

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO
ABAD DEL CUSCO**

FACULTAD DE INGENIERÍA DE PROCESOS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA
AGROINDUSTRIAL



**EVALUACIÓN DE LA CINÉTICA DE OSMODESHIDRATACIÓN
Y ESTUDIO MICROESTRUCTURAL DEL SACHATOMATE
(*Solanum betaceum Cav.*)**

TESIS PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
AGROINDUSTRIAL

Presentado por:

Bach. Yaneth Espinoza Huillca

Bach. Norma Hanco Diaz

Asesores: Mgt. Ing. María Mercedes Carrasco Colque
Mgt. Lic. María Elena Chacón Ormachea

PROYECTO FINANCIADO POR CUI-VRIN-UNSAAC

SICUANI - CUSCO – PERÚ
2017

DEDICATORIA

A mi madre por enseñarme el valor del servicio y la gratitud por la vida

A mis hermanos por su apoyo incondicional y darme la fortaleza para seguir adelante en los momentos más difíciles de mi vida.

Yaneth Espinoza Huilca

DEDICATORIA

A mi mama, hermanos y amigos por su apoyo incondicional por acompañarme en esta etapa de mi vida.

Norma Hanco Diaz

AGRADECIMIENTOS

A la Mgt. Ing. Mery luz Masco Arriola de la Escuela Profesional de Ingeniería Química por brindarnos las instalaciones de los Laboratorios de Tecnología de Alimentos.

A la Mgt. Maria Elena Chacon Ormachea, al M. Sc. Dr. (c) Washington Galiano Sánchez, M. Sc. Dr. (c) Erick Yabar Landa, Mgt. Ing. David Choque Quispe, quienes nos guiaron con sus conocimientos de manera desinteresada y oportuna.

A la escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco. A todos y cada uno de los docentes y personal administrativo.

De manera especial a la Mgt. Ing. Mercedes Carrasco Colque por su orientación, colaboración y apoyo durante la ejecución del presente trabajo de investigación.

PRESENTACIÓN

SEÑOR DECANO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA DE PROCESOS

SEÑORES CATEDRÁTICOS MIEMBROS DEL JURADO

Con el propósito de optar al Título Profesional de Ingeniero Agroindustrial, en cumplimiento con las disposiciones del Reglamento de Grados y Títulos de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, ponemos a vuestra consideración el presente trabajo de tesis intitulado:

“EVALUACIÓN DE LA CINÉTICA DE OSMODESHIDRATACIÓN Y ESTUDIO MICROESTRUCTURAL DEL SACHATOMATE (*Solanum betaceum Cav.*)”

El presente trabajo de investigación está referida a la cinética de osmodeshidratación del Sachatomate en una solución de jarabe a diferentes niveles de concentración, relación másica pulpa de fruta/jarabe y temperatura, así como el estudio del cambio microestructural ocasionado por la deshidratación osmótica. El fruto utilizado para la presente investigación es proveniente del Sector de San Miguel, evaluándose también los factores de transferencia de masa, así como la actividad acuosa.

ÍNDICE

RESUMEN	vii
INTRODUCCIÓN	viii
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	ix
OBJETIVOS	x
OBJETIVOS GENERALES	x
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	x
HIPÓTESIS	xi
HIPÓTESIS GENERAL	xi
HIPÓTESIS ESPECÍFICOS	xi
JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	xii
ANTECEDENTES	xiv

CAPITULO I

MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

1.1. SACHATOMATE O TOMATE DE ÁRBOL	1
1.1.1. Historia	1
1.1.2. Clasificación taxonómica	2
1.1.3. Morfología.....	3
1.1.4. Genotipos o Cultivares	3
1.1.5. Descripción botánica	5
1.1.6. Composición química.	7
1.1.7. Usos y aplicación en la industria	8
1.2. OSMODESHIDRATACION	9
1.2.1. Generalidades de la osmodeshidratación.....	9

1.2.2. Factores que afectan en el proceso de osmodeshidratación.....	10
1.2.2.1. Estructura y composición del fruto, y tamaño de las piezas	12
1.2.2.2. Naturaleza y concentración del agente osmótico	13
1.2.2.3. Temperatura de tratamiento	15
1.2.3. Mecanismos de transporte durante la osmodeshidratación.....	16
1.2.4. Aplicaciones de la osmodeshidratación.....	17
1.2.5. Modelos matemáticos de difusión.....	17
1.2.5.1. Modelo de Crank.....	19
1.2.6. Determinación de coeficientes de difusión de agua y de sólidos.....	21
1.2.6.1. Modelos matemáticos empíricos para la Difusividad efectiva.....	22
1.2.7. Ventajas y desventajas de la Osmodeshidratación.....	26
1.3. ACTIVIDAD ACUOSA.....	28
1.4. MICROESTRUCTURA DE LOS ALIMENTOS.....	33
1.4.1. Microestructura y propiedades de transporte	33
1.4.2. Relación entre la microestructura y la transferencia de materia	34
1.4.3. Técnicas de inspección de la microestructura de los alimentos	34
1.4.3.1. Microscopio electrónico de transmisión (TEM).....	34
1.4.3.2. Microscopio electrónico de barrido (SEM).....	35
1.4.3.3. Microscopio óptico confocal	37
1.5. EL MERCADO DE LAS FRUTAS DESHIDRATADAS.....	37

CAPITULO II

MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. LUGAR DE EJECUCIÓN.....	42
2.2. MATERIALES	42
2.2.1. MATERIA PRIMA	42

2.2.2. INSTRUMENTOS Y EQUIPOS	42
2.2.3. REACTIVOS.....	43
2.3. METODOLOGÍA	43
2.3.1. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL	43
2.3.2. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO.....	46
2.3.3. CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA.....	47
2.3.4. DETERMINACIÓN DE LOS FACTORES DE TRANSFERENCIA DE MASA	50
2.3.5. DETERMINACIÓN DE LA CINÉTICA DE OSMODESHIDRATACIÓN..	53
2.3.6. DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE DIFUSIÓN.....	54
2.3.7. DETERMINACIÓN DE LA ACTIVIDAD DE AGUA (a_w).....	54
2.3.8. EVALUACIÓN DE LOS CAMBIOS MICROESTRUCTURALES.....	55
2.3.9. DISEÑO EXPERIMENTAL	55
2.3.10. EVALUACIÓN DE LA DIFERENCIA SIGNIFICATIVA ENTRE TRATAMIENTOS	58
2.3.11. COMPARACIÓN MÚLTIPLE.....	59

CAPITULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. EVALUACIÓN DE LA MATERIA PRIMA	61
3.2. FACTORES DE TRANSFERENCIA DE MASA DE LA OSMODESHIDRATACIÓN DEL SACHATOMATE.....	64
3.2.1. FRACCIÓN DE AGUA (x_w) EN EL SACHATOMATE OSMODESHIDRATADO (OD)	64
3.2.2. FRACCIÓN DE SÓLIDOS SOLUBLES (x_s) EN EL SACHATOMATE OD.....	67
3.2.3. VARIACIÓN DE LA MASA (ΔM) EN EL SACHATOMATE OD	71

3.2.4. VARIACIÓN DE AGUA (ΔM_w) Y SÓLIDOS SOLUBLES (ΔM_s).....	74
3.3. EVALUACIÓN DE LA CINÉTICA DE OSMODESHIDRATACIÓN	77
3.4. DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE DIFUSIVIDAD EFECTIVA....	80
3.5. EVALUACIÓN DE LA ACTIVIDAD DE AGUA – a_w	86
3.6. EVALUACIÓN DE LOS CAMBIOS MICROESTRUCTURALES	90
3.7. BALANCE DE MASA Y ENERGÍA PARA LA ELABORACIÓN DEL SACHATOMATE OSMODESHIDRATADO	93
3.7.1. BALANCE DE MASA.....	93
3.7.2. BALANCE DE ENERGÍA.....	96
CONCLUSIONES.....	100
RECOMENDACIONES	101
BIBLIOGRAFÍA	102

RESUMEN

En el presente trabajo de investigación se evaluó la cinética de osmodeshidratación y el cambio microestructural del Sachatomate (*Solanum betaceum Cav.*) del genotipo anaranjado puntón, con soluciones de sacarosa de 45° y 55°Brix, relación pulpa de fruta/jarabe 1:2 –1:3 y temperaturas de 20 y 30°C durante 8 h, aplicando un diseño factorial de 2³ de 3 variables y 2 niveles. Para la evaluación de la cinética se hizo uso del modelo matemático de Page modificado que es el que se ajusta más al proceso; donde se observó un descenso rápido de la concentración del jarabe en los primeros 50 min, es así que el jarabe de 45°Brix logró disminuir en 7°Brix a diferencia del tratamiento con concentración de 55°Brix, donde el jarabe disminuyó aprox. en 10°Brix.; por otro lado cabe señalar que sucede una mayor velocidad de osmodeshidratación cuando la relación de pulpa de fruta/jarabe es de 1:3.

Así mismo se determinó la D_{ef} para los datos ajustados al modelo Page modificado, observándose que la D_{ef} para la osmodeshidratación del Sachatomate se encuentra en el intervalo de 0.47×10^{-8} a 1.98×10^{-8} m²/s, logrando mayor difusividad el tratamiento a 45° Brix, relación pulpa de fruta/jarabe 1:3, y temperatura de 30°C. También se determinó los factores de transferencia de masa en ello se aprecia que el tratamiento a 55°Brix, relación pulpa de fruta/ jarabe 1:3 y temperatura de 30°C presenta menor humedad ($X_W = 0.6352 \pm 0.0126$ g de agua/g de fruto OD), mayor contenido sólidos solubles ($X_S = 0.2144 \pm 0.0245$ g de sólidos solubles/g de fruto OD), mayor pérdida de peso ($\Delta M = 0.3279 \pm 0.0101$ g de fruto OD/g de fruto fresco), esto se debe a la mayor concentración de sólidos del jarabe y a la mayor relación pulpa de fruta/jarabe; siendo este el parámetro más favorable para la deshidratación osmótica del Sachatomate.

Para el estudio microestructural se analizaron muestras de fruto fresco, fruto seco sin osmodeshidratación y otra muestra de fruto osmodeshidratado con mayor efecto sobre los factores de transferencia de masa (concentración de 55°Brix, relación pulpa de fruta/jarabe 1:3 y temperatura de 30°C), observándose que el fruto osmodeshidratado conserva la apariencia de la estructura celular del fruto fresco.

Palabras Clave: Osmodeshidratacion, humedad, cinética, microestructura

INTRODUCCIÓN

Las pérdidas postcosecha son altas en las zonas rurales; estas pérdidas ascienden a más del 40-50 por ciento en las regiones tropicales y subtropicales (FAO, 1995a,b; citado por Alzamora, Guerrero, Nieto, & Vidales, 2004). Gran porcentaje de estas pérdidas se debe a la falta de accesibilidad para poder trasladar sus productos al mercado, inadecuado almacenamiento, manipuleo y falta de información en transformación de productos y uso de nuevas tecnologías para alargar la vida útil del producto a esto se suma la indiferencia de las autoridades.

La osmodeshidratación se muestra como un proceso de fácil aplicación y es la primera mitad de un proceso de secado que nos permite conservar gran parte de sus propiedades nutricionales y funcionales del alimento y consiste en sumergir el alimento a una solución hipertónica donde se extraerá el agua contenida dentro de la membrana celular del alimento e ingresarán partículas (solutos) a través de la membrana semipermeable del alimento.

El soluto utilizado casi con exclusividad es el azúcar común (sacarosa) en el caso de las frutas, dado que en alguna pequeña proporción el soluto también difunde al interior del alimento, además su concentración varía aproximadamente en el rango de 0,83 a 70% de concentración (P/P) hasta 0,965 a 40% de concentración (P/P) (Resnik & Chirife, 1983; citado por Romero, Peñaherrera & Carbajal, 1994), conservan los atributos de frescura de la materia prima así como la estructura celular.

El análisis microestructural del fruto, es primordial para poder entender los diferentes comportamientos que pueden manifestarse durante el proceso de osmodeshidratación como puede ser la variación de las propiedades. Las imágenes y estudios microscópicos nos brindarán conocimientos a nivel estructural del alimento. De hecho, la microestructura es la organización de los elementos constitutivos del alimento y su interacción (Aguilera y otros, 2000; citado por Reinheimer, 2011), por lo que la relación producto - proceso debe considerar el estudio de esta característica para obtener propiedades finales específicas.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El Sachatomate es un fruto con bajo valor comercial, se consume principalmente en forma natural; debido a la escasa información disponible sobre este fruto y su procesamiento. No existe práctica de poda alguna para su producción en nuestra región (Roca, 1981). La existencia de fuentes importantes de vitaminas, materias antioxidantes, ácidos, altos niveles de fibra que contribuyen a la disminución y/o regulación del colesterol. La osmodeshidratación y el estudio microestructural de este fruto nativo, será de gran beneficio para el poblador, así como su conservación con el empleo de tecnologías combinadas (osmodeshidratación y secado).

Las frutas son productos altamente perecederos, más aún cuando son procesadas mediante mondado y cortado. El ablandamiento de los tejidos es el más habitual, típicamente se ve representado por la disminución de la firmeza; se considera principalmente como consecuencia de modificaciones en la estructura de las paredes celulares, las pulpas de los frutos están formadas por un armazón de microfibrillas de celulosa embebidas en una matriz gelatinosa (polisacáridos, glicoproteínas y agua). El estudio microestructural nos permite predecir la conservación de la textura o el daño ocasionado por un proceso de conservación.

El proceso de osmodeshidratación enfrenta uno de los mayores desafíos que es el poder combinar adecuadamente distintos factores con el fin de procesar gran variedad de productos a base de fruta, vegetal osmodeshidratado con el fin de ofrecer al consumidor un producto de alta calidad e inocuo que al mismo tiempo garanticen sus propiedades nutricionales propios del alimento fresco.

Después de lo mencionado formulamos la siguiente interrogante: ¿Cómo influye los niveles de concentración de sacarosa, relación másica pulpa de fruta/jarabe y temperatura en la cinética de osmodeshidratación y la microestructura del Sachatomate?

OBJETIVOS

OBJETIVOS GENERALES

- Evaluar la cinética de osmodeshidratación y estudiar la microestructura de Sachatomate (*Solanum betaceum Cav.*)

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Evaluar la cinética de osmodeshidratación del Sachatomate a diferentes niveles de concentración de sacarosa, relación másica pulpa de fruta/jarabe y temperatura sobre el coeficiente de difusión, flujo másico y coeficiente de difusividad.
2. Determinar la actividad acuosa de la osmodeshidratación del Sachatomate a diferentes niveles de concentración de sacarosa, relación másica pulpa de fruta/jarabe y temperatura.
3. Estudiar los cambios microestructurales de la osmodeshidratación del Sachatomate llevados a cabo a diferentes niveles de concentración de sacarosa, relación másica pulpa de fruta/jarabe y temperatura.

HIPÓTESIS

HIPÓTESIS GENERAL

- Los niveles de concentración de sacarosa, relación másica pulpa de fruta/jarabe y temperatura influirán en la cinética de osmodeshidratación y microestructura del Sachatomate (*Solanum betaceum Cav.*)

HIPÓTESIS ESPECÍFICOS

1. Los niveles de concentración de sacarosa, relación másica pulpa de fruta/jarabe y temperatura influirán en la cinética de osmodeshidratación, el flujo másico y el coeficiente de difusividad.
2. Los niveles de concentración de jarabe, relación másica pulpa de fruta/jarabe y temperatura influirán en la actividad acuosa del Sachatomate osmodeshidratado.
3. Los niveles de concentración de sacarosa, relación másica pulpa de fruta/jarabe y temperatura influirán en el cambio de la microestructura del Sachatomate osmodeshidratado.

JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

El mercado se guía por las necesidades y deseo de los consumidores, cada día más preocupados por la salud. En la actualidad, los cambios demográficos y sociales han ejercido un efecto muy marcado sobre el consumo de alimentos; junto con el aumento del interés del consumidor sobre los efectos de una buena nutrición y de un medio ambiente sano, también existe una preocupación creciente sobre cómo la dieta puede influir de manera directa en su bienestar (Cano et al., 2003; citado por Castelló, 2007).

Cabe señalar que los productos a base de fruta deshidratada son de alta calidad y su tiempo de conservación es más largo. Asimismo, el alimento osmodeshidratado contiene sus propiedades nutricionales propias de un alimento fresco. Por consiguiente, el sachatomate es rico en minerales, vitaminas y proteína a su vez el alto contenido de fibra que ayuda a la reducción de colesterol también fortalece el sistema inmunológico, sirve como antioxidante y ayuda a mejorar la visión.

La osmodeshidratación (OD) es un proceso que consiste en sumergir el alimento en trozos o enteros a soluciones hipertónicas, a una temperatura y tiempo establecido. Debido a que las membranas de los alimentos son semipermeables esta técnica provoca tres mecanismos de transferencia simultáneos: un importante flujo de agua del interior de la fruta hacia el exterior, la entrada de soluto (aunque en menor cantidad) desde la parte externa hacia el interior del producto a deshidratar, y por último aunque casi insignificante, un flujo desde el interior hacia la solución que consiste en una mínima pérdida de solutos propios del alimento (azúcares, sales minerales, ácidos orgánicos y otros). (UNAL 2004; citado por Boccalatte & Pagano, 2009).

El estudio de la microestructura de los tejidos internos de la pulpa en el fruto y la degradación producida por el proceso de osmodeshidratación nos permiten apreciar la arquitectura celular y por consiguiente la textura en el producto deshidratado. La OD es un método que, reduce hasta un 80% del agua original de los alimentos y permite obtener productos de humedad intermedia (UNAL, 2004; citado por Boccalatte & Pagano, 2009).

ANTECEDENTES

Torres (2007). Realizó estudios sobre “Optimización de las Condiciones de Operación de Tratamientos Osmóticos Destinados al Procesado Mínimo De Mango (*Mangifera Indica L.*), en su investigación tiene como propósito realizar la variación de tratamientos osmóticos destinados al procesado mínimo de mango donde se evaluó el efecto de varios parámetros como: la concentración de solutos, variación de presiones (presión atmosférica o la aplicación de pulso al vacío) y la adición de lactato calcio o no. Con la finalidad de conservar sus propiedades relacionadas a la calidad del alimento.

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en este estudio, el mango es una fruta adecuada para la obtención de un producto mínimamente procesado a nivel industrial aplicando tratamientos osmóticos suaves. Del estudio realizado, se podría recomendar como más adecuado el tratamiento llevado a cabo a presión atmosférica en disoluciones de sacarosa de 45°Brix, sin adición de lactato cálcico, llevando al producto a una concentración de 20°Brix. Con este tratamiento, se preserva en gran medida tanto el perfil aromático como las características ópticas (color), sin una modificación notable de las propiedades mecánicas del producto. Los tratamientos con calcio con aplicación de pulso de vacío conllevan una mejor conservación de las propiedades mecánicas y el calcio supone una mayor protección contra el crecimiento microbiano. No obstante, el pulso de vacío modifica negativamente las propiedades ópticas del producto y la presencia de calcio, en las proporciones utilizadas, parecen conllevar una aceleración de la senescencia de la fruta, fomentando el pardeamiento y la generación de compuestos aromáticos no deseados.”

Ceballos (2005). En su tesis: “Estudios en Papaya Mínimamente Procesada por Deshidratación Osmótica”. Propuso estudiar el efecto de tratamientos osmóticos con disoluciones de sacarosa de diferentes concentraciones (45 y 65°brix), con y sin adición de lactato de calcio a presión atmosférica y aplicación de pulso de vacío con la finalidad de evaluar el tratamiento adecuado para la obtención de papaya mínimamente procesado.

Además, determinaron la cinética de osmideshidratación del proceso en láminas de papaya analizando el efecto de los tratamientos osmóticos sobre las propiedades fisicoquímicas, ópticas, mecánicas, tasa de respiración y carga microbiana. Del

estudio cinético se observó que para preservar mejor las propiedades mecánicas(textura) se recomienda utilizar disoluciones osmóticas más diluidas con aplicación de pulso a vacío y adición de lactato de calcio.

Boccalatte y Pagano (2009). Realizaron estudios sobre: “Estudio de la cinética de osmodeshidratación de manzanas y del efecto sobre la calidad final del producto deshidratado”. Llegando a la siguiente conclusión:

“Durante la osmodeshidratación de las dos variedades de manzanas, la pérdida de agua WL, la ganancia de sólidos SG y la reducción de peso WR aumentan con el tiempo. El mayor grado de deshidratación se consigue trabajando con solución concentrada (60% p/p) independientemente del tipo de agente osmótico a la mayor temperatura (60°C).

Para las dos variedades en todas las condiciones ensayadas se observó que en los primeros 15 minutos de la deshidratación hay una marcada tendencia inicial a perder humedad y ganar sólidos solubles rápidamente, pasando de los niveles iniciales de 13 °Brix y 88,5% b.h. a valores en los rangos 35,5-58 °Brix y 40-60% b.h. y tendiendo luego todas las curvas a perder agua y ganar sólidos gradualmente a través del tiempo. En todos casos resultó mayor la pérdida de agua que la ganancia de sólidos, con lo cual la pérdida de peso WR fue positiva durante el tratamiento rondando entre el 10 y el 70%.

Para las dos variedades se observó que la concentración afecta a la variable principal para la osmodeshidratación WL, y a las variables SR y WR. Adicionalmente estas últimas resultaron directamente dependientes de la temperatura y/o de la interacción temperatura-concentración. El agente osmótico no fue una variable significativa en la cinética del proceso.

No se observó efecto significativo de la temperatura sobre los coeficientes de difusión de agua, pero sí una influencia significativa de la concentración sobre este parámetro en ambas variedades.”

Genina y Altamirano (2005). Realizaron el trabajo de investigación sobre: “Osmodeshidratación de prismas de camote, manzana y papa”. Llegando a la siguiente conclusión:

“Se determinaron las cinéticas de variación total de masas de prismas de sección cuadrada y tres diferentes espesores, de camote (*Ipomea batatas*) sometidos a procesos de osmodeshidratación usando soluciones de sacarosa en agua a dos diferentes concentraciones y dos temperaturas. Con fines comparativos se sometieron a osmodeshidratación prismas cuadrangulares de manzana y papa de un solo espesor. Para reducir la impregnación y favorecer la deshidratación se debe operar a menores temperaturas. El empleo de mayores concentraciones de soluciones osmóticas permite que los efectos de deshidratación e impregnación sean más pronunciados. De acuerdo con los resultados obtenidos, los procesos podrían controlarse también utilizando las relaciones volumen/área adecuadas para obtener los productos deseados y asegurar la homogeneidad de ellos, así como los tiempos de operación requeridos”

Villada, Maldonado, Torres y Castrillón (2007). Realizaron el trabajo de investigación sobre “Cambios microestructurales en tajadas de yuca (*Manihot Esculenta Crantz*) variedad MCOL 1522 por deshidratación osmótica”. En su trabajo de investigación propusieron.

Sumergir muestras en soluciones de cloruro de sodio de 3%,4% y 5% tomando en cuenta la variación de tiempos de osmodeshidratación que varía entre los 10 min., 20 min y 30 min. Donde observaron cambios en el tamaño y forma de la muestra en tal sentido la muestra que se encuentra en contacto con soluciones osmóticas aumentara la presión de turgencia y asimismo las células estarán sujetas a presión y expansión. La deshidratación osmótica prolongada causa separaciones de las células y forman nuevo y pequeños espacios intercelulares estas separaciones causaran discontinuidad en la estructura del tejido. La expansión y las fuerzas de presión actúan sobre las paredes celulares en los tejidos de las muestras sujetos a osmodeshidratación dando como resultado una formación de pliegues, deformación de las células y un crecimiento de la superficie celular por la absorción de los solutos.

En este trabajo de investigación se concluye que es recomendable trabajar

utilizando tiempos cortos en el proceso de osmodeshidratación por consiguiente utilizar tiempos largos ocasionaran espacios intercelulares quienes provocaran separaciones y discontinuidad en la estructura del tejido.

Castelló (2007). Realizó el trabajo de investigación sobre: “Efectos de las Condiciones de Operación en los Cambios Fisicoquímicos y Fisiológicos de Frutas Mínimamente Procesadas”. Llegando a la siguiente conclusión:

En el estudio observo que la aplicación de pulso de vacío acelera la cinética de tratamiento osmótico en muestras de manzana como en otras frutas. El rendimiento del proceso aplicado a pulso de vacío en muestras de manzana es intensa por su elevada porosidad. Asimismo, observo que los tratamientos osmóticos disminuyen la tasa respiratoria de oxígeno utilizando DOPV a 30°Brix. Por consiguiente se incrementa la producción de dióxido de carbono (CO₂) en muestras deshidratadas a 30°Brix.

En tal sentido, existe la reducción de la tasa respiratoria cuando utilizo lactato cálcico en la disolución osmótica con y sin aplicación de pulso de vacío (50 mbar durante 5 minutos), principalmente en las muestras deshidratadas a estas condiciones. Los estudios realizados fueron en mitades de fresa y en rodajas de manzana, para establecer las condiciones apropiadas. Por otra parte, los tratamientos con pulso de vacío estimulan mayor restricción al transporte de oxígeno obteniendo incrementar los valores del coeficiente respiratorio y a una mayor potenciación de rutas anaerobias. Asimismo, el calcio disminuye la respiración de fresa con menor influencia en la manzana.

En este trabajo de investigación se concluye que es recomendable trabajar utilizando tiempos cortos y a presión atmosférica.

Alvarado (2006). Realizó el trabajo de investigación sobre: Estudio del Efecto de la Deshidratación Osmótica Como Pretratamiento Para el Proceso de Secado por Aire en Piña (*Ananas Comosus*) De Variedad Milagreña O Perolera. Llegando a la siguiente conclusión:

Se utilizó muestras de piña en soluciones de 40, 50 y 60 °Brix a temperaturas de 35°C y 55°C donde se produce la pérdida de agua, ganancia de sólidos y la disminución de volumen, depende de la combinación de factores como la concentración de la solución, temperatura y tiempo que se realiza el proceso de osmodeshidratación combinado con el proceso de secado tendremos un producto con mayor vida útil. Por lo tanto, a nivel microscópico logro observar, al inicio del proceso que los tejidos de la piña se encontraron esparcidos y a su vez fibrosos. Sometida las muestras a 240 minutos en la solución osmótica se observa que las fibras se encogen y las paredes celulares de la fruta se van deformando a causa de la pérdida de agua como consecuencia se producirá la deformación del producto a su vez se formará la costra superficial.

Nomenclatura

AAH	: Alimentos de alta humedad
AHI	: Alimentos de humedad intermedia
a_{se}	: Área superficial específica
a_w	: Actividad acuosa
c_p	: Capacidad calórica
D_L	: Difusividad másica de solutos en solvente líquido.
D_{ef}	: Difusividad efectiva, m^2/s
D_s	: Difusividad másica de solutos en sustratos sólidos.
<i>DOPV</i>	: Deshidratación Osmótica a pulso a vacío
E	: Energía
F/J	: Relación másica pulpa de fruta / jarabe o solución azucarada
FAO	: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación.
H	: Humedad
IM	: Índice de madurez
Kj	: Kilojoule
kg	: Kilogramo
l	: Longitud característica (semiespesor), m
meq	: Miliequivalente del ácido predominante
M,m	: Masa, kg
N	: Normalidad
OD	: Osmodeshidratación
P	: Potencia
PA	: Pérdida de agua
Q	: Calor
S	: Concentración de sólidos solubles
T	: Temperatura
t	: Tiempo, s
V	: Volumen, m^3
v	: Velocidad
W	: Peso, Kg o g

X	:	Fracción másica del componente j en el alimento, kg componente/kg totales
\bar{x}	—	: Promedio
Z	:	Fracción másica del componente j en la fase líquida del alimento
ΔM	:	Pérdida (o ganancia) de masa, kg
ΔV	:	Pérdida o ganancia de volumen, m ³
η	:	Eficiencia y/o rendimiento
λ	:	Calor latente
σ	:	Desviación estándar
ρ_{os}	:	Densidad de la disolución osmótica, kg/m ³
$\rho_{os}\rho_b$:	Densidad real y densidad aparente respectivamente, kg/m ³

Superíndices

j	:	genérico para un componente del alimento
$j=w$:	agua
$j=s$:	sólidos solubles
$j=0$:	masa total

Subíndices

0	:	valor inicial
t	:	valor en un tiempo t
∞, e	:	valor en el equilibrio

CAPITULO I

MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

1.1. SACHATOMATE O TOMATE DE ÁRBOL

1.1.1. Historia

El Sachatomate (*Solanum betaceum Cav.*) pertenece a la familia *Solanaceae*, la misma a la que pertenecen el tomate y la berenjena. Las solanáceas son una de las familias más grandes de angiospermas, con 147 géneros y 2930 especies (Judd et al., 2002; citado por Enciso & Felix, 2007). Esta familia tiene una amplia distribución mundial, pero la concentración más grande de géneros y especies se encuentra en Sur y Centro América. Hawkes (1999) citado por Enciso & Felix menciona que la familia se originó en esta parte del planeta en la porción meridional de la Pangea denominada Gondwana, conformada por Sudamérica, África, Australia, India y la Antártica. El centro de diversidad de este grupo está cerca al Ecuador al acumular variaciones genéticas adaptativas en diversos nichos ecológicos durante las glaciaciones.

En la parte alta del actual departamento de la República de Colombia de Nariño el misionero fray Juan de Santa Gertrudis, quien quizá le atribuyó a esta especie la siguiente nota: “Hay un árbol que da frutos como tomates en la hechura, tan bien parecido al tomate que cualquiera que lo viese juraría que es tomate. Esta fruta cuando madura se pone de color meloso y es más dulce que la miel, no tiene pepita ninguna, solo unos granitos como el tomate y su hollejo, también recio como él” (Serra, 1956; citado por Roca, 1981).

El sachatomate es una fruta exótica oriunda de Perú, Ecuador y Colombia conocido también en varios países como tamarillo y tomate de árbol posesionándose ese último a nivel mundial. cabe señalar que el sachatomate tiene forma ovoide se presenta en tonos de color ladrillo, naranja y rojo posee una cascara gruesa lisa y brillante es una fruta aromática de sabor agridulce, suave y jugosa.

en el interior de la fruta se observa un color naranja donde podemos encontrar entre 200 y 400 pequeñas semillas (Orrego, 2003; citado por Yanza, 2003).

La fruta es una mezcla de sabores entre dulce y agrio según su variedad. En Colombia se diferencian tres variedades y se diferencian según su color y su forma de consumo entre las cuales tenemos: tamarillo, morado o rojo y amarillo. El tamarillo se caracteriza por ser más resistente, el morado o rojo se prefiere para su consumo en fresco por su color atractivo y el amarillo se utiliza para la elaboración de conservas por su agradable sabor.

La variedad denominada “negra”, es la principal variedad de nueva Zelanda obtenida de la mezcla entre la variedad de amarillo y rojos oscuros, posee un color rojo intenso y tamaño grande considerada de mejor calidad. (Ministerio de Agricultura y Ganadería-MAG & Instituto Interamericano de Cooperación para La Agricultura-IICA, 2001).

1.1.2. Clasificación taxonómica

La clasificación taxonómica es la siguiente:

Reino: Vegetal

División: Fanerógamas

Subdivisión: Angiospermas

Clase: Dicotiledóneas

Subclase: Simpétalas

Orden: Tubifloras

Familia: Solanáceae

Género: *Solanum*

Especie: *Solanum betaceum Cav.*

Nombre común: Tomate de Árbol o Sachatomate

Nombre común: En el Perú se conoce como Sachatomate o Tomate de Árbol. Su nombre común varía según el país: Tomate de Árbol (Ecuador, Colombia); Tree Tomato (Inglaterra), Tomate Francés (Portugal), Striktomaad, Terong Blanda (Holanda), Tomate de Arbre (Francia), Tomatobaum (Alemania), Tomate de ají

(España), Tamarillo (Nueva Zelanda y Estados Unidos) (Revelo, Pérez, & Maila, 2004).

1.1.3. Morfología

El Sachatomate (*Solanum betaceum Cav.*) se desarrolla en altitudes comprendidas entre 1200 a 3000 m.s.n.m. en climas templados y frescos originarias de la vertiente oriental de los Andes de Perú, Ecuador y Colombia corresponde a la familia de Solanaceae. Es una planta arbustiva con tallos semileñosos, de follaje grande, alcanza una altura de 2 a 3 m (Soria, 2002; citado por Ñahui, 2014). El fruto es una baya que se encuentra suspendida por un pedúnculo largo, generalmente de forma ovalada, pero se han visto frutos ovoides, esféricos, trompiformes y piriformes. La epidermis es lisa y brillante, el color varía entre genotipos desde el verde que es común en todos cuando es inmaduro, tomando tonalidades en su estado de madurez óptima o de consumo de amarillo, anaranjado, rojo y púrpura oscura (Cadena, 2003; Samaniego, 2003).

La pulpa jugosa tiene sabor agrídulce típico y un aroma agradable. Las semillas se encuentran recubiertas por una sustancia mucilaginosa característica de este tipo de Solanaceas, que también sirven como protección ante la penetración bacteriana, esta sustancia mucilaginosa y las semillas se encuentran adheridas firmemente a un tabique central o placenta (MAG-IICA, 2001).

Al ser una fruta no climatérica no muestra cambios importantes en sus tasas bajas respiratorias y de producción de etileno durante el proceso de madurez, por lo que estos frutos por lo general se cosechan cerca de la madurez de consumo para obtener las mejores características organolépticas (Revelo et al., 2004, Saltos et al., 1998, Santillan, 2001).

1.1.4. Genotipos o Cultivares

Los cultivares del Sachatomate no se conservan puros debido a los cruzamientos entre los materiales que se cultivan en los huertos de los agricultores, presentando gran variabilidad genética con una amplia gama de tonalidades entre el anaranjado y el morado (León, Viteri & Cevallos, 2004; MAG-IICA, 2001).

En el Ecuador la variedad más difundida es la tradicional anaranjada, y en los últimos años se ha incrementado el tomate mora, de color morado y pulpa más rojiza, pero de palatabilidad inferior (Carranza, 2013).

Grijalva (2004) indica que los principales ecotipos que se están cultivando en el Ecuador, ocupando las zonas de Sachatomate (*Solanum betaceum Cav.*). En el Perú tenemos las siguientes variedades:

- **Sachatomate amarillo.** Tiene corteza amarilla, forma alargada ovalada y color de la pulpa amarilla.
- **Sachatomate criollo redondo.** Posee color anaranjado rojizo, fruto más grande y pulpa amarilla.
- **Sachatomate anaranjado puntón.** Tiene corteza morada, forma alargada y anaranjada y pulpa anaranjada.
- **Sachatomate negro o púrpura.** Es una combinación entre los tipos amarillos y rojos oscuros, de tamaño grande, color rojo intenso, y de mejor calidad.
- **Sachatomate mora.** De forma oblonga y de color morado, tiene la pulpa de color anaranjado y el recubrimiento de las pepas de color morado. (Grijalva, 2004).

Según Amaya (2006) indica que las variedades con frutos que con pulpa rojo oscura y semillas negras, se distinguen a los de pulpa rosada y semillas claras.

Además, la forma de consumo de la fruta influye mucho al escoger las variedades, así, el tomate rojo se prefiere para consumo en fresco por su color atractivo, mientras que el amarillo se prefiere para la elaboración de conservas por su sabor (MAG-IICA, 2001).

Así mismo en la publicación del MAG-IICA, menciona que existe una gran variedad de distintos cultivares en el mundo, aunque en los centros de abastecimiento no se ha establecido una diferencia clara entre estos, los más importantes comercialmente son: Ecuadorian orange, Inca gold Goldmine, Oratia red, Rothamer, , Ruby red, Solid gold y Yellow.

1.1.5. Descripción botánica.

La raíz es profunda y bastante ramificada, cuando es reproducida por semilla, pero se vuelve superficial si se utilizó algún método de propagación vegetativo (Sánchez, López, Salazar & Fiallos, 1994).

Así mismo Sánchez et al., indica en su trabajo de investigación que el sachatomate en su etapa de crecimiento posee un tallo suculento, hojas grandes, cordiformes y carnosas. Pero a medida que la planta va creciendo se torna leñoso, llegando a medir de dos a tres metros. Asimismo, recomienda realizar podas de formación para facilitar el manejo de las plantaciones.

El tamaño de las hojas varía según las etapas de producción, son grandes cuando la planta está en crecimiento, aproximadamente de 30 a 40 cm de largo, y más pequeñas cuando ha entrado en producción, alrededor de 20 cm (Soria, 2006).

Según Amaya (2006) dice que, el sachatomate es una baya aromática, ligeramente suave, firme y jugosa de sabor agridulce se encuentra cubierta por una cascara gruesa, lisa y brillante, se presenta en varias tonalidades de color que varía entre el ladrillo, naranja, amarillo. Según sus tonalidades dependerá su variedad. Su pulpa es gelatinosa de color amarillo o anaranjado repleta de semillas posee un sabor agridulce ligeramente amargo. El sachatomate presenta una forma ovoidal punteada en su extremo inferior y cáliz cónico, su tamaño aproximadamente es de 8 cm de largo y 5 cm de diámetro.

Clima apropiado: El Sachatomate (*Solanum betaceum Cav.*), es originaria de los bosques templados andinos de Perú, Ecuador y Colombia, es una planta perteneciente a la familia de las Solanáceas. Según la FAO es un frutal del valle interandino y que las condiciones óptimas de crecimiento se encuentran entre los 1500 – 3200 m.s.n.m. (Tapia & Fries, 2007), sin embargo, Roca (1981), afirma que el Sachatomate crece

bien en alturas comprendidas entre 800 a 1800 msnm, el cultivo no es óptimo en alturas inferiores a los 800 ms.n.m., prosperan bien el altitudes mayores a los 1800 msnm. en lugares abrigados. La mayor producción del sachatomate es en los meses de mayo a diciembre.

Según Roca, el clima más apropiado es el templado cálido, parece que la *Solanum betaceum Cav.* subtropical, se ha adaptado en la sierra subandina sobre todo en el montano bajo. En el Cusco se ha encontrado fuera de la Convención desde Machupicchu hasta Urcos. En el montano bajo de Paucartambo; Valle de Apurímac subtropical hasta Accha, pero siempre cultivados en lugares abrigados; este cultivo es bastante exigente en lo que se refiere al agua y también en algunas zonas necesita sombra. Para Roca se prefiere suelos sueltos, con bastante materia orgánica, poco pedregoso y generalmente planos, no se desarrolla óptimamente en suelos con pendientes considerables y muchos menos en suelos pedregosos.

- **Propagación:** La propagación se realiza por semillas, en almácigos para luego efectuar el trasplante en los terrenos definitivos, así mismo no existe práctica de alguna clase de poda para este fruto en la ciudad del Cusco.
- **Épocas de cosecha:** La cosecha del Sachatomate, durante el año se realiza en dos épocas. La primera comprendida entre los meses de enero, febrero y marzo, con buenos rendimientos y la segunda entre setiembre y octubre, con rendimientos muy regulares. Podemos decir que el fruto materia del presente trabajo se puede cosechar durante todo el año en cantidades bastante reducidas fuera de los meses anteriormente indicados
- **Rendimientos:** Los rendimientos varían así podemos indicar que en la primera época de cosecha (enero, febrero y marzo) cada planta en su plenitud se puede obtener un promedio que fluctúan entre 400 y 500 frutos

y en la segunda época (setiembre y octubre), entre 150 y 250 frutas por planta (Roca, 1981).

1.1.6. Composición química.

Como podemos observar en la Tabla 1, el Sachatome es una fuente importante de betacaroteno (provitamina A), vitamina B6, vitamina C (ácido ascórbico) y vitamina E. Es rico en minerales, especialmente calcio, hierro y fósforo; contiene niveles importantes de proteína y caroteno; además es una buena fuente de pectina (MAG-IICA, 2001).

Su contenido de carbohidratos es bajo, en promedio una fruta proporciona menos de 40 calorías. El fruto maduro contiene menos del 1% de almidón y 5% de azúcares (sacarosa, glucosa y fructosa) (Amaya, 2006).

TABLA N° 1: Composición química del Sachatome

Componentes	Contenido de 100 g de parte comestible
Acidez	1.93 – 1.60
Brix	11.60 – 10.50
Calorías	30
pH	3.17 – 3.80
Humedad	86.03 – 87.07%
Carbohidratos	7 g
Ceniza	0.60 g
Fibra	1.1 g
Proteína	2.00 g
Calcio	9 mg
Caroteno	1 000 IU
Fosforo	41 mg
Hierro	0.90 mg
Niacina	1.07 mg
Riboflavina	0.03 mg
Tiamina	0.10 mg
Vitamina C	25 mg
Vitamina E	2 010 mg

Fuente: MAG-Ministerio de Agricultura y Ganadería Ecuador, 2001.

Otros componentes químicos, responsables de la coloración del fruto, son las antocianinas, leucoantocianinas, flavonas y flavonoles. Además, se ha reportado la presencia de dos alcaloides esteroideos del tipo de los espirosolanos, solasodina y tomatidenol, con gran importancia en el sector farmacéutico como

fuentes alternativas de esteroides (Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias-INIAP, 2004).

TABLA N° 2: CONTENIDO DE MINERALES EN SACHATOMATE

Fruta	Fosforo	Calcio	Hierro	Zinc	Potasio
Tomate de árbol	44.7	25.56	0.9	0.45	441.3

Fuente: Repo y Encina, 2008.

1.1.7. Usos y aplicación en la industria

La utilidad primordial del Sachatomate es el consumo directo como fruta fresca, aunque presenta un problema por el sabor de la cáscara, que produce escozor en los labios de quien la consume (MAG-IICA, 2001).

Es una fruta muy versátil respecto a su consumo, se prepara como jugo o bebida refrescante, es un excelente complemento para ensaladas de frutas, y otros usos en repostería o en conservas (Amaya, 2006).

Carranza (2013) cita la publicación del MAG (1996) donde manifiesta que en el sector industrial es utilizado en la fabricación de mermeladas, compotas, helados, jaleas, enlatados, jugos y una variedad de dulces.

En usos medicinales el Sachatomate es muy apreciado por la variedad de aplicaciones y excelentes resultados, es un antioxidante, fortalece el cerebro y la memoria, contribuye a curar migrañas y cefaleas severas, a controlar la rinitis, beneficia el sistema circulatorio, fortalece el sistema inmunológico y la visión, y ayuda en programas de reducción de peso (MAG-IICA, 2001).

El fruto, previamente calentado, se utiliza contra la inflamación de amígdalas y por su alto contenido de ácido ascórbico se debe de consumir el fruto en fresco para la gripe. Además, contiene sustancias como el ácido gamma amino butírico, que baja la tensión arterial, por lo que es útil para los hipertensos (Amaya, 2006).

1.2. OSMODESHIDRATAACION

1.2.1. Generalidades de la osmodeshidratación

Se sabe que esta operación la realizaban civilizaciones antiguas y que, a través de la historia de la humanidad, este método de conservación se ha ido modificando y adecuando para mejorar las características de los productos alimenticios deshidratados (Keey, 1972; Salunkhe et al., 1973; citado por Torres, 2007). El uso de este método es de mucha importancia para la conservación de alimentos sobre todo para aquellos que son perecederos como frutas y hortalizas al mismo tiempo permite reducir los costes de exportación. La utilización de éste método en la conservación de alimentos, resulta de mucha importancia en frutas y hortalizas, sobre todo en aquellas que poseen un tiempo de cosecha corto y que son perecederas, permitiendo la reducción de costes en la exportación de dichos productos. Además, en algunos casos, la deshidratación parcial de un alimento es imprescindible para que este tenga ciertas características que faciliten su procesamiento (Sokhansanj & Jayas, 1987; Fellows, 1988; citado por Torres, 2007). Además, con el proceso de osmodeshidratacion de alimento se obtiene alargar la vida útil del producto, pérdida de peso y reducción de costes de almacenamiento y transporte.

La osmodeshidratación de frutas y hortalizas ha sido Estudiada desde que Pointing, Watters, Forrey, Jacson y Stanley (1966). quienes indican que el proceso de osmodeshidratación consiste en sumergir alimentos en pieza o trozos a soluciones acuosas de sal o azúcar de alta presión osmótica. Dicha técnica provoca al menos dos flujos principales simultáneos en contra corriente: un importante flujo de agua del alimento hacia la solución, y una simultánea transferencia de solutos desde la solución hacia el alimento, los cuales son debidos a los gradientes de potencial químico del agua y de los solutos a un lado y otro de las membranas de las células que forman el tejido parenquimático del producto (Torreggiani, 1993; citado por Torres, 2007). Este proceso es favorable para los alimentos que poseen una estructura similar a una membrana semipermeable donde el agua puede pasar fácilmente a través de ella gracias a que la membrana celular es selectiva mientras que otros componentes de la disolución ingresaran lentamente, al poner en contacto estas dos soluciones con diferente concentración a través de la membrana semipermeable el agua fluirá desde el alimento hacia el medio osmótico más

concentrado y habrá flujos de soluto (agente osmótico) desde la disolución osmótica al producto y solutos propios del alimento. Asimismo, el fenómeno osmótico ocurre por la diferencia del potencial químico en el sistema.

A su vez la mayor parte de la fracción líquida de la fruta está fraccionada por membranas de permeabilidad selectiva al agua, el camino importante para alcanzar el equilibrio composicional será la pérdida de agua intracelular por vía osmótica. En tal sentido la transferencia de solutos intracelulares está muy obstruida al comienzo del proceso por la permeabilidad de las membranas, al igual que la de los solutos de la OS (disolución osmótica) que ingresarán principalmente por capilaridad en los poros (espacios intercelulares del tejido) y en cierta medida por difusión a través de la fase líquida intercelular del tejido. Se ha comprobado que la velocidad a la que sale el agua del alimento hacia la solución concentrada, es mayor que la de los sólidos solubles hacia el interior de la pieza (Karel, 1973; Lenart & Lewicki, 1990; Videv et al., 1990; citado por Torres, 2007), por lo que la presión osmótica de la disolución será, por tanto, la fuerza impulsora predominante hacia el equilibrio al comienzo del proceso.

Dichas transferencias de masa van acompañadas de una salida de sustancias hidrosolubles a través de la membrana que, por lo general, no se toman en cuenta por ser cuantitativamente despreciables, aunque pueden ser esenciales en lo que a la calidad organoléptica se refiere (Barat, Andres & Fito, 1998). Por lo tanto, se considera que después de un tiempo de tratamiento osmótico, el soluto puede ingresar a la membrana selectiva por difusión y que dependerá mayoritariamente de las condiciones del proceso.

1.2.2. Factores que afectan en el proceso de osmodeshidratación

La cinética de la deshidratación osmótica, con frecuencia ha sido analizada en términos de velocidades de pérdida de agua, ganancia de sólidos y de pérdida de peso del alimento (Pointing et al., 1966; Garrote & Bertone, 1989; Lerici et al.,

1989; citado por Torres, 2007). Torres, hace referencia a los trabajos de Fito y Chiralt (1997) y Barat et al., (1997) donde se propone un modelo que contempla la cinética de los cambios de composición del producto a lo largo del proceso desde dos puntos de vista: Por un lado los cambios de composición de la fase líquida del producto (agua más sólidos solubles), que determinan la calidad del producto y su estabilidad; y por otro lado, la cinética de pérdida de peso, asociada con la pérdida de agua y ganancia de solutos, que determina la rentabilidad del proceso.

Varios estudios (Conway et al., 1983; Giangiacomo et al., 1987 & Guennengues, 1986) citados por Torres mencionan que usualmente la osmodeshidratación no es aconsejable para obtener unas reducciones del contenido en agua superiores al 50% a causa de la pequeña velocidad de los fenómenos de transferencia a estos niveles de concentración. Además, indican que la mayor cantidad de sólidos ganados ocurre en los primeros 30 minutos de tratamiento a partir de ese punto los flujos se hacen muy lentos además las velocidades de flujo de agua son altas durante las primeras 2 horas; La cinética de transferencia de masa de sustancias hidrosolubles nativas como: azúcares, ácidos orgánicos, minerales, sales, etc., que atraviesan la membrana, es muy pequeña. (La Font, 1988; citado por Torres, 2007).

Durante el proceso de osmodeshidratación existe variaciones de factores que puede modificar la eficacia del proceso como:

- Estructura, composición y tamaño de piezas del producto.
- Concentración y composición del agente osmótico.
- Temperatura.

TABLA N° 3.- Estudios de variables que afectan a la transferencia de masa. *(1) concentración de la disolución osmótica, (2) temperatura, (3) tiempo de inmersión, (4) estructura (porosidad) del material, (5) geometría (tamaño, forma y área superficial), (6) naturaleza del soluto, (7) presión, (8) agitación y (9) relación disolución-producto.

Autor	1*	2*	3*	4*	5*	6*	7*	8*	9*
Panagiotou (1998)	X	X	X		X			X	
Sereno (2001); Saputra (2001); Kaymok-Ertteki (2000); Biswal (1992)	X	X	X			X			
Moreira (2003)	X	X	X					X	
Barat (2001)	X	X	X				X		
Sablani (2003); van-Nieuwenhuijzen (2001); Madamba(2002); Rahman (2001);	X	X	X		X				
Mújica-Paz (2003b)	X		X	X			X		
Mújica-Paz (2003a)			X	X			X		
Mavroudis (1998)			X	X				X	
Azuara (1996)			X			X		X	
Sacchetti (2001)		X	X			X			
Salvatori (1999)		X	X		X				
Parjoko (1996); Park (2002); Rastogi (2004); Burhan-Uddin(2004); Rastogi (1997a); Rastogi (1997b)	X	X	X						
Moreno (2004) Rastogi (1996) Azuara (2002)			X				X		
Giraldo (2003)	X		X						
Kowalska (2001)			X	X					
Emam-Djomeh (2001)			X			X			

Fuente: Ochoa y Ayala, 2005.

1.2.2.1. Estructura y composición del fruto, y tamaño de las piezas

Un factor importante es la naturaleza, estructura y geometría del tejido a osmodeshidratar que está dado por la variedad, especie y estado de madurez, donde se realizara la transferencia de agua y solutos. La amplia variación de la física natural de la fruta afecta al comportamiento osmótico y al estado final de los productos deshidratados osmóticamente (Pointing, 1973; Islam & Flink, 1982; Lenart & Flink, 1984a; citado por Torres, 2007). La gran variabilidad observada entre las diferentes frutas está en su mayor parte relacionada con la diferente compactación del tejido (Giangiaco et al., 1987; citado por Torres, 2007), el contenido inicial de sólidos solubles e insolubles (Lenart & Flink, 1984a,b; citado por Torres, 2007), tamaño y distribución de los

espacios intercelulares, la presencia de gas, la relación entre las diferentes fracciones pécticas (pectina soluble en agua y protopectina) (Forni et al., 1986; citado por Torres, 2007), el nivel de gelificación de pectina (Moy et al., 1978; citado por Torres, 2007) y la actividad enzimática de la fruta (Giangiacoimo et al., 1987; citado por Torres, 2007). En otros estudios (Fito et al., 1994; Lazarides, 1998; Mavroudis et al., 1998; Chiralt et al., 1999) citado por Torres se ha observado que diferencias en la estructura de la materia prima, especialmente porosidad, afectan a los mecanismos de transporte implicados en la osmodeshidratación, de forma que cuanto mayor es la porosidad de la fruta mayor es la ganancia de sólidos.

Así mismo Lerici et al., (1989) y Torreggiani, (1993) citados por Torres manifiestan que la geometría y tamaño del producto, relacionados con la superficie específica, es otra de las variables importantes a controlar, ya que, grandes superficies específicas favorecen la pérdida de agua y la ganancia de sólidos.

Las geometrías comúnmente utilizadas son los cubos, cilindro y esferas que ofrecen una mayor relación superficie/volumen.

1.2.2.2. Naturaleza y concentración del agente osmótico

El comportamiento y la naturaleza del agente osmótico es importante para definir el producto en el proceso de osmodeshidratación (OD). En efecto se han utilizado diferentes agentes osmóticos como: azúcares, maltodextrinas, trealosa glucosa, fructuosa, lactosa, sacarosa, maltosa, mezclas de ellos y entre otros. El impacto de los diferentes solutos en la cinética de deshidratación en función de la concentración utilizada ha sido objeto de estudio de varios autores (Le Maguer, 1988; Cháfer et al., 2000; citado por Torres, 2007). En función de su naturaleza y propiedades físicas (viscosidad, poder depresor de la a_w , etc.), se observará un comportamiento u otro, ya que la interacción de los solutos con el agua y la matriz sólida del alimento será distinta (Cháfer et al., 2001; citado por Ochoa & Ayala, 2005). Por otra parte, Biswal y Bozorgmehr (1992) y Barat et al. (2001a) citado por Ochoa y Ayala mencionan que el tamaño de la molécula de soluto va a suponer una mayor o menor facilidad para difundir en la estructura compleja de los distintos productos.

De los agentes osmóticos anteriormente mencionados, el más utilizado para la deshidratación de frutas es la sacarosa debido según Conway, et al. (1983) y Giraldo et al., (2003) citado por Ochoa y Ayala, a su fácil accesibilidad y aceptable sabor, y por reducir el pardeamiento enzimático. Un estudio realizado por Bolin et al., (1983, citado por Ochoa y Ayala) demostró que, utilizando diferentes disoluciones, la apreciación sensorial de catadores prefería la sacarosa como agente osmótico.

Ochoa y Ayala, indicaron que la concentración de disoluciones osmóticas utilizadas es importante en la velocidad del proceso de osmodeshidratación ya que define la fuerza impulsora para la transferencia de masa. De igual forma, la distinta viscosidad de la disolución, y de la fase líquida del alimento que va aumentando con el tiempo del proceso tiene un efecto importante en la velocidad del transporte (Martínez-Monzó et al., 1998a; Cháfer et al., 2001; Barat et al.; 2001b y c & Talens et al., 2000 y 2001 citado por Ochoa & Ayala, 2005). El empleo de diferentes disoluciones con diferente concentración produce varios perfiles de concentración en el tejido de la fruta (Albors et al., 1998; Salvatori et al., 1999 a y b; citado por Ochoa & Ayala, 2005). Cuando las disoluciones osmóticas son concentradas, poseen grandes fuerzas impulsoras, el tiempo de proceso es más corto y se acelera la pérdida de agua y la ganancia de solutos y todas las células superficiales de la muestra se deshidratan en gran magnitud. Asimismo, en concentraciones más suaves una parte mayor del tejido queda afectada, pero en menor cantidad. El nivel de afectación de las diferentes capas celulares estará asociado con su muerte o con un estrés más o menos intenso, el cual se verá reflejado en los procesos fisiológicos, pudiéndose desarrollar metabolitos, especialmente durante el almacenamiento, que podrían afectar la calidad del producto (Torres, 2007).

TABLA N° 4: Osmosidad de algunos solutos

Soluto	g de Solute por 100 g de Solución				
	1	5	10	15	20
Cloruro de sodio	0.172	0.885	1.832	2.845	3.927
Etanol	0.166	0.611	1.288	2.031	2.285
Cloruro de calcio	0.127	0.688	1.655	2.871	-----
Etilenglicol	0.085	0.460	0.987		
Fructosa	0.030	0.159	0.349	0.550	
Glucosa	0.030	0.159	0.342		
Sacarosa	0.015	0.084	0.181	0.295	0.428

FUENTE: Aguaisa y Carlosama, 2007.

Varios Autores mencionan que la osmosidad de los solutos es la fuerza osmótica que se expresa en número de moles de cloruro de sodio por litro requeridas para tener una solución con la misma presión osmótica.

El cloruro de sodio es un soluto de alta osmosidad porque sus átomos son altamente ionizables en el agua. Por lo tanto, la osmosidad será mayor si el peso molecular del compuesto es más bajo.

Otra variable importante a considerar es la relación masa de solución a masa del producto donde se obtuvo la ganancia de solutos y pérdida de agua. Uddin e Islam (1985 citado por Della, 2010) trabajaron en el efecto de esta variable en el proceso de deshidratación osmótica de rodajas de ananás a una temperatura de 21°C. Donde obtuvieron como resultado un incremento de pérdida de agua si se trabajaba en una relación de masa de solución a masa de producto de 4, sin embargo más allá de este valor no se veía un cambio significativo. Uddin e Islam (1985 citado por Della, 2010)

1.2.2.3. Temperatura de tratamiento

Varios autores han observado que la velocidad del proceso osmótico se ve significativamente afectada por el aumento de la temperatura (Lenart & Flink, 1984a; Conway et al., 1983; citado por Torres, 2007). Torres cita además a Lazarides et al. (1999) y Lazarides (2001) quienes afirman que un incremento en

la temperatura del proceso puede provocar un aumento de la velocidad de transferencia de materia, tanto en lo que se refiere a la salida de agua como a la entrada de sólidos solubles. No obstante, la influencia de la temperatura no es uniforme en cualquier intervalo.

Lerici et al., (1977; citado por Torres, 2007) manifiesta que las temperaturas comprendidas entre 20 y 40 °C son consideradas como las más óptimas porque no afectan la integridad de los tejidos, preservan la calidad nutricional del producto y son las de mayor interés a nivel económico. Por debajo de 40-50 °C, las membranas celulares mantienen su funcionalidad limitando el transporte. Por encima de estas temperaturas la desnaturalización y la pérdida de la actividad biológica celular hacen el transporte mucho más rápido, pero tiene un efecto negativo sobre la estructura del tejido de la fruta y por tanto sobre su textura, así como sobre el sabor y el aroma (Lazarides, 2001; Barat et al., 2001a; citado por Torres, 2007). Torres también cita a Youn et al., (1996) donde aseveran que el uso de elevadas concentraciones osmóticas y bajas temperaturas ayuda a la retención de nutrientes y ácidos orgánicos. Asimismo, Lazarides et al., (1995) citado por Torres observó que en el proceso de osmodeshidratación existe una mínima ganancia de solutos (azúcar), debido a la formación de una capa externa de células colapsadas, que funciona como barrera impidiendo el flujo de componentes. En este sentido Lazarides & Mavroudis (1996) citado por Torres afirma que el empleo de altas temperaturas favorece a tener productos con un alto contenido en sólidos solubles.

1.2.2. Mecanismos de transporte durante la osmodeshidratación

Los mecanismos del transporte de masa en el interior del tejido vegetal, sometido a tratamiento osmótico, pueden ser de tres tipos (Le Maguer, 1988):

- El transporte apoplástico (AP), se realiza en el exterior de la membrana celular y puede visualizarse como una difusión de moléculas en la pared celular y los espacios intercelulares.
- El transporte simplástico (SP) se caracteriza por el movimiento de moléculas de una célula a otra a través de delgados conductos (plasmalema).

- El transporte transmembrana (TM), es un intercambio entre el espacio libre y el protoplasma y que comprende el espacio intercelular y la pared celular y se desarrolla a través del mecanismo osmótico.

1.2.3. Aplicaciones de la osmodeshidratación

La aplicación del proceso de osmodeshidratación de alimentos se usan de manera generalizada en frutas, hortalizas entre otros. Sin embargo, constan otras posibles usos en el proceso que se están estudiando actualmente.

En estudios realizados sobre la osmodeshidratación de alimentos, se citan ventajas de ésta sobre los tratamientos tradicionales de secado por aire caliente, secado solar, etc., entre las cuales, se concretan algunas:

- Debido a que la ósmosis puede realizarse a bajas temperaturas, el daño en color y sabor en los alimentos se ve minimizado (Ponting et al., 1966).
- Productos como las frutas, prolongan su periodo de almacenamiento, manteniendo a la vez el color, el sabor y la textura si se someten a osmodeshidratación como pretratamiento en los procesos de conservación por congelación (Lerici et al., 1977; Huxoll, 1982; Andreotti et al., 1985, Talens, 2002; citado por Torres, 2007), secado por aire caliente (Ponting et al., 1966; Giraldo, 2003; citado por Torres, 2007), métodos combinados aire caliente y microondas (Contreras, 2006), liofilización (Lerici et al., 1977; Flink, 1980), pasteurización (Andreotti et al., 1985; Torreggiani et al., 1987; citado por Torres, 2007).

1.2.4. Modelos matemáticos de difusión

Barat et al. (1998) manifiesta que en el proceso de osmodeshidratación se deben conocer los fundamentos relacionados con la fisicoquímica y termodinámica del sistema, así como los mecanismos y la cinética de transferencia de masa para desarrollar un modelo fenomenológico que describa la transferencia de masa. Asimismo, el sistema alimento-disolución osmótica se le considera multicomponente y polifásico en lo relacionado a la fisicoquímica. Las fases presentes son la disolución osmótica, la matriz sólida del producto,

la fase líquida interna (intra y extracelular) y la fase gaseosa atrapada en la estructura porosa (Barat et al., 1998).

En relación a la termodinámica, el sistema está muy alejado del equilibrio, y ocasiona naturalmente los fenómenos de transporte, además en el proceso pasa por unos puntos de pseudoequilibrio que se encuentran controlados por la cinética del proceso.

Adicionalmente, Barat (1998) y Shi & Le Maguer, (2002b citado por Ochoa & Ayala, 2005) manifiestan que el proceso de OD se lleva a cabo en condiciones isotérmicas, lo que implica que la transferencia de energía no es relevante, excepto por la energía que se almacena debida a las tensiones que se provocan por la pérdida de agua celular (mecanismos de deformación-relajación o encogimiento-hinchamiento, generados por fenómenos mecánicos que provocan gradientes de presión en el sistema)

En lo que se refiere a los mecanismos de transferencia de masa, pueden presentarse.

- Mecanismos dependientes del gradiente de concentración afectan a la membrana celular y diferentes componentes. Además, incluyen a mecanismos osmóticos y fickianos.
- Mecanismos dependientes del gradiente de presión o mecanismos hidrodinámicos (HDM) y que se encuentran condicionados por la estructura del alimento (porosidad) y son promovidos por la aplicación de vacío o por las tensiones liberadas en el proceso de relajación.
- Mecanismos de vaporización-condensación cuando se trabaja a presiones cercanas a la presión de vapor. (Barat, 1998; Shi & Le Maguer, 2002; citado por Ochoa & Ayala, 2005).

Se usan modelos matemáticos por la alta complejidad del sistema y que varíe de acuerdo a la determinación apropiada del parámetro de difusividad y condiciones de equilibrio.

Este problema, hace que se explique la información experimental bajo diseños empíricos o semiempíricos que son permitidos para reproducir condiciones parecidas a las del trabajo del cual se obtuvieron.

La metodología que se utiliza es la correlación directa de la pérdida de agua y la ganancia de sólidos con algunas variables de proceso o el planteamiento de un ajuste polinómico, sin embargo, estos métodos no permiten la extrapolación más allá del rango experimental, necesitan un alto número de parámetros que no tienen significado físico, o no siempre generan un buen coeficiente de correlación (Parjoko, Rahman, Buckle & Perera, 1996).

Generalmente, cuando se quiere utilizar un modelo fenomenológico para procesos a presión atmosférica (OD) se emplea el modelo de Crank, que consiste en una solución de la ley de Fick en estado estacionario y que representa el mecanismo difusional (Crank, 1964). En cuanto a los modelos empíricos y semiempíricos, se usan Azuara (Azuara, Beristain & Gutierrez, 1998), Magee (Parjoko et al., 1996; Giraldo et al., 2003; Moreira, 2003), Raoult-Wack (Raoult- Wack et al., 1991), Palou (Palou et al., 1993; Sacchetti; 2001) entre otros, o se recurre al ajuste polinómico (Mújica-Paz et al., 2003a; Mújica-Paz et al., 2003b; Rahman et al., 2001; Sablani & Rahman, 2003) (citado por Ochoa & Ayala, 2005).

1.2.5.1. Modelo de Crank

Se fundamenta en una solución de la ley de difusión de Fick para procesos de osmodeshidratación de alimentos de varias geometrías.

Este modelo ha sido empleado por muchos autores (Giraldo et al., 2003; Park et al., 2002; Walizsewski et al., 2002; Rodríguez et al., 2003; Azuara et al., 2002; Salvatori et al., 1999; El- Aouar et al., 2003, Kaymak-Ertekin y Sultanoglu, 2000, citado por Ochoa & Ayala, 2005) ya que es el modelo fenomenológico más conocido para representar el mecanismo difusional.

Con el modelo de Crank, se estiman la difusividad efectiva (D_{ef}) del agua y del soluto, simulando los experimentos con condiciones límites y resolviendo las ecuaciones analítica o numéricamente, pero las suposiciones que se hacen no siempre son fáciles de lograr lo que implica grandes limitaciones (Parjoko et al., 1996).

Según Parjoko et al. (1996) menciona, que las restricciones del modelo de difusión de Fick para proceso de osmodeshidratación son: sólo hay soluciones analíticas para geometrías conocidas como láminas planas, cilindros, cubos y esferas,

entonces se utilizan técnicas numéricas para materiales irregulares asimismo se considera que el agente osmótico es un medio semi-infinito, entonces se necesita una relación disolución/alimento muy grande, se asume un cuerpo semiinfinito por lo tanto la transferencia de masa es unidireccional, se asume que sólo se presenta el mecanismo de difusión para la extracción de agua, no hay resultado de los sólidos ganados ni de los solutos perdidos sobre la pérdida de agua.

Para Yao y Le Maguer (1997b, citado por Ochoa & Ayala, 2005). La difusividad efectiva explica al mismo tiempo la variación de las propiedades físicas del tejido y la influencia de las características de la disolución y de las variables de proceso, por lo tanto, observando simplemente la magnitud de no se entiende explícitamente el impacto de los diferentes parámetros sobre el proceso de OD

En las ecuaciones (1) a la (4) se presenta la solución para láminas planas semi-infinitas (Crank, 1964; Barat, 1998; Rastogi & Raghavarao, 2002; citado por Ochoa & Ayala, 2005):

Para tiempos largos:

$$\left(\frac{M_0^j - M_t^j}{M_0^j - M_\infty^j} \right) = 1 - \sum_{n=0}^{\infty} \frac{8}{(2n+1)^2 \pi^2} \exp \left\{ -(2n+1)^2 \frac{\pi^2 F_0}{4} \right\} \quad \text{Ec. (1)}$$

Donde el número de Fourier (F_0) está dado por $F_0 = D_e^j t / l^2$

Para tiempos cortos

$$\left(\frac{M_0^j - M_t^j}{M_0^j - M_\infty^j} \right) = 2(F_0)^{0.5} \left\{ \pi^{-0.5} + 2 \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^n \operatorname{ierfc} \frac{n}{F_0} \right\} \quad \text{Ec. (2)}$$

ierfc: Integral de la función de error complementaria

Dónde: M^j = Humedad del producto o concentración de sólidos

Los subíndices 0, t y ∞ se refieren a las condiciones iniciales, a cualquier tiempo t y al equilibrio, respectivamente.

El modelo se puede resolver usando únicamente el primer término de la serie, de acuerdo a las ecuaciones (3) y (4).

Para tiempos largos

$$\left(\frac{M_0^j - M_t^j}{M_0^j - M_\infty^j} \right) = 1 - \frac{8}{\pi^2} \exp \left\{ -\frac{\pi^2 F_0}{4} \right\} \quad \text{Ec. (3)}$$

Para tiempos cortos

$$\left(\frac{M_0^j - M_t^j}{M_0^j - M_\infty^j} \right) = 2 \left(\frac{F_0}{\pi} \right)^{0.5} \quad \text{Ec. (4)}$$

1.2.5. Determinación de coeficientes de difusión de agua y de sólidos

Las variaciones en las Difusividades Efectivas se pueden darse por la gran variedad de productos y las diferentes condiciones establecidas en usos prácticos. También estas variaciones pueden atribuirse a que algunas de las suposiciones mencionadas anteriormente no se cumplan (Spiazzi & Mascheroni, 1997; citado por Della, 2010) y a la existencia de mecanismos no fickianos. Della también cita a Salvatori (1999), Shi y Le Maguer (2002,b) quienes concluyeron, que el uso del modelo de Crank se convierte en una forma empírica para determinar la difusividad efectiva y parámetro cinético para poder ajustar los datos experimentales.

En la siguiente tabla se muestran valores de Difusividad Efectiva de algunos alimentos.

Tabla N° 5: Difusividad efectiva de frutihortícolas encontrados en la literatura

Alimento	(m ² /s)	T (°C)	Concentración (° Brix)	Referencia
Manzana	15-60 10 ⁻⁹	30-50	-	Conway y col., 1983
Manzana	0.157-1.046 10 ⁻⁹	20-50	65	Salvatori y col., 1999
Manzana	0.0332-0.213 10 ⁻⁹	20-50	40-60	Kaymak y col., 2000
Papaya	0.314-0.655 10 ⁻⁹	30-50	50-70	Rodriguez y col, 2003
Pera	0.347-1.92 10 ⁻⁹	40-60	40-70	Park y col., 2002
Piña	1.72 10 ⁻⁹	50-70	50-70	Waliszewski y col., 2002
Piña	1.48-3.24 10 ⁻⁹	30-50	40-70	Rastogi y col., 2004
Piña	0.6-2.5 10 ⁻⁹	30-50	50-70	Beristain y col., 1990
Banana	0.85-2.43 10 ⁻⁹	25-45	40-70	Rastogi y col., 1997
Mango	0.018-0.077 10 ⁻⁹	30	35-65	Giraldo y col., 2003
Yacón	0.1523 10 ⁻⁹	25	40	Maldonado et al. 2008
Batata	0.25-1.5 10 ⁻⁹	50	70	Genina- Soto et al., 2001
Papa	1.1 10 ⁻⁹		NaCl-sacarosa 15-45 % p/v	Lenart y Flink, 1984
Peras	0.1 10 ⁻⁹		67.5	Garrote et al, 1992
Manzana	0.3 10 ⁻⁹	40	60% p/p PEG* 200	Saurel, 1995
Frutillas (en mitades)	0.9 10 ⁻⁹	17	64.5	Spiazzi y Mascheroni, 1995
Zanahoria	0.224 - 0.478 10 ⁻⁹	40	-	Melquíades et al, 2009

*PEG: Polietilenglicol

Fuente: Della, 2010.

1.2.6.1. Modelos matemáticos empíricos para la Difusividad efectiva

A. Modelo de Peleg

La pérdida de agua o de humedad en el producto se puede modelar mediante la ecuación propuesta por Peleg (1998):

$$\frac{t}{H - H_0} = k_1 + k_2 t \quad \text{Ec. (5)}$$

Dónde:

t : tiempo de deshidratación osmótica

H : contenido de humedad a tiempo t

H_0 : contenido de humedad inicial

K_1, K_2 : parámetros del modelo.

El significado físico para ambos parámetros del modelo se puede obtener:

1) Haciendo que $t \rightarrow 0$ en la ecuación 5 y reordenando, se tiene:

$$\frac{1}{k_1} = \left(\frac{dH}{dt} \right)_{t \rightarrow 0} \quad \text{Ec. (6)}$$

Podemos decir que K_1 es inversamente proporcional a la velocidad inicial de transferencia de agua.

2) Si $t \rightarrow \infty$, podemos encontrar la relación del parámetro con la humedad de equilibrio:

$$H_e = H_0 + \frac{1}{k_2} \quad \text{Ec. (7)}$$

Dónde:

H_e : humedad de equilibrio

Si se reemplaza el contenido de humedad por la cantidad de sólidos ganados puede darse una ecuación equivalente para la transferencia de sólidos.

B. Modelo de Azuara

Azuara et al. (1998) modelaron el proceso de deshidratación osmótica a partir del balance de masa del agua como resultado de la pérdida de agua. La ecuación requiere el ajuste de dos parámetros, PA_∞ y s_1

$$\frac{t}{PA} = \frac{1}{s_1 PA_\infty} + \frac{t}{PA_\infty} \quad \text{Ec. (8)}$$

Dónde:

PA : Pérdida de agua a un determinado tiempo, t .

PA_∞ : Pérdida de agua a tiempo infinito.

s_1 : Constante de velocidad relativa para la pérdida de agua.

Este modelo empírico tiene la desventaja de limitar su validez sólo al rango experimental para el que se obtuvieron los parámetros. Asimismo, su ventaja es no requerir llegar al equilibrio para predecirlo.

Como en el modelo de Peleg, este modelo también puede emplearse para el estudio de la transferencia de sólidos en el producto en el caso que se reemplace en la ecuación 8, la pérdida de agua por la ganancia de sólidos.

C. Modelo de Hawkes y Flink

$$PA = k t^{0.5} + k_0 \quad \text{Ec. (9)}$$

Dónde:

PA : Pérdida de agua a un determinado tiempo, t .

k y k_0 : son parámetros cinéticos empíricos

K se relaciona a la velocidad de transferencia de agua que se da a través del mecanismo osmótico difusional. Este modelo es parecido al de modelo de Crank.

K_0 cuantifica la ganancia o la pérdida de agua que ocurre luego de procesamientos cortos debido al mecanismo hidrodifusional promovido por las presiones impuestas o movimientos capilares (Giraldo et al, 2003; citado por Torres, 2007).

D. Modelo de primer orden

Empleando el modelo de primer orden basado en el de Rastogi y Raghavarao (1996 citado por Della, 2010), el coeficiente de difusión puede estimarse a partir de la aproximación exponencial al equilibrio.

$$-\frac{dH}{dt} = k_T(H - H_0) \quad \text{Ec. (10)}$$

Dónde:

$$k_T = k \times a_{se} \quad \text{Ec. (11)}$$

k_T : es el coeficiente de transferencia de masa promedio.

K : coeficiente individual de transferencia de masa

a_{se} : área superficial específica

El área superficial específica, a_{se} se calcula de la siguiente manera:

$$a_{se} = \frac{\text{superficie del cubo}}{\text{volumen del cubo}} \quad (Ec. 12)$$

$$a_{se} = \frac{6L^2}{L^3} = \frac{6}{L} \quad Ec. (13)$$

Dónde:

L : arista del cubo

Al integrar la ecuación 10 se obtiene:

$$\frac{H_t - H_e}{H_0 - H_e} = \exp^{-k_T t} \quad Ec. (14)$$

Para la difusión a través de sólidos, K puede expresarse como $\frac{D_{ef}}{a}$ donde a es la longitud característica, para el cubo puede tomarse como la semiarista del cubo ($L/2$). Entonces k_t puede expresarse como:

$$k_T = \frac{D_{ef} a_{se}}{a} = \frac{12D_{ef}}{L^2} \quad Ec. (15)$$

A partir de esta expresión si se conoce k_t y las dimensiones del cubo se puede obtener la D_{ef} .

Con los datos experimentales se grafica $\ln \left[\frac{(H_t - H_e)}{(H_0 - H_e)} \right]$ versus el tiempo y se regresiona linealmente. La pendiente obtenida es K_t , el coeficiente de transferencia de masa promedio y a partir de éste puede calcularse la difusividad efectiva, como se explicó anteriormente.

E. Modelo de Raoult Wack

El modelo de Raoult Wack (1991 citado por Della, 2010) ajusta los datos a una ecuación exponencial del tipo:

$$PA = a_1(1 - e^{-k_1 t}) \quad \text{Ec. (16)}$$

PA : Pérdida de agua a un determinado tiempo, t .

en la que a_1 y k_1 son los dos parámetros empíricos. De la misma manera a veces se plantea como una biexponencial con 4 parámetros de ajuste: a_1, k_1, a_2 y k_2 .

F. Modelo de Page

Según Moreira y Murr (2004) la ecuación de Page puede prever mejor el comportamiento de la ganancia de sólidos que la pérdida de agua. Su expresión para el primer caso es la siguiente:

$$\frac{S_t - S_e}{S_0 - S_e} = \exp(-At^B) \quad \text{Ec. (17)}$$

Dónde:

S = Concentración de sólidos solubles

A y B son los parámetros de ajuste.

Los subíndices $0, t$ y e se refieren a las condiciones iniciales, a cualquier tiempo t y al equilibrio, respectivamente.

1.2.6. Ventajas y desventajas de la Osmodeshidratación

Según Raoult-Wack (1994; citado por Tepper, 1996) mencionan que existe la posibilidad de formular un alimento realizando el proceso de impregnación por lo que se conseguiría obtener productos de calidad con características nutricionales y organolépticas propios de un alimento fresco. Asimismo, la incorporación de solutos tiene un efecto protector sobre su estructura celular del alimento mejorando considerablemente la textura final ya que las células no colapsan al perder agua obteniendo un alimento resistente a tratamientos posteriores.

Se ahorra energía ya que como se dijo anteriormente la deshidratación ocurre por una osmosis y no a través de un cambio de fase del agua (Raoult-Wack, 1994; Farkas & Lazar, 1969; Lerici et al, 1983; Biswal & Le Maguer, 1989; citado por Tepper, 1996).

Cabe mencionar que, al aplicar bajas o moderadas temperaturas, el daño que se produce en el sabor y color es mínimo. Asimismo, existe mayor retención de compuestos volátiles en el proceso. Además, se inhibe el pardeamiento enzimático lo que evita el uso de sulfitos (Conway et al, 1983; Pointing et al, 1966; Beristain et al, 1990, citado por Schwartz, 1993). Schwartz hace referencia al trabajo de Pitotti et al. (1989) quienes realizaron ensayos en kiwi, durazno, peras asiáticas y europeas que son frutas recomendadas para su posterior deshidratado, congelado, enlatado o transformación en pulpa. Asimismo, indicaron que a medida que incrementa la concentración de NaCl en el alimento, disminuye la actividad de la polifenoloxidasas. Lo mismo ocurre con diferentes solutos como los azúcares cuando las concentraciones son superiores a 0,5 M, siendo la sacarosa y la fructosa más efectivas que la glucosa. El uso de este método permitiría a los productores ofrecer la fruta para su procesamiento inmediato o conservarla durante varios meses como producto de humedad intermedia para su posterior industrialización.

Cabe mencionar que el proceso de osmodeshidratación(OD) no ofrece productos estables en largo tiempo, pero se recomienda usar como un pretratamiento de otros procesos como secado, pasteurizado, congelado y enlatado. Otra opción es combinar varios factores limitantes como: pH, temperatura de almacenamiento, preservantes químicos, envasado al vacío, entre otros (Raoult- Wack, 1994; Guilbert et al, 1990; Collignan et al, 1992 citado por Tepper, 1996). para evitar el desarrollo microbiano y deterioro enzimático con una disminución de la actividad de agua (producida por una deshidratación osmótica).

En el proceso de osmodeshidratación a gran escala se recomienda reusar o reconcentrar la solución osmótica ya que constituiría una gran limitante por su elevado costo. El uso de evaporadores en serie para la reconcentración es un factor clave para que la remoción de agua por este sistema sea energéticamente eficiente (Bolin et al, 1983).

La osmodeshidratación se puede considerar como una alternativa posible para la creación de frutas mínimamente procesadas. A pesar de la escasa información encontrada al respecto, autores como Lewicki et al., (2001 citado por Tepper,

1996) observaron que la respiración de rodajas de manzana disminuía con el aumento de materia seca y que contenidos mayores del 60%, cesaba completamente. Por otra parte, Tepper cita el trabajo de Tovar et al., (2001a) quienes estudiaron el efecto de la osmodeshidratación de mango en una disolución de 65 °Brix y a 30°C con un pulso de vacío de 211 mbar en la producción de CO₂ durante el almacenamiento, concluyendo que las muestras deshidratadas mostraron una mayor tasa respiratoria que las frescas.

1.3. ACTIVIDAD ACUOSA

La actividad de agua o *Water activity* (a_w), actúa como disolvente a menudo es uno de los reactivos o de los productos de la reacción. Se utiliza para poner en contacto las diferentes moléculas que interaccionan. Por lo tanto, la reactividad de muchas sustancias depende de la disociación iónica y de la configuración molecular y por consiguiente el grado de hidratación. Asimismo, es un factor de control de calidad durante la elaboración y transformación de productos en tecnología de alimentos.

El agua es importante en la cinética de los procesos enzimáticos y no enzimáticos en los alimentos ha sido reconocida empíricamente desde hace mucho tiempo. La posibilidad de retardar el deterioro enzimático, microbiológico o químico mediante la simple reducción en el contenido de agua de los alimentos era una técnica ya conocida por las antiguas civilizaciones.

La cantidad de agua en los alimentos varía desde más de un 90% en algunas hortalizas y frutas y en un bajo porcentaje en granos y alimentos deshidratados.

Asimismo, se conoce en la actualidad que la influencia del agua influye en la reactividad del sistema donde se relaciona contenido neto de agua y el estado de las moléculas de agua. Por consiguiente, la disponibilidad de agua es función tanto del contenido como del estado del agua, y se expresa mejor mediante el concepto de actividad del agua:

$$a_w = \frac{P}{P^*} \frac{\text{(presión de vapor del agua en el sistema)}}{\text{(presión de vapor del agua pura a la misma temperatura)}} \quad \text{Ec. (18)}$$

Así mismo:

$$a_w = \frac{\text{humedad relativa } \%}{100} \quad \text{Ec. (19)}$$

La actividad del agua sería igual a la unidad independientemente del contenido de agua, si los alimentos fueran tan sólo mezclas de agua con sustancias inertes, que interactuaran en modo alguno con las moléculas de agua.

Si los alimentos fueran “soluciones ideales” de solutos tales como los azúcares, los ácidos y las sales en solución acuosa, la presión de vapor estaría gobernada por la ley de Raoult, y expresada por la ecuación:

$$P = X_w P^* = (1 - X_s) P^* \quad \text{Ec. (20)}$$

Dónde:

X_w : fracción molar del agua

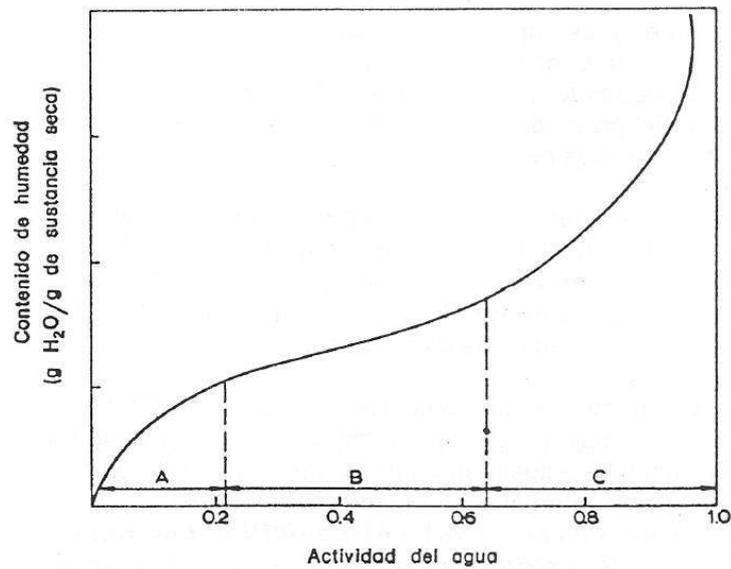
X_s : fracción molar total de solutos.

Esta relación describe el comportamiento de los alimentos de alto contenido de humedad, tales como hortalizas, frutas, jugos, bebidas, leche y carne fresca.

Pero, en general, en los sistemas alimentarios parte del agua se halla fuertemente adsorbida sobre la superficie de sustancias poliméricas (proteínas, carbohidratos macromoleculares). Esto resulta evidente a partir del hecho de que la presión de vapor del agua sobre un alimento con un contenido bajo o intermedio de humedades considerablemente menor que la que predice la ley de Raoult. Al agua que se encuentra en esta forma se la suele llamar “agua ligada”. La isoterma de adsorción describe al cálculo de la cantidad de agua en un producto en función de la humedad y temperatura.

La figura siguiente ilustra una isoterma típica en muchos alimentos.

Figura N° 1: isotermas de sorción



Se cree que:

- a niveles muy bajos de contenido de humedad (región A de la isoterma) toda el agua se encuentra ligada a los sitios polares expuestos de los componentes macromoleculares (hidroxilos en los carbohidratos, uniones peptídicas y grupos polares laterales en las proteínas) y se requiere una cantidad definida de agua para ocupar tales sitios y formar una monocapa. A quien se le conoce como la monocapa de BET, que fue propuesto por primera vez por Brunauer, Emmet y Teller en 1938 quien propuso el cálculo teórico. Cabe mencionar que los valores de la monocapa de BET para la mayor parte de los alimentos por cada 100 g de sustancia seca se encuentran en el intervalo de 3 a 10 g de agua.
- Así mismo una vez que se complete la monocapa, la actividad del agua incrementa frente a un aumento en el contenido de humedad (región B). Sin embargo, la actividad del agua es aún menor que el valor correspondiente a la fracción molar, según la ley de Raoult. En tal sentido uno de los motivos de este efecto es el hecho de que el “agua libre” se encuentra parcialmente atrapada en la estructura porosa del alimento y queda expuesta a la acción depresiva sobre la presión de vapor que producen los capilares.
- A mayores niveles de contenido de humedad (región C) el sistema se comporta de hecho como una solución acuosa. En realidad, la fracción

molar de los solutos suele ser tan baja que la actividad del agua pronto alcanza un valor cercano a la unidad.

La disponibilidad de agua, medida como actividad del agua, posee una fuerte influencia sobre la velocidad de las reacciones enzimáticas. Acker ha demostrado que la curva que representa la actividad de la enzima lipasa que descompone las grasas, en función del contenido de agua, es paralela a la isoterma de adsorción experimental del sistema. En general, la actividad enzimática es muy baja con contenidos de humedad menores que el valor de la monocapa. La actividad enzimática aumenta con el contenido de "agua libre". Esta relación se encuentra no sólo en las reacciones hidrolíticas, en las que el agua es evidentemente una de los reactivos, sino también en las reacciones no hidrolíticas.

El papel del agua, además de su participación activa como reactivo, podría estar asociado con la activación de las enzimas y sustratos por hidratación o con su acción como medio de transporte. Se ha observado que las reacciones enzimáticas que involucran sustratos no polares pueden ocurrir aun a niveles de humedad inferiores a los de la monocapa, en tanto haya presente un adecuado disolvente no polar en cantidad suficiente: en base a esto Acker concluyó que el papel principal del agua es el de disolvente, permitiendo la difusión del sustrato hacia la enzima.

La disminuye cuando se aumenta la concentración de compuestos disueltos o solutos (denominados «humectantes»). La elección del humectante depende de varios factores tales como capacidad para reducir la , costo, solubilidad y características organolépticas del producto final (Argaiz, Lopez-Malo & Welti-Chanes, 1995).

En la formulación de AHI se han utilizado tradicionalmente como humectantes soluciones de sal y de sacarosa u otros agentes osmóticos. Durante la osmosis se realiza un intercambio de agua y soluto donde la clases y concentración de humectante afectan el proceso como resultado dan lugar a la ganancia de sólidos en lugar de una deshidratación. Los azúcares de bajo peso molecular como la glucosa, fructosa, sorbitol, ayudan a la ganancia de azúcar debido a la fácil penetración de las moléculas. Sin embargo los solutos de alto peso molecular favorecen la ganancia de solidos frente a la perdida de agua obteniendo un producto de bajo contenido de soluto.

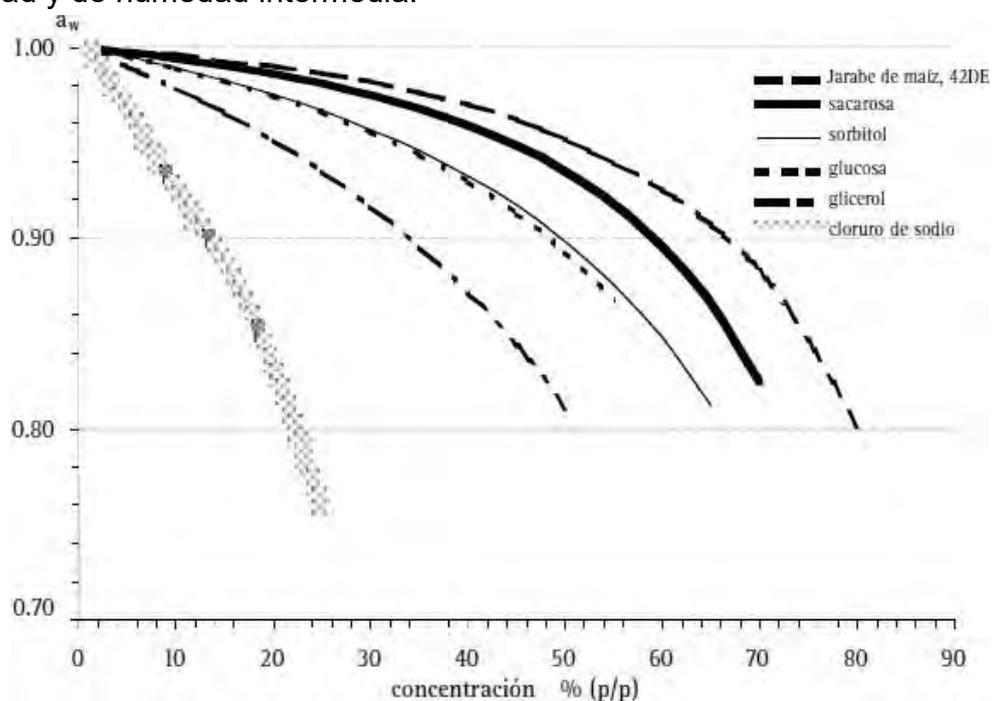
Cuando se utiliza sacarosa como humectante la actividad de agua « a_w » puede cambiar a lo largo del almacenamiento del producto.

La sacarosa se hidroliza originando glucosa y fructosa (Montes de Oca, Gerschenson & Alzamora, 1991). Asimismo la actividad del agua « a_w » de la fruta disminuye debido a la hidrolisis de la sacarosa incrementando el efecto de la barrera del crecimiento microbiano.

Es importante notar que la glucosa y la fructosa tienen la misma capacidad para disminuir la a_w (Chirife, Favetto & Ferro, 1981).

Figura N° 2: Actividad de agua en función de la concentración de sol

uciones de solutos comúnmente utilizados en la formulación de alimentos de alta humedad y de humedad intermedia.



Fuente: Alzamora et al., (2004) FAO – Conservación de frutas y hortalizas mediante tecnologías combinadas.

1.4. MICROESTRUCTURA DE LOS ALIMENTOS

La inclusión del análisis microestructural de los alimentos, es importante para poder entender la variación de las propiedades de los alimentos durante su transformación. Asimismo, su inserción resulta útil cuando se diseña un proceso basándose en las ecuaciones fundamentales de transferencia como: la cantidad de movimiento, energía y/o materia donde se alcanzan contextos diferentes a las predichas.

Reinheimer (2011) menciona que, el análisis de imágenes permite estudios más cuantitativos relacionados con mediciones físicas más relevantes de la estructura del producto. Sin embargo, la visualización de la estructura e interpretación de lo que se observa, en relación a las propiedades de los productos, está continuamente basada en criterios cualitativos. Los estudios microscópicos y las imágenes obtenidas ofrecen un conocimiento a un nivel estructural para controlar las propiedades de los alimentos, estudios que son generalmente complementados con mediciones reológicas y análisis de composición (Blonk, 2002; citado por Reinheimer, 2011). Reinheimer cita el trabajo de Aguilera y otros (2000) quienes señalan que evidentemente la microestructura es la organización de los elementos constitutivos del alimento y su interacción, por lo que la relación producto - proceso no puede obviar esta característica para obtener propiedades finales específicas.

1.4.1. Microestructura y propiedades de transporte

La microestructura se encuentra relacionada con la estructura de los alimentos a un nivel microscópico y se encuentra relacionada con la transformación, almacenamiento y calidad de los productos nutritivos. Si bien este análisis fue primeramente desarrollado para la evaluación de la textura y calidad de los alimentos, puede ser aplicado a las propiedades de transporte de los materiales alimenticios, como son viscosidad, conductividad/difusividad térmica y difusividad másica (Saravacos y Maroulis, 2001; citado por Reinheimer, 2011).

1.4.2. Relación entre la microestructura y la transferencia de materia

Según Aguilera y Stanley (1999; citado por Reinheimer, 2011) indican que, la difusividad en el solvente líquido (D_L) es mayor que la difusividad másica en sustratos sólidos (D_S), debido a la complejidad estructural del material, así tenemos siguiente ecuación empírica:

$$D_S = F_m D_L \quad \text{Ec. (21)}$$

El factor de corrección F_m varía en el rango de (0.1-0.9), cuando se incrementa los valores obtenidos

las membranas celulares son destruidas, un claro ejemplo es la extracción de sacarosa de la remolacha azucarera mediante el uso de agua caliente. Asimismo, el factor de corrección se vuelve bajo aproximadamente cero, en la extracción de compuestos de alto peso molecular como es el caso de las proteínas. Cabe mencionar, que la extracción es mejorada mediante el pretratamiento del material sólido, como es la operación de reducción de tamaño, en donde se reduce el paso de difusión para el solvente y el componente extraído (Saravacos y Maroulis, 2001; citado por Reinheimer, 2011).

1.4.3. Técnicas de inspección de la microestructura de los alimentos

Puede ser evaluadas y medidas por las técnicas microscópicas como: el microscopio electrónico de transmisión (TEM), microscopio electrónico de barrido (SEM) y microscopio óptico confocal.

1.4.3.1. Microscopio electrónico de transmisión (TEM)

El microscopio electrónico de transmisión (TEM) hace posible conseguir mejores resoluciones que las adquiridas con un microscopio óptico ya que utiliza electrones como fuente de luz y una baja longitud de onda. Asimismo, tiene una fuente de electrones que es un filamento de tungsteno que se encuentra en la parte superior de la columna y conectada a una fuente de alto voltaje, emite electrones que viajan a través de vacío (10^{-6} - 10^{-7} mmHg) a lo largo de la columna del microscopio. Por consiguiente, algunos electrones son esparcidos y desaparecen del rayo dependiendo de la densidad del material. En la parte inferior del microscopio los electrones que no fueron desviados golpean contra una pantalla

fluorescente, que registra la imagen aumentada; de acuerdo a la densidad de las partes del material, se ven diferentes niveles de oscuridad (Reinheimer, 2011).

Reinheimer (2011), menciona que el microscopio electrónico de transmisión (TEM) nos brinda información estructural y química de los alimentos. Por consiguiente, nos permite visualizar la estructura interna de los alimentos como proteínas, colorantes negativos, los cuales tienen doble propósito: proveen contraste a la imagen por consiguiente estabilizan la estructura de las proteínas deshidratadas asimismo nos permite ver el entrecruzamiento de las miofibrillas. El microscopio electrónico de transmisión (TEM) para muestras biológicas utiliza un voltaje de aceleración que puede ser de 20-80 KV y en los tejidos sin metalizar deben utilizarse bajos KV. La focalización de las muestras se realiza con aumentos de hasta 200 000 X.

La desventaja para el microscopio electrónico de transmisión TEM se encuentra en las muestras, que para ser estudiadas tienen que ser rodajas o rebanadas muy delgadas y asegurar que sean "transparentes a electrones", y colocarse en un vacío. Asimismo, cabe mencionar que para la preparación de muestras se requiere mucho tiempo y la manipulación de expertos. Por último, también hay preocupación de que el bombardeo de electrones que puede dañar la muestra bajo el estudio especialmente si se trata de muestras biológicas. (Flores, 2012).

1.4.3.2. Microscopio electrónico de barrido (SEM)

Flores (2012) menciona, que el microscopio electrónico de barrido (SEM) nos permite conocer la morfología superficial de las muestras mientras que el microscopio electrónico de transmisión (TEM) nos permite realizar el estudio de la ultraestructura de muestras delgadas. En tal sentido la diferencia principal entre los microscopios es la manera en que forman y magnifican la imagen. Asimismo, cabe mencionar que ambos tienen ciertas características comunes tales como: lentes condensadores y objetivo, sistema de vacío y un canon de electrones donde se genera el haz de electrones.

En el microscopio electrónico de barrido produce un haz de electrones quien atraviesa la columna y llega a la muestra. Asimismo, de la interacción entre los electrones con los átomos que componen la muestra se generan señales que son captadas con detectores. En tal sentido el detector capta una señal y lo convierte en señal electrónica que es proyectada en tubos de rayos catódicos.

Asimismo, posee un generador de barrido que es el encargado de causar el movimiento del haz de electrones, de manera que barra la muestra de punto a punto. El barrido del haz esta sincronizado con el barrido del CRT y produce una relación uno a uno entre puntos de la muestra y puntos en el CRT. (Flores, 2012).

A su vez cuando el haz de electrones choca contra la muestra, se suscitan interacciones entre electrones y los átomos que parte de la muestra. Como consecuencia surgen señales como: electrones Auger, electrones retrodifundidos, electrones secundarios, rayos x característicos, cátodo luminiscencia. En tal sentido todas estas señales se generan paralelamente y cada una de ellas son captadas por diferentes detectores. En tal sentido uno de los detectores más utilizados son los electrones secundarios quienes son emitidos desde la muestra. Ellos brindan una imagen de la morfológica superficial de la muestra. (Reinheimer, 2011).

El microscopio electrónico de barrido (SEM), es una técnica empleada para estudiar morfologías de superficies de muestras biológicas y estructuras de muestras deshidratadas donde es recomendable utilizar bajos voltajes de aceleración (10-20 KV). Por consiguiente, se puede realizar con soluciones de concentración creciente de alcohol o acetona o utilizando técnica de secado al punto crítico el cual produce menos distorsión en la estructura de la muestra.

Según Reinheimer (2011). menciona que, el microscopio electrónico de barrido nos permite detallar la microestructura y cuantificarla. Asimismo, observar la ultraestructura de la red de gel formada mediante el tratamiento térmico. Por ejemplo: la alta resolución del microscopio nos permitirá ver glóbulos de grasa: tamaño y distribución. Con El microscopio electrónico de barrido (SEM), se podrá ver las diferencias de texturas en los geles cuando se varían los crioprotectores (carbohidratos que prolongan el almacenamiento congelado).

1.4.3.3. Microscopio óptico confocal

El microscopio óptico confocal emite una luz monocromática y potente por lo cual provoca en la muestra los procesos de la fluorescencia a través de su fuente de iluminación de una luz láser. Es decir, cuando un espécimen sea iluminado con luz de cierto color, este emitirá luz brillante de otros colores, según los marcadores utilizados, que son los que contienen las estructuras excitables que emiten fluorescencia a determinadas longitudes de onda, y los fotones emitidos por los colorantes son los visibles. (Reinheimer, 2011).

En microscopía óptica confocal muestra cada imagen en un solo plano de un espécimen pero en realidad es tridimensional, el microscopio puede hacer una restauración completa del espécimen que lo muestre en sus tres dimensiones. Esta restauración tridimensional podrá incluso ser rotada para estudiar la muestra desde un ángulo distinto a aquel desde el cual se retrató.

Reinheimer (2011) indica que es una técnica que nos permite el estudio de la microestructura y la organización de los diferentes componentes de los productos alimenticios, su ventaja radica en se puede estudiar estructuras que evade el problema de fijación de la muestra. Por el contrario, es una técnica poco empleada en los alimentos debido a la complejidad de los mismos.

1.5. EL MERCADO DE LAS FRUTAS DESHIDRATADAS

El mercado internacional, sobre todo el norteamericano prefiere el Sachatomate procesado por la facilidad que presenta para su consumo, en cambio el europeo prefiere el consumo de frutas en fresco, (Cadena, 2003).

El consumo per cápita anual de frutas frescas ha sido visiblemente descendente desde el año 1987. De acuerdo a los datos facilitados en el Panel Alimentario del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. A pesar de incrementarse el gasto en alimentación y crecer la población española, durante el año 2003 se consumieron aproximadamente las mismas toneladas de frutas que en el año 1987 (Hidalgo, 2005; citado por Torres, 2006). Según un estudio realizado por

Riba (2002 citado por Torres, 2006) efectuó un trabajo de investigación en una población de estudiantes de la universidad de Barcelona cuyas edades comprendidas fueron de 18 a 25 años, donde el 64% afirma consumir frutas en estado fresco y el 4% indican consumir frutas deshidratadas. A pesar de este pequeño porcentaje de consumo de fruta deshidratada, su procesamiento resulta muy útil. El alimento deshidratado es una alternativa para alargar la vida útil del producto. Así mismo se calcula que el 40% de las cosechas se pierden por las condiciones climáticas, inadecuado almacenamiento y pérdidas durante el transporte. Aún son pocas las empresas que han encontrado en la deshidratación del producto una forma de recuperar parte de las mermas y una posibilidad de ofrecer nuevos productos (Quezada, 2001).

Actualmente el consumidor tiene una amplia variedad de productos deshidratados, especialmente en frutas como: melocotones, albaricoques, manzanas, uvas, ciruelas, higos, plátanos, etc., verduras como: pimiento, zanahorias, patata, tomate etc., carnes y cereales. Existen varias formas de consumir estos alimentos ya se han secos o rehidratados según su preferencia del consumidor o utilizarlos como ingredientes para otros alimentos.

En este sentido, Josa (2005) señala ciertas características que impulsan a que el consumo de fruta deshidratada pueda llegar a ser cada día mayor:

- Son alimentos saludables y disponibles todo el tiempo, excelentes para la salud.
- Se usa para múltiples aplicaciones como snacks, salsas, sopas, etc.
- Alargan la vida útil del producto a un bajo costo.
- Presentan una relación calidad/precio adecuada.
- Algunas tiendas naturistas y macrobióticas las incorporan y recomiendan.

Alimentos de Humedad Intermedia (AHI)

Las tecnologías combinadas se están usando cada día más en el diseño de alimentos, tanto en los países industrializados como en los países en desarrollo, según Alzamora et al., (2004) con varios objetivos de acuerdo a las necesidades. En los países desarrollados, con recurso de energía e infraestructura y su amplio uso de métodos de conservación de alimentos con procesamiento térmico suave, comercializados en forma congelada o refrigerado entre los cuales podemos mencionar a:

- Carnes fermentadas como jamones crudos, embutidos crudos fermentados.
- Carnes autoestables con tratamiento térmico suave como carnes «listas para consumir»), Frutas y hortalizas frescos cortados.
- Alimentos empacados al vacío y cocidos-refrigerados.
- Alimentos «saludables» (de bajo contenido de grasas y sales y alimentos funcionales), Entre otros.

Leitsner y Gould (2002) mencionan que, en muchos países en desarrollo, utilizan métodos de conservación como refrigeración, procesos de enlatados y procesos asépticos que requieren de mucha inversión y su demanda energética es muy alta y no siempre está disponible. Cabe mencionar que la combinación adecuada de varios factores nos daría como resultado el desarrollo de alimentos estables a temperatura ambiente, con un uso mínimo de energía, equipos e infraestructura, que nos facilitaría tanto para la distribución y el almacenamiento del producto. Uno de los métodos más comunes comprende alimentos con reducción de la actividad de agua, por ejemplo, por deshidratación parcial o por agregado de sales o azúcares que comúnmente son combinadas con antimicrobianos naturales o sintéticos, entre otros y alimentos envasados al vacío con exclusión del oxígeno o cubiertos con una capa de aceite.

La mayoría de los alimentos tradicionales que permanecen estables, inocuos y organolépticamente aceptables durante almacenamientos prolongados sin refrigeración en los países en desarrollo de África, Asia y América Latina son alimentos de humedad intermedia, en los que la disminución de la a_w es uno de los principales obstáculos (Welti-Chanes et al., 2000; Leistner & Gould, 2002; citado por Alzamora et al., 2004). Los alimentos de humedad intermedia tradicionalmente se desarrollaron empíricamente. En la actualidad se conoce mejor la combinación de los factores de conservación, los mismos que pueden ser usadas para diseñar y optimizar los sistemas de conservación de los alimentos.

Se diferencia dos categorías de alimentos con a_w como: los alimentos de humedad intermedia (AHI) y los alimentos de alta humedad (AAH). Los AHI tienen generalmente un rango comprendido de 0,60-0,90 y 10-50 por ciento de humedad (Davies et al., 1975; Jayaraman, 1995; citado por Alzamora et al., 2004). Existen otros factores que proveen un margen de seguridad para evitar el deterioro de microorganismos resistentes a la reducción de la actividad de agua a_w principalmente hongos y levaduras, que pueden crecer en niveles comprendidos de 0,60 de a_w , y también contra algunas especies bacterianas capaces de crecer cuando la a_w del AHI está cercana al límite superior 0,90 de a_w . Con estos objetivos, la reducción de a_w se combina con conservantes químicos como: nitrito, sorbato, sulfito, benzoato, entre otros, además reduciendo el PH quien será el encargado de inhibir o disminuir el crecimiento de bacterias y en algunas veces añadiendo microorganismos competitivos. Otros AHI reciben durante el proceso de elaboración un tratamiento térmico que inactiva los microorganismos sensibles al calor, mientras que el proceso de llenado en caliente en recipientes cerrados asegura aún más la estabilidad microbiológica (Leistner & Gould, 2002).

Gran cantidad de alimentos de humedad intermedia (AHI) se han formulado para ser almacenados a temperatura ambiente y para ser consumidos directamente o mediante la rehidratación. Tienen la suficiente humedad para ser categorizados como «listos para consumir» sin provocar una sensación de sequedad, pero son lo bastante secos como para ser estables a temperatura ambiente (Karel, 1973; Jayaraman, 1995; citado por Alzamora et al., 2004). Asimismo, muchos de los alimentos de humedad intermedia(AHI), son formulados con grandes cantidades de solutos como azúcar o sal quienes no son deseables desde el punto vista nutricional y sensorial.

Por lo tanto, los alimentos de alta humedad (AAH) tienen un valor de a_w superior a 0,90. En esta categoría, la reducción de a_w es un obstáculo con menor significancia relativa ya que la mayor parte de los microorganismos son capaces de proliferar (Leitsner & Gould, 2002). La aplicación de la tecnología de obstáculos para alimentos de alta humedad nos brinda como resultado la estabilidad a temperatura ambiente. Entre los productos que representan la aplicación racional del enfoque combinado y que pueden ser almacenados a temperatura ambiente pueden citarse: las frutas de alta humedad similares a las frescas y los productos cárnicos cocidos, conservados por la interacción de – tratamiento térmico suave - pH - antimicrobianos (Alzamora, Cerrutti, Guerrero & Lopez-Malo, 1995).

CAPITULO II

MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. LUGAR DE EJECUCIÓN

El acondicionamiento de la materia prima y el proceso de osmodeshidratación para la presente investigación se realizó en los Laboratorios de Tecnología de alimentos de la Escuela Profesional de Ingeniería Química y las tomas de microfotografías se realizaron en el laboratorio de Microscopia de la Escuela Profesional de Biología de la Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco. Para la determinación de la se realizó en el laboratorio de alimentos de la Escuela profesional de Ingeniería Agroindustrial de la UNAJMA.

2.2. MATERIALES

221. MATERIA PRIMA

Los frutos de Sachatomate de la variedad anaranjado puntón fueron adquiridos del mercado local del Sector de San Miguel del Distrito de Camanti, Provincia de Quispicanchi, y Departamento Cusco, ubicado a una altitud de 1162 msnm (ceja de selva).

El agente osmótico utilizado fue sacarosa (azúcar blanca) de grado comercial adquirido en el mercado local.

222. INSTRUMENTOS Y EQUIPOS

- Refractómetro de rango completo ABBEATAGO 89553
- Higrometro de punto de rocío (AquaLab, modelo series 4TEV)
- Vasos de precipitación de 50 ml.
- Pipetas de 10 ml y 5 ml
- Pissetas
- Agitador
- Agua destilada
- Papel tissue
- Licuadora
- Soporte universal

- Pinza de bureta
- Bureta
- Embudos
- Balanza mecánica de 5Kg
- Balanza analítica digital OHAUS
- Porta objetos y cubre objetos de vidrio
- Estereomicroscopio de laboratorio / óptico / trinocular / LED NSZ-608T
- Camara Digital para estereomicroscopio TUCSEN / TrueChrome Metrics
- Computadora portátil con win7
- Secador de bandejas
- Incubador de precisión Memmert INB
- Secador a pulso a vacío

223. REACTIVOS

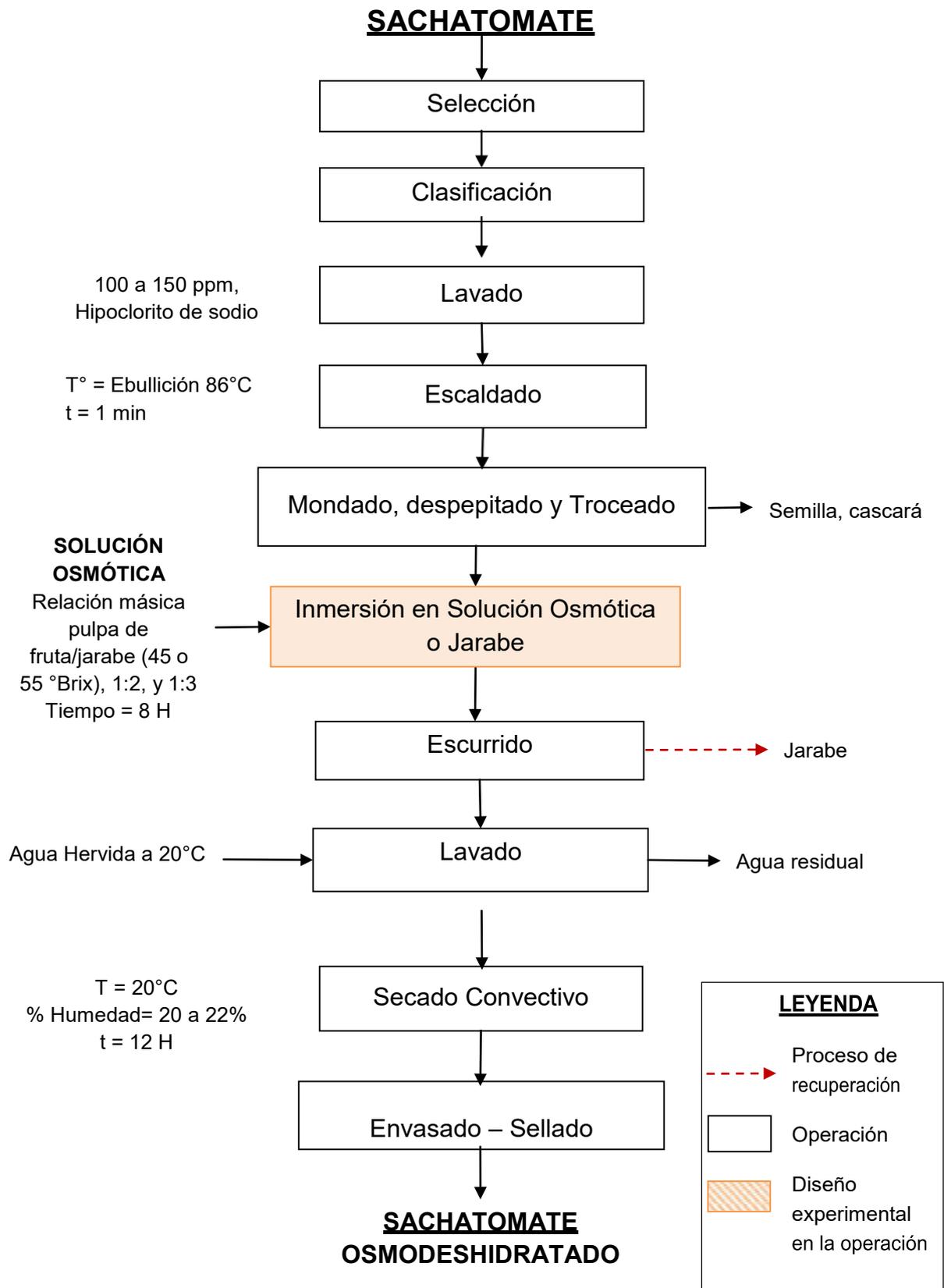
- Indicador de fenoftaleina
- Agua destilada
- Hidróxido de sodio 0.1 N estandarizado
- Azul de metileno para la tinción del tejido

2.3. METODOLOGÍA

23.1. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

En la figura 3 se muestra el diagrama de flujo para la elaboración del Sachatomate osmodeshidratado.

Figura N° 3: Diagrama de flujo para la obtención del Sachatomate (*Solanum betaceum Cav.*) osmodeshidratado.



Fuente: elaboración propia.

Figura N° 4: Esquema experimental para la osmodeshidratación del Sachatomate como producto de humedad intermedia.

Materia prima Selección	Clasificación	Escaldado (pre cocción)	Mondado	Inmersión en jarabe	Secado	Empacado	Producto final
Sachatomate			Manual				
CONTROLES							
Variedad o tipo - Anaranjado puntón.	Calibre Índice de madurez - color - Acidez - °Brix humedad Microestructura Actividad acuosa	Tiempo de inmersión	Rendimiento	DISEÑO EXPERIMENTAL (Fase de estudio). - Factores de transferencia de masa. - Cinética de osmodeshidratación - Coeficiente de difusividad efectiva - Actividad acuosa - Microestructura	Temperatura Tiempo de secado Pérdida de peso Microestructura	- Evaluación visual Color	Análisis proximal Análisis microbiológico

Fuente: Elaboración propia

2.3.2 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

Se inició el proceso de elaboración con la recepción de la materia prima.

- 1) **Selección:** Se seleccionaron frutos en estado de madurez pintón, eliminando los frutos dañados por agentes físicos y biológicos.
- 2) **clasificación:** Se realizó la clasificación de la materia prima, buscando la uniformidad en la selección del Sachatomate. Para la clasificación se determinó por atributos tales como tamaño, color y peso.
- 3) **Lavado:** Se realizó el lavado con una solución de hipoclorito de sodio para la eliminación de residuos de tierra y materiales ajenos a la fruta que pudiesen estar adheridos.
- 4) **Escaldado:** Consiste en la inmersión de los frutos en agua a temperatura de ebullición para la inactivación de enzimas y también para el posterior mondado.
- 5) **Mondado, despepitado y troceado:** El mondado se realizó en forma manual para eliminar el endospermo y las semillas. Se realizaron cortes longitudinales para la obtención de 4 trozos por unidad.
- 6) **Inmersión en la solución osmótica o jarabe:** En este proceso se realizó la inmersión de las muestras en la solución hipertónica (se utilizó azúcar comercial) en tratamientos prediseñados de nivel alto y bajo para la concentración, relación fruta jarabe y temperatura.

Se tomaron las medidas de °Brix en intervalos regulares predefinidos (10, 20, 30, 60, 120, 240, 360, 480 minutos).

- 7) **Ecurrido:** Luego de retirar los trozos de la solución osmótica, se realizó el escurrido con la finalidad de separar la pulpa de la solución osmótica.
- 8) **Lavado:** Esta operación se realizó de forma rápida con la finalidad de eliminar solución osmótica adherida a la superficie de los trozos del Sachatomate.
- 9) **Secado Convectivo:** Concluido el proceso de osmodeshidratación se colocó los trozos de Sachatomate en bandejas forradas de papel de aluminio para

Posteriormente ingresarlas en el secador convectivo a temperatura ambiente con una velocidad de 2 m/s., por 12 horas.

10) Envasado - sellado: Terminado el proceso convectivo las muestras fueron envasadas y selladas en bolsas de polipropileno de alta densidad.

2.3.3. CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA

Para la presente investigación se consideraron en su elección frutos maduros sanos en estado pintón, sin ningún tipo de lesión externa, tomando en cuenta los criterios establecidos por la Norma Técnica Ecuatoriana (NTE INEN 1909:2009), para la clasificación y requisitos generales para el Sachatomate (*Solanum betaceum Cav.*). En el Perú no se realiza exportación del Sachatomate y/o producción a escala por lo que no se cuenta con Norma Técnica para este producto.

Entre las características más importantes se consideraron la uniformidad en tamaño y color, el contenido de °Brix para la determinación del índice de madurez.

La NTE-INEN 1909:2009, muestra una especificación de requisitos para el Sachatomate.

- **Calibre.** El calibre de la fruta se mide por el diámetro máximo, cuya unidad de medida es el milímetro (mm), la longitud dada en milímetro (mm) y la masa expresada en gramos (g), la correlación entre calibre, diámetro, longitud y masa es la siguiente:

TABLA N° 6: Calibres del Sachatomate

Calibre	Diámetro (mm)	Longitud (mm)	Masa promedio (g)
Grande	> 55	> 70	> 120
Mediano	45 – 55	60 – 70	60 – 120
Pequeño	< 45	< 60	< 60

Nota: Para todos los grados se acepta hasta el 10% en número o en masa de frutos, que corresponda al calibre inmediatamente inferior o superior, al señalado en el empaque.

Fuente: NTE-INEN 1909:2009

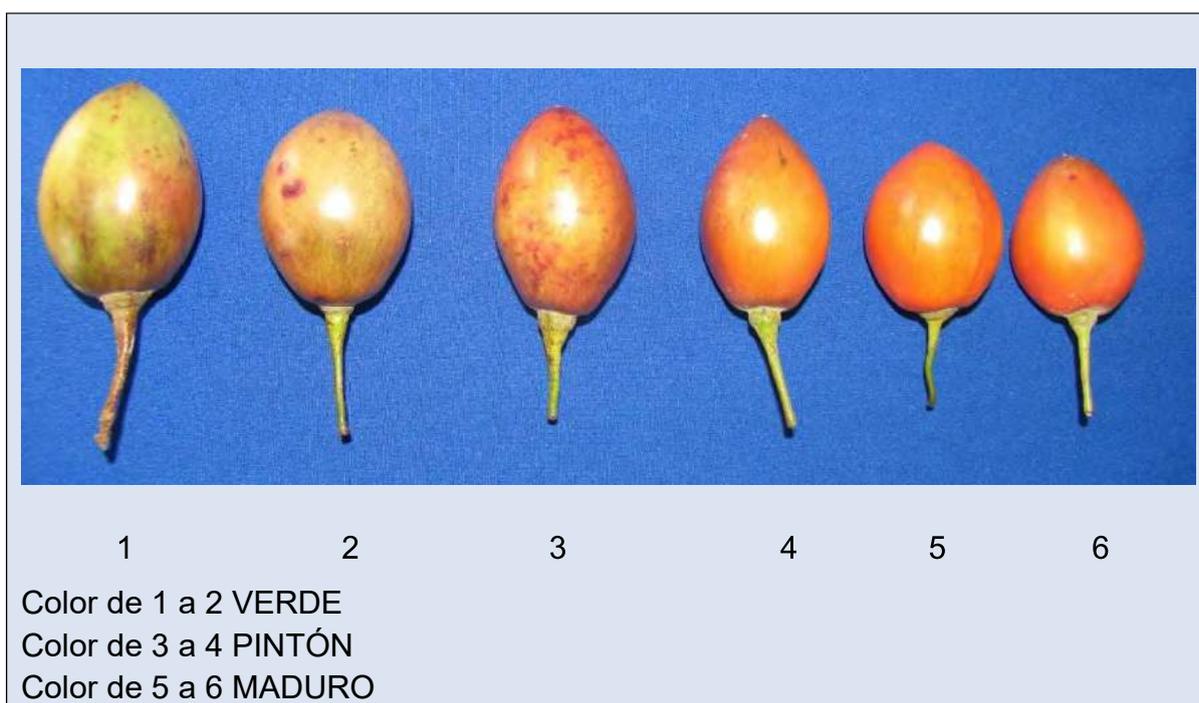
A. Determinación de la madurez

Existen varias formas para conocer la madurez de la fruta entre las cuales podemos citar a: Las medidas físicas (el color de la pulpa o piel, color de la semilla, tamaño, peso y densidad) y medidas químicas.

A.1. Determinación visual del color

La madurez del Sachatomate puede evaluarse visualmente según su coloración externa. La escala del color del Sachatomate para el grado de madurez se muestra a continuación:

Figura N° 5: Estados de madurez del Sachatomate



Fuente: NTE INEN 1909:2009

A.2. Determinación del índice de madurez

La condición del estado de madurez puede confirmarse determinando el índice de madurez. Es un método químico que utiliza para determinar el grado de madurez de la fruta; donde se determina el contenido en azúcares, la cual se expresa en grados °Brix, que al relacionarse con la acidez del fruto nos da conocer el índice de madurez:

$$\text{Indice de madurez (IM)} = \frac{^{\circ}\text{Brix}}{\text{acidez}} \quad (22)$$

A.3. Determinación de sólidos solubles

Los azúcares son los sólidos solubles totales presentes en el fruto y su unidad de medida son los grados °Brix. La cantidad de sólidos solubles en una muestra se mide utilizando un refractómetro.

Procedimiento

Se prepara una solución diluida donde se mezcla 30g de pulpa de fruta, 90ml de agua destilada y se licua en un tiempo aprox. de 2.5min. Posteriormente con la ayuda de un gotero se coloca entre dos a gotas en el refractómetro y nos da la lectura en grados °brix.

A.4. Determinación de acidez.

Método de la A.O.A.C. (1965), adaptado por el Departamento de Nutrición y Calidad de la Escuela de Bioquímica y Farmacia de la Escuela de Ciencias. Riobamba – Ecuador. Metodología adaptada por Torres (2006).

Principio: La acidez, se determina en un peso de muestra llevada a un volumen conocido, se titula con una solución de Hidróxido de Sodio estandarizada hasta un pH 8.2. correspondiente al indicador de fenolftaleína.

Procedimiento

- Se pesó 30 g de muestra, se licua y se lleva a un volumen conocido (200 ml) con agua destilada.
- Se tomó una alícuota exacta (20 ml).
- Se hizo una titulación con hidróxido de sodio 0.1 N estandarizado adicionando tres gotas de indicador fenolftaleína hasta conseguir un cambio de coloración rosa constante
- El resultado se expresó en función del ácido predominante.

Cálculos

$$\% \text{Acidez} = \frac{V_c \times N \times meq \times VT}{W_{\text{muestra}} \times V_a} \times 100 \quad \text{Ec. (23)}$$

Dónde:

V_C = ml de hidróxido de sodio consumido en la titulación

N = normalidad del hidróxido de sodio

meq = mili equivalentes del ácido predominante

VT = Volumen Total

W_m = peso de la muestra

V_α = ml tomados de alícuota

B. Determinación del contenido de pulpa

El contenido de pulpa se obtiene mediante la relación entre el peso de la pulpa(g) y peso de la fruta (g) multiplicado por cien. El resultado se expresa en porcentaje (%).

$$\text{Contenido de Pulpa} = \frac{W_{\text{pulpa}}(g)}{W_{\text{fruta}}(g)} \times 100 \quad \text{Ec. (24)}$$

234. DETERMINACIÓN DE LOS FACTORES DE TRANSFERENCIA DE MASA

Determinación de la ganancia de sólidos solubles, pérdida de peso y humedad.

Los factores físicoquímicos utilizados para la transferencia de masa: fracción másica de agua (X_w), fracción másica de sólidos solubles (X_s) y porcentaje de sólidos solubles en la fase líquida (z_s); y las variaciones de masa (ΔM), sólidos solubles(ΔM_s) y contenido en agua (ΔM_w).

- Determinación de Humedad o pérdida de agua
- Determinación del contenido en sólidos solubles
- Variación de masa
- Variación de agua y sólidos solubles

a) Determinación de Humedad o pérdida de agua

Las medidas del contenido en agua se efectuaron mediante una modificación del método oficial 20.013 (AOAC, 1980) para frutas ricas en azúcares. Este método se realiza mediante desecación utilizando una estufa de vacío a una presión de 100mmHg equivalente a 3.94plg. a una temperatura no superior de 70°C, dejando secar hasta obtener un peso constante. La variación de peso fue medida en una balanza analítica marca OHAUS de 210 g de cap. max., de sensibilidad de 0.0001 g Las modificaciones al método oficial fueron:

- Una cantidad de muestra previamente homogenizada o triturada en un mortero y colocada en una pesa sustancias.
- Tiempo de permanencia en la estufa 2 días. Esto se debe a la pequeña cantidad de muestra que se utiliza y su facilidad de captar humedad a temperatura ambiente.
- La composición en agua se expresó en términos de fracción másica según:

$$X_w = \frac{m_1 - m_2}{m_1 - m_0} \left[\frac{g \text{ agua}}{g \text{ muestra}} \right] \quad \text{Ec. (25)}$$

Dónde:

m_0 : Masa recipiente (g)

m_1 : Masa recipiente con muestra húmeda (g)

m_2 : Masa del recipiente con muestra seca (g)

b) Determinación del contenido en sólidos solubles

La determinación de sólidos solubles se realizó por refractometría (°Brix) en las muestras. Donde se utilizó un refractómetro ABBEATAGO 89553 de Zeiss, termostatado a 20 °C de rango completo con una sensibilidad de 1.0 °Brix. La lectura en °Brix pertenece al contenido en sólidos solubles en la fracción líquida de la muestra, expresada en tanto por cien (Z_s).

$$B_x = Z_s \cdot 100 \left[\frac{g \text{ sólidos solubles}}{g \text{ fracción líquida}} \% \right] \quad \text{Ec. (26)}$$

Dónde:

B_x : Brix

Z_s : Fracción líquida de la muestra.

La composición de sólidos solubles en términos de fracciones másicas, respecto a la composición global (fracción líquida + matriz sólida) mediante la expresión:

$$X_s = \frac{Z_s X_w}{(1 - Z_s)} \left[\frac{g \text{ sólidos sol.}}{g. \text{ totales}} \right] \quad \text{Ec. (27)}$$

Dónde:

X_s : Fracción másica de sólidos solubles (g/g)

Z_s : Porcentaje de sólidos solubles en la fase líquida.

X_w : Fracción másica de agua (g/g)

c) Variación de masa

Se utilizó una balanza analítica marca OHAUS de capacidad de 210 g, sensibilidad de 0.0001 g., donde se determinó la variación de masa para cada tratamiento, la ecuación que se utilizó para calcular la variación de masa es la siguiente:

$$\Delta M = \frac{M_f - M_0}{M_0} \left[\frac{g \text{ producto.}}{g \text{ mat. fresca}} \right] \quad \text{Ec. (28)}$$

Dónde:

ΔM : Variación de masa

M_0 : Peso inicial (g de materia fresca)

M_f : Peso final (g de producto)

d) Variación de agua y sólidos solubles

Para determinar la variación de agua (ΔM_w) y de sólidos solubles (ΔM_s) se utilizó las siguientes expresiones:

$$\Delta M_w = \frac{(M^f X_w^f) - (M^0 X_w^0)}{M_0} \left[\frac{g \text{ agua.}}{g \text{ mat. fresca}} \right] \quad \text{Ec. (29)}$$

$$\Delta M_s = \frac{(M^f X_s^f) - (M^0 X_s^0)}{M_0} \left[\frac{g \text{ sólidos sol.}}{g \text{ mat. fresca}} \right] \quad \text{Ec. (30)}$$

Dónde:

M^0 : Masa inicial (muestra)(g)

M^f : Masa final (producto)(g)

X_w^0 : Fracción másica inicial de agua (g/g)

X_w^f : Fracción másica final de agua (g/g)

X_s^0 : Fracción másica inicial de sólidos solubles (g/g)

X_s^f : Fracción másica final de sólidos solubles (g/g)

Para todas las experiencias se comprobaron los balances de materia mediante la siguiente expresión:

$$\Delta M = \Delta M_w + \Delta M_s \quad \text{Ec. (31)}$$

23.5. DETERMINACIÓN DE LA CINÉTICA DE OSMODESHIDRATACIÓN

La cinética de osmodeshidratación del Sachatomate se realizó mediante la inmersión de la fruta en jarabe de sacarosa de concentración conocida en intervalos de tiempo establecidos durante 8 horas.

Se empleó la hoja de cálculo Excel 2010 para la gráfica de curvas de cinética

23.6. DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE DIFUSIÓN

El periodo de secado decreciente inicia cuando la migración interna de agua pasa a controlar los procesos, durante la primera fase de este periodo, los principales fenómenos que ocurren es el encogimiento capilar por la difusión de líquido o de vapor (Geankoplis, 2008).

La humedad de equilibrio (X_e) será calculada por la diferencia entre la concentración de la solución que presenta en el equilibrio y la concentración inicial, de acuerdo a la ecuación 29 adecuada (Sing & Heldman, 2009)

$$X_e = \frac{C_{eq} - C_0}{C_0} \quad Ec. (32)$$

Dónde:

X_e = humedad de equilibrio en b. s.

C_{eq} = concentración de la solución en el equilibrio, °Brix g/mL, y

C_0 = concentración inicial de la solución, g/mL.

Para los cálculos del coeficiente de difusividad efectiva se empleó la hoja de cálculo Excel, con los datos experimentales correspondientes al tiempo de equilibrio, adecuándose los datos experimentales al modelo de Page modificado (Sharma et al., 2007).

23.7. DETERMINACIÓN DE LA ACTIVIDAD DE AGUA (a_w)

Las determinaciones de se realizaron a una temperatura de 20 ± 4 °C, empleando para ello un higrómetro de punto de rocío (AquaLab, modelo series 4TEV) marca DECAGON, con una sensibilidad de ± 0.0001 , el cual se había calibrado previamente con disolución saturada de dicromato de potasio.

Para determinar la actividad de agua en muestras de sachatome se realizaron mediciones hasta tener un valor constante donde se tomaron 3 muestras repetitivas para cada tratamiento hasta obtener un valor promedio de las muestras frescas.

23.8. EVALUACIÓN DE LOS CAMBIOS MICROESTRUCTURALES

Procedimiento

A las muestras tomadas en los diferentes tratamientos se les realizó cortes muy finos, colocándolos en un portaobjetos realizando una posterior tinción con azul de metileno para identificar el cambio estructural a nivel de tejidos.

Se realizaron las observaciones con el uso del estereomicroscopio de laboratorio / óptico / trinocular / LED NSZ-608T y la adaptación de la cámara digital TUCSEN / TrueChrome Metrics para la captura de imágenes. Posteriormente se evaluaron las microfotografías con el uso del software ISCapture y fueron escaladas con el software ConfocalUniovi Image J.

23.9. DISEÑO EXPERIMENTAL

El objetivo de esta etapa es estudiar el efecto de cada variable de repuesta del proceso e identificar las variables significativas para obtener el modelo matemático del proceso.

Numero de experimentos a realizar

Para la presente investigación se empleó un diseño factorial 2^k en BCA, con 3 variables y 2 niveles haciendo un total de 8 pruebas experimentales (ver Tabla 7). El número de pruebas a realizarse está dado por la siguiente ecuación:

$$N = 2^k \quad \text{Ec. (33)}$$

Dónde:

N = número de pruebas

k = número de variables

Considerando 3 variables independientes el número de pruebas es:

Diseño factorial 2x2x2

$$N = 2^3 = 8 \quad \text{Ec. (34)}$$

Se consideró 3 réplicas para cada tratamiento haciendo un total de 24 unidades experimentales.

Tabla N° 07: Diseño Factorial 2³ de la Experimentación con 3 repeticiones

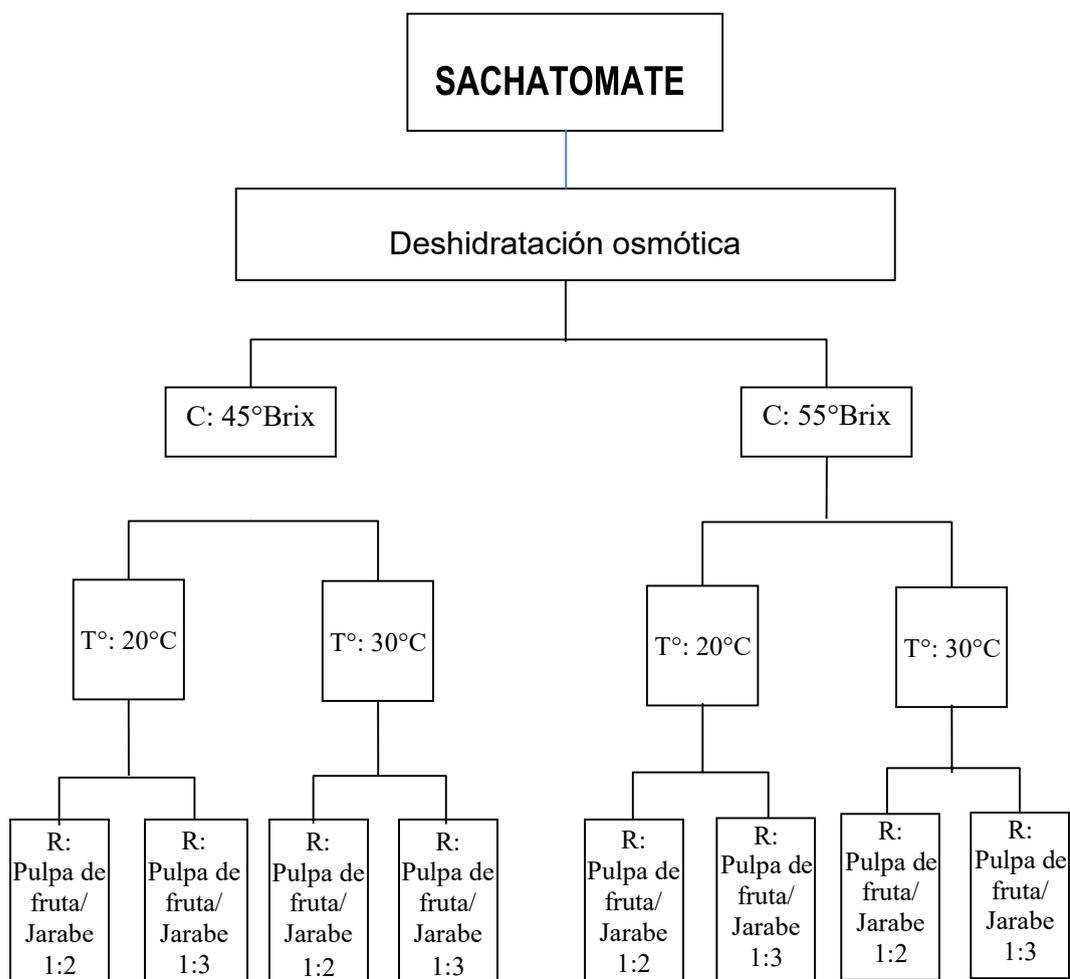
Concentración	45 °Brix				55 °Brix			
Temperatura	20 °C		30 °C		20 °C		30 °C	
Relación pulpa de fruta/jarabe	1:2	1:3	1:2	1:3	1:2	1:3	1:2	1:3
TRATAMIENTO	1	2	3	4	5	6	7	8
R1								
R2								
R3								
Y	Y ₁	Y ₂	Y ₃	Y ₄	Y ₅	Y ₆	Y ₇	Y ₈

Dónde:

R1, R2, R3: Número de Repeticiones

Y : Variables de respuesta (Factores de transferencia de masa, Coeficiente de difusividad, Microestructura)

Figura N° 6: Árbol de pruebas



C: Concentración de azúcar en la solución osmótica

T°: Temperatura de incubación por el tiempo de osmosis

R: Relación de masa entre la fruta y el jarabe

Fuente: Elaboración propia

VARIABLES DE ESTUDIO:

A) VARIABLES INDEPENDIENTES

- Concentración de la solución osmótica: 45°Brix – 55 °Brix
- Temperatura de la solución osmótica: 20°C – 30°C
- Relación másica de pulpa de fruta y solución osmótica o jarabe: 1:2 –1:3

B) VARIABLES DEPENDIENTES

- Factores de transferencia de masa: sólidos solubles, humedad y peso.
- Coeficiente de difusividad efectiva
- Microestructura
- Actividad del agua

C) VARIABLES ESTACIONARIAS

- **Variación de fruto:** Anaranjado puntón
- **Geometría de la fruta:** Para la presente investigación se realizaron cortes en 4 trozos similares obteniendo láminas de 5 mm de espesor.
- **Tiempo de osmodeshidratación:** se tomó un tiempo de osmodeshidratación de 8 horas en intervalos establecidos.
- **Presión:** Los tratamientos fueron realizados a presión atmosférica.

D) BLOQUES:

- **TIEMPO:** Se realizó 8 tratamientos por día, esto debido a la restricción del tiempo para la realización de las 24 corridas experimentales por lo que se tuvo 3 bloques.

23.10. EVALUACIÓN DE LA DIFERENCIA SIGNIFICATIVA ENTRE TRATAMIENTOS

Se evaluó todas las variables de salida a través de ANOVA de un 1 factor y ANOVA de 3 factores con tres bloques.

El planteamiento de hipótesis estadística para el ANOVA de 3 factores es:

Hipótesis nula – H_0 : La media de los resultados de los factores de transferencia de masa en los diferentes tratamientos son iguales.

$$\bar{x}_i = \bar{x}_j$$

Hipótesis alterna –H_A: La media de los resultados de los factores de transferencia de masa en los diferentes tratamientos son diferentes.

$$\bar{X}_i \neq \bar{X}_j \text{ al menos dos de ellos.}$$

Nivel de significancia (α) Para el caso de comparación de tratamientos habitualmente se emplea $\alpha = 0.05$ (Gutiérrez & De La Vara, 2012).

Criterio de significancia Se rechaza si H_0 si $\alpha > p$ value

23.11. COMPARACIÓN MÚLTIPLE

Se realizó a través de un test Tukey. Esta prueba nos permitió evaluar la diferencia significativa entre pares de tratamientos. Gutiérrez y De La Vara (2012) afirma que un método más conservador para comparar pares de medias de tratamientos es el *método tukey*.

El planteamiento de hipótesis estadística para el test Tukey, es:

Criterio para la prueba de hipótesis

$|\bar{x}_i - \bar{x}_j| > T_\alpha$; Hay diferencia significativa entre el tratamiento "i" versus "j" (diferentes estadísticamente).

$|\bar{x}_i - \bar{x}_j| < T_\alpha$; No hay diferencia significativa entre el tratamiento "i" versus "j" (iguales estadísticamente)

Donde T_α , es el estadístico Tukey, ecuación (35).

$$T_\alpha = q_\alpha(k, N - k) \sqrt{\frac{CM_E}{n}} \quad \text{Ec. (35)}$$

Dónde:

$q_\alpha(k, N - K)$, valor normalizado de la distribución Tukey

CME , cuadrado medio de error, obtenido de la tabla ANOVA
n, número de datos

El número de comparaciones entre tratamientos se realizó a través de la siguiente ecuación:

$$\text{Numero de comparaciones} = \frac{T(T-1)}{2} \quad \text{Ec. (36)}$$

Para la evaluación de las pruebas ANOVA, Tukey y prueba Friedman, se utilizó el Software estadístico STATGRAPHICS Centurion XV.II y Microsoft Excel 2010.

CAPITULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. EVALUACIÓN DE LA MATERIA PRIMA

La caracterización física del Sachatomate se realizó tomando en cuenta la NTE-INEN (2009), que establece los requisitos que debe cumplir el Sachatomate destinado para consumo en estado fresco.

En la tabla 8 se muestra las dimensiones del Sachatomate seleccionado para la determinación del calibre, donde el diámetro (D) es de 44 mm a 52 mm, el largo (L) de 78 mm a 85 mm, mientras que el peso (P) oscila entre 80 g a 102 g.

Tabla N° 8: Dimensiones para la determinación del calibre del Sachatomate

	Intervalo	—	±	
D(mm)	44–52	48.53	±	2.94
L(mm)	78 –85	81.69	±	2.26
P (g)	80– 102	92.13	±	10.79

Nota: se clasificaron en tres grupos los frutos adquiridos por el tamaño y procedió con la medición con el grupo de mayor tamaño.

Fuente: Elaboración propia

Analizando la tabla 8 y tomando como referencia la NTE-INEN (2009) tabla 6, apreciamos que el Sachatomate en estudio corresponde a un calibre mediano, sin embargo cabe mencionar que la longitud supera al calibre de grande, esto significa que la variedad estipulada por la NTE-INEN (2009) es redonda, en comparación a la variedad de estudio que es más alargada.

3.1.1. DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE MADUREZ

Para la determinación del estado de madurez se determinó el color de manera visual eligiendo frutos en estado pintón.

Para el cálculo del índice de madurez se siguió el procedimiento del ítem 2.3.3.- A.2. del capítulo II y la ec. 22, teniendo en cuenta que el ácido predominante en el Sachatomate es el ácido cítrico con un de 0.06404 g/ml.

Tabla N° 9: Índice de madurez del Sachatomate

	Acidez titulable (como ácido cítrico)	°Brix	Índice de madurez
Sachatomate Prueba experimental	1.46 ± 0.03	8.27 ± 0.25	5.67 ± 0.07
NTE	2.0 max.	8,5 min	4,5 min

Nota: Cálculo realizado en 3 repeticiones + desviación estándar

Fuente: Elaboración propia

El Sachatomate de la variedad en estudio presenta una acidez de 1.46 ± 0.03 , sólidos solubles de 8.27 ± 0.25 y un índice de madurez de 5.67 ± 0.07 según la tabla 9. Se puede afirmar que estos valores se encuentran dentro de lo establecido para la comercialización del Sachatomate según la NTE-INEN (2009).

Roca (1981) realizó la determinación de acidez en frutos de Sachatomate proveniente de La Convención en Cusco, obteniendo un valor de 1.9. Realizando una comparación con el fruto en estudio la acidez es menor al fruto evaluado por Roca, sin embargo el valor determinado por Roca se encuentra dentro de lo establecido con la NTE-2009.

3.12 DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE PULPA

Se realizó la eliminación del endospermo, pedunculo y semillas para obtener la parte comestible del fruto tal como es definido por Camacho y Romero (1996 Marquez, 2009); Gallo (1997 citado por Marquez, 2009) quienes definen al contenido de pulpa como producto pastoso, no diluido, ni concentrado, ni fermentado. El principal producto de la transformación primaria de las frutas es la pulpa, cada especie de fruta presenta un rendimiento en pulpa específico y atributos muy particulares que lo caracterizan (Guzman & segura, 1991; citado por Marquez, 2009).

En la tabla 10 se muestra el rendimiento determinado de la pulpa del Sachatomate; en la misma se puede observar que el rendimiento promedio es de 63.31% en base a la fruta fresca, así mismo se observa que la semilla representa un 25.65 %, siendo el 11.04 % de cascara + pedúnculo.

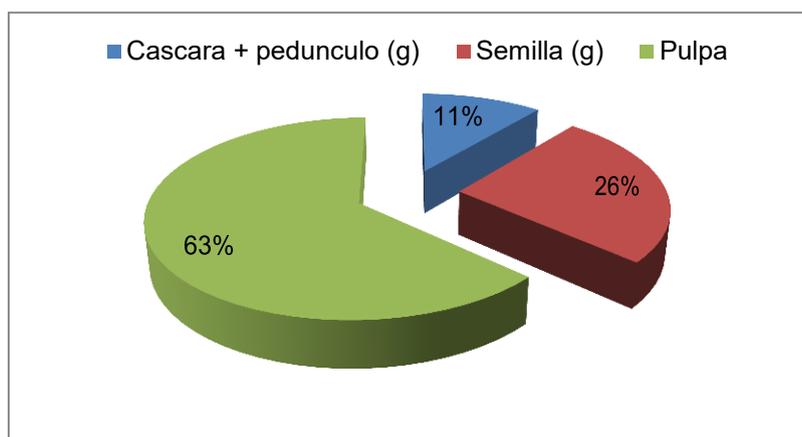
Tabla N° 10: Determinación del contenido de pulpa

	\bar{x}	\pm	σ	%
peso de fruta (g)	991.67	\pm	14.43	
cascara + pedúnculo (g)	109.47	\pm	3.83	11.04
semilla (g)	254.33	\pm	25.42	25.65
Pulpa	627.87	\pm	14.50	63.31

Nota: los cálculos del porcentaje de rendimiento se realizaron en base a fruta fresca en 3 repeticiones.

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 1: Rendimiento de la pulpa del Sachatomate para el procesamiento



Fuente: Elaboración propia.

El gráfico 1 presenta los porcentajes del rendimiento de pulpa, semilla y cascara + pedúnculo para el Sachatomate fresco.

La NTE-INEN (2009), establece para el Sachatomate un rendimiento mínimo del 70%. Torres (2006), determinó el rendimiento en 4 variedades de Sachatomate cultivados en Ecuador obteniendo un rendimiento de 71.93%, 78.47%, 72.56% y 78.62% en cuatro variedades de Sachatomate. Camacho (1995 citado por Marquez, 2009), determinó el rendimiento en frutos siendo para el Sachatomate el 64%. Roca (1981) determinó que el 60% del fruto de Sachatomate representa

la parte comestible. Por lo que se observa un menor rendimiento en la variedad seleccionada para la presente investigación así como la variedad estudiada por Roca en La Convención.

3.2. FACTORES DE TRANSFERENCIA DE MASA DE LA OSMODESHIDRATACIÓN DEL SACHATOMATE

3.2.1. FRACCIÓN DE AGUA (X_w) EN EL SACHATOMATE OSMODESHIDRATADO (OD)

Se determinó la humedad inicial del fruto fresco obteniéndose un valor de $X_{wfruto\ fresco} = 0.85$, el mismo que nos permitió realizar el cálculo de pérdida de humedad o variación en la fracción del agua. En MAG-IICA (2001) se menciona que la humedad para el Sachatomate fresco es de 0.86 - 0.87; Roca (1981) determinó la humedad en Sachatomate encontrando un valor de $X_{wfruto\ fresco} = 0.897$, esto indica que la humedad determinada para el presente estudio es menor con referencia a lo determinado por los autores mencionados.

Tabla N° 11: Fracción de agua (X_w) en el Sachatomate osmodeshidratado (OD)

Tratamiento	C (°Brix)	R (pulpa de fruta/jarabe)	T (°C)	X_w (g agua/g fruto OD)		
				\bar{x}	\pm	σ
T1	55	1:2	20	0.6683	\pm 0.0123	a,b,c
T2	55	1:3	30	0.6352	\pm 0.0126	a
T3	45	1:3	20	0.6831	\pm 0.0174	b,c,d
T4	45	1:2	20	0.6919	\pm 0.0142	c,d
T5	55	1:2	30	0.6457	\pm 0.0118	a,b
T6	55	1:3	20	0.6722	\pm 0.0116	a,b,c,d
T7	45	1:3	30	0.7050	\pm 0.0136	c,d
T8	45	1:2	30	0.7070	\pm 0.0127	d

Letras iguales significan que no existe diferencia significativa, evaluadas a través del test Tukey (anexo 03), a $\alpha = 5\%$

Fuente: Elaboración propia

Los resultados expresados en la tabla 11, nos muestra que la humedad o fracción de agua en el Sachatomate oscila entre 0.6352 a 0.7070 g de agua/g de fruto OD,

asimismo, se aprecia que el tratamiento T8 (45°Brix, 1:2 relación pulpa de fruta/jarabe y 30°C) es el que presenta mayor humedad o fracción de agua (0.7070 ± 0.0127 g de agua/g de fruto OD), mientras que T2 (55°Brix, 1:3 relación pulpa de fruta/jarabe y 30°C) presenta menor humedad (0.6352 ± 0.0126 g de agua/g de fruto OD). Este descenso en la humedad del T2 se debe a que la concentración del jarabe es mayor y que el proceso de osmodeshidratación se da a mayor relación pulpa de fruta/jarabe (Martínez-Monzó et al., 1998a; Cháfer et al, 2001; Barat et al., 2001b y c; Talens et al., 2000 y 2001; citado por Ochoa & Ayala, 2005).

Se puede observar diferentes valores para la fracción de agua en cada tratamiento, así mismo se observa pérdida de agua menores o por debajo del 50% para el proceso de osmodeshidratación; resultados que concuerdan con varios trabajos realizados (Conway et al., 1983; Giangiacomo et al., 1987 & Guennengues, 1986; citado por Torres, 2007).

Tabla N° 12: ANOVA de los efectos de las variables para la fracción de agua.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón -F	Valor-P*
A:Concentracion	0.0102755	1	0.0102755	297.30	0.0000
B:Relacion F/J	0.000113535	1	0.000113535	3.28	0.0914
C:Temperatura	0.000192667	1	0.000192667	5.57	0.0333
AB	0.00000704167	1	0.00000704167	0.20	0.6586
AC	0.00349451	1	0.00349451	101.11	0.0000
BC	0.0000224267	1	0.0000224267	0.65	0.4340
ABC	0.000170667	1	0.000170667	4.94	0.0433
Bloques	0.00237725	2	0.00118862	34.39	0.0000
Error total	0.000483872	14	0.0000345623		
Total (corregido)	0.0171374	23			

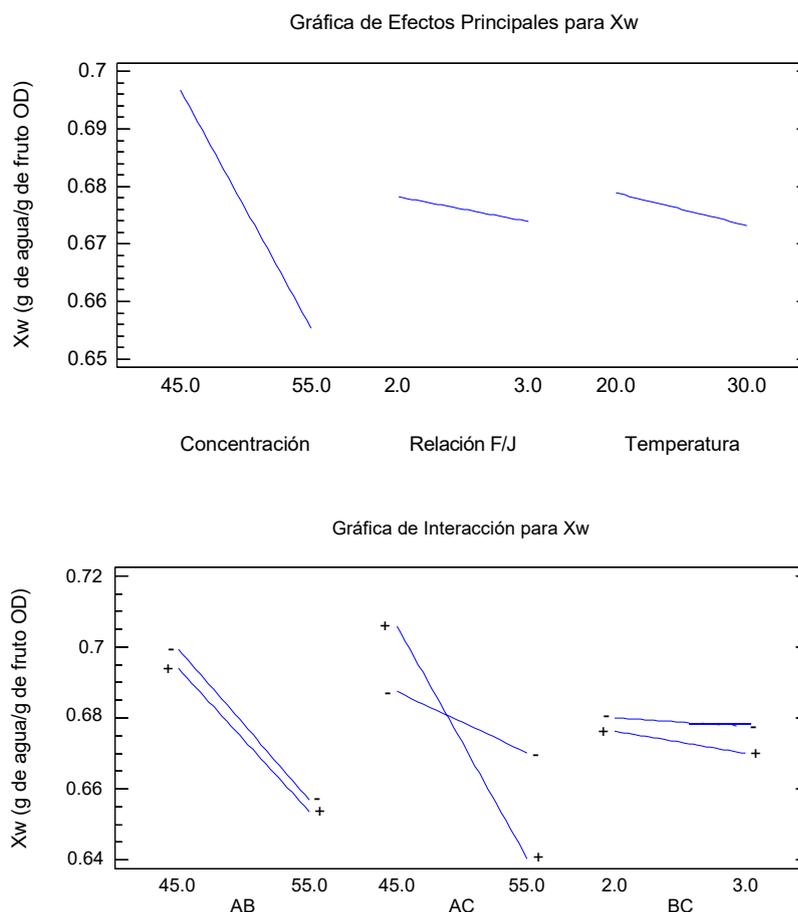
*Evaluados a un nivel de significancia del 5%

Fuente: Elaboración propia, STATGRAPHICS Centurion XV.II

La evaluación de los efectos de las variables concentración del jarabe (A), relación pulpa de fruta/jarabe (B) y temperatura (C) a través del ANOVA sobre la fracción de agua (x_w) en el Sachatomate OD se muestra en la tabla 12, de ella se concluye que la concentración del jarabe como variable de entrada y la

temperatura influyen significativamente sobre x_w , ya que $p\text{-value} < 0.05$ es decir que cualquier cambio en los niveles de concentración del jarabe y la temperatura sucederá modificaciones significativas de x_w del sachatmate OD dentro los intervalos de estudio (Conway et al., 1983; Giangiacoimo et al., 1987 & Guennengues, 1986; citado por Torres, 2007).

Figura N° 7: Diagrama de efectos de las variables en x_w



Fuente: Elaboración propia, STATGRAPHICS Centurion XV.II

En la figura 7, se muestra en el diagrama de efectos de las variables, donde se aprecia que el incremento de la concentración del jarabe hace que disminuya significativamente, el mismo hecho sucede con la temperatura y la relación pulpa de fruta/jarabe (R) aunque la disminución no es muy pronunciada. Del mismo se puede afirmar que la concentración de la solución osmótica influye directamente sobre la pérdida de agua. Estudios realizados por Campos y Flores (2012) en placas de chayote utilizando soluciones hipertónicas de sacarosa muestran similares comportamientos.

Wais (2011) menciona que en varios trabajos (Hawkes & Flink, 1978; Islam & Flink, 1982; Derossi et al., 2008; Rastogi & Raghavarao, 1995) observaron durante el estudio respectivo que cuanto mayor es la concentración de la solución osmótica y mayor es el peso molecular de los agentes deshidratantes utilizados, se consigue mayor remoción de agua. Hecho que concuerda con el fruto en estudio del presente trabajo.

Tabla N° 13: Optimización de respuesta para x_w

Factor	Bajo	Alto	Óptimo
Concentración	45.0	55.0	55.0
Relación F/J	2.0	3.0	2.0
Temperatura	20.0	30.0	28.9032
<i>Valor óptimo = 0.648171 (mejor vértice, valor mínimo)</i>			

Fuente: Elaboración propia, STATGRAPHICS Centurion XV.II

Según la tabla 13, se observa que para lograr una mayor remoción del agua en el fruto dentro de los valores de estudio se obtiene al combinar los factores concentración = 55 °Brix, Relación F/J = 1:2 y temperatura de 28.9 °C.

3.2.2. FRACCIÓN DE SÓLIDOS SOLUBLES (x_s) EN EL SACHATOMATE OD

Se determinó la variación de concentración de sólidos solubles empleando un refractómetro de rango completo en intervalos preestablecidos durante las 8 horas que luego fueron expresados en fracción másica.

Tabla N° 14: Fracción de sólidos solubles (X_s) en el Sachatmate osmodeshidratado (OD)

Tratamiento	C (°Brix)	R (pulpa de fruta/jarabe)	T (°C)	X_s (g solido soluble/g fruto OD)		
				\bar{x}	\pm	σ
T1	55	1:2	20	0.2457	\pm 0.0082	^{a,b,c}
T2	55	1:3	30	0.2730	\pm 0.0138	^c
T3	45	1:3	20	0.2322	\pm 0.0137	^{a,b}
T4	45	1:2	20	0.2238	\pm 0.0147	^a
T5	55	1:2	30	0.2617	\pm 0.0112	^{b,c}
T6	55	1:3	20	0.2458	\pm 0.0124	^{a,b,c}
T7	45	1:3	30	0.2199	\pm 0.0066	^a
T8	45	1:2	30	0.2108	\pm 0.0117	^a

*Letras iguales significan que no existe diferencia significativa, evaluadas a través del test Tukey (anexo 03), a $\alpha = 5\%$

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 14, se presenta la fracción de los sólidos solubles (X_s) en el Sachatmate OD, en ella se aprecia que el tratamiento T2 es el que presenta mayor contenido de $X_s = 0.2730 \pm 0.0138$ g de sólidos solubles/g de fruto OD, esto se debe a que la osmodeshidratación se llevó a mayor concentración de sacarosa, y esto se manifiestan en forma de sólidos solubles que ingresan al seno del fruto. Por el contrario el tratamiento T8 presenta el menor contenido X_s de 0.2108 ± 0.0117 g de sólidos solubles/g de fruto OD, ambos hechos guardan relación inversa con la X_w , es decir a mayor contenido de agua menor contenido de sólidos solubles. Este hecho puede ser explicado por el tamaño de la molécula del soluto y que el uso de diferentes concentraciones de disolución da lugar a diferentes concentraciones en el tejido de las frutas (Albors et al., 1998; Salvatori et al., 1999 a y b; citado por Ochoa & Ayala, 2005). Así mismo la mayor variación de sólidos solubles se puede atribuir al nivel de afectación de las capas celulares (Torres, 2007) que puede dar lugar a un mayor ingreso de sólidos solubles.

Al comparar para el sachatmate OD, se concluye que los tratamientos son diferentes entre sí, es decir presentan diferencias significativas, $p\text{-value} < 0.05$, tal

como se muestra en la tabla 15, es así que se realizó el test Tukey para identificar par de tratamientos diferentes, los resultados se muestran en el anexo 03-B.

Tabla N° 15: ANOVA de los efectos de las variables para la fracción de sólidos solubles (X_s)

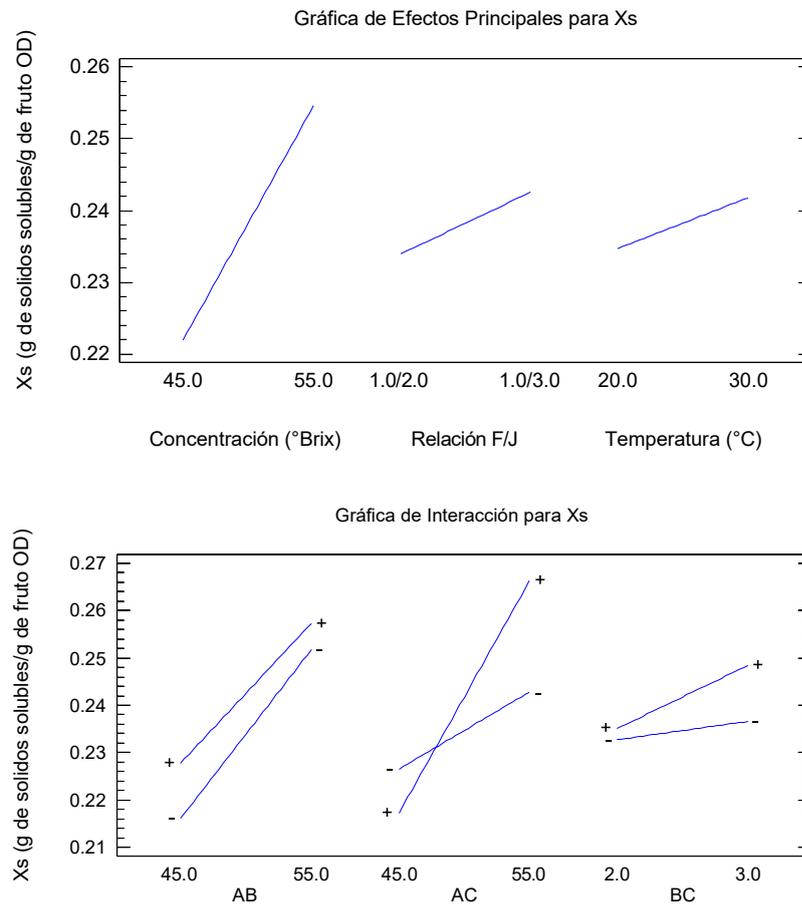
<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P*</i>
A:Concentracion	0.00640593	1	0.00640593	86.47	0.0000
B:Relacion F/J	0.000446344	1	0.000446344	6.02	0.0278
C:Temperatura	0.00030175	1	0.00030175	4.07	0.0632
AB	0.0000555104	1	0.0000555104	0.75	0.4013
AC	0.00161212	1	0.00161212	21.76	0.0004
BC	0.0001349	1	0.0001349	1.82	0.1986
ABC	0.0000357704	1	0.0000357704	0.48	0.4985
Bloques	0.00120528	2	0.00060264	8.13	0.0045
Error total	0.00103717	14	0.0000740833		
Total (corregido)	0.0112348	23			

*Evaluados a un nivel de significancia del 5%

Fuente: Elaboración propia, STATGRAPHICS Centurion XV.II

El análisis de los efectos de las variables de entrada se evaluó a través un ANOVA, cuyos resultados se muestran en la tabla 15, de la tabla se concluye que las variables de entrada concentración del jarabe (A) y la relación F/J muestran efecto significativo sobre el contenido de sólidos solubles en el Sachatmate OD, ya que $p\text{-value} < 0.05$, a diferencia de la temperatura (C) que no muestra efecto significativo sobre la fracción de sólidos solubles en el Sachatmate OD, es decir variaciones significativas en la concentración del jarabe y la relación F/J darán cambios notables de X_s .

Figura N° 8: Diagrama de efectos de las variables en X_s



Fuente: Elaboración propia, STATGRAPHICS Centurion XV.II

Se aprecia la interacción de concentración y temperatura sobre X_s , como se muestra en la figura 8. El uso de disoluciones de diferentes concentraciones da lugar al desarrollo de diferentes perfiles de concentración en el tejido de las frutas (Albors et al., 1998; Salvatori et al., 1999; citado por Torres, 2007). Hecho que concuerda con los resultados del presente trabajo de investigación.

Vial, et al., (1991 citado por Torres, 2007) consideran que la acumulación del soluto (sacarosa) está aparentemente limitada a la periferia del alimento. Por otra parte, Isse y Schubert (1991 citado por Torres, 2007) estudiaron el mango deshidratado osmóticamente como resultado obtuvieron que el soluto(sacarosa) se encontraba entre la pared y la membrana celular. Por lo tanto, una alta concentración de solutos en la solución puede ocasionar la ruptura en la estructura celular y alterar otros factores como la ganancia sólidos y pérdidas de agua en alimento.

Tabla N° 16: Optimización de respuesta para x_s

Factor	Bajo	Alto	Óptimo
Concentración	45.0	55.0	45.0
Relación F/J	2.0	3.0	2.60128
Temperatura	20.0	30.0	30.0
<i>Valor óptimo = 0.218665 (Mínimo)</i>			

Fuente: Elaboración propia, STATGRAPHICS Centurion XV.II

Según la tabla 16, se observa que para lograr un menor ingreso de sólidos solubles en el sachatmate OD, sucede al combinar los factores concentración = 45 °Brix, Relación F/J = 1:2.6 y temperatura de 30 °C.

3.2.3. VARIACIÓN DE LA MASA (ΔM) EN EL SACHATOMATE OD

Se determinó la variación de la masa (ΔM), que está referida a la cantidad de pérdida agua y ganancia de sólidos solubles en el fruto como resultado del flujo osmótico. En cuanto a los azúcares, ácidos orgánicos, minerales, sales, etc., propios del fruto que atraviesan la membrana, son muy pequeña y cuantitativamente despreciable (La Font, 1988, citado por Torres, 2007).

Tabla N° 17: Variación de la masa (ΔM) en el Sachatmate osmodeshidratado (OD)

Tratamiento	C (°Brix)	R (pulpa de fruta/jarabe)	T (°C)	ΔM (g fruto OD / g fruto fresco)		
				\bar{x}	\pm	σ
T1	55	1:2	20	-0.3164	\pm 0.0003	^b
T2	55	1:3	30	-0.3279	\pm 0.0101	^b
T3	45	1:3	20	-0.2838	\pm 0.0236	^{a,b}
T4	45	1:2	20	-0.2745	\pm 0.0084	^{a,b}
T5	55	1:2	30	-0.3168	\pm 0.0175	^b
T6	55	1:3	20	-0.2997	\pm 0.0354	^{a,b}
T7	45	1:3	30	-0.2669	\pm 0.0708	^{a,b}
T8	45	1:2	30	-0.2111	\pm 0.0335	^a

*Letras iguales significan que no existe diferencia significativa, evaluadas a través del test Tukey (anexo 03), a $\alpha = 5\%$

Fuente: Elaboración propia

Los resultados se muestran en la tabla 17, en ella se muestra que el tratamiento T8 es el que pierde menos peso (-0.2111 ± 0.0335 g de fruto OD/g de fruto fresco), lo contrario sucede con el tratamiento T2 (-0.3279 ± 0.0101 g de fruto OD/g de fruto fresco), esto está condicionado a la concentración del jarabe el cual es 55°Brix, esto es a razón de la existencia de una mayor presión osmótica ejercida por el mayor contenido de sólidos solubles en el jarabe con la consecuente pérdida de agua (Torres, 2007).

El test Tukey para los promedios de la ΔM nos muestra dos grupos homogéneos.

Tabla N° 18: ANOVA de los efectos de las variables para la variación de masa (ΔM)

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón -F	Valor-P*
A:Concentracion	0.0189169	1	0.0189169	16.85	0.0011
B:Relacion F/J	0.00132313	1	0.00132313	1.18	0.2960
C:Temperatura	0.00100104	1	0.00100104	0.89	0.3611
AB	0.00187974	1	0.00187974	1.67	0.2166
AC	0.00444993	1	0.00444993	3.96	0.0664
BC	0.00206091	1	0.00206091	1.84	0.1969
ABC	0.000129735	1	0.000129735	0.12	0.7390
Bloques	0.00112472	2	0.000562359	0.50	0.6165
Error total	0.0157182	14	0.00112273		
Total (corregido)	0.0466044	23			

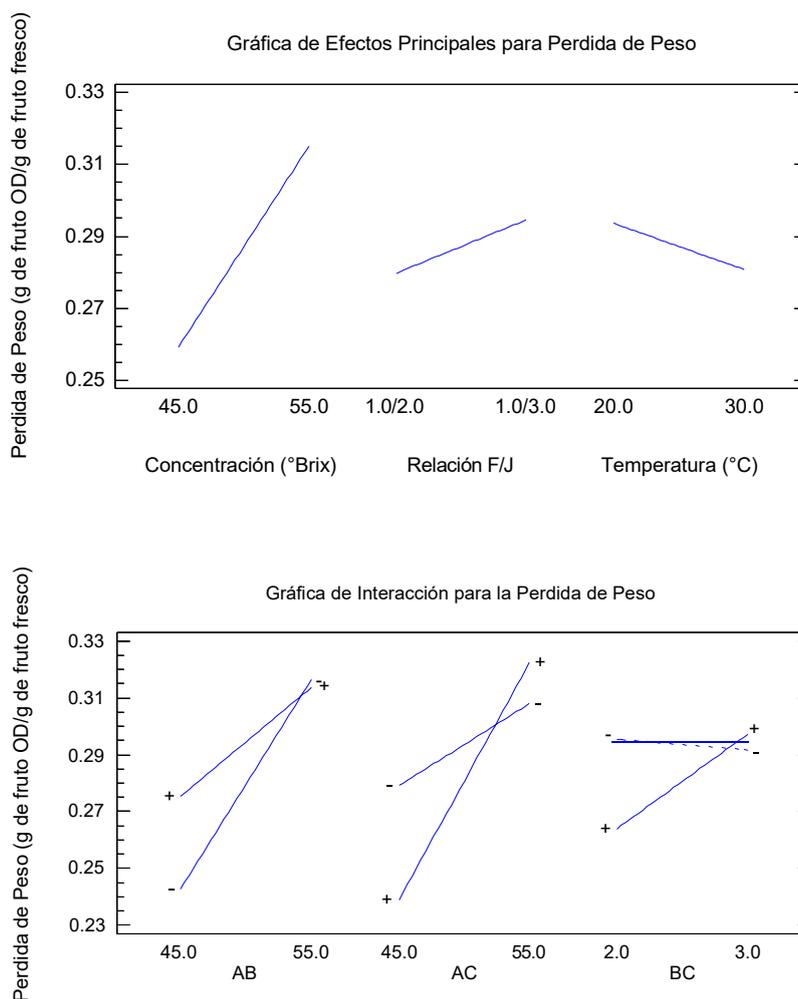
*Evaluados a un nivel de significancia del 5%

Fuente: Elaboración propia, STATGRAPHICS Centurion XV.II

En cuanto a los efectos de las variables de entrada, el ANOVA (tabla 18) indica que la concentración es el factor que más influye sobre la ΔM , ya que $p\text{-value} < 0.05$, por otro lado la pérdida de peso se ve estadísticamente menos influenciado por la relación F/J (B) y la temperatura (C) tal como se muestra tabla 18, siendo la concentración (A) la variables que más influye en la ΔM . Se sabe que un incremento de la temperatura provoca un aumento en la velocidad de transferencia de materia (Lazarides et al., 1999; Lazarides, 2001; citado por Torres, 2007). No obstante Torres también manifiesta que la influencia de la temperatura no es uniforme en cualquier intervalo.

Las temperaturas seleccionadas son consideradas las más óptimas porque no afectan la integridad de los tejidos, preservan la calidad nutricional del producto (Lerici et al., 1977; citado por Torres, 2007). Lazarides (2001) y Barat et al., (2001a) citado por Torres manifiestan que por debajo de 40-50 °C las membranas celulares mantienen su funcionalidad.

Figura N° 9: Diagrama de efectos de las variables en



Fuente: Elaboración propia, MINITAB 15

La figura 9 nos muestra una relación directa de los factores Concentración y relación pulpa de fruta/jarabe sobre la ΔM , sin embargo, se observa una relación inversa con el factor temperatura (a mayor temperatura menor pérdida de peso) este resultado se deba a que la membrana es parcialmente selectiva y algo de soluto pudo haber atravesado tal como lo manifiestan algunos autores (Chirife, 1982; Lerici, et al., 1988; Vial, et al., 1991; citado por Torres, 2007). Torres hace referencia el trabajo de Forni et al., (1986) quienes manifiestan que durante la transferencia de agua/solutos que ocurre en el proceso de OD un factor

determinante es la naturaleza y la estructura del fruto y la relación entre las diferentes fracciones pécticas (pectina soluble en agua y protopectina). Así mismo Torres cita a Moy et al., (1978) quien manifiesta que el nivel de gelificación de pectina que se ven influenciados por la temperatura.

Tabla N° 19: Optimización de respuesta para la pérdida de peso (ΔM)

Factor	Bajo	Alto	Óptimo
Concentración	45.0	55.0	54.7358
Relación F/J	2.0	3.0	3.0
Temperatura	20.0	30.0	30.0
<i>Valor óptimo = 0.326288 (Máximo)</i>			

Fuente: Elaboración propia, STATGRAPHICS Centurion XV.II

En la tabla 19 se observa que para lograr una mayor pérdida de peso (ΔM), sucede al combinar los factores concentración = 54.74 °Brix, Relación F/J = 1.0/3.0 y temperatura de 30 °C dentro de los valores de estudio.

3.2.4. VARIACIÓN DE AGUA (ΔM_w) Y SÓLIDOS SOLUBLES (ΔM_s).

El cálculo está referido a la pérdidas netas de agua (ΔM_w) y ganancias de solutos (ΔM_s) con la comprobación de balances de materia asumiendo que la pérdida de peso es igual a la suma de las ganancias netas de sólidos solubles y agua.

Tabla N° 20: Pérdida de agua (ΔM_w) y Ganancia de sólidos solubles (ΔM_s) en el Sachatomate fresco

Tratamiento	C (°Brix)	R (pulpa de fruta/jarabe)	T (°C)	ΔM_w			ΔM_s			
				(g de agua del fruto OD/g fruto fresco)			(g de solido soluble en el fruto OD/g fruto fresco)			
				\bar{x}	\pm	σ	\bar{x}	\pm	σ	
T1	55	1:2	20	-0.3914	\pm	0.0086	a,b,c	0.0838	\pm	0.0056 ^a
2	55	1:3	30	-0.4213	\pm	0.0089	a	0.1006	\pm	0.0108^a
T3	45	1:3	20	-0.3593	\pm	0.0049	a,b,c,d	0.0831	\pm	0.0147 ^a
T4	45	1:2	20	-0.3463	\pm	0.0055	b,c,d	0.0783	\pm	0.0123 ^a
T5	55	1:2	30	-0.4072	\pm	0.0040	a,b	0.0950	\pm	0.0120 ^a
T6	55	1:3	20	-0.3773	\pm	0.0291	a,b,c	0.0869	\pm	0.0148 ^a
T7	45	1:3	30	-0.3311	\pm	0.0553	c,d	0.0814	\pm	0.0117 ^a
T8	45	1:2	30	-0.2903	\pm	0.0321	d	0.0830	\pm	0.0071^a

*Letras iguales significan que no existe diferencia significativa, evaluadas a través del test Tukey (anexo 03), a $\alpha = 5\%$

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 20, se aprecia que el tratamiento T8 es el que logra perder menor contenido de agua y el tratamiento T2 el que logra perder mayor contenido de agua, en contraste sucede lo contrario con la ganancia de sólidos solubles, es evidente que cuanto más agua se pierda, este llevara consigo sólidos solubles ya sea de la superficie o del seno del fruto, esto se ve atenuado con la temperatura ya que T8 y T2 operan a 30°C, lo que indica que al elevar la temperatura la disolución de sólidos solubles es menor; el cual se deba a la gelificación de pectinas presentes en el fruto (Moy et al., 1978, citado por Torres, 2007) y la actividad enzimática de la fruta tal como lo refiere Giangiacomo et al., (1987) citado por Torres.

Tabla N° 21: ANOVA de los efectos de las variables para la pérdida de agua ΔM_w

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón -F	Valor-P*
A:Concentracion	0.0273915	1	0.0273915	48.75	0.0000
B:Relacion F/J	0.00108541	1	0.00108541	1.93	0.1863
C:Temperatura	0.000220827	1	0.000220827	0.39	0.5408
AB	0.00108811	1	0.00108811	1.94	0.1857
AC	0.0077832	1	0.0077832	13.85	0.0023
BC	0.00118161	1	0.00118161	2.10	0.1690
ABC	4.16667E-8	1	4.16667E-8	0.00	0.9933
Bloques	0.00245964	2	0.00122982	2.19	0.1489
Error total	0.00786584	14	0.000561846		
Total (corregido)	0.0490762	23			

*Evaluados a un nivel de significancia del 5%

Fuente: Elaboración propia, STATGRAPHICS Centurion XV.II

Tabla N° 22: ANOVA de los efectos de las variables para la ganancia de sólidos solubles ΔM_s

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón -F	Valor-P*
A:Concentracion	0.00061712	1	0.00061712	5.63	0.0325
B:Relacion F/J	0.0000537004	1	0.0000537004	0.49	0.4954
C:Temperatura	0.00028912	1	0.00028912	2.64	0.1266
AB	0.0000116204	1	0.0000116204	0.11	0.7495
AC	0.000179854	1	0.000179854	1.64	0.2210
BC	0.00000532042	1	0.00000532042	0.05	0.8288
ABC	0.0000288204	1	0.0000288204	0.26	0.6161
Bloques	0.000603581	2	0.00030179	2.75	0.0981
Error total	0.00153455	14	0.000109611		
Total (corregido)	0.00332369	23			

*Evaluados a un nivel de significancia del 5%

Fuente: Elaboración propia, STATGRAPHICS Centurion XV.II

La evaluación de los efectos se muestra en la tabla 21 y 22, donde el ANOVA nos indica que la concentración del jarabe tiene efecto estadísticamente significativo

sobre la pérdida de agua y ganancia de sólidos solubles del fruto fresco, ya que $p\text{-value} < 0.05$, para ambos casos.

Algunos Autores expresan esta fuerza osmótica en términos de osmosidad. Siendo la sacarosa el agente osmótico más utilizado para la deshidratación de frutas (Biswal & Bozorgmehr, 1992; Barat et al., 2001a; citado por Ochoa & Ayala, 2005).

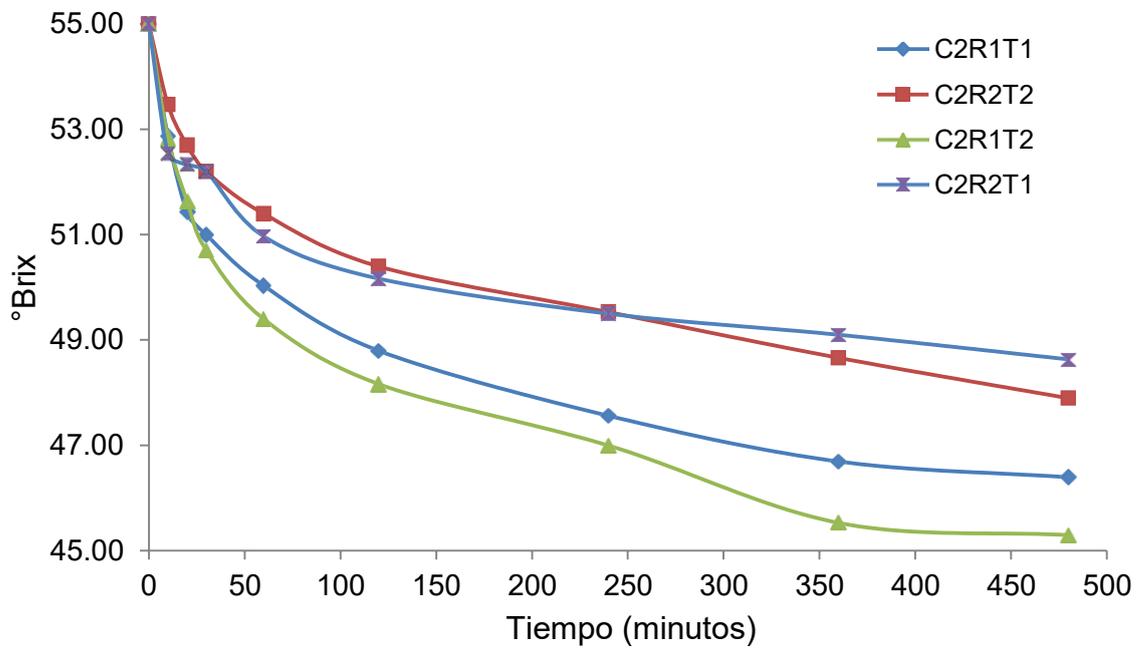
Cuando se tienen grandes fuerzas impulsoras, los tiempos de proceso son más cortos (se acelera la pérdida de agua y la ganancia de solutos) y las células superficiales de la muestra se deshidratan en gran proporción con respecto a las demás capas internas de células del tejido permanecen prácticamente sin alteración (Torres, 2007).

3.3. EVALUACIÓN DE LA CINÉTICA DE OSMODESHIDRATACIÓN

El modelamiento del proceso de deshidratación osmótica puede ser realizado mediante el estudio de la influencia que factores extrínsecos e intrínsecos como, condiciones que influyen en las características del producto final y por tanto su calidad (Ramaswamy & Nsonzi, 1998; citado por Haro, 2004).

En las figuras 10 y 11 se muestra el comportamiento de los sólidos solubles a través del tiempo para los promedios de cada tratamiento separados en dos figuras por la temperatura del medio osmótico y relación pulpa de fruta/jarabe.

Figura N° 10: Cinética de la osmodeshidratación a 55°Brix

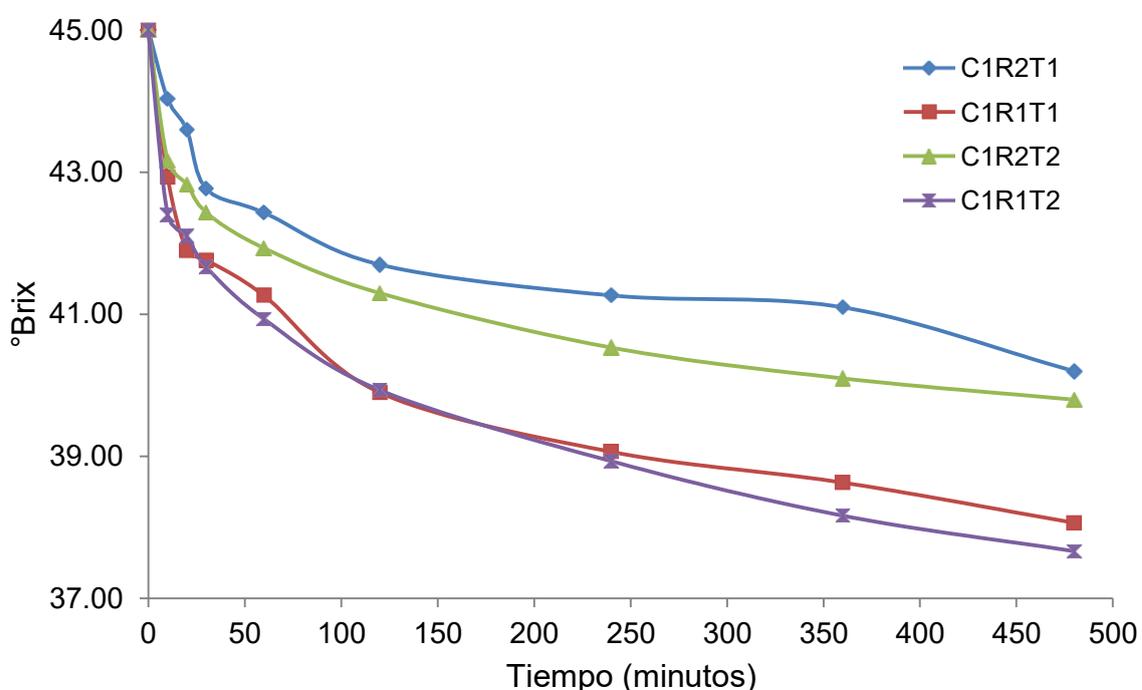


Dónde: C2 = concentración a 55°Brix; R1 = Relación pulpa de fruta/ jarabe 1:2; R2= Relación pulpa de fruta/jarabe 1:3; T1 = 20°C; T2 = 30°C.
Fuente: Elaboración propia.

En la figura 10 se presenta la cinética para la concentración del jarabe a 55°Brix, en ella se aprecia que a mayor temperatura la concentración del líquido de gobierno (jarabe) disminuye en mayor medida, esto debido a que la temperatura del sistema va producir cambios en la permeabilidad y fluidez del jarabe (Mazzeo, León, Hernández & Jaime, 2006). El aumento de la permeabilidad produce una mayor velocidad de osmodeshidratación, debido a la mayor movilidad de las moléculas y a la pérdida de la selectividad de la membrana (Zapata & Castro, 1998), la cual permite un mayor intercambio de agua que sale del Sachatomate pero también un mayor ingreso de solutos o componentes del jarabe; en medios estáticos el efecto de la temperatura tiene relación con la pérdida de agua, debido al aumento más pronunciado del flujo de adquisición de solutos (Chenlo, Fernandez, Moreira & Vazquez, 2006), otro aspecto sería el contenido de pectinas que posee el fruto, los cuales migran hacia la superficie en contacto del jarabe (Forni et al., 1986; citado por Torres, 2007).

Asimismo se observa que en los primeros 50 minutos existe un descenso rápido de la concentración del jarabe, esto se traduce en ingreso de solutos del jarabe como es la sacarosa y la salida de agua de la parte superficial del Sachatomate. En las primeras horas se produce una pérdida rápida de humedad y una alta incorporación de sólidos debido a la gran diferencia osmótica entre el tejido vegetal y la solución concentrada al inicio del proceso (Parjoko et al., 1996).

Figura N° 11: Cinética de la osmodeshidratación a 45°Brix



Dónde: C1= concentración a 45°Brix; R1= Relación pulpa de fruta/jarabe 1:2; R2= Relación pulpa de fruta/jarabe 1:3; T1 = 20°C; T2 = 30°C.
Fuente: Elaboración propia.

Por otra parte la concentración del jarabe influye directamente sobre la velocidad, porque al mantener una alta diferencia de concentraciones a lado de la membrana se incrementa la presión osmótica, favoreciendo un rápido flujo de agua a través de la membrana en busca del equilibrio osmótico (Mazzeo et al., 2006), es así que en la figura 11 las concentraciones del jarabe logran disminuir en un promedio de 7°Brix, a diferencia del tratamiento con concentraciones de 55°Brix, donde el jarabe disminuye aproximadamente en 10°Brix.

Por otro lado sucede una mayor velocidad de osmodeshidratación cuando la relación de pulpa de fruta/jarabe es de 1:2, es decir la disponibilidad de disminuir

la velocidad es mayor debido a que el agua que sale de la fruta diluye el jarabe más rápidamente (Arango & Camacho, 1997) que la relación pulpa de fruta/jarabe fuese de 1:3. Este hecho se puede observar al comparar la figura 10 y 11.

Existe un comportamiento zigzagueante inicial en las curvas que nos muestra la cinética de deshidratación (figuras 10 y 11). Este hecho también fue descrito en los trabajos realizados por Fito et al., (1998 citado por Haro, 2004), Muntada et al., (1998 citado por Haro, 2004) y por Haro (2004) en el procesamiento del kiwi, y el procesamiento de arándanos.

3.4. DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE DIFUSIVIDAD EFECTIVA

Para la determinación del coeficiente de difusividad efectiva D_{ef} , primeramente se ajustó los datos experimentales de la cinética de osmodeshidratación al modelo de Page modificado (Sharma *et al.*, 2007) de la ecuación 37, del cual se obtuvo los parámetros C, K y “ n ”; donde “ n ” representa la resistencia interna al secado, “ C ” los efectos de las condiciones externas y “ K ” una constante adimensional (Heldman & Lund, 2007)

$$R = \frac{X - X_e}{X_0 - X_e} = C \cdot \exp(-Kt^n) \quad \text{Ec. (37)}$$

Dónde: R , razón de humedad; X concentración del jarabe en el tiempo; X_e , concentración del jarabe en el equilibrio; X_0 , concentración del jarabe inicial.

A partir de la ecuación 38, se calcula la D_{ef} , considerando el fruto osmodeshidratado como una lámina infinita, donde L_0 es el espesor de la lámina (Sachatomate OD)

$$K = \frac{\pi^2 D_{ef}}{4L_0^2} \quad \text{Ec. (38)}$$

En la tabla 23 se muestran los resultados ajustados de la razón de humedad – R , calculado a través de la ecuación de Page modificado, utilizando el utilitario

Solver, a partir de los datos ajustados se ha graficado las curvas características las cuales se muestran en la figura 13.

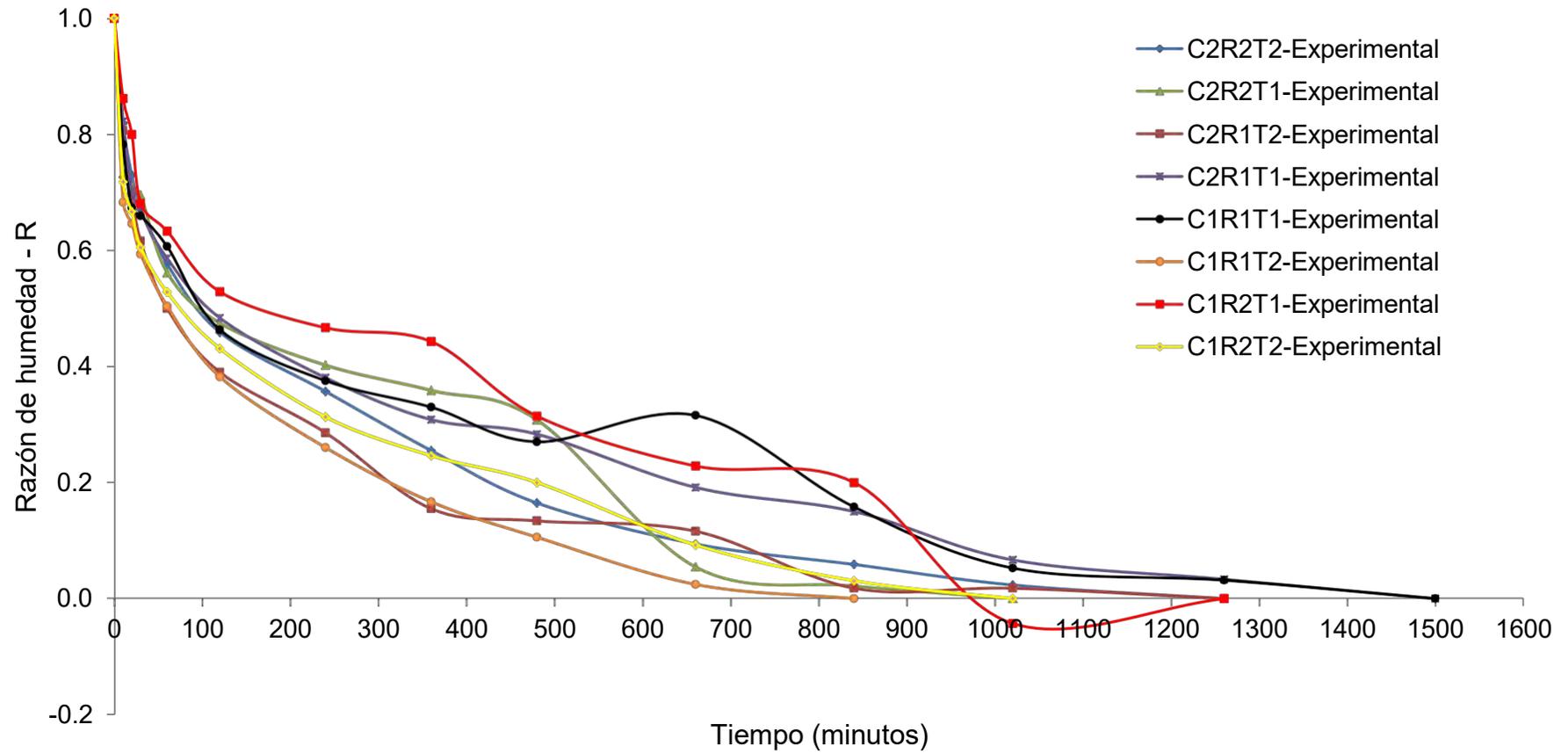
Tabla N° 23: Datos ajustado de la razón de humedad a partir de la ecuación de Page modificado

t (min)	C2R2T2		C2R2T1		C2R1T2		C2R1T1		C1R1T1		C1R1T2		C1R2T1		C1R2T2	
	Rexp	Rmod														
0	1.00	0.9812	1.00	0.9499	1.00	0.9998	1.00	0.9814	1.00	0.9829	1.00	0.9772	1.00	0.9569	1.00	0.9967
10	0.82	0.8208	0.73	0.7988	0.81	0.7857	0.82	0.8071	0.78	0.7830	0.68	0.7395	0.86	0.8518	0.72	0.7326
20	0.73	0.7494	0.71	0.7354	0.70	0.7013	0.70	0.7413	0.67	0.7183	0.65	0.6543	0.80	0.8004	0.67	0.6604
30	0.67	0.6964	0.70	0.6887	0.62	0.6410	0.67	0.6939	0.66	0.6732	0.59	0.5948	0.68	0.7606	0.61	0.6120
60	0.58	0.5848	0.56	0.5906	0.50	0.5197	0.59	0.5968	0.61	0.5833	0.50	0.4781	0.63	0.6726	0.53	0.5194
120	0.46	0.4493	0.47	0.4707	0.39	0.3817	0.48	0.4808	0.46	0.4786	0.38	0.3492	0.53	0.5569	0.43	0.4171
240	0.36	0.3019	0.40	0.3367	0.29	0.2424	0.38	0.3525	0.38	0.3643	0.26	0.2221	0.47	0.4167	0.31	0.3111
360	0.25	0.2190	0.36	0.2580	0.15	0.1692	0.31	0.2771	0.33	0.2967	0.17	0.1562	0.44	0.3287	0.25	0.2508
480	0.16	0.1656	0.31	0.2052	0.13	0.1242	0.28	0.2259	0.27	0.2501	0.11	0.1158	0.31	0.2669	0.20	0.2102
660	0.09	0.1144	0.05	0.1518	0.12	0.0828	0.19	0.1733	0.32	0.2011	0.02	0.0785	0.23	0.2021	0.09	0.1684
840	0.06	0.0821	0.02	0.1163	0.02	0.0579	0.15	0.1374	0.16	0.1667	0.00	0.0558	0.20	0.1573	0.03	0.1394
1020	0.02	0.0607	0.00	0.0912	0.02	0.0418	0.07	0.1114	0.05	0.1410			-0.04	0.1249	0.00	0.1180
1260	0.00	0.0418			0.00	0.0281	0.03	0.0865	0.03	0.1155			0.00	0.0940		
1500							0.00	0.0687	0.00	0.0964						

Dónde: C1 = concentración a 45°Brix; C2 = concentración a 55°Brix ; R1, Relación pulpa de fruta/jarabe 1:2 ; R2 = Relación pulpa de fruta/jarabe 1:3; T1 = 20°C; T2 = 30°C.

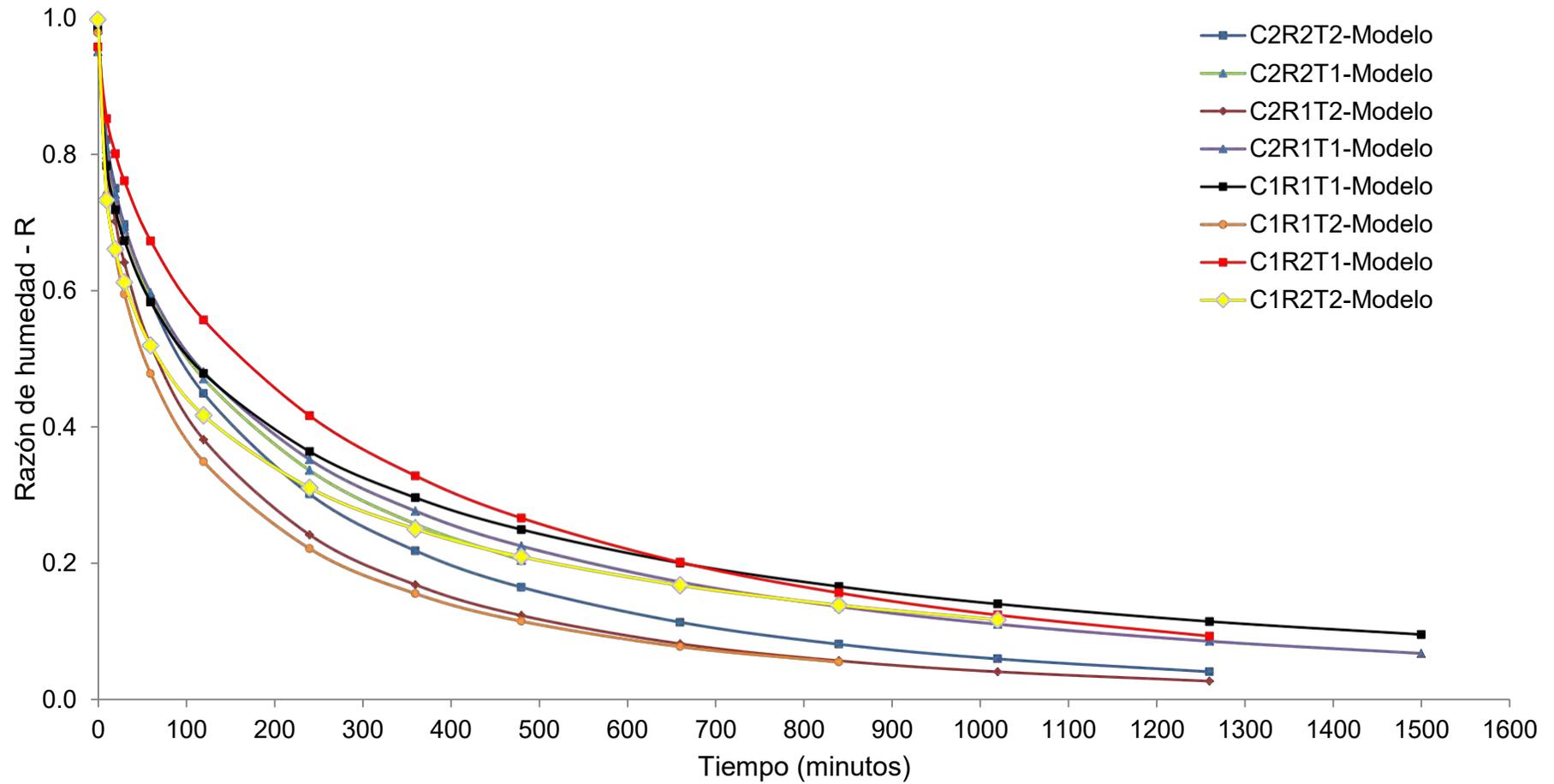
Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 12: Cinética experimental en función a la razón de humedad - R



Dónde: C1 = concentración a 45°Brix; C2 = concentración a 55°Brix ; R1 = Relación pulpa de fruta/jarabe 1:2; R2 = Relación pulpa de fruta/jarabe 1:3; T1 = 20°C; T2 = 30°C.
Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 13: Cinética modelada con la ecuación de Page modificada en función a la razón de humedad - R



Dónde: C1 = concentración a 45°Brix; C2 = concentración a 55°Brix ; R1 = Relación pulpa de fruta/jarabe 1:2; R2 = Relación pulpa de fruta/jarabe 1:3; T1 = 20°C; T2 = 30°C.
Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 23 se muestran los valores de las constantes del modelo matemático Page modificado. A partir del valor de “ K”, se calculó el coeficiente de difusividad efectiva D_{ef} , es así que se puede observar que los valores D_{ef} para la deshidratación osmótica del Sachatomate se encuentra en el intervalo de 0.47×10^{-8} a $1.98 \times 10^{-8} \text{m}^2/\text{s}$, logrando el tratamiento T7 una mayor difusividad teniendo en cuenta que la concentración del jarabe es quien más influye en el proceso de osmodeshidratación. El aumento de la concentración del medio osmótico aumenta el coeficiente de difusividad efectiva (Chenlo, Ferra, Moreira & Torres, 2008), y esta está sujeto al tipo de solución hipertónica, siendo relativamente alta con soluciones de sacarosa (Lenart & Lewicki, 1998); no obstante en algunos otros productos como la pera este hecho es inverso es decir la temperatura es el único factor que influye significativamente en la difusividad provocando un incremento (Park, Bin, & Brod, 2003).

Según el cuadro 24, se observa que mientras disminuye la concentración del jarabe se incrementa la D_{ef} . Rodríguez (2014), determinó D_{ef} de los cubos de mango durante el proceso de OD, donde observó que D_{ef} no depende de las variables de estudio concentración y temperatura.

Tabla N° 24: Valores de las constantes del modelo Page modificado y el coeficiente de difusividad efectiva.

Tratamiento	C (°Brix)	R (pulpa de fruta/jarabe)	T (°C)	Constantes del modelo*			D_{ef} (m^2/s)
				A	K	N	
T1	55	1.2	20	0.9814	0.0589	0.5209	1.00E-08
T2	55	1.3	30	0.9812	0.0455	0.5939	0.77E-08
T3	45	1.3	20	0.9569	0.0280	0.6189	0.47E-08
T4	45	1.2	20	0.9829	0.0782	0.4637	1.32E-08
T5	55	1.2	30	0.9998	0.0668	0.5575	1.13E-08
T6	55	1.3	20	0.9499	0.0474	0.5631	0.80E-08
T7	45	1.3	30	0.9967	0.1175	0.4186	1.98E-08
T8	45	1.2	30	0.9772	0.0830	0.5258	1.40E-08

*Los valores han sido ajustados a través de utilitario Solver (2010)
Fuente: Elaboración propia.

El modelo de page modificado fue efectivo para identificar las condiciones de equilibrio en la pérdida de agua, mostrando valores de equilibrio para la pérdida de agua y sólidos solubles a diferentes tiempos; considerando las predicciones obtenidas del modelo empírico lo cual ocurre a tiempos largos de 14 a 29 horas (anexo 05).

Si bien con la aplicación del modelo de page modificado se obtiene la evolución de los valores medios de pérdida de agua y ganancia de sólidos y las tendencias del proceso de deshidratación hasta el equilibrio, no es posible identificar en forma exacta las condiciones óptimas de operación ni obtener los perfiles de concentraciones de agua y sólidos solubles en el interior de los productos sino solo valores globales, perdiendo de vista importante información para explicar los mecanismos de transferencia de masa (Ramiro, 2013). Afirmación que se corrobora con el presente estudio.

Xue (2004), encontró valores de D_{ef} en el intervalo 1.36×10^{-10} a 5.91×10^{-10} m^2/s para cubos de pera, estos valores están en el orden de los encontrados para el Sachatomate y para otros vegetales estudiados por Vega et al. (2001), Xue, Chafer, Gonzales, Fito y Chiralt (2001) Giovanelli, B-Zanoni, Lavelli y Nani (2002).

3.5. EVALUACIÓN DE LA ACTIVIDAD DE AGUA -

La actividad del agua se determinó a través de un higrómetro de punto de rocío (AquaLab, modelo series 4TEV) marca DECAGON, en muestras de pulpa de sachatomate de 5mm de espesor sometido a proceso de osmodeshidratacion. Los valores de a_w oscilan entre 0.9878 a 0.9273, los mismos que se muestran en la tabla 25.

TABLA N° 25: Actividad de agua en el Sachatomate osmodeshidratado (OD)

Tratamiento	C (°Brix)	R (pulpa de fruta/jarabe)	T (°C)	a_w		
				\bar{x}	\pm	σ
T1	55	1:2	20	0.9565	\pm 0.0073	b,c
T2	55	1:3	30	0.9273	\pm 0.0070	a
T3	45	1:3	20	0.9615	\pm 0.0073	c
T4	45	1:2	20	0.9685	\pm 0.0074	c,d
T5	55	1:2	30	0.9409	\pm 0.0071	a,b
T6	55	1:3	20	0.9594	\pm 0.0073	b,c
T7	45	1:3	30	0.9829	\pm 0.0075	c
T8	45	1:2	30	0.9878	\pm 0.0025	d

*Letras iguales significan que no existe diferencia significativa, evaluadas a través del test Tukey (anexo 03), a $\alpha = 5\%$

Fuente: Elaboración propia

De la tabla anterior se puede apreciar que el tratamiento T8 tiene la mayor $a_w = 0.9878$, este hecho se puede deber al hecho de que tenga mayor fracción de agua (0.0.7070 g de agua/ g de fruto OD), por el contrario el tratamiento T2 presenta la menor actividad de agua $a_w = 0.9273$ está claro que la a_w tiene relación directa con la fracción de agua del Sachatomate osmodeshidratado. Estos valores se encuentran por encima del límite de actividad de agua determinada para productos hortofrutícolas mínimamente procesados (0,850) (Wiley, 1997a; Soliva-Fortuny & Martín-Belloso, 2003; citado por Torres, 2007).

Torres (2007) determinó la a_w , en muestras de cubos de mango sometidos a osmodeshidratación con un rango de valores entre 0,970 y 0,945 siendo valores similares al presente estudio y estando por encima del límite de actividad acuosa.

Tabla N° 26: ANOVA de los efectos de las variables para la a_w .

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón -F	Valor-P*
A:Concentracion	0.00508668	1	0.00508668	427.98	0.0000
B:Relacion F/J	0.000192667	1	0.000192667	16.21	0.0013
C:Temperatura	0.000018375	1	0.000018375	1.55	0.2341
AB	5.4E-7	1	5.4E-7	0.05	0.8343
AC	0.00293488	1	0.00293488	246.93	0.0000
BC	0.00007776	1	0.00007776	6.54	0.0228
ABC	0.000128807	1	0.000128807	10.84	0.0053
Bloques	0.000580811	2	0.000290405	24.43	0.0000
Error total	0.000166396	14	0.0000118854		
Total (corregido)	0.00918692	23			

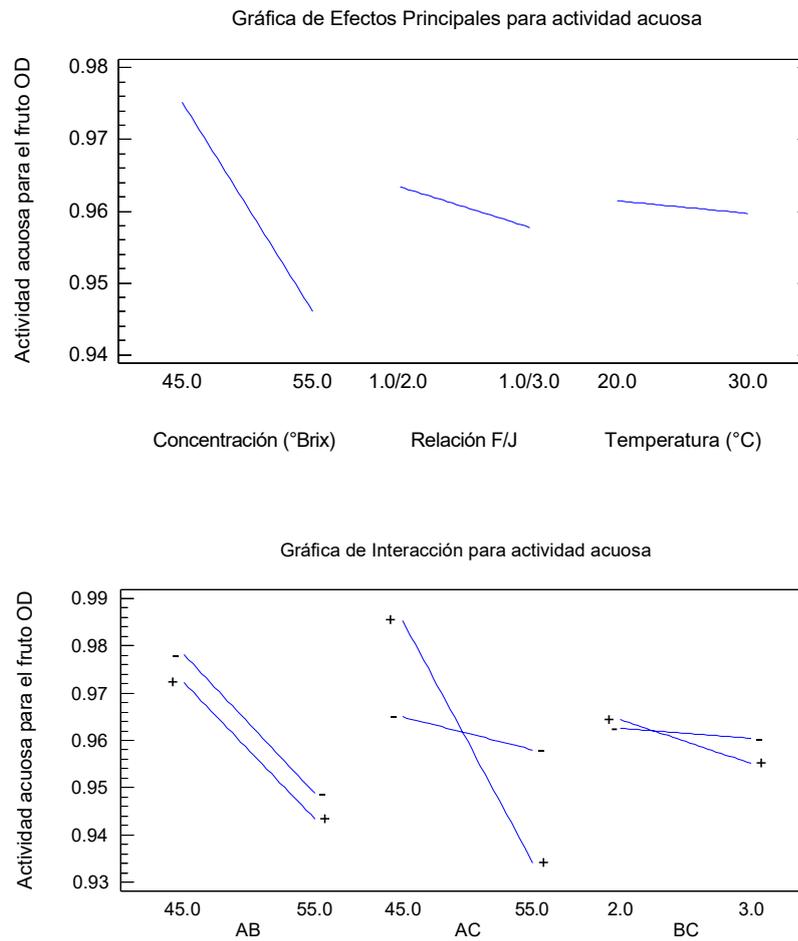
*Evaluados a un nivel de significancia del 5%

Fuente: Elaboración propia, STATGRAPHICS Centurion XV.II

En la tabla 26, se muestra los efectos de las variables a través del ANOVA, se observa que la concentración (A) y la relación F/J (B) tienen efecto significativo sobre la a_w , ya que $p\text{-value} < 0.05$. Así mismo se observa que la interacción de las variables concentración del soluto (A), relación F/J (B) y temperatura (C) influyen sobre la actividad acuosa del Sachatomate OD. Sin embargo, los valores de a_w no son los recomendables para el almacenamiento como se mencionó en el párrafo anterior, siendo necesario la aplicación de procesos de conservación como congelación (Lerici et al., 1977; Huxoll, 1982; Andreotti et al., 1985, Talens, 2002; citado por Torres, 2007), secado por aire caliente (Ponting et al., 1966; Giraldo, 2003; citado por Torres, 2007), métodos combinados aire caliente y microondas (Contreras, 2006), etc., posterior al proceso de osmodeshidratación.

El proceso de osmodeshidratación además de su utilización como pretratamiento, la deshidratación osmótica tiene otras aplicaciones como la elaboración de alimentos de humedad intermedia, alimentos autoconservables, productos semiconfitados y productos semielaborados, presentando una excelente posibilidad para la exportación y aprovechamiento de frutas tropicales (Barat et al., 1998).

Figura N° 14: Diagrama de efectos de las variables en a_w .



Fuente: Elaboración propia, STATGRAPHICS Centurion XV.II

Según la figura 14 se aprecia un efecto significativo de la variable concentración (A) y la relación F/J (B) sobre la a_w .; así mismo se aprecia que existe una interacción estadísticamente significativa de la temperatura y la relación F/J, así como también existe una interacción de la relación F/J y la temperatura sobre la a_w .

TABLA N° 27: Optimización de respuesta para la actividad de agua

Factor	Bajo	Alto	Óptimo
Concentración	45.0	55.0	54.9987
Relación F/J	2.0	3.0	2.0
Temperatura	20.0	30.0	28.1229

Valor óptimo = 0.933331 (mejor vértice, valor mínimo)

Fuente: Elaboración propia, STATGRAPHICS Centurion XV.II

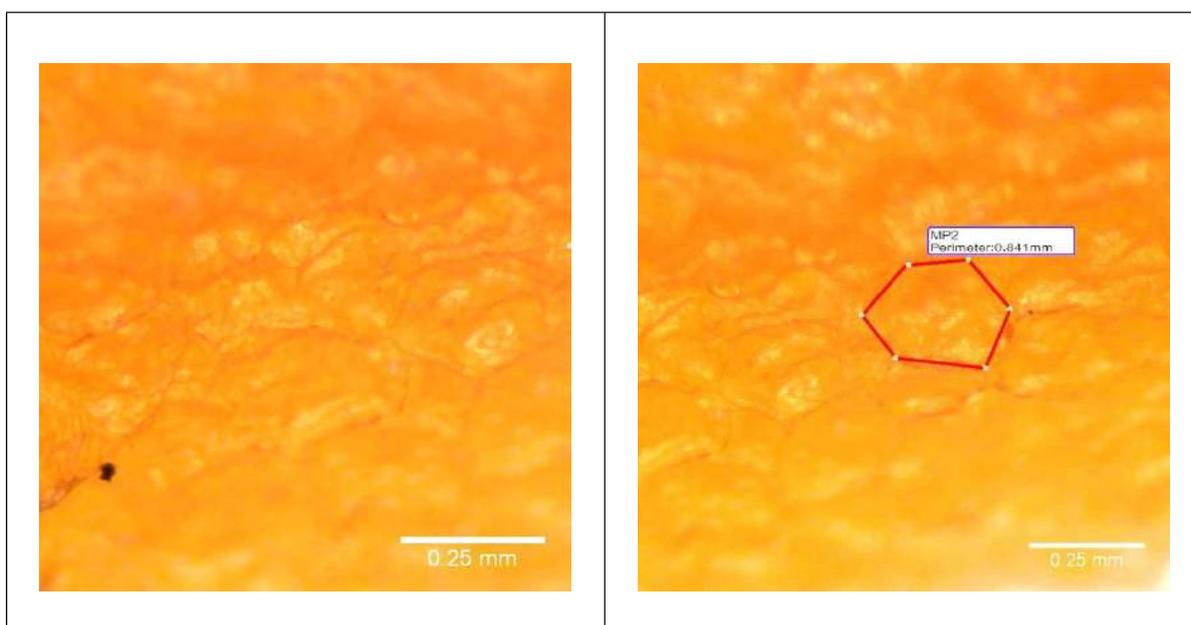
La tabla muestra que para la obtención de una a_w baja en el sachatmate OD, se combina las variables concentración de 55.0 °Brix, relación F/J 1.0/2.0 y temperatura de 28.12 °C.

3.6. EVALUACIÓN DE LOS CAMBIOS MICROESTRUCTURALES

A nivel microscópico se pudo realizar observaciones para comprobar los beneficios del proceso de la deshidratación osmótica. Se realizaron observaciones en muestras sin tratamiento OD o fruto fresco, así como un producto secado sin OD, muestras de frutos con tratamiento OD y muestras con tratamiento OD con un posterior secado convectivo.

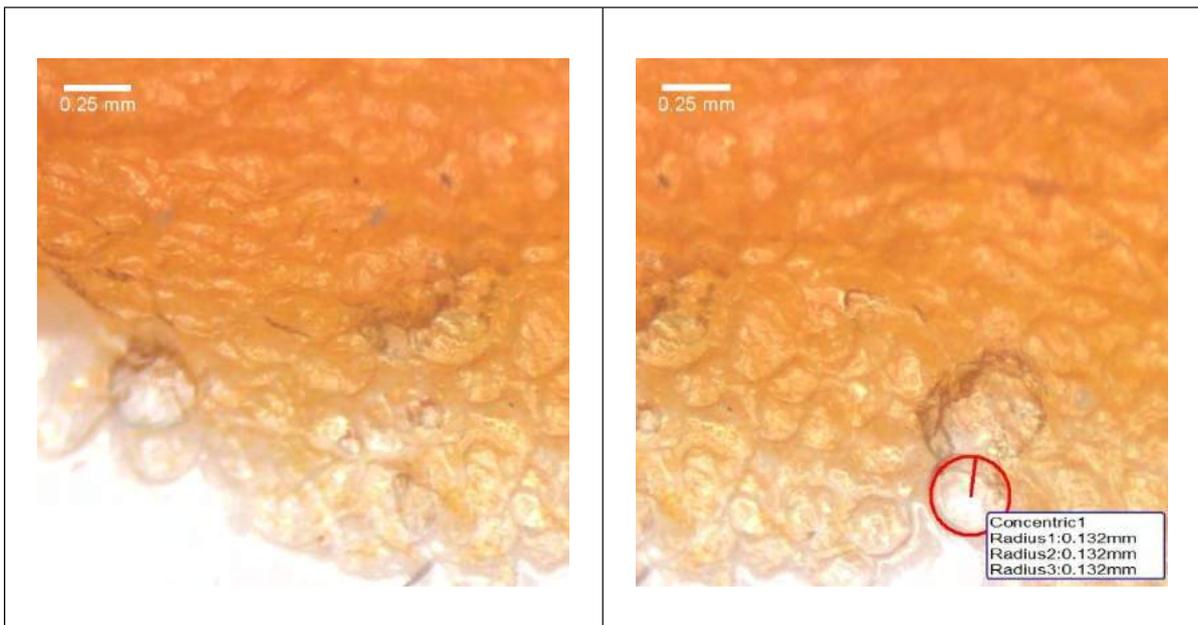
Tomando como base el tratamiento con mayor efecto sobre los factores de transferencia de masa (T2: concentración de jarabe 55°Brix, relación pulpa de fruta/jarabe 1:3 y temperatura 30°C), realizando una comparación de resultados entre las muestras seleccionadas. Para ello se utilizó el Estereomicroscopio de laboratorio / óptico / trinocular / LED NSZ-608T de la escuela profesional de Biología – UNSAAC.

Figura N° 15: Microfotografía del Sachatmate fresco



En las microfotografías se observa la estructura celular del Sachatomate fresco es así que se puede observar la presencia de agua, en esta zona no hay presencia de poros ni agujeros.

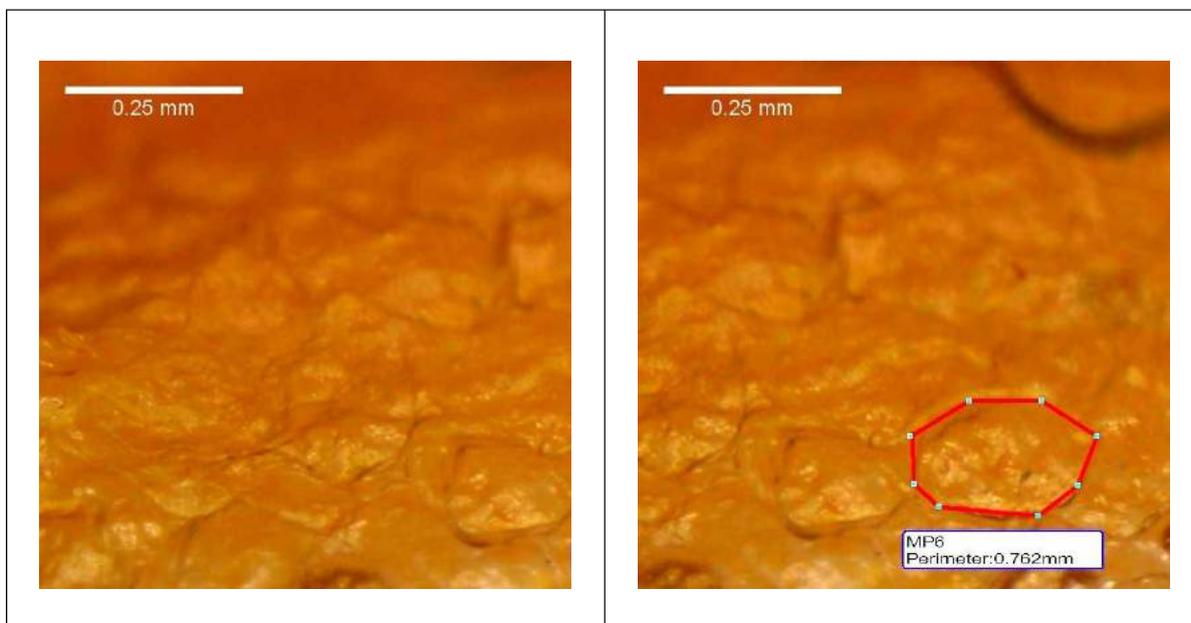
Figura N° 16: Microfotografías del fruto deshidratado a las mismas condiciones sin pretratamiento de osmosis.



En las imágenes se observa la muestra de Sachatomate deshidratado sin tratamiento de osmosis, se puede apreciar con notoriedad estructura celular dañada.

Según Shi, Le Maguer (2002) y Mauroet al., (2002), sostienen que las células se deforman a causa de la pérdida del líquido intracelular de la estructura celular de los alimentos.

Figura N° 17: Microfotografía del Sachatomate osmodeshidratado a (T2: concentración de jarabe 55°Brix, relación pulpa de fruta/jarabe 1:3 y temperatura 30°C),

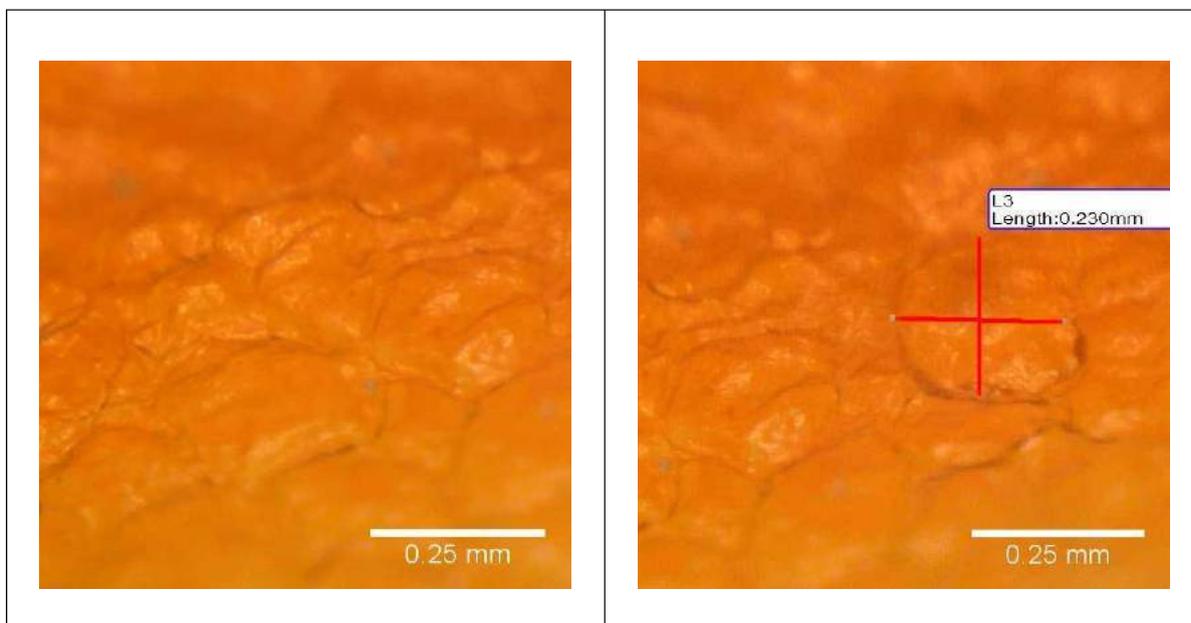


La figura 17 nos muestra las microfotografías del Sachatomate OD donde al hacer una comparación con referencia a las microfotografías del Sachatomate fresco, este conserva la apariencia de la estructura celular. Las condiciones del tratamiento osmótico que se experimentó no causó cambios en la estructura a nivel celular del Sachatomate. Se observa la estructura conservada.

Según Alvarado (2006) indica, que en el proceso de deshidratación existe una relajación de las paredes celulares logrando de esta manera que la célula se vuelva esférica. Por consiguiente, queda comprobado que las células se redondearán y mantendrá la estructura propia de un fruto fresco.

Estas observaciones concuerdan con Della, (2010) que concluye que la deshidratación osmótica como pretratamiento antes del secado combinado contribuye a impedir el deterioro de la estructura que se originarían en el producto si se sometiera a altas temperaturas como en el caso del tratamiento térmico empleando sólo secado convectivo.

Figura N° 18: Microfotografía del Sachatomate osmodeshidratado a (T2: concentración de jarabe 55°Brix, relación pulpa de fruta/jarabe 1:3 y temperatura 30°C) con operación posterior al secado convectivo.



Microfotografías del sachatomate osmodeshidratado sometidas a un posterior secado convectivo, se puede apreciar estructura sin daños en comparación a las microfotografías del fruto fresco.

Aquí se puede observar la disminución del diámetro promedio celular (Prothon et al. 2001, Tapia et al. 1999 y Lopez et al. 1994; citado por Haro, 2004).

3.7. BALANCE DE MASA Y ENERGÍA PARA LA ELABORACIÓN DEL SACHATOMATE OSMODESHIDRATADO

Con la finalidad de conocer el rendimiento, se ha realizado el balance de materia y energía, para la obtención del Sachatomate osmodeshidratado; para ello se ha considerado solo una de las réplicas que corresponde al tratamiento de 55°Brix, relación pulpa de fruta/jarabe 1:3 y temperatura de 30°C.

3.7.1. BALANCE DE MASA

La ley de la conservación de la masa conduce a lo que se denomina balance de materia (Earle, 1998).

Masa que entra = Masa que sale + masa acumulada

Ec.(39)

Rendimiento

$$\eta = \frac{\text{Masa de Salida}}{\text{Masa de Entrada}} * 100\%$$

Ec. (40)

En la tabla 28 se observa los balances de masa para la obtención del Sachatomate osmodeshidratado, donde se puede apreciar un rendimiento del 31.04%, el cálculo se realizó para un proceso a nivel de laboratorio.

Martínez, (2012) realizó un modelo operático para la osmodeshidratación de Sachatomate, obteniendo un rendimiento de 48.93% en el proceso, este cálculo se deba al diseño de planta a nivel piloto.

Tabla N° 28: Balance de masa para el proceso de Osmodeshidratación Del Sachatmate

Datos generales						
Condiciones de operación		°Brix			55	
		Relación pulpa de fruta/jarabe			1:3	
		Temperatura			30°C	
Fruta fresca (Kg)					10	
Rendimiento del Azúcar para 55°Brix					1.16	
Densidad agua (g/ml)					1	
Etapa	Entrada		Salida		Perdidas	T (°C)
Recepción	$m_{fruta\ fresca} (kg)$	10	10	$m_{fruta\ fresca} (kg)$		
Mondado y Despepitado						
Rendimiento de pulpa (63%)	10		6.3	$m_{pulpa\ de\ fruta} (kg)$	3.7	$m_{cascara+semilla} (Kg)$
Deshidratación osmótica						30°C
Jarabe 55°Brix y R F/J = 1:3	$m_{Azucar} (kg)$	10.96	26.71	$m_{pulpa\ de\ fruta\ OD} (kg)$		
Densidad agua = 1	$m_{Agua} (kg)$	9.45				
Ecurrido						30°C
Fruta OD (Osmodeshidratado)			4.22	$m_{pulpa\ de\ fruta\ OD} (kg)$	22.49	$m_{jarabe} (kg)$
$\Delta M = 0.33$						
Lavado						30°C
Agua para enjuague	$m_{Agua} (kg)$	4.22	4.22	$m_{pulpa\ de\ fruta\ OD\ OD} (kg)$	4.22	$m_{agua} (kg)$
Secado convectivo						50°C
Humedad 63.5%	$v_{aire} = 2m/s$	4.22	3.10	$m_{sachatmate\ OD} (kg)$	1.12	$m_{agua\ en\ el\ aire} (Kg)$
Humedad final 40%						
Rendimiento	31.04%					

FUENTE: Elaboración Propia

Activar W
Ve a Configur

3.7.2. BALANCE DE ENERGÍA

La ley de la conservación de la energía establece que la energía no se crea ni se destruye. La energía total contenida en las sustancias que entra en la instalación más la energía añadida en la instalación ha de ser igual a la energía total que sale de ella (Earle, 1988).

El concepto de balance de energía macroscópico es similar al del balance de materia macroscópico. Ecuación para el balance de energía:

$$(Energía\ generada) = (Energía\ requerida + Energía\ perdida) \quad Ec.(41)$$

Durante el proceso, algunas de estas formas de energía se pueden convertir en otras. La energía mecánica de un fluido puede transformarse en calor debido a la fricción (Earle, 1988).

Ecuación para la generación energía:

$$q = \dot{m}Cp\Delta T \quad Ec.(42)$$

Para el escaldado

$$Q_{c\ gp} = Q_F + Q_A + Q_P \quad Ec.(43)$$

Dónde:

$Q_{c\ gp}$ = Calor de combustión cedido por el combustible (gas propano)

Q_A = Calor acumulado por material del recipiente (acero) en el proceso

Q_F = Calor acumulado por el fruto a escaldar

Q_P = Calor perdido

Para determinar el calor perdido la ecuación queda como:

$$Q_P = m_{gp} \times Q_{c\ gp} - m_F \times cp_F \times (T_f - T_i) - m_A \times cp_A \times (T_f - T_i) \quad Ec.(44)$$

Dónde:

m_{gp} = Masa del gas propano

m_F = Masa de la fruta

m_a = Masa del material del recipiente (acero)

Para determinar la energía mecánica de la estufa y el secador. Siempre que sea razonablemente constante a lo largo del proceso.

$$E_{mecanica} = E_{util} - E_{perdida} \quad Ec.(45)$$

$$E_{mecanica} = PXT \quad Ec.(46)$$

$$E_{requerida} = m_f CP_f (t_i - t_f) \quad Ec.(47)$$

Dónde:

P = Potencia del equipo

T = Tiempo de funcionamiento de la operación

CP = Capacidad calórica

η = Eficiencia y / o rendimiento

t_i, t_f = Temperatura inicial y final en cada proceso.

Rendimiento

$$\eta = \frac{E_{mecanica} - E_{perdida}}{E_{mecanica}} * 100 \quad Ec. (48)$$

En la tabla 29, se observa el rendimiento energético para la obtención del Sachatomate osmodeshidratado, se aprecia un rendimiento de 4.44 %, estos datos se deban a los cálculos realizados a nivel de laboratorio.

Tabla N° 29: Balance de energía para la elaboración del Sachatome osmodeshidratado

T2	55	1-3	30			
Datos generales						
Condiciones de operación	°Brix	55	1.22	Kg		
	Relación pulpa de fruta/jarabe	1:3				
	Temperatura	30°C				
	$Cp_{sachatome(fruta\ fresca)}$	3913.89 J/kg°C	para escaldado			
		3914.19 J/kg°C	para osmosis			
ETAPA/Condiciones		Q entrada	Q acumulada	Q perdido	T (°C) Inicial	T (°C) final
ESCALDADO						
	10 Kg	16019.99 KJ	2792.00 KJ	13227.99 KJ	17	85
	4 Kg					
	0.35 Kg					
	3.91 KJ/Kg°C					
	0.48 KJ/Kg°C					
	45771.4 KJ/Kg					
RENDIMIENTO EN EL ESCALDADO						17.43%
DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA						
Jarabe 55°Brix y R/F:J 1:3	Azúcar (kg)	0	8640 KJ	1050.24 KJ	7589.76 KJ	17 30
P incubadora	300 Watt					
Tiempo	8 H					
	$m_{pulpa\ de\ fruta}$	6.30 Kg				
	$Cp_{pulpa\ de\ fruta}$	3.91 KJ				
	$m_{solucion\ osmotica}$	20.41 Kg				
	$Cp_{solución\ osmótica}$	2.75 KJ				

RENDIMIENTO EN EL PROCESO OSMÓTICO							12.16%
Secado convectivo		V = 2m/s				17	50
	P _{secador}	1500 Watt	45900 Kj	2038.84 KJ	43861.16 KJ		
	T _{secado}	8.5 H					
	Área L	0.75 m ²					
	l (espesor de la pulpa de fruta)	0.005 M					
	λ _{agua}	2433 Kj/kg					
	T _{secado}	65 °C					
	Kg de agua perdida	1.117					
RENDIMIENTO EN EL PROCESO DE SECADO							4.44%

FUENTE: Elaboración propia.

Según Lenart y Lewicki (1988) indican que la energía usada en deshidratación osmótica a una temperatura de 40°C y reutilizando la solución (jarabe) por evaporación fue inferior que la consumida por el secado convectivo de aire caliente a 70°C. Por consiguiente obtuvieron un producto final de igual humedad en ambos casos. Cabe destacar, que un significativo ahorro energético puede lograrse cuando la deshidratación osmótica se usa como pretratamiento antes de la congelación ya que la disminución de la humedad del alimento reduce la carga energética de refrigeración necesaria para el congelado (Huxsoll, 1982; citado por Della, 2010).

CONCLUSIONES

La evaluación de la cinética de osmodeshidratación nos permitió observar que en los primeros 50 minutos existe un descenso rápido de la concentración del jarabe; es así que con el jarabe de 45° Brix se logra disminuir un promedio de 7°Brix, en comparación al tratamiento con concentración de 55 °Brix, donde el jarabe logra disminuir aproximadamente 10 °Brix. La concentración del jarabe es la variable que más influye directamente sobre la velocidad de osmodeshidratación.

Se determinó que el mayor efecto sobre los factores de transferencia de masa es el tratamiento T2 (concentración de jarabe 55 °Brix, relación de pulpa de fruta/jarabe 1:3 y temperatura 30°C), mientras que el menor efecto sobre los factores de transferencia de masa es en el tratamiento T8 (concentración de jarabe 45 °Brix, relación pulpa de fruta jarabe 1:2 y temperatura 30°C). Siendo la concentración del jarabe la variable que influye significativamente en los factores de transferencia de masa a un nivel de significancia ($p\text{-value} < 0.05$).

Se determinó el para los datos ajustados al modelo Page modificado, observándose que el para la deshidratación osmótica del Sachatomate se encuentra en el intervalo de 0.47×10^{-8} a 1.98×10^{-8} m²/s. Sin embargo, se observó que la concentración del jarabe tiene una relación inversa sobre el valor de la difusividad efectiva D_{ef} , lográndose una mayor difusividad en el tratamiento a 45 °Brix relación pulpa de fruta/jarabe 1:3, y 30°C.

Al evaluar las microfotografías obtenidas en las muestras de fruto fresco, fruto seco sin OD, fruto OD y fruto OD con operación posterior de secado convectivo, se pudo observar que el Sachatomate OD no sufrió daños en el tejido celular; lo que implica que el proceso de osmodeshidratación a las condiciones estudiadas contribuye con la conservación de la morfología del tejido.

Al determinar la η en las muestras OD se observó que la η baja fue de 0.9273, que corresponde al tratamiento T2 (Concentración de jarabe 55 °Brix, relación pulpa de fruta/jarabe 1:2, temperatura de 30°C), siendo necesario una posterior operación como el secado para la reducción de la actividad acuosa. Así mismo se obtuvo un rendimiento de 63.31% para la pulpa del Sachatomate fresco, mientras que el Sachatomate Osmodeshidratado muestra un rendimiento de 31.04%.

RECOMENDACIONES

Se recomienda evaluarla cinética de osmodeshidratación en otros genotipos de Sachatomate con el objetivo de realizar comparaciones en la cinética de osmodeshidratación.

Estudiar la reutilización de soluciones concentradas de azúcar para la determinación del número de veces de reutilización de jarabes y evitar procesos de fermentación.

Evaluar operaciones posteriores al proceso de osmodeshidratación que contribuyan a la mayor reducción de la actividad acuosa.

BIBLIOGRAFÍA

- A.O.A.C. Association of Oficial Analytical Chemists. (1980). *Official Methods of Analysis*. W. Washington: Horwitz (ed).
- A.O.A.C. Association of Oficial Analytical Chemists. (1997). *Official Methods of Analysis*. W. Washington D.C.: Horwitz (ed).
- AGUAISA, O. X. & CARLOSAMA, W. A. (2007). *Elaboración de enconfitado de sábila (Aloe Barbadencis) por el método deshidratación osmótica directa* (Tesis de pregrado). Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador.
- ALCAZAR, J. (2002), *Diccionario técnico de industria alimentaria*. SENATI, Cusco, Perú.
- ALVARADO, W. P. (2006). *Estudio del efecto de la deshidratación osmótica como pretratamiento para el proceso de secado por aire en piña (Ananas comosus) de variedad milagreña o perolera*. (Tesis de pregrado). Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador.
- ALZAMORA S. M., GUERRERO S. N., NIETO A. B., & VIDALES S. L. (2004). *Conservación de frutas y hortalizas mediante tecnologías combinadas*. Manual de capacitación. FAO.
- ALZAMORA, S. M., CERRUTTI, P., GUERRERO, S. & LÓPEZ-MALO, A. (1995). *Minimally processed fruits by combined methods*. In *Food preservation by moisture control -fundamentals and applications*. Technomic Publishing Co., Inc. E.U.A.
- AMAYA, J. (2006). *Tomate de árbol. Biodiversidad y Conservación de los Recursos Filogenéticos Andinos*, Gerencia General de Recursos Naturales y Conservación del medio ambiente, Perú.
- AMAYA, J. JULCA, G. & PARRA, D. (2010). *Tomate de Árbol (Cyphomandra betacea Send.)*. Publicado por Gerencia Regional de Recursos Naturales y Gestión del Medio Ambiente. Trujillo, Perú.
- ARANGO, G. & CAMACHO, G. (1997). *Deshidratación osmótica de frutas*. ICTA. Universidad Nacional de Colombia. Colombia.
- ARGAIZ, A., LÓPEZ-MALO, A. & WELTI-CHANES. J. (1995). *Considerations for the development and stability of high moisture fruit products during storage*. In *Food preservation by moisture control -*

- fundamentals and applications (pp. 729-760). Eds. Welti-Chanes, J. & Barbosa-Cánovas, G., Technomic Pub. Co. USA.
- AZUARA, E., BERISTAIN, C.I., & GUTIÉRREZ, G.F. (1998). *A Method for continuous kinetic evaluation of osmotic dehydration*. Lebensmittel-Wissenschaft und- Technologie. Mexico.
 - BARAT, J. M.; ANDRÉS, A. & FITO, P. (1998). *Deshidratación osmótica de alimentos*. Servicio de publicaciones. Universidad Politécnica de Valencia, España.
 - BARRA, J. S. (2009). *Desarrollo de snacks en base a zanahoria (Daucus carota L.) variedad ábaco deshidratada osmóticamente para consumidores infantiles* (Tesis de pregrado). Universidad de Chile, Santiago de Chile, Chile.
 - BOCCALATTE, F. & PAGANO A., (2009). *Estudio de la cinética de deshidratación osmótica de manzanas y del efecto sobre la calidad final del producto deshidratado*. Programa Institucional Alimentos – UNICEN - Ciencia y Tecnología de los Alimentos: Avances en Inocuidad y Microbiología. Argentina.
 - BOLÍN, H. R.; HUXSOLL, C. C.; JACKSON, R. & K.C.N.G. (1983). *Effect of osmotic agents and concentration on fruit quality*. Journal of Food Science. DOI: 10.1111/j.1365-2621.1983.tb14823.x
 - BUENO, A. (2002). *El Diseño Factorial 2k y su optimización en la investigación*. Cusco – Perú.
 - CADENA, E. (2003). *Estudio de prefactibilidad para tomate de árbol*. Quito, Ecuador.
 - CAMPOS, A. L. & FLORES, D. (2012). *Deshidratación osmótica de placas de chayote (Sechiumedule) utilizando soluciones hipertónicas de cloruro de sodio y sacarosa* (Tesis de pregrado). Universidad de Veracruzana, Mexico.
 - CANAHUA, H. (2007) *Estadística Medio Ambiental*. UNSAA, Arequipa, Perú.
 - CARRANZA, L. F. (2013). *Evaluación de tres tipos de injertos de Tomate de Arbol (Cyphomandra betacea), en dos porta injertos silvestres en la*

- zona agroecologica del canton patate Provincia de Tungurahua.* (Tesis de grado). Universidad Estatal de Bolivar. Ecuador.
- CASTELLÓ, M. (2007). *Efecto de las condiciones de operación en los cambios fisicoquímicos y fisiológicos de frutas mínimamente procesadas por deshidratación osmótica* (Tesis de posgrado). Valencia, España.
 - CEBALLOS, G. E. (2005). *Estudios en papaya mínimamente procesada por deshidratación osmótica* (Tesis Doctoral). Universidad Politécnica de Valencia, España.
 - CHARLEY, H. (1995). *Tecnología de Alimentos: procesos químicos y físicos en la preparación de alimentos*. Zaragoza, España: Editorial LIMUSA.
 - CHENLO, F.; FERNÁNDEZ, C. MOREIRA, R.; & VÁZQUEZ, G. (2006). *Experimental results and modelling of the osmotic dehydration kinetics of chestnut with glucose solutions*. Journal of Food Engineering. México. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.03.002>. De fecha: 02/08/2015.
 - CHENLO, F.; FERRA, J. MOREIRA, R. & TORRES, M. (2008). *Deshidratación osmótica de Castaña en medios estáticos y dinámicos de sal, sacarosa y glucosa*. Revista Ciencia y Tecnología Alimentaria. México.
 - CHIRIFE, J.; FAVETTO, G.J.; & FERRO, C. (1981). *The water activity of fructose solutions in the intermediate moisture range*. Lebensmittel Wissenschaft und Technologie 15: 159-60. USA.
 - CODEX. *Código Internacional Recomendado de Prácticas de higiene para las Frutas y Hortalizas Deshidratadas Incluidos los Hongos Comestibles* (CAC/RCP 5-1971)
 - CONTRERAS, C. (2006). *Influencia del método de secado en parámetros de calidad relacionados con la estructura y el color de manzana y fresa deshidratadas* (Tesis doctoral). Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, España.
 - CRANK, J. (1964). *The Mathematics of Diffusion*. University Press: Oxford. USA.

- DELLA, P. (2010). *Secado de alimentos por métodos combinados: Deshidratación osmótica y secado por microondas y aire caliente* (Tesis de Maestría). UTN, Argentina.
- DOLZ, P. (2008). *Evaluación de la calidad de fruto en manzano: estudio de métodos no destructivos de análisis* (Tesis de pregrado). Universidad Politécnica de La Almunia de Doña Gordina, España.
- EARLE, R. (1988). *Ingeniería de los Alimentos*. Zaragoza, España: Editorial Acribia S.A.
- ENCISO R. & FELIX E. (2007). *Caracterización molecular de lulo (Solanum quitoense) y tomate de árbol (Solanum betaceum) del Banco de Germoplasma de Corpoica Mediante el Empleo de Marcadores COS II*. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia Facultad de Ciencias Básicas Escuela de Ciencias Biológicas. Colombia.
- F.A.O., (1996). *Consulta internacional sobre Frutales Tropicales, Kuala Lumpur (Malasia)*, 15-19 de Julio de 1996. ESC: ICTF 96/INF. 1-10 y CRS.
- SÁNCHEZ, A.; LOPEZ, I.; SALAZAR, J. & FIALLOS, W. (1994). *Manejo integral del cultivo del tomate de árbol*. Proyecto FAO, TCP, Quito – Ecuador.
- FLORES, N.S. (2012). *Nanopartículas de Ag en Zeolitas A4 y Chabazita* (Tesis de Maestría). Centro de Investigaciones en Materiales Avanzados, S.C. PosGrado. México.
- GARCÍA, M. (2001). *Manejo cosecha y Postcosecha de Mora, Lulo y Tomate de Árbol*. CORPOICA, Colombia.
- GARCÍA, M. C. (2008). *Manual de manejo cosecha y poscosecha del tomate de árbol*. Bogotá, CORPOICA, Colombia.
- GEANKOPLIS, C. J. (1998). *Procesos de Transporte y Operaciones Unitarias*. 3º Edición. Universidad de Minnesota. México.
- GENINA, P. & ALTAMIRANO, S. B. (2005). *Deshidratación Osmótica de Prismas de Camote, Manzana y Papa*. Revista de Ciencia y Tecnología de América - INTERCIENCIA. Venezuela.
- GIOVANELLI, G.; B-ZANONI, V. LAVELLI, R. & NANI. (2002). *Water sorption, drying and antioxidant properties of dried tomato products*. Journal of Food Engineering. Vol.52, 135-141.

- GRIJALVA, J. (2004). *Fruticultura: Cultivo de tomate de árbol*. Sangolquí. Ecuador.
- GUTIÉRREZ, H. & DE LA VARA, R. (2012). *Análisis y Diseño de Experimentos*. México: 3ra. Ed. Edit. McGrawHill.
- HARO, A. A. (2004). *Estudio de la Conservación de Arándanos (*Vaccinium corymbosum*) cv. Elliot, mediante Deshidratación Osmótica y Secado por Aire. Determinación de Condiciones Experimentales Óptimas de Procesamiento* (Tesis de pre grado). Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile.
- HELDMAN, D. & LUND D. (2007). *Handbook of Food Engineering*. 2da edic. Editorial. CRC Press. EE. UU.
- HERNANDEZ, R.; FERNANDEZ, C. & BDPISTA, P. (2010). *Metodología de la Investigación*. Editorial Mc Grau Hiill, 5ta. Edición. México.
- HOLMAN, J. P. (1999). *Transferencia de Calor*. Octava edición (primera en español)". Madrid – España: Editora Concepción Fernández.
- INSTITUTO NACIONAL DE INNOVACIÓN AGRARIA-INIA & TRANSFERENCIA DE LA TECNOLOGÍA AGROPECUARIA-TTA (1993). *Utilización de los Cultivos como Materia Prima Agroindustrial*. Informe técnico N° 8. Instituto Nacional de Investigación Agraria. Lima, Perú.
- INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS – INIAP. (2008). *Generación y difusión de alternativas tecnológicas para mejorar la productividad del tomate de árbol y babaco en la sierra ecuatoriana*, INIAP Estación Santa Catalina – Ecuador.
- INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS – INIAP. (2004). *Manual del cultivo del tomate de árbol*. Editorial Tecnigrava. Ecuador.
- JOSA, B. (2005). *Frutas y Verduras Secas y Deshidratadas*. origen español (U.E.) a su servicio. Aplicaciones. Valencia, España. Recuperado de: <http://www.xpress.es/bjq/PAG3.htm>.
- LE MAGUER, M. (1988). *Osmotic Dehydration: Review and future directions*. En Proceedings of the International Symposium on Progress in Food Preservation Processes.

- LEBN, J. (1996). *Guía para el cultivo de tomate de árbol*. INIAP-COTESU, Ecuador.
- LEITSNER, L. & GOULD, G. W. (2002). *Hurdle technologies. Combination treatments for food stability, safety and quality*. New York, USA, Kluwer Academic/Plenum Publishers.
- LENART, A. & LEWICKI, P. P. (1998). *Osmotic preconcentration of accrot tissue followed by convection drying*. En: *Preconcentration and Drying of food Material*. S. Bruin (Ed.), Elsevier, Amsterdam.
- LEON, J.; VITERI, P.; CEVALLOS, G. (2004). *Manual del Cultivo de Tomate de Árbol*. N° 61. Quito – Ecuador.
- MINISTERIO DE AGRICULTURA Y GANADERÍA-MAG & INSTITUTO INTERAMERICANO DE COOPERACIÓN PARA LA AGRICULTURA-IICA Convenio. (2001). *Identificación de Mercados y Tecnología para productos agrícolas tradicionales de exportación*. Subprograma de Cooperación Técnica. Recuperado de: <http://www.sica.gov.ec>. Ecuador.
- MARQUEZ, C. (2009). *Caracterización Fisiológica, Físico-Química, Reológica, Nutracéutica, Estructural y Sensorial de la Guanabana (Annona muricata L. cv ELITA)* (Tesis de Doctorado). Colombia.
- MARTÍNEZ, C. A. (2012). *Efecto de la concentración y temperatura en la deshidratación osmótica del tomate de árbol (Cyphomandra betacea)* (Tesis de pregrado). Universidad Técnica de Ambato, Ecuador.
- MARTÍNEZ-NAVARRETE, N.; ANDRÉS, A.; CHIRALT, A. & FITO, P. (2000). *Termodinámica y cinética de sistema alimento entorno*. Servicio de publicaciones. Universidad Politécnica de Valencia, España.
- MAZZEO, M.; LEÓN, L.; HERNÁNDEZ, H. & JAIME, H. (2006). *Deshidratación osmótica de arveja utilizando soluciones de glicerol y cloruro de sodio*. Rev. Vector, vol 01.
- McCABE W.L.; SMITH, J.C. & HARRIOTT, P. (1998). *Operaciones Unitarias en Ingeniería Química*. España: Cuarta Edición, Edigrafos, S.A.
- MONCADA, L. A. (2002). *Ciencia y Tecnología de los Alimentos*. Universidad Nacional de Trujillo, Perú.
- MONTES DE OCA, C., GERSCHENSON, L. N. & ALZAMORA, S. M. (1991). *Effect of the addition of fruit juices on the decrease of water activity*

- during storage of sucrose-containing model systems. *Lebensmittel Wissenschaft Undtechnologie* 24: 375-377.
- MONTGOMERY, D. (2004). *Diseño y análisis de experimentos*. México: 2da. Edición, Editorial Limusa, Grupo Noriega Editores.
 - MOREIRA, P. & MURR, F., (2004). *Mass transfer kinetics of osmosis dehydration of cherry tomato*. *Journal of Food Engineering*, 61, 292-295.
 - NTE-INEN 1 909:2009. (2009). *Norma Técnica Ecuatoriana: Frutas Frescas - Tomate de árbol - Requisitos*. Instituto Ecuatoriano de Normalización. Quito, Ecuador.
 - ÑAHUI, B. (2014). *Evaluación de Sustratos para la Producción de Plantulas de Sachatomate (Solanum betaceum cav.) En Lircay-Angaraes-Huancavelica* (Tesis de grado). Huancavelica – Perú.
 - OCHOA, C. I. & AYALA, A. (2005). *Modelos matemáticos de transferencia de masa en deshidratación osmótica*. *Ciencia y Tecnología Alimentaria*, julio, año/vol. 4, número 005. Sociedad Mexicana de Nutrición y Tecnología de Alimentos. México.
 - PALACIOS, S. (2015). *Estadística Experimental Aplicada a la ciencia e ingeniería*. Lima – Peru: CONCYTEC
 - PARJOKO, K. A.; RAHMAN, M. S.; BUCKLE, K. A; PERERA, C. O. & (1996). *Osmotic Dehydration kinetics of pineapple wedges using palm sugar*. *Lebensmittel-Wissenschaft und-Technolgie*.
 - PARK, K. J.; BIN, A. & BROD, F.P.R. (2003). *Drying of pear d'Anjou with and without osmotic dehydration*. *Journal of Food Engineering*, 56: 97-103.
 - PELEG, M., (1998). *An empirical model for the description of moisture sorption curves*. *Journal Food Science*. 53 (4). 1216-1219.
 - POINTING, J.D. (1973). *Osmotic dehydration on fruits. Recent modification and applications*. *Process Biochemistr. EE.UU*.
 - POINTING, V.; WATTERS, G. G.; FORREY, R. R.; JACSON, R. & STANLEY, W. L. (1966). *Osmotic dehydration of fruits. Food Technology*. EE.UU.
 - QUEZADA, I. (2001). *Deshidratación, jugoso negocio*. Recuperado de: <http://www.soyentrepreneur.com/pagina.hts?N=12641>. De fecha: 25/11/2015

- RAMIRO, J. (2013). *Modelado y simulación de la deshidratación combinada osmótica-microondas de frutihortícolas* (Tesis doctoral). Universidad Nacional de La Plata, Argentina.
- RANKEN, M. (1993). *Manual de la Industria de los Alimentos*. Zaragoza, España. Segunda Edición. Editorial Acribia.
- RAOULT-WACK, A., GUILBERT, S., LE MAGUER, M. & RIOS, G. (1991). *Simultaneous water and solute transport in shrinking media*. Part 1. Application to dewatering and impregnation soaking process analysis. *Drying Technology*.
- REINHEIMER, M. A. (2011). *Diseño Conceptual de Procesos en Ingeniería de Alimentos. Incorporación de la Microestructura en el Análisis* (Tesis de grado). Universidad Nacional del Litoral. Argentina.
- REPO, R. & ENCINA, C.R. (2008). *Determinación de la Capacidad Antioxidante y Compuestos Bioactivos de Frutas Nativas Peruanas*. Revista Sociedad Química N° 2 (108-124) Universidad Agraria La Molina. Lima - Perú.
- REVELO, J.; PÉREZ, E. & MAILA, M. (2004). *Manual guía de capacitación del cultivo ecológico del tomate de árbol en Ecuador*. INIAP, FONTAGRO, Ecuador.
- ROCA, G. A. (1981). *El Sachatomate (Cyphomandra betacea, send) y su industrialización* (Tesis de grado). UNSAAC. Cusco, Perú.
- RODRIGUEZ, C.A. (2014). *Efecto de la Concentración y Temperatura de Jarabes de Fructosa y Sacarosa Invertida en las Características Fisicoquímicas y Aceptación Sensorial de Cubos de Mango (Mangifera indica) Variedad Edwards Deshidratado Osmoconvectivamente* (Tesis de Pregrado). Universidad Nacional de Trujillo. Perú
- ROJAS C., M. (2002). *Manual de investigación y redacción científica*. Lima-Perú: Book Xx Press. UMSM. Perú.
- ROMERO, C.; PEÑAHERRERA V.; & CARBAJAL, F. (1994). *Deshidratación Osmótica de Hojas Caduca*. IITI – Instituto de Investigaciones Tecnológicas e Industriales. Ecuador.
- SALTOS, H; ROBALDINO, D. & VITERI, C. (1998). *Durabilidad postcosecha de dos variedades de tomate de árbol*. En: *Actas del Primer*

Congreso Iberoamericano de Tecnología Poscosecha y agroexportaciones. Red Iberoamericano de Tecnología Poscosecha de Frutas y verduras (RITEP). Hermosillo – México.

- SAMANIEGO, I. (2003). *Desarrollo de una alternativa tecnológica para la obtención de pulpas tratadas enzimáticamente de Chirimoya* (Tesis Doctoral). Escuela Técnica Superior Politécnica de Chimbotazo. Riobamba, Ecuador.
- SANEZ, L.C. (2012). *Fisico Química de Alimentos*. Universidad Nacional del Callao. Perú.
- SANTILLAN, F. (2001). *Manual del Contenido Sustentable de Tomate de Árbol*. Cuenca, Ecuador.
- SCHWARTZ, M. (1993). *Conservación de frutas por métodos combinados: una alternativa de interés para los productores y la agroindustria*. Revista Simiente.
- SCHWARTZ, M. (1994). *La deshidratación osmótica como técnica de preconservación de frutas y hortalizas*. Aconex.
- SEVERO, P. (2010). *Estadística experimental aplicada a ciencia e ingeniería*. Lima, Perú: Edición CONCYTEC.
- SHARMA S. Y KAMAL S. (2003), *Ingeniería de Alimentos: Operaciones Unitarias y Prácticas de Laboratorio*. México: Editorial Limusa.
- SHARMA, S., MULVANEY, S. & RISVI, S. (2007). *Ingeniería de alimentos: Operaciones Unitarias y práctica de laboratorio*. México: Editorial Limusa miley.
- SORIA, N. (2006). *Tecnología del cultivo de tomate de árbol*. Proyecto SICA. Quito - Ecuador. Recuperado de: http://www.sica.gov.ec/agronegocios/productos%20para%20invertir/frutas/toma%20te%20arbol/tecnologia_%20cultivo.htm
- TAPIA, M.E. S. & FRIES, A. M. (2007). *Guía de Campo de los Cultivos Andinos*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Asociación Nacional de Productores Ecológicos del Perú. ISBN 978-92-5-305682-8. Lima.
- TEPPER P.A., (1996). *Transferencia de Masa Durante la Deshidratación Osmótica de Palta CV Fuerte*. Universidad de Chile. Santiago – Chile.

- TORRES, J. D. (2007). *Optimización de las Condiciones de Operación de Tratamientos Osmóticos Destinados Al Procesado Mínimo De Mango (Mangifera indica L.)* (Tesis Doctoral). Universidad Politécnica de Valencia. España.
- TORRES, N. R. (2006). *Determinación del Potencial Nutritivo y Nutraceutico de Cuatro Cultivares de Tomate de Árbol (Solamun betaceum Cav.)* (Tesis de grado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba, Ecuador.
- VEGA A.; ANDRÉS A. & FITO P. (2001). *Cinética de secado por aire caliente de dados de pimiento (Capsicum annum L.)*. III Congreso Iberoamericano de Ingeniería en Alimentos. Tomo II, Cap. 2, 228-234.
- VILLADA, C., MALDONADO L., TORRES A. & CATRILLÓN, M. (2007). *Cambios microestructurales en tajadas de yuca (Manihot Esculenta Crantz) variedad MCOL 1522 por deshidratación osmótica*. ISSN: 1692-7125 ed: Centro Publicaciones Universidad De Pamplona. Colombia.
- WAIS, N. (2011). *Secado Combinado de Frutas: Deshidratación Osmótica y Microondas* (Tesis doctoral). Universidad Nacional de La Plata. Argentina.
- XUE, K. (2004). *Optimización del secado por aire caliente de pera* (Tesis doctoral). Universidad de Valencia. España.
- XUÉ, K.; CHÁFER, M.; GONZALEZ, C.; FITO, P. & CHIRALT, A. (2001). *Secado por aire caliente de pera variedad Blanquilla*. III Congreso Iberoamericano de Ingeniería en Alimentos. Tomo II, Cap. 2, 235-240.
- YANZA E. G. (2003). *Diseño de un Secador por Atomización a Nivel Piloto para Jugo Concentrado de Tomate de Árbol* (Tesis de Grado). Universidad Nacional de Colombia. Colombia.
- ZAPATA, J. & CASTRO, G. (1998). *Cinética de la deshidratación osmótica de piña con alcohol etílico como osmodeshidratante*. Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquina. Colombia.

ANEXOS

ANEXO 01

CORRIDAS EXPERIMENTALES: VARIACIÓN DE LA
CONCENTRACIÓN DE LA SOLUCIÓN DEL JARABE DURANTE LA
DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA DEL SACHATOMATE.

CORRIDAS EXPERIMENTALES: VARIACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE LA SOLUCIÓN DEL JARABE DURANTE LA DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA DEL SACHATOMATE

Primera corrida experimental (BLOQUE I)

tiempo (min)	C2R1T1	C2R2T2	CIR2TI	CIRITI	C2R1T2	C2R2T1	C1R2T2	C1R1T2
	T 1	T 2	T 3	T 4	T 5	T6	T7	T8
0	55.00	55.00	45.00	45.00	55.00	55.00	45.00	45.00
10	51.80	53.50	43.90	42.40	53.00	52.20	43.50	43.00
20	51.00	53.00	43.00	40.80	51.80	52.00	43.30	42.60
30	50.00	52.60	42.70	41.10	51.00	52.00	43.00	42.30
60	48.50	52.00	42.20	40.90	49.50	51.50	42.60	41.70
120	47.20	50.80	41.70	39.30	48.20	50.50	42.00	40.80
240	45.90	50.00	41.30	39.00	47.00	49.20	41.20	39.80
360	45.20	49.00	41.10	38.20	44.20	49.00	40.50	39.00
480	45.20	48.20	40.60	38.00	44.20	49.00	40.00	37.90

Segunda corrida experimental (BLOQUE II)

tiempo (min)	C2R1T1	C2R2T2	CIR2TI	CIRITI	C2R1T2	C2R2T1	C1R2T2	C1R1T2
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
0	55.00	55.00	45.00	45.00	55.00	55.00	45.00	45.00
10	54.00	53.70	44.20	43.30	53.00	52.10	43.00	42.00
20	53.30	53.00	44.00	42.90	52.00	52.00	42.40	41.70
30	52.20	53.00	43.30	42.20	51.00	51.80	42.20	41.50
60	52.00	52.00	43.10	41.90	50.50	50.40	41.70	40.80
120	51.00	51.10	42.20	40.40	49.00	50.00	41.20	40.00
240	49.60	50.60	42.00	40.00	48.00	49.30	40.40	39.00
360	48.30	49.50	41.20	39.00	47.90	49.00	39.80	38.00
480	48.00	47.50	41.00	38.20	47.00	49.10	39.90	37.80

Tercera corrida experimental (BLOQUE III)

tiempo (min)	C2R1T1	C2R2T2	CIR2TI	CIRITI	C2R1T2	C2R2T1	C1R2T2	C1R1T2
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
0	55.00	55.00	45.00	45.00	55.00	55.00	45.00	45.00
10	52.80	53.20	44.00	43.10	52.50	53.30	43.00	42.20
20	50.00	52.10	43.80	42.00	51.10	53.00	42.80	42.00
30	50.80	51.00	42.30	42.00	50.10	52.80	42.10	41.20
60	49.60	50.20	42.00	41.00	48.20	51.00	41.50	40.30
120	48.20	49.30	41.20	40.00	47.30	50.00	40.70	39.00
240	47.20	48.00	40.50	38.20	46.00	50.00	40.00	38.00
360	46.60	47.50	41.00	38.70	44.50	49.30	40.00	37.50
480	46.00	48.00	39.00	38.00	44.70	47.80	39.50	37.30

ANEXO 02

CORRIDAS EXPERIMENTALES: DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD, SÓLIDOS SOLUBLES, PESO Y ACTIVIDAD ACUOSA DEL SACHATOMATE OSMODESHIDRATADO

RESULTADOS DE LA DETERMINACIÓN DE LA FRACCIÓN DE HUMEDAD EN MUESTRAS DE SACHATOMATE OSMODESHIDRATADO ()

	C2R1T1	C2R2T2	CIR2TI	CIRITI	C2R1T2	C2R2T1	C1R2T2	C1R1T2
	1	2	3	4	5	6	7	8
R1	0.6706	0.6468	0.6768	0.6903	0.6548	0.6782	0.7045	0.7084
R2	0.6792	0.6369	0.7027	0.7068	0.6499	0.6796	0.7187	0.7189
R3	0.6549	0.6218	0.6697	0.6786	0.6324	0.6589	0.6916	0.6936
-	0.6683	0.6352	0.6831	0.6919	0.6457	0.6722	0.7050	0.7070

RESULTADOS DE LA DETERMINACIÓN DE SÓLIDOS SOLUBLES EN MUESTRAS DE SACHATOMATE OSMODESHIDRATADO ()

	C2R1T1	C2R2T2	CIR2TI	CIRITI	C2R1T2	C2R2T1	C1R2T2	C1R1T2
	1	2	3	4	5	6	7	8
R1	0.2425	0.2605	0.2332	0.2241	0.2554	0.2338	0.2168	0.2099
R2	0.2422	0.2704	0.2184	0.2115	0.2567	0.2541	0.2224	0.2016
R3	0.2525	0.2880	0.2449	0.2359	0.2728	0.2495	0.2205	0.2210
-	0.2457	0.2730	0.2322	0.2238	0.2617	0.2458	0.2199	0.2108

RESULTADOS DE LA DETERMINACIÓN DE LA PERDIDA DE PESO PARA EL SACHATOMATE OSMODESHIDRATADO ()

	C2R1T1	C2R2T2	CIR2TI	CIRITI	C2R1T2	C2R2T1	C1R2T2	C1R1T2
	1	2	3	4	5	6	7	8
R1	0.3166	0.3242	0.2702	0.2696	0.3337	0.3201	0.3419	0.1855
R2	0.3161	0.3394	0.3111	0.2842	0.3181	0.2589	0.2012	0.1989
R3	0.3166	0.3201	0.2702	0.2696	0.2988	0.3201	0.2575	0.2490
-	0.3164	0.3279	0.2838	0.2745	0.3168	0.2997	0.2669	0.2111

RESULTADOS DE LA DETERMINACIÓN DE LA ACTIVIDAD ACUOSA PARA EL SACHATOMATE OSMODESHIDRATADO

	C2R1T1	C2R2T2	CIR2TI	CIRITI	C2R1T2	C2R2T1	C1R2T2	C1R1T2
	1	2	3	4	5	6	7	8
R1	0.9565	0.9273	0.9615	0.9685	0.9409	0.9594	0.9829	0.9878
R2	0.9638	0.9343	0.9687	0.9758	0.9480	0.9667	0.9903	0.9853
R3	0.9493	0.9203	0.9542	0.9611	0.9338	0.9521	0.9754	0.9903
-	0.9565	0.9273	0.9615	0.9685	0.9409	0.9594	0.9829	0.9878

ANEXO 03

PRUEBA DE MÚLTIPLES RANGOS PARA LAS MEDIAS DE LA HUMEDAD, FRACCIÓN DE SÓLIDOS SOLUBLES, PERDIDA DE PESO, PERDIDA DE AGUA, GANANCIA DE SÓLIDOS SOLUBLES Y LA ACTIVIDAD ACUOSA.

Anexo 03-A: Pruebas de Múltiple Rangos para

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

	Casos	Media	Grupos Homogéneos
T2	3	0.635167	X
T5	3	0.6457	XX
T1	3	0.668233	XXX
T6	3	0.672233	XXXX
T3	3	0.683067	XXX
T4	3	0.6919	XX
T7	3	0.704933	XX
T8	3	0.706967	X

Grupos homogéneos según la alineación de las X's en columnas.

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Limites
T1 - T2		0.0330667	0.0378531
T1 - T3		-0.0148333	0.0378531
T1 - T4		-0.0236667	0.0378531
T1 - T5		0.0225333	0.0378531
T1 - T6		-0.004	0.0378531
T1 - T7		-0.0367	0.0378531
T1 - T8	*	-0.0387333	0.0378531
T2 - T3	*	-0.0479	0.0378531
T2 - T4	*	-0.0567333	0.0378531
T2 - T5		-0.0105333	0.0378531
T2 - T6		-0.0370667	0.0378531
T2 - T7	*	-0.0697667	0.0378531
T2 - T8	*	-0.0718	0.0378531
T3 - T4		-0.00883333	0.0378531
T3 - T5		0.0373667	0.0378531
T3 - T6		0.0108333	0.0378531
T3 - T7		-0.0218667	0.0378531
T3 - T8		-0.0239	0.0378531
T4 - T5	*	0.0462	0.0378531
T4 - T6		0.0196667	0.0378531
T4 - T7		-0.0130333	0.0378531
T4 - T8		-0.0150667	0.0378531
T5 - T6		-0.0265333	0.0378531
T5 - T7	*	-0.0592333	0.0378531
T5 - T8	*	-0.0612667	0.0378531
T6 - T7		-0.0327	0.0378531
T6 - T8		-0.0347333	0.0378531
T7 - T8		-0.00203333	0.0378531

* indica una diferencia significativa.

Anexo 03-B: Pruebas de Múltiple Rangos para

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

	Casos	Media	Grupos Homogéneos
T8	3	0.210267	x
T4	3	0.221867	x
T7	3	0.224233	x
T3	3	0.231233	xx
T6	3	0.242033	xxx
T1	3	0.243633	xxx
T5	3	0.259933	xx
T2	3	0.2727	x

Grupos homogéneos según la alineación de las X's en columnas.

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
T1 - T2		-0.0290667	0.0335115
T1 - T3		0.0124	0.0335115
T1 - T4		0.0217667	0.0335115
T1 - T5		-0.0163	0.0335115
T1 - T6		0.0016	0.0335115
T1 - T7		0.0194	0.0335115
T1 - T8		0.0333667	0.0335115
T2 - T3	*	0.0414667	0.0335115
T2 - T4	*	0.0508333	0.0335115
T2 - T5		0.0127667	0.0335115
T2 - T6		0.0306667	0.0335115
T2 - T7	*	0.0484667	0.0335115
T2 - T8	*	0.0624333	0.0335115
T3 - T4		0.00936667	0.0335115
T3 - T5		-0.0287	0.0335115
T3 - T6		-0.0108	0.0335115
T3 - T7		0.007	0.0335115
T3 - T8		0.0209667	0.0335115
T4 - T5	*	-0.0380667	0.0335115
T4 - T6		-0.0201667	0.0335115
T4 - T7		-0.00236667	0.0335115
T4 - T8		0.0116	0.0335115
T5 - T6		0.0179	0.0335115
T5 - T7	*	0.0357	0.0335115
T5 - T8	*	0.0496667	0.0335115
T6 - T7		0.0178	0.0335115
T6 - T8		0.0317667	0.0335115
T7 - T8		0.0139667	0.0335115

* indica una diferencia significativa.

Anexo 03-C: Pruebas de Múltiple Rangos para

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

	Casos	Media	Grupos Homogéneos
T8	3	0.211133	X
T7	3	0.266867	XX
T4	3	0.274467	XX
T3	3	0.283833	XX
T6	3	0.2997	XX
T1	3	0.316433	X
T5	3	0.316867	X
T2	3	0.3279	X

Grupos homogéneos según la alineación de las X's en columnas.

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
T1 - T2		-0.0114667	0.0918423
T1 - T3		0.0326	0.0918423
T1 - T4		0.0419667	0.0918423
T1 - T5		-0.000433333	0.0918423
T1 - T6		0.0167333	0.0918423
T1 - T7		0.0495667	0.0918423
T1 - T8	*	0.1053	0.0918423
T2 - T3		0.0440667	0.0918423
T2 - T4		0.0534333	0.0918423
T2 - T5		0.0110333	0.0918423
T2 - T6		0.0282	0.0918423
T2 - T7		0.0610333	0.0918423
T2 - T8	*	0.116767	0.0918423
T3 - T4		0.00936667	0.0918423
T3 - T5		-0.0330333	0.0918423
T3 - T6		-0.0158667	0.0918423
T3 - T7		0.0169667	0.0918423
T3 - T8		0.0727	0.0918423
T4 - T5		-0.0424	0.0918423
T4 - T6		-0.0252333	0.0918423
T4 - T7		0.0076	0.0918423
T4 - T8		0.0633333	0.0918423
T5 - T6		0.0171667	0.0918423
T5 - T7		0.05	0.0918423
T5 - T8	*	0.105733	0.0918423
T6 - T7		0.0328333	0.0918423
T6 - T8		0.0885667	0.0918423
T7 - T8		0.0557333	0.0918423

* indica una diferencia significativa.

Anexo 03-D: Pruebas de Múltiple Rangos para

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

	Casos	Media	Grupos Homogéneos
T2	3	-0.421333	x
T5	3	-0.407233	xx
T1	3	-0.3914	xxx
T6	3	-0.377267	xxx
T3	3	-0.359267	xxxx
T4	3	-0.3463	xxx
T7	3	-0.331133	xx
T8	3	-0.290267	x

Grupos homogéneos según la alineación de las X's en columnas.

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
T1 - T2		0.0299333	0.0719099
T1 - T3		-0.0321333	0.0719099
T1 - T4		-0.0451	0.0719099
T1 - T5		0.0158333	0.0719099
T1 - T6		-0.0141333	0.0719099
T1 - T7		-0.0602667	0.0719099
T1 - T8	*	-0.101133	0.0719099
T2 - T3		-0.0620667	0.0719099
T2 - T4	*	-0.0750333	0.0719099
T2 - T5		-0.0141	0.0719099
T2 - T6		-0.0440667	0.0719099
T2 - T7	*	-0.0902	0.0719099
T2 - T8	*	-0.131067	0.0719099
T3 - T4		-0.0129667	0.0719099
T3 - T5		0.0479667	0.0719099
T3 - T6		0.018	0.0719099
T3 - T7		-0.0281333	0.0719099
T3 - T8		-0.069	0.0719099
T4 - T5		0.0609333	0.0719099
T4 - T6		0.0309667	0.0719099
T4 - T7		-0.0151667	0.0719099
T4 - T8		-0.0560333	0.0719099
T5 - T6		-0.0299667	0.0719099
T5 - T7	*	-0.0761	0.0719099
T5 - T8	*	-0.116967	0.0719099
T6 - T7		-0.0461333	0.0719099
T6 - T8	*	-0.087	0.0719099
T7 - T8		-0.0408667	0.0719099

* indica una diferencia significativa.

Anexo 03-E: Pruebas de Múltiple Rangos para

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

	Casos	Media	Grupos Homogéneos
T4	3	0.0783333	x
T7	3	0.0814	x
T8	3	0.0829333	x
T3	3	0.0830667	x
T1	3	0.0838	x
T6	3	0.0869333	x
T5	3	0.0949667	x
T2	3	0.1006	x

Grupos homogéneos según la alineación de las X's en columnas.

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
T1 - T2		-0.0168	0.0327228
T1 - T3		0.000733333	0.0327228
T1 - T4		0.00546667	0.0327228
T1 - T5		-0.0111667	0.0327228
T1 - T6		-0.00313333	0.0327228
T1 - T7		0.0024	0.0327228
T1 - T8		0.000866667	0.0327228
T2 - T3		0.0175333	0.0327228
T2 - T4		0.0222667	0.0327228
T2 - T5		0.00563333	0.0327228
T2 - T6		0.0136667	0.0327228
T2 - T7		0.0192	0.0327228
T2 - T8		0.0176667	0.0327228
T3 - T4		0.00473333	0.0327228
T3 - T5		-0.0119	0.0327228
T3 - T6		-0.00386667	0.0327228
T3 - T7		0.00166667	0.0327228
T3 - T8		0.000133333	0.0327228
T4 - T5		-0.0166333	0.0327228
T4 - T6		-0.0086	0.0327228
T4 - T7		-0.00306667	0.0327228
T4 - T8		-0.0046	0.0327228
T5 - T6		0.00803333	0.0327228
T5 - T7		0.0135667	0.0327228
T5 - T8		0.0120333	0.0327228
T6 - T7		0.00553333	0.0327228
T6 - T8		0.004	0.0327228
T7 - T8		-0.00153333	0.0327228

* indica una diferencia significativa.

Anexo 03-F: Pruebas de Múltiple Rangos para

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

	Casos	Media	Grupos Homogéneos
T2	3	0.9273	X
T5	3	0.9409	XX
T1	3	0.956533	XX
T6	3	0.9594	XX
T3	3	0.961467	X
T4	3	0.968467	XX
T7	3	0.982867	X
T8	3	0.9878	X

Grupos homogéneos según la alineación de las X's en columnas.

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
T1 - T2	*	0.0292333	0.0193443
T1 - T3		-0.00493333	0.0193443
T1 - T4		-0.0119333	0.0193443
T1 - T5		0.0156333	0.0193443
T1 - T6		-0.00286667	0.0193443
T1 - T7	*	-0.0263333	0.0193443
T1 - T8	*	-0.0312667	0.0193443
T2 - T3	*	-0.0341667	0.0193443
T2 - T4	*	-0.0411667	0.0193443
T2 - T5		-0.0136	0.0193443
T2 - T6	*	-0.0321	0.0193443
T2 - T7	*	-0.0555667	0.0193443
T2 - T8	*	-0.0605	0.0193443
T3 - T4		-0.007	0.0193443
T3 - T5	*	0.0205667	0.0193443
T3 - T6		0.00206667	0.0193443
T3 - T7	*	-0.0214	0.0193443
T3 - T8	*	-0.0263333	0.0193443
T4 - T5	*	0.0275667	0.0193443
T4 - T6		0.00906667	0.0193443
T4 - T7		-0.0144	0.0193443
T4 - T8		-0.0193333	0.0193443
T5 - T6		-0.0185	0.0193443
T5 - T7	*	-0.0419667	0.0193443
T5 - T8	*	-0.0469	0.0193443
T6 - T7	*	-0.0234667	0.0193443
T6 - T8	*	-0.0284	0.0193443
T7 - T8		-0.00493333	0.0193443

* indica una diferencia significativa.

ANEXO 04

BALANCE DE MASA PARA EL PROCESO DE
OSMODESHIDRATACION REALIZADO DURANTE LAS CORRIDAS
EXPERIMENTALES

CAMBIOS COMPOSICIONALES DE LAS MUESTRAS EN LOS DIFERENTES TRATAMIENTOS:

Actividad acuosa (), fracción másica de agua (), fracción de sólidos solubles (), contenido de sólidos solubles en la fase líquida (), pérdida de peso (), pérdida de agua (), ganancia de sólidos solubles ()

TRAT.	C	R	T°							
	(°Brix)	(Sol:fru)	(°C)							
Exp. 1	55	1:2	20	0.9565 (0.0073)	0.6683 (0.0123)	0.2457 (0.0082)	0.2578 (0.0046)	-0.3164 (0.0003)	-0.3914 (0.0086)	0.0838 (0.0056)
Exp. 2	55	1:3	30	0.9273 (0.0070)	0.6352 (0.0126)	0.2730 (0.0138)	0.2815 (0.0111)	-0.3279 (0.0101)	-0.4213 (0.0089)	0.1006 (0.0108)
Exp. 3	45	1:3	20	0.9615 (0.0073)	0.6831 (0.0174)	0.2322 (0.0137)	0.2390 (0.0193)	-0.2838 (0.0236)	-0.3593 (0.0049)	0.0831 (0.0147)
Exp. 4	45	1:2	20	0.9685 (0.0074)	0.6919 (0.0142)	0.2238 (0.0147)	0.2289 (0.0198)	-0.2745 (0.0084)	-0.3463 (0.0055)	0.0783 (0.0123)
Exp. 5	55	1:2	30	0.9409 (0.0071)	0.6457 (0.0118)	0.2617 (0.0112)	0.2685 (0.0133)	-0.3168 (0.0175)	-0.4072 (0.0040)	0.0950 (0.0120)
Exp. 6	55	1:3	20	0.9594 (0.0073)	0.6722 (0.0116)	0.2458 (0.0124)	0.2499 (0.0013)	-0.2997 (0.0354)	-0.3773 (0.0291)	0.0869 (0.0148)
Exp. 7	45	1:3	30	0.9829 (0.0075)	0.7050 (0.0136)	0.2199 (0.0066)	0.2295 (0.0157)	-0.2669 (0.0708)	-0.3311 (0.0553)	0.0814 (0.0117)
Exp. 8	45	1:2	30	0.9878 (0.0025)	0.7070 (0.0127)	0.2108 (0.0117)	0.2163 (0.0168)	-0.2111 (0.0335)	-0.2903 (0.0321)	0.0830 (0.0071)

Véase entre paréntesis desviación estándar

ANEXO 05

PRUEBAS EXPERIMENTALES PARA LA DETERMINACIÓN DEL
COEFICIENTE DE DIFUSIÓN EFECTIVA

PRUEBAS EXPERIMENTALES PARA LA DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE DIFUSIÓN EFECTIVA

tiempo (min)	C2R1T1 1	C2R2T2 2	C1R2T1 3	C1R1T1 4	C2R1T2 5	C2R2T1 6	C1R2T2 7	C1R1T2 8
0	55.00	55.00	45.00	45.00	55.00	55.00	45.00	45.00
10	52.87	53.47	44.03	42.93	52.83	52.53	43.17	42.40
20	51.43	52.70	43.60	41.90	51.63	52.33	42.83	42.10
30	51.00	52.20	42.77	41.77	50.70	52.20	42.43	41.67
60	50.03	51.40	42.43	41.27	49.40	50.97	41.93	40.93
120	48.80	50.40	41.70	39.90	48.17	50.17	41.30	39.93
240	47.57	49.53	41.27	39.07	47.00	49.50	40.53	38.93
360	46.70	48.67	41.10	38.63	45.53	49.10	40.10	38.17
480	46.40	47.90	40.20	38.07	45.30	48.63	39.80	37.67
660	45.30	47.30	39.60	38.50	45.10	46.30	39.10	37.00
840	44.80	47.00	39.40	37.00	44.00	46.00	38.70	36.80
1020	43.80	46.70	37.70	36.00	44.00	45.80	38.50	36.80
1260	43.40	46.50	38.00	35.80	43.80	45.60	38.50	36.80
1500	43.00	46.50	38.00	35.50	43.80	45.80	38.50	
1740	43.00	46.50	38.00	35.50	43.80			

ANEXO 06

REGISTRO FOTOGRÁFICO
DURANTE EL TRABAJO EXPERIMENTAL.

REGISTRO FOTOGRÁFICO

Foto N° 1: Plantación de Sachatomate en el distrito de Camanti



Lugar: Camanti -Quispicanchi,
Fecha: 15/02/2015

Foto N° 2: Determinación del calibre del Sachatomate



Lugar: Laboratorio de la EPIQ-UNSAAC
Fecha: 12/05/2015

Foto N° 3: Pesado de semillas y cascara para la terminación del rendimiento del Sachatomate



Lugar: Laboratorio de la EPIQ-UNSAAC
Fecha: 17/05/2015

Foto N° 4: Trozos del Sachatomate para el desarrollo experimental de OD.



Lugar: Laboratorio de la EPIQ-UNSAAC
Fecha: 17/05/2015

Foto N° 5: Medición de muestras de °Brix y volumen para el cálculo de Balance de masa y cinética de OD



Lugar: Laboratorio de la EPIQ-UNSAAC
Fecha: 22/05/2015

Foto N° 6: Muestras en incubadora a una T° de 30°C



Lugar: Laboratorio de la EPIQ-UNSAAC
Fecha: 22/05/2015

Foto N° 7: Secado conectivo del Sachatomate. Operación posterior al proceso OD



Lugar: Laboratorio de la EPIQ-UNSAAC
Fecha: 23/06/2015

Foto N° 8: Sachatomate OD como producto de humedad intermedia.



Lugar: Laboratorio de la EPIQ-UNSAAC.
Fecha: 23/06/2015

Foto N° 9: Equipo Secador a Pulso a Vacío empleado para la determinación de la humedad en frutas.



Lugar: Laboratorio de la EPIQ-UNSAAC
Fecha: 30/07/2015

Foto N° 10: Muestras de Sachatomate OD para la determinación de humedad y el diseño de cinética OD



Lugar: Laboratorio de la EPIQ-UNSAAC
Fecha: 30/07/2015

Foto N° 11: Medición de la variación del peso para el cálculo de humedad del Sachatomate OD



Lugar: Laboratorio de la EPIQ-UNSAAC
Fecha: 30/07/2015

Foto N° 12: Medición de la actividad acuosa del Sachatomate OD



Lugar: Laboratorio de alimentos EPIA – UNAJMA
Fecha: 19/03/2015

Foto N° 13: Calibración del equipo el Equipo estereomicroscopio de laboratorio / óptico / trinocular / LED NSZ-608T y la adaptación de la cámara digital TUCSEN / TrueChrome Metrics para la observación y obtención de imágenes.



Lugar: Laboratorio de Microscopia de la EPB-UNSAAC
Fecha: 20/04/2017

Foto N° 13: Preparación de muestras para Obtención de imágenes. Muestras de Sachatomate OD en láminas y cubos de 2mm de arista.



Lugar: Laboratorio de Microscopia de la EPB-UNSAAC
Fecha: 17/04/2017

ANEXO 07

CERTIFICADO DE LABORATORIO PARA EL DIAGNOSTICO A
TRATAMIENTO TAXONÓMICO DE ESPECIE DEL FRUTO EN
ESTUDIO



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL
CuSCo
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE BIOLOGIA
CERTIFICACION

El que suscribe, Profesor Investigador Asociado del Herbario Vargas (CUZ) y Experto científico CITES certifica que la Mgter. Ing. Maria Mercedes Carrasco Collque de la Facultad de Ingenieria de Procesos, Escuela Profesional de Ingenieria Agroindustrial, ha, sometido a consulta muestras botánicas colectadas para su determinación, las que al ser diagnosticadas a tratamiento taxonomico corresponden a la especie:

- ***Usnea gazgata* (L.) Weber ex F.H. Wigg.** Familia: Parmeliaceae.
Nombre Comun: "Q'aga sunqa".
- División: !Ascomycota Caval.-Sm.
- Clase: Lecanoromycetes O.E. Erikss. & Winka
- Orden: Lecanorales Nannf.
- Familia: Parmeliaceae Zenker
- Género: Usnea Dill. ex Adans.
- Especie: ***Usnea gazgata* (L.) Weber ex F.-H. Wigg**

Lo que se certifica para los fines concernientes al caso.

W in G nchez M. Sc., Dr. (c).
ipal Dp . Académico de Biología
Ex o Cientí CITES

ANEXO 08

COPIA DE LA NORMA TÉCNICA ECUATORIANA

NTE INEN 1 909:2009

Republic of Ecuador

≠ EDICT OF GOVERNMENT ≠

In order to promote public education and public safety, equal justice for all, a better informed citizenry, the rule of law, world trade and world peace, this legal document is hereby made available on a noncommercial basis, as it is the right of all humans to know and speak the laws that govern them.



NTE INEN 1909 (2009) (Spanish): Frutas frescas. Tomate de árbol. Requisitos





INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN

Quito - Ecuador

NORMA TÉCNICA ECUATORIANA

NTE INEN 1 909:2009
Primera revisión

FRUTAS FRESCAS. TOMATE DE ÁRBOL. REQUISITOS.

Primera Edición

FRESH FRUIT. TREE TOMATO. REQUIREMENTS.

First Edition

DESCRIPTORES: Tecnología de los alimentos, frutas, frutas frescas, tomate de árbol, requisitos.
AL 02.03-449
CDU: 634.675
CIU : 1110
ICS: 67.080.10



Norma Técnica Ecuatoriana Obligatoria	FRUTAS FRESCAS. TOMATE DE ÁRBOL. REQUISITOS.	NTE INEN 1 909:2009 Primera revisión 2009-07
--	---	---

Instituto Ecuatoriano de Normalización, INEN – Casilla 17-01-3999 – Baquerizo Moreno E8-29 y Almagro – Quito-Ecuador – Prohibida la reproducción

1. OBJETO

1.1 Esta norma establece los requisitos que debe cumplir el tomate de árbol destinado para consumo en estado fresco acondicionado y/o envasado para su comercialización dentro del territorio ecuatoriano.

2. ALCANCE

2.1 Esta norma se aplica al tomate de árbol *Solanum betaceum* Cav. (anteriormente *Cyphomandra betacea* sent).

3. DEFINICIONES

3.1 Para los efectos de esta norma, se adoptan las definiciones contempladas en la NTE INEN 1 751 y las que a continuación se detallan:

3.1.1 *Tomate de árbol. Solanum betaceum* Cav. El fruto es una baya que se encuentra suspendida por un pedúnculo largo, generalmente de forma ovalada, pero en los huertos ecuatorianos, se ha visto frutos ovoides, esféricos trompiformes y piriformes. La epidermis es lisa y brillante, el color varía entre genotipos, desde el verde que es común en todos cuando está inmaduro, a morado cuando el fruto está próximo a la madurez de consumo, tomando tonalidades de amarillo, anaranjado (tomate), rojo y púrpura oscura. La pulpa es de color anaranjado claro o intenso, tiene sabor agrídulce típico, algo más dulzón en las líneas neozelandesas.



3.1.2 *Fruta fuera de norma.* Es aquella fruta que no cumple con los requisitos establecidos en esta norma.

(Continúa)

DESCRIPTORES: Tecnología de los alimentos, frutas, frutas frescas, tomate de árbol, requisitos.

4. CLASIFICACIÓN

4.1 Independiente del calibre, la clasificación del tomate de árbol admite tres grados que se definen a continuación:

4.1.1 Grado extra. Los tomates de árbol de este grado deben cumplir los requisitos generales definidos en el numeral 6.1 Su forma y color deben ser característicos del genotipo. No deben tener defectos que demeriten la calidad del fruto.

4.1.2 Grado I. Los tomates de árbol de este grado deben cumplir con los requisitos generales definidos en 6.1 y poseer el color y las formas características del genotipo, se aceptan los siguientes defectos, siempre que éstos no afecten a la pulpa:

- manchas ocasionadas por el golpe del granizo y/o manchas causadas por el sombreamiento que se produce por el contacto entre los frutos en el árbol, estos defectos en conjunto no deben exceder el 10% del área total del fruto.
- pedúnculo curvo

4.1.3 Grado II. Este grado comprende los tomates de árbol que no pueden clasificarse en los grados anteriores, pero satisfacen los requisitos mínimos especificados en 6.1. Podrán permitirse, sin embargo, los siguientes defectos, siempre y cuando los tomates de árbol conserven sus características esenciales en lo que respecta a su calidad, estado de conservación, aspecto general y presentación:

- defectos en la coloración causados por el sombreamiento que se produce por el contacto entre los frutos en el árbol,
- manchas superficiales y/o raspaduras cicatrizadas ocasionadas por el golpe del granizo.

Estos defectos no deben exceder el 20 % del área total del fruto.

4.2 Calibre. El calibre se determina por el diámetro máximo de la fruta, en mm, y la longitud, en mm y la masa expresada en g, la correlación entre calibre, diámetro, longitud y masa es la siguiente:

TABLA 1. Calibres del tomate de árbol

Calibre	Diámetro, mm (ver 8.1.1)	Longitud, mm (ver 8.1.1)	Masa promedio, g (ver 8.1.2)
Grande	> 55	> 70	> 120
Mediano	45 - 55	60- 70	60 - 120
Pequeño	< 45	< 60	< 60

4.3 Tolerancias. Se admiten tolerancias de calidad y calibre en cada unidad de empaque para los productos que no cumplan los requisitos del grado indicado.

4.3.1 Tolerancias de calidad

4.3.1.1 Grado extra. Se admite hasta el 5 % en número o en masa de los tomates de árbol que no correspondan a los requisitos de este grado.

4.3.1.2 Grado I. Se admite hasta el 10 % en número o en masa de los tomates de árbol, que no correspondan a los requisitos de este grado.

4.3.1.3 Grado II. Se admite el 10%, en número o en masa, de los tomates de árbol, que no satisfagan los requisitos de este grado, ni los requisitos mínimos, con excepción de los productos afectados por magulladuras graves, descomposición o cualquier otro tipo de deterioro que no sean aptos para el consumo.

(Continúa)

4.3.2 Tolerancias de calibre

4.3.2.1 Para todos los grados se acepta hasta el 10% en número o en masa de frutos, que corresponda al calibre inmediatamente inferior o superior, al señalado en el empaque.

5. DISPOSICIONES GENERALES

5.1 Los frutos destinados a la comercialización, deben cumplir con los grados y calibres considerados anteriormente, deben estar bien formados, pulpa carnosa y de color típico. El producto no debe tener heridas, pudriciones y daños causados por insectos.

5.2 El proveedor debe garantizar que la muestra inspeccionada cumpla con el grado y calibre declarado en el rótulo o etiqueta del envase o embalaje.

5.3 Los genotipos o cultivares más conocidos y comercializados son:

- a) Tomate común: de forma alargada, color morado y anaranjado.
- b) Tomate redondo: de color anaranjado rojizo.
- c) Tomate gigante: de forma oblonga, de color morado y anaranjado.

6. REQUISITOS

6.1 Requisitos generales

6.1.1 Todos los grados del tomate de árbol deben estar sujetos a los requisitos y tolerancias permitidas. Además, deben tener las siguientes características físicas:

- enteros,
- sanos, y exentos de podredumbre o deterioro que hagan que no sean aptos para el consumo;
- limpios y exentos de cualquier materia extraña visible;
- exentos de plagas que afecten al aspecto general del producto;
- exentos de humedad externa anormal, salvo la condensación consiguiente a su remoción de una cámara frigorífica;
- exentos de cualquier olor y/o sabor extraños;
- ser de consistencia firme;
- tener un aspecto fresco;
- tener una piel brillante.

6.1.2 La madurez de los tomates de árbol puede evaluarse visualmente según su coloración externa. Su condición puede confirmarse determinando el índice de madurez.

6.1.2.1 La escala de color del tomate de para determinar su madurez es la que se indica a continuación.

(Continúa)



1 2 3 4 5 6

Color de 1 a 2 VERDE
 Color de 3 a 4 PINTON
 Color de 5 a 6 MADURO

6.1.2.2 Los tomates de árbol deben cumplir con los requisitos indicados en la tabla 2.

TABLA 2. Requisitos físico químicos del tomate de árbol

	MADUREZ DE CONSUMO		METODO DE ENSAYO
	Min	Máx.	
Acidez titulable % (ácido cítrico)	-	2,0	NTE INEN 381
Sólidos solubles totales, °Brix	8,5	-	NTE INEN 380
Contenido de pulpa, %	70	-	Ver 8.3
Índice de madurez (°Brix/ácido cítrico)	4,5	-	Ver 8.2

6.1.3 Los residuos de plaguicidas no deben exceder los límites máximos establecidos en el Codex Alimentarius

6.2 Requisitos complementarios

6.2.1 El desarrollo y condición de los tomates de árbol deben ser tales que les permitan:

- Soportar el transporte y la manipulación, y
- Llegar en estado satisfactorio al lugar de destino.

6.2.2 Para su comercialización se debe tener en cuenta que el fruto no es climatérico.

6.2.3 Condiciones de almacenamiento.

6.2.3.1 Para evitar daños al fruto no debe exponerse al sol.

6.2.3.2 Las áreas de transporte y almacenamiento deben mantenerse frescas y ventiladas.

6.2.4 La comercialización de este producto debe sujetarse con lo dispuesto en la Ley de Calidad.

(Continúa)

7. INSPECCIÓN

7.1 Muestreo. El muestreo de los tomates de árbol se realizará de acuerdo con la NTE INEN 1 750.

7.2 Aceptación y rechazo. Si la muestra inspeccionada no cumple con uno o más de los requisitos establecidos en esta norma, se considera rechazada. En caso de discrepancia, se repetirán los ensayos sobre la muestra reservada para tal fin. Cualquier resultado no satisfactorio, en este segundo caso, será motivo para considerar el lote como fuera de norma, y se debe rechazar el lote quedando su comercialización sujeta al acuerdo de las partes interesadas.

8. MÉTODO DE ENSAYO

8.1 Determinación del calibre

8.1.1 Diámetro máximo. Se mide el diámetro con un calibrador y el resultado se expresa en milímetros (mm).

8.1.2 Longitud. Se mide la longitud con un calibrador y el resultado se expresa en milímetros (mm).

8.1.3 Masa. La masa de los tomates de árbol se determina mediante el uso de una balanza y el resultado se expresa en gramos

8.2 Determinación del índice de madurez. Se obtiene de la relación entre el valor mínimo de los sólidos solubles totales (°Brix) y el valor máximo de la acidez titulable, Se expresa como °Brix/ % ácido cítrico.

$$\text{Índice de madurez} = \frac{\text{SST}(\text{°Brix})}{\text{Acidez titulable}}$$

8.3 Determinación del contenido de pulpa. Se obtiene mediante la extracción manual (separando la pulpa de la cáscara y las semillas) y se establece la relación de la masa de la pulpa con respecto a la masa total de la fruta. El resultado se expresa en porcentaje (%).

$$\text{Contenido de pulpa} = \frac{\text{P pulpa (g)}}{\text{P fruta (g)}} \times 100$$

9. EMBALAJE

9.1 El contenido de cada unidad de empaque debe ser homogéneo y estar compuesto únicamente por frutos del mismo genotipo, grado, color y calibre. La parte visible del contenido del empaque debe ser representativa del conjunto.

9.2 Los empaques deben estar limpios y compuestos por materiales que no causen alteraciones al producto, así por ejemplo en cajas de madera, cartón corrugado o de otro material adecuado que reúna las condiciones de higiene, limpieza, ventilación y resistencia a la humedad, manipulación y transporte, de modo que garantice una adecuada conservación del producto.

9.3 Las características del embalaje de madera se encuentran establecidas en la NTE INEN 1 735.

10. ROTULADO

10.1 Los envases deben llevar etiquetas o impresiones con caracteres legibles e indelebles redactados en español (sin perjuicio de que además se expresen en otro idioma) y colocadas en tal forma que no desaparezcan bajo condiciones normales de almacenamiento y transporte, debiendo contener la información mínima siguiente:

(Continúa)

- a) Identificación del productor, empacador y/o distribuidor (marca comercial, nombre, dirección o código).
- b) Nombre del producto: TOMATE DE ÁRBOL
- c) País de origen y región productora.
- d) Características comerciales: grado, calibre, contenido neto expresado en unidades del Sistema Internacional.
- e) Fecha de empaque.
- f) Impresión con la simbología que indique el manejo adecuado del producto, ver NTE INEN 2 058

10.2 Si se usan impresiones litográficas, éstas no deben estar en contacto con el producto.

(Continúa)

APÉNDICE Z

Z.1 DOCUMENTOS NORMATIVOS A CONSULTAR

Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 380	<i>Conservas vegetales. Determinación de sólidos solubles. Método refractométrico</i>
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 381	<i>Conservas vegetales. Determinación de la acidez titulable. Método potenciométrico de referencia</i>
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1 735	<i>Embalajes de madera para frutas y hortalizas. Requisitos.</i>
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1 750	<i>Hortalizas y frutas frescas. Muestreo.</i>
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1 751	<i>Frutas frescas. Definiciones y clasificación.</i>
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2 058	<i>Embalajes. Símbolos gráficos para la manipulación de mercancías.</i>
CODEX ALIMENTARIUS CAC/MRL 1-2001	<i>Lista de Límites Máximos para Residuos de Plaguicidas</i>
Ley del Sistema Ecuatoriano de la Calidad 2007-76	<i>Registro Oficial No. 26 de 2007-02-22</i>

Z.2 BASES DE ESTUDIO

Norma Técnica Colombiana NTC 4105. *Frutas frescas. Tomate de árbol. Especificaciones.* Instituto Colombiano de normas Técnicas y Certificación ICONTEC. Santafé de Bogotá. Colombia. 1997.

"Estudios de Mercado para Frutas y Hortalizas Seleccionadas", Francisco Ferrucci Péndola, Consultor IICA/PROCIANDINO. Cooperación en levantamiento del texto: Sra. Maritza Cubero – SICA.

www.ecuaquimica.com 2008

Corporación de Promoción de Exportaciones e Inversiones – CORPEI. Av. de las Américas 406 Guayaquil – Ecuador.

INIAP – PROMSA *Manual de cultivo del Tomate de Árbol (Solanum betaceum Cav.)* Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias – INIAP, Programa de Fruticultura, GET, Quito 2004.

INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA

Documento: NTE INEN 1 909 Primera revisión	TÍTULO: FRUTAS FRESCAS. TOMATE DE ÁRBOL. REQUISITOS.	Código: AL 02.03-449
---	---	---------------------------------------

ORIGINAL: Fecha de iniciación del estudio:	REVISIÓN: Fecha de aprobación anterior del Directorio 1992-03-18 Oficialización con el Carácter de OBLIGATORIA por Resolución No. 264 de 1992-05-26 publicado en el Registro Oficial No. 014 de 1992-08-28 Fecha de iniciación del estudio: 2008-07
--	---

Fechas de consulta pública: de _____ a _____

Subcomité Técnico: Frutas y Hortalizas frescas

Fecha de iniciación: 2008-09-11

Fecha de aprobación: 2008-11-21

Integrantes del Subcomité Técnico:

NOMBRES:

INSTITUCIÓN REPRESENTADA:

Ing. Franklin Hernández (Presidente)
Ing. César Mayorga

Ing. Magdala Lema

Sr. Jaime Capelo

Ing. Susana Velásquez

Ing. Ricardo Silva

Ing. Yolanda Arguello

Ing. Verónica Bolaños

Ing. María E. Dávalos (Secretaria Técnica)

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
SUBSECRETARÍA DE FOMENTO
AGROPRODUCTIVO MAG
MERCADO DE PRODUCTORES “SAN PEDRO
DE RIOBAMBA” EMMPA
MERCADO DE PRODUCTORES “SAN PEDRO
DE RIOBAMBA” EMMPA
DECAB- ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
SESA
CIALP - UTE
UNIVERSIDAD TÉCNICA EQUINOCCIAL
INEN - REGIONAL CHIMBORAZO

Otros trámites:

El Directorio del INEN aprobó este proyecto de norma en sesión de 2009-04-24

Oficializada como: Obligatoria
Registro Oficial No. 646 de 2009-07-31

Por Resolución No. 047-2009 de 2009-06-30

**Instituto Ecuatoriano de Normalización, INEN - Baquerizo Moreno E8-29 y Av. 6 de Diciembre
Casilla 17-01-3999 - Telfs: (593 2)2 501885 al 2 501891 - Fax: (593 2) 2 567815
Dirección General: E-Mail: direccion@inen.gov.ec
Área Técnica de Normalización: E-Mail: normalizacion@inen.gov.ec
Área Técnica de Certificación: E-Mail: certificacion@inen.gov.ec
Área Técnica de Verificación: E-Mail: verificacion@inen.gov.ec
Área Técnica de Servicios Tecnológicos: E-Mail: inencati@inen.gov.ec
Regional Guayas: E-Mail: inenguayas@inen.gov.ec
Regional Azuay: E-Mail: inencuenca@inen.gov.ec
Regional Chlmborazo: E-Mail: inenriobamba@inen.gov.ec
URL: www.inen.gov.ec**