis tuberosa* Mol) PRODUCTO FINAL

DETERMINACIONES	PRODUCTO M1	PRODUCTO M2	PRODUCTO M3
	PROMEDIO %	PROMEDIO %	PROMEDIO %
ACIDO OXALICO	0.131	0.118	0.089

PUNO, C. U. 10 DE MARZO DEL 2009



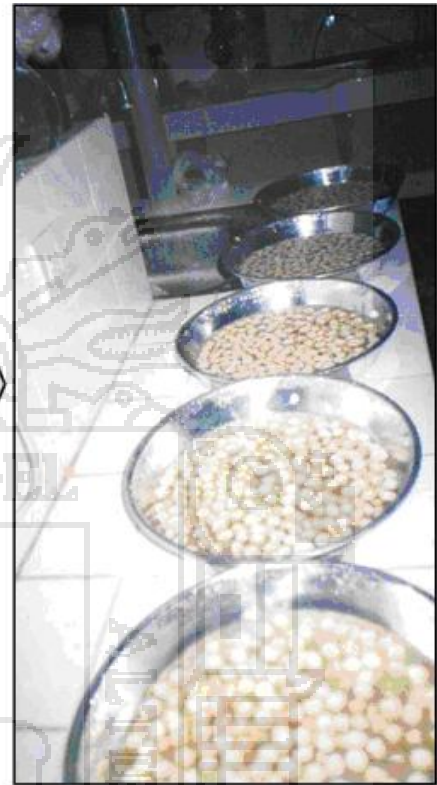

Ing. German Quiñe Calizaya
ANALISTA QUIMICO
FACULTAD INGENIERIA QUIMICA
UNA - PUNO

Web: <http://www.unap.edu.pe> - E-mail: fiq_unapuno@hotmail.com

ANEXO 9

IMÁGENES DE LA METODOLOGIA DE OSMODESHIDRATACION EN OCA

Proceso de Osmodeshidratación



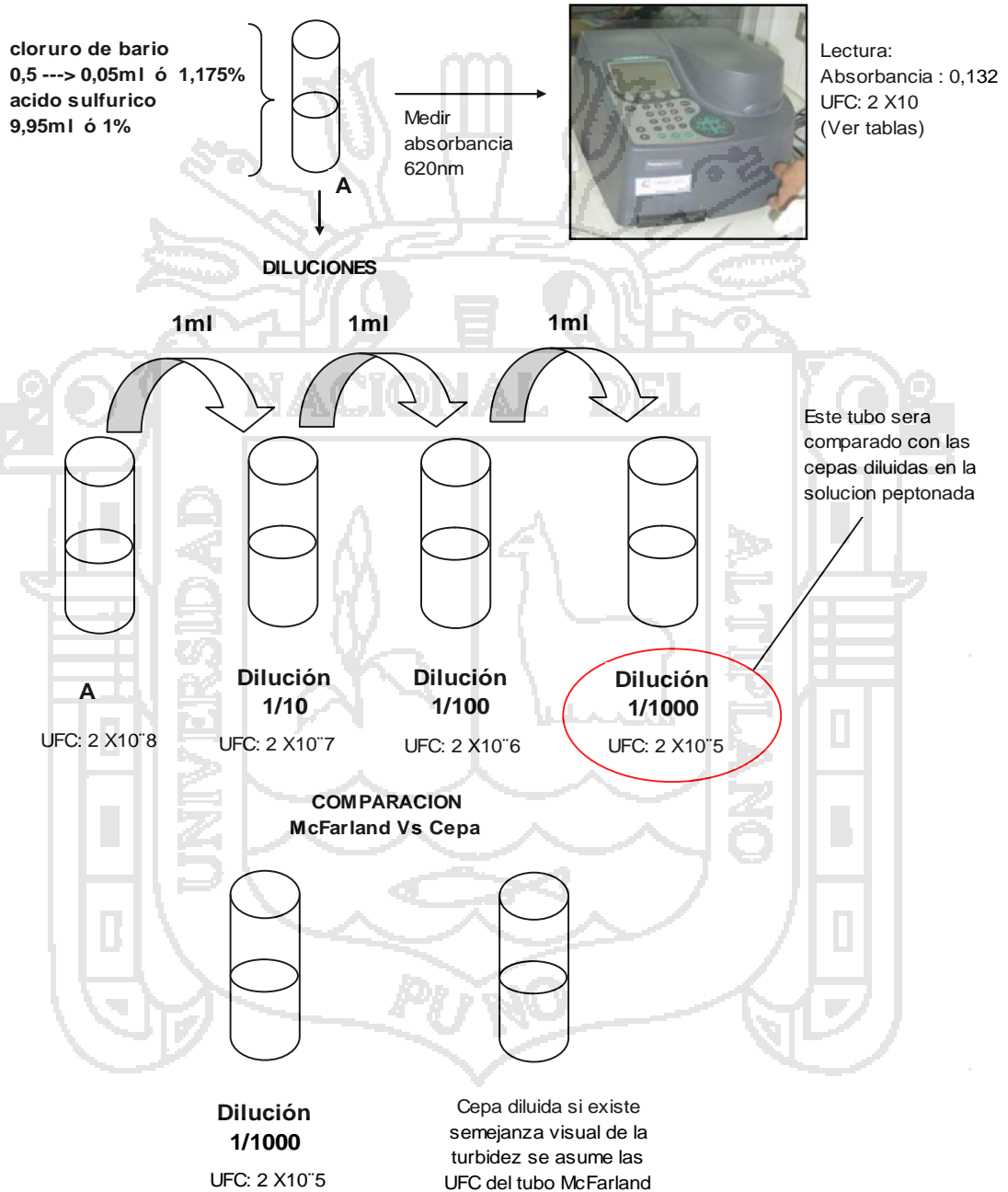
Secado convencional



**Envasado para
análisis**

ANEXO 10

ESQUEMA DE METODOLOGÍA MCFARLAND



ANEXO 11

BALANCE DE MASA

Para efectos de entender mejor los fenómenos de transferencia de calor que ocurren en el alimento detallaremos los balances de masa producidos en los tres procesos.

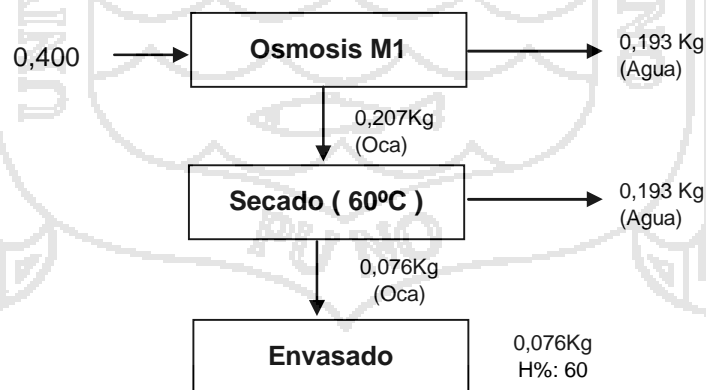
- ✓ **Balance total de materia en la limpieza y preparación de la muestra para los tres tratamientos M1, M2, M3.**

Las muestras fueron seleccionadas y lavadas como se detalla a continuación, el picado es el mismo para los 3 tratamientos, (ver esquemas).

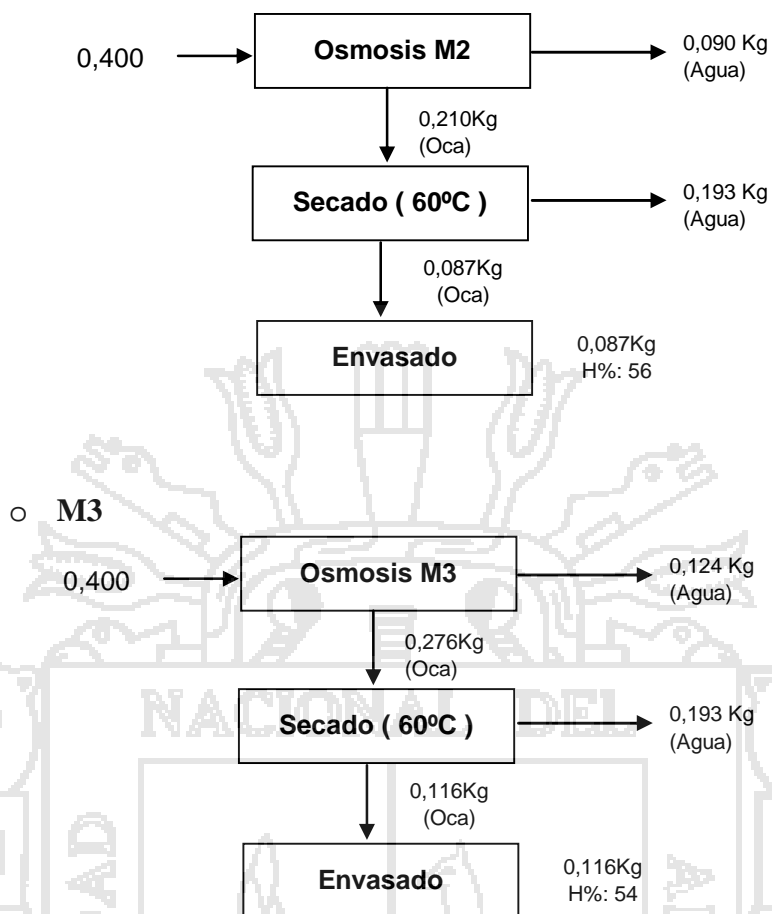


- ✓ **Balance total de materia en el proceso de osmosis para cada los tres tratamientos M1, M2, M3.**

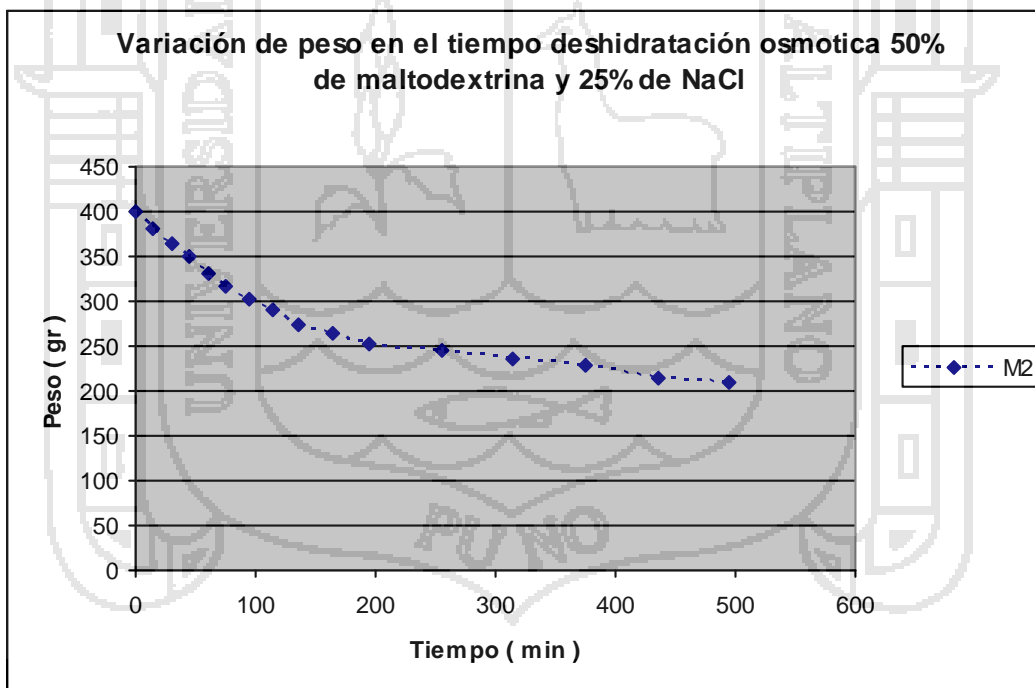
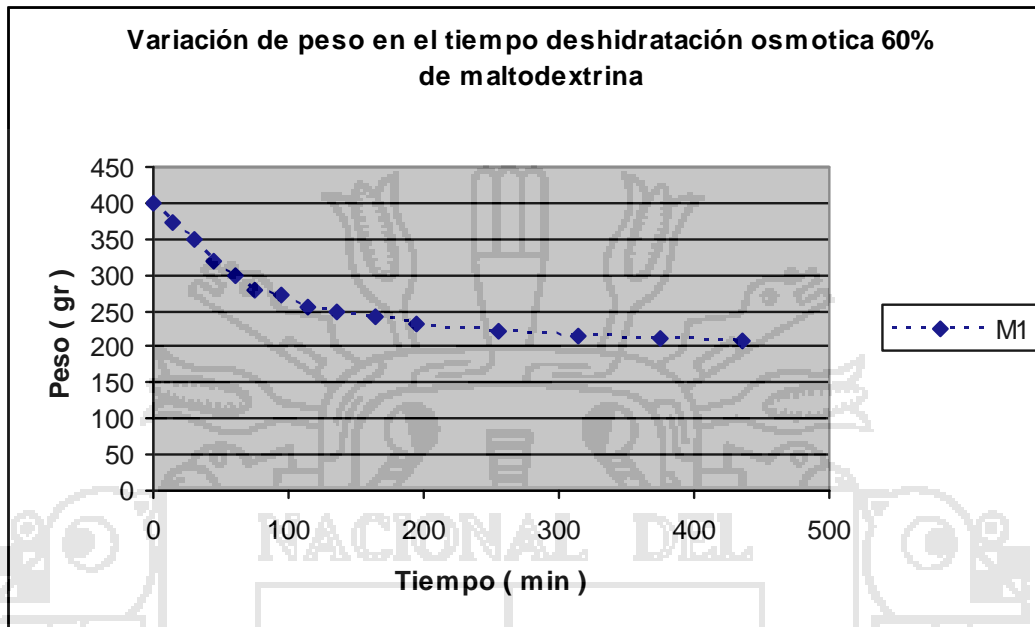
- **M1**



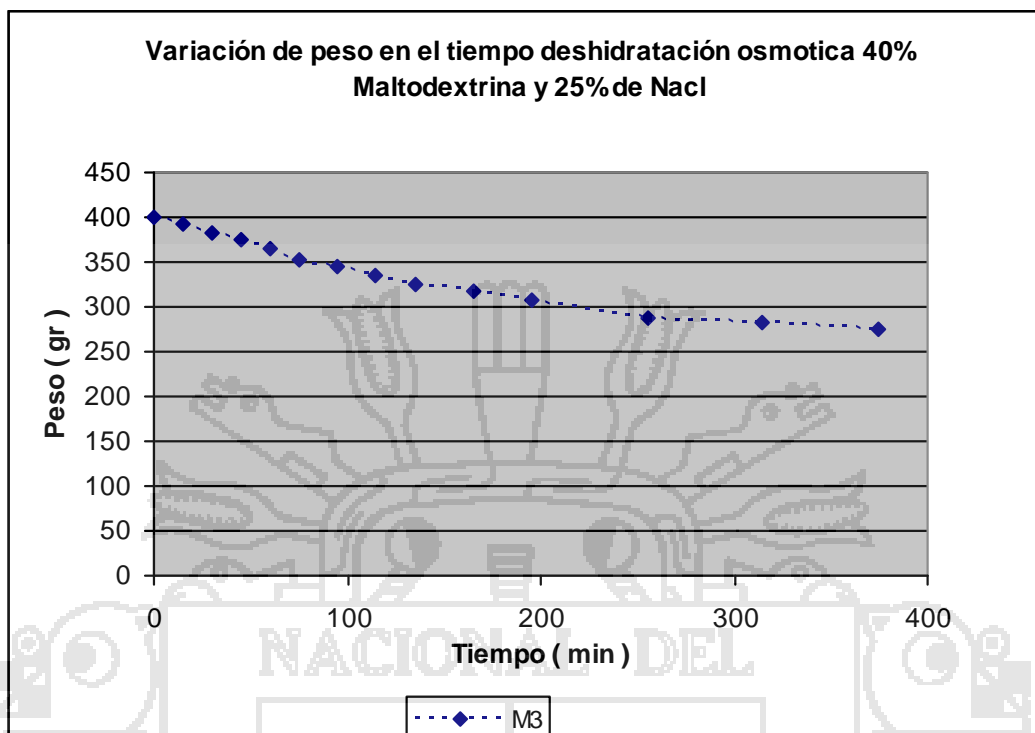
- **M2**



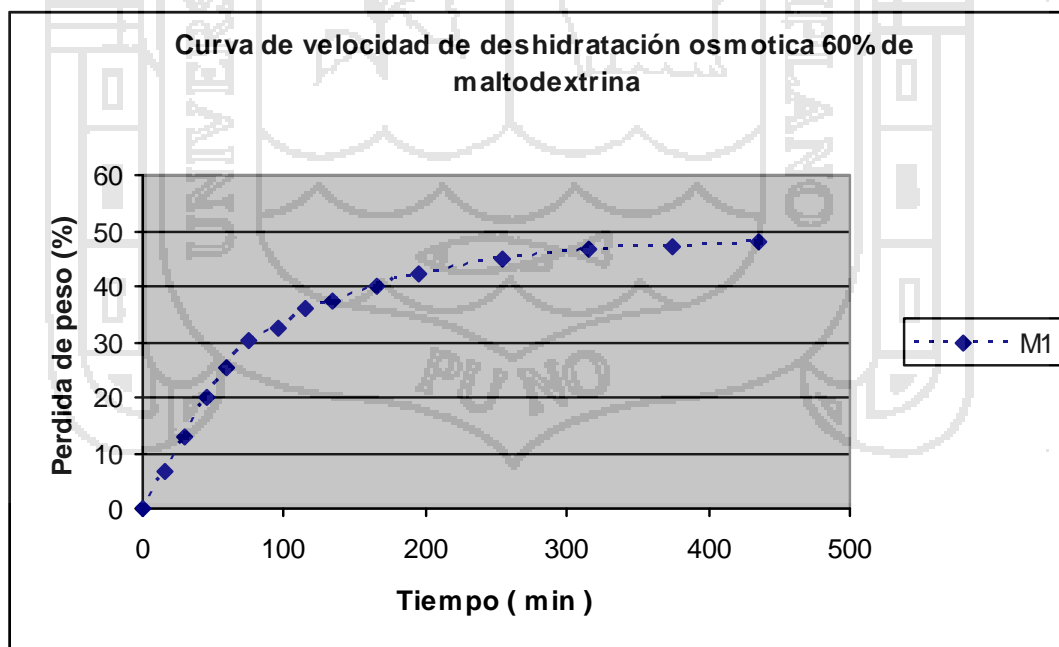
APENDICE 1. Gráficos Experimentales Obtenidos para la Determinación de curvas de pérdida de peso en el tiempo “Tratamiento de osmosis”.



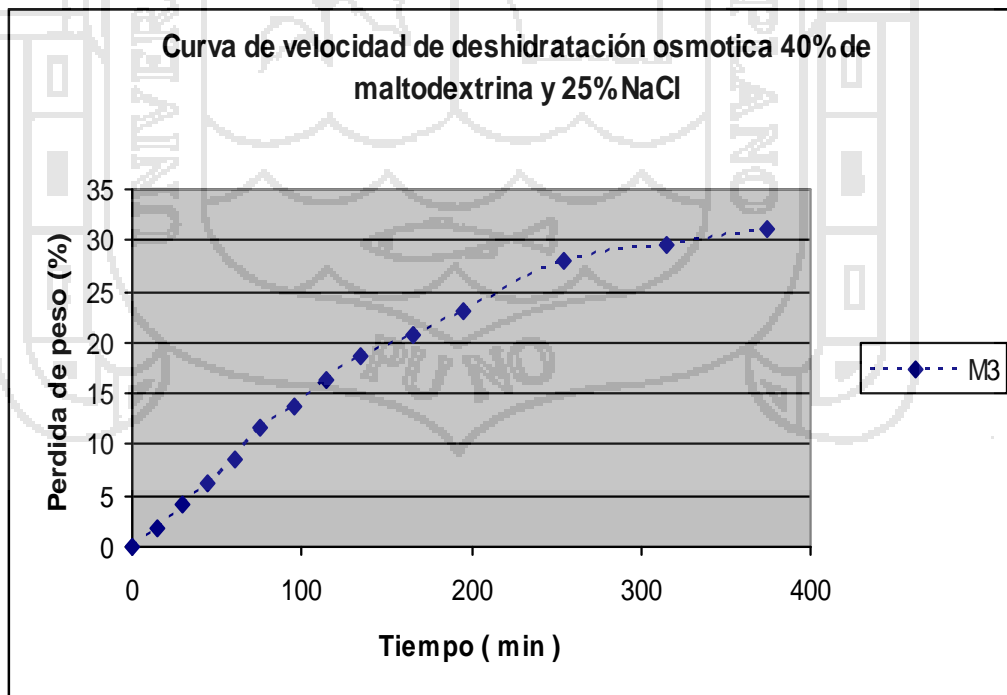
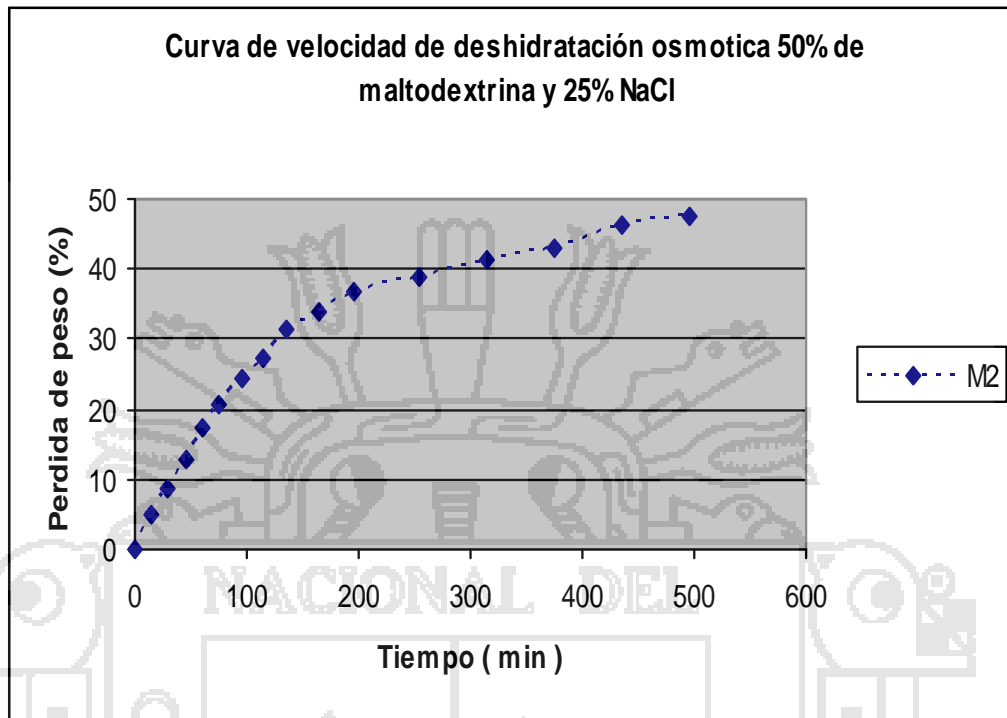
Continuación (Apéndice 1).



APENDICE 2. Gráficos Experimentales Obtenidos para la Determinación de curvas de velocidad de osmodeshidratación en oca.



Continuación (Apéndice 2).



APENDICE 3. Se muestran los datos para el procesamiento de las curvas de osmodeshidratacion. Tratamientos M1, M2 y M3.

Datos de Tiempo (min) y Pérdida de Peso(g) registrados en el Proceso de deshidratacionosmotica con las muestras de 60 % maltodextrina

Tiempo		Promedio M1	Promedio M2	Promedio M3	Promedio final de los 3 tratamientos	% perdida de peso
minutos	Acumulado (min)	Muestra(g)	Muestra(g)	Muestra(g)		
0	0	400	400	400	400,000	0
15	15	370	371,3	378,6	373,300	6,68
15	30	345,4	343,5	356,4	348,433	12,89
15	45	307,8	316,3	334,8	319,633	20,09
15	60	290,9	301,2	305,1	299,067	25,23
15	75	269,9	283,3	283,5	278,900	30,28
20	95	267,4	278,4	266,3	270,700	32,33
20	115	246,9	264,8	256,5	256,067	35,98
20	135	242,4	257,6	249,4	249,800	37,55
30	165	235,5	247,1	239,7	240,767	39,81
30	195	224,5	240	228	230,833	42,29
60	255	215,1	230,1	218,5	221,233	44,69
60	315	208,4	220,8	211,3	213,500	46,63
60	375	203,7	218	214,3	212,000	47,00
60	435		210,6	203,7	207,150	48,21

Datos de Tiempo (min) y Pérdida de Peso(g) registrados en el Proceso de deshidratacionosmotica con las muestras de 50 % maltodextrina 25% sal

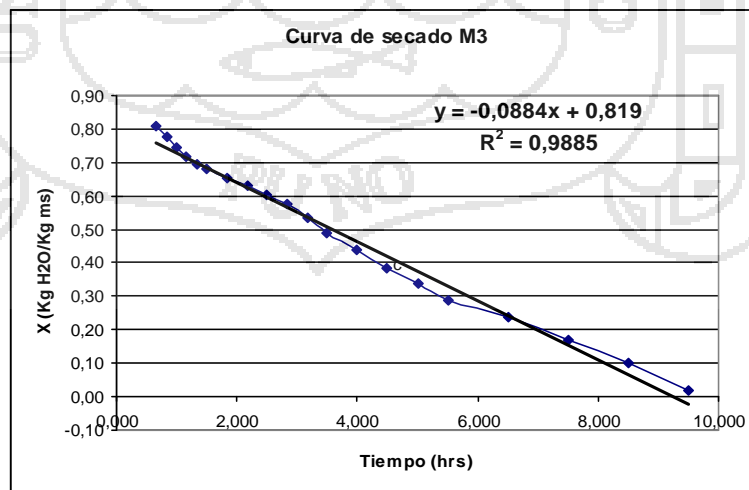
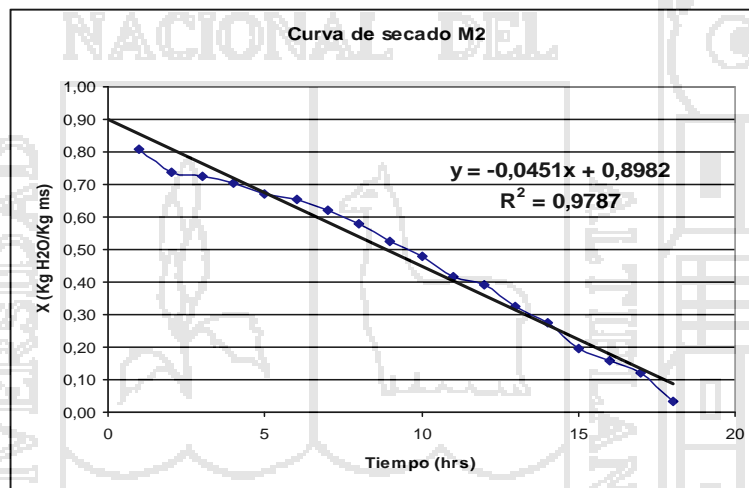
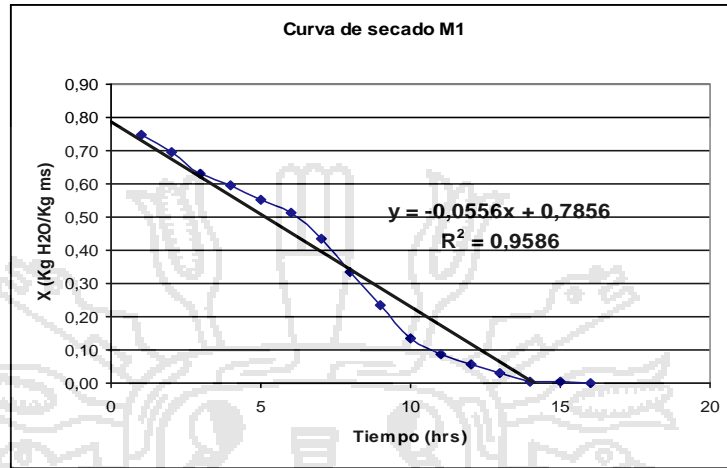
Tiempo		Promedio M1	Promedio M2	Promedio M3	Promedio final de los 3 tratamientos	% perdida de peso
Minutos	Acumulado	Muestra(g)	Muestra(g)	Muestra(g)		
0	0	400	400	400	400,00	0
15	15	383	381	378,6	380,87	4,78
15	30	369	370	356,4	365,13	8,72
15	45	355	358	335,2	349,40	12,65
15	60	345	344	304,3	331,10	17,23
15	75	333	333,3	283,5	316,60	20,85
20	95	320	320	266,3	302,10	24,48
20	115	309	305	256,5	290,17	27,46
20	135	297	275	249,4	273,80	31,55
30	165	283	269	239,7	263,90	34,03
30	195	271	261	228	253,33	36,67
60	255	264	250	218,5	244,17	38,96
60	315	252	239	215,6	235,53	41,12
60	375	240	231	213,1	228,03	42,99
60	435	220	215	208,6	214,53	46,37
60	495	215		204,3	209,65	47,59

Continuación (Apéndice 3).

Datos de Tiempo (min) y Pérdida de Peso(g) registrados en el Proceso de deshidratación osmótica con las muestras de 40% maltodextrina y 25% de sal

Tiempo(min)		Promedio M1	Promedio M2	Promedio M3	Promedio final de los 3 tratamientos	% pérdida de peso
Minutos	Acumulado	Muestra(g)	Muestra(g)	Muestra(g)		
0	0	400	400	400	400,00	0
15	15	392	391,7	393	392,23	1,94
15	30	385	382	384,1	383,70	4,08
15	45	377	372,9	374	374,63	6,34
15	60	368	366	364,2	366,07	8,48
15	75	354	353	354,1	353,70	11,58
20	95	350	341	343,4	344,80	13,80
20	115	345	332	328	335,00	16,25
20	135	340	322	314	325,33	18,67
30	165	336	311	304	317,00	20,75
30	195	330	299	293,9	307,63	23,09
60	255	307	274	283,2	288,07	27,98
60	315	299	270	277	282,00	29,50
60	375	287	272	269	276,00	31,00

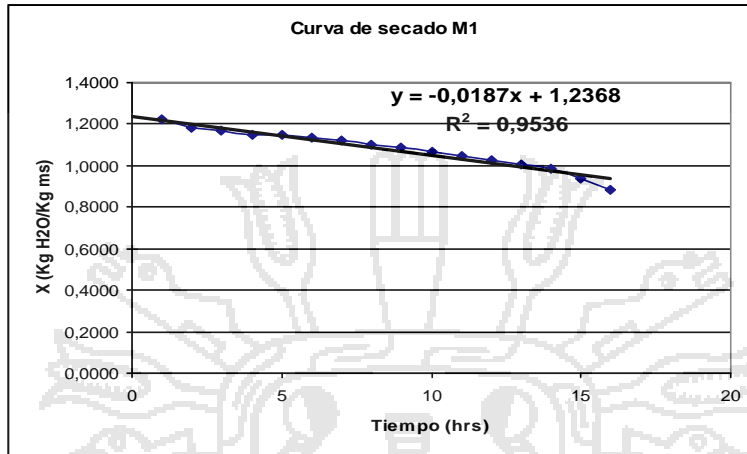
APENDICE 4. Gráficos Experimentales Obtenidos para la Determinación de curvas de secado para velocidad decreciente.



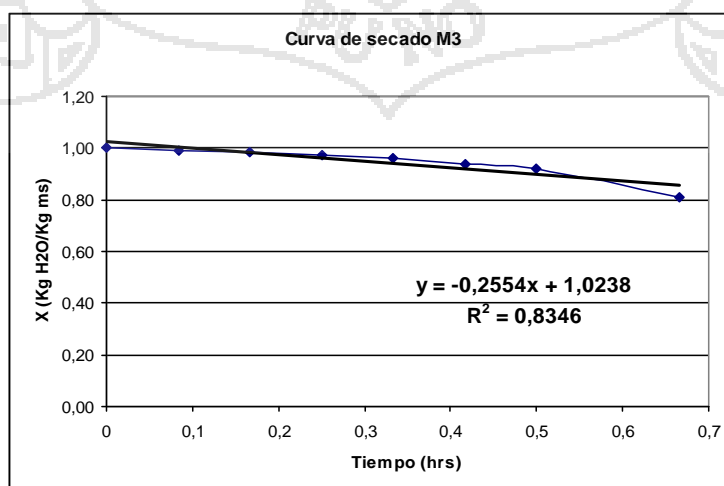
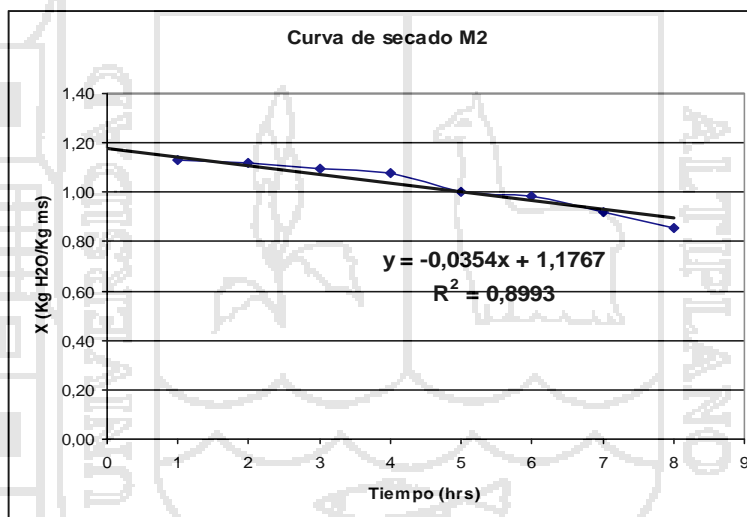
APENDICE 5. Datos obtenidos para la determinación de Curvas de secado. M1

Dato	Tiempo (min)	Acumulado	Peso (gr)	Peso agua (kg)	X (kg agua /kg ms)	Pendiente	Ls/A	R
1	0	0	168,6	0,09273	1,2222	-0,1207	-0,60940	0,0736
2	5	5	165,6	0,0897	1,1827	-0,1207	-0,60940	0,0736
3	5	10	164,4	0,0885	1,1669	-0,1207	-0,60940	0,0736
4	5	15	163	0,0871	1,1484	-0,1207	-0,60940	0,0736
5	5	20	163	0,0871	1,1484	-0,1207	-0,60940	0,0736
6	5	25	161,9	0,0860	1,1339	-0,1207	-0,60940	0,0736
7	5	30	160,9	0,0850	1,1207	-0,1207	-0,60940	0,0736
8	10	40	159,6	0,0837	1,1036	-0,1207	-0,60940	0,0736
9	10	50	158,2	0,0823	1,0851	-0,1207	-0,60940	0,0736
10	10	60	156,7	0,0808	1,0654	-0,1207	-0,60940	0,0736
11	10	70	155,3	0,0794	1,0469	-0,1207	-0,60940	0,0736
12	10	80	153,8	0,0779	1,0272	-0,1207	-0,60940	0,0736
13	10	90	152,4	0,0765	1,0087	-0,1207	-0,60940	0,0736
14	20	110	150,4	0,0745	0,9823	-0,1207	-0,60940	0,0736
15	20	130	146,9	0,0710	0,9362	-0,1207	-0,60940	0,0736
16	20	150	142,9	0,0670	0,8835	-0,1207	-0,60940	0,0736
17	20	170	132,6	0,0567	0,7477	-0,1116	-0,60940	0,0680
18	20	190	128,5	0,0526	0,6937	-0,1034	-0,60940	0,0630
19	20	210	123,8	0,0479	0,6317	-0,0922	-0,60940	0,0562
20	30	240	120,9	0,0450	0,5935	-0,0811	-0,60940	0,0494
21	30	270	117,9	0,0420	0,5540	-0,0729	-0,60940	0,0444
22	30	300	114,9	0,0390	0,5144	-0,0638	-0,60940	0,0389
23	30	330	108,7	0,0328	0,4327	-0,0547	-0,60940	0,0333
24	60	390	101,3	0,0254	0,3352	-0,0465	-0,60940	0,0283
25	60	450	93,7	0,0178	0,2350	-0,0404	-0,60940	0,0246
26	60	510	86,2	0,0103	0,1362	-0,0323	-0,60940	0,0197
27	60	570	82,5	0,0066	0,0874	-0,0241	-0,60940	0,0147
28	60	630	80,2	0,0043	0,0571	-0,0229	-0,60940	0,0139
29	60	690	78,2	0,0023	0,0307	-0,0167	-0,60940	0,0102
30	60	750	76,2	0,0003	0,0043	-0,0136	-0,60940	0,0083
31	60	810	76,2	0,0003	0,0043	-0,0125	-0,60940	0,0076
32	60	870	75,9	0,0000	0,0004	-0,0093	-0,60940	0,0057

Continuación Apendice 5. Gráficos Experimentales Obtenidos para la Determinación de curvas de secado para velocidad constante.



Continuación (Apendice 5).



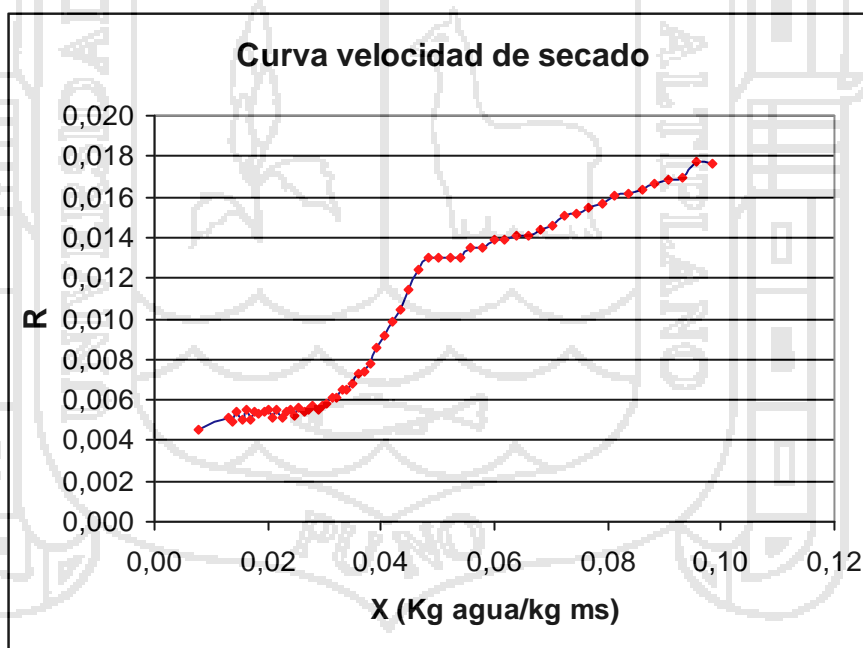
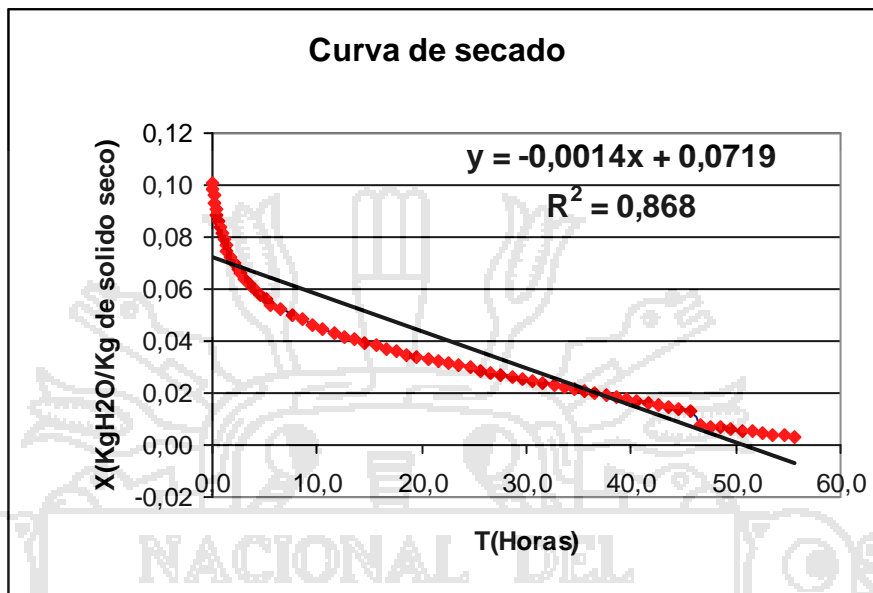
APENDICE 6. Datos obtenidos para la determinación de Curvas de secado. M2

Dato	Tiempo min	Acumulado	Peso (gr)	Peso agua (kg)	X (kg agua /kg ms)	Pendiente	Ls/A	R
1	0	0	180	0,0954	1,1277	-0,4389	-0,67952	0,2982
2	5	5	179,2	0,0946	1,1182	-0,4389	-0,67952	0,2982
3	5	10	177,2	0,0926	1,0946	-0,4389	-0,67952	0,2982
4	5	15	175,9	0,0913	1,0792	-0,4389	-0,67952	0,2982
5	5	20	169,1	0,0845	0,9988	-0,4389	-0,67952	0,2982
6	5	25	167,8	0,0832	0,9835	-0,4389	-0,67952	0,2982
7	5	30	162,3	0,0777	0,9184	-0,4389	-0,67952	0,2982
8	10	40	157	0,0724	0,8558	-0,4389	-0,67952	0,2982
9	10	50	153	0,0684	0,8085	-0,4263	-0,67952	0,2897
10	10	60	147	0,0624	0,7376	-0,4147	-0,67952	0,2818
11	10	70	146	0,0614	0,7258	-0,4002	-0,67952	0,2719
12	10	80	144	0,0594	0,7021	-0,3886	-0,67952	0,2641
13	10	90	141,2	0,0566	0,6690	-0,3770	-0,67952	0,2562
14	20	110	140	0,0554	0,6548	-0,3655	-0,67952	0,2484
15	20	130	137	0,0524	0,6194	-0,3529	-0,67952	0,2398
16	20	150	133,5	0,0489	0,5780	-0,3393	-0,67952	0,2306
17	20	170	129	0,0444	0,5248	-0,3199	-0,67952	0,2173
18	20	190	125	0,0404	0,4775	-0,3073	-0,67952	0,2088
19	20	210	120	0,0354	0,4184	-0,2957	-0,67952	0,2009
20	30	240	117,6	0,0330	0,3901	-0,2212	-0,67952	0,1503
21	30	270	112	0,0274	0,3239	-0,2086	-0,67952	0,1417
22	30	300	108	0,0234	0,2766	-0,1970	-0,67952	0,1338
23	30	330	101	0,0164	0,1939	-0,1895	-0,67952	0,1288
24	60	390	98	0,0134	0,1584	-0,1769	-0,67952	0,1202
25	60	450	94,7	0,0101	0,1194	-0,1453	-0,67952	0,0987
26	60	510	87,4	0,0028	0,0331	-0,1208	-0,67952	0,0821
27	60	570	83	-0,0016	-0,0189	-0,1082	-0,67952	0,0735
28	60	630	79	-0,0056	-0,0662	-0,0966	-0,67952	0,0656
29	60	690	75,3	-0,0093	-0,1099	-0,0221	-0,67952	0,0150
30	60	750	72	-0,0126	-0,1489	-0,0095	-0,67952	0,0065
31	60	810	70,9	-0,0137	-0,1619	0,0021	-0,67952	-0,0014
32	60	870	69,9	-0,0147	-0,1738	0,0766	-0,67952	-0,0521
33	60	930	69	-0,0156	-0,1844	0,0892	-0,67952	-0,0606
34	60	990	69	-0,0156	-0,1844	0,1008	-0,67952	-0,0685
35	60	1050	68	-0,0166	-0,1962	0,1753	-0,67952	-0,1191
36	60	1110	68	-0,0166	-0,1962	0,1879	-0,67952	-0,1277

APENDICE 7. Datos obtenidos para la determinación de Curvas de secado. M3

Dato	Tiempo min	Acumulado	Peso (gr)	Peso (Kg)	X (kg agua /kg ms)	Pendiente	Ls/A	R
1	0	0	221,2	0,2212	1,0018	-0,2554	-0,88675	0,2265
2	5	5	220	0,2200	0,9892	-0,2554	-0,88675	0,2265
3	5	10	219,3	0,2193	0,9828	-0,2554	-0,88675	0,2265
4	5	15	218,2	0,2182	0,9729	-0,2554	-0,88675	0,2265
5	5	20	216,7	0,2167	0,9593	-0,2554	-0,88675	0,2265
6	5	25	214,3	0,2143	0,9376	-0,2554	-0,88675	0,2265
7	5	30	212,6	0,2126	0,9222	-0,2554	-0,88675	0,2265
8	10	40	199,9	0,1999	0,8074	-0,2554	-0,88675	0,2265
9	10	50	196,3	0,1963	0,7749	-0,2393	-0,88675	0,2122
10	10	60	193,2	0,1932	0,7468	-0,2267	-0,88675	0,2010
11	10	70	189,9	0,1899	0,7170	-0,2151	-0,88675	0,1907
12	10	80	187,3	0,1873	0,6935	-0,1990	-0,88675	0,1765
13	10	90	185,8	0,1858	0,6799	-0,1864	-0,88675	0,1653
14	20	110	183	0,1830	0,6546	-0,1748	-0,88675	0,1550
15	20	130	180,2	0,1802	0,6293	-0,1587	-0,88675	0,1407
16	20	150	177,5	0,1775	0,6049	-0,1461	-0,88675	0,1296
17	20	170	174,1	0,1741	0,5741	-0,1345	-0,88675	0,1193
18	20	190	169,9	0,1699	0,5362	-0,1184	-0,88675	0,1050
19	20	210	164,6	0,1646	0,4882	-0,1058	-0,88675	0,0938
20	30	240	159,2	0,1592	0,4394	-0,0942	-0,88675	0,0835
21	30	270	153,1	0,1531	0,3843	-0,0781	-0,88675	0,0693
22	30	300	148,2	0,1482	0,3400	-0,0655	-0,88675	0,0581
23	30	330	142,7	0,1427	0,2902	-0,0539	-0,88675	0,0478
24	60	390	136,7	0,1367	0,2360	-0,0378	-0,88675	0,0335
25	60	450	129,1	0,1291	0,1673	-0,0252	-0,88675	0,0223
26	60	510	121,9	0,1219	0,1022	-0,0136	-0,88675	0,0121
27	60	570	112,7	0,1127	0,0190	-0,0120	-0,88675	0,0106
28	60	630	110,3	0,1103	-0,0027	0,0006	-0,88675	-0,0005
29	60	690	103,4	0,1034	-0,0651	0,1166	-0,88675	-0,1034
30	60	750	101,2	0,1012	-0,0850	0,1327	-0,88675	-0,1177

APENDICE 8. Gráficos Experimentales Obtenidos para la Determinación de curvas de secado sin proceso de osmodeshidratación.





APENDICE 9. Datos obtenidos para la determinación de Curvas de secado. Sin tratamiento de osmosis. (Se muestran 60 datos de 72)

Nº Datos	Tiempo (minutos)	Tiempo (acumulado)	Tiempo (horas)	Promedio peso (kg)	Kg de agua libre	X (Kg H2O/kg de solido seco)	Pendiente	R
1	0	0	0,000	0,1313	0,0707	0,1009	0,0000	0,0000
2	5	5	0,083	0,1295	0,0689	0,0984	-0,0026	0,0176
3	5	10	0,167	0,1277	0,0670	0,0958	-0,0026	0,0177
4	5	15	0,250	0,1260	0,0653	0,0933	-0,0025	0,0169
5	5	20	0,333	0,1243	0,0636	0,0908	-0,0025	0,0169
6	5	25	0,417	0,1226	0,0619	0,0884	-0,0024	0,0167
7	10	35	0,583	0,1209	0,0602	0,0860	-0,0024	0,0164
8	10	45	0,750	0,1192	0,0585	0,0836	-0,0024	0,0162
9	10	55	0,917	0,1176	0,0569	0,0813	-0,0023	0,0160
10	10	65	1,083	0,1160	0,0553	0,0790	-0,0023	0,0157
11	10	75	1,250	0,1144	0,0537	0,0767	-0,0023	0,0154
12	10	85	1,417	0,1128	0,0522	0,0745	-0,0022	0,0152
13	20	105	1,750	0,1113	0,0506	0,0723	-0,0022	0,0150
14	20	125	2,083	0,1098	0,0491	0,0702	-0,0021	0,0146
15	20	145	2,417	0,1083	0,0476	0,0681	-0,0021	0,0144
16	20	165	2,750	0,1069	0,0462	0,0660	-0,0021	0,0141
17	20	185	3,083	0,1054	0,0448	0,0639	-0,0021	0,0141
18	30	215	3,583	0,1040	0,0433	0,0619	-0,0020	0,0139
19	30	245	4,083	0,1026	0,0419	0,0599	-0,0020	0,0139
20	30	275	4,583	0,1012	0,0405	0,0579	-0,0020	0,0135
21	30	305	5,083	0,0998	0,0391	0,0559	-0,0020	0,0135
22	30	335	5,583	0,0985	0,0378	0,0540	-0,0019	0,0130
23	60	395	6,583	0,0972	0,0365	0,0521	-0,0019	0,0130
24	60	455	7,583	0,0958	0,0352	0,0502	-0,0019	0,0130
25	60	515	8,583	0,0945	0,0338	0,0483	-0,0019	0,0130
26	60	575	9,583	0,0933	0,0326	0,0465	-0,0018	0,0124
27	60	635	10,583	0,0921	0,0314	0,0448	-0,0017	0,0115
28	60	695	11,583	0,0910	0,0303	0,0433	-0,0015	0,0105
29	60	755	12,583	0,0900	0,0293	0,0419	-0,0014	0,0099
30	60	815	13,583	0,0891	0,0284	0,0405	-0,0013	0,0091
31	60	875	14,583	0,0882	0,0275	0,0393	-0,0013	0,0086
32	60	935	15,583	0,0874	0,0267	0,0381	-0,0011	0,0078
33	60	995	16,583	0,0866	0,0259	0,0371	-0,0011	0,0074
34	60	1055	17,583	0,0859	0,0252	0,0360	-0,0011	0,0073
35	60	1115	18,583	0,0852	0,0245	0,0350	-0,0010	0,0068
36	60	1175	19,583	0,0845	0,0238	0,0340	-0,0009	0,0065
37	60	1235	20,583	0,0839	0,0232	0,0331	-0,0009	0,0065
38	60	1295	21,583	0,0832	0,0225	0,0322	-0,0009	0,0061
39	60	1355	22,583	0,0826	0,0219	0,0313	-0,0009	0,0061
40	60	1415	23,583	0,0820	0,0213	0,0305	-0,0009	0,0058
41	60	1475	24,583	0,0814	0,0207	0,0296	-0,0008	0,0057
42	60	1535	25,583	0,0809	0,0202	0,0288	-0,0008	0,0056
43	60	1595	26,583	0,0803	0,0196	0,0280	-0,0008	0,0057
44	60	1655	27,583	0,0797	0,0190	0,0272	-0,0008	0,0055
45	60	1715	28,583	0,0792	0,0185	0,0264	-0,0008	0,0054
46	60	1775	29,583	0,0786	0,0179	0,0256	-0,0008	0,0056
47	60	1835	30,583	0,0780	0,0173	0,0248	-0,0008	0,0052
48	60	1895	31,583	0,0775	0,0168	0,0240	-0,0008	0,0055
49	60	1955	32,583	0,0769	0,0162	0,0232	-0,0008	0,0054
50	60	2015	33,583	0,0764	0,0157	0,0224	-0,0008	0,0051
51	60	2075	34,583	0,0758	0,0151	0,0216	-0,0008	0,0056
52	60	2135	35,583	0,0753	0,0146	0,0209	-0,0008	0,0051
53	60	2195	36,583	0,0747	0,0140	0,0201	-0,0008	0,0055
54	60	2255	37,583	0,0742	0,0135	0,0193	-0,0008	0,0054
55	60	2315	38,583	0,0736	0,0130	0,0185	-0,0008	0,0053
56	60	2375	39,583	0,0731	0,0124	0,0177	-0,0008	0,0054
57	60	2435	40,583	0,0726	0,0119	0,0170	-0,0007	0,0051
58	60	2495	41,583	0,0720	0,0113	0,0162	-0,0008	0,0056
59	60	2555	42,583	0,0715	0,0108	0,0154	-0,0007	0,0050
60	60	2615	43,583	0,0709	0,0102	0,0146	-0,0008	0,0054

APENDICE 10. Calculos para el tiempo de secado.

A) Tratamiento M1

Para calcular el tiempo de se secado se integra la ecuación:

$$R = \frac{-Ls}{A} \cdot \frac{dx}{dt}$$

Para el caso del periodo de velocidad constante:

$$\int_0^t dt = \frac{-Ls}{A} \cdot \int_{1.198}^{0.912} \frac{dx}{Rc} = -6.9250 \cdot \int_{1.198}^{0.912} \frac{dx}{0.9273}$$

$$t = 2.1358h$$

Para el caso del Periodo de Velocidad Decreciente

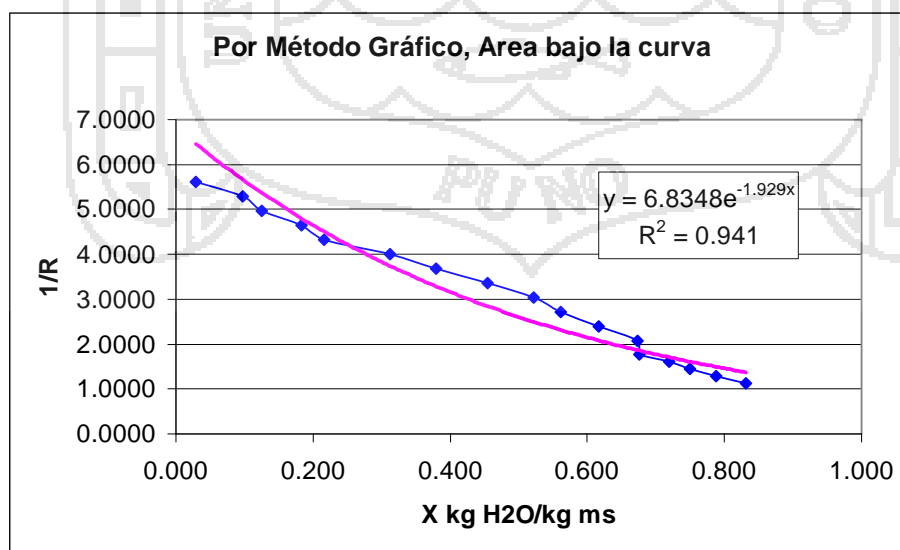
En la segunda Sección:

$$\int_{2.5}^t dt = \frac{-Ls}{A} \int_{0.029}^{0.832} \frac{dx}{R} = -6.9250 \int_{0.029}^{0.832} \frac{dx}{-0.0662x}$$

$$t = 13.118h$$

$$\text{Tiempo total} = 2.1358 + 13.118 = 15.2538 \text{ Horas}$$

Por el método Gráfico:



Area bajo la curva $\int \frac{dx}{R} = 2.488$

Entonces=6.950x 2.4876 = 17.289 h.

Tiempo total Método Gráfico= 19.425 horas

B) M2

Para calcular el tiempo de se secado se integra la ecuación:

$$R = \frac{-Ls}{A} \cdot \frac{dx}{dt}$$

Para el caso del periodo de velocidad constante:

$$\int_0^t dt = \frac{-Ls}{A} \int_{Rc} \frac{dx}{-0.6371x} = -5.5992 \cdot \int_{1.0}^{0.686} \frac{dx}{-0.6371x}$$

$t = 3.413h$

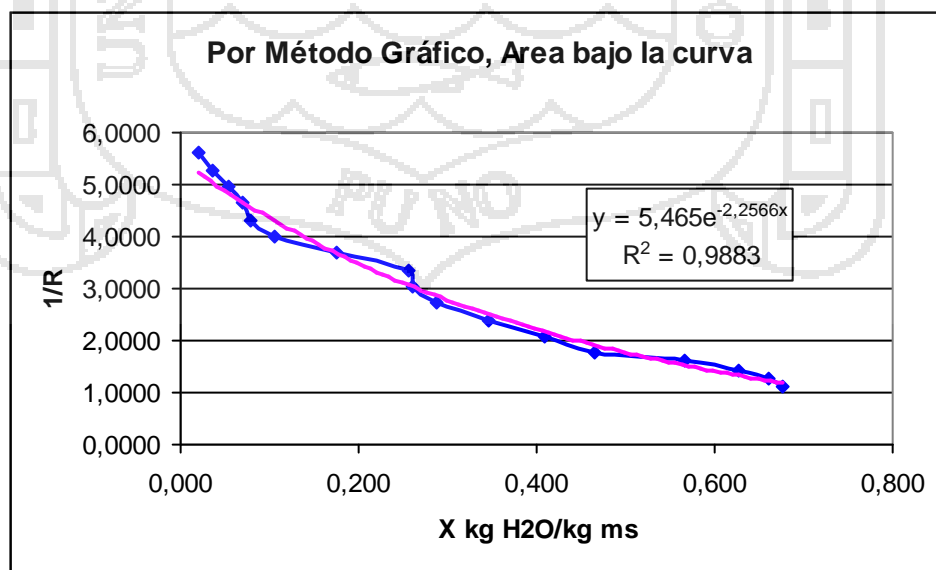
Para el caso del Periodo de Velocidad Decreciente

$$\int_{4.00}^t dt = \frac{-Ls}{A} \int_{R} \frac{dx}{0.4609x} = -5.5992 \int_{0.020}^{0.677} \frac{dx}{0.4609x}$$

$t = 3.4401h$

Tiempo total =3.413+3.440 = 6.853 Horas

Por el método Gráfico:



$$\text{Area bajo la curva } \int \frac{dx}{R} = 2.093$$

$$\text{Entonces} = 5.5992 \times 2.4876 = 11.7165 \text{ h.}$$

Tiempo total Método Gráfico= 15.1295 horas

C) M3

Para calcular el tiempo de se secado se integra la ecuación:

$$R = \frac{-Ls}{A} \cdot \frac{dx}{dt}$$

Para el caso del periodo de velocidad constante:

$$\int_0^t dt = \frac{-Ls}{A} \int_{Rc} \frac{dx}{R} = -6.6281 \cdot \int_{1.142}^{0.827} \frac{dx}{-0.7165x}$$

$$t = 2.914h$$

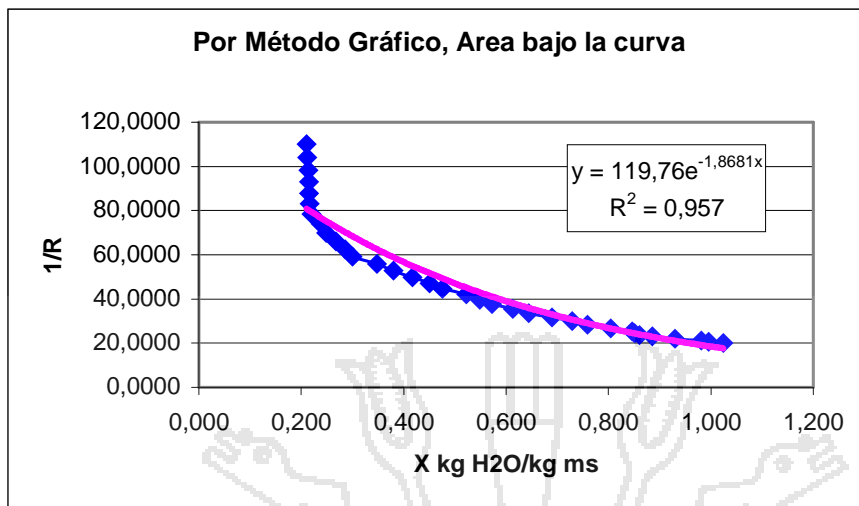
Para el caso del Periodo de Velocidad Decreciente

$$\int_{4.00}^t dt = \frac{-Ls}{A} \int_R \frac{dx}{R} = -6.6281 \int_{0.180}^{0.713} \frac{dx}{\frac{0.3271}{x}}$$

$$t = 4.8223h$$

$$\text{Tiempo total} = 2.914 + 4.8223 = 7.7363 \text{ Horas}$$

Por el método Gráfico:



Area bajo la curva $\int \frac{dx}{R} = 2.4052$

Entonces = $6.6281 \times 2.4052 = 15.942$ h.

Tiempo total Método Gráfico = 18.856 horas

G) Secado Puro

Para calcular el tiempo de se secado se integra la ecuación:

$$R = \frac{-Ls}{A} \cdot \frac{dx}{dt}$$

Para el caso del periodo de velocidad constante:

$$\int_0^t dt = \frac{-Ls}{A} \cdot \frac{dx}{Rc} = -0.8857 \cdot \int_{1.346}^{1.046} \frac{dx}{-0.0514x}$$

$t = 5.1694h$

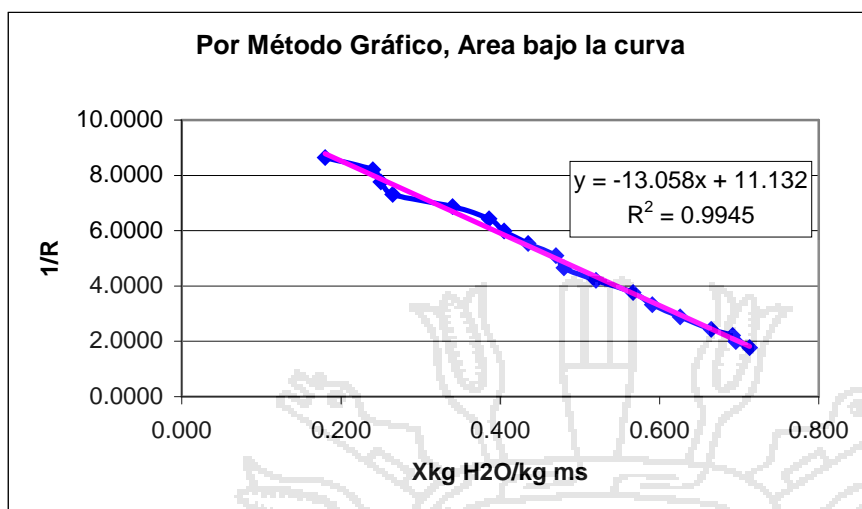
Para el caso del Periodo de Velocidad Decreciente

$$\int_{2.50}^t dt = \frac{-Ls}{A} \int \frac{dx}{R} = -0.8857 \int_{0.210}^{1.025} \frac{dx}{-0.09649752 \cdot e^{0.0568x}}$$

$t = 12.1759h$

Tiempo total = $5.1694 + 12.1759 = 17.3453$ Horas

Por el método Gráfico:



Area bajo la curva $\int \frac{dx}{R} = 46.054$

Entonces = $0.8857 \times 46.054 = 40.7906$ h.

Tiempo total Método Gráfico = 45.96 horas

