



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

**Centro Interdisciplinario de Investigación para el
Desarrollo Integral Regional - Unidad Oaxaca**

**Maestría en Ciencias en Conservación y
Aprovechamiento de Recursos Naturales**

**“Efecto de pretratamientos sobre la textura de papaya
(Carica papaya L.) Variedad Maradol secada por
convección”**

Tesis que para obtener el grado de:
Maestro en Ciencias

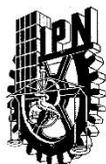
Presenta:
Josué Barragán Iglesias

Director de Tesis:
Dr. Juan Rodríguez Ramírez



Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca, México

Enero de 2016



**INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL
SECRETARIA DE INVESTIGACION Y POSGRADO**

ACTA DE REVISION DE TESIS

En la Ciudad de Oaxaca de Juárez siendo las 13:00 horas del día 09 del mes de diciembre del 2015 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación del **Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Oaxaca** (CIIDIR-OAXACA) para examinar la tesis de grado titulada: **"Efecto de pretratamientos sobre la textura de papaya (*Carica papaya L.*) variedad Maradol secada por convección"**

Presentado por el alumno:

Barragán Apellido paterno	Iglesias materno	Josué nombre(s)
Con registro: B 1 3 0 0 5 7		

aspirante al grado de: **MAESTRÍA EN CIENCIAS EN CONSERVACIÓN Y APROVECHAMIENTO DE RECURSOS NATURALES**

Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron **SU APROBACION DE LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

LA COMISION REVISORA
Director de tesis

Dr. Juan Rodríguez Ramírez

Dr. Sadoth Sandoval Torres

Dr. Víctor Guillermo Jiménez Quero

Dra. Lilia Leticia Méndez Lagunas

Dra. Anabel Lopez Ortiz

EL PRESIDENTE DEL COLEGIO

Dr. José Rodolfo Martínez y Cárdenas
Encargado de la Dirección





INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

CARTA CESION DE DERECHOS

En la Ciudad de Oaxaca de Juárez el día 08 del mes de enero del año 2016, el (la) que suscribe Barragán Iglesias Josué, alumno (a) del Programa de **MAESTRÍA EN CIENCIAS EN CONSERVACIÓN Y APROVECHAMIENTO DE RECURSOS NATURALES** con número de registro B130057, adscrito al Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Oaxaca, manifiesta que es autor (a) intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección del Dr. Juan Rodríguez Ramírez y cede los derechos del trabajo titulado: "Efecto de pretratamientos sobre la textura de papaya (*Carica papaya L.*) variedad Maradol secada por convección", al Instituto Politécnico Nacional para su difusión, con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección **Calle Hornos 1003, Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca**, e-mail: posgradoax@ipn.mx ó ijj_barragan@hotmail.com Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.


Barragán Iglesias Josué





La parte experimental de esta tesis se realizó en el laboratorio de Tecnología Agroalimentaria de la Línea de Ingeniería del Departamento de Posgrados en el Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional (CIIDIR-Unidad Oaxaca) bajo la supervisión del Dr. Juan Rodríguez Ramírez.

Durante la realización de este trabajo se contó con el apoyo de la beca de maestría No. 302840 otorgada por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT). También con el apoyo de la Beca de Estímulo Institucional de Formación de Investigadores (BEIFI) del segundo al quinto semestre de la Maestría en Ciencias.

Durante el tercer semestre de la Maestría se realizó una estancia de investigación con el apoyo del programa de Becas al Extranjero del CONACYT y el apoyo de la Coordinación de Cooperación Académica (CCA) del Instituto Politécnico Nacional.



AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Dr. Juan Rodríguez Ramírez por aceptarme en su grupo de trabajo. Por su confianza y apoyo en todo momento durante la realización de este proyecto.

A la M.C. Laura Victoria Aquino Gonzales por haber formado parte de los sinodales en las primeras etapas del presente proyecto.

A mis sinodales: Dra. Lilia Leticia Méndez Lagunas, Dr. Sadoth Sandoval Torres, Dra. Anabel López Ortiz, Dr. Pedro Montes García y Dr. Víctor Guillermo Jiménez Quero por haber aceptado formar parte de la evaluación de esta tesis.

Al Dr. Shyam S. Sablani por su apoyo y confianza durante la estancia de Investigación en el Departamento de Ingeniería en Sistemas Biológicos de la Washintong State Uiversity en Pullman, WA, USA.

A todo el personal del CCA-IPN, de laboratorios y administrativos del Departamento de Posgrado por todas las facilidades brindadas durante el tiempo dedicado a este proyecto.



DEDICATORIAS

Primero, a Dios por permitirme vivir y realizar todo este trabajo.

Con todo mi amor a mi esposa Mary y mis tres hijos: Italia, Josue Daylan y Jenifer por estar siempre a mi lado, comprenderme y apoyarme en mis estudios, especialmente durante este proyecto.

A mis padres: Maximina y Paulino por su apoyo en todo momento y vigilar las decisiones que han formado mi vida.

A mis hermanos: Paulino, Sergio y Janeth por ser parte fundamental en el desarrollo de mi vida y estar siempre pendientes de mí.

De forma especial a mis amigos Ana Gabriel, Rosibel, Kenia, David, Jesús, Karoi y José por su compañerismo y alegría durante las horas de trabajo.



CONTENIDO

LISTA DE TABLAS Y FIGURAS	i
NOMENCLATURA	iii
RESUMEN.....	1
ABSTRACT.....	3
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	5
1.1. Planteamiento y delimitación del problema	6
1.2. Justificación	7
1.3. Antecedentes.....	9
1.4. Objetivo General.....	13
1.4.1. Objetivos específicos	13
1.5. Hipótesis general	14
CAPÍTULO II. MARCO REFERENCIAL.....	15
2.1. Frutas tropicales.....	16
2.1.1. Producción a nivel mundial.....	16
2.2. Papaya (<i>Carica Papaya L.</i>) variedad <i>Maradol</i>	17
2.2.1. Descripción botánica.....	17
2.2.2. Características de la fruta	18
2.2.3. Cosecha y maduración de la fruta	19
2.2.4. Determinación del índice de madurez.....	20
2.2.4.1. Porcentaje de amarillez de la piel del fruto	21
2.2.4.2. Determinación de color.....	22
2.2.4.3. Determinación de la firmeza de la fruta mediante el penetrometro.....	23
2.2.4.4. Determinación de los Sólidos Solubles Totales (TSS)	24
2.2.4.5. Determinación de los ácidos en los frutos por titulación y cálculo de la proporción entre azúcar y ácidos.....	24
2.3. Calcio (Ca) en frutas y hortalizas	25
2.3.1. Acción del calcio en la estructura de la pared celular en frutas	26
2.3.2. Papaya Maradol y su relación con el calcio	28
2.4. Deshidratación osmótica.....	29
2.4.1. Principales ventajas y desventajas de la deshidratación osmótica	30
2.4.2. Variables del proceso de deshidratación osmótica.....	31



2.4.2.1. Efecto de las características de la materia prima.....	31
2.4.2.2. Efecto de la naturaleza del agente osmótico	32
2.4.2.3. Efecto de la concentración del agente osmótico	32
2.4.2.4. Efecto de la presión del sistema	33
2.4.2.5. Efecto de la temperatura	34
2.4.2.6. Efecto de la agitación del sistema	34
2.4.3. Mecanismos en tejidos vegetales	35
2.5. Secado con aire caliente o convectivo.....	36
2.5.1. Mecanismo del secado convectivo.....	37
2.5.2. Factores que influyen en la velocidad de secado de un alimento	38
2.5.2.1. Condiciones de proceso.....	38
2.5.2.2. Características del producto por secar	39
2.6. Textura en los alimentos.....	40
2.6.1. Importancia de la textura en alimentos	41
2.6.2. Medición y evaluación de textura	42
2.6.3 Representación gráfica de las principales características de textura.....	43
2.6.3. Comportamiento interno de un material	45
CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	48
3.1. Material biológico	49
3.2. Métodos analíticos para la caracterización de las etapas de madurez	50
3.3. Inmersión en soluciones de hidróxido de calcio.	53
3.4. Diseño experimental y análisis de datos en la inmersión de hidróxido de calcio	55
3.5. Deshidratación osmótica.....	56
3.6. Diseño de experimentos y análisis de datos después de la deshidratación osmótica.....	59
3.7. Secado con aire caliente.....	59
3.8. Evaluación de textura	61
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES	64
4.1. Caracterización fisicoquímica de las etapas de madurez	65
4.1.1. Análisis del color de la cáscara y firmeza de la pulpa.....	65
4.1.2. Contenido de humedad, pH, TSS y azúcares reductores directos y totales	68
4.1.3 Características de madurez y su relación con el ángulo de matiz	70
4.2. Inmersión en soluciones de hidróxido de calcio	73



4.2.1. Análisis de firmeza de los cubos.....	77
4.2.2. Análisis de los TSS en los cubos.....	81
4.3. Deshidratación osmótica.....	84
4.3.1. Cinéticas de deshidratación osmótica.....	85
4.3.2. Análisis de la reducción de masa, pérdida de agua, ganancia de sólidos y TSS	89
4.4 Secado convectivo.....	91
4.5 Análisis del perfil de textura (TPA).....	97
CONCLUSIONES.....	105
REFERENCIAS	106
ANEXOS.....	115

LISTA DE TABLAS Y FIGURAS

TABLAS

Nombre	Página
<i>Tabla 1. Definición de los parámetros mecánicos de textura. Adaptado de (Civille & Szczesniak, 1973).</i>	43
<i>Tabla 2. Especificaciones del color de la cascara para la clasificación de las EM. Adaptado de (Arias & Toledo, 2007).</i>	49
<i>Tabla 3. Diseño factorial completo para el análisis de las inmersiones en solución de Ca (OH)₂.</i>	56
<i>Tabla 4. Tratamientos desarrollados durante la deshidratación osmótica.</i>	59
<i>Tabla 5. Valores de contenido de humedad, pH, acidez titulable y su relación con los azúcares en las EM.</i>	69
<i>Tabla 6. Valores de la ganancia de calcio en mg Ca/10 g de sólidos secos en cada inmersión en hidróxido de calcio.</i>	74
<i>Tabla 7. Análisis de varianza ($\alpha=0.05$) de la ganancia de calcio durante las inmersiones.</i>	74
<i>Tabla 8. Valores de firmeza (N) en los cubos de papaya después de INCa, (M \pm SD).</i>	78
<i>Tabla 9. Análisis de varianza de los factores sobre la firmeza de los cubos.</i>	78
<i>Tabla 10. Valores de TSS después de la inmersión en Ca (OH)₂.</i>	81
<i>Tabla 11. Análisis de varianza de los factores sobre los TSS en los cubos.</i>	81
<i>Tabla 12. Valores de transferencia de masa de los tratamientos osmóticos (M \pm SD).</i>	85
<i>Tabla 13. Análisis ($p \leq 0.05$) de la diferencia entre las medias de las variables respuestas (M\pmSD).</i>	90
<i>Tabla 14. Apariencia de los cubos de papaya tomados en diferentes tiempos del proceso completo.</i>	97
<i>Tabla 15. Comparación de la variabilidad del contenido de humedad de cubos de papaya con y sin pretratamientos.</i>	98
<i>Tabla 16. Análisis ($p \leq 0.05$) de las características de textura de papaya Maradol al final del secado con aire caliente (M \pm SD).</i>	102

FIGURAS

Nombre	Página
<i>Figura 1. Cultivo intensivo de papaya Maradol en zonas tropicales.</i>	17
<i>Figura 2. a) Flor femenina de Carica papaya L.; b) Detalle del estigma. Tomado de (Gil & Miranda, 2005).</i>	18
<i>Figura 3. a) Forma de planta hermafrodita.; b) Forma de planta femenina.; c) Color característico de la papaya Maradol madura.</i>	19
<i>Figura 4. Penetrometro de mesa a) y de mano b) para determinar la firmeza en frutas.</i>	23
<i>Figura 5. Refractómetro de Abbe para determinar sólidos solubles totales (^oBrix).</i>	24
<i>Figura 6. Estructura de la caja de nuevos. Tomado de (Ceballos, 2008).</i>	26
<i>Figura 7. Regulación de la concentración intracelular de Ca²⁺ que se acumula en la vacuola en forma de oxalato, carbonato, etc., pero también en el retículo endoplasmático (RE) y en el cloroplasto. Tomado de (Ceballos, 2008).</i>	28
<i>Figura 8. Graficas características de; a) Dureza, b) Cohesión, c) Adhesión, d) Masticabilidad, e) Gomosidad, f) Fracturabilidad</i>	44
<i>Figura 9. Parámetros de Hencky en una curva típica de comprensión uniaxial.</i>	46
<i>Figura 10. Orientación y simbología de las caras de los cubos dentro del secador de bandejas.</i>	61

Figura 11. Curva ejemplar de fuerza-desplazamiento obtenido a partir de una prueba de doble compresión de papaya secada con aire mediante un enfoque de análisis de perfil de textura.63

Figura 12. Color característico en la cáscara de papaya Maradol en seis etapas.....65

Figura 13. Comportamiento de los valores de luminosidad L^* (a), eje a^* (b) y eje b^* (c) en la cáscara de papaya Maradol.66

Figura 14. Cambios del ángulo de matiz (a) y croma C^* (b) relacionados a la cáscara de papaya Maradol.67

Figura 15. Cambios en la firmeza de la pulpa durante el desarrollo de las EM.68

Figura 16. Desarrollo de los sólidos solubles totales (a) y azúcares reductores directos y totales (b) en las seis EM de papaya Maradol.....70

Figura 17. Relación directa entre las etapas de madurez con el ángulo de matiz, pH y TSS.71

Figura 18. Relación del ángulo de matiz con respecto a la firmeza de la pulpa y la acidez titulable.72

Figura 19. Contenido de calcio (mm Ca/10 g ss) final con respecto a las variables de la inmersión.75

Figura 20. Efecto combinado de los factores sobre el contenido de calcio (mg Ca/10 g ss-eje de las ordenadas)...77

Figura 21. Mecanismo de acción del Ca^{++} y los ácidos carboxílicos.....77

Figura 22. Comportamiento de la firmeza en los cubos.79

Figura 23. Efecto combinado de los factores sobre la firmeza de los cubos.80

Figura 24. Comportamiento de los TSS en los cubos después de las INCa.82

Figura 25. Efecto combinado de los factores sobre los sólidos solubles totales de los cubos.83

Figura 26. Cinéticas del contenido de humedad en base seca.86

Figura 27. Cinéticas de la pérdida de agua de los cubos durante la DO.86

Figura 28. Comportamiento de la relación de humedad durante la DO.....87

Figura 29. Cinéticas de la relación adimensional del aumento de azúcar durante la DO.88

Figura 30. Cinéticas de la ganancia de azúcar durante la DO.89

Figura 31. Cinéticas de secado de los cubos con y sin pretratamientos.92

Figura 32. Cinéticas de la pérdida de agua de los cubos durante el secado con aire caliente.92

Figura 33. Comparación de la relación adimensional de humedad durante el secado.93

Figura 34. Comparación de la rapidez de secado de los cubos de papaya Maradol con y sin pretratamientos.94

Figura 35. Formación de poros en los cubos secos entre la parte firme (exterior) por el efecto del calcio y la parte suave (interior).94

Figura 36. Rapidez de secado considerando como base 1 g de muestra seca con y sin pretratamientos.95

Figura 37. Curva estandarizada de cubos de papaya Maradol secados con aire caliente.....96

Figura 38. Análisis completo del perfil de textura en cubos de papaya fresca; tomando como eje x: el tiempo (a) y extensión a partir de la precarga (b).....100

Figura 39. Análisis completo del perfil de textura en cubos de papaya sometidos a secado con aire caliente sin pretratamientos; tomando como eje x: el tiempo (a) y extensión a partir de la precarga (b).101

Figura 40. Análisis completo del perfil de textura en cubos de papaya sometidos a inmersión en hidróxido de calcio, deshidratación osmótica y secado con aire caliente; tomando como eje x: el tiempo (a) y extensión a partir de la precarga (b).102



NOMENCLATURA

Subíndices y superíndices

a Agua

az Azúcar

i Inicial

f Final

t Tiempo

bh Base húmeda

bs Base seca

ss Sólido seco

Abreviaturas

EM Etapa de madurez

CC color de la cascara

FP Firmeza de la pulpa, N

L* Luminosidad

a* Eje verde a rojo

b* Eje azul a amarillo

°H Ángulo de matiz

Cr Valor croma

conc Concentración de solución

X^a Contenido de agua, kg a/kg totales

X^{az} Contenido de azúcar, kg ss + kg az

X_{bh}^a Contenido de humedad en base humedad, %

X_{bs}^a Contenido de humedad en base seca, kg a/kg ss

X_0 Contenido de humedad inicial, kg a/kg ss

X_i Contenido de humedad como una fracción de la masa inicial, kg

X_θ Contenido de humedad como una fracción de la masa al tiempo (θ), kg

X_t Contenido de humedad al instante t, kg a/kg ss

X_∞ Contenido de humedad en el equilibrio, kg a/kg ss



W_{θ} Masa después del tiempo (θ), kg

W_i Peso inicial de la muestra, kg

W_f Peso final de la muestra, kg

TSS Sólidos solubles totales, %

ARDT Azúcares reductores directos y totales, %

V Volumen, mL

T Titulo de la disolución A y B, mL

INCa Inmersiones en hidróxido de calcio

FC Firmeza de los cubos, N

CCa Contenido de calcio, mg/10 g ss

C^i Contenido de calcio inicial

C^f Contenido de calcio final

ΔCa Ganancia de calcio, mg Ca/10 g ss

DO Deshidratación osmótica

SO Solución osmótica

WR Reducción de masa, %

WL Pérdida de agua, %

SG Ganancia o incremento de azúcar, %

RH Relación de humedad, adimensional

RA Relación de azúcar, adimensional

%RH Humedad relativa, %

SC Secado convectivo

SAC Secado con aire caliente

TPA Análisis completo del perfil de textura

Efecto de pretratamientos sobre la textura de papaya (*Carica papaya L.*) variedad Maradol secada por convección

Por:

Barragán Iglesias Josué

RESUMEN

La adición de calcio a tejidos vegetales aumenta la firmeza y mejora la textura; sin embargo, es necesario aplicar otro pretratamiento antes de obtener un producto terminado. En este trabajo se evaluó el efecto de la combinación de inmersiones en hidróxido de calcio (INCa), deshidratación osmótica (DO) y secado con aire caliente (SAC) sobre las características de textura de cubos de papaya (*Carica papaya L.*) variedad Maradol.

Cubos de papaya (15 ± 0.5 mm) en etapa 4 de madurez se sometieron a inmersiones en hidróxido de calcio (INCa); temperatura de la solución (25 y 45 °C), tiempo de inmersión (1.5, 3 y 4.5 h) y concentración de $Ca(OH)_2$ (0.5, 1, 1.5 g/100 mL agua). Las variables respuesta fueron; ganancia de calcio, firmeza y sólidos solubles totales (TSS). Los cubos sometidos en INCa a 25 °C, 3 h y 1.5 g/100 mL agua que manifestaron mayor firmeza y ganancia de calcio (ΔCa) se deshidrataron osmóticamente; temperatura de la solución (30, 50 y 70 °C) y concentración de la solución (30, 45 y 60 °Brix) durante 150 minutos. Se determinó la reducción de peso (WR), la pérdida de agua (WL) y ganancia de sólidos (SG) como un intercambio global de agua y soluto. También fueron evaluadas las cinéticas de deshidratación y la transferencia de masa. El secado con aire caliente a 70 °C, 1.5 m/s de velocidad de aire y $3 \pm 0.5\%$ de humedad relativa fue aplicado a cubos frescos y a los provenientes de la combinación de INCa a 25 °C, 3 h y 1.5 g/100 mL agua, DO a 50 °C, 45 °Brix y 150 minutos. Las características texturales como: dureza, cohesividad, adhesividad, elasticidad, gomosidad y masticabilidad fueron determinadas usando un texturometro mediante un análisis completo del perfil de textura (TPA) en cubos frescos, con y sin pretratamientos. La influencia de la combinación de pretratamientos sobre las principales variables respuesta durante las INCa, DO y textura fue determinada mediante un análisis de varianzas (ANOVA) con un intervalo de significancia del 95% ($p < 0.05$).

Un aumento del contenido de calcio y firmeza en los cubos fueron encontrados al final de las INCa, esto permitió la pérdida de agua hasta del 50% durante la osmosis. Los sólidos solubles



totales perdidos durante la inmersión son recuperados con la solución osmótica (SO), la cual intensificó el color y no afectó la forma de los cubos. Durante la DO los cubos fueron formando poros que fueron evidentes entre la parte firme (exterior) y la parte suave (interior). Esta formación de poros influyó a que el tiempo de secado fuera menor al usar la combinación de pretratamientos en comparación con el secado de cubos frescos. Los resultados más altos en el perfil de textura fueron encontrados en los cubos con pretratamientos en comparación con los cubos frescos y sin pretratamientos.

Por lo tanto, se concluye que la combinación de las inmersiones en hidróxido de calcio (1.5 g Ca/100 mL agua, 25 °C y 3 h de inmersión) y la deshidratación osmótica (45 °Brix, 50 °C y 2.5 h de deshidratación) proporcionaron un producto firme de humedad intermedia, color estable y sin cambios de forma. También, el secado con aire caliente proporcionó un cambio significativo en la estructura de la papaya al aplicar la combinación de pretratamientos y por lo tanto existe una modificación de la textura con respecto a los cubos frescos y sin pretratamientos.

Tesis dirigida por: Dr. Juan Rodríguez Ramírez

ABSTRACT

Adding calcium to plant tissues increases firmness and improves the texture; however, it is necessary to apply other pretreatment before obtaining a finished product. In this work was evaluated the effect of the combination of calcium hydroxide immersions (INCA), osmotic dehydration (OD) and drying with hot air (DHO) on texture characteristics of papaya cubes (*Carica papaya L.*) variety Maradol.

Papaya cubes (15 ± 0.5 mm) in maturity stage 4 were treated with calcium hydroxide solution; solution temperature (25 and 45 °C), time immersion (1.5, 3 and 4.5 h) and solution concentration of $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (0.5, 1, 1.5 g / 100 mL water). The response variables were: gain calcium, firmness and total soluble solids (TSS). The cubes treated to 25 °C, 3 h and 1.5 g/100 mL water that obtained higher firmness and gain of calcium (ΔCa) were dehydrated osmotically; solution temperature (30, 50 and 70 °C) and concentration of the solution (30, 45 and 60 °Brix) for 150 minutes. Weight reduction (WR), water loss (WL) and solid gain (SG) were determined as a global exchange of water and solute. Also were evaluated dehydration kinetics and mass transfer. The drying with hot air at 70 °C, 1.5 m/s air speed and $3 \pm 0.5\%$ relative humidity was applied to fresh cubes and from combining INCa at 25 °C, 3 h and 1.5 g/100 mL water, OD at 50 °C, 45 °Brix and 150 minutes. The textural characteristics such as hardness, cohesiveness, adhesiveness, springiness, gumminess and chewiness were determined using a texture analyzer through a complete texture profile analysis (TPA) in fresh cubes, with pretreatments and without pretreatments. The influence of the combination of pretreatments on the main variables response during the INCa, OD and texture was determined by analysis of variance (ANOVA) with a range of significance of 95% ($p < 0.05$).

Increased calcium content and firmness of cubes were found at the end of INCa, this allowed water loss up to 50% during the osmosis. Total soluble solids lost during immersion are recovered with the osmotic solution (OS), which intensified the color and did not affect the shape of cubes. During OD the cubes formed pores that were evident between the strong part (outside) and the soft part (interior). This pore formation influenced the drying, the time was less when used the combination of pretreatments compared with drying fresh cubes. Higher results in the TPA were found in cubes with pretreatments compared with fresh cubes and without pretreatment.



Therefore, it is concluded that the combination of the immersions into calcium hydroxide (1.5 g Ca / 100 mL water, 25 ° C and 3 h immersion) and osmotic dehydration (45 ° Brix, 50 ° C and 2.5 h dehydration) provided a firm product with intermediate moisture, stable color and shape unchanged. At the end of the drying with hot air had a significant change in the structure of papaya using the combination of pretreatments and therefore there is a modification of the texture from the fresh cubes and without pretreatment.



CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Planteamiento y delimitación del problema

Los alimentos son esenciales para los seres humanos, por lo que es necesario que éstos se encuentren con la mejor calidad nutricional y organoléptica posible. Especialmente las frutas como la papaya, rica fuente de carbohidratos, vitaminas (A, C, E, K) y minerales (calcio, hierro, potasio, sodio, fósforo), β -caroteno y fibra dietética.

En el presente trabajo se plantea la combinación de pretratamientos para la conservación de papaya variedad Maradol. Esta es una fruta tropical de clima cálido con un alto índice de aceptabilidad entre los consumidores a nivel mundial. Es el cultivo que mayor economía genera en la producción, transporte y comercialización. Sin embargo, la papaya Maradol se ve afectada por la pérdida de fruta fresca durante la poscosecha por bajos precios en los mercados nacionales e internacionales, aglomeramiento de fruta en mercados nacionales y dificultades para la exportación. Por tal motivo, la conservación es una opción importante a utilizar.

Para obtener un producto final estable, se considera aplicar la deshidratación osmótica (DO) y secado convectivo (SC). Sin embargo, utilizar la DO en papaya implica cambios en sus propiedades mecánicas, reducción de tamaño y modificación de la textura. Utilizar impregnaciones de hidróxido de calcio $[\text{Ca}(\text{OH})_2]$ como un pretratamiento ayuda a mantener y/o mejorar la firmeza de las muestras de papaya Maradol y por consiguiente mantener una textura aceptable para el consumidor. El estudio de las impregnaciones de calcio se reflejará como una ganancia de calcio en las muestras y un aumento en la firmeza, estas muestras se dispondrán para ser tratadas mediante soluciones osmóticas de azúcar a diferentes concentraciones y temperaturas ocasionando una pérdida de agua del alimento y una ganancia de soluto (azúcar). Posteriormente, las muestras se someterán a un secado con aire caliente de condiciones preestablecidas las cuales reportaran una relación entre el esfuerzo y la deformación mediante una evaluación de características de textura para lo cual se utilizará un texturometro universal.

Con la presente investigación se pretende evaluar el efecto de inmersiones en hidróxido de calcio $[\text{Ca}(\text{OH})_2]$ y deshidratación osmótica sobre cubos de papaya (*Carica papaya L.*) variedad Maradol para seleccionar una combinación de condiciones de estos dos pretratamientos y aplicar el secado con aire caliente a cubos con y sin pretratamientos. Esta combinación es con la finalidad de evaluar las características de textura en cubos frescos, con y sin pretratamientos y determinar las diferencias en dureza, cohesividad, adhesividad, elasticidad, gomosidad y masticabilidad.

1.2. Justificación

El consumo de frutas es importante, ya que aportan hidratos de carbono, fibras, minerales, vitaminas y otros compuestos antioxidantes que conllevan a una buena alimentación y previenen de enfermedades infecciosas y respiratorias, entre otras. Sin embargo, la actividad social actual, crecimiento demográfico y la urbanización provocan que el consumo de fruta fresca sea sustituido por productos preparados y envasados, más estables microbiológicamente y fáciles de consumir. Considerando estos cambios, el mercado de la fruta debe adaptarse y por lo tanto, ofrecer productos preparados de calidad nutricional, organoléptica y estable adecuados para su consumo directo.

Una alternativa importante para mantener y/o aumentar la estabilidad de las frutas es reducir la cantidad y disponibilidad del agua presente en ellas. Esta es un componente mayoritario que controla muchos de los cambios fisicoquímicos y bioquímicos que se llevan a cabo dentro de las mismas. En papaya Maradol este objetivo puede lograrse a través del empleo de tratamientos de conservación, como lo es la deshidratación y el secado. Estos tratamientos proporcionan un valor agregado al alimento y estabilidad tanto microbiológica como fisicoquímica. Aportan otras ventajas como la reducción del peso de transporte, disminuye los requisitos de embalaje y mejora la estabilidad durante el almacenamiento. Además, suplen necesidades de materia prima seca como ingredientes para otros productos (yogurt, mermeladas, cereales y productos de panadería) y desarrollan nuevos productos atractivos, tales como los “snacks” de frutas.

Sin embargo, el uso de tratamientos en papaya Maradol implica cambios en las propiedades físicas, en particular los cambios en la textura. La textura de papaya seca es bastante desagradable; al utilizar el secado con aire caliente el producto obtenido es duro y con pretratamientos osmóticos es notablemente más viscoso debido a la alta concentración de azúcares. Por lo tanto, es necesario estudiar pretratamientos para obtener un producto terminado con una textura aceptable.

Las impregnaciones de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ aumentan el contenido de calcio que resulta en la producción de frutos con mayor firmeza y valor nutricional en relación a la ingesta diaria de calcio. Artesanalmente en México la papaya Maradol se impregna con hidróxido de calcio con el fin de detener la segregación de látex de la fruta creando una especie de cristalizado y luego es cocinado en un jarabe de "panela", el resultado es un dulce de papaya con una superficie firme y un interior suave. Esto se debe a que el hidróxido de calcio tiene la capacidad de reducir y/o inactivar la enzima (papaína) por un cambio en el pH del sistema, evitando así los efectos de degradación y la

disminución de valor nutricional. El Ca(OH)_2 se describe como producto orgánico que conserva el color, que se utiliza como un absorbente de CO_2 y tienen alta capacidad antimicrobiana para reducir el deterioro de alimentos, además de un fácil manejo y en solución acuosa (agua) permite una rápida liberación de iones. El Ca(OH)_2 se dispersa y adhiere de forma relativamente rápida en los tejidos. También, no confiere sabor alguno a la fruta a diferencia de cloruro de calcio (sabor muy salado), evita la formación de compuestos cancerígenos (cloraminas y trihalometanos) vinculados a la utilización de cloro y es más estable que los ácidos orgánicos en el medio ambiente.

El uso de Ca(OH)_2 como fuente de calcio ayuda a reducir los costos de procesamiento debido a la accesibilidad y bajo precio en comparación con otras fuentes (ácidos orgánicos, lactato de calcio y cloruro de calcio). Posteriormente, el uso de una solución osmótica, demostrará que el rendimiento del proceso se incrementará con la rápida eliminación de agua de las células en la que la concentración, el tiempo de inmersión y temperaturas son las variables más importantes disponiendo de esta manera a las muestras de papaya Maradol para el secado con aire caliente que se aplicará como un método complementario reduciendo el tiempo de secado y ahorro de energía.

En el presente trabajo se estudiará el efecto sobre la textura en cubos de papaya (*Carica papaya L.*) variedad Maradol deshidratada osmóticamente en solución de azúcar y secada con aire caliente, aplicando impregnaciones de Ca(OH)_2 como un pretratamiento para mantener la firmeza de las muestras y por consiguiente obtener una textura aceptable para el consumidor.

1.3. Antecedentes

Como se ha mencionado, la deshidratación y el secado son procesos importantes de conservación para frutas y hortalizas. En frutas como la papaya Maradol los resultados de estos procesos dependerán en gran medida del estado de madurez de la papaya y pretratamientos aplicados. El proceso de maduración ha sido objeto de estudio en diferentes frutas como: fresa (Moshiur, 2014), guayaba (Mercado-Silva, 1998), mango (Palafox- Carlos, 2012), caqui (Sanchís, *et al.* 2015). En papaya, Gayosso-García *et al.* (2008) reportaron cuatro etapas de madurez, clasificadas visualmente en cuatro grupos, R1 0-25% de color amarillo en la cáscara, R2 25 - 50% de amarillo en cáscara, R3 50-75% de amarillo y R4 75-100%. En este estudio analizaron el efecto de la madurez en parámetros fisiológicos y bioquímicos, como: respiración, producción de etileno, firmeza, pH, acidez titulable, TSS, color. Bari *et al.* (2006) clasificaron papayas en 4 grupos: Green (45 días de edad), Mature (105 días), Ripe (118-120 días) y Rotten (122-125 días); en donde analizaron los cambios nutrimentales que tiene la papaya durante el proceso de maduración. En 2004 Manrique & Lajolo estudiaron las modificaciones de los polisacáridos en la pared celular en la poscosecha de papaya durante la maduración. Clasificaron en 5 grupos; I (verde oscuro), II (verde), III (verde amarillento), IV (amarillo verdoso) y V (amarillo). De la misma forma Pereira *et al.* (2009) clasificaron 5 etapas y estudiaron la difusión de gas a través de la pared celular de papaya variedad Golden en función de las etapas de madurez. Santamaría *et al.* (2009) observaron el proceso de maduración en 7 etapas, iniciando desde la fruta inmadura hasta la fruta de color naranja intenso y pulpa suave. Métodos analíticos fueron usados para determinar color, firmeza de la pulpa y TSS, además velocidad de respiración y producción de etileno.

También la adición de solutos como azúcar en la deshidratación osmótica y sales de calcio han tenido relevancia en años recientes. Las impregnaciones con soluciones de calcio resultan ser efectivas para mantener la firmeza en la deshidratación, debido a las interacciones del calcio con la estructura molecular del alimento y por consiguiente, mantienen la rigidez durante el proceso de la deshidratación osmótica.

Existen estudios que señalan las ventajas de la impregnación de matrices vegetales con calcio en la preservación de las propiedades mecánicas y sensoriales. Se encontró que un pretratamiento con calcio disminuye los efectos del proceso de congelado-descongelado sobre la apariencia y textura de frutas (Sousa, *et al.*, 2007), disminuye los efectos de degradación de la

firmeza del tejido de zanahorias que ejercen los procesos térmicos de cocción (Smout, et al., 2005) y permite prolongar la vida útil de melón (Luna-Guzmán, et al., 1999; Luna-Guzmán & Barrett, 2000), lechuga (Martín-Diana, et al., 2006), frutilla (Verdini, et al., 2004) y mango (Vanegas & Antonio, 2004), entre otros. La incorporación de sales de calcio a los procesos de deshidratación osmótica de frutas confiere mayor firmeza a los productos resultantes (Anino, et al., 2006; Rodrigues, et al., 2003). Montiveros y Ramallo (2007) evaluaron el efecto de diferentes compuestos de calcio en la elaboración de zapallo almíbar y concluyeron que un pretratamiento de inmersión en solución de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ forma una película rígida con interior tierno en cilindros de zapallo anquito (*Cucurbita moschata*).

También se ha observado que con la adición de calcio se redujo el pardeamiento enzimático en rodajas de manzana y pera (Del Valle, et al., 1998; Rosen & Kader, 1989). Además, la estabilización y/o reforzamiento de las paredes celulares provocados por el calcio pueden intensificar la resistencia del tejido celular a los ataques bacterianos (Pérez, 2003). En trabajos con lactato de calcio en melón mínimamente procesado se ha observado un efecto de secado en las superficies de la fruta, lo que reduce el crecimiento bacteriano, probablemente debido a la reducción en la disponibilidad de agua superficial (Luna-Guzmán & Barrett, 2000; Lund, 1983). También el efecto del calcio fue observado durante 28, 21 y 11 días de almacenamiento de zanahoria mínimamente procesada, la concentración de calcio aumentó y los tratamientos ayudaron en la retención de calidad de la textura y la reducción de la tasa de aumento total de recuento microbiano (Izumi & Watada, 1994). Ramallo y Liotta (2011) estudiaron el efecto de las condiciones de operación del pretratamiento de impregnación con calcio sobre el incremento del mineral y la resistencia a la compresión de mamón (*Carica Papaya L.*) en almíbar. Los resultados indicaron que la concentración de la solución y el tiempo de inmersión fueron las variables de mayor relevancia sobre la dureza del mamón (*Carica Papaya L.*) en almíbar. El mayor contenido de calcio (116.7 mg/100 g de fruta fresca) se alcanzó por inmersión de frutas en solución de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ al 1.5% y 40 °C, durante 4.5 horas. También determinaron que el cambio en las propiedades mecánicas de la fruta de mamón está estrictamente asociado al incremento en el contenido de calcio del tejido vegetal. El parámetro mecánico o de textura que mejor se relaciona con la absorción de calcio es la tensión de falla.

Recientemente, la combinación de la DO y secado han sido variados; Abbas et al. (2003) estudiaron y modelaron la cinética de secado en cubos de papaya (*Carica papaya L.*) pretratados

osmóticamente, utilizando un modelo difusional (segunda ley de Fick) adaptado para una geometría cúbica y un modelo empírico de dos parámetros. Para Rodríguez et al. (2003), el color durante la deshidratación osmótica y propiedades reológicas papaya (*Carica papaya L.*) variedad Formosa se afectaron por el uso de diversos aditivos con una solución de sacarosa, en la que se utilizaron cuatro tipos de soluciones con diferentes concentraciones de sacarosa, cloruro de calcio, ácido láctico, lactato de sodio y ácido cítrico.

También se ha reportado el efecto sobre la transferencia de masa usando quitosano y una emulsión de quitosano-lípidos como aditivos durante la DO (García, *et al.*, 2010). Abbas *et al.* (2006) encontraron que la WR, WL y SG siempre es mayor usando una solución de sacarosa que jarabe de maíz en rebanadas de papaya (*Carica papaya L.*) y que la pérdida de agua es siempre mayor que la ganancia de sólidos. Pereira et al. (2006) evaluaron aspectos cinéticos, la textura y el color de algunas frutas tropicales como la guayaba, melón y papaya durante la DO utilizando soluciones de sacarosa y maltosa, mostraron que la presencia de iones de calcio en solución osmótica influyó en la cinética y la transferencia de masa, que tienen una influencia sobre la textura y el color de la fruta. También, Jain et al. (2011) optimizaron parámetros como: concentración de la solución, temperatura y tiempo en la DO de cubos de papaya (*Carica papaya L.*) para la máxima pérdida de agua y ganancia de azúcar utilizando la metodología de superficie de respuesta (37 °C, 60 °Brix y 4.25 h mejores resultados); la WR, WL y SG fueron analizados estadísticamente y la ecuación de regresión de segundo orden fue la mejor opción para todos los datos experimentales.

Durante el secado convectivo distintas combinaciones de temperatura y velocidad de aire se han utilizado, para la mayoría de los expertos en secado convectivo al utilizar bajas velocidades de aire se tiene un secado controlado y menor deformación en los alimentos, el uso de altas o bajas temperaturas dependerá del tiempo que se destine al secado. Una menor diferencia de color se obtuvo a 40 °C y 1.5 m/s y con esta temperatura a la misma velocidad del flujo de aire se minimizó la pérdida de peso en la fruta bomba deshidratada, también la menor variación del pH, se logró a las mismas condiciones y se obtuvieron los valores más altos de masa seca durante el proceso (Muñiz, *et al.*, 2013). También se han usado temperatura de secado y velocidad del aire a 70 °C y 1 m/s, respectivamente, para el secado de rebanadas de papaya durante 12 horas hasta obtener una actividad de agua de 0.5 ± 0.05 (Udomkun, *et al.*, 2014) y con circulación de aire (velocidad de 1.5 m/s) a 60 °C, durante un tiempo suficiente para obtener un contenido final de humedad alrededor de 16% (Germer, *et al.*, 2014).



Con base en los estudios previos realizados acerca del uso de pretratamientos con diversas soluciones de calcio para la obtención de frutas deshidratadas con mayor firmeza y sin cambio de forma, diversos agentes osmóticos y condiciones de deshidratación. Se plantea utilizar una combinación de estos distintos pretratamientos con el fin de aplicarlos a muestras de papaya cortada en cubos y evaluar la modificación de la textura en cubos con y sin pretratamientos al final del secado con aire caliente y comparar con las características texturales de cubos de papaya fresca; inmersiones en soluciones de hidróxido de calcio Ca(OH)_2 (GRAS \geq 95 % de pureza) de concentración de la solución (0.5, 1.0 y 1.5 g Ca/100 mL agua), temperatura de la solución (25 y 45 °C) y tiempo de inmersión (1.5, 3 y 4.5 h), después los cubos de papaya utilizados en la inmersión serán deshidratados osmóticamente utilizando soluciones de agua/azúcar de concentraciones (30, 45 y 60 °Brix), temperatura de la solución (30, 50 y 70 °C) durante 150 minutos de deshidratación para ser secados con aire caliente (70 °C y 1.5 m/s) utilizando un secador de bandejas y posteriormente se analizarán las características de textura utilizando un texturometro universal (Lloyd Instruments™ Analyser AMETEK Company®) en cubos frescos, con y sin pretratamientos.

1.4. Objetivo General

Evaluar el efecto de la combinación de inmersiones en hidróxido de calcio y deshidratación osmótica sobre cubos de papaya (*Carica papaya L.*) variedad Maradol para aplicar el secado con aire caliente a cubos con y sin pretratamientos, con la finalidad de analizar las diferencias en las características de textura en cubos con y sin pretratamientos con respecto a cubos de papaya fresca.

1.4.1. Objetivos específicos

Realizar la caracterización fisicoquímica de las seis etapas de madurez en papaya Maradol mediante índices de color para la cascara, firmeza de la pulpa, sólidos solubles totales, pH, azúcares reductores directos y totales, contenido de humedad para seleccionar una etapa y aplicar a una geometría cubica de dicha etapa la combinación de inmersiones en hidróxido de calcio, deshidratación osmótica y secado con aire caliente.

Analizar y determinar las condiciones de tiempo de inmersión, concentración y temperatura de la solución de hidróxido de calcio donde los cubos de papaya Maradol presenten firmeza similar a una etapa anterior a la utilizada y mayor ganancia de calcio con la finalidad de aplicar la deshidratación osmótica y secado convectivo.

Analizar y establecer las condiciones de tiempo de deshidratación, concentración y temperatura de la solución osmótica para la pérdida de hasta un 40% del contenido de humedad de los cubos de papaya Maradol y obtener una mínima alteración de tamaño y forma para aplicar el secado con aire caliente.

Aplicar secado con aire caliente a 70 °C, velocidad de aire de 1.5 m/s y 3% de humedad relativa a los cubos de papaya Maradol sin pretratamientos y pretratados con hidróxido de calcio y deshidratación osmótica hasta obtener un contenido de humedad similar a 10% base húmeda.



Analizar las características de textura como: dureza, cohesividad, adhesividad, elasticidad, gomosidad y masticabilidad de los cubos de papaya Maradol frescos, secados con y sin la combinación de inmersiones en hidróxido de calcio, deshidratación osmótica y secado con aire caliente y determinar si existe una diferencia significativa entre ellos.

1.5. Hipótesis general

Con la aplicación de la combinación de inmersiones en hidróxido de calcio, deshidratación osmótica y secado con aire caliente se obtendrán cubos de papaya Maradol con características de textura como: dureza, cohesividad, adhesividad, elasticidad, gomosidad y masticabilidad similares a los valores obtenidos en cubos de papaya fresca y cubos secados con aire caliente sin la combinación de inmersión en hidróxido de calcio y deshidratación osmótica.



CAPÍTULO II. MARCO REFERENCIAL

2.1. Frutas tropicales

Las frutas tropicales son importantes para los países en desarrollo, tanto desde el punto de vista nutricional y comercial. Las frutas tropicales y subtropicales, consideradas exóticas, son de gran interés comercial. En los últimos años se ha incrementado el número de frutas tropicales en los mercados de Europa y América del Norte, esto debido a la exportación de los principales países productores. En la medida que se conozcan los nuevos aromas y sabores, la demanda de estas frutas aumentará en el futuro tanto para consumo fresco, como para procesado. Son consideradas frutas tropicales de consumo fresco las piñas, melones, aguacates, sandías, guayabas, mangos, mangostanes y papayas (FAO, 2011). Cada vez estas frutas se conocen más en Europa y las demandas aumentan por ser un producto no tradicional, gustativo y de buena calidad. En los últimos años los volúmenes de comercio han aumentado de forma espectacular, ya que los países en desarrollo perciben frutas tropicales como la representación de las opciones viables para la diversificación de los cultivos tradicionales de exportación, que han experimentado tendencias a la baja de los precios (FAO, 2011).

2.1.1. Producción a nivel mundial

De las más de 400 especies de frutas tropicales que crecen en zonas templadas, tropicales y subtropicales que se conocen en el mundo, tan sólo 15 producen frutos que son procesados a escala comercial (FAO, 2013). La producción mundial de fruta tropical alcanzará 82 millones de toneladas en 2014, según las estimaciones de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, 2012). Esta cifra representa un incremento anual del 1,7% respecto al período base (2004). El 78% corresponde a frutas principales (mango, piña, aguacate y papaya) y el 22% a las secundarias (lichi, rambután, guayaba, entre otros). El 90% de las frutas tropicales se producen en países que están en vías de desarrollo.

Estados Unidos fue el mayor importador mundial de frutas tropicales frescas, seguido por la Unión Europea, Japón y China (FAO, 2011). EE.UU. y la Unión Europea acaparan el 70% de las importaciones de fruta tropical, por delante de Japón (FAO, 2012). Las frutas tropicales principales son el mango, la piña, el aguacate y la papaya. Los principales productores de papaya son México, India y Brasil, sobre todo (FAO, 2012).

2.2. Papaya (*Carica Papaya L.*) variedad Maradol

La variedad de papaya (*Carica Papaya L.*) Maradol, fue obtenida en Cuba por el fitomejorador Adolfo Rodríguez Rivera y su esposa María Luisa Nodals Ochoa, durante el periodo 1938-1956. El nombre de la variedad surge al unir parte de los nombres de sus creadores, Mar, de María y Adol, de Adolfo (Rodríguez, et al., 1966). Las variedades de papaya que se cultivan en México son Maradol y Red. Otras variedades de menor importancia son la Yellow Hawaiian y la Criolla (SIAP, 2012). Las principales plantaciones de papaya (*Carica Papaya L.*) Maradol están ubicadas al suroriente del país en los estados de: Michoacán, Tabasco, Yucatán, siendo Veracruz el mayor productor a nivel nacional seguido de Chiapas y Oaxaca, en esta zona del suroriente se concentra más del 80% del total de producción de papaya en México (SIAP, 2012).

2.2.1. Descripción botánica

La papaya (*Carica Papaya Lin.*) Maradol, es un árbol de porte mediano, cuya altura promedio es de 2.15 m, pudiendo llegar hasta 2.30 m, en función de la agrotecnia y su edad. Su diámetro alcanza 12.5 cm a los 13 meses de edad, de igual forma puede aumentar por los primeros factores antes mencionados. Es una planta precoz, que puede iniciar la producción a los siete meses de edad y estabilizar la cosecha a los ocho meses de plantada en el campo (INIFAT, 1994) **Figura 1.** Si se logra un buen control de las enfermedades virales es posible permanecer produciendo hasta los 24 meses (Fariñas, 1990).



Figura 1. Cultivo intensivo de papaya Maradol en zonas tropicales.

Tanto sus hojas, como el tallo son de color verde, alcanzando este último un color gris plateado, cuando alcanza la madurez (Rodríguez, 2003). En cuanto al comportamiento de las flores, se presentan los tipos I (Femenina) las cuales tienen el cáliz corto, de cinco sépalos, **Figura 2a**. Los cinco pétalos blancos son completamente libres y no hay estambres. El pistilo está constituido por un ovario elipsoidal liso, formado por cinco carpelos unidos; el estigma es muy grande y recortado, **Figura 2b**).

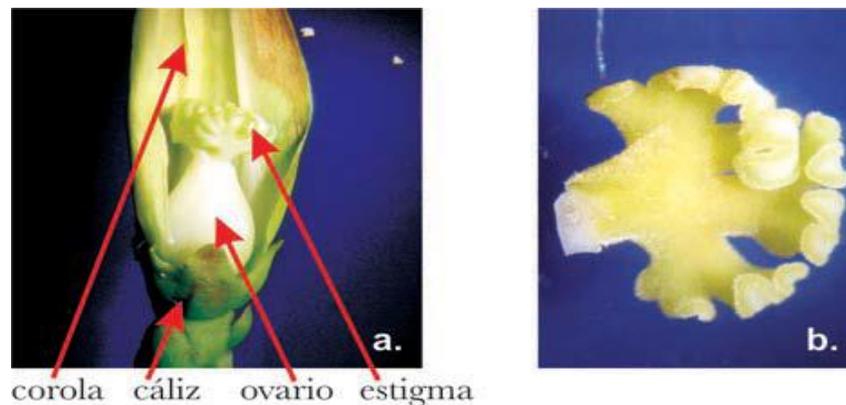


Figura 2. a) Flor femenina de *Carica papaya* L.; b) Detalle del estigma. Tomado de (Gil & Miranda, 2005).

2.2.2. Características de la fruta

El fruto de la papaya es una baya, que puede ser cilíndrico, alargado, en forma de pera o de forma globular oval o redondo. La forma de los frutos depende de la variedad y del tipo de flor del cual se han formado (Alfonso, 2010). De maduración lenta, pulpa suave y de gran consistencia. Piel lisa, gruesa y resistente, presentando larga vida de anaquel. La variedad Maradol produce frutos cilíndricos (alargados) y redondos, de color rojo salmón en su interior al madurar y de color naranja brillante en su exterior cuando alcanza la madurez fisiológica, **Figura 3**, el largo oscila entre los 22 cm y 27 cm y su diámetro esta entre los 9 cm y 13 cm. La cavidad (diámetro) mide entre los 3 y 4.5 cm. Los ⁰Brix promedio es de 12 (puede ser menor, si existe carencia de potasio asimilable en el suelo).

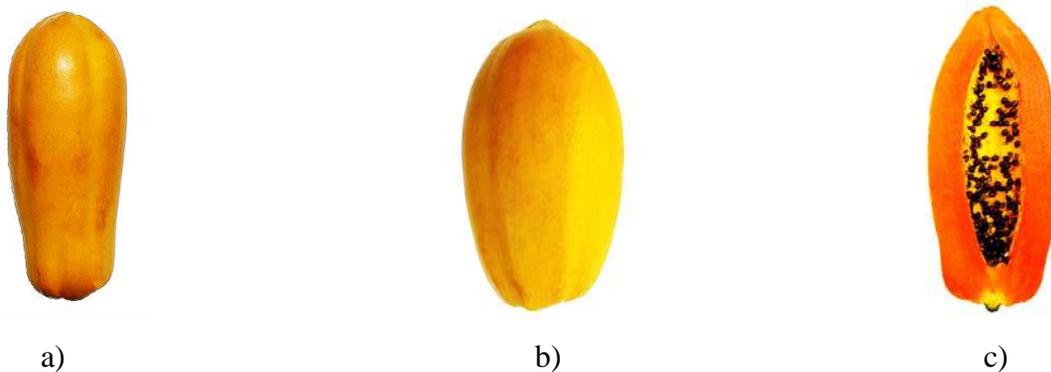


Figura 3. a) Forma de planta hermafrodita.; b) Forma de planta femenina.; c) Color característico de la papaya Maradol madura.

Los frutos maduran entre 4 y 6 meses dependiendo del clima y del cultivo. Durante el desarrollo, la relación pulpa: piel se incrementa en 1.5-2.5 meses, luego avanza de forma constante hasta la maduración y declina al final de este período. El estado de madurez está caracterizado por el cambio de color de la piel. Durante este período ocurren cambios importantes, el contenido de agua varía de 87 a 97% y los hidratos de carbono aumentan de 2 a 12%. El contenido de materia seca se incrementa cerca del 7% 15 días después de la antesis hasta 13% en la cosecha (Kalra, et al., 1995). También ocurre una disminución constante de alcoholes, sólidos insolubles, almidón y muchos minerales, pero se incrementan los azúcares totales. Los ácidos no volátiles y los ácidos orgánicos, como el ácido cítrico y el ácido málico, disminuyen en contenido hasta un mínimo a final del período de madurez (Kalra, et al., 1995).

2.2.3. Cosecha y maduración de la fruta

Según la FAO (2000), antes de la cosecha, las características y calidad de la fruta de la papaya dependen en gran medida de la forma en que fue cultivada. El tamaño, color de la pulpa, textura y tamaño de la cavidad del fruto van a depender principalmente de la variedad de papaya cultivada, la forma va a estar influida por su procedencia de una flor femenina o hermafrodita y las deficiencias nutricionales producen algunas alteraciones en el aspecto y calidad de la fruta.

La papaya se cosecha tomando en consideración el color de la cáscara y en función de la distancia al mercado. La fruta puede ser cosechada desde el estado verde-maduro (FAO, 2000). En este estado de madurez la fruta ha alcanzado su máximo desarrollo, la cáscara es dura y de color verde claro y se encuentra bien adherida a la pulpa que cambia de color blanco a ligeramente

amarilla o rojiza, dependiendo de la variedad y las semillas se tornan negras porque fisiológicamente han madurado (FAO, 2000).

A medida que se incrementa el color de la cáscara, la pulpa se vuelve más colorida y se torna más suave y aromática. Cuando toda la superficie de la fruta es de color amarillo y aparecen pequeñas manchas de color café, el fruto entra en la etapa de la sobremaduración iniciándose su deterioro (FAO, 2000). Si bien la cosecha al estado verde-maduro asegura una mayor vida útil de poscosecha del producto, la dificultad que existe para diferenciar un fruto verde-maduro de uno inmaduro hace difícil la utilización de este índice de madurez en la práctica. La FAO (2000) menciona que las frutas cosechadas inmaduras no maduran normalmente con posterioridad, la fruta no desarrolla aroma ni dulzura normales, se deshidrata fácilmente y presenta mal aspecto; todo lo cual hace que pierda su valor comercial.

2.2.4. Determinación del índice de madurez

A lo largo de los últimos años, se ha observado una mayor conciencia sobre la necesidad de que el consumidor tenga a su disposición frutos comestibles que hayan alcanzado un nivel de madurez satisfactorio y que muestre sus verdaderas características organolépticas y de la variedad de que se trate (OCDE, 1998). Los principales índices de madurez complementarios al color son la textura y el contenido de sólidos solubles (11.5% mínimo) (FAO, 2000). Se recomienda determinar estos índices para las variedades de papaya (*Carica papaya L.*) Maradol cultivadas en la localidad ya que sus valores pueden variar por las condiciones ambientales y del cultivo.

Métodos para la determinación de un nivel de madurez aceptable:

- 1) Porcentaje de amarillez de la piel del fruto.
- 2) Determinación de la firmeza de la fruta mediante el penetrometro.
- 3) Determinación de los sólidos solubles totales (TSS) del azúcar mediante refractómetro.
- 4) Determinación de los ácidos en los frutos por titulación y cálculo de la proporción entre azúcar y ácidos.

2.2.4.1. Porcentaje de amarillez de la piel del fruto

El grado de madurez en la papaya determinará la rigidez y el contenido de azúcares presentes en la misma e influirá en el gusto y paladar del consumidor. De acuerdo a la FAO (2000) existen seis etapas diferentes de madurez en la papaya Maradol determinadas mediante una característica visual; el porcentaje de amarillez de la piel, además, de características químicas (Santamaría, et al., 2009). Estas se clasifican de la siguiente manera:

- **Fruta verde (G).** Piel verde sin raya amarilla, pulpa muy dura y de color blanco; semillas bien formadas, pero de color blanco o ligeramente de color oscuro (Santamaría, et al., 2009).
- **Etapla 1.** Piel verde con una franja de color amarillo claro, la pulpa presenta algunas zonas de color naranja, es muy duro y contiene grandes cantidades de látex (Santamaría, et al., 2009). También llamada papaya verde madura (FAO, 2000).
- **Etapla 2.** Piel verde con franja amarilla bien definida, la pulpa es de color naranja cerca de la cavidad de semillas y de color verde claro cerca de la piel, aunque todavía es difícil y con gran cantidades de látex (Santamaría, et al., 2009). De 20-25% de color amarillo (FAO, 2000).
- **Etapla 3.** Uno o más franjas de color naranja en la piel, la pulpa casi completamente color naranja, excepto cerca de la piel, siendo difícil, pero contiene menos de látex (Santamaría, et al., 2009). Con aproximadamente 40% de color amarillo (FAO, 2000).
- **Etapla 4.** Piel clara de color naranja, con algunas zonas de color verde claro, pulpa completamente naranja, excepto cerca del pedúnculo, más suave que en la etapa 3, pero sigue siendo demasiado duro para el consumo, bajo contenido de látex (Santamaría, et al., 2009). Papaya con aproximadamente 60-70% de color amarillo (FAO, 2000).
- **Etapla 5.** Con 90-100% de color amarillo (FAO, 2000). Muestra piel de color naranja característico de la variedad Maradol, la firmeza de la pulpa es adecuada para el consumo, el látex ya no está presente (Santamaría, et al., 2009).
- **Etapla 6.** Papaya sobremadura con pequeñas manchas de color café (FAO, 2000). Condiciones similares a la etapa 5, pero con mayor intensidad de color naranja en la piel y pulpa más suave aún adecuados para el consumo (Santamaría, et al., 2009).

2.2.4.2. Determinación de color

Como solución a los problemas de evaluación del color se crearon sistemas de medición para poder cuantificarlo y expresarlo numéricamente, cuyo principio está basado en la cantidad de luz reflejada por el objeto. La organización internacional de luz y color CIE (Commission Internationale de L'Eclairage) desarrolló dos importantes sistemas para la evaluación de color en términos de números basados en la medición de reflectancia espectral de la muestra. El primer sistema fue creado en 1931 se refiere a los valores triestímulos (X Y Z) y el segundo sistema creado en 1976 referido los espacios de color (L^* a^* b^*), siendo estos sistemas los más utilizados en la actualidad por los instrumentos de medición de color.

Sistema de medición CIE 1976 con espacios de color (L^* a^* b^*), también es conocido como CIELAB. La luminosidad expresada por el valor L^* , se da dentro de un rango de 0 a 100, donde un valor de 0 indica un color totalmente negro, y blanco para un valor de 100. Los ejes ortogonales de color son definidos con los valores de a^* (eje ortogonal verde-rojo) y b^* (eje ortogonal azul-amarillo) y con ellos podemos calcular los valores de Cromaticidad (C) y el ángulo de matiz (H) (McGuire, 1992). Para la aplicación de estos sistemas de medición de color la CIE consideró diferentes tipos de iluminantes ya que cada fuente de luz viene caracterizada por la energía que emite en las diferentes longitudes de onda, los más comunes son:

- Iluminante A: Luz incandescente con una temperatura de color de 2 854 K (kelvin), (lámpara de tungsteno).
- Iluminante C: Luz solar de día (promedio) con una temperatura de color de 6 774 K, no incluye la radiación ultravioleta.
- Iluminante D65: Luz solar de día (promedio) con una temperatura de color de 6 504 K, incluye la radiación ultravioleta.

Otra consideración importante es el observador; definido como la visión normal de color de la media de la población humana, ya que dependiendo del ángulo de observación la sensibilidad del ojo cambia, por lo que la CIE definió en 1931 un observador a 2 ° (grados) y en 1964 definió el observador de 10 °.

Existen otros sistemas de medición de color que podemos mencionar: L^* C^* h^* ; Hunter L^* a^* b^* ; ΔE^* a b; y L^* u^* v^* , que de igual forma parten de los valores triestímulos basados en la medición de la reflectancia espectral.

2.2.4.3. Determinación de la firmeza de la fruta mediante el penetrometro

La firmeza de una fruta se relaciona con el nivel de madurez y puede estar influenciada por la variedad del producto y la región y condiciones de cultivo. El penetrometro es utilizado por productores, empaques, distribuidores y pruebas en investigación para contribuir a determinar la etapa de maduración de un fruto y por los vendedores al menudeo para establecer la presencia de un sabor agradable para el consumidor y la vida de anaquel para sus propios registros (OCDE, 1998). La determinación de la firmeza de una fruta por medio del penetrometro se basa en la presión necesaria para insertar un puntal de tamaño específico en la pulpa de la fruta a una profundidad dada.

**a)****b)**

Figura 4. Penetrometro de mesa **a)** y de mano **b)** para determinar la firmeza en frutas.

Un intervalo cubre de 1.5 a 12 kilos, o entre 3 y 27 libras, y generalmente se pueden utilizar en frutos más duros, como manzanas, peras, papayas, etcétera. El otro intervalo, de entre 0 y 5 kilos, o entre 0 y 11 libras, se utiliza para frutas más blandas, como duraznos (melocotones), ciruelas, etcétera. Cada instrumento cuenta con dos puntales desprendibles de 8 mm ($1/2 \text{ cm}^2$) y de 11mm. (1 cm^2) de diámetro. Estos puntales son intercambiables para hacer posible la realización de pruebas prácticas en frutos duros o blandos. En general, se utiliza el puntal pequeño para medir frutas de pulpa más dura y el mayor para los frutos de carne más blanda, dependiendo de la variedad y la etapa de maduración del producto a medir (OCDE, 1998).

2.2.4.4. Determinación de los Sólidos Solubles Totales (TSS)

La determinación de los sólidos solubles totales se basa en la capacidad para desviar la luz de los azúcares en un jugo (OCDE, 1998). A lo largo del desarrollo de la pulpa de una fruta, se depositan nutrientes en forma de almidón y celulosa que se transforman en azúcares como glucosa y fructosa durante el proceso de maduración. El avance del proceso de maduración lleva a un aumento en los niveles de azúcar.

Para la determinación de los SST se utiliza un refractómetro en el cual se efectúa la desviación de la luz, **Figura 5**, que miden como porcentaje de grados Brix en incrementos de 0.1%.



Figura 5. Refractómetro de Abbe para determinar sólidos solubles totales ($^{\circ}$ Brix).

Algunos refractómetros compensan de manera automática los cambios en temperatura, mientras que otros pueden calibrarse para leer con precisión a temperaturas fijas (normalmente 20 °C). Para obtener lecturas precisas a temperaturas distintas de los 20°C, se debe consultar la Tabla Internacional de Compensación de Temperatura (1974) que normalmente se proporciona con el instrumento o la norma ISO 2173 – (Primera edición 15 de noviembre de 1978) (OCDE, 1998).

2.2.4.5. Determinación de los ácidos en los frutos por titulación y cálculo de la proporción entre azúcar y ácidos

La titulación es un proceso químico utilizado en la evaluación de la cantidad de sustancias constitutivas en una muestra, como ácidos, mediante la utilización de un reactivo de compensación

estandarizado, como un álcali (NaOH) (OCDE, 1998). Una vez que el nivel de ácido en una muestra ha sido determinado, se puede utilizar para encontrar la proporción entre azúcar y ácido.

La proporción entre azúcar y ácido es la que contribuye a dar a muchas frutas su sabor característico, además de ser un indicador de la madurez comercial y organoléptica (OCDE, 1998). Al inicio del proceso de maduración, esta proporción es baja, debido al bajo contenido de azúcar y el alto contenido de ácido en la fruta, lo que le da el sabor ácido al fruto. Durante el proceso de maduración, se degradan los ácidos de las frutas. Las frutas demasiado maduras tienen niveles muy bajos de ácido y, por consiguiente, carecen de su sabor característico (OCDE, 1998).

2.3. Calcio (Ca) en frutas y hortalizas

Se encuentra en el medio interno de los organismos como ion calcio (Ca^{2+}) o formando parte de otras moléculas; en algunos seres vivos se halla precipitado en forma de esqueleto interno o externo. Los iones de calcio actúan de cofactor en muchas reacciones enzimáticas. El porcentaje de calcio en los organismos es variable y depende de las especies, pero por término medio representa el 2.45% en el conjunto de los seres vivos; en los vegetales, sólo representa el 0.007%.

Los tejidos vegetales poseen una matriz estructural, más o menos compacta, responsables de muchas de las propiedades físicas y mecánicas del producto. Dicha estructura es susceptible de ser utilizada como soporte de componentes de actividad fisiológica (Gras, et al., 2003). En base a lo anterior es posible incluir elementos minerales en la estructura de un alimento sin provocar importantes cambios en sus características organolépticas iniciales. Se ha mencionado que ciertos elementos minerales están estrechamente relacionados con los mecanismos de defensa de las plantas, ya que son componentes integrales de las células, substratos y enzimas, además actúan como inhibidores y reguladores del metabolismo (Saborío-Argüello, et al., 1997). El calcio, en disoluciones acuosas se encuentra libre en el citoplasma son muy bajos, manteniéndose entre 0.2 y 0.3 μM gracias a la baja permeabilidad que presentan las membranas al Ca normalmente en forma de catión divalente (Ca^{2+}). En células vegetales el Ca^{2+} se encuentra principalmente asociado a estructuras en la pared celular o bien almacenado en el sistema de endomembranas (Redondo-Nieto, et al., 2014). En cambio, los niveles de Ca^{2+} , así como la presencia de transportadores específicos que lo almacenan en el retículo endoplasmático, cloroplastos y vacuola (Redondo-Nieto, et al., 2014). El calcio está considerado como el principal responsable de la formación de la

lámina media, estructura y permeabilidad de la pared celular, así como también de la elongación y división celular. También, es el elemento mineral que más influencia tiene sobre el retraso de la senescencia, control de desórdenes fisiológicos y efecto sobre diferentes tipos de patógenos, en frutas y vegetales (Saborío-Argüello, et al., 1997). Al observarse microscópicamente puede comprobarse cómo en tejidos deficientes en este elemento, las membranas aparecen desorganizadas (Ceballos, 2008). También la eliminación de calcio mediante agentes quelantes provoca un aumento en el flujo iónico en uno y otro sentido hacia ambos lados de la membrana.

El calcio puede actuar como agente protector contra los iones hidrógeno, concentraciones salinas elevadas o bien contra otros iones presentes en el medio potencialmente tóxicos. Como cofactor enzimático son conocidos los efectos termoestabilizadores del calcio en las α -amilasas (Barceló, et al., 2001). La velocidad de la senescencia con frecuencia depende del estado del calcio en el tejido y que por el incremento en los niveles de calcio, varios parámetros de la senescencia como la respiración, contenido en proteínas y clorofila, y la fluidez de la membrana son alterados (Suutarinen, et al., 1999).

2.3.1. Acción del calcio en la estructura de la pared celular en frutas

El calcio juega un papel primordial en la estabilización de la pared celular vegetal ya que en la lámina media se encuentra unido a los grupos $R-COO^-$ de las ácidos poligalacturónicos presentes en las pectinas, permitiendo la unión de varias cadenas formando la conocida estructura denominada “caja de huevos”, **Figura 6**.

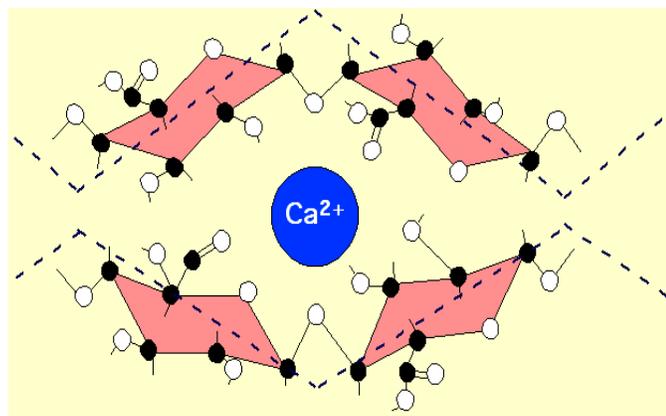


Figura 6. Estructura de la caja de huevos. Tomado de (Ceballos, 2008).

Según el modelo de “la caja de huevos”, la asociación entre las pectinas de bajo grado de metilación y los iones de calcio provocan la formación de estructuras poliméricas con alta reticulación. Como consecuencia, los productos vegetales que contienen pectinas con un grado bajo de metilación, después de los tratamientos con calcio, muestran consistencias más altas o, si es un fluido, una viscosidad aparente más alta (Pérez, 2003). Micrografías electrónicas muestran a la pared celular como una composición de fibras de celulosa embebidas en una matriz consistente en gran parte de sustancias pécticas, hemicelulosas, proteínas, ligninas, solutos de bajo peso molecular y agua. La celulosa le confiere rigidez y resistencia, mientras que las sustancias pécticas y hemicelulosas confieren plasticidad y la capacidad de extenderse (Suutarinen, et al., 1999). El calcio se relaciona con la firmeza del tejido vegetal debido a su capacidad de interactuar con las pectinas, por lo que la adición de calcio a la matriz vegetal resulta en un aumento de la firmeza del tejido (Grant, et al., 1973). Lo anterior es porque el calcio puede mejorar la textura interactuando con algunos de los tejidos del vegetal y omitir su interacción con otros.

La actuación del calcio como agente preservante de la firmeza de los tejidos vegetales da lugar, además, a la aparición de otros efectos derivados de éste, como son la disminución del pardeamiento enzimático y del crecimiento microbiano en el tejido, dependiendo del tipo de sal utilizada (Pérez, 2003). La disminución del pardeamiento enzimático se sustenta en la teoría de que el calcio ejerce una acción de fortalecimiento de las paredes y membranas celulares y como resultado, se produce una menor liberación de la polifenol oxidasa o de substratos a las superficies cortadas (Del Valle, et al., 1998).

Por otra parte, los tratamientos con calcio reducen la tasa respiratoria y por lo tanto pueden prolongar el periodo de almacenamiento de la fruta (Del Valle, et al., 1998) y disminuir la producción de etileno. La disminución de etileno es debida a que concentraciones a $1\mu\text{M}$ de calcio citosólico pueden inhibir la acción de muchas enzimas (Azcón-Bieto & Talón, 2000). El calcio citosólico juega un papel importante en la regulación de la actividad respiratoria, estando inversamente relacionados (Roux & Slocum, 1982). Las corrientes citoplasmáticas también se ven inhibidas con concentraciones por encima de $1\mu\text{M}$, y además se favorece la formación de sales de calcio insolubles con ATP y otros fosfatos orgánicos, **Figura 7**.

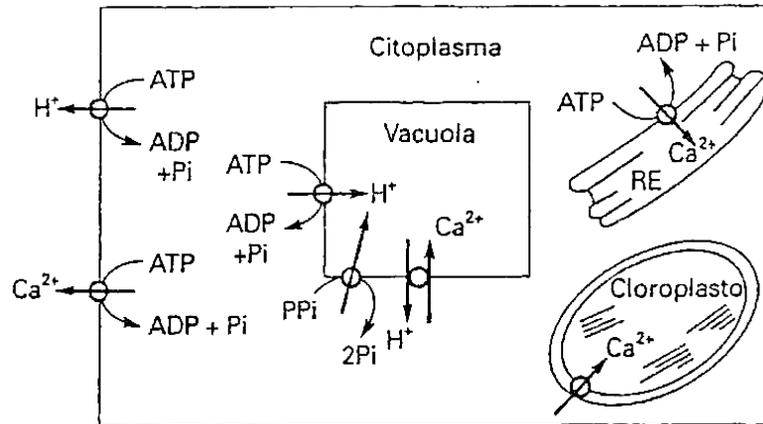


Figura 7. Regulación de la concentración intracelular de Ca^{2+} que se acumula en la vacuola en forma de oxalato, carbonato, etc., pero también en el retículo endoplasmático (RE) y en el cloroplasto. Tomado de (Ceballos, 2008).

2.3.2. Papaya Maradol y su relación con el calcio

La papaya es una excelente fuente de vitamina C. Aun cuando el contenido de ácido ascórbico (AA) cambia con la variedad y la región de cultivo, esta fruta presenta usualmente valores medios de 30-55 mg de AA/100 g de fruta fresca (Bari, et al., 2006; Wall, 2006). Además, el mamón o papaya es una buena fuente de otros nutrientes tales como carotenos ($\approx 0,8$ mg/100g), potasio, fibras, calcio y magnesio (Bari, et al., 2006; Wall, 2006). Los factores ambientales como: manejo del cultivo (riego, mineral, minerales, nutrición, etc.), y los factores fisiológicos y genéticos son algunos de los principales componentes relacionados con la textura de la fruta en estado fresco (Devitt, et al., 2006).

Un factor determinante en la textura final de la fruta de la papaya es el aspecto nutricional de la planta de la papaya. Componentes bioquímicos, como el contenido de lípidos, el contenido y composición de la pared celular, forma y tamaño de partícula, contenido de humedad y factores mecánicos, contribuyen a la textura de los alimentos (Sams, 1999). Los elementos más estrechamente relacionados con la firmeza de la pulpa son: N, P, K^+ y Ca^{++} (Sams, 1999; Saure, 2005). A menudo, el desequilibrio en la oferta (disponibilidad en el suelo) de uno de estos elementos minerales puede resultar en una alteración en la asimilación con los otros, causando efectos indeseables en la firmeza de la pulpa de la fruta (Ferguson, et al., 1999; Saure, 2005). Una relación entre el suministro de altas dosis de N y una pérdida de firmeza ha sido documentada

(Campostrini, et al., 2010; Ferguson, et al., 1999; Sams, 1999). Por todas las indicaciones, esto es causado por una acción negativa de un exceso de N en la capacidad del tejido mesocarpio para acumular Ca^{++} (Qiu, et al., 1995; Saure, 2005). El calcio es un elemento fundamental de la pared celular, formando Ca^{++} de reticulación entre las estructuras complejas que son parte de la molécula de pectina, la promoción de la estabilidad de esta molécula intrincada componente de la pared celular primaria y las laminillas media (Willats, et al., 2006). La pérdida de firmeza de la pulpa durante la maduración del fruto puede estar precedido por una pérdida de Ca^{++} , o de sus sitios de unión, de la estructura de la pared celular y de las laminillas media (Qiu, et al., 1995). Una deficiencia de fósforo también se correlaciona con una pérdida de firmeza de la pulpa, pero sólo en las frutas que también tenían bajos niveles de Ca^{++} (Sams, 1999), lo que sugiere una vez más que el factor determinante final en el mantenimiento de la consistencia de la pulpa es el Ca^{++} contenido en el tejido.

2.4. Deshidratación osmótica

La deshidratación osmótica consiste en la inmersión del alimento en una solución altamente concentrada (sacarosa) lo cual provoca la salida del agua del producto hacia el medio que la rodea con el fin de restablecer el equilibrio, produciéndose también cierta difusión del soluto de la solución hacia el tejido, penetrando la membrana plasmática y generando al mismo tiempo una plasmólisis que ocasiona la reducción del volumen. El alimento pierde hasta un 50 % de su peso original (Panadés, et al., 2003) prolongando a su vez la vida útil.

La DO es especialmente interesante porque a diferencia de otros, no requiere de alta temperatura, lo que permite la rápida eliminación de agua de las células sin cambio de fase (Tregunno & Goff, 1996; Sablani & Rahman, 2003). Al ser aplicable a baja temperatura (30, 40, 50, 60, 70 °C) estudiados y sugeridos por trabajos previos (Rosa & Giroux, 2001; Torreggiani & Bertolo, 2001; Nieto, et al., 2001; Ozen, et al., 2002; Jain & Verma, 2003; Sablani & Rahman, 2003), la DO es más adecuada que otras técnicas para proteger el color de los productos alimenticios contra la oxidación enzimática (Lerici, et al., 1988; Mastrocola, et al., 1988), ya que es una de las principales causas de la pérdida de calidad durante el manejo poscosecha y de proceso (Quevedo, et al., 2009). La estructura celular del tejido de la planta permite la pérdida de agua, mientras que una ganancia de soluto es simultánea (Rastogi, et al., 1997). Ambos flujos másicos

se ven afectados por factores tales como la temperatura y la concentración de soluto de la solución osmótica, entre otros (Lazarides, 1994; Torreggiani, 1993).

En relación al tipo de agente osmótico utilizado en los procesos de deshidratación osmótica, se deduce de otras investigaciones que para frutas se ha empleado principalmente sacarosa (Le Maguer, 1988); la cual se disuelve en agua hasta dar una solución saturada del 67.1 % de sólidos a 20 °C (Ranken, 1993). También se ha trabajado entre otros con jarabes de maíz, glucosa, sorbitol, glicerol y fructosa. De todas las soluciones osmóticas utilizadas hasta el momento en frutas, pareciera que las que mayor ventaja tienen frente a las soluciones de sacarosa son los jarabes o productos cuyos solutos tienen pesos moleculares más bajos que esta (glucosa, fructosa, sorbitol, etc.) con esto se consigue que los trozos de fruta, después del tratamiento tengan un menor contenido de humedad, mayor ganancia de sólidos y un menor valor de A_w (Bolin, et al., 1983).

2.4.1. Principales ventajas y desventajas de la deshidratación osmótica

Las principales ventajas que ofrece la DO son:

- Se disminuye la actividad de agua (a_w), permitiendo obtener productos de humedad intermedia, evitando el desarrollo de microorganismos que rápidamente atacan y dañan las frutas en condiciones ambientales, prolongando su periodo de almacenamiento (Mazza, 1983; Lenart & Flink, 1984).
- Se conserva la estructura del producto aunque se presentan algunas deformaciones (Heng, et al., 1990).
- Se utiliza previamente a otros procesos de conservación como: secado con aire (Pointing, et al., 1966), pasteurización (Lerici, et al., 1988) y congelación (Andreotti, et al., 1985), etc. disminuyendo tiempos de proceso y a la vez costos de producción.
- Se evitan reacciones de oxidación (pardeamiento enzimático) que afectan directamente la apariencia del producto final, debido a la ausencia de oxígeno en el interior de la masa de jarabe donde se halla la fruta.

Este proceso presenta limitaciones que dependen en su mayoría de las características del alimento, estas limitaciones son:

- El proceso de DO no sirve para frutas que posean pulpa líquida ejemplo: la pulpa de maracuyá o lulo maduro.
- Tampoco se recomiendan a frutas que poseen alto número de semillas de tamaño mediano como la mora guayaba.
- Algunas frutas pueden perder su poca acidez como el mango o la piña, aunque se puede corregir este inconveniente ajustando la acidez del jarabe a fin de que la relación de sabor ácido-dulce sea agradable al gusto.
- Se puede presentar ósmosis parcial de la fruta debido a la flotación que se presenta en el sistema por la diferencia de densidades entre solución y fruta
- También se presentan inconvenientes con el manejo de los jarabes, relacionados con el almacenamiento de los altos volúmenes que se necesitan, el enturbiamiento que se genera por el desprendimiento de solutos de las frutas allí sumergidas; el riesgo de contaminación microbiana cuando ha descendido a niveles inferiores a 60 °Brix.

2.4.2. Variables del proceso de deshidratación osmótica

Existen diversas variables que influyen en el proceso de deshidratación osmótica de alimentos, de cuyo efecto genérico depende el estado final del producto deshidratado. Estas variables se pueden comprender en dos grupos; las que hacen referencia a las características intrínsecas del producto que se va a deshidratar (tamaño, forma, estado de madurez, entre otras) y las relacionadas con las variables del proceso (composición y concentración de la disolución osmótica, temperatura aplicada durante el tratamiento, tiempo de proceso, presión del sistema, entre otras).

2.4.2.1. Efecto de las características de la materia prima

La amplia variación de la física natural de la fruta afecta al comportamiento osmótico y al estado final de los productos deshidratados osmóticamente (Lenart & Flink, 1984). El movimiento del agua y de los solutos a través de los alimentos de origen vegetal está relacionado con la compacidad (Giangiacomo, et al., 1987), el tipo de piel, la cantidad de espacios intercelulares y la presencia de gases en ellos, el contenido inicial de sólidos solubles e insolubles (Lenart & Flink ,

1984), la presencia de sustancias pécticas (Forni, et al., 1986) y la actividad enzimática de la fruta. Se ha observado que diferencias en la estructura de la materia prima, especialmente porosidad, afectan a los mecanismos de transporte implicados en la deshidratación osmótica (Fito, 1994), de forma que cuanto mayor es la porosidad de la fruta mayor es la ganancia de sólidos.

La geometría y el tamaño del producto afectan de tal forma que, a mayor superficie específica de los trozos aumenta la pérdida agua hasta un punto a partir del cual el tratamiento de productos muy divididos se traduce en una ganancia de solutos muy importante.

2.4.2.2. Efecto de la naturaleza del agente osmótico

El agente osmótico es fundamental para definir el comportamiento y efecto del producto durante el proceso de deshidratación osmótica. En función de las propiedades físicas de la disolución osmótica 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). Esta disolución osmótica en cuestión debe ser rica en solutos que disminuyan la actividad de agua de la fruta y que creen una diferencia de presión osmótica entre el producto a deshidratar y la disolución. Por otro lado, el tamaño de la molécula de soluto va a suponer una mayor o menor facilidad para atravesar la red tridimensional formada por los distintos constituyentes que conforman la estructura del alimento. En el caso de frutas el agente osmótico más empleado ha sido la sacarosa debido a su fácil accesibilidad, aceptable sabor y aroma y por reducir el pardeamiento enzimático.

2.4.2.3. Efecto de la concentración del agente osmótico

La concentración de la disolución osmótica exterior afecta en el sentido de definir la fuerza impulsora en cuanto a la transferencia de materia se refiere, así como a la viscosidad de la disolución, y de la fase líquida del alimento que va aumentando su viscosidad a medida que se concentra, hasta alcanzar la de la disolución osmótica en el equilibrio (Barat, et al., 2001a; Cháfer, et al., 2001). Diversas experiencias muestran que a altas concentraciones de disolución osmótica se produce una mayor pérdida de agua en el fruto (Heng, et al., 1990). Estas altas concentraciones producen grandes fuerzas impulsoras, con ello los tiempos de proceso son más cortos y las células superficiales de la muestra quedan muy deshidratadas, mientras que el centro permanece

prácticamente inalterado. Por el contrario, en condiciones más suaves, una parte mayor del tejido queda afectada pero en menor intensidad. Además la presencia de iones calcio en la disolución osmótica durante la deshidratación de paralelepípedos de papaya muestra mayores coeficientes de difusión del azúcar lo cual indicó que el calcio puede reforzar la proporción de ganancia de soluto osmótico (Pérez, 2003).

2.4.2.4. Efecto de la presión del sistema

La presión del sistema influye en ciertos casos de manera significativa en el transporte de materia que se produce durante la deshidratación osmótica de un alimento. Cabe destacar que la importancia de esta variable va ligada a la porosidad del producto a deshidratar (Ceballos, 2008). La presión de sistema osmótico hace referencia a los procesos que se desarrollan a presión atmosférica (OD), los que se desarrollan a vacío (VOD) y en los que se aplica un pulso de vacío (PVOD).

En el empleo de la deshidratación osmótica a vacío, en la que se aplican presiones subatmosféricas (VOD), se ha observado que el proceso es más rápido y la variación de peso también es mayor para un mismo tiempo que trabajando a presión atmosférica (OD). Las explicaciones a este comportamiento se basan en el mantenimiento de la concentración de la disolución osmótica por evaporación del agua que sale de la fruta, eliminación del aire del ambiente y del material tratado, con lo que aumenta la interfase de contacto entre el alimento y la disolución osmótica (Ceballos, 2008). El problema que presenta el empleo de esta técnica es el aumento del costo del equipo, sin embargo, si se tiene en cuenta que el mecanismo hidrodinámico (HDM) es muy rápido y sucede cuando se rompe el vacío en el sistema, se puede aplicar entonces la deshidratación osmótica a vacío por pulsos (PVOD).

En la deshidratación osmótica a vacío por pulso (PVOD), en la que se aplican pulsos de vacío durante cortos periodos de tiempo combinados con tiempos largos de deshidratación a presión atmosférica, se asegura una mejor transferencia de masa tanto del agua del sólido hacia la disolución osmótica, como de los sólidos solubles de dicha disolución a la fruta (Escriche, et al., 1999), esto se debe al reemplazo del gas de los poros por la disolución osmótica.

2.4.2.5. Efecto de la temperatura

En términos generales al elevar la temperatura se estimula el movimiento molecular y aumenta la permeabilidad celular, de manera que se produce un aumento de la velocidad de transferencia de materia, con lo que la pérdida de agua y la ganancia de solutos son mayores. Sin embargo, la influencia de la temperatura no es uniforme en cualquier intervalo, a valores de temperatura comprendidos entre 40-50 °C se produce un descenso de viscosidad en la disolución de sacarosa y la transferencia de masa es más acusada. No obstante, por encima de estas temperaturas la desnaturalización de las membranas celulares y la pérdida de la actividad biológica celular hacen el transporte mucho más rápido, lo que tiene un efecto negativo sobre la estructura del tejido de la fruta y por tanto sobre su textura, así como sobre el sabor y aroma (Ceballos, 2008). Por otro lado se ha de tener presente que los productos deshidratados osmóticamente son alimentos, y como cualquier material biológico sufren importantes cambios con la temperatura, de forma que para el mismo producto, trabajando en intervalos de temperatura distintos, puede ser que tengamos un sistema totalmente diferente debido a los cambios sufridos en su estructura, textura, funcionalidad, entre otros.

2.4.2.6. Efecto de la agitación del sistema

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

De igual forma se ha detectado un menor ingreso de soluto del jarabe al interior de la fruta si se mantiene la agitación. Esto se podría explicar por la dificultad que produce el flujo de agua que sale de la fruta a las moléculas de soluto que traten de ingresar, es decir el soluto iría en contra de la corriente del agua de la fruta.

2.4.3. Mecanismos en tejidos vegetales

Los mecanismos del transporte de masa al interior del tejido vegetal se pueden realizar por tres vías diferentes en un tejido sometido a tratamiento osmótico:

- 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 realiza en el interior del plasmalema y se caracteriza por el movimiento de moléculas de una célula a otra a través de delgados conductos (Plasmodesmos).
- El transporte a través de la membrana (TM), que tiene lugar a través del mecanismo osmótico, es un intercambio entre el protoplasma y el espacio libre que comprende el espacio intercelular y la pared celular (Le Maguer, 1988).

A efectos prácticos, se puede considerar que la estructura de las células parenquimáticas consta de un espacio intracelular conformado por la vacuola y el citoplasma, un espacio extracelular constituido por la pared celular y los espacios intercelulares, delimitados por la membrana plasmática ubicada entre los espacios intracelulares y los extracelulares. La fruta es un agregado de células parenquimáticas empaquetadas de forma compacta con cierta cantidad de espacios intercelulares libres (Le Maguer, 1988). El comportamiento del tejido vegetal es igual al de una sola célula, es obvio que la velocidad de encogimiento o hinchamiento del tejido durante la OD dependerá tanto de la difusión extracelular como de la permeabilidad de la membrana celular. Sin embargo, si se tiene en cuenta la interacción entre células, el cambio en el medio circundante repercutirá en las primeras capas de células, de esta forma, las más cercanas a la interfase estarán completamente plasmolizadas, mientras que aquellas más alejadas permanecerán completamente turgentes (Le Maguer, 1988).

La membrana es parcialmente selectiva y algo del soluto puede atravesar la misma (Chirife, 1982; Lerici, et al., 1988; Vial, et al., 1991). Esto se debe a que la membrana y la pared celular en los productos vegetales, son unidades biológicas vivas, y pueden encogerse o estirarse bajo la influencia del crecimiento o de la turgencia generada dentro de la célula (Bolin, et al., 1983).

La acumulación del soluto (sacarosa) está aparentemente limitada a la periferia del alimento (Vial, et al., 1991). Una elevada concentración en solutos puede provocar la ruptura de

la estructura celular y alterar el comportamiento en lo que respecta a la ganancia de sólidos y pérdidas de agua y en caso de no producirse cambios de la estructura, debe ocurrir una mayor deshidratación y encogimiento de la célula, que también puede modificar significativamente la estructura y obstaculizar los fenómenos de transporte (Lenart & Flink , 1984).

Las mayores afectaciones que produce la deshidratación osmótica (OD) sobre la estructura celular:

- Colapso de la matriz porosa.
- Modificación de la pared celular.
- Pérdida de la funcionalidad de la membrana plasmática.
- Incapacidad del protoplasma para recuperar su volumen original.
- Encogimiento del tejido, etc.

Los mecanismos que actúan en la OD se pueden dividir en dos grupos (Fito, 1994):

- El conjunto de mecanismos dependientes de gradientes de concentración (denominados de forma genérica pseudodifusionales) incluyen los mecanismos osmótico y fickiano.
- El Mecanismo Hidrodinámico (HDM); dependiente de gradientes de presión y/o temperatura y que incluye los efectos capilares y que está sumamente influenciado por la estructura.

2.5. Secado con aire caliente o convectivo

La deshidratación osmótica es un pretratamiento que puede mejorar no solo las propiedades sensoriales, sino también las nutricionales y funcionales de las frutas y hortalizas sin alterar su integridad, por lo cual se considera que la DO es un paso preliminar importante para aplicar un método de secado final, como lo es el secado convectivo. Al secar un sólido húmedo con aire caliente, el aire aporta al producto tanto el calor sensible como el calor latente de evaporación, y también actúa como acarreador de la humedad que se está evaporando del sólido.

Cuando se coloca un producto sólido húmedo en contacto con una corriente de aire caliente y se mantienen constantes la temperatura, humedad, velocidad y dirección de flujo sobre el sólido de dicha corriente de aire, se lograra deshidratar el sólido. Conforme avanza la deshidratación se

alcanza un punto en el que la velocidad de movimiento de la humedad desde el interior del producto hasta la superficie se reduce en grado tal, que la superficie del producto comienza a researse. Como lo que se elimina en esta etapa es agua débilmente ligada, el proceso es cada vez más lento y su velocidad depende del mecanismo del movimiento de la humedad dentro del sólido (capilaridad o difusión) (Colina, 2010).

2.5.1. Mecanismo del secado convectivo

Por lo general, la deshidratación de alimentos sólidos sigue una secuencia de eventos, que pueden resumirse de la siguiente manera (Colina, 2010):

- Los tejidos animales y vegetales poseen una estructura porosa con estrechos conductos llamados capilares. Al inicio de la deshidratación, cuando la estructura celular está intacta, el agua se desplaza a través de ellos hacia la superficie del sólido desde donde se elimina. A este mecanismo de eliminación de agua se le denomina capilaridad.
- Conforme el agua se evapora de la superficie húmeda el diámetro de los poros superficiales y de los capilares disminuye y los elementos estructurales sólidos se acercan o compactan con la influencia de la tensión superficial. Este efecto también se observa en las capas más profundas del alimento. El encogimiento del producto es proporcional al volumen de agua evaporada.
- A medida que se elimina más agua, los elementos estructurales del producto sufren mayor deformación, estrujándose y provocando mayor encogimiento del producto, lo cual reduce los espacios libres o capilares. Entonces el agua empieza a desplazarse por difusión molecular hacia las partes con menor concentración de agua en este caso hacia la superficie. Como la eliminación de agua por capilaridad es más rápida que por difusión, debe intentarse cualquier acción que ayude a mantener la capilaridad durante todo el proceso de deshidratación. Algunas de estas acciones pueden ser (Colina, 2010):
- Seleccionar adecuadamente la temperatura del aire de secado, la cual no debe ser muy alta para impedir que se deshidrate la superficie, formando una costra que impida el paso del agua por eliminar, ni tampoco demasiado baja para evitar tiempos de deshidratación prolongados que contraigan al producto.
- Deshidratar piezas pequeñas y delgadas.

- Emplear previamente una deshidratación osmótica que disminuya el contenido inicial de agua del producto.

En el caso de frutas y hortalizas:

- Seleccionar el estado de madurez adecuada que permita tener las características sensoriales adecuadas, pero con mayor rigidez de textura posible.
- Efectuar tratamientos reforzadores de textura.

2.5.2. Factores que influyen en la velocidad de secado de un alimento

Existen diversos factores que afectan la velocidad de secado de un alimento (Colina, 2010).

Dentro de ellos se encuentran los siguientes:

2.5.2.1. Condiciones de proceso

- Temperatura del aire de secado. La velocidad de deshidratación de un alimento varía en relación directa con la temperatura del aire que entra al deshidratador. Cuando se emplea aire a altas temperaturas se incrementa la velocidad de transferencia de calor, lo cual trae como consecuencia mayor velocidad de evaporación. Por otra parte, la humedad relativa del aire decrece conforme aumenta la temperatura del mismo, lo cual aumenta el gradiente de humedad entre el aire y la superficie del producto y acelera la remoción de agua del producto, así mismo la difusión interna del agua del producto se incrementa a altas temperaturas debido a que las moléculas de agua migran con mayor rapidez conforma aumenta la temperatura, por lo que la velocidad de deshidratación tanto en el periodo de velocidad constante como el de velocidad decreciente, se ve favorecido por las altas temperaturas de proceso. Sin embargo, temperaturas extremadamente altas, promueven el desarrollo de reacciones físicas y químicas indeseables, que se refleja en el deterioro de la calidad del producto.
- Velocidad del aire. La velocidad a la que el aire utilizado para la deshidratación fluye sobre el producto, afecta la velocidad de evaporación del agua de la superficie del producto hacia el aire. Un incremento en la velocidad del aire, y su consecuente aumento en la turbulencia de la corriente, aumenta la velocidad de la transferencia de masa por convección y, por

consiguiente, aumenta la velocidad de deshidratación. Sin embargo, velocidades excesivamente altas del aire provocan arrastre de producto, dificultan el control de las condiciones de proceso, e incrementan los costos de operación debido al mayor gasto energético requerido para calentar y hacer circular una mayor masa de aire.

- Humedad relativa del aire. El gradiente de humedad entre el aire de deshidratación y la superficie del producto es la fuerza impulsora para la transferencia externa de masa, en este caso la remoción del agua del producto. Cuando menor sea la humedad relativa del aire mayor será dicho gradiente y por ende mayor velocidad de deshidratación. En el periodo de velocidad constante, y la transferencia interna de agua en el producto es bueno y la velocidad de deshidratación se controla casi exclusivamente por la resistencia superficial a la evaporación, la cual se reduce cuando se emplea un aire con una baja humedad relativa.
- Presión del sistema. La presión a la que se realiza el proceso determina las relaciones de equilibrio del agua, por lo que influye en la velocidad de secado. Cuando el secado se efectúa bajo vacío, se reduce la presión de vapor del aire y la remoción del agua del producto, en el periodo de velocidad constante, se realiza con mayor rapidez. Sin embargo, en el periodo de velocidad decreciente, donde el secado está limitado por la transferencia de masa interna en el producto, el vacío ejerce poca influencia.

2.5.2.2. Características del producto por secar

- Composición química. El tipo y la concentración de los componentes químicos presentes en un alimento, determinan no solo su contenido de humedad inicial, sino la forma en que el agua interactúa con ellos (dando lugar al agua ligada), que se refleja en la actividad de agua del alimento e influye en la movilidad de las moléculas de agua durante el secado. Algunos solutos como azúcares, almidones, gomas, proteínas y sales, interactúan con el agua del alimento disminuyendo la velocidad de transporte de agua y por consiguiente reduciendo la velocidad de secado.
- Estructura celular. En la mayoría de los alimentos una porción de agua está contenida dentro de la célula (agua intracelular) y el resto de agua se encuentra fuera de ellas (agua intercelular). La primera es más fácil de remover ya que debe difundirse a través de la membrana celular.

- Forma y tamaño del producto. Cuando los alimentos se cortan o rebanan en finos segmentos aumenta su área superficial y esto facilita la deshidratación, ya que disminuye el grosor del producto y, por tanto, se reduce la distancia entre cualquier punto interno del alimento y la superficie. Sin embargo, debe considerarse que en ocasiones, cuando el producto se corta en delgadas laminillas, pueden tender a pegarse unas con otras, produciendo una masa de producto con mayor grosor que dificulta la difusión y la salida de la humedad. El corte o rebanada, además de reducir el grosor del producto, proporciona piezas de alimento de tamaño y forma regulares y homogéneos que conducen a una adecuada deshidratación de las mismas e incrementa la velocidad de secado.

2.6. Textura en los alimentos

Este ha sido un término difícil de definir, ya que significa diferentes cosas para diferentes personas. La definición del diccionario de la textura es de poca ayuda, ya que corresponde principalmente a los textiles y el acto o arte del tejido y, en general, a "la disposición o forma de unión de partículas o partes constituyentes más pequeños de un cuerpo o sustancia, la estructura fina". La definición del diccionario que viene más cercano a las necesidades del tecnólogo de alimentos establece que la textura es "la forma de la estructura, la interrelación de las partes, la calidad estructural". El diccionario "Webster's" da ejemplos de la textura de los textiles y fibras, tejidos, composiciones artísticas, la música, la poesía, petrografía (el estudio de las rocas), la textura de un hueso o de la planta, pero ni siquiera menciona los alimentos. En vista de esta falta de cobertura en el diccionario, tecnólogos de los alimentos se han esforzado por elaborar su propia definición de lo que se entiende por la textura. Estas definiciones se dividen en dos grupos.

- El grupo 1: Comprende lo que podría llamarse definiciones "de los productos básicos orientados a" en el que el término textura se aplica a un atributo particular, la calidad de un dado tipo de alimento. Por ejemplo, en los helados de clasificación, textura significa la suavidad del helado, pero no incluye otros factores como la dureza y propiedades de fusión. En la clasificación de pan, textura significa uniformidad de la miga e incluso la distribución de tamaño de las burbujas de gas pero no incluye la suavidad o la tenacidad del pan.

- Grupo 2: Considera que la textura se aplica a todos los alimentos y los esfuerzos para desarrollar definiciones que reflejan una cobertura universal de todos los alimentos.

También definida por Szczesniak (2002) como la manifestación sensorial y funcional de las propiedades estructurales, mecánicas y superficiales de los alimentos, detectados a través de los sentidos de la visión, oído, tacto y sinestesia. Esta definición indica que la textura es un complejo atributo multiparamétrico y que está vinculado a la estructura del alimento.

De igual forma se considera que la textura es el conjunto de propiedades que se derivan de la especial disposición que tienen entre si las partículas que integran los alimentos que pueden ser percibidas por los ojos, el tacto, los músculos de la boca incluyendo sensaciones como aspereza, suavidad, granulosidad, también percepciones que tienden a constituir una valoración de las características físicas del alimento que se perciben a través de la masticación y también una valoración de las características químicas que se perciben a través del gusto. Los aditivos afectan en alguna forma a estos parámetros. La textura es una propiedad de los alimentos que siempre está relacionada con un sistema físico químico, es decir un sistema coloidal formado por dos fases no miscibles.

2.6.1. Importancia de la textura en alimentos

La importancia de la textura en la aceptabilidad general de los alimentos es muy variable, dependiendo del tipo de alimento. Arbitrariamente podríamos dividirlo en tres grupos:

1. Críticas: Los alimentos en los que la textura es la característica de calidad dominante; por ejemplo, la carne, las papas fritas, copos de maíz y apio.
2. Importantes: Los alimentos en los que la textura hace una significativa contribución pero no tiene una posición dominante en la calidad general, contribuyendo, más o menos igual, con sabor y la apariencia; por ejemplo, la mayoría de las frutas, verduras, quesos, pan, la mayoría de los otros alimentos a base de cereales y dulces caen en esta categoría.
3. Menores: Los alimentos en los que la textura hace una contribución insignificante a la calidad general; ejemplos son la mayoría de las bebidas y sopas finas.

Por lo tanto, podemos decir que la textura de los alimentos tienen las siguientes características:

- Se trata de un grupo de propiedades físicas que se derivan de la estructura del alimento.
- Pertenece bajo el subtítulo mecánico o reológico de propiedades físicas. Las propiedades ópticas, propiedades eléctricas y magnéticas, temperatura y propiedades térmicas son propiedades físicas que son excluidos de la definición de la textura.
- Se compone de un grupo de propiedades, no de una sola propiedad.
- Textura se detecta principalmente por la sensación de tacto, por lo general en la boca, pero en otras partes del cuerpo pueden estar involucrados (con frecuencia las manos).
- No está relacionado a los sentidos químicos de sabor u olor.
- Medición objetiva es por medio de funciones de la masa, la distancia, y sólo el tiempo.

2.6.2. Medición y evaluación de textura

La textura de los alimentos puede ser evaluada a través de ensayos instrumentales o a través del análisis sensorial, habiéndose demostrado excelentes correlaciones entre las calificaciones instrumentales y sensoriales (Szczesniak, 2002). Numerosos métodos instrumentales han sido utilizados para evaluar las características mecánicas de los alimentos a la vez que varias interpretaciones de los parámetros medidos han sido descritas a lo largo de tiempo (Sousa, et al., 2007).

En los años recientes, la mayoría de la información de propiedades texturales y mecánicas de frutas ha sido obtenida a través de ensayos de compresión uniaxial con equipos de prueba tales como el texturómetro universal TA.XT2 (Luna-Guzmán & Barrett, 2000; Luna-Guzmán, et al., 1999; Smout, et al., 2005; Chiralt, et al., 2001). Al estudiar las propiedades texturales de cada alimento se hace necesario determinar algunos parámetros físico-químicos: tensión superficial, viscosidad, coherencia entre moléculas, adhesión de unas partículas a otras. También existen parámetros mecánicos relacionados con la textura de acuerdo con Civille & Szczesniak (1973).

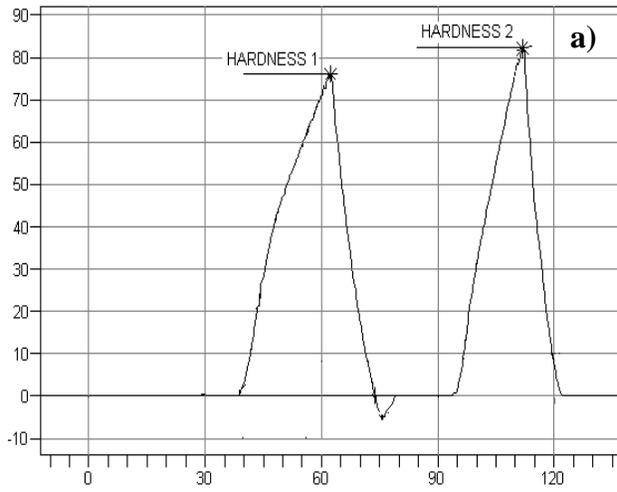
Tabla 1. Definición de los parámetros mecánicos de textura. Adaptado de (Civille & Szczesniak, 1973).

Físicas		Sensoriales
Propiedades primarias		
Dureza	Fuerza necesaria para alcanzar una determinada deformación.	Fuerza requerida para comprimir una sustancia entre los dientes molares (en el caso de los sólidos) o entre la lengua y el paladar (en el caso de semisólidos).
Cohesión	Grado en que un material puede deformarse antes de que se rompa.	Grado en que una sustancia se comprime entre los dientes antes de que se rompa.
Viscosidad	Tasa de flujo por unidad de fuerza.	Fuerza necesaria para la elaboración de un líquido con una cuchara sobre la lengua.
Elasticidad	Velocidad a la que un material deformado se remonta a su condición no deformada después de que se elimina la fuerza deformante.	Grado en que un producto vuelve a su forma original, después de que ha sido presionado entre los dientes.
Adhesividad	El trabajo necesario para superar las fuerzas de atracción entre la superficie del alimento y de la superficie de los otros materiales con los que el alimento entra en contacto.	Fuerza requerida para retirar el material que se adhiere a la boca (generalmente el paladar) durante el proceso de alimentación normal.
Propiedades secundarias		
Fracturabilidad	Fuerza con la que un material se fractura: un producto de alto grado de dureza y un bajo grado de cohesión.	Fuerza con la que una muestra se desmorona, grietas, o se rompe.
Masticabilidad	Requiere energía para masticar un alimento sólido a un estado listo para tragar: un producto de la dureza, cohesividad y elasticidad.	Longitud de tiempo (en segundos) requerido para masticar la muestra, a una tasa constante de aplicación de la fuerza, para reducirla a una consistencia adecuada para la deglución.
Gomosidad	Energía necesaria para desintegrar un alimento semisólido a un estado listo para tragar: un producto de un bajo grado de dureza y un alto grado de cohesión.	Densidad que persiste durante toda la masticación; requiere energía para desintegrar un alimento semisólido a un estado listo para tragar.

2.6.3 Representación gráfica de las principales características de textura.

Las gráficas obtenidas con los diferentes equipos analizadores de textura nos proporcionan la misma información. Es decir, son similares en la forma de determinarse los valores de las características específicas de textura. En la **Figura 8** se representan algunas de estas gráficas.

Carga (N)



Carga (N)

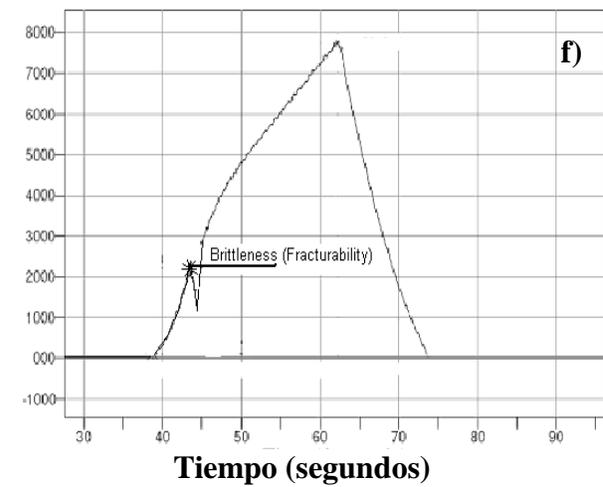
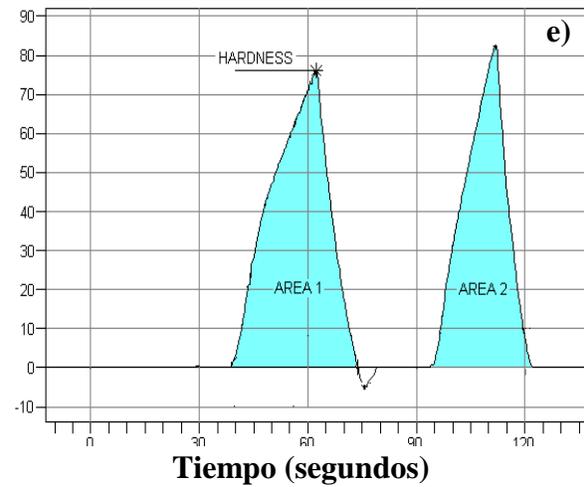
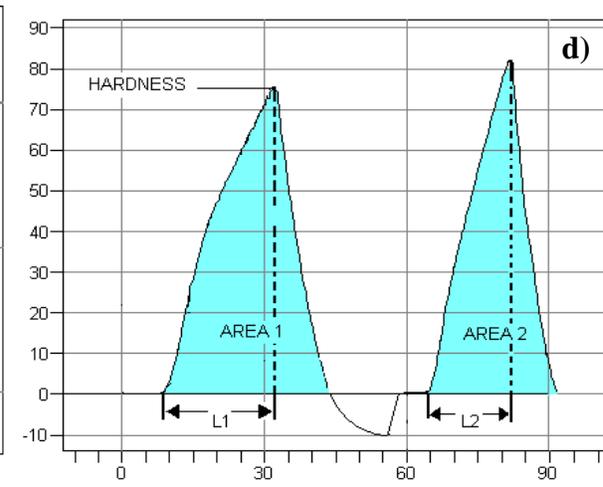
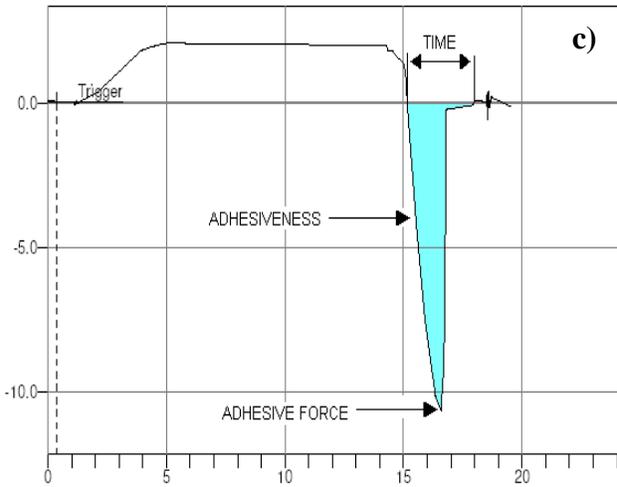
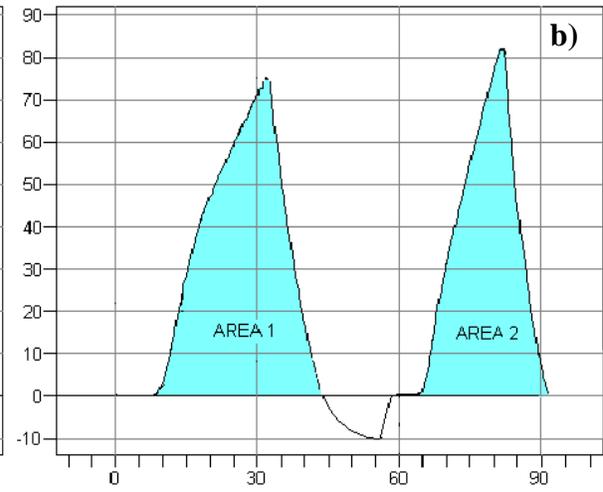


Figura 8. Graficas características de; a) Dureza, b) Cohesión, c) Adhesión, d) Masticabilidad, e) Gomosidad, f) Fracturabilidad

2.6.3. Comportamiento interno de un material

Las propiedades mecánicas estudiadas por la reología se pueden medir mediante reómetros, texturómetros, aparatos que permiten someter al material a diferentes tipos de deformaciones controladas y medir los esfuerzos o viceversa.

Las fuerzas internas de un elemento están ubicadas dentro del material por lo que se distribuyen en toda el área; justamente se denomina *esfuerzo* a la fuerza por unidad de área, la cual se denota con la letra griega sigma (σ) y es un parámetro que permite comparar la resistencia de dos materiales, ya que establece una base común de referencia.

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (1)$$

Donde:

$P \equiv$ Fuerza axial;

$A \equiv$ Área de la sección transversal

Cabe destacar que la fuerza empleada en la ecuación (1) debe ser perpendicular al área analizada y aplicada en el centroide del área para así tener un valor de σ constante que se distribuye uniformemente en el área aplicada. La ecuación (1) no es válida para los otros tipos de fuerzas internas; existe otro tipo de ecuación que determine el esfuerzo para las otras fuerzas, ya que los esfuerzos se distribuyen de otra forma. La resistencia del material no es el único parámetro que debe utilizarse al diseñar o analizar una estructura; controlar las deformaciones para que la estructura cumpla con el propósito para el cual se diseñó tiene la misma o mayor importancia. El análisis de las deformaciones se relaciona con los cambios en la forma de la estructura que generan las cargas aplicadas. Por ello definir la deformación (ε) como el cociente entre el alargamiento δ y la longitud inicial L , indica que sobre la barra la deformación es la misma porque si aumenta L también aumentaría δ . Matemáticamente la deformación sería:

$$\varepsilon = \frac{\delta}{L} \quad (2)$$

Al observar la ecuación (2) se obtiene que la deformación es un valor adimensional siendo el orden de magnitud en los casos del análisis estructural alrededor de 0,0012, lo cual es un valor pequeño (Beer & Johnston, 1993; Popov, 1996; Singer & Pytel, 1982).

De la ecuación (1) y (2) posteriormente se pueden convertir los datos obtenidos al parámetro tensión de Hencky (σ_H) ecuación (3) para la evaluación de las muestras de un tejido vegetal, suponiendo volumen constante durante la compresión (Chiralt, et al., 2001; Rodrigues, et al., 2003).

$$\sigma_H = \frac{F(t) H(t)}{H_0 A_0} \quad (3)$$

Donde $F(t)$ es la fuerza (N), $H(t)$ es la distancia (m) A_0 es el área inicial (m^2) y H_0 es la altura inicial (m) de la muestra.

La forma general de la respuesta mecánica del tejido vegetal se muestra en la **Figura 9**, donde ε es la deformación. En esta figura se observa una relación tensión-deformación inicial de tipo lineal o respuesta elástica del sistema, que se representa mediante el módulo de compresión E_i (Chiralt, et al., 2001). La tensión de falla o fractura (σ_H) está asociada al punto máximo de la curva deformación-tensión. Ese punto, a niveles elevados de deformación, señala que se produce la fractura de la muestra.

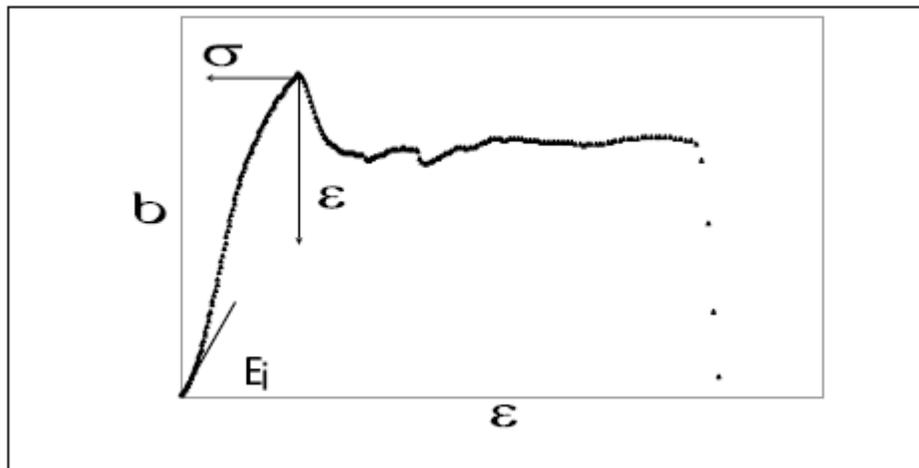


Figura 9. Parámetros de Hencky en una curva típica de compresión uniaxial.



En la **Figura 9**, los puntos importantes del diagrama de esfuerzo deformación son:

- Límite de proporcionalidad: hasta este punto la relación entre el esfuerzo y la deformación es lineal;
- Límite de elasticidad: más allá de este límite el material no recupera su forma original al ser descargado, quedando con una deformación permanente;
- Punto de cedencia: aparece en el diagrama un considerable alargamiento o cedencia sin el correspondiente aumento de carga. Este fenómeno no se observa en los materiales frágiles;
- Esfuerzo máximo: máxima ordenada del diagrama esfuerzo – deformación;
- Punto de ruptura: cuanto el material falla o se rompe.



CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Material biológico

Se trabajó con muestras de papaya (*Carica papaya L.*) variedad Maradol en etapa de madurez (EM) de 1 a 6 considerando como base de selección el color de la cascara (CC). Las papayas fueron cultivadas en el municipio de Villa de Tututepec con coordenadas longitud oeste 97° 36', 16° 07' latitud norte, perteneciente al estado de Oaxaca, México. Estas papayas se cosecharon de una sola plantación para evitar heterogeneidades como tipo de suelo, cantidad y calidad de nutrientes, cuidados en la cosecha, transporte, entre otros. La selección de las papayas se basó en el CC de acuerdo a la **Tabla 2**. También se consideraron otros criterios para papaya Maradol como: forma alargada, peso entre 1.5 – 2.5 kg, sin malformaciones o daños físicos y sin señales evidentes de enfermedad (*antracnosis*) y mancha anular. Las papayas fueron transportadas al CIIDIR-Oaxaca a temperatura ambiente 25 ± 3 °C sin la aplicación de soluciones químicas de conservación y fueron analizadas dentro de un lapso de tiempo de 24 horas después de su cosecha.

Tabla 2. Especificaciones del color de la cascara para la clasificación de las EM. Adaptado de (*Arias & Toledo, 2007*).

Etapa de madurez	Color de la cascara
1	Completamente verde (tiende a madurar).
2	Aproximadamente 20-25% de color amarillo.
3	Aproximadamente 40% de color amarillo.
4	Papaya con 60-70% de color amarillo.
5	Aproximadamente 90-100% de color amarillo.
6	Papaya sobremadura con pequeñas manchas de color cafés.

La metodología de la presente investigación se desarrolló en etapas las cuales fueron: selección de la etapa de madurez, análisis después de las inmersiones en hidróxido de calcio (INCa), análisis durante la deshidratación osmótica (DO), análisis durante el secado con aire caliente (SAC) y evaluación de la textura de las muestras al final del secado.

3.2. Métodos analíticos para la caracterización de las etapas de madurez

Para la caracterización de las etapas de madurez se aplicaron métodos analíticos tales como: índices de color y firmeza de la pulpa (FP), contenido de agua, pH, acidez titulable, relación azúcar-ácido, TSS y azúcares reductores directos y totales. Los métodos aplicados se describen a continuación de manera detallada.

Índices de color

Para determinar el color de la cáscara (CC) de las papayas se utilizó un colorímetro Hunter Lab MiniScan EZ modelo 4500L, este se colocó directamente sobre la cascara de la papaya. El color de la cáscara fue determinado longitudinalmente, se tomaron dos mediciones cerca del pedúnculo, centro y vértice en lados opuestos de las papayas. Se registraron valores de los ejes L^* , a^* , b^* . El valor L^* representa la luminosidad de la fruta, donde 0 = negro y 100 = blanco. Los ejes a^* y b^* son ortogonales del plano de cromaticidad, con base en el criterio de los colores oponentes. El intervalo de valores a^* está en una escala negativa (verde) a positivo (rojo). El intervalo de valor b^* está en una escala negativa (azul) a positivo (amarillo). Con los valores de los ejes a^* y b^* se calcularon el valor Cr y $^{\circ}H$ de acuerdo a las siguientes ecuaciones.

$$^{\circ}H = \cot^{-1} \left(\frac{b^*}{a^*} \right) \quad (4)$$

$$Cr = (a^{*2} + b^{*2})^{0.5} \quad (5)$$

En donde $^{\circ}H$ es el ángulo de matiz ($^{\circ}$) y Cr el valor croma.

Firmeza de la pulpa

La firmeza de la pulpa de las papayas fue medida por el método de punción. Se utilizó un penetrometro de mano con capacidad de 0.5 a 12 Kgf/cm² modelo dual GY-3 (Zhejiang, China Mainland) con un punzón cilíndrico desprendible de 0.008 m de diámetro. Se determinó que para la firmeza de la pulpa (FP) las papayas deben de estar libres de defectos como daños por el sol, plagas o enfermedades que podrían haber afectado el proceso normal de maduración. Las pruebas se hicieron entre la porción de la superficie con coloración máxima y mínima para las papayas que presentaron una coloración mixta. La firmeza de la pulpa fue determinada longitudinalmente, se

tomaron dos mediciones en zonas previamente peladas (2 cm² sólo al nivel de la cáscara) cerca del pedúnculo, centro y vértice en lados opuestos de las papayas. Se colocó la fruta sobre una mesa y se situó la cabeza del puntal contra la pulpa en la zona pelada de la papaya. Se aplicó una presión constante, lenta y uniforme hacia abajo hasta que el puntal penetró la pulpa al nivel de la marca de profundidad del puntal. Los resultados fueron reportados en Newton (N).

Contenido de agua

El X^a de las papayas fue determinado gravimétricamente de acuerdo al método de la AOAC 934.01 (AOAC, 2000). El X^a se determinó por triplicado en cada etapa de madurez con una repetición. Se utilizó una balanza analítica marca OHAUS y se registraron los pesos de los recipientes, las muestras frescas y las secas. Estos valores se utilizaron para determinar el porcentaje del contenido de humedad en base húmeda (X_{bh}^a) y base seca (X_{bs}^a) usando la siguiente ecuación.

$$X_{bh}^a = \frac{(W_i) - (W_f)}{W_i} * 100 \quad (6)$$

$$X_{bs}^a = \frac{(W_i) - (W_f)}{W_f} \quad (7)$$

En donde:

X_{bh}^a = Contenido de humedad en base húmeda, %

X_{bs}^a = Contenido de humedad en base seca, kg agua/kg sólido seco

W_i = Peso inicial de la muestra fresca, kg

W_f = Peso final de la muestra seca, kg

pH, acidez titulable y relación azúcar-ácido

Para la determinación del pH y acidez titulable se crearon muestras semisólidas de cada una de las etapas de madurez de papaya Maradol. El pH se basó en la medición electrométrica de la actividad de los iones hidrógeno presentes en muestras semisólidas de cada etapa de madurez mediante un potenciómetro. Se realizó la determinación de acidez mediante la titulación con potenciómetro con una solución de hidróxido de sodio estandarizada 0.1M (OCDE, 1998). Se estimó la relación de azúcar-ácido para cada etapa de madurez mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Relación azúcar} - \text{ácido} = \frac{\text{solidos solubles totales}}{\text{acidez titulable}} \quad (8)$$

Determinación de sólidos solubles totales

Se determinó el contenido de los sólidos solubles totales en la pulpa de las papayas en cada etapa de madurez de acuerdo a las normas AOAC, 1990; OCDE, 1998. Los sólidos solubles totales fueron determinados con un refractómetro de Abbe modelo WY1A (ICSA-OPTIC, Fuan City, Fujian, China). Se utilizó un mortero y pistilo para crear una muestra semisólida de la pulpa. La muestra semisólida se obtuvo de manera uniforme y fue representativa de toda la fruta entera. Se depositaron de tres a cinco gotas sobre la superficie del prisma del refractómetro. Los resultados obtenidos fueron reportados con un valor decimal.

Contenido de azúcares reductores directos y totales

El porcentaje de azúcares reductores directos y totales (ARDT) fue determinado mediante el método de Fehling de acuerdo a la norma mexicana NMX-F-312-1978. La determinación se realizó por triplicado en cada una de las etapas de madurez. Para determinar los azúcares totales se tomaron 5 g de muestra más 100 ml de agua destilada para mezclar y se homogeneizaron en un matraz Erlenmeyer de 250 ml. Se agregaron 10 ml de solución saturada de acetato neutro de plomo (22%), se agitó y se dejó sedimentar. En ese instante se añadió oxalato de sodio (22%) para lograr la total precipitación y se llevó a un equipo de filtración. Posteriormente se lavó con 20 ml de agua destilada el matraz y el filtro hasta 250 ml, este contenido se hidrolizó con 10 ml de ácido clorhídrico (HCl) concentrado y se calentó durante 15 minutos en baño María a 68 °C y se dejó enfriar, se neutralizó mediante la titulación con hidróxido de sodio (NaOH) 1N, utilizando fenolftaleína como indicador. Se colocaron en matraces Erlenmeyer de 250 ml, soluciones de Fehling: 5 ml de A, 5 ml de B + 20 ml de agua destilada, se llevaron a una parrilla y cuando estuvieron en ebullición se agregó azul de metileno y se tituló la muestra. Para la determinación de los azúcares directos se siguió el mismo procedimiento anterior omitiendo los pasos que indican hidrolizar con 10 ml de ácido clorhídrico (HCl) concentrado, calentar durante 15 minutos en baño María a 68 °C y dejar enfriar.

Los valores de la titulación se utilizaron para calcular el % de azúcares reductores directos y totales mediante la ecuación (7):

$$ARDT = \frac{25000 * T}{V * w} \quad (9)$$

Donde:

ARDT = Azúcares reductores directos y totales, %

*T = Título de la disolución (A y B), kg * mL*

V = Volumen de la muestra gastado en la titulación, mL

W_i = Peso inicial de la muestra, kg

25000 = Valor constante en la determinación

3.3. Inmersión en soluciones de hidróxido de calcio.

Para esta etapa del trabajo, se utilizaron muestras de papaya (*Carica papaya L.*) variedad Maradol en etapa 4 de madurez, en donde, la firmeza de la pulpa, el color de la piel y los TSS fueron usados como métodos analíticos previos más importantes. Fueron considerados los mismos factores como: lugar de origen, condiciones de cosecha y características de la fruta.

Las papayas fueron lavadas y cortadas en forma de cubos de aproximadamente 15 ± 0.5 mm por lado usando un cortador diseñado para este propósito. Se realizaron las inmersiones de los cubos en soluciones de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (GRAS ≥ 95 % de pureza) con agua destilada formando distintas concentraciones. La relación fruta/solución de masa fue de 1:10 en condiciones constantes de temperatura y concentración, durante periodos previamente establecidos y sin agitación. Se utilizó un contenedor de acero inoxidable de aproximadamente 4 L y una parrilla eléctrica adaptada con un termopar para controlar la temperatura del medio acuoso. Al final de cada inmersión los cubos de papaya se lavaron tres veces consecutivas con agua destilada, cada vez con un volumen aproximado equivalente a dos veces el ocupado por los cubos. Finalmente, fueron secados con papel absorbente para retirar el exceso de agua de la superficie, sin presionar los cubos. La ganancia de calcio (ΔCa), la firmeza de los cubos (FC) y los sólidos solubles totales (TSS) fueron determinados en los cubos mediante una selección aleatoria.

Cuantificación de calcio

Se aplicó la técnica de cuantificación de calcio total en plantas, para la valoración del contenido de calcio en los cubos de papaya, adaptado del método oficial AOAC 944.03 (AOAC, 2000).

Se cuantificó el contenido de calcio en papaya fresca y al final de cada inmersión en hidróxido de calcio (INCa) y se determinó el aumento o ganancia de calcio. Se pesaron al menos dos muestras de papaya (duplicado) y se calcinaron en una mufla a 500-550 °C. Se disolvieron las cenizas en 25 mL de HCl, se filtraron y completaron con agua destilada hasta un volumen de 200 mL. Después se agregaron 30 mL de cloruro de amonio al 5%, 20 mL de ácido oxálico al 5%, 10 mL de ácido acético y verde de bromocresol. Se llevaron las muestras a ebullición y se añadió hidróxido de amonio hasta el cambio de color; se dejó sedimentar en un baño a 90 °C por 6 horas y se disolvió el precipitado con 2 mL de ácido sulfúrico para titular con permanganato de potasio (KMnO₄) 0.02 N.

Se determinó el contenido de calcio en las muestras frescas y pretratadas usando la siguiente ecuación:

$$Ca = \frac{(V \text{ de } KMnO_4 * N * E * 4)}{m} * 1000 \quad (10)$$

Donde,

Ca = Contenido de calcio, mg Ca/g fruta fresca

V de KMnO₄ = Volumen gastado de permanganato de potasio durante la titulación

N = Normalidad del permanganato de potasio

E = 0.0004, equivalencia de 1 ml de KMnO₄ corresponde a 0.0004 g de Ca

m = Masa de la muestra usada para la determinación de calcio, g

4 = Factor de corrección durante la titulación, constante

1000 = Factor de conversión de gramos Ca a miligramos Ca

Los resultados obtenidos se expresaron en mg Ca/10 g ss para el análisis de los datos. En cada inmersión fueron evaluados el contenido de calcio en la fruta fresca (Ca^i) y en la fruta tratada (Ca^f) y se registraron los resultados como una ΔCa .

$$\Delta Ca = Ca^f - Ca^i \quad (11)$$

Firmeza de los cubos

La firmeza fue evaluada en los cubos de papaya al final de cada inmersión, para lo cual se seleccionaron al azar cuatro cubos. Se utilizó un penetrometro de mano con capacidad de 0.5 a 12 Kgf/cm² modelo dual GY-3 (Zhejiang, China Mainland) con un punzón cilíndrico desprendible de 0.008 m de diámetro. Se apuntó el penetrometro y se situó la cabeza del puntal contra una de las caras de los cubos de papaya. Se aplicó una presión constante, lenta y uniforme hacia abajo hasta que el puntal penetró el cubo hasta la mitad (aproximadamente 80% de la distancia total de la marca del punzón).

TSS en los cubos

Los sólidos solubles totales fueron determinados en los cubos de papaya al final de cada tratamiento de acuerdo al método AOAC, 1990; OCDE, 1998. Los sólidos solubles totales fueron determinados con un refractómetro de Abbe modelo WY1A (ICSA-OPTIC, Fuan City, Fujian, China). Se utilizó un mortero y pistilo para crear una muestra semisólida de los cubos. La muestra semisólida se obtuvo de manera homogénea a partir de tres cubos. Se depositaron de tres a cinco gotas sobre la superficie del prisma del refractómetro. Se tomaron lecturas por triplicado con un valor decimal para el posterior análisis.

3.4. Diseño experimental y análisis de datos en la inmersión de hidróxido de calcio

Las inmersiones en hidróxido de calcio se realizaron de modo aleatorio. Las variables respuesta fueron: ganancia de calcio (ΔCa), firmeza de los cubos y sólidos solubles totales finales. El análisis del efecto de los factores concentración de calcio de la solución, tiempo de inmersión y temperatura de la solución sobre las variables respuesta se organizó de acuerdo a un diseño

experimental completamente al azar, con dos repeticiones para cada tratamiento y muestras por triplicado para cada variable respuesta, como se muestra en la **Tabla 3**.

Tabla 3. Diseño factorial completo para el análisis de las inmersiones en solución de Ca (OH)₂.

Concentración de calcio (g/100 mL agua)	Temperatura (°C)					
	25			45		
	Tiempo (h)			Tiempo (h)		
0.5	1.5	3.0	4.5	1.5	3.0	4.5
1.0	000	001	002	020	021	022
1.5	100	101	102	120	121	122
	200	201	202	220	221	222

Los valores obtenidos de las inmersiones se sometieron a un análisis de varianza (ANOVA) con un nivel de significancia ($\alpha=0.05$) y las diferencias entre las medias fueron analizadas usando una prueba de diferencia significativa honesta de Tukey donde se determinó el efecto sobre las variables respuesta.

3.5. Deshidratación osmótica

Para la deshidratación osmótica se utilizaron cubos de papaya de 15 ± 0.5 mm por lado tratados previamente como con una solución de Ca(OH)₂ (GRAS ≥ 95 % de pureza) al 1.5% de concentración por tres horas a 25 °C. Para preparar la solución osmótica se utilizó azúcar comercial pura de color blanco y agua destilada. Cuando la solución fue ligeramente amarilla y sin partículas suspendidas, se verificó la concentración usando un refractómetro digital de acuerdo a la AOAC, 1990; OCDE, 1998. Los cubos de papaya previamente pesados e identificados fueron colocados dentro de un vaso de precipitados de 4,000 mL que contenía la SO (solución de azúcar/agua). La relación fruta/solución de masa usada fue 1:10. El vaso de precipitado (con la solución y los cubos) se colocó sobre una parrilla eléctrica para mantener la temperatura requerida y la solución fue agitada continuamente usando un agitador magnético lo que ayudó a mantener la temperatura uniforme del medio durante el desarrollo del pretratamiento. Después de cada pretratamiento

osmótico los cubos deshidratados fueron drenados y limpiados con un papel absorbente sin presionar los cubos para retirar el exceso de la solución osmótica de la superficie.

Sólidos solubles totales en los cubos

Los TSS fueron determinados en los cubos de papaya al final de la deshidratación osmótica de acuerdo a la AOAC, 1990; OCDE, 1998. Se utilizó un mortero y pistilo para crear una muestra semisólida de los cubos. La muestra semisólida se obtuvo de manera homogénea a partir de tres cubos deshidratados. Se depositaron de tres a cinco gotas sobre la superficie del prisma del refractómetro. Se tomaron lecturas por triplicado con un valor decimal y se obtuvo el promedio para la interpretación de los resultados.

Transferencia de masa durante la deshidratación osmótica

Durante la DO de los cubos de papaya ocurrieron fenómenos de transferencia de masa como la pérdida de agua de los cubos y la ganancia o incremento de sólidos en los cubos por influencia de la SO. El contenido de humedad de los cubos fue determinado gravimétricamente de acuerdo a la AOAC 934.01 por duplicado en cada tratamiento y su repetición. Se utilizó una balanza analítica de precisión 0.0001. Se registraron los valores de los pesos y se determinó el contenido de humedad usando las ecuaciones (6) y (7).

Los valores obtenidos para el contenido de humedad, X_{bs}^a (kg a/kg ss) y el contenido de azúcar al inicio y final, X^{az} (kg ss + kg az) fueron normalizados de acuerdo a (X_t^a / X_0^a) y (X_t^{az} / X_0^{az}) respectivamente. Los valores intermedios del contenido de azúcar fueron estimados usando el contenido de humedad para cada tiempo determinado. Ambos se representaron gráficamente como una función del tiempo del pretratamiento osmótico.

Los pesos y contenidos de humedad de cada muestra fueron utilizados para calcular los valores de las variables respuestas; reducción de masa (WR), pérdida de agua de los cubos (WL), ganancia o incremento de azúcar (SG), estas variables se usaron para expresar el intercambio global de soluto y agua entre los cubos de papaya y la solución de azúcar.

La pérdida de agua (WL) se definió como la pérdida neta de agua de los cubos de papaya a un tiempo (θ) como una función de la masa inicial.

$$WL = \frac{W_i * X_i - W_\theta * X_\theta}{W_i} * 100 \quad (12)$$

El incremento de materia seca se relacionó a la ganancia de azúcar (SG), por lo tanto, es la ganancia neta de sólidos totales en los cubos de papaya basada en la masa inicial.

$$SG = \frac{W_\theta(1-X_\theta) - W_i(1-X_i)}{W_i} * 100 \quad (13)$$

La reducción de masa (WR) se determinó como la reducción de la masa neta de los cubos de papaya sobre la base de la masa inicial.

$$WR = \frac{W_i - W_\theta}{W_i} * 100 \quad (14)$$

Donde:

$WL =$ Pérdida de agua (kg agua/kg masa inicial de cubos de papaya), %

$SG =$ Ganancia de azúcar (kg/kg masa inicial de cubos de papaya), %

$WR =$ Reducción de masa (kg/kg masa inicial de cubos de papaya), %

$W_i =$ Masa inicial de los cubos de papaya, kg

$X_i =$ Contenido de humedad como una fracción de la masa inicial de los cubos

$W_\theta =$ Masa de los cubos de papaya después del tiempo (θ), kg

$X_\theta =$ Contenido de humedad como una fracción de la masa al tiempo(θ), kg

La comparación gráfica de los diversos pretratamientos osmóticos se observó utilizando el contenido de humedad (base seca). La relación de humedad adimensional fue determinada usando uno de los modelos empíricos más útiles; la ecuación de Page. Esta es una modificación empírica del modelo exponencial simple, donde K es la constante de secado, t es el tiempo de proceso y B es el parámetro de Page.

$$RH = \frac{X_t - X_\infty}{X_0 - X_\infty} = \exp(-Kt^B) \quad (15)$$

$RH =$ Relación de humedad, adimensional

$X_0 =$ Contenido de humedad inicial (kg a/kg ss)

X_{∞} = Contenido de humedad en el equilibrio (kg a/kg ss)

X_t = Contenido de humedad promedio al instante t (kg a/kg ss)

3.6. Diseño de experimentos y análisis de datos después de la deshidratación osmótica

Los cubos de papaya fueron sometidos a nueve pretratamientos osmóticos diferentes, los cuales se muestran en la **Tabla 4**. Los pretratamientos osmóticos fueron aplicados sobre las muestras durante un periodo de tiempo de 150 minutos.

Tabla 4. Tratamientos desarrollados durante la deshidratación osmótica.

Pretratamientos	Concentración de la SO (°Brix)	Temperatura de la SO (°C)
P1	30	30
P2	45	50
P3	60	70
P4	30	30
P5	45	50
P6	60	70
P7	30	30
P8	45	50
P9	60	70

La influencia de los factores y niveles de cada tratamiento sobre las variables principales reducción de masa, pérdida de agua de los cubos, ganancia de sólidos y los TSS fue determinada mediante un análisis de varianza (ANOVA) con un nivel de significancia ($\alpha=0.05$) y la diferencia entre las medias de los valores fueron analizadas mediante una prueba de diferencia significativa honesta de Tukey.

3.7. Secado con aire caliente

Los cubos de papaya fueron sometidos a un secado con aire caliente después de los pretratamientos con Ca(OH)_2 y deshidratación osmótica usando un túnel de secado convectivo automatizado el cual se operó bajo una temperatura de 70 ± 2 °C y un flujo de aire a una velocidad

de 1.5 ± 0.1 m/s manteniendo una humedad relativa de 2.5 ± 5 %. Durante el proceso de secado se evaluó la pérdida de peso, contenido de humedad y velocidad de secado en diferentes intervalos de tiempo hasta que el contenido de humedad fue igual al 10% aproximadamente. El comportamiento cinético se evaluó de la siguiente manera:

Pérdida de peso

Se calculó determinando la diferencia entre el peso inicial de la fruta fresca y el peso final de la fruta deshidratada empleando una balanza analítica marca OHAUS con un porcentaje de error de 0.0001 g y mediante la ecuación:

$$Pp = \frac{W_i - W_f}{W_i} \quad (16)$$

Donde:

Pp = pérdida de peso

W_i = masa inicial de los cubos, kg

W_f = masa final de los cubos secos, kg

Contenido de humedad

El contenido de humedad de las muestras fue determinado gravimétricamente de acuerdo a la AOAC 934.01 usando la ecuación (6) y (7). La evaluación de la pérdida de humedad se realizó usando la ecuación (17). La rapidez de secado de los cubos fue determinada mediante la ecuación (18).

$$P_h = \frac{X_{bs}}{X_0} \quad (17)$$

$$RS = - \frac{W_s}{X_0} \frac{dX}{dt} \quad (18)$$

Donde:

P_h = Pérdida de humedad

X_{bs} = Contenido de humedad en base seca, kg a/kg ss

X_0 = Contenido de humedad inicial, kg a/kg ss

RS = Rapidez o velocidad de secado, kg agua/s

W_s = Gramos de sólido seco por área de fruta, kg ss

X_s = contenido de humedad de la muestra seca, kg a/kg ss

t = Tiempo, min

3.8. Evaluación de textura

Con la finalidad de conocer la apariencia de los cubos de papaya Maradol fueron tomadas fotografías en diferentes tiempos en estado fresco, durante las INCa, DO y secado convectivo. Estas fotografías se tomaron de acuerdo a la orientación especificada en la siguiente figura.

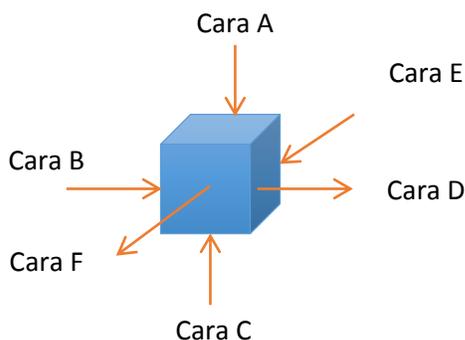


Figura 10. Orientación y simbología de las caras de los cubos dentro del secador de bandejas.

Al final del secado los cubos fueron depositados y transportados en un desecador hasta obtener una temperatura similar a 25 °C. Posteriormente, un analizador de textura (Lloyd Instruments™ Analyser AMETEK Company®) fue utilizado para describir los cambios en las características texturales de cubos de papaya Maradol secados con aire caliente y tratados previamente con INCa y DO. Este fue equipado con una celda de carga de 500 N y una sonda cilíndrica de 20 mm de diámetro. La sonda comprimió las muestras recorriendo una distancia del 70% de la altura de la muestra y la velocidad de compresión fijada antes, durante y después de la prueba fue de 1 mm/s. Se obtuvieron curvas similares a la **Figura 11**. Los valores para dureza, cohesión, adhesividad, elasticidad, gomosidad y masticabilidad fueron determinados de las

muestras frescas, secadas con pretratamientos y secadas sin pretratamientos y se calcularon con las siguientes ecuaciones:

$$\text{Dureza} = F_1 \quad (19)$$

$$\text{Cohesión} = \frac{A_2}{A_1} \quad (20)$$

$$\text{Adhesividad} = A_3 \quad (21)$$

$$\text{Elasticidad} = \frac{D_2}{D_1} \quad (22)$$

$$\text{Gomosidad} = F_1 * \frac{A_2}{A_1} \quad (23)$$

$$\text{Masticabilidad} = F_1 * \frac{A_2}{A_1} * \frac{D_2}{D_1} \quad (24)$$

Donde:

F_1 = Fuerza máxima aplicada a las muestras durante la primer compresión, N

A_1 = Área positiva bajo la curva para la primer compresión, N m

A_2 = Área positiva bajo la curva para la segunda compresión, N m

A_3 = Área negativa bajo la curva para la primer compresión, N m

D_1 = Distancia de contacto con la muestra durante la primer compresión, m

D_2 = Distancia de contacto con la muestra durante la segunda compresión, m

Los valores obtenidos para cada característica fueron sometidos a un análisis de varianza de una sola vía con un intervalo de significancia del 95% ($p < 0.05$), donde se determinó el efecto del proceso sobre las características de textura en cubos de papaya Maradol. Las diferencias entre las medias fueron analizadas usando una prueba de diferencia significativa honesta de Tukey.

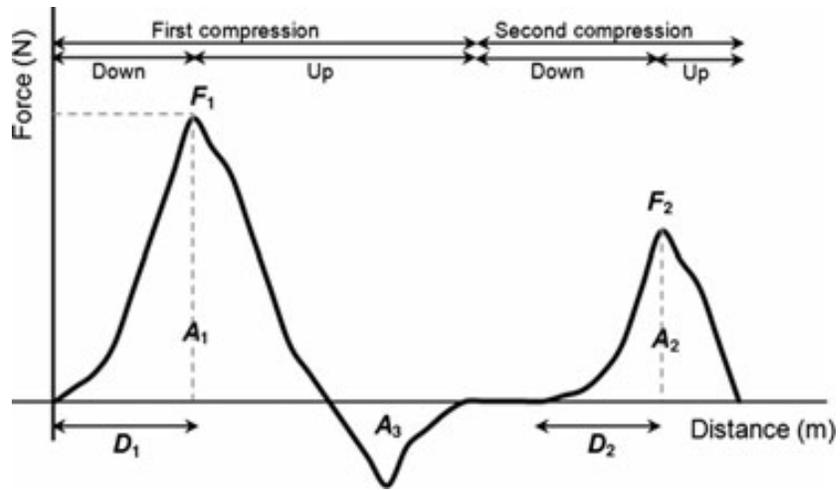


Figura 11. Curva ejemplar de fuerza-desplazamiento obtenido a partir de una prueba de doble compresión de papaya secada con aire mediante un enfoque de análisis de perfil de textura.



CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. Caracterización fisicoquímica de las etapas de madurez

La caracterización fisicoquímica de las etapas de madurez de papaya Maradol se realizó con la finalidad de contar con una muestra específica de madurez, la cual se consideró para desarrollar las inmersiones en hidróxido de calcio, deshidratación osmótica y secado con aire caliente. Se determinó que la principal característica a considerar de las papayas fue el color de la cáscara para aplicar los métodos analíticos que indican la madurez. El color que se consideró en cada etapa de madurez fue el que se muestra en la **Figura 12**.



Figura 12. Color característico en la cáscara de papaya Maradol en seis etapas.

4.1.1. Análisis del color de la cáscara y firmeza de la pulpa

En la **Figura 12** puede observarse que el valor de Luminosidad aumentó de la etapa de madurez (EM) 1 hasta la 5 por el desarrollo del color amarillo a partir del verde, es decir hubo una tendencia hacia el color blanco dentro del rango de la luminosidad. Sin embargo, este valor descendió en la etapa 6 debido al oscurecimiento del color amarillo de la cáscara y la presencia de manchas color café. Estas manchas color café son características en frutas que pasan de una madurez de consumo a un estado de putrefacción. El eje a^* inició con un valor negativo (-8.65 ± 1.22) para la etapa 1 de madurez, que fue cuando la fruta se encontraba en una coloración verde y siguió aumentando conforme la EM fue más avanzada, ya que este eje lleva a una coloración roja. También se observó un incremento en el valor b^* de la etapa 1 a la 5, esto ayudó a diferenciar un estado de maduración de consumo de una fruta inmadura por lo que entre mayor fue el valor del eje b^* la coloración de la cáscara fue más amarilla. En la etapa 6 debido a la aparición de manchas

color café el valor del eje b* disminuyó en comparación con la etapa 5. Para ver los valores de las mediciones consultar el ANEXO 1.

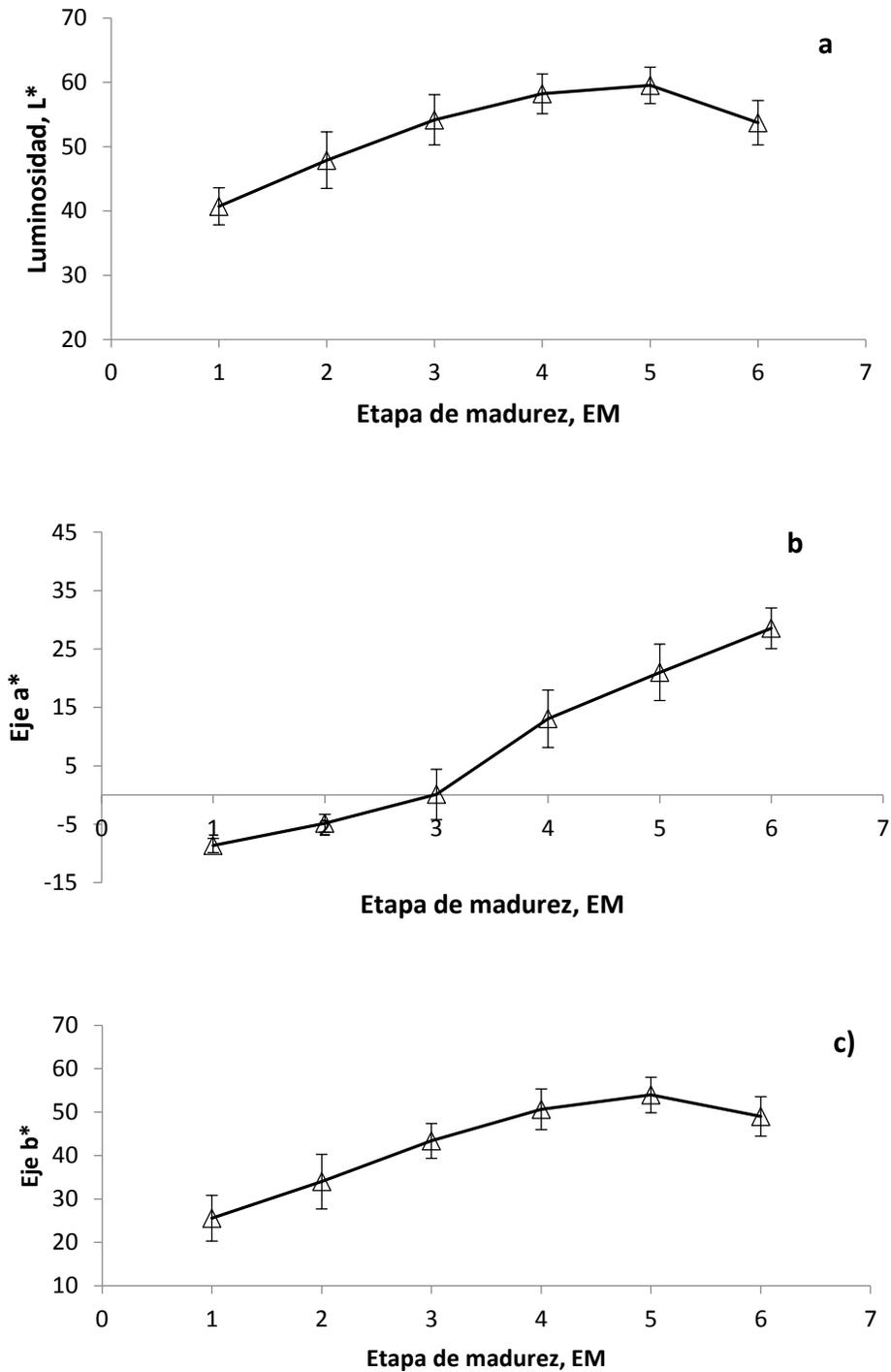


Figura 13. Comportamiento de los valores de luminosidad L* (a), eje a* (b) y eje b* (c) en la cáscara de papaya Maradol.

El ángulo de matiz ($^{\circ}H$) disminuyó conforme se desarrollaron las etapas de madurez y el valor cromático (C^*) aumentó su valor hasta la etapa 5 tal como se muestra en la **Figura 13**. Esta tendencia de los valores del color de la cascara (CC) son similares a lo reportado por Santamaría, *et al.* (2009). Los valores calculados se presentan en el **ANEXO 2**.

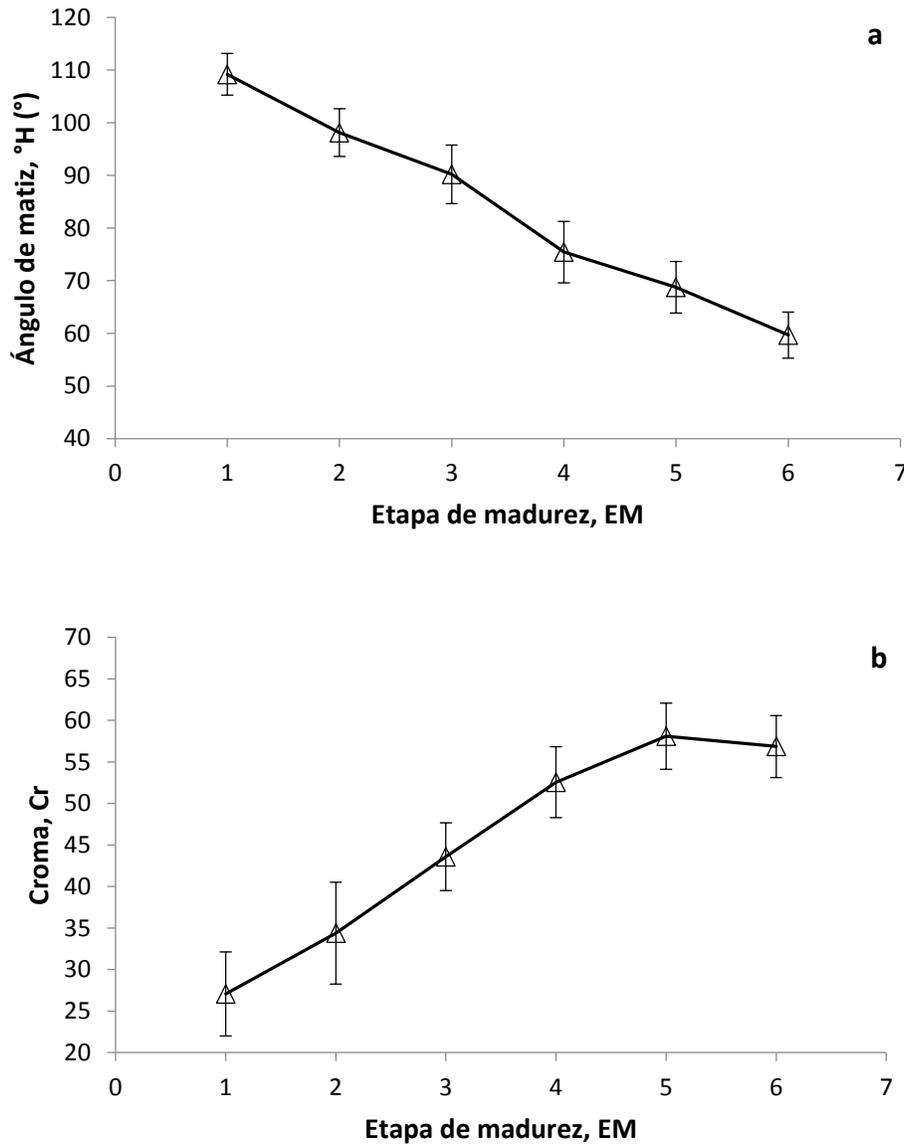


Figura 14. Cambios del ángulo de matiz (a) y cromático C^* (b) relacionados a la cascara de papaya Maradol.

La firmeza de la pulpa (FP) disminuyó conforme se desarrolló cada etapa de madurez de la papaya Maradol como se muestra en la **Figura 14**, los valores más altos registrados para FP se

encontraron en los primeros tres estados de madurez y decrecieron de la etapa 4 a la 6. Ver valores en el ANEXO 3.

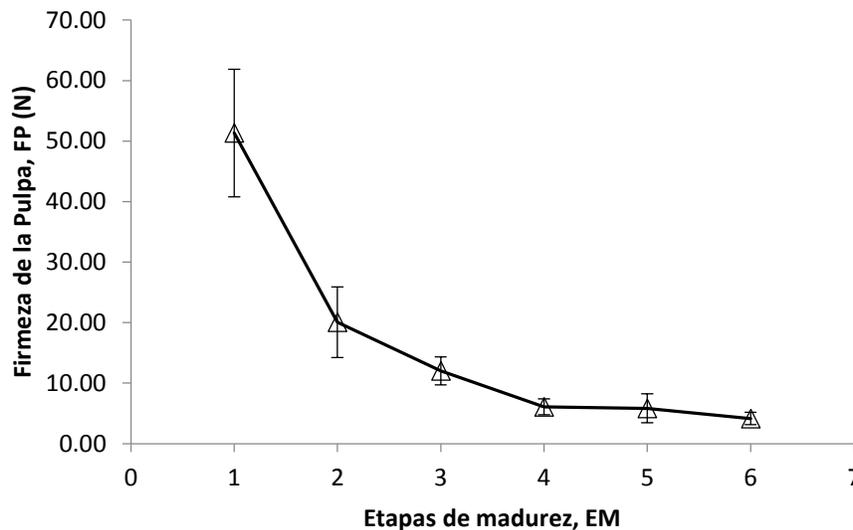


Figura 15. Cambios en la firmeza de la pulpa durante el desarrollo de las EM.

En las últimas etapas (de 4 a 6) se desarrolla la mayor cantidad de azúcares (fructosa, sacarosa y glucosa) cambiando la estructura de la pulpa y disminuye la secreción de látex. La estructura rígida en las primeras etapas de madurez se debe a la presencia de protopectinas altamente esterificadas con metanol y muy insolubles en agua que se encuentran en el tejido inmaduro de las fruta (Badui, 1990). La acción de la enzima protopectinasa las vuelve solubles causando una maduración evidente en diferentes frutos (Badui, 1990). Este fenómeno se presentó durante el desarrollo de madurez en papaya Maradol de la etapa 4 a la 6.

4.1.2. Contenido de humedad, pH, TSS y azúcares reductores directos y totales

En la **Tabla 5** se presentan las características químicas de papaya fresca para cada una de las etapas de madurez, estas características sirvieron para comprender el grado de madurez de las papayas. El contenido de humedad en las seis etapas fue similar, este comportamiento se debió a que para la caracterización no se almacenaron papayas en la etapa 1 para observar el desarrollo de la madurez hasta la etapa 6. Las papayas se cortaron en la etapa requerida y de esta forma no se afectó el suministro de agua por parte del árbol a la fruta, este fenómeno es diferente en las frutas

durante el almacenamiento ya que durante el proceso de maduración pierden peso, principalmente por la pérdida de agua por evaporación y la concentración de materia seca durante el período de poscosecha resulta del equilibrio entre la pérdida de agua por evaporación y el consumo de materia sólida por la respiración.

El desarrollo del pH estuvo ligado al incremento en el contenido de ácido cítrico en las papayas. Este incremento de ácido cítrico influyó en el color y sabor característico de las papayas y un indicativo preciso que permitió determinar la calidad organoléptica de las papayas fue la relación azúcar-ácidos que fue similar de la etapa 1 a la 5. Cuando se incrementó esta relación en la etapa 6 hubo una pérdida del sabor característico de la papaya, esto se debió a que las papayas estuvieron próximas a una etapa de putrefacción.

Tabla 5. Valores de contenido de humedad, pH, acidez titulable y su relación con los azúcares en las EM.

EM	Contenido de humedad (ga/ga + gss)	pH	Acidez titulable (g de ac. cítrico/ 100 gr)	Relación azúcar-ácidos
1	90.41 ± 0.90	4.32 ±0.03	0.0640 ±0.002	125.00
2	89.40 ± 1.47	4.44 ±0.03	0.0709 ±0.008	124.12
3	89.09 ± 1.40	4.60 ±0.02	0.0800 ±0.002	117.50
4	89.70 ± 1.09	4.67 ±0.04	0.0823 ±0.003	125.15
5	90.09 ± 0.67	4.73 ±0.08	0.0877 ±0.001	127.71
6	89.96 ± 1.54	4.86 ±0.04	0.1142 ±0.001	190.29

En la **Figura 16** se muestra el comportamiento de los sólidos solubles totales (TSS) y azúcares reductores directos y totales (ARDT), en ambos casos el comportamiento es ascendente. El contenido de ARDT es menor que el contenido de TSS de la etapa 1 a la 3. Esto sucedió porque la materia seca disuelta es mayor que fructosa, glucosa, carbohidratos complejos y fibra. Sin embargo, de la etapa 4 a la 6 el desarrollo de azúcares como glucosa y fructosa se incrementó disminuyendo el contenido de materia seca y almidón de las papayas.

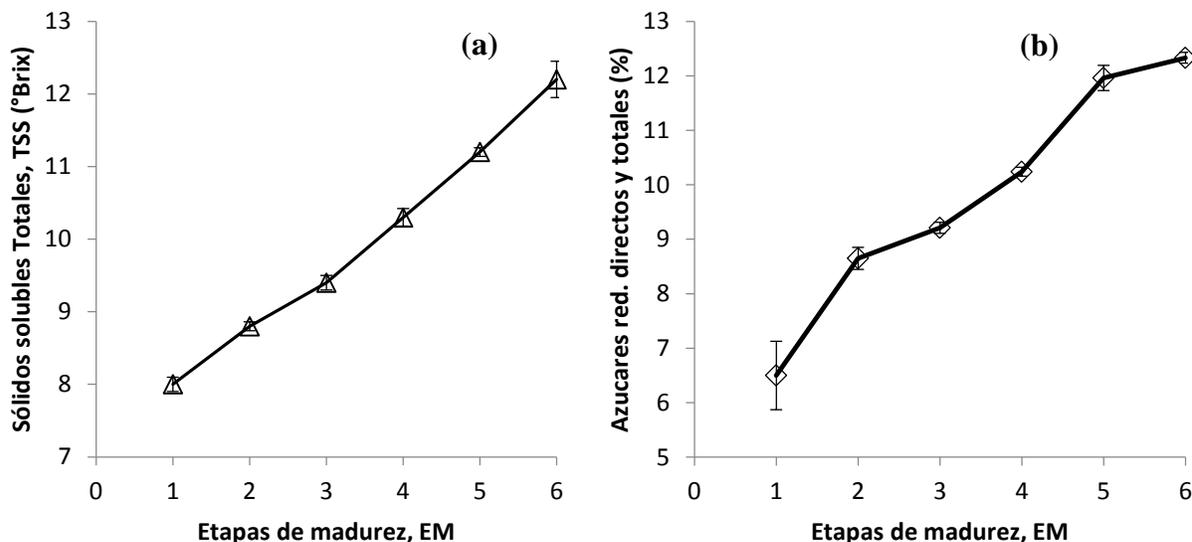


Figura 16. Desarrollo de los sólidos solubles totales (a) y azúcares reductores directos y totales (b) en las seis EM de papaya Maradol.

Con la determinación de los sólidos solubles totales (TSS) se encontró que cuando las EM de la papaya Maradol van desarrollándose, estos van aumentando haciéndose más notorios al paladar en la etapa 4 y especialmente en las de consumo 5 y 6, ya que el desarrollo de fructosa y sacarosa es mayor que en las etapas iniciales. Este comportamiento se corroboró con el contenido de ARDT en cada etapa. Para las etapas 1, 2 y 3 las secreciones de papaína son notorias tanto en la cáscara como en la pulpa.

4.1.3 Características de madurez y su relación con el ángulo de matiz

Con la determinación del ángulo de matiz se encontró el color de la cascara característico para cada etapa de madurez. Este ángulo de matiz se utilizó para correlacionarlo con el pH, sólidos solubles totales tal como se muestra en la **Figura 16**. Se encontró que existe una relación lineal entre el ángulo de matiz con cada etapa de madurez, pH y sólidos solubles totales. Esto se debió a que tanto el ángulo de matiz, pH y sólidos solubles totales cambiaron de manera proporcional para cada etapa de madurez.

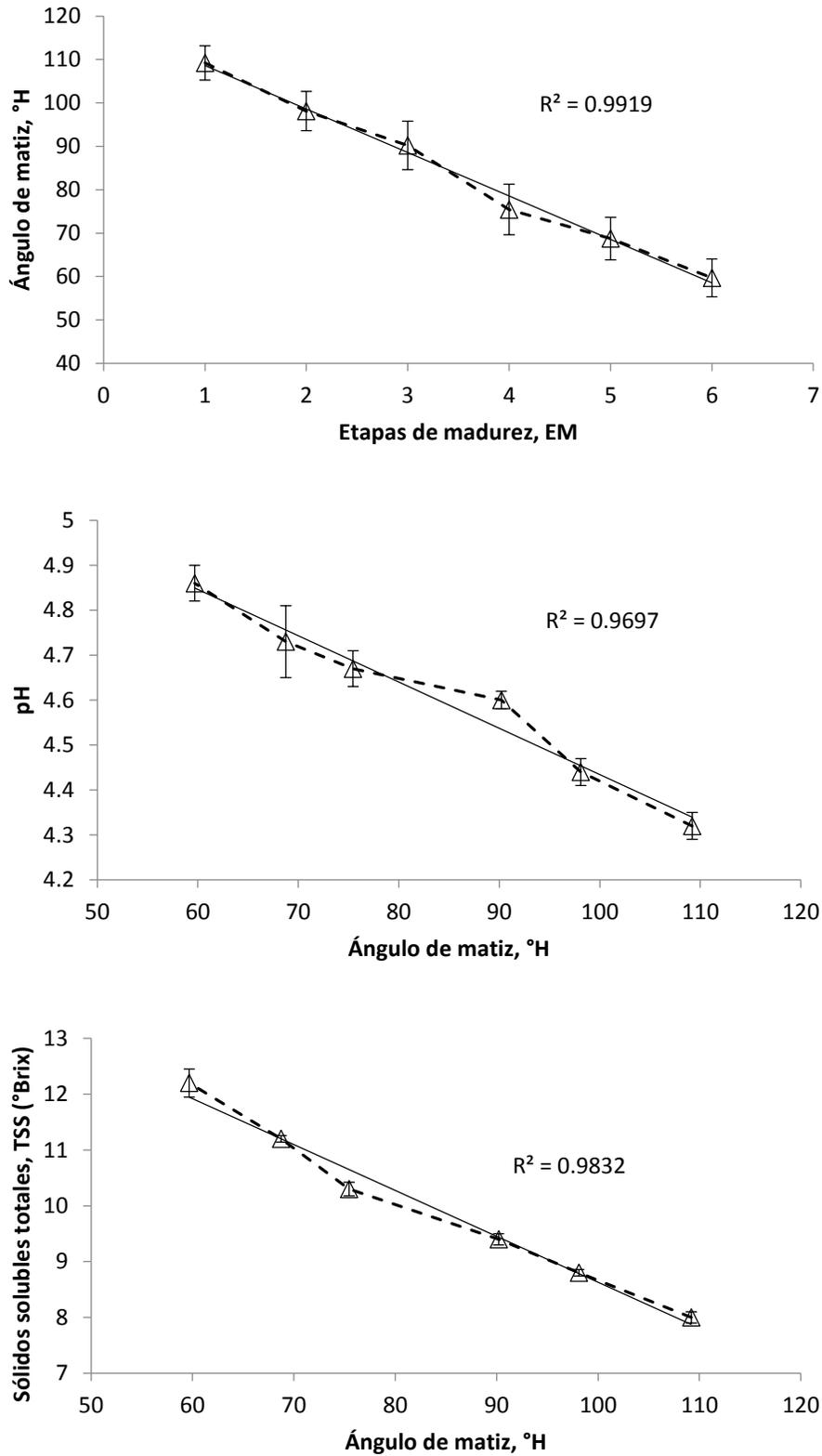


Figura 17. Relación directa entre las etapas de madurez con el ángulo de matiz, pH y TSS.

El comportamiento de la firmeza y la acidez titulable fue no lineal con respecto al ángulo de matiz como se muestra en la **Figura 18**. La firmeza no pudo ser relacionada linealmente debido a que tuvo un valor de 51.34 ± 10.56 y 20.07 ± 5.81 en la etapa 1 y 2 respectivamente, mientras que en las etapas 4, 5 y 6 los valores fueron similares; 6.09 ± 1.31 , 5.84 ± 2.41 , 4.15 ± 1.02 respectivamente. Por lo tanto, la diferencia de la firmeza no fue proporcional entre las etapas de madurez. También, la acidez titulable no mostro una diferencia proporcional con respecto al ángulo de matiz correspondiente a cada etapa de madurez.

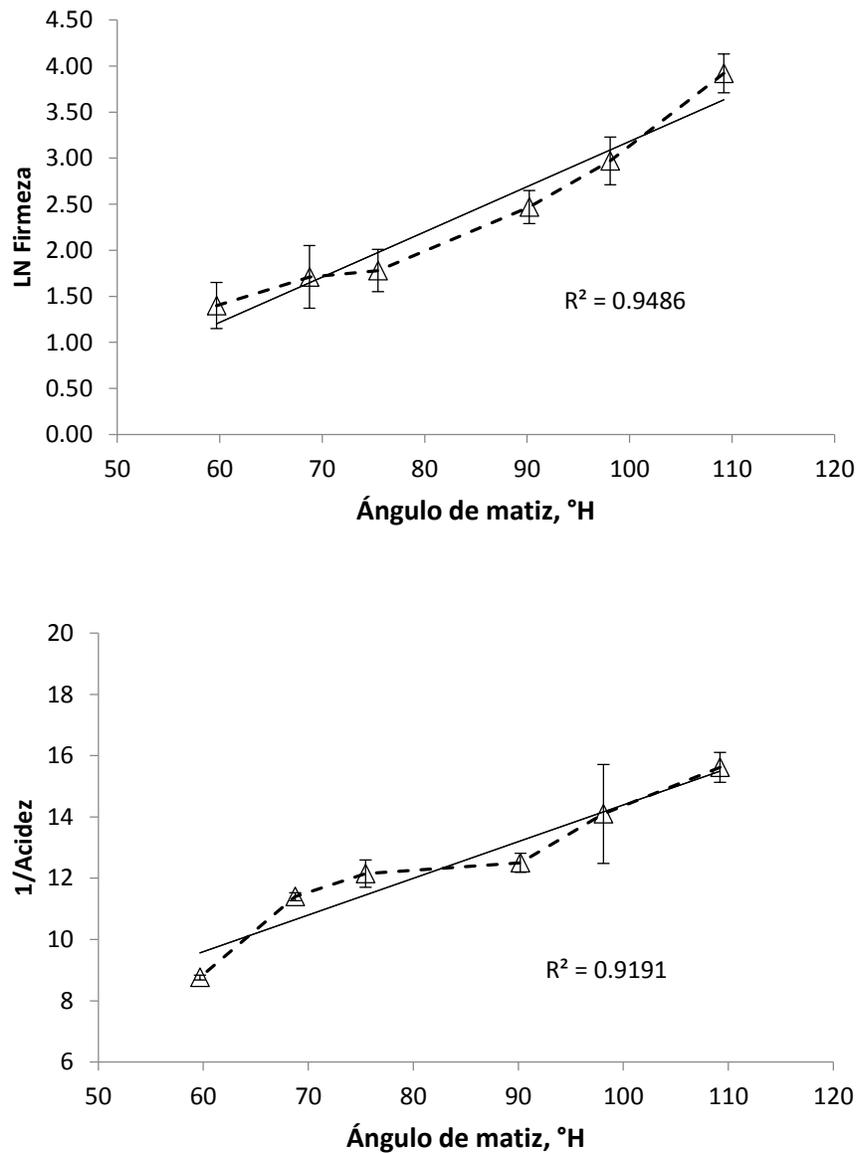


Figura 18. Relación del ángulo de matiz con respecto a la firmeza de la pulpa y la acidez titulable.

Gayosso-García *et al.* (2010) reportaron cuatro EM en papaya Maradol (25% de aumento del color Amarillo cada una) sin considerar otra tonalidad diferente a 100% amarillo. Analizaron pH, TSS (5.4 a 9.6 °Brix) e índices de color. Estos resultados difieren a los obtenidos en esta investigación. Santamaría *et al.* (2009) clasificaron siete EM mediante métodos analíticos como índices de color, TSS (9 a 12.5), FP (126 a 5.8 N). También reportaron una relación directa del ángulo de tono con la firmeza ($R^2= 0.92$ y $R^2= 0.91$) y los TSS ($R^2= 0.80$ y $R^2= 0.75$). Ambos autores trataron las muestras con soluciones de conservación después de la cosecha. Los resultados de esta investigación como índices del CC y TSS son similares a los anteriores, pero difieren en la relación del °H con los TSS y la FP. También, existe una marcada diferencia en la FP sobre todo de la etapa 1 a 4. Principalmente porque Santamaría *et al.* (2009) reportaron una diferencia de ≈ 100 N entre la 3 y 4. Sin embargo, los valores de FP obtenidos en este trabajo son similares a los reportados por Manrique & Lajolo (2004). Caso contrario a los anteriores Chavarro-Castrillon *et al.* (2006) clasificaron tres EM donde reportaron que la madurez tuvo un efecto significativo sobre la pérdida de peso, pérdida de agua y ganancia de sólidos al deshidratarlas osmóticamente posteriormente.

4.2. Inmersión en soluciones de hidróxido de calcio

En la **Tabla 8** se muestra la ganancia de calcio de los cubos de papaya en cada tratamiento de inmersión en hidróxido de calcio. El contenido inicial de calcio en los cubos de papaya fresca fue de 11.18 mg/10 g ss (≈ 12 mg/100 g fruta fresca), estos valores son similares a los reportados por Bari *et al.* (2006) para una etapa clasificada como semiverde, la cual fue similar a la etapa 4 usada para las inmersiones en este trabajo. Principalmente se observó que usando una temperatura de 45 °C la ganancia de calcio fue menor en comparación con usar 25 °C y que usando una concentración de hidróxido de calcio de 1.5 g Ca/100 mL agua los cubos mostraron una tendencia hacia una mayor ganancia de calcio.

Tabla 6. Valores de la ganancia de calcio en mg Ca/10 g de solidos secos en cada inmersión en hidróxido de calcio.

Concentración de calcio, C _{Ca} (g/100 ml)	Temperatura (°C)					
	25			45		
	Tiempo (h)			Tiempo (h)		
	1.5	3	4.5	1.5	3	4.5
0.5	51.585 ± 0.007	66.585 ± 2.539	71.725 ± 5.226	40.290 ± 5.332	49.955 ± 2.383	56.700 ± 2.036
1	72.455 ± 1.959	66.400 ± 2.800	75.410 ± 0.269	40.670 ± 5.445	38.025 ± 2.397	36.185 ± 0.134
1.5	76.145 ± 2.397	80.340 ± 2.418	80.505 ± 2.072	45.435 ± 2.751	43.030 ± 0.035	43.030 ± 0.756

Los valores obtenidos durante la aplicación de los tratamientos de impregnaciones se estudiaron mediante un análisis de varianzas con un $\alpha = 0.05$ y los resultados obtenidos se muestran en la **Tabla 9**. Se demostró que tanto el tiempo de inmersión, la concentración y temperatura de la solución de hidróxido de calcio tuvieron un efecto significativo sobre la ganancia de calcio de los cubos, siendo el la temperatura el factor más importante sobre dicha variable. También se analizó el efecto combinado de los factores y se encontró que la combinación del tiempo de inmersión y la temperatura de la solución así como la combinación de los tres factores no tienen un efecto significativo a diferencia del efecto combinado de la concentración y la temperatura de la solución que manifestó ser el más importante para la ganancia de calcio de los cubos de papaya.

Tabla 7. Análisis de varianza ($\alpha=0.05$) de la ganancia de calcio durante las inmersiones.

Análisis de varianza						
Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Media de cuadrados	F- Calculada	Nivel de probabilidad	Significancia ($\alpha = 0.05$)
Concentración	2	289.806	144.903	18.29	0.000046*	0.999
Tiempo	2	227.977	113.988	14.39	0.000185*	0.995
Conc-Tiempo	4	512.692	128.173	16.18	0.000009*	0.999
Temperatura	1	6824.412	6824.412	861.35	0.000000*	1.000
Conc-Temperatura	2	792.679	396.339	50.02	0.000000*	1.000
Tiempo-Temperatura	2	53.654	26.827	3.39	0.056468	0.562
Conc-Tiempo-Temperatura	4	52.681	13.170	1.66	0.202410	0.408
Error	18	142.612	7.922			
Total ajustado	35	8896.518				
Total	36					

***Fuente significativa para un $\alpha = 0.05$**

Con el análisis de los factores se observó que si existe una diferencia significativa entre los valores de ganancia de calcio al utilizar distintos niveles de tiempo de inmersión, concentración y temperatura de la solución en donde se concluye que a mayor tiempo de inmersión el contenido de calcio es mayor, **Figura 19 (b)** y este comportamiento fue similar al de la concentración de la solución de hidróxido de calcio, **Figura 19 (a)**, también se observó que a menor temperatura los cubos de papaya Maradol registraron un mayor contenido de calcio, **Figura 19 (c)**.

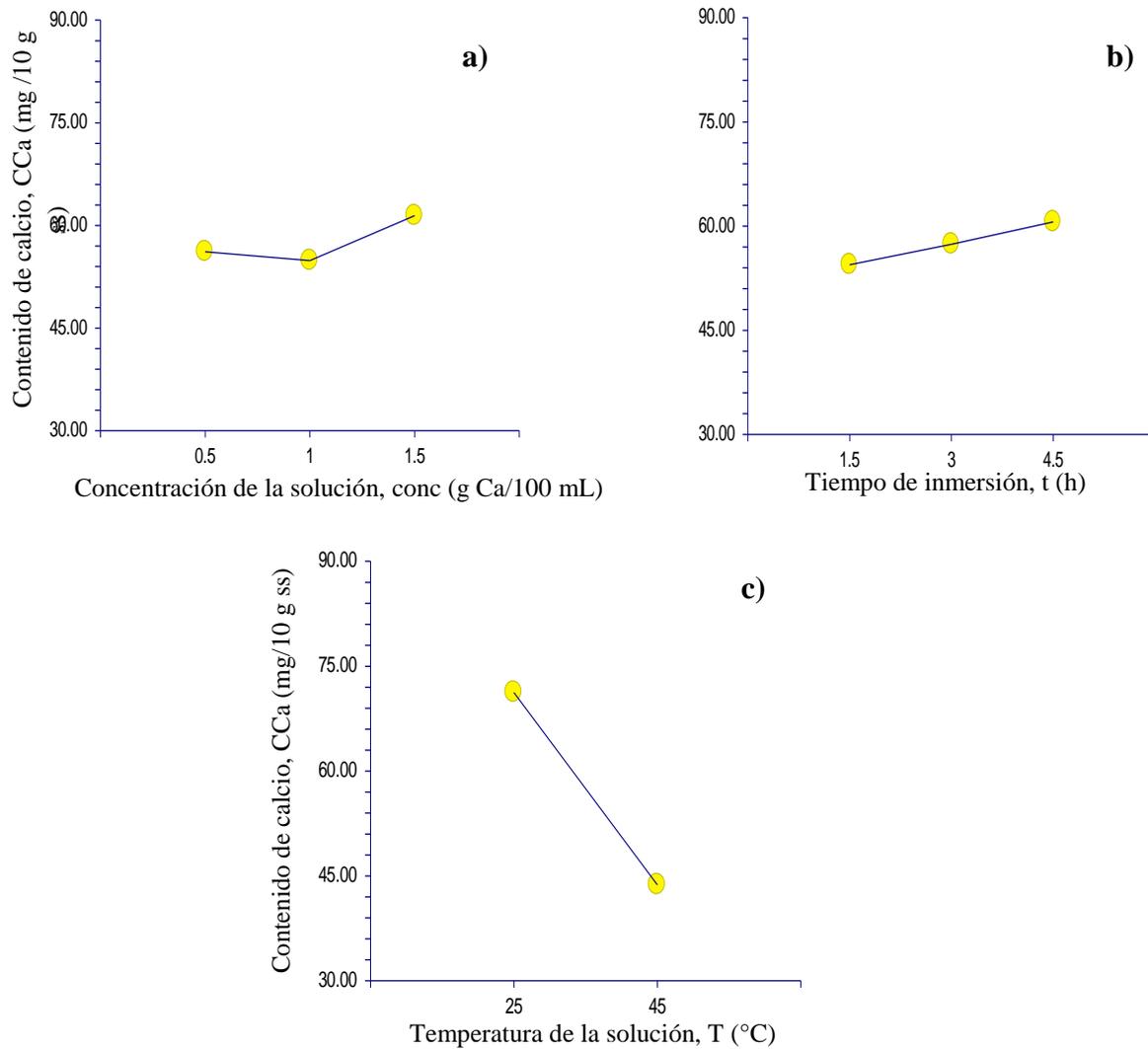
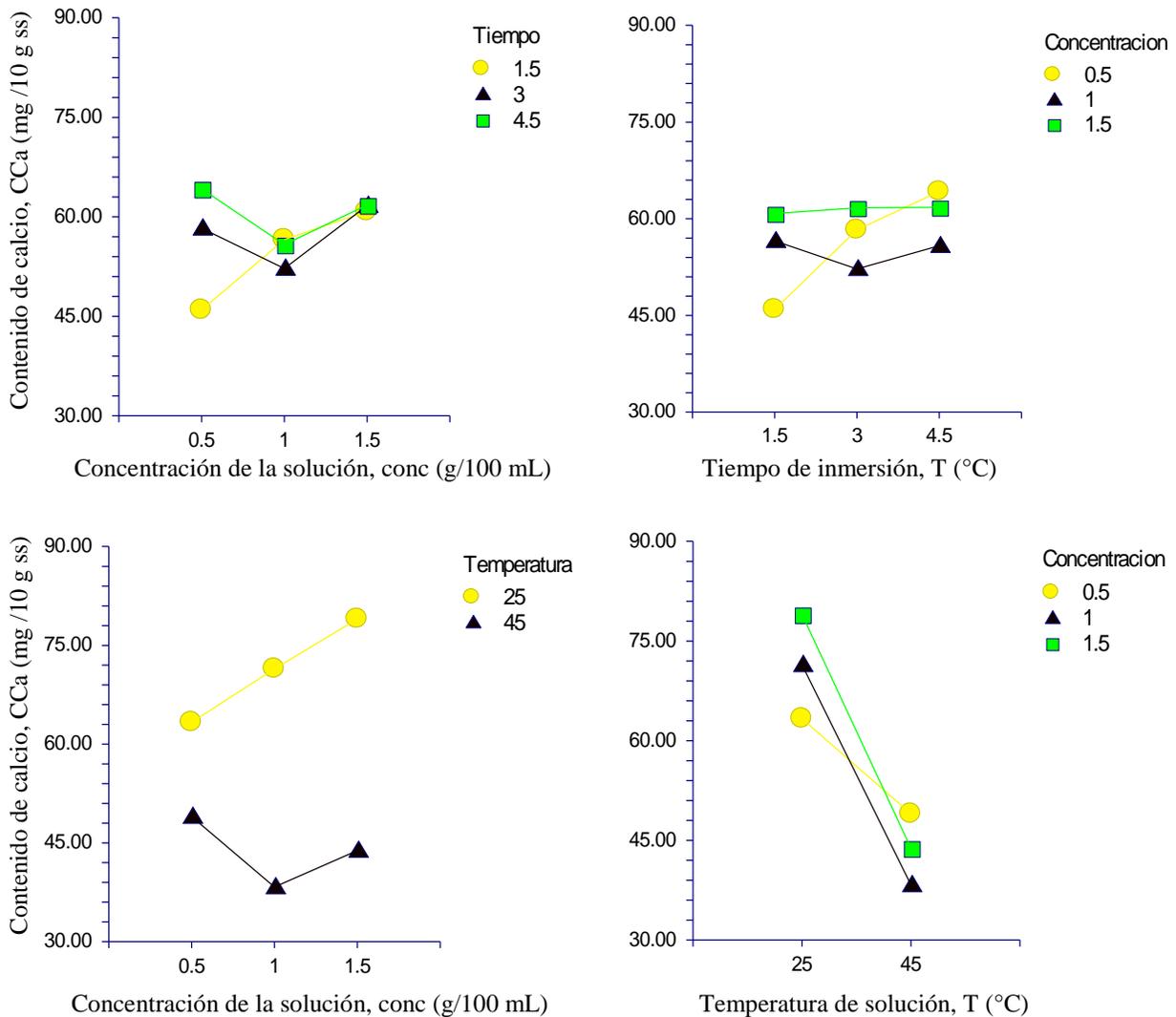


Figura 19. Contenido de calcio (mm Ca/10 g ss) final con respecto a las variables de la inmersión.

La solubilidad en agua del Ca(OH)_2 disminuyó al aumentar la temperatura ya que es una reacción exotérmica, limitando la disponibilidad de iones de Ca^{2+} . El comportamiento anterior es similar a la solubilidad del CaCO_3 . Por lo tanto el Ca(OH)_2 pierde la capacidad de dispersarse completamente en el medio, lo que provocó la precipitación del mismo que fue evidente al usar altas concentraciones. Debido a lo anterior las muestras de papaya manifestaron un menor contenido de calcio al final de la impregnación a 45°C con respecto a 25°C como se muestra en las gráficas de la **Figura 30**. El efecto combinado de la concentración-temperatura sobre el contenido de calcio final de las muestras de papaya fue significativo y el más importante durante el desarrollo de las inmersiones a diferencia de la combinación del tiempo-temperatura y el efecto combinado de los tres factores.



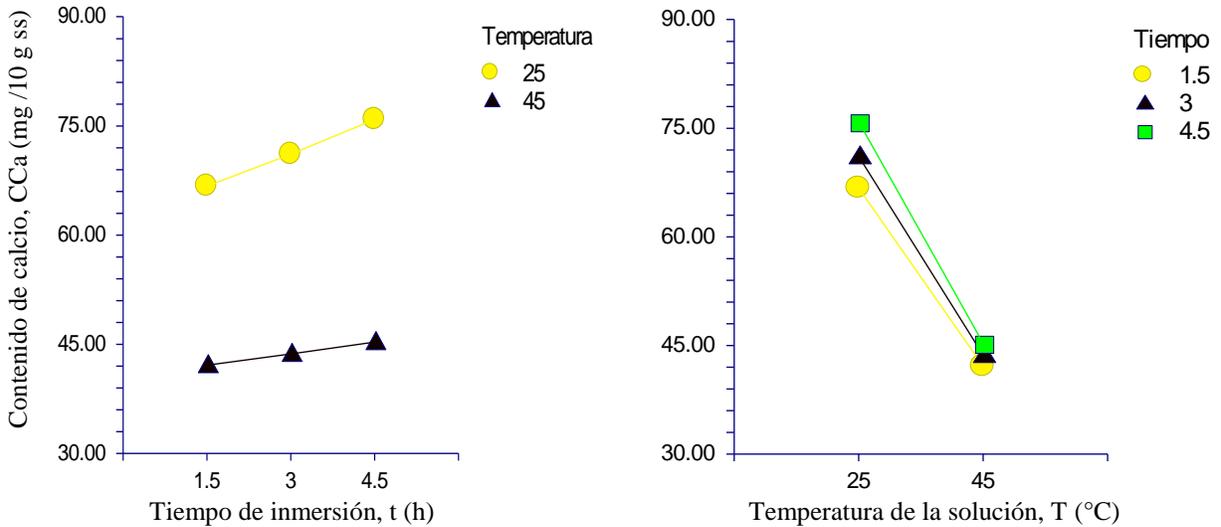
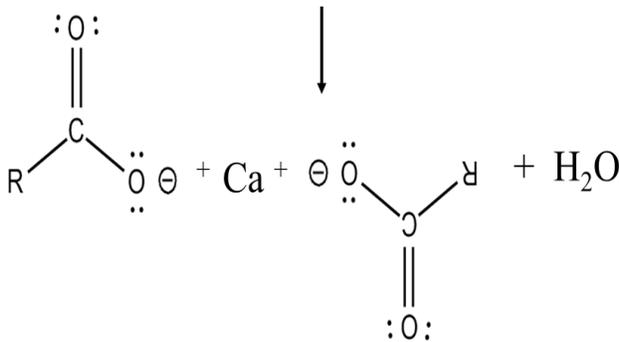
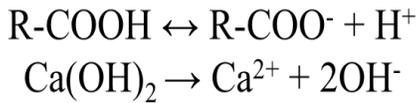


Figura 20. Efecto combinado de los factores sobre el contenido de calcio (mg Ca/10 g ss-eje de las ordenadas).



El mecanismo de acción del calcio con la matriz vegetal se lleva a cabo en los polisacáridos (pectinas). Especialmente con los ácidos carboxílicos (del ácido *D*-galacturónico) de bajo grado de metilación presentes, los cuales están asociados a otros hidratos de carbono como hemicelulosas en las paredes celulares de los vegetales y son responsables de la firmeza, como se observa en la **Figura 21**.

Figura 21. Mecanismo de acción del Ca^{++} y los ácidos carboxílicos.

4.2.1. Análisis de firmeza de los cubos

La firmeza de los cubos de papaya Maradol fue medida después de cada pretratamiento de inmersión en hidróxido de calcio, en donde los resultados obtenidos están reportados en la **Tabla 10**. Los valores de firmeza obtenidos experimentalmente se presentan en el **ANEXO 4**.

Tabla 8. Valores de firmeza (N) en los cubos de papaya después de INCa, (M ± SD).

Concentración de la solución (g/100 mL)	Temperatura (°C)			Temperatura (°C)		
	25			45		
	Tiempo (h)			Tiempo (h)		
	1.5	3	4.5	1.5	3	4.5
0.5	3.94 ± 0.40	5.55 ± 0.47	6.90 ± 0.70	7.89 ± 0.70	11.09 ± 1.86	11.71 ± 0.47
1	5.18 ± 0.95	5.05 ± 0.25	6.66 ± 0.49	5.30 ± 0.74	7.89 ± 1.71	9.61 ± 1.31
1.5	6.78 ± 0.74	7.39 ± 0.40	8.63 ± 0.28	5.06 ± 0.93	5.55 ± 0.93	9.74 ± 0.47

La firmeza que se observó en los cubos de papaya Maradol es una variable respuesta de gran importancia ya que sirvió para determinar y seleccionar cuales de los tratamientos proporcionó valores mayores de firmeza en los cubos. Estos valores son similares a una etapa 3 de madurez de papaya Maradol en estado fresco. El resultado del análisis de varianza se muestra a continuación.

Tabla 9. Análisis de varianza de los factores sobre la firmeza de los cubos.

Análisis de varianza						
Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Media de cuadrados	F- Calculada	Nivel de probabilidad	Significancia ($\alpha = 0.05$)
Concentración	2	18.2312	9.1156	11.59	0.000065*	0.991
Tiempo	2	122.2196	61.1097	77.64	0.000000*	1.000
Conc-Tiempo	4	9.0771	2.2692	2.88	0.030913*	0.742
Temperatura	1	69.9941	69.9941	88.92	0.000000*	1.000
Conc-Temperatura	2	93.4929	46.7464	59.39	0.000000*	1.000
Tiempo-Temperatura	2	14.5877	7.2938	9.27	0.000347*	0.970
Conc-Tiempo-Temperatura	4	9.4332	2.3583	3.00	0.026353*	0.761
Error	54	42.5044	0.7871			
Total ajustado	71	379.5405				
Total	72					

***Fuente significativa para un $\alpha = 0.05$**

Los valores medios de firmeza para cada uno de los factores y sus niveles se analizaron tomando como base las gráficas de la **Figura 22**.

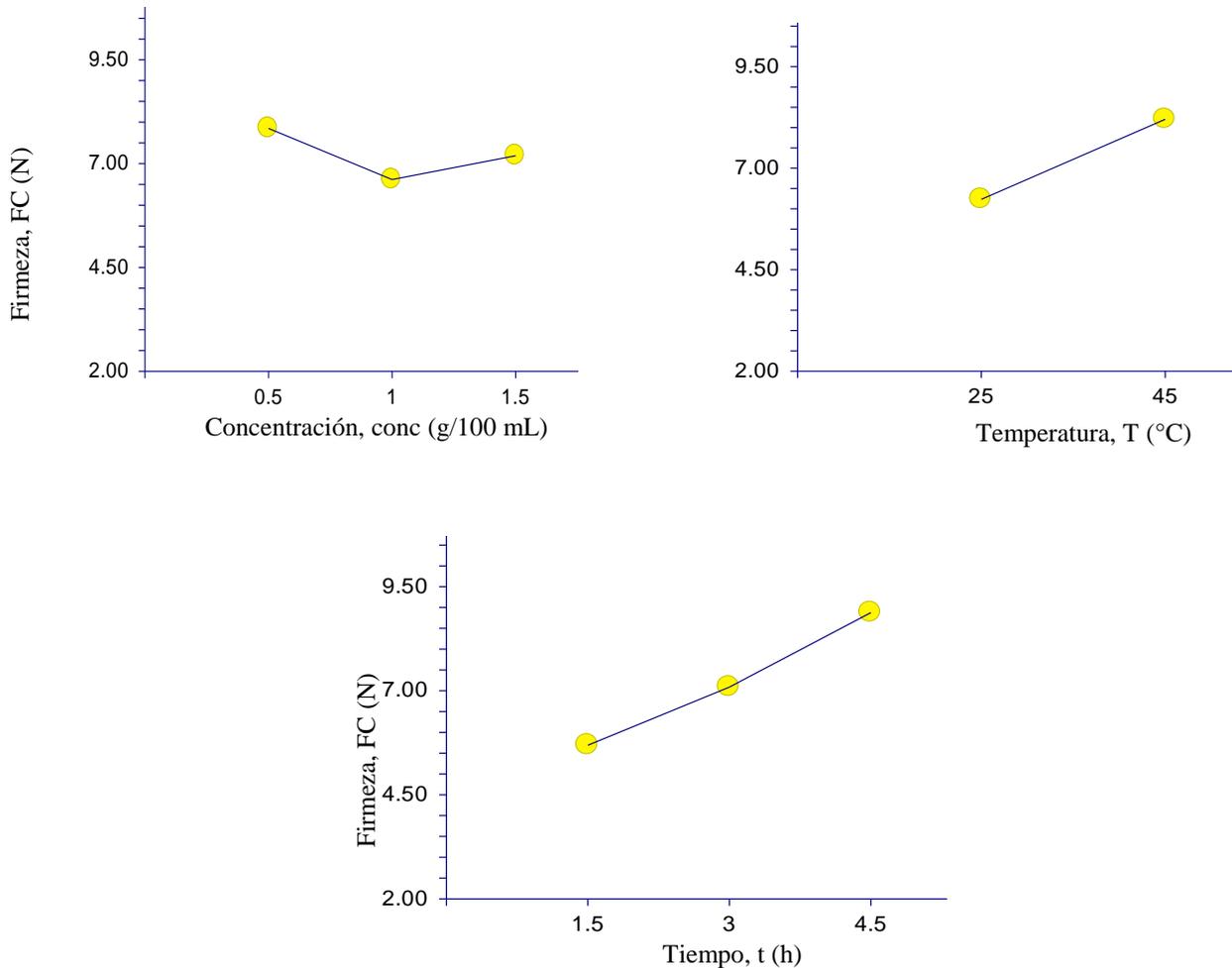


Figura 22. Comportamiento de la firmeza en los cubos.

En la gráficas de la **Figura 23** se muestra que los valores más altos de firmeza (N) fueron obtenidos al utilizar 45 °C y mayores tiempos de inmersión, al utilizar distintas concentraciones se observó que a 0.5% se obtiene el valor más alto de firmeza que al utilizar 1.5 % y en donde el 1 % de concentración reporto el valor más bajo de firmeza.

El efecto del tiempo se debió principalmente a que los iones de Ca^{++} dispersos en el medio penetran el tejido vegetal de la superficie hacia el centro formando la mayor cantidad posible de puentes de Ca, evidenciando mayor firmeza a mayor tiempo de exposición. La suma del efecto de la dispersión de los iones de calcio y el choque térmico (de una temperatura ambiente a 45 °C) en

medio acuoso provocó un aumento en la firmeza del tejido vegetal debido a la turgencia provocada en las células.

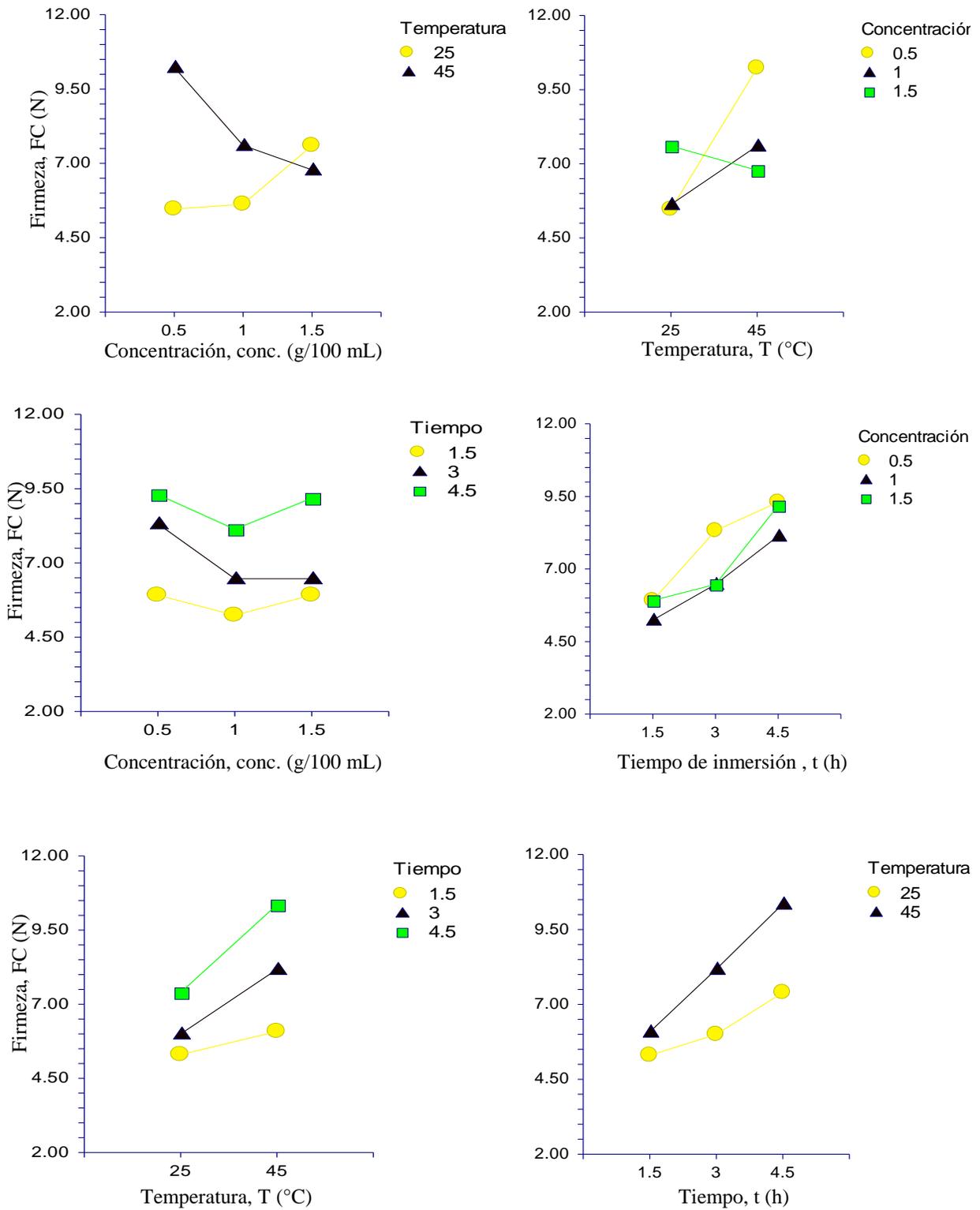


Figura 23. Efecto combinado de los factores sobre la firmeza de los cubos.

4.2.2. Análisis de los TSS en los cubos

Los valores de los sólidos solubles totales medidos y obtenidos en los cubos de papaya Maradol después de la aplicación de los diferentes pretratamientos con hidróxido de calcio (Ca_2OH), se reportan en la **Tabla 12**. En el **ANEXO 6** se presentan los valores experimentales.

Tabla 10. Valores de TSS después de la inmersión en $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

Concentración de la solución (g/100 mL)	Temperatura (°C)			Temperatura (°C)		
	25			45		
	Tiempo (h)			Tiempo (h)		
	1.5	3	4.5	1.5	3	4.5
0.5	8.83 ± 0.05	7.95 ± 0.06	6.83 ± 0.05	6.68 ± 0.17	5.08 ± 0.10	4.20 ± 0.08
1	8.50 ± 0.05	8.00 ± 0.10	6.85 ± 0.06	6.80 ± 0.08	5.50 ± 0.08	4.00 ± 0.08
1.5	8.20 ± 0.08	7.23 ± 0.10	6.10 ± 0.08	7.28 ± 0.10	5.88 ± 0.05	4.83 ± 0.05

El análisis de los factores y su influencia sobre los TSS de los cubos de papaya Maradol se realizó mediante un análisis de varianza con un $\alpha = 0.05$ representados en la **Tabla 13**.

Tabla 11. Análisis de varianza de los factores sobre los TSS en los cubos.

Análisis de varianza						
Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Media de cuadrados	F- Calculada	Nivel de probabilidad	Significancia ($\alpha = 0.05$)
Concentración	2	7.777E ⁻⁰³	3.888E ⁻⁰³	0.62	0.542977	0.147
Tiempo	2	60.52861	30.26431	4806.68	0.000000*	1.000
Conc-Tiempo	4	0.331388	8.284E ⁻⁰²	13.16	0.000000*	0.999
Temperatura	1	74.01389	74.01389	11755.15	0.000000*	1.000
Conc-Temperatura	2	6.537778	3.268889	519.18	0.000000*	1.000
Tiempo-Temperatura	2	1.711944	0.855972	135.95	0.000000*	1.000
Conc-Tiempo-Temperatura	4	0.426388	0.106597	16.93	0.000000*	1.000
Error	54	0.34	6.296E ⁻⁰³			
Total ajustado	71	143.8978				
Total	72					

***Fuente significativa para un $\alpha = 0.05$**

Las diferencias entre los distintos tratamientos se observaron mediante las siguientes graficas.

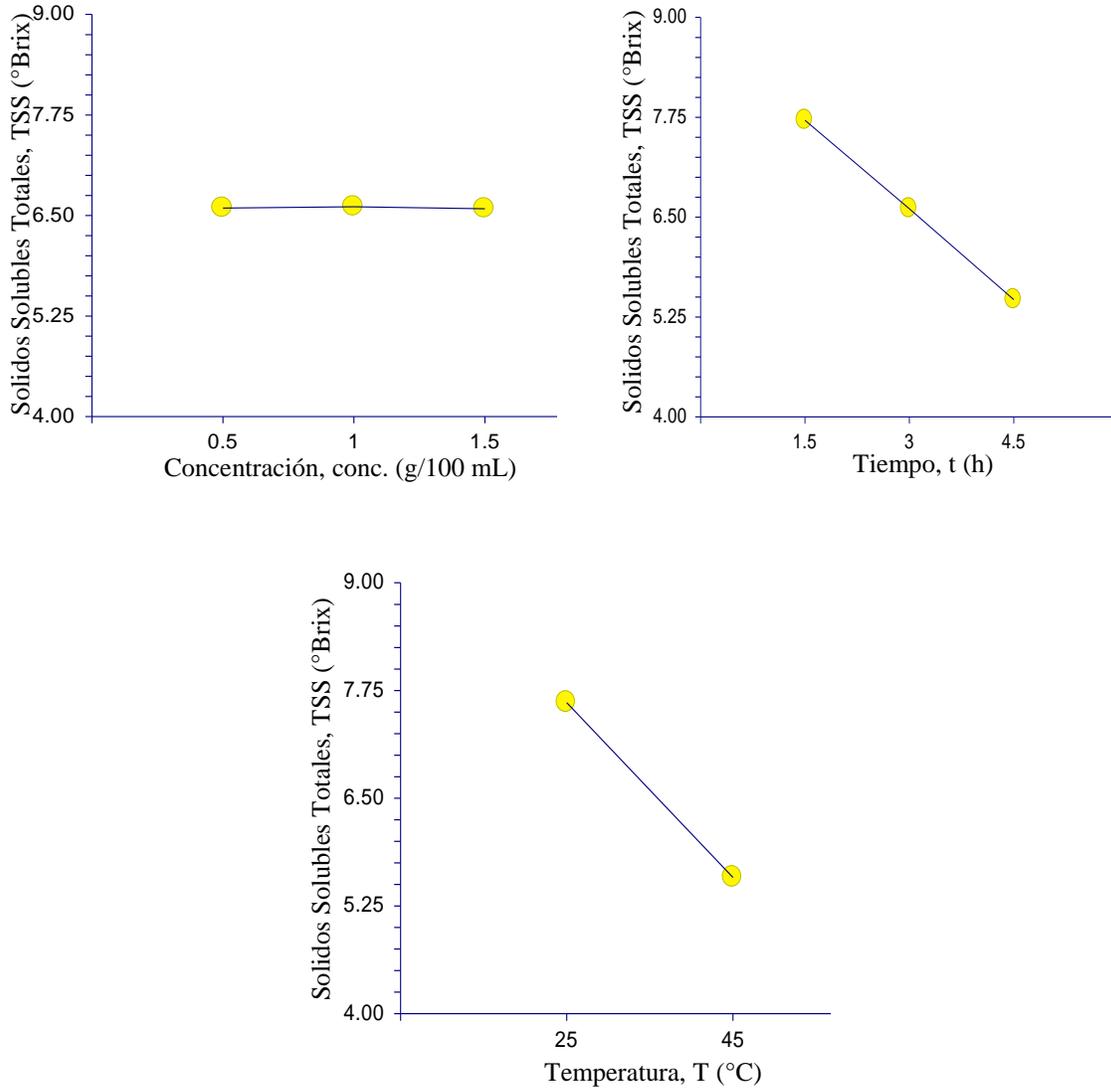


Figura 24. Comportamiento de los TSS en los cubos después de las INCa.

Con el análisis de varianzas se observó que no existe una diferencia significativa al utilizar diferentes concentraciones de hidróxido de calcio, tal como se muestra en la gráfica, también se determinó que al utilizar diferentes tiempos de impregnación y temperatura el valor de TSS tienen una diferencia significativa, tal como se muestran en la **Tabla 13**.

El efecto combinado de los factores sobre los TSS se observó con las siguientes graficas:

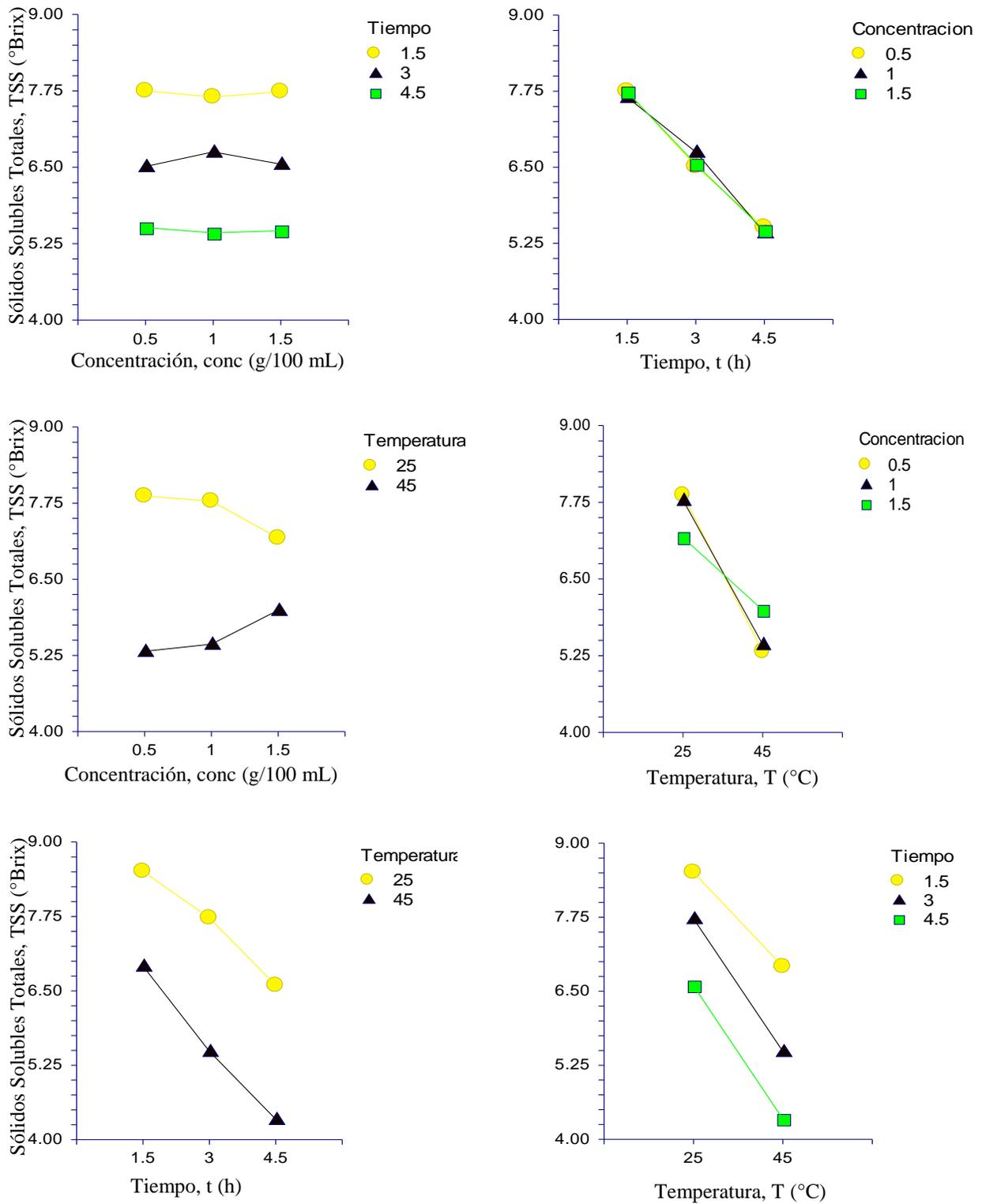


Figura 25. Efecto combinado de los factores sobre los sólidos solubles totales de los cubos.

Con este análisis se concluye que a menor tiempo y temperatura los valores de °Brix en los cubos de papaya son mayores, pero no iguales que en los cubos frescos y que tienden a disminuir conforme aumentan los valores de los factores. Los sólidos solubles totales en los vegetales son afectados debido a la alcalinidad del $\text{Ca}(\text{OH})_2$ que provoca transformaciones en los monosacáridos. Se forman enoles en todos los carbonos del monosacárido y se rompen en los átomos donde se localiza la doble ligadura. Estos enoles son agentes muy reductores y su presencia se aprovecha para medir el potencial reductor de los azúcares. También al elevar la temperatura los fenómenos antes mencionados se aceleran considerablemente.

Durante las INCa ocurrieron cambios en el contenido de humedad, esto también ha sido reportado por Luna & Guzmán (2000) y Germer et al. (2014) en melón y papaya respectivamente usando Ca-L y CaCl_2 .

4.3. Deshidratación osmótica

En la **Tabla 14** se muestran los valores de transferencia de masa como: reducción de masa, pérdida de agua y ganancia de azúcar obtenidos mediante las ecuaciones de balance usadas en la deshidratación osmótica a partir de los datos experimentales. También se determinaron los sólidos solubles totales con lo que se corroboró el aumento en el contenido de azúcar y durante los pretratamientos osmóticos se observó la disminución en el contenido de humedad final de los cubos. Para ver los valores experimentales ir al **ANEXO 6**.

Durante los tratamientos se encontró que tanto la pérdida de agua como la ganancia de sólidos dependen de la temperatura y la concentración de la solución, además del tiempo del pretratamiento osmótico. La ganancia de azúcar incrementó al aumentar la concentración inicial de la solución (°Brix) lo que se corroboró con el incremento de los sólidos solubles totales registrados al final de cada pretratamiento. Tanto la reducción de masa como la pérdida de agua tuvieron un comportamiento similar aumentando al utilizar mayores valores de temperatura y concentración. Los cubos de papaya tenían un contenido de humedad $X_{bh}^a = 90.51 \pm 1.25$ y después de cada pretratamiento osmótico disminuyó conforme aumentó la concentración y la temperatura. A mayor concentración de la solución osmótica fue mayor el gradiente de concentración y mayor la transferencia de agua de los cubos hacia la solución.

Tabla 12. Valores de transferencia de masa de los tratamientos osmóticos ($M \pm SD$).

Pretratamientos	Reducción de masa WR (%)	Pérdida de agua WL (%)	Ganancia de azúcar SG (%)	TSS en los cubos ($^{\circ}$ Brix)	Contenido de agua final X_{bh}^a (%)
P1	14.63 \pm 0.52	24.33 \pm 1.06	9.70 \pm 0.55	18.95 \pm 0.37	79.25 \pm 0.64
P2	24.91 \pm 0.55	36.62 \pm 0.23	11.71 \pm 0.60	20.95 \pm 0.82	74.18 \pm 0.33
P3	29.86 \pm 0.50	42.17 \pm 0.77	12.31 \pm 0.45	26.78 \pm 0.49	69.53 \pm 0.52
P4	8.89 \pm 0.34	23.54 \pm 0.51	14.65 \pm 0.22	22.98 \pm 0.93	75.30 \pm 0.43
P5	19.84 \pm 0.20	38.08 \pm 0.39	18.25 \pm 0.52	31.28 \pm 1.61	67.50 \pm 1.00
P6	34.07 \pm 1.08	52.55 \pm 0.63	18.48 \pm 0.54	48.67 \pm 0.75	58.55 \pm 0.43
P7	17.36 \pm 0.04	33.12 \pm 0.62	15.76 \pm 0.65	28.13 \pm 0.83	71.18 \pm 0.61
P8	34.45 \pm 0.89	51.39 \pm 1.03	16.94 \pm 0.51	39.83 \pm 0.68	62.13 \pm 0.52
P9	50.23 \pm 0.29	65.92 \pm 0.87	15.69 \pm 0.80	53.75 \pm 0.69	53.53 \pm 1.20

4.3.1. Cinéticas de deshidratación osmótica

Durante el desarrollo de los tratamientos de la deshidratación osmótica se observó el comportamiento del contenido de humedad a diferentes intervalos de tiempo durante 150 minutos de deshidratación en medio osmótico.

Al analizar el contenido de humedad de los pretratamientos osmóticos se determinó que el mayor contenido de humedad se obtiene a 30 $^{\circ}$ C y 30 $^{\circ}$ Brix, pero ocurre lo contrario cuando se utilizan 70 $^{\circ}$ C y 60 $^{\circ}$ Brix tal como se observa en la **Figura 26**. Este fenómeno se debió a que el gradiente de concentración generado entre la solución osmótica y los cubos de papaya es mayor al usar altas concentraciones de la solución, por lo tanto la transferencia de agua de los cubos a la solución osmótica fue mayor. Esta transferencia disminuyó conforme se desarrolló el proceso osmótico a tal grado que fue casi nula. A partir de los 90 minutos de deshidratación el contenido de humedad de los cubos es muy similar hasta el minuto 150, esto indicó que el sistema (cubos de papaya y solución osmótica) llegó al equilibrio.

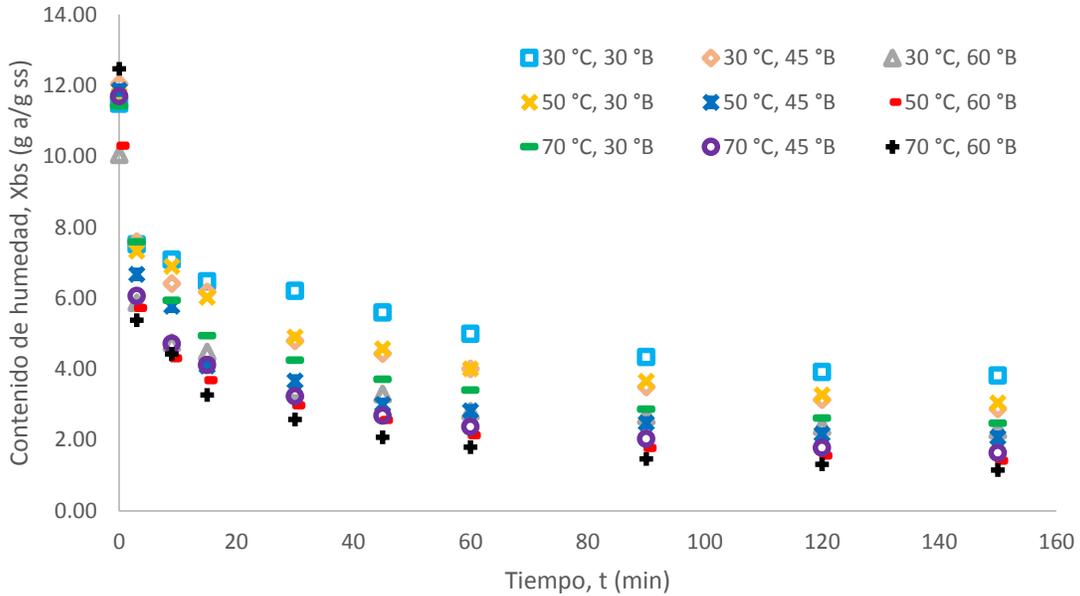


Figura 26. Cinéticas del contenido de humedad en base seca.

El comportamiento mostrado en la gráfica anterior se corroboró al analizar la pérdida de agua mostrada en la **Figura 27**, en donde la mayor pérdida de agua ocurrió dentro de los primeros 60 minutos. Después de los 60 minutos el agua libre disponible de los cubos de papaya disminuyó considerablemente lo que ocasionó que la salida de agua hacia el medio osmótica fuera casi nula llegando al punto de equilibrio de la transferencia de masa en los 150 minutos.

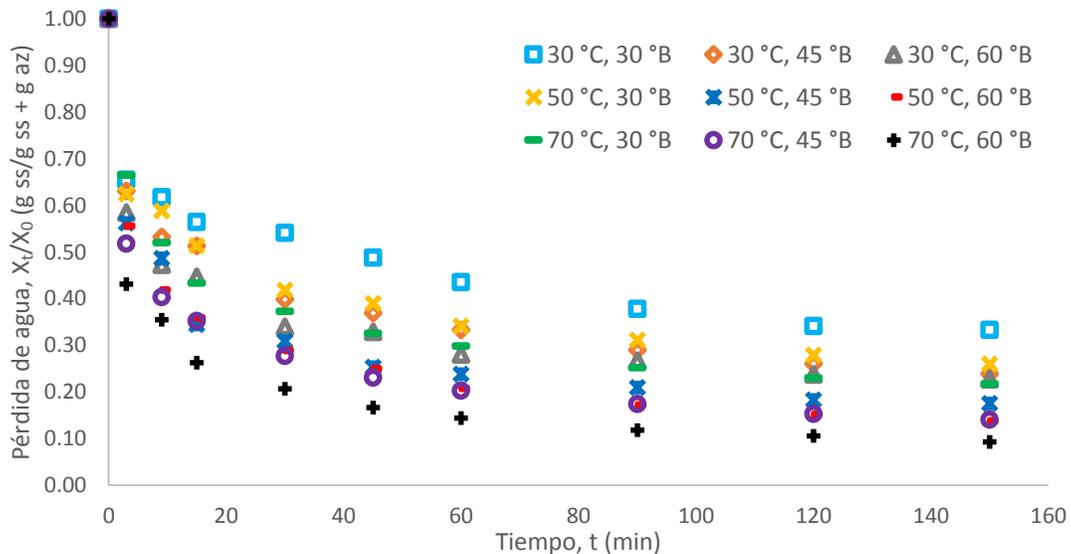


Figura 27. Cinéticas de la pérdida de agua de los cubos durante la DO.

En la **Figura 28**, se observa que las curvas de deshidratación son más acentuadas cuando se utilizan altas temperaturas y un alta concentración de la solución osmótica (50, 70 °C y 60 °Brix), la diferencia entre las curvas se observa claramente durante los primeros minutos de deshidratación (3-15 minutos), donde la relación de humedad adimensional disminuye rápidamente, después se produce un período de normalización o comportamiento similar de todos los tratamientos hasta llegar a 90 minutos de deshidratación donde a partir de este punto, la diferencia de la relación de humedad adimensional de los tratamientos es mínima.

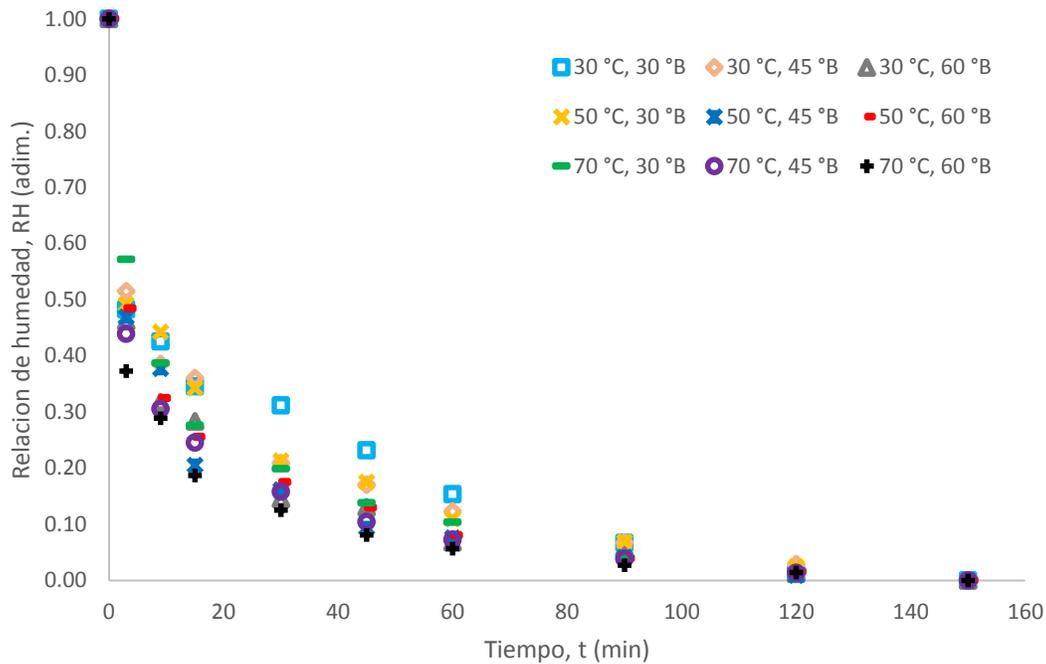


Figura 28. Comportamiento de la relación de humedad durante la DO

También se determinó la ganancia de azúcar de los cubos considerando como contenido de equilibrio a los 150 minutos de DO. Con este punto de equilibrio se observó que las curvas de la relación adimensional de ganancia de azúcar son más acentuadas en los primero 90 minutos al usar altas concentraciones (45 y 60 °Brix), **Figura 29**. Es decir, al acercarse al punto de equilibrio la ganancia de azúcar disminuye considerablemente. Esto se debió principalmente a la saturación de azúcar en la superficie de los cubos de papaya, bloqueando los espacios de los tejidos y evitando el flujo de azúcar de la superficie hacia el centro de los cubos de papaya.

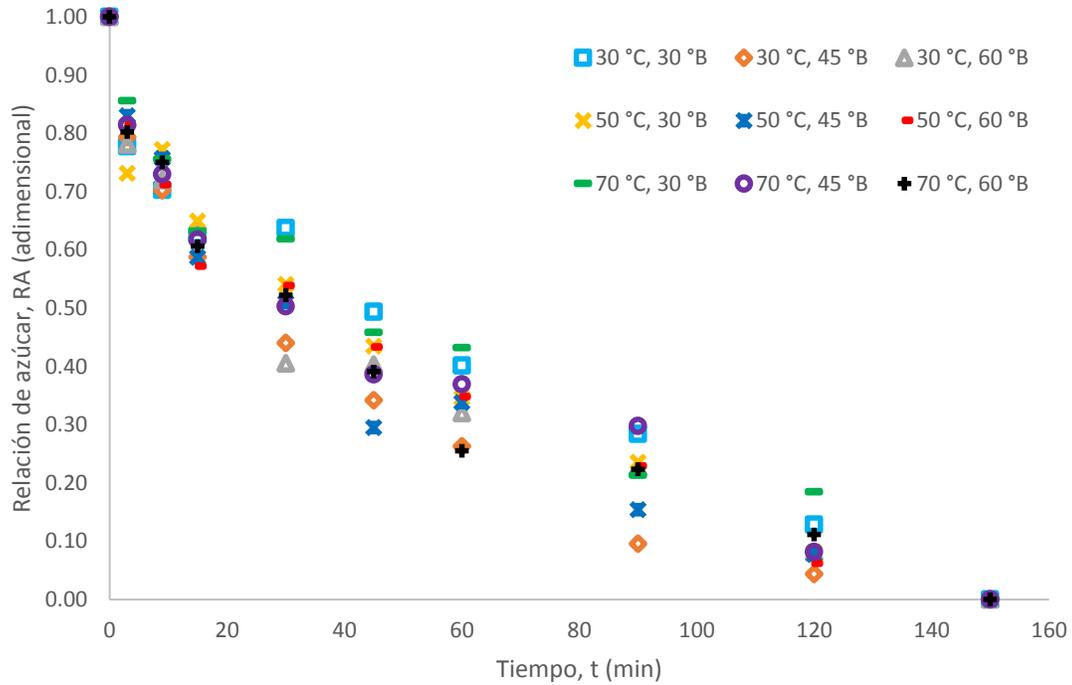


Figura 29. Cinéticas de la relación adimensional del aumento de azúcar durante la DO.

La ganancia de azúcar fue corroborada al analizar el comportamiento de los sólidos solubles totales en los cubos de papaya antes y después del tratamiento osmótico. Durante los nueve pretratamientos el valor inicial fue 7.04 ± 0.51 °Brix y se incrementó en las muestras al aumentar la temperatura y la concentración de la solución durante el desarrollo osmótico como se muestra en la **Figura 30**. La mayor concentración y temperatura de la solución (60 °Brix y 70 °C) permitió obtener un ganancia de azúcar hasta cinco veces mayor que cuando se usó la concentración y temperatura de solución más baja (30 °Brix y 30 °C) debido a la saturación de azúcar del medio osmótico y a la relajación de los tejidos de los cubos de papaya por efecto de la alta temperatura. Ver los resultados obtenidos para sólidos totales en el **ANEXO 7**.

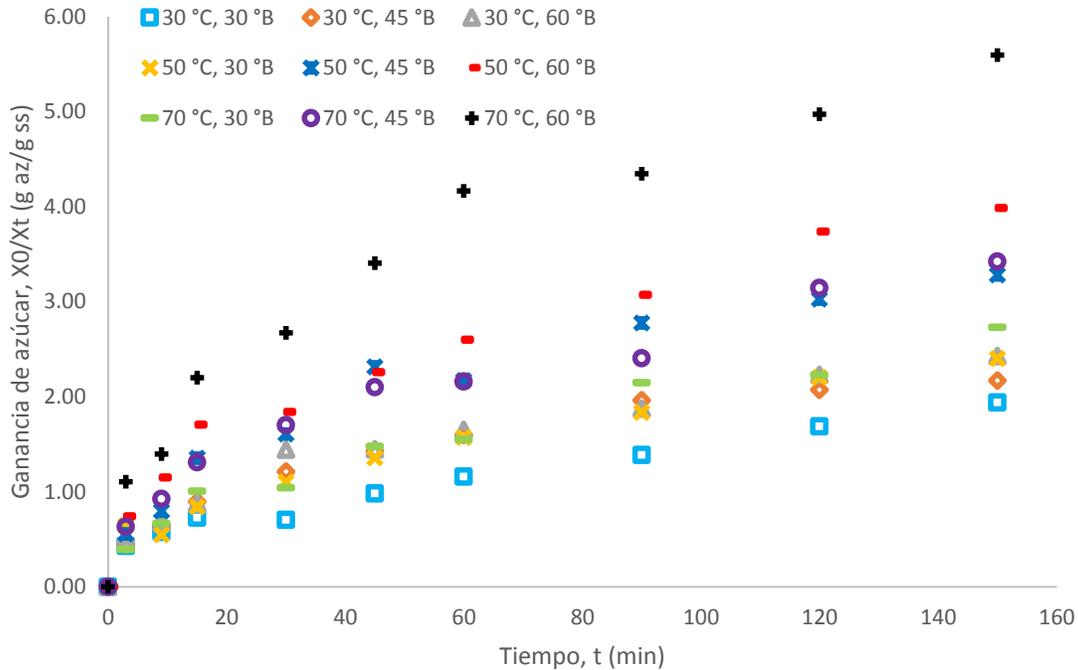


Figura 30. Cinéticas de la ganancia de azúcar durante la DO.

4.3.2. Análisis de la reducción de masa, pérdida de agua, ganancia de sólidos y TSS

En la **Tabla 15** se muestra las diferencias entre los valores medios de cada pretratamiento osmótico. La reducción de masa, la pérdida de agua y los sólidos solubles totales fueron afectados proporcionalmente por la concentración de la solución, esto se debió a que la pérdida de agua aumentó al incrementar el gradiente de concentración entre los cubos y la solución osmótica provocando que los sólidos solubles totales fueran concentrados más a pesar de la misma ganancia de azúcar en los nueve pretratamientos. Es decir cuando se perdió mayor cantidad de agua se reflejó una disminución de masa de los cubos.

También la temperatura afectó proporcionalmente la pérdida de agua, ganancia de azúcar y sólidos solubles totales. La ganancia de azúcar fue mayor a 45 y 60 °Brix debido a la relajación de los tejidos permitiendo mayor flujo de azúcar del medio hacia el interior de los cubos, esto fue corroborado con los valores de los sólidos solubles totales. La reducción de masa fue similar a 30 y 70 °C esto se debió a que la pérdida de agua fue menor a 30 °C y cuando fue mayor a 70 °C el peso perdido fue recuperado por el aumento de la ganancia de azúcar a esta última temperatura.

Tabla 13. Análisis ($p \leq 0.05$) de la diferencia entre las medias de las variables respuestas ($M \pm SD$).

P1-P9 (°C, °Brix)	Reducción de masa WR (%)	(T, conc)		Pérdida de agua WL (%)	(T, conc)		Ganancia de azúcar SG (%)	(T, conc)		TSS en los cubos (°Brix)	(T, conc)	
		ab	a		a	a		a	a		a	a
30, 30	14.63 ± 0.52	ab	a	24.33 ± 1.06	a	a	9.70 ± 0.55	a	a	18.95 ± 0.37	a	a
30, 45	24.91 ± 0.55	ab	b	36.62 ± 0.23	a	b	11.71 ± 0.60	a	a	20.95 ± 0.82	a	b
30, 60	29.86 ± 0.50	ab	c	42.17 ± 0.77	a	c	12.31 ± 0.45	a	a	26.78 ± 0.49	a	c
50, 30	8.89 ± 0.34	b	a	23.54 ± 0.51	a	a	14.65 ± 0.22	b	a	22.98 ± 0.93	b	a
50, 45	19.84 ± 0.20	b	b	38.08 ± 0.39	a	b	18.25 ± 0.52	b	a	31.28 ± 1.61	b	b
50, 60	34.07 ± 1.08	b	c	52.55 ± 0.63	a	c	18.48 ± 0.54	b	a	48.67 ± 0.75	b	c
70, 30	17.36 ± 0.04	a	a	33.12 ± 0.62	b	a	15.76 ± 0.65	b	a	28.13 ± 0.83	b	a
70, 45	34.45 ± 0.89	a	b	51.39 ± 1.03	b	b	16.94 ± 0.51	b	a	39.83 ± 0.68	b	b
70, 60	50.23 ± 0.29	a	c	65.92 ± 0.87	b	c	15.69 ± 0.80	b	a	53.75 ± 0.69	b	c

La disminución del contenido de humedad es fundamental en la DO, la pérdida de agua alcanzó valores de hasta un 65 % esto es similar a los reportado por Nimmanpipug *et al.* (2013) con una solución de sacarosa (65 °Brix) después de 4 horas de deshidratación a 40 °C. También usar soluciones de sacarosa resultó ser más efectivo que jarabe de maíz para la reducción de masa, pérdida de agua y ganancia de sólidos en rebanadas de papaya (Abbas, et al., 2006), pero la pérdida de agua fue mayor y la impregnación de azúcar menor al usar maltosa en lugar de sacarosa (Pereira, et al., 2006). El comportamiento de la pérdida de agua y ganancia de sólidos durante la DO se ven afectados con el uso del calcio. Diversos estudios refieren el uso de calcio para el aumento de la firmeza; hidróxido de calcio (Ramallo & Liotta, 2011), lactato de calcio y cloruro de calcio (Luna-Guzmán & Barrett, 2000; Germer, et al., 2014; Udomkun, et al., 2014), gluconato de calcio y lactato de calcio (Anino, et al., 2006; Lovera, et al., 2014), sin embargo no se presenta el mecanismo de acción del calcio sobre la pérdida de agua y ganancia de sólidos para los casos donde se ha usado la DO.

Si bien los solutos influyen en los procesos de DO (Sablani & Rahman, 2003), realizar inmersiones en hidróxido de calcio creó puentes de calcio al interactuar con las pectinas presentes entre la lamela media, pared primaria y secundaria siendo responsable de la firmeza que se incrementó, estos puentes evitaron que el sistema celular vegetal se deformara o destruyera durante el proceso de DO. La formación de los puentes dependió del tiempo de inmersión y la temperatura, es decir el incremento de la firmeza avanzó de la superficie hacia el centro de los cubos de papaya. Debido a este fenómeno se crearon canales en la parte firme que se atribuyen a

la restructuración de las paredes celulares durante la formación de los puentes. Al someter estos cubos de papaya a la DO la pérdida de agua y ganancia de sólidos fue mayor y más rápida debido a estos canales que permiten el flujo intra y extracelular. Un comportamiento similar encontraron Rodríguez *et al.* (2009) durante la DO asistida por ultrasonido en papaya que induce una distorsión gradual en la forma de las células, la pérdida de adhesión celular y la formación de grandes canales causados por la ruptura de las paredes celulares.

La combinación de inmersiones en hidróxido de calcio con la deshidratación osmótica usada en este trabajo permitió obtener en menor tiempo valores más altos de pérdida de peso, reducción de agua y ganancia de sólidos en papaya con respecto a lo reportado por Abbas *et al.* (2006); García *et al.* (2010); Jain *et al.* (2011). Esta mostró una apariencia aceptable en términos de volumen y forma de las muestras, esto es similar a lo reportado por Van Buggenhout *et al.* (2008) y Germer *et al.* (2014) quienes usaron CaCl_2 y la enzima pectín esterasa (PME).

4.4 Secado convectivo

Durante el secado con aire caliente se observó la diferencia entre los cubos pretratados (hidróxido de calcio y osmóticamente) y el control (frescos sin pretratamientos). La comparación de las cinéticas de secado demostró que en los cubos con pretratamiento se disminuyó considerablemente el tiempo de secado, mientras que el control alcanzó el mismo contenido de humedad alrededor de 3 horas después. Esto se debió a que durante la deshidratación osmótica los cubos de papaya perdieron hasta el 40% de su contenido de humedad inicial a diferencia de los cubos que se secaron sin pretratamientos como se observa en la **Figura 31**. También se debió a que con el uso del azúcar como agente osmótico aumentó el peso seco de los cubos debido a la ganancia de azúcar, este efecto aumentó la pendiente de la rapidez de secado en los cubos con pretratamientos, **Figura 34**. Para ver los valores de los pesos y tiempo de secado obtenidos ir al **ANEXO 8**.

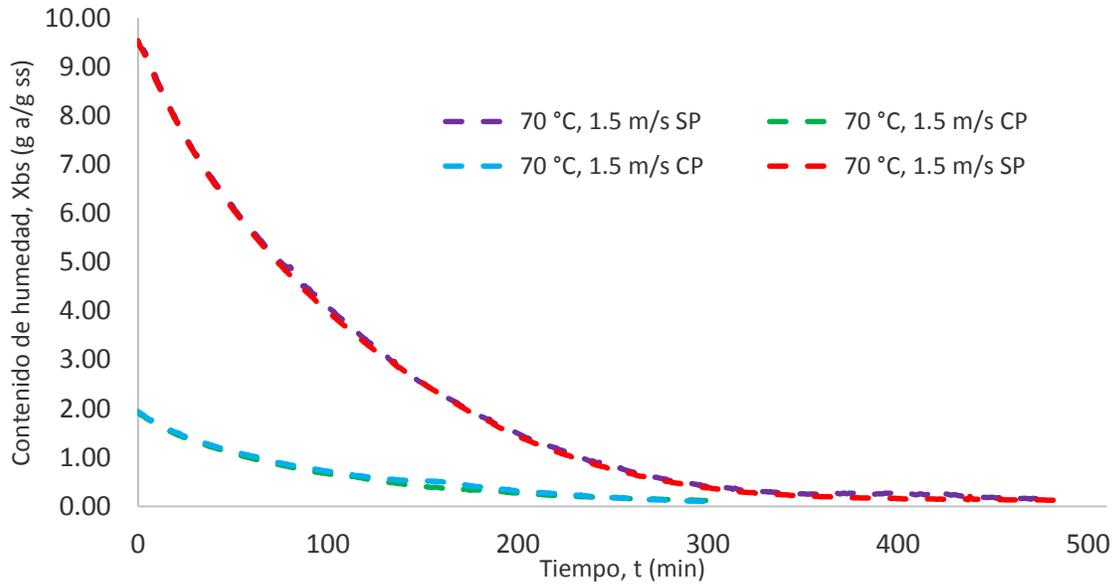


Figura 31. Cinéticas de secado de los cubos con y sin pretratamientos.

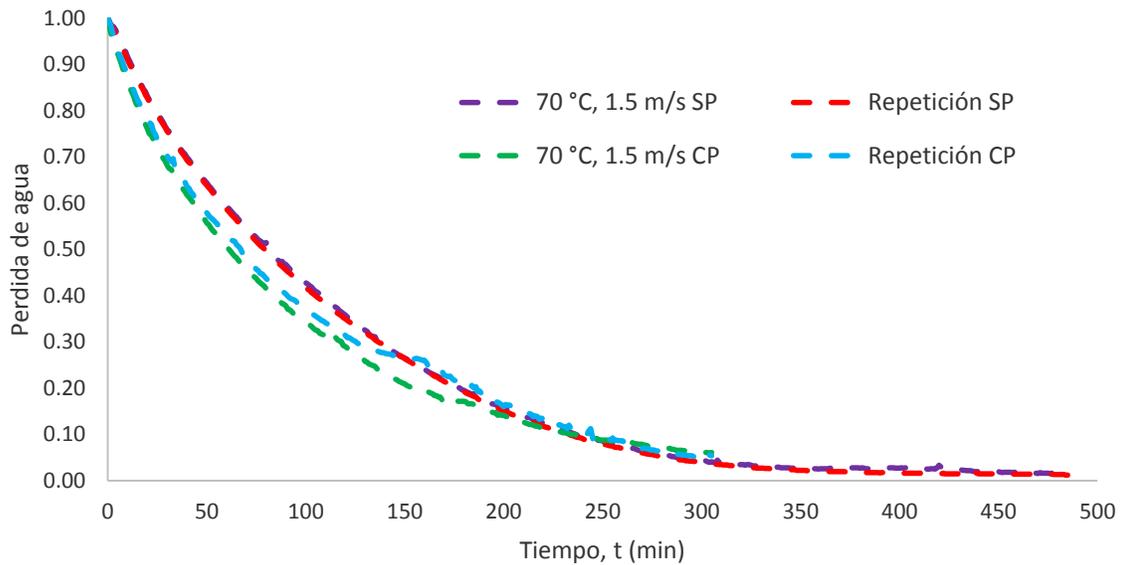


Figura 32. Cinéticas de la pérdida de agua de los cubos durante el secado con aire caliente.

También se observó que la relación de humedad adimensional en las muestras con pretratamientos disminuye más rápido en comparación con las muestras sin pretratamientos

Figura 33. Esto se debió al efecto positivo sobre la pérdida de agua que tiene la deshidratación osmótica antes del secado.

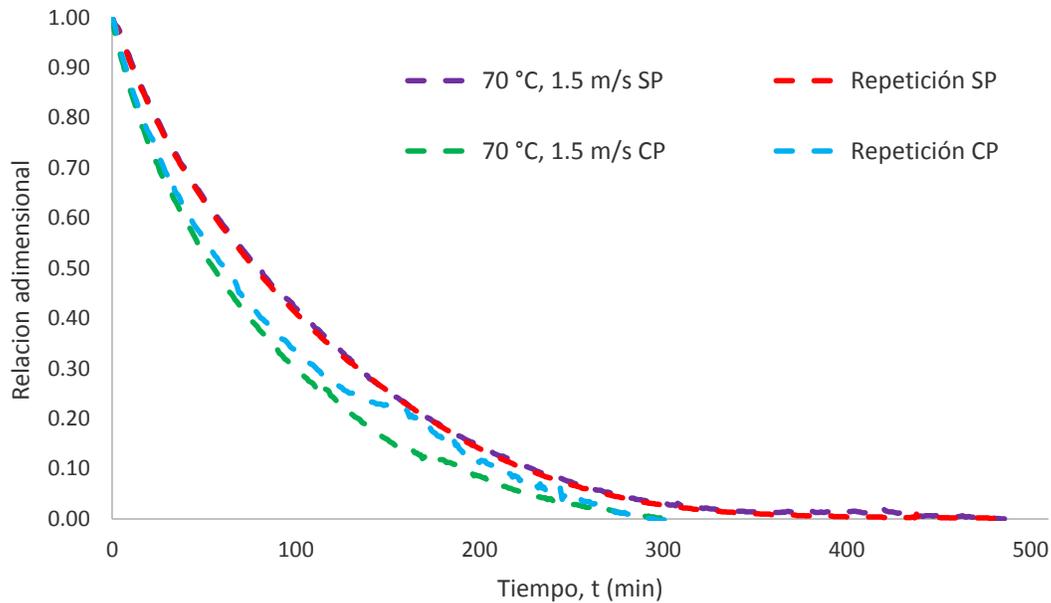


Figura 33. Comparación de la relación adimensional de humedad durante el secado.

En la **Figura 34** se presenta el comportamiento de la rapidez de secado de cubos de papaya con y sin la combinación de pretratamientos, con lo que se demostró que la rapidez es mayor al utilizar pretratamientos en los cubos de papaya. Esto se debe a que el hidróxido de calcio creó en las muestras una estructura firme con un centro suave y cuando se aplicó la deshidratación osmótica se formaron poros que fueron evidentes entre la estructura firme y la suave; **Figura 35**, además del cambio en la base seca debido al aumento de calcio y azúcar. Los cubos sin pretratamientos crearon una película que impidió la rápida eliminación de agua aun cuando el contenido de humedad es mayor y que se esperaba que la rapidez fuera superior a los cubos sin pretratamientos.

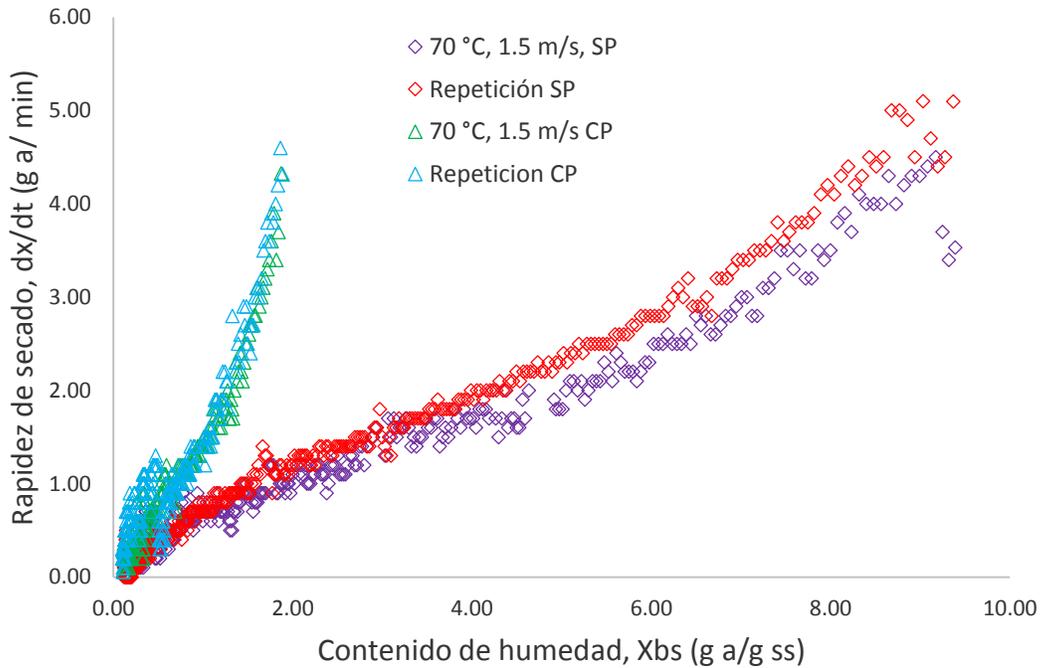


Figura 34. Comparación de la rapidez de secado de los cubos de papaya Maradol con y sin pretratamientos.



Figura 35. Formación de poros en los cubos secos entre la parte firme (exterior) por el efecto del calcio y la parte suave (interior).

Durante el proceso de secado los cubos que tienen mayor cantidad de agua deben presentar una rapidez de secado mayor debido a que se elimina una mayor cantidad de agua. Pero al usar pretratamientos se cambia totalmente el peso seco de la muestra a diferencia de secar cubos sin pretratamientos. Por este motivo, es necesario presentar la rapidez de secado tomando en

consideración un mismo valor de peso seco de la muestra (si se considera la base de 1 g de peso seco de la muestra). Con esta consideración en la **Figura 36** se muestra como la rapidez de secado es mayor al secar sin pretratamientos.

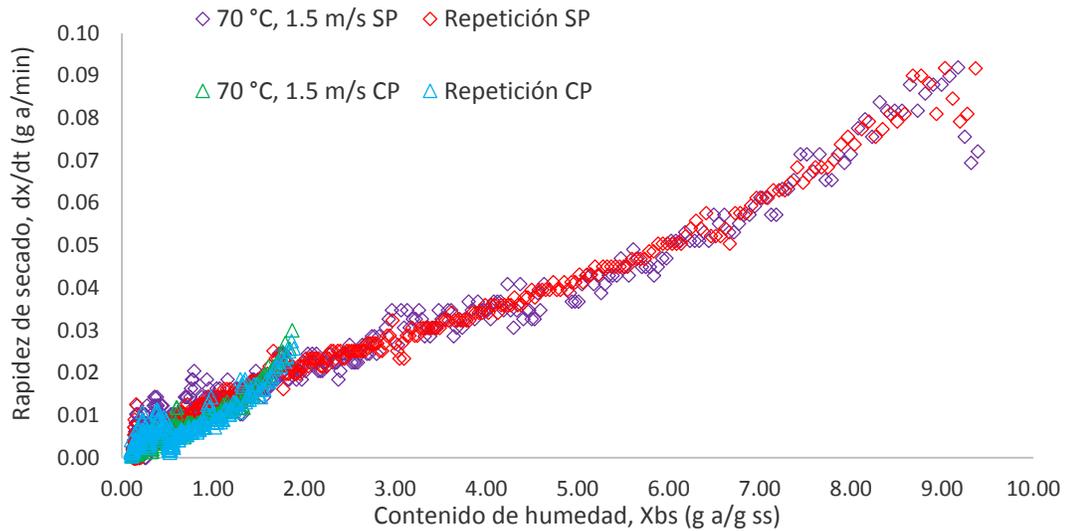


Figura 36. Rapidez de secado considerando como base 1 g de muestra seca con y sin pretratamientos.

A pesar de la diferencia de los factores en el secado (con y sin pretratamientos) la curva estandarizada de cubos de papaya es la misma en ambos casos tal como se muestra en la **Figura 37**, es decir los cubos de papaya tuvieron un comportamiento específico que los puede describir y diferenciar de otros alimentos durante el secado con aire caliente.

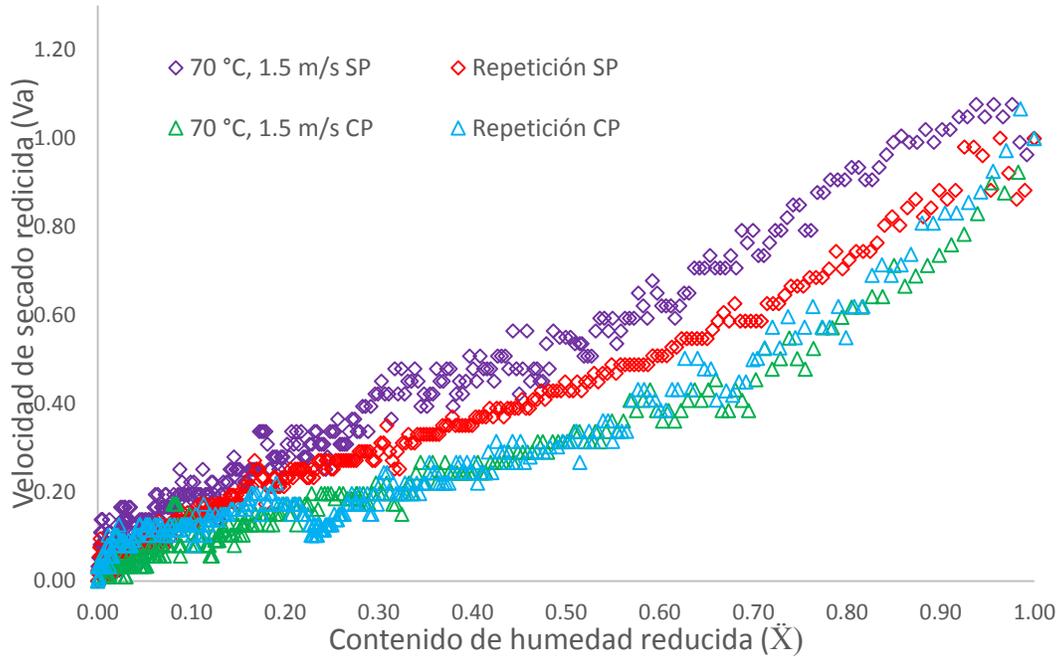


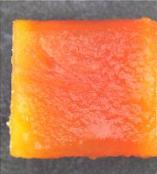
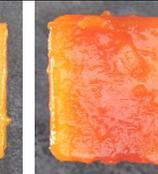
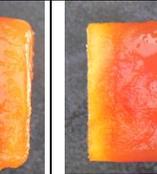
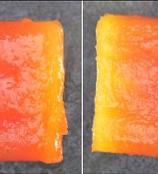
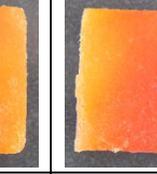
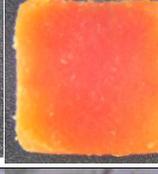
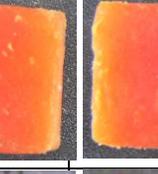
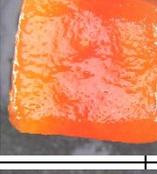
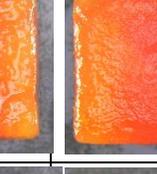
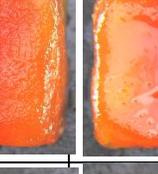
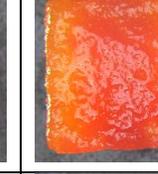
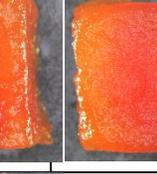
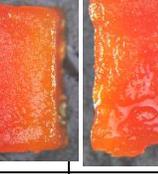
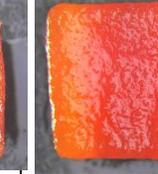
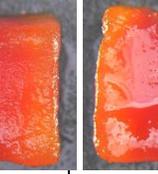
Figura 37. Curva estandarizada de cubos de papaya Maradol secados con aire caliente.

Para los cubos secados sin pretratamientos la textura se ve afectada por la pérdida de la permeabilidad diferencial en la membrana protoplasmática, la pérdida de presión de turgencia en las células, desnaturalización de la proteína y el almidón durante el proceso. También el secado puede provocar una disminución de la capacidad de absorción de agua, la porosidad y un desplazamiento de los solutos desde la parte interna del material a la superficie cuando el secado es a periodos largos y altas temperaturas (Maskan, 2000) tal como sucedió en los cubos secados sin pretratamientos.

4.5 Análisis del perfil de textura (TPA).

Las características de textura fueron tomadas a los 630 minutos (al final del secado con aire caliente), en donde los cubos de papaya mostraron la apariencia tal como se muestra en la **Tabla 16**.

Tabla 14. Apariencia de los cubos de papaya tomados en diferentes tiempos del proceso completo.

Tiempo (min)	Cara A	Cara B	Cara C	Cara D	Cara E	Cara F
0 FRESCA						
120 INCA						
180 INCa						
240 DO						
300 DO						
330 DO						
630 SAC						

Durante el proceso para la obtención de los cubos de papaya secos se determinó la variabilidad del contenido de humedad como se muestra en la **Tabla 17**. Este contenido de humedad aumentó mínimamente durante las inmersiones en hidróxido de calcio debido a que se sumergen en una solución acuosa, pero con la deshidratación osmótica se logró obtener un producto de humedad intermedia. Esto facilitó el proceso de secado para obtener cubos de papayas con pretratamientos de aproximadamente 10% como contenido de humedad final.

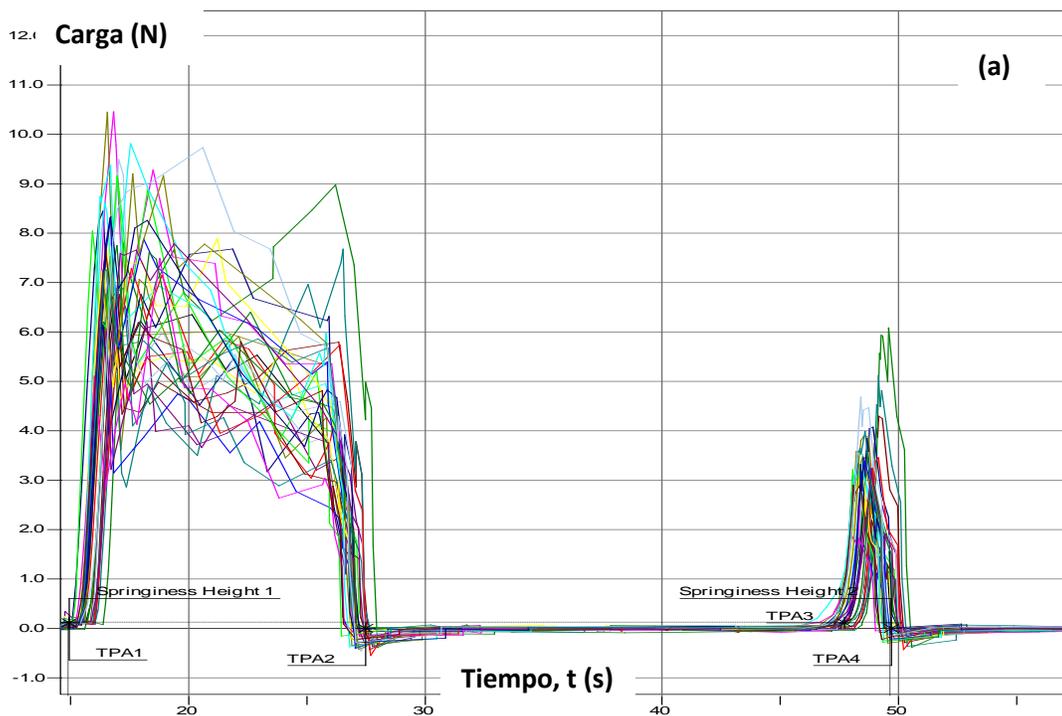
Tabla 15. Comparación de la variabilidad del contenido de humedad de cubos de papaya con y sin pretratamientos.

Etapa final del proceso	Con pretratamientos		Sin pretratamientos	
	Xbh (%)	Xbs (kg a/kg ss)	Xbh (%)	Xbs (kg a/kg ss)
Papaya fresca	90.51 ± 1.25	9.69 ± 1.26	90.51 ± 1.25	9.69 ± 1.26
INCa	92.34 ± 0.88	12.08 ± 0.40		
DO	65.95 ± 1.94	1.94 ± 0.14	10.70 ± 0.46	0.12 ± 0.01
SAC	9.85 ± 0.93	0.11 ± 0.01		

La representación gráfica del perfil completo de textura demostró que el comportamiento de los cubos fue diferente para papaya fresca, con y sin pretratamientos. En cubos frescos se demostró que la máxima resistencia a la compresión fue presentada durante los primeros segundos de la prueba, es decir, estos opusieron resistencia al quiebre hasta los primeros 3 mm de recorrido de la sonda **Figura 38**, después de esta distancia los cubos presentaron desmoronamiento de la pulpa registrándose pequeñas variaciones en las gráficas. Un comportamiento contrario ocurre con los cubos sin pretratamientos ya que debido a la deformación sus caras son completamente irregulares y cada irregularidad presento resistencia al instante de la compresión hasta alcanzar una carga máxima a los 10.5 mm de recorrido o 70% de recorrido de la sonda **Figura 39**.

Al comparar el comportamiento de los cubos con pretratamientos con los dos anteriores se demostró que la estructura formada por acción de las INCa ayudó a los cubos a mantener sus caras uniformes y sin irregularidades. Todos los cubos con pretratamientos se deformaron uniformemente al instante de la compresión durante la prueba oponiendo su máxima resistencia hasta los 7.5 mm o 70% de recorrido de la altura de los cubos. Este comportamiento confirmó que los puentes de calcio formados son los responsables de la modificación de la textura **Figura 40**. Para ver los valores de TPA obtenidos directamente ir al **ANEXO 9**.

En las tres figuras mencionadas anteriormente los valores observados de dureza durante la segunda compresión siempre fueron menores. La mayor diferencia de dureza entre la primera y segunda compresión se observó en las muestras frescas, seguido de las muestras sin pretratamientos y por ultimo las muestras con pretratamientos. Este comportamiento significa que ocurrió una deformación irreversible en los tejidos de los cubos de papaya fresca al aplicar la primera compresión debido a su alto contenido de humedad. Esta deformación fue similar en los cubos sin pretratamientos pero sin romperse o desmoronarse como los frescos, ya que están secos ($X_{bh}^a=10\%$) y con una dureza mucho mayor. Los cubos con pretratamientos tienen mayor capacidad de recuperación que los anteriores después de la primera compresión debido a la interacción del calcio en las paredes celulares de las células.



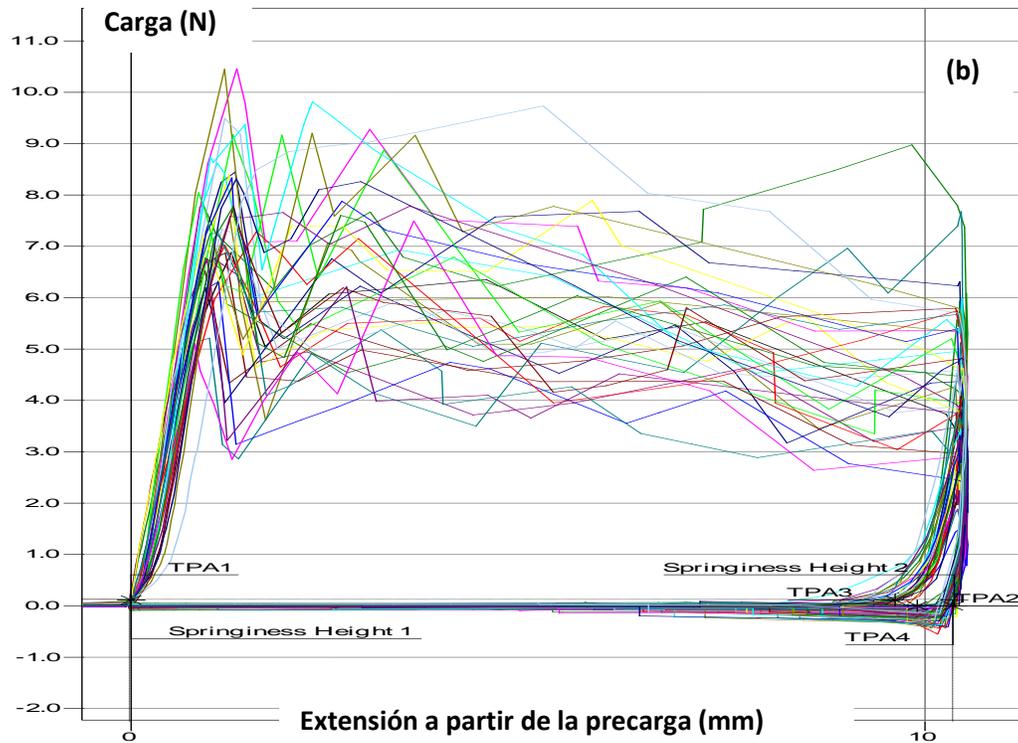
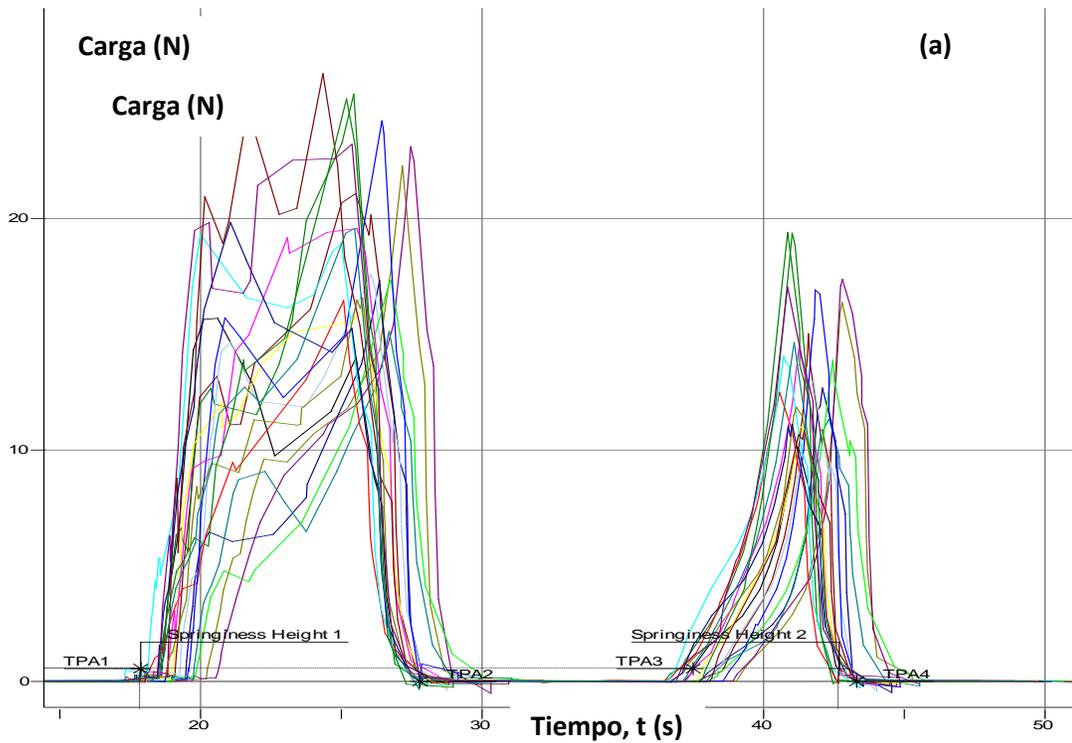


Figura 38. Análisis completo del perfil de textura en cubos de papaya fresca; tomando como eje x: el tiempo (a) y extensión a partir de la precarga (b).



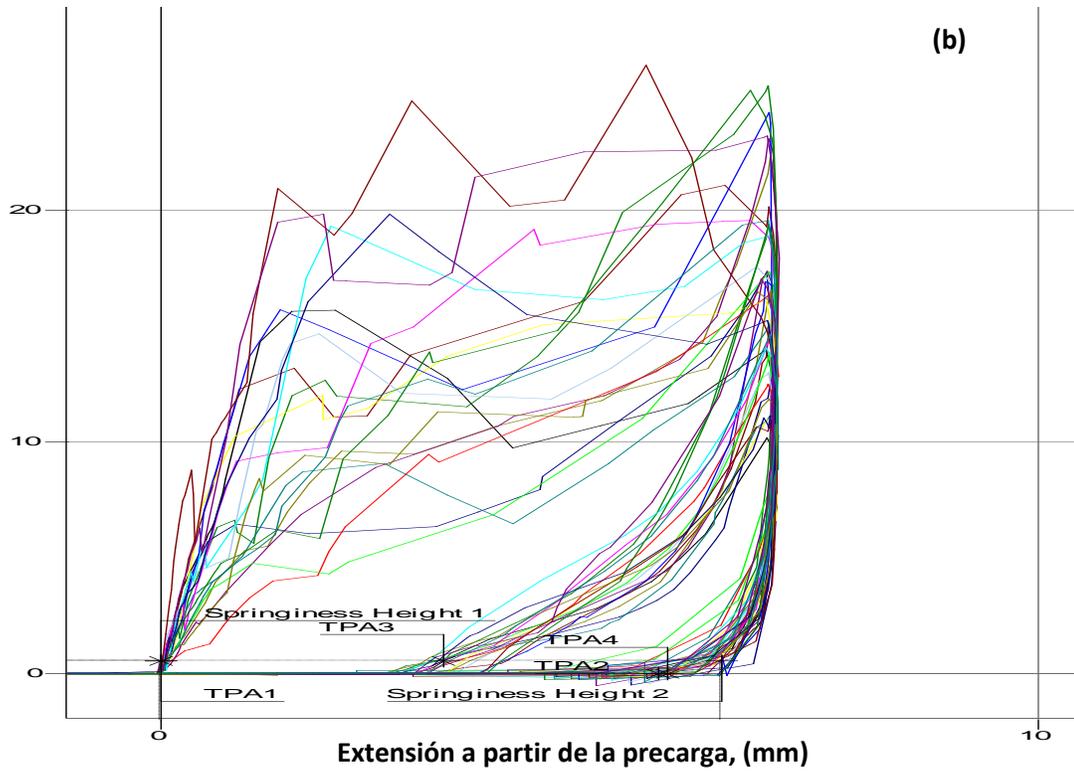
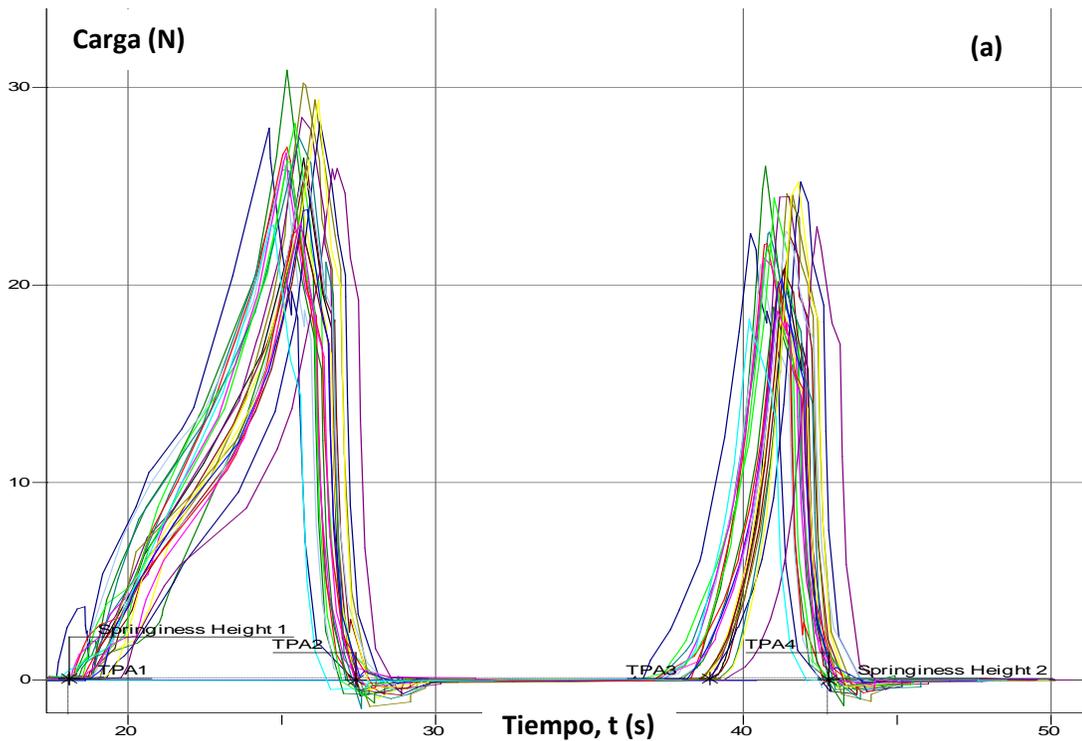


Figura 39. Análisis completo del perfil de textura en cubos de papaya sometidos a secado con aire caliente sin pretratamientos; tomando como eje x: el tiempo (a) y extensión a partir de la precarga (b).



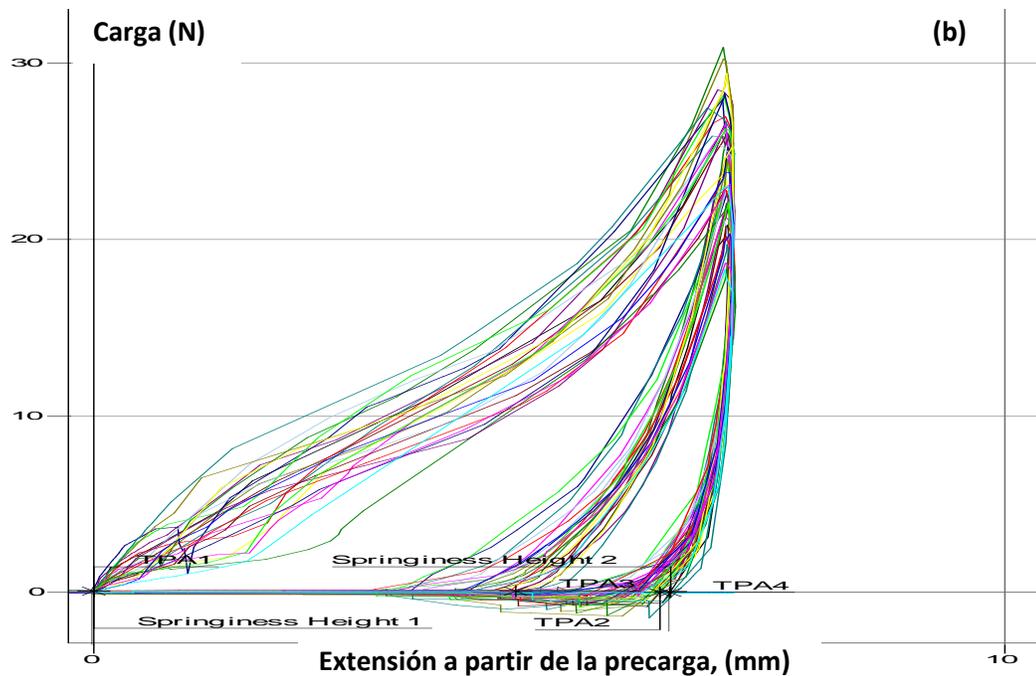


Figura 40. Análisis completo del perfil de textura en cubos de papaya sometidos a inmersión en hidróxido de calcio, deshidratación osmótica y secado con aire caliente; tomando como eje x: el tiempo (a) y extensión a partir de la precarga (b).

Con la aplicación de la combinación de inmersiones en hidróxido de calcio y deshidratación osmótica se logró modificar la estructura de los cubos frescos de papaya. Las características de textura de estos cubos al final del secado convectivo tuvieron una diferencia significativa entre los valores medios con respecto a los cubos frescos y secados sin pretratamientos como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 16. Análisis ($p \leq 0.05$) de las características de textura de papaya Maradol al final del secado con aire caliente ($M \pm SD$).

Muestra (cubos)	Dureza (N)	Cohesividad (adim)	Adhesividad (Nmm)	Elasticidad (adim)	Gomosidad (N)	Masticabilidad (N)
Papaya Fresca	8.64 ± 2.18^a	0.019 ± 0.005^a	0.61 ± 0.21^a	0.31 ± 0.01^a	0.15 ± 0.05^a	0.05 ± 0.02^a
Papaya SP	21.72 ± 6.10^b	0.22 ± 0.03^b	0.03 ± 0.13^b	0.40 ± 0.03^b	3.28 ± 0.90^b	1.64 ± 0.57^b
Papaya CP	26.25 ± 5.50^c	0.23 ± 0.04^b	0.64 ± 0.35^a	0.44 ± 0.05^c	7.39 ± 1.83^c	3.64 ± 1.07^c

En la dureza, un valor bajo siempre es preferible en alimentos. Esta característica siempre está relacionada a la jugosidad y rendimiento. Debido a que las muestras frescas se rompen con mayor facilidad, esto indica que la fractura tiene una capacidad de propagación mayor que en el caso de los cubos con y sin pretratamientos.

Para la cohesividad los valores más cercanos a cero indicaron que la mayor cantidad de paredes celulares fueron rotas durante la primera compresión tal fue el caso de los cubos frescos. Esto quiere decir, que el área de la curva de la segunda compresión fue mucho menor en comparación a la primera y que los cubos no tienen la capacidad de recuperarse, su viscoelasticidad es casi nula. Caso contrario sucedió durante la prueba en los cubos con y sin pretratamientos ya que ambos no mostraron una diferencia significativa entre ellos pero si con respecto a los cubos frescos. Debido a esto en los cubos con y sin pretratamientos tuvieron mayor fuerza los enlaces internos de la red del tejido vegetal.

Un comportamiento similar se encontró en la adhesividad de cubos frescos y con pretratamientos, ambos fueron significativamente diferentes a los cubos secados sin pretratamientos. Esto se debe a que de los frescos y con pretratamientos se desprendieron mayor cantidad de residuos y la fuerza de tracción fue mayor para poder retirar la sonda adherida a la muestra, esta área negativa se observa mayormente en las **Figuras 37 y 39**. En los cubos frescos esta fuerza se debió al elevado contenido de humedad y azúcares de los cubos, lo que los hace jugosos y pegajosos. Si bien los cubos con pretratamientos no contienen el mismo contenido de humedad que los frescos, sin embargo, muestran adhesividad similar debido a la ganancia de sacarosa durante la deshidratación osmótica. Una parte de esta sacarosa es arrastrada hacia la superficie de los cubos durante el secado convectivo y al instante de la primera compresión-descompresión son estos mismos solutos los responsables de la fuerza de adherencia. Los cubos sin pretratamientos con un contenido de humedad final del 10% (base húmeda) no mostraron en la superficie residuos de sustancias pertenecientes a la pared celular, ni solutos como sacarosa que opusieran cierta fuerza al desprender la sonda. Los resultados de elasticidad indicaron que los cubos con pretratamientos tuvieron mayor capacidad de recuperación después de la primera compresión, este comportamiento fue debido a la estructura de los puentes de calcio que aumentaron la firmeza de los cubos y la cohesividad de los mismos. En los cubos frescos la recuperación fue menor debido a la jugosidad de los cubos de papaya por el alto contenido de agua.

La gomosidad fue afectada por la cohesividad en los cubos con pretratamientos, esto indicó que para desintegrar los cubos de papaya se requiere mayor energía: fue el resultado de un producto de un bajo grado de dureza y un alto grado de cohesión.

Los valores de masticabilidad fueron mayores en los cubos con pretratamientos con respecto a los cubos frescos y sin pretratamientos por la influencia que tuvo el calcio en la estructura de los tejidos y a los altos valores de dureza, cohesividad y elasticidad. Por lo que se requirió mayor energía para masticar los cubos de papaya. Tanto la gomosidad como la masticabilidad fueron menores en cubos frescos y sin pretratamientos ya que sus estructuras no fueron modificadas por efecto del calcio.

La textura de la fruta es el resultado del contenido de agua, de la composición y/o la integridad de las paredes celulares de las células de este tejido (Gonçalves de Oliveira & Pierre, 2011). Tanto la dureza, adhesividad firmeza, cohesividad, resistencia, gomosidad, masticabilidad disminuyen con un incremento en el contenido de humedad mientras que la elasticidad incrementa con un incremento en el contenido de humedad (Rahman, et al., 2012).

Reducir el tiempo de secado convectivo fue importante y obtener un contenido de humedad del 0.11 ± 0.01 kg agua/kg sólido seco con pretratamientos permitió conocer el punto de equilibrio en papaya secada con aire caliente de acuerdo con Lemus-Mondaca et al. (2009) quienes determinaron que la firmeza de sus muestras pretratadas obtuvieron valores entre 20 y 40 N. Los resultados obtenidos de dureza son similares a los reportados por Udomkun *et al.* (2014) para una concentración de 0.5% de inmersión en Lactato de calcio (Ca-L) y cloruro de calcio (CaCl_2) en papaya, pero diferentes a las demás características de textura, especialmente porque encontraron valores mayores con concentraciones de Ca-L y CaCl_2 de 1.5 y 2.5%. También se han correlacionado sensorialmente y características de textura muestras de papaya variedad Formosa y las muestras de mejor calidad fueron las tratadas con Ca-L al 2.5%. Germer *et al.* (2014) encontraron que el máximo valor de la fuerza de corte en papaya fue con pretratamientos en ácido cítrico y lactato.

CONCLUSIONES

1. La combinación de inmersiones en hidróxido de calcio y deshidratación osmótica formó una estructura firme (parte exterior) y estructura suave (parte interna) lo que provocó la formación de poros evidentes entre el centro y la parte externa, esto ayudó a la eliminación del agua de los cubos en menor tiempo durante el secado convectivo en comparación con las muestras sin pretratamientos. Al final del secado convectivo se comprobó que el efecto del calcio es de gran importancia porque evitó la deformación de los cubos mostrándose un patrón uniforme en la reducción mínima de tamaño. El efecto y/o cambios producidos por la combinación de las inmersiones en hidróxido de calcio, deshidratación osmótica y secado convectivo modificaron la estructura de los cubos de papaya, por lo tanto, la modificación de las características de textura fue inevitable encontrándose al final diferencias significativas entre la textura de cubos frescos y cubos con y sin pretratamientos.
2. El efecto de las inmersiones en hidróxido de calcio se observó sobre la ganancia de calcio, firmeza y sólidos solubles totales ya que tienen la capacidad de interactuar y reorganizar la estructura de los tejidos debido a que siguen siendo organismos vivos a pesar de la interrupción del proceso natural de maduración y cambios de forma. La incorporación de calcio a los cubos de papaya tuvo la capacidad de influir en la deshidratación osmótica. Con las inmersiones se crearon espacios y/o canales en la parte firme que se atribuyeron a la restructuración de las paredes celulares durante la formación de los puentes calcio, esto facilitó el flujo intra y extracelular de masa. Este flujo se observó en la deshidratación osmótica al aplicar previamente las inmersiones en hidróxido de calcio. Si bien el calcio proporcionó lados firmes de los cubos, no es posible aplicar un proceso final directo (secado con aire caliente), se necesitan pretratamientos como la deshidratación osmótica para proteger el color y evitar tener un producto final duro.

REFERENCIAS

- Abbas, A. E.-A., Moreira, P. A., Lucena, J. B. J. & Xidieh, F. E. M., 2006. Influence of the osmotic agent on the osmotic dehydration of papaya (*Carica papaya* L.). *Journal of Food Engineering*, Volumen 75, pp. 267-274.
- Alfonso, M. G., 2010. *CENTA. Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal. Enrique Alvarez Córdova*. [En línea]
Available at: <http://www.centa.gob.sv/docs/guias/frutales/GUIA%20CULTIVO%20PAPAYA.pdf>
[Último acceso: 10 Enero 2014].
- Andreotti, R., Tomasicchio, M., Giorgi, A. D. & Palmas, D., 1985. Conservazione di pesche parzialmente disidratate per osmosi diretta. *Industria Conserve*, Volumen 60, pp. 96-103.
- Anino, S., Salvatori, D. & Alzamora, S. M., 2006. Changes in calcium level and mechanical properties of apple tissue due to impregnation with calcium salts. *Food Research Internacional*, 39(2), pp. 154-164.
- AOAC, 1990. *Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists*. 15 th ed. Washington, DC: Association of Official Analytical Chemists.
- AOAC, 1998. Official methods of analysis. *S. William (ed). Published by the Association of Official Analytical Chemists. USA*, pp. 219-221.
- AOAC, 2000. Official Methods of Analysis, AOAC INTERNATIONAL Gaithersburg, MD, Method 934.01.. Volumen 17.
- Arias, C. J. V. & Toledo, J. H., 2007. *FAO*. [En línea]
Available at: <http://www.fao.org/documents/card/en/c/3898a360-5ae8-4f64-a648-96ef9630b73b/>
- Azcón-Bieto, J. & Talón, M., 2000. *Fundamentos de fisiología vegetal*. Edicions Universitat de Barcelona ed. s.l.:McGraw-Hill Interamericana Editores, S. A. de C. V..
- Badui, S. D., 1990. *Química de los Alimentos*. Segunda Edicion ed. Mexico, D. F.: Alhambra Mexicana S. A. de C. V..
- Barat, J. M., Fito, P. & Chiralt, A., 2001a. Modelling of simultaneous mass transfer and structural changes in fruit tissues. *Journal of Food Engineering*, Volumen 49, pp. 77-85.
- Barceló, J. C., Nicolás, G. R., Sabater, B. G. & Sánchez, R. T., 2001. *Fisiología vegetal*. Madrid: Editorial Pirámide.
- Bari, L., Hassan, P., Absar, N. & Haque, M. E., 2006. Nutritional analysis of two local varieties of papaya (*Carica papaya* L.) at different maturation stages. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 9(1), pp. 137-140.
- Beer, F. & Johnston, E., 1993. *Mecánica de materiales*. Santafé de Bogotá, Colombia: McGraw-Hill.

- Bolin, H. R., Huxsoll, C. C., Jackson, R. & Ng, K. C., 1983. Effect of osmotic agents and concentration on fruit quality. *Journal of Food Science*, 48(1), p. 202–205.
- Campostrini, E., Pommer, C. V. & Yamanishi, O. K., 2010. Environmental factors causing physiological disorders in papaya plants. *Acta Horticulturae*, Volumen 851, pp. 453-458.
- Ceballos, G. E. C., 2008. *Estudios en papaya mínimamente procesada por deshidratación osmótica*. Valencia, España: dspace.cc.upv.es.
- Cháfer, M. y otros, 2001. Kinetics of osmotic dehydration in orange and mandarin peels. *Journal of Food Process Engineering*, Volumen 24, pp. 273-289.
- CHAVARRO-CASTRILLÓN, L. M., OCHOA-MARTÍNEZ, C. I. & AYALA-APONTE, A., 2006. EFECTO DE LA MADUREZ, GEOMETRÍA Y PRESIÓN SOBRE LA CINÉTICA DE TRANSFERENCIA DE MASA EN LA DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA DE PAPAYA (Carica papaya L., var. Maradol). *Ciênc. Tecnol. Aliment., Campinas*, 26(3), pp. 596-603.
- Chiralt, A. y otros, 2001. Changes in mechanical properties throughout osmotic processes: Cryoprotectant effect. *Journal of Food Engineering*, 49(2-3), pp. 129-135.
- Chirife, J., 1982. *Principios de la deshidratación osmótica de frutas*. Argentina: Anales de Asociación Química.
- Civille, G. V. & Szczesniak, A. S., 1973. Guidelines to training a texture profile panel. *Journal of Texture Studies*, Volumen 4, pp. 204-223.
- Colina, M. L. I., 2010. *Deshidratación de alimentos*. s.l.:Trillas.
- Del Valle, J. M., Aranguiz, V. & Leon, H., 1998. Effects of blanching and calcium infiltration on PPO activity, texture, microstructure and kinetics of osmotic dehydration of apple tissue. *Food Research International*, 31(8), pp. 557-569.
- Desai, U. T. & Wagh, A. N., 1995. Papaya In.: En: D. K. Salunkhe & S. S. Kadam, edits. *Handbook of fruit science and technology. Production, composition and processing*. New York: Food Science and Technology. Marcel Dekker Inc., pp. 297-314.
- Devitt, L. C. y otros, 2006. Discovery of genes associated with fruit ripening in Carica papaya using expressed sequence tags. *Plant Science*, Volumen 170, pp. 356-363.
- Escríche, I., Acosta, E., Serra, J. & Chiralt, A., 1999. Vida útil de papaya mínimamente procesada obtenida por deshidratación a vacío. *Alimentaria*, Issue 306, pp. 105-109.
- FAO, 2000. *Food and Agriculture Organization. Manual de manejo postcosecha de frutas tropicales (papaya, piña, plátano, cítricos)*. [En línea]
Available at: http://www.fao.org/inpho_archive/content/documents/vlibrary/ac304s/ac304s02.htm
[Último acceso: 25 Enero 2014].

- FAO, 2011. *Food and Agriculture Organization*. [En línea]
Available at: <http://www.fao.org/docrep/meeting/028/ma937e.pdf>
[Último acceso: 25 Diciembre 2013].
- FAO, 2012. *Food and Agriculture Organization*. [En línea]
Available at: http://www.fao.org/agronoticias/agro-noticias/detalle/es/?dyna_fef%5Buid%5D=159358
[Último acceso: 25 Diciembre 2013].
- FAO, 2013. *Food and Agriculture Organization*. [En línea]
Available at: <http://www.fao.org/docrep/x5062s/x5062S06.htm#Frutas>
[Último acceso: 25 Diciembre 2013].
- Fariñas, M. E., 1990. *Principales plagas y enfermedades que afectan el cultivo de la papaya en Cuba*, La Habana: Ministerio de la Agricultura, Cuba. Agencia de Informacion y Comunicacion para la Agricultura (AGRINFOR).
- Ferguson, I., Volz, R. & Woolf, A., 1999. Preharvest factors affecting physiological disorders of fruit. *Postharvest Biology and Technology*, Volumen 15, pp. 255-262.
- Fito, P., 1994. Modelling of vacuum osmotic dehydration of food. *Journal of Food Engineering*, Volumen 22, pp. 313-328.
- FOASTAT, 2012a. *Food and Agriculture Organization of the United Nations*. [En línea]
Available at: <http://faostat3.fao.org/faostat-gateway/go/to/home/E>
[Último acceso: 20 Noviembre 2013].
- Forni, E., Torreggiani, D., Battiston, P. & Polesello, A., 1986. Research into changes of pectic substances in apricots and peaches processed by osmotic dehydration. *Carbohydrate Polimers*, Volumen 6, pp. 376-393.
- García, M., Díaz, R., Martínez, Y. & Casariego, A., 2010. Effects of chitosan coating on mass transfer during osmotic dehydration of papaya. *Food Research International*, Volumen 43, pp. 1656-1660.
- Gayosso-García, L. E. S., Yahia, E. M., Martínez-Téllez, M. A. & González-Aguilar, G. A., 2010. Effect of Maturity Stage of Papaya Maradol on Physiological and Biochemical Parameters. *American Journal of Agricultural and Biological Sciences*, 5(2), pp. 194-203.
- Geankoplis, C. J., 1998. *Procesos de transporte y operaciones unitarias*. Tercera Edicion ed. Mexico: Continental S. A. de C. V..
- Germer, S. P. M. y otros, 2014. Influence of Processing Additives on the Quality and Stability of Dried Papaya Obtained by Osmotic Dehydration and Conventional Air Drying. *Drying Technology: An International Journal*, DOI:10.1080/07373937.2014.924963.
- Giangiacomo, R., Torreggiani, D. & Abbo, E., 1987. Osmotic dehydration of fruit: Part I. Sugars exchange between fruit and extracting syrups. *Journal of Food Processing and Preservation*, Volumen 11, pp. 183-195.

- Gil, A. I. & Miranda, D., 2005. Floral and seed morphology of papaya (*Carica papaya* L.): Maradol variety and Tainung-1 hybrid. *Agronomía Colombiana*, 23(2), pp. 217-222.
- Gonçalves de Oliveira, J. & Pierre, A. V., 2011. Papaya: Nutritional and pharmacological characterization, and quality loss due to physiological disorders. An overview. *Food Research International*, Volumen 44, pp. 1306-1313.
- Grant, G. T., Morris, E. R., Rees, D. A. & Smith, P., 1973. Biological interactions between polysaccharides and divalent cations: the egg-box model. *Federation of European Bio-chemistry Societies Letters*, Volumen 32, p. 195–198.
- Gras, M. L. y otros, 2003. Calcium fortification of vegetables by vacuum impregnation interactions with cellular matrix. *Journal of Food Engineering*, Volumen 56, pp. 279-284.
- Heng, K., Guilbert, S. & Cuq, J. L., 1990. Osmotic dehydration of papaya : influence of process variables on the product quality. *Sciences des Aliments*, 10(4), p. 831–848.
- Heng, K., Guilbert, S. & Cuq, J. L., 1990. Osmotic dehydration of papaya: influence of process variables on the product quality. *Sciences des Aliments*, Volumen 10, pp. 831-848.
- INEGI, 2011. *Instituto Naional de Estadistica y Geografia*. [En línea] Available at: <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/estadistica/default.aspx> [Último acceso: 22 Noviembre 2013].
- INIFAT, 1994. *Instituto de Investigaciones Fundamentales en la Agricultura Tropical. Tecnología para la producción de fruta bomba Maradol roja en Cuba*. La Habana, Ministerio de la Agricultura, 27 pp..
- Izumi, H. & Watada, A. E., 1994. Calcium treatments affects storage quality of shredded carrots. *Journal of Food Science*, 59(1), pp. 106-109.
- Jain, S. K. & Verma, R. C., 2003. Osmotic dehydration: A new, promising and emerging industry. *Bev Food World*, Volumen 30, p. 30–34.
- Jain, S. K. y otros, 2011. Optimization of process parameters for osmotic dehydration of papaya cubes. *Journal Food Science Technology*, 48(2), pp. 211-217.
- Kalra, S. K., Tandon, D. K. & Singh, B. P., 1995. Papaya. In U. T. Desai and A. N. Wagh (Eds.). En: *Handbook of fruit Science and Technology*. New York: Marcel Dekker Inc., pp. 297-310.
- Lazarides, H. N., 1994. Osmotic preconcentration: developments and prospects. In: Minimal Processing of Foods and Process Optimisation. *An Interface*. CRC Press, Boca Raton, FJ, p. 73–85.
- Le Maguer, M., 1988. Osmotic dehydration: review and future directions. Proceedings of the International Symposium on Progress in Food Preservation Processes. Volumen 1, p. 283–309.
- Lemus-Mondaca, R. y otros, 2009. Effect of Osmotic Pretreatment on Hot Air Drying Kinetics and Quality of Chilean Papaya (*Carica pubescens*). *Drying Technology*, Volumen 27, pp. 1105-1115.

- Lenart, A. & Flink, J. M., 1984. Osmotic concentration of potato. II. Spatial distribution of the osmotic effect. *Journal Food Technology*, Volumen 19, p. 65–89.
- Lenart, A. & Flink, J. M., 1984. Osmotic concentration of potato. *International Journal of Food Science & Technology*, Volumen 19, pp. 45-63.
- Lerici, C. R., Mastrocola, D., Sensidoni, A. & Dalla, R. M., 1988. Osmotic concentration in food processing. *Elsevier Science Publishers BV*, pp. 123-134.
- Lovera, N., Ramallo, L. & Salvado, V., 2014. Effect of Processing Conditions on Calcium Content, Firmness, and Color of Papaya in Syrup. *Journal of Food Processing*, Volumen 2014, p. 8 pages.
- Luna-Guzmán, I. & Barrett, D., 2000. Comparison of calcium chloride and calcium lactate effectiveness in maintaining shelf stability and quality of fresh cut cantaloupes. *Postharvest Biology and Technology*, Volumen 19, pp. 61-72.
- Luna-Guzmán, I., Cantwell, M. & Barrett, D., 1999. Fresh-cut cantaloupe: effects of CaCl₂ dips and heat treatments on firmness and metabolic activity. *Postharvest Biology and Technology*, Volumen 17, pp. 201-213.
- Lund, B. M., 1983. *Bacterial spoilage En: Denis, C. (ed), Postharvest Pathology of Fruits and Vegetables*. New York, 219-254: Academic Press.
- Manrique, G. D. & Lajolo, F. M., 2004. Cell-wall polysaccharide modifications during postharvest ripening of papaya fruit (*Carica papaya*). *Postharvest Biology and Technology*, Volumen 33, pp. 11-26.
- Martín-Diana, A. y otros, 2006. Effect of calcium lactate and heat-shock on texture in fresh-cut lettuce during storage. *Journal of Food Engineering*, 77(4), pp. 1069-1077.
- Maskan, M., 2000. Microwave/air and microwave finish drying of banana. *Journal of Food Engineering*, Volumen 44, pp. 71-78.
- Mastrocola, D., Severini, C., Pestalozza, A. & Lerici, C. R., 1988. Osmosi ad alta temperatura ed essiccamento in corrente d'aria di prodotti ortofrutticoli. *Industrie Conserve*, 63(7), pp. 109-113.
- Mazza, G., 1983. Dehydration of carrots. Effects of pre-drying treatments on moisture transport and product quality. *Journal of Technology*, Volumen 18, p. 113–123.
- McGuire, R. G., 1992. Reporting of Objective Color Measurements. *HortScience*, 27(12), pp. 1254-1255.
- Mercado-Silva, E. B.-. B. P. G.-. V. M., 1998. Fruit development, harvest index and ripening changes of guavas produced in central Mexico. *Postharvest Biology and Technology*, Volumen 13, pp. 143-150.
- Montiveros, M. E. & Ramallo, L., 2007. Efecto de las condiciones de impregnación sobre los niveles de calcio y la textura del zapallo en almíbar. *XI Congreso Argentino de Ciencia y Tecnología (CYTAL)*.
- Moshiur, M. R. M. M. R. M. S. B. K. M., 2014. Maturity stages affect the postharvest quality and shelf-life of fruits of strawberry genotypes growing in subtropical regions. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, pp. 1-10.

- Muñiz, S. B., Hernández, A. G., García, A. P. & Méndez, L. L., 2013. Use of convective dry method combined for dehydration of papaya fruit (*Carica papaya* L.), variety Maradol roja. *Ciencias Técnicas Agropecuarias*, Volumen 22, pp. 31-37.
- Nieto, A. B., Castro, M. A. & Alzamora, S. M., 2001. Kinetics of moisture transfer during air drying of blanched and/or osmotically dehydrated mango. *Journal of Food Engineering*, Volumen 50, p. 175–185.
- Nimmanpipug, N., Therdtai, N. & Dhamvithee, P., 2013. Characterisation of osmotically dehydrated papaya with further hot air drying and microwave vacuum drying. *International Journal of Food Science and Technology*, Volumen 48, pp. 1193-1200.
- OCDE, 1998. *Guía de pruebas objetivas para determinar la madurez de la fruta.* [En línea] Available at: <http://www.oecd.org/agriculture/code/32022743.pdf> [Último acceso: 20 Enero 2014].
- Ozen, B. F., Dock, L. L., Ozdemir, M. & Floros, J. D., 2002. Processing factors affecting the osmotic dehydration of diced green peppers. *International Journal of Food Science & Technology*, 37(5), p. 497–502.
- Palafox-Carlos, H. Y. E. I.-. O. M. G.-. M. P. R.-. S. M. G.-. A. G., 2012. Effect of ripeness stage of mango fruit (*Mangifera indica* L., cv. Ataulfo) on physiological parameters and antioxidant activity. *Scientia Horticulturae*, Volumen 135, pp. 7-13.
- Panadés, G. y otros, 2003. INFLUENCE OF OPERATING Conditions on sensory quality of minimally processed osmotically dehydrated guava. *Journal of Food Quality*, 26(2), p. 91–103.
- Paredes, E. T. P., Lara, N. & Spín, N., 2012. Estudio del proceso de horneado con microondas y su efecto sobre la textura instrumental del fruto de cuatro variedades de manzana (*Pyrus malus* L.). *Facultad de Ingeniería Química y Agroindustria. Escuela Politecnica Nacional*, p. 281.
- Pereira, L. M. y otros, 2006. Kinetic Aspects, Texture, and Color Evaluation of Some Tropical Fruits during Osmotic Dehydration. *Drying Technology*, Volumen 24, pp. 475-484.
- Pereira, T. y otros, 2009. Gas diffusion in ‘Golden’ papaya fruit at different maturity stages. *Postharvest Biology and Technology*, Volumen 54, pp. 123-130.
- Pérez, L. E. C., 2003. *Aplicación de métodos combinados para el control del desarrollo del pardeamiento enzimático en pera (variedad blanquilla) mínimamente procesada.* Valencia, España: Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Valencia.
- Pointing, J. D. y otros, 1966. Osmotic dehydration of fruits. *Food Technol. Food Technology*, 20(10), p. 125–131.
- Popov, E., 1996. *Introducción a la mecánica de sólidos.* México, D.F., México: Limusa, S.A. de C.V..
- Qiu, Y., Nishina, M. S. & Paull, R. E., 1995. Papaya fruit growth, calcium uptake, and fruit ripening. *Journal of American Society of Horticulture Science*, 120(2), pp. 246-253.

- Quevedo, R. y otros, 2009. Description of the kinetic enzymatic browning in banana (*Musa Cavendish*) slices using nonuniform color information from digital images. *Food Res. Int.*, Volumen 42, p. 1309–1314..
- Rahman, M. M. y otros, 2014. Maturity stages affect the postharvest quality and shelf-life of fruits of strawberry genotypes growing in subtropical regions. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*.
- Rahman, M. S. y otros, 2012. CLASSIFICATION OF COMMERCIAL OMANI HALWA BY PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES AND INSTRUMENTAL TEXTURE PROFILE ANALYSIS (TPA). *Italian Journal of Food Science*, Volumen 24, pp. 292-304.
- Ramallo, A. L. & Liotta, T., 2011. Effect of processing conditions in changes of calcium levels and firmness of papaya (*carica papaya l.*) in syrup. *Science and technology magazine*, 13(16), p. 58–63.
- Ranken, M. D., 1993. *Manual de Industrias de los alimentos*. Zaragoza , España: Acribia S.A. 2da edición.
- Rastogi, N. K., Raghavarao, K. M. & Nirarjan, K., 1997. Mass transfer during osmotic dehydration of banana, Fickian diffusion in cylindrical configuration. *Journal of Food Engineering*, Volumen 31, p. 423–432.
- Redondo-Nieto, M., Bonilla, I. & Bolaños, L., 2014. *El boro (B) y la relación boro-calcio (B-Ca²⁺)*. [En línea] Available at: http://www.uam.es/personal_pdi/ciencias/bolarios/Investigacion/boro.htm [Último acceso: 05 Junio 2014].
- Rodrigues, A., Cunha, R. & Hubinger, M., 2003. Rheological properties and colour evaluation during osmotic dehydration processing. *Journal of Food Engineering*, Volumen 59, pp. 129-135.
- Rodrigues, S., Oliveira, F. I. P., Gallao, M. I. & Fernandes, F. A. N., 2009. Effect of Immersion Time in Osmosis and Ultrasound on Papaya Cell Structure during Dehydration. *Drying Technology*, Volumen 27, pp. 220-225.
- Rodríguez , A. N., Jiménez , F. C. & Sánchez , G. M., 2002. *Producción Económica de papaya Maradol*. La Habana, FUPPUE - ITa 32 – INIFAT. 178 pp..
- Rodríguez , A. R., Rodríguez , A. N. & Corrales, R. S., 1966. *La fruta bomba Maradol*. La Habana, 1ra. Conf. Nac. Fruticultores (Ponencia).
- Rodríguez, A. N., 2003. *La verdadera papaya Maradol*, La Habana: FUPPUE. ITa. 32. INIFAT. 24 pp.
- Rosa, M. D. & Giroux , F., 2001. Osmotic treatments and problems related to the solution management. *Journal Food Engineering*, Volumen 49, p. 223–236.
- Rosen, J. & Kader, A., 1989. Postharvest physiology and quality maintenance of sliced pear and strawberry fruits. *Journal of Food Science*, 54(3), pp. 656-659.
- Roux, S. J. & Slocum, R. D., 1982. *Role of calcium in mediating cellular functions in higher plants*. In: Cheung, W.y. (eds) *Calcium and cell function*. New York: Academic Press, 409-453 pages.

- Sablani, S. S. & Rahman, M. S., 2003. Effect of syrup concentration, temperature and sample geometry on equilibrium distribution coefficients during osmotic dehydration of mango. *Food Research International*, Volumen 36, pp. 65-71.
- Saborío-Argüello, D., Sáenz-Murillo, M. V. & Arauz-Cavallini, L. F., 1997. *Efecto de aplicaciones precosecha de calcio en la severidad de antracnosis y la calidad de frutos de papaya (Carga papaya)*. San José, Costa Rica, Editorial San José, American Phytopathological Society - Caribbean Division, CR.
- Sams, C. E., 1999. Preharvest factors affecting postharvest texture. *Postharvest Biology and Technology*, 15(3), pp. 249-254.
- Sanchís, E., Mateos, M. & Pérez-Gago, M. B., 2015. Effect of maturity stage at processing and antioxidant treatments on the physico-chemical, sensory and nutritional quality of fresh-cut 'Rojo Brillante' persimmon. *Postharvest Biology and Technology*, Volumen 105, pp. 34-44.
- Santamaría, F. B. y otros, 2009. Postharvest ripening and maturity indices for Maradol papaya. *Interciencia*, 34(8), pp. 583-588.
- Saure, M. C., 2005. Calcium translocation to fleshy fruit: Its mechanism and endogenous control. *Scientia Horticulturae*, 105(1), pp. 65-89.
- SIAP, 2012. *Mexican Agricultural Information Service*. [En línea]
Available at: http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=50&Itemid=380
(en español)
[Último acceso: 22 Noviembre 2013].
- Singer, F. & Pytel, A., 1982. *Resistencia de materiales*. México, D.F., México: Harla, S.A. de C.V..
- Smout, C. y otros, 2005. Effect of preheating and calcium pre treatment on pectin structure and thermal texture degradation: a case study on carrots. *Journal of Food Engineering*, Volumen 67, pp. 419-425.
- Sousa, M., Canet, W., Alvarez, M. & Fernández, C., 2007. Effect of processing on the texture and sensory attributes of raspberry (cv. Heritage) and blackberry (cv. Thornfree). *Journal of Food Engineering*, 78(1), pp. 9-21.
- Suutarinen, J., Heiska, K., Moss, P. & Autio, K., 1999. The effects of Calcium Chloride and sucrose prefreezing treatments on the structure of strawberry tissues. *Lebensmittel Wissenschaft und Technologie*, Volumen 33, pp. 89-102.
- Szczesniak, A. S., 2002. Texture is a sensory property. *Food Quality and Preference*, Volumen 13, p. 215–225.
- Torreggiani, D., 1993. Osmotic dehydration in fruit and vegetable processing. *Food Research International*, Volumen 26, p. 59–68.
- Torreggiani, D. & Bertolo, G., 2001. Osmotic pre-treatments in fruit processing: chemical, physical and structural effects. *Journal of Food Engineering*, Volumen 49, p. 247–253.



Tregunno, N. B. & Goff, H. D., 1996. Osmodehydrofreezing of apples: structural and textural effects. *Food Research International*, 29(5/6), p. 471–479.

Udomkun , P., Mahayothee, B., Nagle, M. & Muller, J., 2014. Effects of calcium chloride and calcium lactate applications with osmotic pretreatment on physicochemical aspects and consumer acceptances of dried papaya. *International Journal of Food Science and Technology*, Volumen 49, pp. 1122-1131.

Van Buggenhout, G. T., Van Loey, A. & Hendrickx, M., 2008. Use of pectinmethylesterase and calcium in osmotic dehydration and osmodehydrofreezing of strawberries. *European Food Research and Technology*, 22(5), pp. 1145-1154.

Vanegas, G. & Antonio, J., 2004. Efecto de la aplicación de soluciones de cloruro de calcio (CaCl₂) sobre la vida de almacenamiento y calidad del fruto de mango (*Mangifera Indica* L) variedad Van Dyke.. *Congreso Internacional de Ciencia y Tecnología de los Alimentos*.

Verdini, R., Zorrilla, S. & Rubiolo, A., 2004. Efecto de la temperatura y de la concentración de la solución de inmersión en la incorporación de calcio en frutillas. *Congreso Internacional de Ciencia y Tecnología de los Alimentos*.

Vial, C., Guilbert, S. & Cuq, J. L., 1991. Osmotic dehydration of kiwi fruits: influence of process variables on the colour and ascorbic acid content. *Sciences des aliments*, Volumen 11, pp. 63-84.

Wall, M. M., 2006. Ascorbic acid, vitamin A, and mineral composition of banana (*Musa* sp.) and papaya (*Carica papaya*) cultivars grown in Hawaii. *Journal of Food Composition and Analysis*, Volumen 19, p. 434–445.

Willats, W. G., Knox, J. P. & Mikkelsen, J. D., 2006. Pectin: new insights into an old polymer are starting to gel. *Trends in Food Science and Technology*, Volumen 17, pp. 97-104.

ANEXOS

Anexo 1. Valores de los ejes L*, a* y b* de CC para las seis etapas.

L*					
ET 1	ET 2	ET 3	ET 4	ET 5	ET 6
40.98	45.37	53.14	59.05	58.39	54.67
39.25	45.22	51.81	57.76	55.26	60.24
38.52	39.53	56.21	54.43	57.55	55.20
40.08	43.58	48.43	57.48	61.50	59.81
37.78	48.17	59.46	53.38	59.05	50.01
44.65	44.28	46.34	57.24	59.69	55.42
41.61	37.57	48.47	57.03	65.26	50.99
42.89	45.63	50.50	51.29	60.89	48.55
36.14	44.84	51.29	58.38	64.53	50.81
36.27	42.59	53.65	60.88	65.84	50.18
38.79	47.15	52.71	55.54	62.75	55.57
40.03	44.80	55.92	58.86	62.87	58.09
44.62	48.34	57.78	54.38	58.30	56.24
37.86	49.93	55.16	61.75	58.24	53.08
38.37	51.20	49.43	63.00	59.67	54.93
45.55	53.55	57.62	57.04	61.81	54.80
40.52	50.71	53.10	57.80	55.97	49.58
41.86	50.56	54.26	65.12	60.00	56.90
45.98	56.28	48.82	58.12	59.98	53.82
38.61	52.58	54.45	59.79	57.57	51.65
38.66	48.27	54.12	60.15	57.42	53.59
40.58	53.81	60.27	57.06	58.03	51.25
40.92	51.53	55.54	59.56	55.36	52.17
46.90	51.14	58.43	55.12	58.62	54.70
39.72	51.65	57.97	63.28	57.25	56.75
40.35	46.43	60.79	58.89	58.51	45.64
42.13	48.56	57.06	59.69	57.71	56.04

a*					
ET 1	ET 2	ET 3	ET 4	ET 5	ET 6
-9.56	-1.05	0	13.41	27.2	25.65
-10.54	-5.57	2.07	7.55	29.74	24.59
-8.68	-6.93	10.4	10.79	27.29	30.43
-6.33	-4.61	-3.28	11.6	20.05	22.35
-6.8	-3.77	7.67	10.26	19.22	27.64
-7.81	-4.45	-3.42	12.48	24.62	24.73
-9.76	-5.83	-2.45	15.37	18.9	33.83
-11.14	-2.66	-0.68	17.61	21.26	36.95
-10.54	-5.58	-3.94	20.48	19.13	35.06
-8.93	-5.37	-0.38	14.58	19.42	33.4
-9.63	-5.48	-1.35	14.28	12.34	27.44
-9.16	-5.66	-1.28	9.15	12.13	27.23
-9.54	-4.91	-1.42	14.15	13.4	26.12
-9.08	-3.88	-0.71	10.93	21.34	28.9
-8.83	-4.27	-5.66	7.85	17.76	29.24
-8.03	-3.81	-1.74	9.57	20.64	30.64
-8.12	-3.17	-1.7	21.6	25.39	29.85
-7.97	-4.23	-0.39	6.02	20.42	26.89
-9.29	-4.94	0.91	7.28	22.93	31.28
-9.36	-4.14	6.06	10.32	21.25	30.64
-8.76	-7.84	-0.18	11.1	12.96	27.35
-8.05	-3.7	-6.98	24.64	22.85	27.99
-7.11	-5.07	3.79	11.02	26.13	28.08
-6.22	-3.01	-2.08	22.09	16.85	27.58
-8.17	-7.71	-4.03	7.79	19.83	27.58
-8.05	-6.71	4.73	12.57	26.81	24.89
-8.18	-6.27	8.72	17.94	26.9	24.08

b*					
ET 1	ET 2	ET 3	ET 4	ET 5	ET 6
25.13	32.39	43.32	55.63	56.89	50.13
27	28.28	40.12	54.25	54.37	52.17
17.66	23.3	45.35	51.4	55.63	44.54
19.02	27.5	37.49	59.87	58.92	53.67
21.03	37.15	52.01	51.69	55.38	42.57
18.22	27.76	36.89	54.61	58.38	52.17
20.48	25.18	39.16	57.03	64.5	49.72
37.87	35.09	41.62	51.29	58.28	42.15
25.8	27.58	38.23	53.36	57.23	41.67
18.69	19.99	43.69	49.82	52.16	43.13
21.37	31.12	42.59	44.54	57.17	52.06
21.19	26.22	43.04	50.24	59.35	51.61
33.73	34.13	46.78	42.86	51.59	51.59
25.7	36.11	43.12	54.29	55.35	55.35
21.41	38.21	39.97	53.86	54.83	54.83
33.3	37.39	45.38	46.78	51.61	51.61
25.51	38.35	42.87	52.12	54.06	54.06
27.7	37.11	43.35	56.31	53.35	53.35
33.13	41.1	45.04	44.48	49.72	49.72
26.77	41.66	48.63	48.66	47.58	47.58
25.42	36.22	43.71	46.86	48.99	48.99
24.36	44.05	35.74	44.19	51.72	51.72
28.65	39.6	48.28	48.11	50.02	50.02
32.57	41.8	43.1	41.23	49.84	49.84
24.51	38	44.93	54.37	51.36	46.47
27.32	34.43	50.61	48.99	51.81	42.6
27.39	37.96	46.55	50.39	46.94	39.59

Anexo 2. Valores cromas y ángulo de matiz calculados a partir de los ejes a* y b* de madurez.

ET 1		ET 2		ET 3		ET 4		ET 5		ET 6	
Croma	°H	Croma	°H	Croma	°H	Croma	°H	Croma	°H	Croma	°H
26.89	110.83	32.41	91.86	43.33	88.68	57.22	76.45	63.06	64.45	56.31	62.90
28.98	111.32	28.82	101.14	40.17	87.05	54.77	82.08	61.97	61.32	57.67	64.76
19.68	116.17	24.31	106.56	46.53	77.08	52.52	78.14	61.96	63.87	53.94	55.66
20.05	108.41	27.88	99.52	37.63	95.00	60.98	79.03	62.24	71.21	58.14	67.39
22.10	107.92	37.34	84.21	52.57	81.61	52.70	78.77	58.62	70.86	50.76	57.00
19.82	113.20	28.11	99.11	37.05	95.30	56.02	77.13	63.36	67.13	57.73	64.64
22.69	115.48	25.85	103.04	39.24	93.58	59.06	74.92	67.21	73.67	60.14	55.77
39.47	106.39	35.19	94.34	41.63	90.94	54.23	71.05	62.04	69.96	56.05	48.76
27.87	112.22	28.14	101.44	38.43	95.88	57.16	69.00	60.34	71.52	54.46	49.92
20.71	115.54	20.70	105.04	43.69	90.50	51.91	73.69	55.66	69.58	54.55	52.25
23.44	114.26	31.60	99.99	42.61	91.82	46.77	72.22	58.49	77.82	58.85	62.21
23.09	113.38	26.82	102.18	43.06	91.70	51.07	79.68	60.58	78.45	58.35	62.18
35.05	105.79	34.48	98.19	46.80	91.74	45.14	71.73	53.30	75.44	57.83	63.15
27.26	109.46	36.32	96.13	43.13	90.94	55.38	78.62	59.32	68.92	62.44	62.43
23.16	112.41	38.45	96.38	40.37	98.06	54.43	81.71	57.63	72.05	62.14	61.93
34.25	103.56	37.58	95.82	45.41	92.20	47.75	78.44	55.58	68.20	60.02	59.30
26.77	107.66	38.48	94.73	42.90	92.27	56.42	67.49	59.73	64.84	61.75	61.09
28.82	106.05	37.35	96.50	43.35	90.52	56.63	83.90	57.12	69.06	59.74	63.25
34.41	105.66	41.40	96.85	45.05	88.84	45.07	80.70	54.75	65.24	58.74	57.83
28.36	109.27	41.87	95.68	49.01	82.90	49.74	78.03	52.11	65.93	56.59	57.22
26.89	109.01	37.06	102.21	43.71	90.24	48.16	76.67	50.68	75.18	56.11	60.83
25.66	108.29	44.21	94.80	36.42	101.05	50.60	60.86	56.54	66.16	58.81	61.58
29.52	103.94	39.92	97.30	48.43	85.51	49.36	77.10	56.43	62.42	57.36	60.69
33.16	100.81	41.91	94.12	43.15	92.76	46.77	61.82	52.61	71.32	56.96	61.04
25.84	108.43	38.77	101.47	45.11	95.13	54.93	81.85	55.06	68.89	54.04	59.31
28.48	106.42	35.08	101.03	50.83	84.66	50.58	75.61	58.34	62.64	49.34	59.70
28.59	106.63	38.47	99.38	47.36	79.39	53.49	70.40	54.10	60.18	46.34	58.69

Anexo 3. Valores de FP para las seis EM.

ET 1			ET 2			ET 3		
Kgf/cm ²	N/cm ²	N	Kgf/cm ²	N/cm ²	N	Kgf/cm ²	N/cm ²	N
9.00	88.26	44.36	3.00	29.42	14.79	2.90	28.44	14.30
8.00	78.45	39.43	3.50	34.32	17.25	3.50	34.32	17.25
7.50	73.55	36.97	5.00	49.03	24.65	2.40	23.54	11.83
7.80	76.49	38.45	4.50	44.13	22.18	2.00	19.61	9.86
13.00	127.49	64.08	4.00	39.23	19.72	3.10	30.40	15.28
12.50	122.58	61.62	3.30	32.36	16.27	2.70	26.48	13.31
12.30	120.62	60.63	3.90	38.25	19.22	2.50	24.52	12.32
13.20	129.45	65.07	3.20	31.38	15.77	2.20	21.57	10.84
13.00	127.49	64.08	5.90	57.86	29.08	2.00	19.61	9.86
9.00	88.26	44.36	7.00	68.65	34.51	2.00	19.61	9.86
9.50	93.16	46.83	3.00	29.42	14.79	2.00	19.61	9.86
12.00	117.68	59.15	3.50	34.32	17.25	2.60	25.50	12.82
9.00	88.26	44.36	3.20	31.38	15.77	2.20	21.57	10.84
10.00	98.07	49.29	4.00	39.23	19.72	2.10	20.59	10.35

ET 4			ET 5			ET 6		
Kgf/cm ²	N/cm ²	N	Kgf/cm ²	N/cm ²	N	Kgf/cm ²	N/cm ²	N
1.50	14.71	7.39	1.10	10.79	5.42	0.80	7.85	3.94
1.60	15.69	7.89	1.20	11.77	5.92	1.20	11.77	5.92
1.40	13.73	6.90	1.10	10.79	5.42	0.60	5.88	2.96
0.80	7.85	3.94	1.40	13.73	6.90	0.70	6.86	3.45
1.20	11.77	5.92	1.20	11.77	5.92	1.00	9.81	4.93
1.10	10.79	5.42	0.80	7.85	3.94	1.00	9.81	4.93
1.00	9.81	4.93	0.60	5.88	2.96	0.60	5.88	2.96
1.50	14.71	7.39	1.10	10.79	5.42	0.60	5.88	2.96
1.40	13.73	6.90	1.00	9.81	4.93	0.80	7.85	3.94
0.80	7.85	3.94	0.80	7.85	3.94	1.00	9.81	4.93
1.20	11.77	5.92	2.70	26.48	13.31	1.00	9.81	4.93
1.50	14.71	7.39	1.20	11.77	5.92	0.60	5.88	2.96
1.00	9.81	4.93	1.40	13.73	6.90	1.10	10.79	5.42
1.30	12.75	6.41	1.00	9.81	4.93	0.80	7.85	3.94

Anexo 4. Valores de FC después de la INCa.

0.5 Ca, 25 C y 1.5 h			0.5 Ca, 25 C y 3 h			0.5 Ca, 25 C y 4.5 h		
Kgf/cm ²	N/cm ²	N	Kgf/cm ²	N/cm ²	N	Kgf/cm ²	N/cm ²	N
0.80	7.85	3.94	1.00	9.81	4.93	1.40	13.73	6.90
0.90	8.83	4.44	1.10	10.79	5.42	1.30	12.75	6.41
0.80	7.85	3.94	1.20	11.77	5.92	1.30	12.75	6.41
0.70	6.86	3.45	1.20	11.77	5.92	1.60	15.69	7.89

1 Ca, 25 C y 1.5 h			1 Ca, 25 C y 3 h			01 Ca, 25 C y 4.5 h		
Kgf/cm ²	N/cm ²	N	Kgf/cm ²	N/cm ²	N	Kgf/cm ²	N/cm ²	N
1.20	11.77	5.92	1.00	9.81	4.93	1.50	14.71	7.39
0.80	7.85	3.94	1.00	9.81	4.93	1.30	12.75	6.41
1.00	9.81	4.93	1.10	10.79	5.42	1.30	12.75	6.41
1.20	11.77	5.92	1.00	9.81	4.93	1.30	12.75	6.41

1.5 Ca, 25 C y 1.5 h			1.5 Ca, 25 C y 3 h			1.5 Ca, 25 C y 4.5 h		
Kgf/cm ²	N/cm ²	N	Kgf/cm ²	N/cm ²	N	Kgf/cm ²	N/cm ²	N
1.30	12.75	6.41	1.50	14.71	7.39	1.70	16.67	8.38
1.50	14.71	7.39	1.40	13.73	6.90	1.80	17.65	8.87
1.50	14.71	7.39	1.60	15.69	7.89	1.80	17.65	8.87
1.20	11.77	5.92	1.50	14.71	7.39	1.70	16.67	8.38

0.5 Ca, 45 C y 1.5 h			0.5 Ca, 45 C y 3 h			0.5 Ca, 45 C y 4.5 h		
Kgf/cm ²	N/cm ²	N	Kgf/cm ²	N/cm ²	N	Kgf/cm ²	N/cm ²	N
1.60	15.69	7.89	2.50	24.52	12.32	2.30	22.56	11.34
1.80	17.65	8.87	1.70	16.67	8.38	2.30	22.56	11.34
1.50	14.71	7.39	2.50	24.52	12.32	2.50	24.52	12.32
1.50	14.71	7.39	2.30	22.56	11.34	2.40	23.54	11.83

1 Ca, 45 C y 1.5 h			1 Ca, 45 C y 3 h			1 Ca, 45 C y 4.5 h		
Kgf/cm ²	N/cm ²	N	Kgf/cm ²	N/cm ²	N	Kgf/cm ²	N/cm ²	N
0.90	8.83	4.44	2.10	20.59	10.35	2.30	22.56	11.34
1.20	11.77	5.92	1.30	12.75	6.41	2.00	19.61	9.86
1.20	11.77	5.92	1.50	14.71	7.39	1.80	17.65	8.87
1.00	9.81	4.93	1.50	14.71	7.39	1.70	16.67	8.38

1.5% Ca, 45 °C y 1.5 h			1.5% Ca, 45 °C y 3 h			1.5% Ca, 45 °C y 4.5 h		
Kgf/cm ²	N/cm ²	N	Kgf/cm ²	N/cm ²	N	Kgf/cm ²	N/cm ²	N
0.90	8.83	4.44	1.40	13.73	6.90	2.00	19.61	9.86
1.30	12.75	6.41	1.00	9.81	4.93	1.90	18.63	9.37
1.00	9.81	4.93	1.00	9.81	4.93	1.90	18.63	9.37
0.90	8.83	4.44	1.10	10.79	5.42	2.10	20.59	10.35

Anexo 5. Valores de TSS (°Brix) en los cubos después de la INCa.

0.5% Ca, 25 °C y 1.5 h	0.5% Ca, 25 °C y 3 h	0.5% Ca, 25 °C y 4.5 h	1% Ca, 25 °C y 1.5 h	1% Ca, 25 °C y 3 h	1% Ca, 25 °C y 4.5 h
8.8	7.9	6.9	8.5	8.0	6.8
8.8	8.0	6.8	8.5	8.0	6.9
8.9	7.9	6.8	8.5	8.0	6.9
8.8	8.0	6.8	8.5	8.0	6.8

1.5% Ca, 25 °C y 1.5 h	1.5% Ca, 25 °C y 3 h	1.5% Ca, 25 °C y 4.5 h	0.5% Ca, 45 °C y 1.5 h	0.5% Ca, 45 °C y 3 h	0.5% Ca, 45 °C y 4.5 h
8.2	7.3	6.1	6.6	5.0	4.2
8.1	7.1	6.2	6.5	5.0	4.2
8.3	7.3	6.1	6.9	5.2	4.3
8.2	7.2	6.0	6.7	5.1	4.1

1% Ca, 45 °C y 1.5 h	1% Ca, 45 °C y 3 h	1% Ca, 45 °C y 4.5 h	1.5% Ca, 45 °C y 1.5 h	1.5% Ca, 45 °C y 3 h	1.5% Ca, 45 °C y 4.5 h
6.8	5.5	4.0	7.2	5.9	4.9
6.7	5.4	3.9	7.4	5.9	4.8
6.9	5.6	4.1	7.2	5.9	4.8
6.8	5.5	4.0	7.3	5.8	4.8

Anexo 6. Valores para el análisis del intercambio de masa obtenidos durante la DO.

Tiempo	30 °C, 30 °Brix				30 °C, 45 °Brix				30 °C, 60 °Brix			
	Wi	Wf	Xbh	Xbs	Wi	Wf	Xbh	Xbs	Wi	Wf	Xbh	Xbs
0	2.0101	0.1601	0.9204	11.56	2.3158	0.1812	0.9218	11.78	2.4617	0.2242	0.9089	9.98
	2.5587	0.2037	0.9204	11.56	2.1809	0.1732	0.9206	11.59	2.3843	0.2220	0.9069	9.74
	2.1506	0.1712	0.9204	11.56	2.0286	0.1587	0.9218	11.78	2.1830	0.1988	0.9089	9.98
	2.0182	0.1648	0.9183	11.25	2.4764	0.1763	0.9288	13.05	2.3378	0.2036	0.9129	10.48
3	2.0929	0.2413	0.8847	7.67	2.2910	0.2637	0.8849	7.69	2.2075	0.3240	0.8532	5.81
	2.1391	0.254	0.8813	7.42	1.9081	0.2309	0.8790	7.26	2.0599	0.3097	0.8497	5.65
	2.0994	0.242	0.8847	7.68	2.1308	0.2453	0.8849	7.69	2.1972	0.3225	0.8532	5.81
	2.19	0.2636	0.8796	7.31	2.2620	0.2581	0.8859	7.76	2.4744	0.3435	0.8612	6.20
9	2.1878	0.2675	0.8777	7.18	2.0871	0.2782	0.8667	6.50	1.7426	0.3027	0.8263	4.76
	2.3335	0.2881	0.8765	7.10	2.1525	0.2992	0.8610	6.19	2.1664	0.3861	0.8218	4.61
	2.2706	0.2819	0.8758	7.05	2.0810	0.2774	0.8667	6.50	2.1154	0.3675	0.8263	4.76
	2.1216	0.2652	0.8750	7.00	2.0820	0.2792	0.8659	6.46	2.1662	0.3695	0.8294	4.86
15	2.5649	0.3457	0.8652	6.42	2.5089	0.3479	0.8613	6.21	1.8391	0.3417	0.8142	4.38
	2.1428	0.2844	0.8673	6.53	2.3486	0.3619	0.8459	5.49	2.2826	0.4328	0.8104	4.27
	2.2054	0.2946	0.8664	6.49	2.0916	0.2900	0.8614	6.21	2.1712	0.4034	0.8142	4.38
	2.1148	0.2838	0.8658	6.45	2.3898	0.3058	0.8720	6.81	2.4400	0.4138	0.8304	4.90
30	2.098	0.2906	0.8615	6.22	2.1885	0.3836	0.8247	4.71	2.2377	0.5021	0.7756	3.46
	2.2369	0.3129	0.8601	6.15	2.2848	0.3961	0.8266	4.77	2.3013	0.5326	0.7686	3.32
	2.0886	0.2892	0.8615	6.22	2.2708	0.3825	0.8316	4.94	2.3784	0.5337	0.7756	3.46
	2.1646	0.2988	0.8620	6.24	2.1004	0.3641	0.8267	4.77	2.2214	0.5050	0.7727	3.40
45	2.2534	0.3417	0.8484	5.59	2.3473	0.4297	0.8169	4.46	2.2507	0.5143	0.7715	3.38
	2.5407	0.3754	0.8522	5.77	2.1883	0.4036	0.8156	4.42	2.2566	0.5244	0.7676	3.30
	2.2146	0.3358	0.8484	5.59	2.2782	0.4171	0.8169	4.46	2.1978	0.5222	0.7624	3.21
	2.1432	0.3332	0.8445	5.43	2.2916	0.4229	0.8155	4.42	2.2218	0.5163	0.7676	3.30
60	2.3184	0.3903	0.8317	4.94	2.1682	0.4395	0.7973	3.93	2.1613	0.5765	0.7333	2.75
	2.3347	0.3901	0.8329	4.98	2.2510	0.4404	0.8044	4.11	2.1886	0.5431	0.7519	3.03
	2.104	0.3542	0.8317	4.94	2.1628	0.4384	0.7973	3.93	2.1498	0.5734	0.7333	2.75
	2.3078	0.3766	0.8368	5.13	2.3910	0.4738	0.8018	4.05	2.0684	0.5558	0.7313	2.72
90	2.582	0.4866	0.8115	4.31	2.2748	0.5181	0.7722	3.39	2.1711	0.5905	0.7280	2.68
	2.1018	0.3785	0.8199	4.55	2.2025	0.4985	0.7737	3.42	2.1217	0.5824	0.7255	2.64
	2.1908	0.4128	0.8116	4.31	2.1198	0.4714	0.7776	3.50	2.3378	0.6358	0.7280	2.68
	2.0348	0.393	0.8069	4.18	2.5858	0.5538	0.7858	3.67	2.3446	0.6330	0.7300	2.70
120	2.6143	0.5367	0.7947	3.87	2.0428	0.4956	0.7574	3.12	2.1291	0.6455	0.6968	2.30
	1.949	0.3977	0.7959	3.90	2.2283	0.5424	0.7566	3.11	2.4695	0.6617	0.7321	2.73
	2.1862	0.4488	0.7947	3.87	2.2240	0.5296	0.7619	3.20	2.4162	0.7325	0.6968	2.30
	2.495	0.4982	0.8003	4.01	2.2764	0.5514	0.7578	3.13	2.2456	0.7013	0.6877	2.20
150	2.9205	0.6157	0.7892	3.74	2.1443	0.5430	0.7468	2.95	2.6977	0.8143	0.6982	2.31
	2.5979	0.5472	0.7894	3.75	2.0046	0.5213	0.7399	2.85	2.3474	0.7034	0.7003	2.34
	2.1226	0.4474	0.7892	3.74	2.1190	0.5516	0.7397	2.84	2.0938	0.6520	0.6886	2.21
	2.253	0.4458	0.8021	4.05	2.1968	0.5690	0.7410	2.86	2.4138	0.7386	0.6940	2.27



Tiempo	50 °C, 30 °Brix				50 °C, 45 °Brix				50 °C, 60 °Brix			
	Wi	Wf	Xbh	Xbs	Wi	Wf	Xbh	Xbs	Wi	Wf	Xbh	Xbs
0	2.3465	0.1836	0.9218	11.78	2.259	0.1644	0.9272	12.74	2.1991	0.1941	0.9117	10.33
	2.5278	0.1939	0.9233	12.04	2.2183	0.1615	0.9272	12.74	2.1373	0.1895	0.9113	10.28
	2.1714	0.1699	0.9218	11.78	2.3402	0.1914	0.9182	11.23	2.1506	0.1878	0.9127	10.45
	2.0264	0.1639	0.9191	11.36	2.086	0.177	0.9151	10.79	2.0182	0.1816	0.9100	10.11
3	2.5037	0.2994	0.8804	7.36	2.0137	0.2531	0.8743	6.96	2.0994	0.3172	0.8489	5.62
	2.4298	0.2963	0.8781	7.20	2.0156	0.2601	0.8710	6.75	2.19	0.314	0.8566	5.97
	2.3456	0.2805	0.8804	7.36	2.1053	0.2783	0.8678	6.56	2.1005	0.3158	0.8497	5.65
	2.4632	0.2937	0.8808	7.39	2.1544	0.2899	0.8654	6.43	2.4099	0.3637	0.8491	5.63
9	2.1746	0.2786	0.8719	6.81	1.9463	0.2569	0.8680	6.58	2.2706	0.4124	0.8184	4.51
	2.3073	0.2926	0.8732	6.89	2.0575	0.3233	0.8429	5.36	2.1216	0.4184	0.8028	4.07
	2.0708	0.2653	0.8719	6.81	2.0338	0.3089	0.8481	5.58	2.0144	0.3784	0.8122	4.32
	2.134	0.2635	0.8765	7.10	2.3564	0.3582	0.8480	5.58	2.161	0.4081	0.8112	4.30
15	2.6927	0.385	0.8570	5.99	1.9784	0.4044	0.7956	3.89	2.5993	0.5534	0.7871	3.70
	2.2964	0.3345	0.8543	5.87	2.19	0.4	0.8174	4.48	2.6313	0.5531	0.7898	3.76
	2.01	0.2874	0.8570	5.99	2.0009	0.3985	0.8008	4.02	2.2054	0.4786	0.7830	3.61
	2.2032	0.3032	0.8624	6.27	2.1496	0.4321	0.7990	3.97	2.1148	0.4518	0.7864	3.68
30	2.1484	0.3686	0.8284	4.83	2.2199	0.4589	0.7933	3.84	2.1368	0.5251	0.7543	3.07
	2.1284	0.3481	0.8364	5.11	2.1039	0.4639	0.7795	3.54	2.0871	0.5299	0.7461	2.94
	2.1976	0.3775	0.8282	4.82	2.0905	0.4519	0.7838	3.63	2.0886	0.5126	0.7546	3.07
	2.349	0.4015	0.8291	4.85	2.0386	0.4371	0.7856	3.66	2.1646	0.5698	0.7368	2.80
45	2.6741	0.4802	0.8204	4.57	2.4021	0.6205	0.7417	2.87	1.93	0.5215	0.7298	2.70
	2.4177	0.4474	0.8149	4.40	1.8112	0.458	0.7471	2.95	2.4448	0.6938	0.7162	2.52
	2.011	0.3611	0.8204	4.57	2.2703	0.5497	0.7579	3.13	2.2146	0.6298	0.7156	2.52
	2.224	0.3871	0.8259	4.75	2.7232	0.6731	0.7528	3.05	2.1432	0.6082	0.7162	2.52
60	2.6248	0.5328	0.7970	3.93	2.0006	0.5257	0.7372	2.81	2.0406	0.6357	0.6885	2.21
	2.1763	0.4301	0.8024	4.06	2.1357	0.5766	0.7300	2.70	2.0258	0.6423	0.6829	2.15
	2.1496	0.4363	0.7970	3.93	2.1363	0.5458	0.7445	2.91	2.104	0.6995	0.6675	2.01
	2.1912	0.4293	0.8041	4.10	2.1501	0.5543	0.7422	2.88	2.3078	0.7317	0.6829	2.15
90	2.5039	0.5371	0.7855	3.66	2.149	0.5983	0.7216	2.59	2.1766	0.7787	0.6422	1.80
	2.2193	0.4845	0.7817	3.58	2.475	0.7201	0.7091	2.44	2.0854	0.7655	0.6329	1.72
	2.3506	0.5042	0.7855	3.66	2.1328	0.6138	0.7122	2.47	2.1908	0.7818	0.6431	1.80
	2.311	0.491	0.7875	3.71	2.3708	0.6896	0.7091	2.44	2.0348	0.7399	0.6364	1.75
120	2.6107	0.6107	0.7661	3.27	2.1709	0.6788	0.6873	2.20	2.1795	0.841	0.6141	1.59
	2.3715	0.5548	0.7661	3.27	2.2869	0.7062	0.6912	2.24	2.2445	0.8687	0.6130	1.58
	2.2946	0.5368	0.7661	3.27	2.2115	0.7152	0.6766	2.09	2.1862	0.8691	0.6025	1.52
	2.4568	0.577	0.7651	3.26	2.1949	0.6971	0.6824	2.15	2.495	0.9883	0.6039	1.52
150	2.8151	0.6872	0.7559	3.10	2.3884	0.7576	0.6828	2.15	2.1973	0.9007	0.5901	1.44
	2.1218	0.5229	0.7536	3.06	2.3001	0.7381	0.6791	2.12	2.4778	1.0378	0.5812	1.39
	2.534	0.6186	0.7559	3.10	2.0954	0.675	0.6779	2.10	2.1226	0.8742	0.5881	1.43
	2.3296	0.5901	0.7467	2.95	2.3644	0.803	0.6604	1.94	2.253	0.9408	0.5824	1.39



Tiempo	70 °C, 30 °Brix				70 °C, 45 °Brix				70 °C, 60 °Brix			
	Wi	Wf	Xbh	Xbs	Wi	Wf	Xbh	Xbs	Wi	Wf	Xbh	Xbs
0	2.831	0.2352	0.9169	11.04	2.831	0.2352	0.9169	11.04	2.1958	0.1549	0.9295	13.18
	2.5119	0.197	0.9216	11.75	2.5119	0.197	0.9216	11.75	2.1955	0.1566	0.9287	13.02
	2.1822	0.1782	0.9183	11.25	2.5352	0.1943	0.9234	12.05	2.0298	0.154	0.9241	12.18
	2.3612	0.1868	0.9209	11.64	2.2828	0.1761	0.9229	11.96	2.1254	0.1698	0.9201	11.52
3	2.216	0.2546	0.8851	7.70	2.5312	0.3523	0.8608	6.18	2.065	0.3216	0.8443	5.42
	2.0816	0.2348	0.8872	7.87	2.4222	0.3426	0.8586	6.07	2.1885	0.3444	0.8426	5.35
	2.9296	0.3376	0.8848	7.68	2.081	0.2992	0.8562	5.96	2.1482	0.3371	0.8431	5.37
	2.2965	0.2836	0.8765	7.10	2.2364	0.3182	0.8577	6.03	2.1218	0.3337	0.8427	5.36
9	2.468	0.3556	0.8559	5.94	2.0781	0.3576	0.8279	4.81	2.0438	0.3718	0.8181	4.50
	2.3376	0.3406	0.8543	5.86	2.2469	0.3892	0.8268	4.77	2.067	0.383	0.8147	4.40
	2.1118	0.2934	0.8611	6.20	2.2402	0.3955	0.8235	4.66	2.1006	0.3882	0.8152	4.41
	2.2895	0.34	0.8515	5.73	2.2526	0.4022	0.8215	4.60	2.0478	0.3794	0.8147	4.40
15	2.729	0.4602	0.8314	4.93	2.4236	0.4612	0.8097	4.25	2.2009	0.5133	0.7668	3.29
	2.422	0.3969	0.8361	5.10	2.6625	0.5113	0.8080	4.21	2.2008	0.5167	0.7652	3.26
	2.174	0.369	0.8303	4.89	2.2708	0.4522	0.8009	4.02	2.1814	0.5083	0.7670	3.29
	2.1752	0.3725	0.8288	4.84	2.1278	0.4286	0.7986	3.96	2.1132	0.4961	0.7652	3.26
30	1.883	0.3483	0.8150	4.41	2.1752	0.4939	0.7729	3.40	2.115	0.5902	0.7209	2.58
	2.003	0.389	0.8058	4.15	2.2862	0.5427	0.7626	3.21	1.9096	0.5428	0.7158	2.52
	2.4312	0.4602	0.8107	4.28	2.554	0.6099	0.7612	3.19	2.1176	0.5909	0.7210	2.58
	2.223	0.4297	0.8067	4.17	2.157	0.522	0.7580	3.13	2.2074	0.6101	0.7236	2.62
45	2.586	0.56	0.7834	3.62	2.0262	0.5525	0.7273	2.67	2.0471	0.6589	0.6781	2.11
	2.1069	0.4339	0.7941	3.86	2.8197	0.7481	0.7347	2.77	2.3506	0.7703	0.6723	2.05
	2.2336	0.4792	0.7855	3.66	2.1064	0.5896	0.7201	2.57	2.1506	0.6972	0.6758	2.08
	2.3708	0.5032	0.7878	3.71	2.2478	0.599	0.7335	2.75	2.0526	0.6726	0.6723	2.05
60	2.1357	0.473	0.7785	3.52	2.1901	0.6194	0.7172	2.54	2.2285	0.8015	0.6403	1.78
	2.3469	0.5303	0.7740	3.43	2.0026	0.6039	0.6984	2.32	2.3847	0.8491	0.6439	1.81
	2.0878	0.5004	0.7603	3.17	2.1526	0.6388	0.7032	2.37	2.268	0.8157	0.6403	1.78
	2.3828	0.5302	0.7775	3.49	2.1966	0.6736	0.6933	2.26	2.298	0.8169	0.6445	1.81
90	2.4599	0.646	0.7374	2.81	1.9162	0.6225	0.6751	2.08	2.0276	0.7948	0.6080	1.55
	2.988	0.756	0.7470	2.95	2.1879	0.7102	0.6754	2.08	2.1162	0.8611	0.5931	1.46
	2.167	0.5591	0.7420	2.88	2.0718	0.703	0.6607	1.95	2.1532	0.8743	0.5940	1.46
	2.106	0.5488	0.7394	2.84	2.099	0.6963	0.6683	2.01	2.0678	0.8665	0.5810	1.39
120	2.039	0.5562	0.7272	2.67	2.542	0.9316	0.6335	1.73	2.0763	0.8759	0.5781	1.37
	2.927	0.8095	0.7234	2.62	2.0712	0.7433	0.6411	1.79	2.0007	0.8717	0.5643	1.30
	2.065	0.5863	0.7161	2.52	2.2244	0.7952	0.6425	1.80	2.4438	1.0585	0.5669	1.31
	2.2774	0.6198	0.7278	2.67	2.4156	0.8569	0.6453	1.82	2.268	0.9881	0.5643	1.30
150	3.226	0.9139	0.7167	2.53	2.258	0.8393	0.6283	1.69	2.3186	1.0928	0.5287	1.12
	2.3116	0.6588	0.7150	2.51	2.1236	0.8057	0.6206	1.64	2.257	1.0618	0.5296	1.13
	2.4658	0.7085	0.7127	2.48	2.7686	1.0513	0.6203	1.63	2.374	1.0604	0.5533	1.24
	2.3348	0.6935	0.7030	2.37	2.2239	0.8542	0.6159	1.60	2.0744	0.9758	0.5296	1.13

Anexo 7. Valores de solidos totales obtenidos antes y después de la DO.

Pretratamientos	Sólidos totales iniciales				Sólidos totales finales			
	Wi	Wf	Xbh	Sólidos Totales	Wi	Wf	Xbh	Sólidos Totales
P1	2.0638	1.4648	0.9232	0.1586	2.0492	1.6909	0.8027	0.4043
	2.3812	1.4784	0.9238	0.1814	2.1570	1.7021	0.8051	0.4205
	2.5015	3.5100	0.9232	0.1922	2.3796	3.8329	0.8027	0.4695
	2.3633	3.5337	0.9238	0.1800	2.3606	3.8191	0.8050	0.4602
P2	2.2038	1.4552	0.9259	0.1632	2.0600	1.7766	0.7645	0.4852
	2.2436	1.4691	0.9250	0.1683	2.1460	1.7901	0.7666	0.5009
	2.2844	1.8822	0.9259	0.1692	2.2674	3.8273	0.7645	0.5340
	2.6921	3.4873	0.9250	0.2020	2.1164	2.1713	0.7666	0.4940
P3	2.0402	1.4634	0.9137	0.1760	2.4160	2.0249	0.7000	0.7247
	2.0258	1.4664	0.9133	0.1756	2.3308	1.9636	0.7091	0.6780
	2.0614	2.2694	0.9137	0.1778	2.2719	2.1153	0.7000	0.6815
	1.9994	2.2662	0.9133	0.1733	2.2658	2.6763	0.7091	0.6591
P4	2.4898	1.4822	0.9241	0.1890	2.1534	1.8187	0.7611	0.5145
	2.3568	1.4628	0.9250	0.1768	2.1894	1.8223	0.7566	0.5329
	2.5861	3.5217	0.9241	0.1963	2.3958	3.9255	0.7611	0.5724
	2.1806	3.5209	0.9250	0.1636	2.2674	3.8794	0.7566	0.5519
P5	2.1790	1.4601	0.9277	0.1575	2.1664	1.9486	0.7024	0.6448
	2.1970	1.4683	0.9264	0.1617	2.4364	2.0539	0.6942	0.7451
	2.3209	3.5231	0.9277	0.1678	2.9055	4.1998	0.7024	0.8648
	2.3184	3.5396	0.9264	0.1706	2.4890	4.1291	0.6942	0.7612
P6	2.2330	1.4664	0.9172	0.1848	2.2252	2.2141	0.5836	0.9265
	2.2166	1.4818	0.9107	0.1980	2.2328	2.2059	0.5839	0.9291
	2.2351	3.5424	0.9172	0.1850	2.1162	4.2359	0.5836	0.8811
	2.0175	3.5495	0.9107	0.1802	2.4778	4.3754	0.5839	1.0311
P7	2.1822	1.4874	0.9183	0.1782	3.2260	2.3585	0.7167	0.9139
	2.3612	1.4822	0.9209	0.1868	2.3116	2.3899	0.7150	0.6588
	2.8310	3.6028	0.9169	0.2352	2.4658	2.0133	0.7127	0.7085
	2.5119	3.5643	0.9216	0.1970	2.3348	1.9923	0.7030	0.6935
P8	2.5352	1.4811	0.9234	0.1943	2.7686	3.3169	0.6203	1.0513
	2.2828	1.4661	0.9229	0.1761	2.2239	3.1078	0.6159	0.8542
	2.8310	3.6028	0.9169	0.2352	2.2580	2.1339	0.6283	0.8393
	2.5119	3.5643	0.9216	0.1970	2.1236	2.1083	0.6206	0.8057
P9	2.4093	1.6619	0.9257	0.1791	2.4120	2.4354	0.5330	1.1264
	2.3778	3.5572	0.9266	0.1746	2.4372	2.4395	0.5327	1.1389
	2.1818	1.4438	0.9257	0.1622	2.3763	2.5840	0.5330	1.1097
	2.0602	1.4459	0.9266	0.1513	2.3307	3.0732	0.5327	1.0891

Anexo 8. Valores de masa obtenidos durante el secado con aire caliente.

SIN TRATAMIENTOS (ST)					Repetición				
Temperatura de secado		70	°C		Temperatura de secado		70	°C	
Velocidad de aire		1.5	m/s		Velocidad de aire		1.5	m/s	
Xbh inicial		0.9051	(ga/ga + gss)		Xbh inicial		0.9051	(ga/ga + gss)	
Peso inicial de la muestra		515.63	g		Peso inicial de la muestra		585.49	g	
Peso seco de la muestra		48.93	g		Peso seco de la muestra		55.56	g	
Xbh final experimental		9.10	%		Xbh final experimental		10.16	%	
Humedad relativa		3 ± 0.5	%		Humedad relativa		3 ± 0.5	%	
Tiempo (min)	Mh (g)	ΔH ₂ O (g)	Xbh (%)	Xbs (ga/gss)	Tiempo (min)	Mh (g)	ΔH ₂ O (g)	Xbh (%)	Xbs (ga/gss)
0	515.15	0	90.50	9.53	0	585.49	0	9.54	90.51
1	510.5	4.65	90.41	9.43	1	580	5.49	9.44	90.42
2	507.5	7.65	90.36	9.37	2	575.5	9.99	9.36	90.35
3	506.5	8.65	90.34	9.35	3	572	13.49	9.29	90.29
4	503	12.15	90.27	9.28	4	567.5	17.99	9.21	90.21
5	497.5	17.65	90.16	9.17	5	560	25.49	9.08	90.08
6	493.5	21.65	90.08	9.09	6	557.5	27.99	9.03	90.03
7	489	26.15	89.99	8.99	7	553.5	31.99	8.96	89.96
8	484	31.15	89.89	8.89	8	548.5	36.99	8.87	89.87
9	481	34.15	89.83	8.83	9	542	43.49	8.75	89.75
10	476	39.15	89.72	8.73	10	537.5	47.99	8.67	89.66
11	472	43.15	89.63	8.65	11	533	52.49	8.59	89.58
12	468	47.15	89.54	8.56	12	528.5	56.99	8.51	89.49
13	464	51.15	89.45	8.48	13	523.5	61.99	8.42	89.39
14	459.5	55.65	89.35	8.39	14	519.5	65.99	8.35	89.30
15	456	59.15	89.27	8.32	15	515.5	69.99	8.28	89.22
16	452	63.15	89.17	8.24	16	510.5	74.99	8.19	89.12
17	448	67.15	89.08	8.16	17	507	78.49	8.12	89.04
18	443.5	71.65	88.97	8.06	18	502.5	82.99	8.04	88.94
19	441	74.15	88.90	8.01	19	497.5	87.99	7.95	88.83
20	436.5	78.65	88.79	7.92	20	494	91.49	7.89	88.75
21	433	82.15	88.70	7.85	21	490	95.49	7.82	88.66
22	430.5	84.65	88.63	7.80	22	486	99.49	7.75	88.57
23	426.5	88.65	88.53	7.72	23	482	103.49	7.67	88.47
24	423.5	91.65	88.45	7.65	24	478	107.49	7.60	88.38
25	420.5	94.65	88.36	7.59	25	475	110.49	7.55	88.30
26	417	98.15	88.27	7.52	26	471	114.49	7.48	88.20
27	413	102.15	88.15	7.44	27	467	118.49	7.40	88.10
28	410	105.15	88.07	7.38	28	463.5	121.99	7.34	88.01
29	406	109.15	87.95	7.30	29	460	125.49	7.28	87.92
30	403	112.15	87.86	7.24	30	456	129.49	7.21	87.82
31	401	114.15	87.80	7.19	31	453	132.49	7.15	87.73
32	397.5	117.65	87.69	7.12	32	449.5	135.99	7.09	87.64
33	394.5	120.65	87.60	7.06	33	446	139.49	7.03	87.54
34	392	123.15	87.52	7.01	34	442.5	142.99	6.96	87.44
35	389	126.15	87.42	6.95	35	439	146.49	6.90	87.34
36	386	129.15	87.32	6.89	36	436	149.49	6.85	87.26
37	382.5	132.65	87.21	6.82	37	432.5	152.99	6.78	87.15
38	380	135.15	87.12	6.77	38	429.5	155.99	6.73	87.06
39	378	137.15	87.05	6.72	39	426.5	158.99	6.68	86.97
40	375	140.15	86.95	6.66	40	423	162.49	6.61	86.86
41	372.5	142.65	86.86	6.61	41	420	165.49	6.56	86.77
42	369.5	145.65	86.76	6.55	42	418.5	166.99	6.53	86.72
43	367	148.15	86.67	6.50	43	414.5	170.99	6.46	86.60
44	364	151.15	86.56	6.44	44	412	173.49	6.42	86.51
45	361.5	153.65	86.46	6.39	45	408.5	176.99	6.35	86.40
46	358.5	156.65	86.35	6.33	46	405.5	179.99	6.30	86.30
47	357	158.15	86.29	6.30	47	402.5	182.99	6.24	86.20



48	354	161.15	86.18	6.23	48	399.5	185.99	6.19	86.09
49	351.5	163.65	86.08	6.18	49	396.5	188.99	6.14	85.99
50	349	166.15	85.98	6.13	50	393.5	191.99	6.08	85.88
51	346	169.15	85.86	6.07	51	391	194.49	6.04	85.79
52	344	171.15	85.78	6.03	52	388.5	196.99	5.99	85.70
53	341.5	173.65	85.67	5.98	53	385.5	199.99	5.94	85.59
54	339	176.15	85.57	5.93	54	382.5	202.99	5.88	85.47
55	336.5	178.65	85.46	5.88	55	379.5	205.99	5.83	85.36
56	334.5	180.65	85.37	5.84	56	377	208.49	5.79	85.26
57	332.5	182.65	85.28	5.79	57	374.5	210.99	5.74	85.16
58	330.5	184.65	85.19	5.75	58	372	213.49	5.70	85.06
59	328.5	186.65	85.10	5.71	59	369	216.49	5.64	84.94
60	325.5	189.65	84.97	5.65	60	366.5	218.99	5.60	84.84
61	323.5	191.65	84.87	5.61	61	364	221.49	5.55	84.74
62	321.5	193.65	84.78	5.57	62	361.5	223.99	5.51	84.63
63	319	196.15	84.66	5.52	63	359	226.49	5.46	84.52
64	316.5	198.65	84.54	5.47	64	356.5	228.99	5.42	84.41
65	315	200.15	84.47	5.44	65	354	231.49	5.37	84.30
66	312.5	202.65	84.34	5.39	66	351.5	233.99	5.33	84.19
67	310	205.15	84.22	5.34	67	349	236.49	5.28	84.08
68	308.5	206.65	84.14	5.30	68	346.5	238.99	5.24	83.96
69	306	209.15	84.01	5.25	69	344	241.49	5.19	83.85
70	304.5	210.65	83.93	5.22	70	341.5	243.99	5.15	83.73
71	302.5	212.65	83.82	5.18	71	339.5	245.99	5.11	83.63
72	300.5	214.65	83.72	5.14	72	336.5	248.99	5.06	83.49
73	298	217.15	83.58	5.09	73	334.5	250.99	5.02	83.39
74	296	219.15	83.47	5.05	74	332	253.49	4.98	83.26
75	294	221.15	83.36	5.01	75	330	255.49	4.94	83.16
76	292	223.15	83.24	4.97	76	327.5	257.99	4.89	83.03
77	290.5	224.65	83.16	4.94	77	325	260.49	4.85	82.90
78	289	226.15	83.07	4.91	78	323	262.49	4.81	82.80
79	287	228.15	82.95	4.87	79	321	264.49	4.78	82.69
80	289	226.15	83.07	4.91	80	318.5	266.99	4.73	82.55
81	286.5	228.65	82.92	4.85	81	316.5	268.99	4.70	82.44
82	279.5	235.65	82.49	4.71	82	314	271.49	4.65	82.30
83	277.5	237.65	82.37	4.67	83	311.5	273.99	4.61	82.16
84	276	239.15	82.27	4.64	84	310	275.49	4.58	82.08
85	274	241.15	82.14	4.60	85	307.5	277.99	4.53	81.93
86	271.5	243.65	81.98	4.55	86	305.5	279.99	4.50	81.81
87	269.5	245.65	81.84	4.51	87	303	282.49	4.45	81.66
88	270	245.15	81.88	4.52	88	301	284.49	4.42	81.54
89	267.5	247.65	81.71	4.47	89	299	286.49	4.38	81.42
90	267	248.15	81.67	4.46	90	297	288.49	4.35	81.29
91	264.5	250.65	81.50	4.41	91	295	290.49	4.31	81.17
92	262	253.15	81.32	4.35	92	293	292.49	4.27	81.04
93	261.5	253.65	81.29	4.34	93	291	294.49	4.24	80.91
94	259.5	255.65	81.14	4.30	94	288.5	296.99	4.19	80.74
95	257	258.15	80.96	4.25	95	287	298.49	4.17	80.64
96	256	259.15	80.89	4.23	96	285	300.49	4.13	80.50
97	254.5	260.65	80.77	4.20	97	283	302.49	4.09	80.37
98	253	262.15	80.66	4.17	98	281	304.49	4.06	80.23
99	249.5	265.65	80.39	4.10	99	279	306.49	4.02	80.08
100	248.5	266.65	80.31	4.08	100	277	308.49	3.99	79.94
101	247	268.15	80.19	4.05	101	275	310.49	3.95	79.80
102	245.5	269.65	80.07	4.02	102	273.5	311.99	3.92	79.68
103	244	271.15	79.95	3.99	103	271	314.49	3.88	79.50
104	241.5	273.65	79.74	3.94	104	269.5	315.99	3.85	79.38
105	240	275.15	79.61	3.90	105	267.5	317.99	3.81	79.23
106	238.5	276.65	79.48	3.87	106	265.5	319.99	3.78	79.07
107	237	278.15	79.35	3.84	107	264	321.49	3.75	78.95
108	235	280.15	79.18	3.80	108	262	323.49	3.72	78.79
109	233.5	281.65	79.04	3.77	109	260.5	324.99	3.69	78.67
110	231.5	283.65	78.86	3.73	110	258.5	326.99	3.65	78.51
111	229.5	285.65	78.68	3.69	111	256.5	328.99	3.62	78.34
112	229	286.15	78.63	3.68	112	255	330.49	3.59	78.21
113	227.5	287.65	78.49	3.65	113	253	332.49	3.55	78.04



114	225.5	289.65	78.30	3.61	114	251	334.49	3.52	77.86
115	224	291.15	78.15	3.58	115	249.5	335.99	3.49	77.73
116	222.5	292.65	78.01	3.55	116	247.5	337.99	3.45	77.55
117	220.5	294.65	77.81	3.51	117	246	339.49	3.43	77.41
118	219	296.15	77.66	3.48	118	244.5	340.99	3.40	77.27
119	217.5	297.65	77.50	3.44	119	242.5	342.99	3.36	77.09
120	216	299.15	77.35	3.41	120	241	344.49	3.34	76.94
121	214	301.15	77.13	3.37	121	239	346.49	3.30	76.75
122	213	302.15	77.03	3.35	122	237.5	347.99	3.27	76.61
123	211.5	303.65	76.86	3.32	123	236	349.49	3.25	76.46
124	210.5	304.65	76.75	3.30	124	234	351.49	3.21	76.26
125	208.5	306.65	76.53	3.26	125	232.5	352.99	3.18	76.10
126	207	308.15	76.36	3.23	126	231	354.49	3.16	75.95
127	205	310.15	76.13	3.19	127	229.5	355.99	3.13	75.79
128	203	312.15	75.89	3.15	128	227.5	357.99	3.09	75.58
129	202.5	312.65	75.84	3.14	129	226	359.49	3.07	75.41
130	200.5	314.65	75.59	3.10	130	224.5	360.99	3.04	75.25
131	199.5	315.65	75.47	3.08	131	224.5	360.99	3.04	75.25
132	196.5	318.65	75.10	3.02	132	222	363.49	3.00	74.97
133	195.5	319.65	74.97	3.00	133	221	364.49	2.98	74.86
134	194	321.15	74.78	2.96	134	219	366.49	2.94	74.63
135	194	321.15	74.78	2.96	135	217	368.49	2.91	74.39
136	190	325.15	74.25	2.88	136	215.5	369.99	2.88	74.22
137	188	327.15	73.97	2.84	137	214	371.49	2.85	74.04
138	187.5	327.65	73.90	2.83	138	213	372.49	2.83	73.91
139	186.5	328.65	73.76	2.81	139	211.5	373.99	2.81	73.73
140	184	331.15	73.41	2.76	140	210	375.49	2.78	73.54
141	183	332.15	73.26	2.74	141	208.5	376.99	2.75	73.35
142	182	333.15	73.11	2.72	142	206.5	378.99	2.72	73.09
143	180.5	334.65	72.89	2.69	143	205.5	379.99	2.70	72.96
144	179.5	335.65	72.74	2.67	144	204	381.49	2.67	72.76
145	178	337.15	72.51	2.64	145	202.5	382.99	2.64	72.56
146	177	338.15	72.35	2.62	146	201	384.49	2.62	72.36
147	175.5	339.65	72.12	2.59	147	199.5	385.99	2.59	72.15
148	174	341.15	71.88	2.56	148	198.5	386.99	2.57	72.01
149	173.5	341.65	71.80	2.55	149	197	388.49	2.55	71.80
150	172.5	342.65	71.63	2.53	150	195.5	389.99	2.52	71.58
151	171.5	343.65	71.47	2.50	151	194	391.49	2.49	71.36
152	170	345.15	71.22	2.47	152	192.5	392.99	2.46	71.14
153	168.5	346.65	70.96	2.44	153	191.5	393.99	2.45	70.99
154	167	348.15	70.70	2.41	154	190	395.49	2.42	70.76
155	166.5	348.65	70.61	2.40	155	188.5	396.99	2.39	70.52
156	165.5	349.65	70.43	2.38	156	187.5	397.99	2.37	70.37
157	164	351.15	70.16	2.35	157	186	399.49	2.35	70.13
158	163.5	351.65	70.07	2.34	158	184.5	400.99	2.32	69.88
159	162.5	352.65	69.89	2.32	159	183	402.49	2.29	69.64
160	161	354.15	69.61	2.29	160	182	403.49	2.28	69.47
161	160	355.15	69.42	2.27	161	180.5	404.99	2.25	69.22
162	158.5	356.65	69.13	2.24	162	179	406.49	2.22	68.96
163	157.5	357.65	68.93	2.22	163	178	407.49	2.20	68.78
164	156.5	358.65	68.73	2.20	164	177	408.49	2.19	68.61
165	155.5	359.65	68.53	2.18	165	175.5	409.99	2.16	68.34
166	154.5	360.65	68.33	2.16	166	174.5	410.99	2.14	68.16
167	153.5	361.65	68.12	2.14	167	173	412.49	2.11	67.88
168	152.5	362.65	67.91	2.12	168	171.5	413.99	2.09	67.60
169	151.5	363.65	67.70	2.10	169	170.5	414.99	2.07	67.41
170	149.5	365.65	67.27	2.06	170	169	416.49	2.04	67.12
171	149	366.15	67.16	2.04	171	168	417.49	2.02	66.93
172	147.5	367.65	66.82	2.01	172	166.5	418.99	2.00	66.63
173	147	368.15	66.71	2.00	173	165.5	419.99	1.98	66.43
174	145.5	369.65	66.37	1.97	174	164	421.49	1.95	66.12
175	144.5	370.65	66.14	1.95	175	163	422.49	1.93	65.91
176	143.5	371.65	65.90	1.93	176	162	423.49	1.92	65.70
177	143	372.15	65.78	1.92	177	161	424.49	1.90	65.49
178	142	373.15	65.54	1.90	178	159.5	425.99	1.87	65.16
179	140.5	374.65	65.17	1.87	179	158.5	426.99	1.85	64.94



180	140	375.15	65.05	1.86	180	157.5	427.99	1.83	64.72
181	138.5	376.65	64.67	1.83	181	156	429.49	1.81	64.38
182	138	377.15	64.54	1.82	182	155	430.49	1.79	64.15
183	137	378.15	64.28	1.80	183	154	431.49	1.77	63.92
184	136	379.15	64.02	1.78	184	153	432.49	1.75	63.68
185	136.5	378.65	64.15	1.79	185	152	433.49	1.74	63.45
186	134	381.15	63.48	1.74	186	151.5	433.99	1.73	63.32
187	133	382.15	63.21	1.72	187	149	436.49	1.68	62.71
188	132	383.15	62.93	1.70	188	148	437.49	1.66	62.46
189	131	384.15	62.65	1.68	189	146.5	438.99	1.64	62.07
190	130.5	384.65	62.50	1.67	190	145.5	439.99	1.62	61.81
191	129.5	385.65	62.21	1.65	191	144.5	440.99	1.60	61.55
192	128.5	386.65	61.92	1.63	192	143.5	441.99	1.58	61.28
193	127.5	387.65	61.62	1.61	193	142	443.49	1.56	60.87
194	126.5	388.65	61.32	1.59	194	141	444.49	1.54	60.59
195	126	389.15	61.16	1.57	195	140.5	444.99	1.53	60.45
196	125.5	389.65	61.01	1.56	196	139	446.49	1.50	60.03
197	124.5	390.65	60.70	1.54	197	138.5	446.99	1.49	59.88
198	123.5	391.65	60.38	1.52	198	137.5	447.99	1.47	59.59
199	123	392.15	60.22	1.51	199	136.5	448.99	1.46	59.29
200	122	393.15	59.89	1.49	200	135.5	449.99	1.44	58.99
201	121	394.15	59.56	1.47	201	134.5	450.99	1.42	58.69
202	120	395.15	59.22	1.45	202	133.5	451.99	1.40	58.38
203	119	396.15	58.88	1.43	203	132.5	452.99	1.38	58.07
204	118	397.15	58.53	1.41	204	131.5	453.99	1.37	57.75
205	117.5	397.65	58.35	1.40	205	131	454.49	1.36	57.59
206	116.5	398.65	58.00	1.38	206	130	455.49	1.34	57.26
207	116	399.15	57.82	1.37	207	129	456.49	1.32	56.93
208	115	400.15	57.45	1.35	208	128	457.49	1.30	56.59
209	114.5	400.65	57.26	1.34	209	127	458.49	1.29	56.25
210	113.5	401.65	56.89	1.32	210	126.5	458.99	1.28	56.08
211	113	402.15	56.70	1.31	211	125.5	459.99	1.26	55.73
212	112.5	402.65	56.50	1.30	212	124.5	460.99	1.24	55.37
213	112.5	402.65	56.50	1.30	213	124	461.49	1.23	55.19
214	111.5	403.65	56.11	1.28	214	123	462.49	1.21	54.83
215	111	404.15	55.92	1.27	215	122	463.49	1.20	54.46
216	110	405.15	55.52	1.25	216	121.5	463.99	1.19	54.27
217	109	406.15	55.11	1.23	217	120.5	464.99	1.17	53.89
218	108.5	406.65	54.90	1.22	218	120	465.49	1.16	53.70
219	107.5	407.65	54.48	1.20	219	118.5	466.99	1.13	53.11
220	107.5	407.65	54.48	1.20	220	118	467.49	1.12	52.91
221	106.5	408.65	54.05	1.18	221	117	468.49	1.11	52.51
222	105.5	409.65	53.62	1.16	222	116.5	468.99	1.10	52.31
223	105	410.15	53.40	1.15	223	115.5	469.99	1.08	51.89
224	104.5	410.65	53.17	1.14	224	115	470.49	1.07	51.68
225	103	412.15	52.49	1.10	225	114	471.49	1.05	51.26
226	103	412.15	52.49	1.10	226	113.5	471.99	1.04	51.05
227	102	413.15	52.03	1.08	227	113	472.49	1.03	50.83
228	101.5	413.65	51.79	1.07	228	112	473.49	1.02	50.39
229	101	414.15	51.55	1.06	229	111	474.49	1.00	49.94
230	100	415.15	51.07	1.04	230	110.5	474.99	0.99	49.72
231	99	416.15	50.57	1.02	231	110	475.49	0.98	49.49
232	98.5	416.65	50.32	1.01	232	109	476.49	0.96	49.02
233	97.5	417.65	49.81	0.99	233	108.5	476.99	0.95	48.79
234	97.5	417.65	49.81	0.99	234	107.5	477.99	0.93	48.31
235	96.5	418.65	49.29	0.97	235	107	478.49	0.93	48.07
236	96	419.15	49.03	0.96	236	106	479.49	0.91	47.58
237	95	420.15	48.49	0.94	237	105.5	479.99	0.90	47.33
238	94	421.15	47.94	0.92	238	105	480.49	0.89	47.08
239	94.5	420.65	48.22	0.93	239	104.5	480.99	0.88	46.83
240	94	421.15	47.94	0.92	240	103.5	481.99	0.86	46.32
241	92.5	422.65	47.10	0.89	241	102.5	482.99	0.84	45.79
242	92.5	422.65	47.10	0.89	242	102	483.49	0.84	45.53
243	93	422.15	47.38	0.90	243	101.5	483.99	0.83	45.26
244	92.5	422.65	47.10	0.89	244	101	484.49	0.82	44.99
245	92	423.15	46.81	0.88	245	100.5	484.99	0.81	44.71



246	91	424.15	46.23	0.86	246	100	485.49	0.80	44.44
247	90.5	424.65	45.93	0.85	247	99	486.49	0.78	43.88
248	89.5	425.65	45.33	0.83	248	98.5	486.99	0.77	43.59
249	89.5	425.65	45.33	0.83	249	98	487.49	0.76	43.30
250	89	426.15	45.02	0.82	250	97.5	487.99	0.75	43.01
251	88	427.15	44.39	0.80	251	97	488.49	0.75	42.72
252	87.5	427.65	44.08	0.79	252	97	488.49	0.75	42.72
253	86.5	428.65	43.43	0.77	253	96	489.49	0.73	42.12
254	87.5	427.65	44.08	0.79	254	95.5	489.99	0.72	41.82
255	86	429.15	43.10	0.76	255	95	490.49	0.71	41.51
256	85.5	429.65	42.77	0.75	256	94	491.49	0.69	40.89
257	85	430.15	42.43	0.74	257	93.5	491.99	0.68	40.57
258	84.5	430.65	42.09	0.73	258	93.5	491.99	0.68	40.57
259	84	431.15	41.75	0.72	259	93	492.49	0.67	40.25
260	83.5	431.65	41.40	0.71	260	92.5	492.99	0.66	39.93
261	83	432.15	41.04	0.70	261	92	493.49	0.66	39.61
262	81.5	433.65	39.96	0.67	262	91	494.49	0.64	38.94
263	82	433.15	40.33	0.68	263	90.5	494.99	0.63	38.60
264	81.5	433.65	39.96	0.67	264	90	495.49	0.62	38.26
265	81.5	433.65	39.96	0.67	265	89.5	495.99	0.61	37.92
266	81.5	433.65	39.96	0.67	266	89.5	495.99	0.61	37.92
267	80.5	434.65	39.21	0.65	267	89	496.49	0.60	37.57
268	79.5	435.65	38.45	0.62	268	88.5	496.99	0.59	37.22
269	79.5	435.65	38.45	0.62	269	88	497.49	0.58	36.86
270	79.5	435.65	38.45	0.62	270	87.5	497.99	0.57	36.50
271	79	436.15	38.06	0.61	271	87	498.49	0.57	36.13
272	78	437.15	37.27	0.59	272	86.5	498.99	0.56	35.77
273	78	437.15	37.27	0.59	273	86	499.49	0.55	35.39
274	77.5	437.65	36.86	0.58	274	85.5	499.99	0.54	35.01
275	77	438.15	36.45	0.57	275	85.5	499.99	0.54	35.01
276	76.5	438.65	36.03	0.56	276	85	500.49	0.53	34.63
277	76.5	438.65	36.03	0.56	277	84.5	500.99	0.52	34.24
278	76	439.15	35.61	0.55	278	84	501.49	0.51	33.85
279	75	440.15	34.76	0.53	279	84	501.49	0.51	33.85
280	74.5	440.65	34.32	0.52	280	83.5	501.99	0.50	33.46
281	74.5	440.65	34.32	0.52	281	82.5	502.99	0.48	32.65
282	74	441.15	33.87	0.51	282	82.5	502.99	0.48	32.65
283	74	441.15	33.87	0.51	283	82	503.49	0.48	32.24
284	74	441.15	33.87	0.51	284	81.5	503.99	0.47	31.82
285	73	442.15	32.97	0.49	285	81.5	503.99	0.47	31.82
286	73	442.15	32.97	0.49	286	81	504.49	0.46	31.40
287	72.5	442.65	32.51	0.48	287	80.5	504.99	0.45	30.98
288	72.5	442.65	32.51	0.48	288	80	505.49	0.44	30.55
289	72	443.15	32.04	0.47	289	79.5	505.99	0.43	30.11
290	72	443.15	32.04	0.47	290	79.5	505.99	0.43	30.11
291	71.5	443.65	31.56	0.46	291	79	506.49	0.42	29.67
292	71.5	443.65	31.56	0.46	292	78.5	506.99	0.41	29.22
293	71	444.15	31.08	0.45	293	78.5	506.99	0.41	29.22
294	71	444.15	31.08	0.45	294	78	507.49	0.40	28.77
295	70	445.15	30.10	0.43	295	78	507.49	0.40	28.77
296	70.5	444.65	30.59	0.44	296	77.5	507.99	0.39	28.31
297	69.5	445.65	29.59	0.42	297	77.5	507.99	0.39	28.31
298	69.5	445.65	29.59	0.42	298	77	508.49	0.39	27.84
299	69	446.15	29.08	0.41	299	76.5	508.99	0.38	27.37
300	68.5	446.65	28.56	0.40	300	76.5	508.99	0.38	27.37
301	68.5	446.65	28.56	0.40	301	76.5	508.99	0.38	27.37
302	69	446.15	29.08	0.41	302	76	509.49	0.37	26.89
303	68	447.15	28.04	0.39	303	75.5	509.99	0.36	26.41
304	67.5	447.65	27.51	0.38	304	75.5	509.99	0.36	26.41
305	68	447.15	28.04	0.39	305	75	510.49	0.35	25.92
306	67.5	447.65	27.51	0.38	306	75	510.49	0.35	25.92
307	67	448.15	26.97	0.37	307	74.5	510.99	0.34	25.42
308	69.5	445.65	29.59	0.42	308	74.5	510.99	0.34	25.42
309	67.5	447.65	27.51	0.38	309	74	511.49	0.33	24.91
310	67.5	447.65	27.51	0.38	310	74	511.49	0.33	24.91
311	67	448.15	26.97	0.37	311	73.5	511.99	0.32	24.40



312	67	448.15	26.97	0.37	312	73.5	511.99	0.32	24.40
313	66	449.15	25.86	0.35	313	73.5	511.99	0.32	24.40
314	67	448.15	26.97	0.37	314	73	512.49	0.31	23.89
315	66.5	448.65	26.42	0.36	315	73	512.49	0.31	23.89
316	65.5	449.65	25.29	0.34	316	72.5	512.99	0.30	23.36
317	65.5	449.65	25.29	0.34	317	72	513.49	0.30	22.83
318	65	450.15	24.72	0.33	318	72	513.49	0.30	22.83
319	65	450.15	24.72	0.33	319	71.5	513.99	0.29	22.29
320	65	450.15	24.72	0.33	320	71.5	513.99	0.29	22.29
321	65	450.15	24.72	0.33	321	71	514.49	0.28	21.74
322	64.5	450.65	24.13	0.32	322	71	514.49	0.28	21.74
323	65	450.15	24.72	0.33	323	71	514.49	0.28	21.74
324	65	450.15	24.72	0.33	324	71	514.49	0.28	21.74
325	64.5	450.65	24.13	0.32	325	70.5	514.99	0.27	21.19
326	64	451.15	23.54	0.31	326	70.5	514.99	0.27	21.19
327	64	451.15	23.54	0.31	327	70.5	514.99	0.27	21.19
328	64	451.15	23.54	0.31	328	70	515.49	0.26	20.62
329	63.5	451.65	22.94	0.30	329	70	515.49	0.26	20.62
330	63.5	451.65	22.94	0.30	330	70	515.49	0.26	20.62
331	63.5	451.65	22.94	0.30	331	70	515.49	0.26	20.62
332	63	452.15	22.33	0.29	332	69.5	515.99	0.25	20.05
333	63.5	451.65	22.94	0.30	333	69.5	515.99	0.25	20.05
334	63	452.15	22.33	0.29	334	69.5	515.99	0.25	20.05
335	63	452.15	22.33	0.29	335	69	516.49	0.24	19.47
336	63	452.15	22.33	0.29	336	69	516.49	0.24	19.47
337	62.5	452.65	21.71	0.28	337	69	516.49	0.24	19.47
338	62.5	452.65	21.71	0.28	338	69	516.49	0.24	19.47
339	62.5	452.65	21.71	0.28	339	68.5	516.99	0.23	18.89
340	62	453.15	21.08	0.27	340	68.5	516.99	0.23	18.89
341	62	453.15	21.08	0.27	341	68.5	516.99	0.23	18.89
342	62	453.15	21.08	0.27	342	68.5	516.99	0.23	18.89
343	62	453.15	21.08	0.27	343	68	517.49	0.22	18.29
344	62	453.15	21.08	0.27	344	68	517.49	0.22	18.29
345	61.5	453.65	20.43	0.26	345	68	517.49	0.22	18.29
346	61.5	453.65	20.43	0.26	346	68	517.49	0.22	18.29
347	61.5	453.65	20.43	0.26	347	68	517.49	0.22	18.29
348	61.5	453.65	20.43	0.26	348	67.5	517.99	0.21	17.68
349	61.5	453.65	20.43	0.26	349	67.5	517.99	0.21	17.68
350	61.5	453.65	20.43	0.26	350	67.5	517.99	0.21	17.68
351	61.5	453.65	20.43	0.26	351	67.5	517.99	0.21	17.68
352	61	454.15	19.78	0.25	352	67.5	517.99	0.21	17.68
353	61	454.15	19.78	0.25	353	67	518.49	0.21	17.07
354	61	454.15	19.78	0.25	354	67	518.49	0.21	17.07
355	61.5	453.65	20.43	0.26	355	67	518.49	0.21	17.07
356	61	454.15	19.78	0.25	356	67	518.49	0.21	17.07
357	61	454.15	19.78	0.25	357	67	518.49	0.21	17.07
358	61	454.15	19.78	0.25	358	67	518.49	0.21	17.07
359	60.5	454.65	19.12	0.24	359	66.5	518.99	0.20	16.45
360	61	454.15	19.78	0.25	360	66.5	518.99	0.20	16.45
361	61	454.15	19.78	0.25	361	66.5	518.99	0.20	16.45
362	61	454.15	19.78	0.25	362	66.5	518.99	0.20	16.45
363	61	454.15	19.78	0.25	363	66.5	518.99	0.20	16.45
364	61	454.15	19.78	0.25	364	66.5	518.99	0.20	16.45
365	61.5	453.65	20.43	0.26	365	66	519.49	0.19	15.81
366	61	454.15	19.78	0.25	366	66	519.49	0.19	15.81
367	61.5	453.65	20.43	0.26	367	66	519.49	0.19	15.81
368	62	453.15	21.08	0.27	368	66	519.49	0.19	15.81
369	61.5	453.65	20.43	0.26	369	66	519.49	0.19	15.81
370	61.5	453.65	20.43	0.26	370	66	519.49	0.19	15.81
371	62	453.15	21.08	0.27	371	66	519.49	0.19	15.81
372	62	453.15	21.08	0.27	372	66	519.49	0.19	15.81
373	61.5	453.65	20.43	0.26	373	65.5	519.99	0.18	15.17
374	62	453.15	21.08	0.27	374	65.5	519.99	0.18	15.17
375	62	453.15	21.08	0.27	375	65.5	519.99	0.18	15.17
376	62	453.15	21.08	0.27	376	65.5	519.99	0.18	15.17
377	62	453.15	21.08	0.27	377	65.5	519.99	0.18	15.17



378	62	453.15	21.08	0.27	378	65	520.49	0.17	14.52
379	62	453.15	21.08	0.27	379	65.5	519.99	0.18	15.17
380	61.5	453.65	20.43	0.26	380	65	520.49	0.17	14.52
381	62	453.15	21.08	0.27	381	65	520.49	0.17	14.52
382	61.5	453.65	20.43	0.26	382	65	520.49	0.17	14.52
383	61	454.15	19.78	0.25	383	65	520.49	0.17	14.52
384	61	454.15	19.78	0.25	384	65	520.49	0.17	14.52
385	61	454.15	19.78	0.25	385	65	520.49	0.17	14.52
386	61.5	453.65	20.43	0.26	386	65	520.49	0.17	14.52
387	61	454.15	19.78	0.25	387	65	520.49	0.17	14.52
388	61	454.15	19.78	0.25	388	65	520.49	0.17	14.52
389	61.5	453.65	20.43	0.26	389	65	520.49	0.17	14.52
390	61.5	453.65	20.43	0.26	390	64.5	520.99	0.16	13.86
391	61.5	453.65	20.43	0.26	391	65	520.49	0.17	14.52
392	61.5	453.65	20.43	0.26	392	65	520.49	0.17	14.52
393	62	453.15	21.08	0.27	393	64.5	520.99	0.16	13.86
394	62	453.15	21.08	0.27	394	64.5	520.99	0.16	13.86
395	62	453.15	21.08	0.27	395	64.5	520.99	0.16	13.86
396	62	453.15	21.08	0.27	396	64.5	520.99	0.16	13.86
397	62	453.15	21.08	0.27	397	64.5	520.99	0.16	13.86
398	61.5	453.65	20.43	0.26	398	64.5	520.99	0.16	13.86
399	61.5	453.65	20.43	0.26	399	64.5	520.99	0.16	13.86
400	61.5	453.65	20.43	0.26	400	64	521.49	0.15	13.18
401	62	453.15	21.08	0.27	401	64.5	520.99	0.16	13.86
402	61.5	453.65	20.43	0.26	402	64	521.49	0.15	13.18
403	62	453.15	21.08	0.27	403	64	521.49	0.15	13.18
404	62	453.15	21.08	0.27	404	64	521.49	0.15	13.18
405	62	453.15	21.08	0.27	405	64	521.49	0.15	13.18
406	61.5	453.65	20.43	0.26	406	64	521.49	0.15	13.18
407	61.5	453.65	20.43	0.26	407	64	521.49	0.15	13.18
408	61	454.15	19.78	0.25	408	64	521.49	0.15	13.18
409	60.5	454.65	19.12	0.24	409	64	521.49	0.15	13.18
410	60.5	454.65	19.12	0.24	410	64	521.49	0.15	13.18
411	61	454.15	19.78	0.25	411	64	521.49	0.15	13.18
412	61.5	453.65	20.43	0.26	412	64	521.49	0.15	13.18
413	61	454.15	19.78	0.25	413	64	521.49	0.15	13.18
414	60.5	454.65	19.12	0.24	414	64	521.49	0.15	13.18
415	60.5	454.65	19.12	0.24	415	64	521.49	0.15	13.18
416	61	454.15	19.78	0.25	416	64	521.49	0.15	13.18
417	61	454.15	19.78	0.25	417	64	521.49	0.15	13.18
418	60.5	454.65	19.12	0.24	418	64	521.49	0.15	13.18
419	62	453.15	21.08	0.27	419	64	521.49	0.15	13.18
420	64.5	450.65	24.13	0.32	420	63.5	521.99	0.14	12.50
421	62.5	452.65	21.71	0.28	421	63.5	521.99	0.14	12.50
422	62	453.15	21.08	0.27	422	64	521.49	0.15	13.18
423	61.5	453.65	20.43	0.26	423	63.5	521.99	0.14	12.50
424	61.5	453.65	20.43	0.26	424	63.5	521.99	0.14	12.50
425	61.5	453.65	20.43	0.26	425	63.5	521.99	0.14	12.50
426	61	454.15	19.78	0.25	426	63.5	521.99	0.14	12.50
427	60.5	454.65	19.12	0.24	427	63.5	521.99	0.14	12.50
428	60	455.15	18.44	0.23	428	63.5	521.99	0.14	12.50
429	60.5	454.65	19.12	0.24	429	63.5	521.99	0.14	12.50
430	60.5	454.65	19.12	0.24	430	63.5	521.99	0.14	12.50
431	60	455.15	18.44	0.23	431	63.5	521.99	0.14	12.50
432	59.5	455.65	17.76	0.22	432	63.5	521.99	0.14	12.50
433	59.5	455.65	17.76	0.22	433	63.5	521.99	0.14	12.50
434	59	456.15	17.06	0.21	434	63.5	521.99	0.14	12.50
435	59	456.15	17.06	0.21	435	63.5	521.99	0.14	12.50
436	59	456.15	17.06	0.21	436	64	521.49	0.15	13.18
437	58.5	456.65	16.35	0.20	437	63	522.49	0.13	11.80
438	58	457.15	15.63	0.19	438	67	518.49	0.21	17.07
439	58	457.15	15.63	0.19	439	64	521.49	0.15	13.18
440	58	457.15	15.63	0.19	440	63.5	521.99	0.14	12.50
441	57.5	457.65	14.90	0.18	441	63.5	521.99	0.14	12.50
442	57.5	457.65	14.90	0.18	442	63.5	521.99	0.14	12.50
443	58	457.15	15.63	0.19	443	63.5	521.99	0.14	12.50



444	58	457.15	15.63	0.19	444	63.5	521.99	0.14	12.50
445	58	457.15	15.63	0.19	445	63.5	521.99	0.14	12.50
446	58	457.15	15.63	0.19	446	63.5	521.99	0.14	12.50
447	57.5	457.65	14.90	0.18	447	63.5	521.99	0.14	12.50
448	58	457.15	15.63	0.19	448	63.5	521.99	0.14	12.50
449	58	457.15	15.63	0.19	449	63.5	521.99	0.14	12.50
450	58	457.15	15.63	0.19	450	63.5	521.99	0.14	12.50
451	57.5	457.65	14.90	0.18	451	63.5	521.99	0.14	12.50
452	57	458.15	14.15	0.16	452	63	522.49	0.13	11.80
453	57.5	457.65	14.90	0.18	453	63.5	521.99	0.14	12.50
454	57.5	457.65	14.90	0.18	454	63	522.49	0.13	11.80
455	57.5	457.65	14.90	0.18	455	63.5	521.99	0.14	12.50
456	57.5	457.65	14.90	0.18	456	63	522.49	0.13	11.80
457	57	458.15	14.15	0.16	457	63	522.49	0.13	11.80
458	57.5	457.65	14.90	0.18	458	63	522.49	0.13	11.80
459	57	458.15	14.15	0.16	459	63	522.49	0.13	11.80
460	57	458.15	14.15	0.16	460	63	522.49	0.13	11.80
461	57	458.15	14.15	0.16	461	63	522.49	0.13	11.80
462	57.5	457.65	14.90	0.18	462	63	522.49	0.13	11.80
463	58	457.15	15.63	0.19	463	63	522.49	0.13	11.80
464	57	458.15	14.15	0.16	464	63	522.49	0.13	11.80
465	56.5	458.65	13.39	0.15	465	63	522.49	0.13	11.80
466	57	458.15	14.15	0.16	466	63	522.49	0.13	11.80
467	57	458.15	14.15	0.16	467	63	522.49	0.13	11.80
468	56.5	458.65	13.39	0.15	468	63	522.49	0.13	11.80
469	56.5	458.65	13.39	0.15	469	63	522.49	0.13	11.80
470	56	459.15	12.62	0.14	470	63	522.49	0.13	11.80
471	57	458.15	14.15	0.16	471	63	522.49	0.13	11.80
472	56.5	458.65	13.39	0.15	472	63	522.49	0.13	11.80
473	56.5	458.65	13.39	0.15	473	63	522.49	0.13	11.80
474	56.5	458.65	13.39	0.15	474	63	522.49	0.13	11.80
475	56.5	458.65	13.39	0.15	475	63	522.49	0.13	11.80
476	56	459.15	12.62	0.14	476	63	522.49	0.13	11.80
477	56.5	458.65	13.39	0.15	477	63	522.49	0.13	11.80
478	56.5	458.65	13.39	0.15	478	62.5	522.99	0.12	11.10
479	56	459.15	12.62	0.14	479	62.5	522.99	0.12	11.10
480	56	459.15	12.62	0.14	480	62.5	522.99	0.12	11.10
481	55.5	459.65	11.83	0.13	481	62.5	522.99	0.12	11.10
482	55.5	459.65	11.83	0.13	482	62.5	522.99	0.12	11.10
483	55.5	459.65	11.83	0.13	483	62.5	522.99	0.12	11.10
484	55	460.15	11.03	0.12	484	62	523.49	0.12	10.38
485	55	460.15	11.03	0.12	485	62	523.49	0.12	10.38
486	55	460.15	11.03	0.12	486	62	523.49	0.12	10.38

CON TRATAMIENTOS (CT)					Repetición				
Temperatura de secado		70	°C		Temperatura de secado		70	°C	
Velocidad del aire		1.5	m/s		Velocidad del aire		1.5	m/s	
Xbh inicial		0.6595	(ga/ga + gss)		Xbh inicial		0.6595	(ga/ga + gss)	
Peso inicial de la muestra		423.13	g		Peso inicial de la muestra		492.08	g	
Peso seco de la muestra		144.08	g		Peso seco de la muestra		167.55	g	
Xbh final experimental		10.66	%		Xbh final experimental		10.66	%	
Humedad relativa		3 ± 0.5	%		Humedad relativa		3 ± 0.5	%	
Tiempo (min)	Mh (g)	ΔH ₂ O (g)	Xbh (%)	Xbs (ga/gss)	Tiempo (min)	Mh (g)	ΔH ₂ O (g)	Xbh (%)	Xbs (ga/gss)
0	423.13	0	65.95	1.94	0	492.08	0	65.95	1.94
1	417	6.13	65.45	1.89	1	489	3.08	65.74	1.92
2	412	11.13	65.03	1.86	2	484.5	7.58	65.42	1.89
3	411	12.13	64.95	1.85	3	479.5	12.58	65.06	1.86
4	405.5	17.63	64.47	1.81	4	474.5	17.58	64.69	1.83
5	401.5	21.63	64.12	1.79	5	470.5	21.58	64.39	1.81
6	398.5	24.63	63.85	1.77	6	466	26.08	64.04	1.78
7	395	28.13	63.53	1.74	7	463.5	28.58	63.85	1.77
8	391.5	31.63	63.20	1.72	8	459.5	32.58	63.54	1.74
9	387.5	35.63	62.82	1.69	9	455.5	36.58	63.22	1.72
10	384.5	38.63	62.53	1.67	10	451	41.08	62.85	1.69
11	382	41.13	62.28	1.65	11	448	44.08	62.60	1.67
12	379	44.13	61.99	1.63	12	444.5	47.58	62.31	1.65
13	376	47.13	61.68	1.61	13	441.5	50.58	62.05	1.63
14	372.5	50.63	61.32	1.59	14	438	54.08	61.75	1.61
15	370	53.13	61.06	1.57	15	435	57.08	61.48	1.60
16	366.5	56.63	60.69	1.54	16	432.5	59.58	61.26	1.58
17	365	58.13	60.53	1.53	17	429.5	62.58	60.99	1.56
18	362	61.13	60.20	1.51	18	426	66.08	60.67	1.54
19	359	64.13	59.87	1.49	19	423	69.08	60.39	1.52
20	356.5	66.63	59.59	1.47	20	421.5	70.58	60.25	1.52
21	353.5	69.63	59.24	1.45	21	419	73.08	60.01	1.50
22	352.5	70.63	59.13	1.45	22	417.5	74.58	59.87	1.49
23	349.5	73.63	58.78	1.43	23	412.5	79.58	59.38	1.46
24	347.5	75.63	58.54	1.41	24	410.5	81.58	59.18	1.45
25	346	77.13	58.36	1.40	25	407	85.08	58.83	1.43
26	342.5	80.63	57.93	1.38	26	405.5	86.58	58.68	1.42
27	340.5	82.63	57.69	1.36	27	403	89.08	58.42	1.41
28	338.5	84.63	57.44	1.35	28	400.5	91.58	58.16	1.39
29	337	86.13	57.25	1.34	29	397.5	94.58	57.85	1.37
30	334.5	88.63	56.93	1.32	30	395.5	96.58	57.64	1.36
31	332.5	90.63	56.67	1.31	31	393	99.08	57.37	1.35
32	332	91.13	56.60	1.30	32	391.5	100.58	57.20	1.34
33	329.5	93.63	56.27	1.29	33	393.5	98.58	57.42	1.35
34	327.5	95.63	56.01	1.27	34	386	106.08	56.59	1.30
35	326	97.13	55.80	1.26	35	384.5	107.58	56.42	1.29
36	324	99.13	55.53	1.25	36	383	109.08	56.25	1.29
37	322	101.13	55.26	1.23	37	381	111.08	56.02	1.27
38	320	103.13	54.98	1.22	38	378	114.08	55.67	1.26
39	318.5	104.63	54.76	1.21	39	377	115.08	55.56	1.25
40	316.5	106.63	54.48	1.20	40	374	118.08	55.20	1.23
41	315	108.13	54.26	1.19	41	372.5	119.58	55.02	1.22
42	313.5	109.63	54.04	1.18	42	370	122.08	54.72	1.21
43	312	111.13	53.82	1.17	43	368.5	123.58	54.53	1.20
44	310	113.13	53.52	1.15	44	366	126.08	54.22	1.18
45	308.5	114.63	53.30	1.14	45	364.5	127.58	54.03	1.18
46	306.5	116.63	52.99	1.13	46	363	129.08	53.84	1.17
47	304	119.13	52.61	1.11	47	361.5	130.58	53.65	1.16
48	303	120.13	52.45	1.10	48	360	132.08	53.46	1.15
49	301.5	121.63	52.21	1.09	49	357	135.08	53.07	1.13
50	299.5	123.63	51.89	1.08	50	355.5	136.58	52.87	1.12



51	298.5	124.63	51.73	1.07	51	353.5	138.58	52.60	1.11
52	296.5	126.63	51.41	1.06	52	352.0	140.08	52.40	1.10
53	295	128.13	51.16	1.05	53	351.0	141.08	52.26	1.09
54	294	129.13	50.99	1.04	54	349.5	142.58	52.06	1.09
55	292.5	130.63	50.74	1.03	55	348.0	144.08	51.85	1.08
56	291	132.13	50.49	1.02	56	346.0	146.08	51.57	1.07
57	289.5	133.63	50.23	1.01	57	345.0	147.08	51.43	1.06
58	288	135.13	49.97	1.00	58	343.0	149.08	51.15	1.05
59	286.5	136.63	49.71	0.99	59	341.5	150.58	50.94	1.04
60	285	138.13	49.45	0.98	60	340.5	151.58	50.79	1.03
61	284	139.13	49.27	0.97	61	339.0	153.08	50.57	1.02
62	282.5	140.63	49.00	0.96	62	337.5	154.58	50.35	1.01
63	281	142.13	48.73	0.95	63	336.0	156.08	50.13	1.01
64	279.5	143.63	48.45	0.94	64	335.5	156.58	50.06	1.00
65	278.5	144.63	48.27	0.93	65	333.0	159.08	49.68	0.99
66	277	146.13	47.99	0.92	66	332.0	160.08	49.53	0.98
67	275.5	147.63	47.70	0.91	67	330.5	161.58	49.30	0.97
68	274.5	148.63	47.51	0.91	68	327.5	164.58	48.84	0.95
69	273	150.13	47.22	0.89	69	323.5	168.58	48.21	0.93
70	272	151.13	47.03	0.89	70	323.0	169.08	48.13	0.93
71	270.5	152.63	46.74	0.88	71	321.0	171.08	47.80	0.92
72	269.5	153.63	46.54	0.87	72	320.0	172.08	47.64	0.91
73	268	155.13	46.24	0.86	73	318.5	173.58	47.39	0.90
74	267	156.13	46.04	0.85	74	317.5	174.58	47.23	0.89
75	266	157.13	45.84	0.85	75	316.0	176.08	46.98	0.89
76	264.5	158.63	45.53	0.84	76	315.0	177.08	46.81	0.88
77	263.5	159.63	45.32	0.83	77	313.0	179.08	46.47	0.87
78	262.5	160.63	45.11	0.82	78	312.5	179.58	46.38	0.87
79	261.5	161.63	44.90	0.82	79	311.0	181.08	46.12	0.86
80	260	163.13	44.59	0.80	80	309.5	182.58	45.86	0.85
81	259	164.13	44.37	0.80	81	308.0	184.08	45.60	0.84
82	258	165.13	44.16	0.79	82	307.5	184.58	45.51	0.84
83	257	166.13	43.94	0.78	83	306.0	186.08	45.24	0.83
84	256	167.13	43.72	0.78	84	305.5	186.58	45.15	0.82
85	254.5	168.63	43.39	0.77	85	304.0	188.08	44.88	0.81
86	253.5	169.63	43.17	0.76	86	303.0	189.08	44.70	0.81
87	252.5	170.63	42.94	0.75	87	301.5	190.58	44.43	0.80
88	251	172.13	42.60	0.74	88	300.5	191.58	44.24	0.79
89	250.5	172.63	42.48	0.74	89	299.5	192.58	44.06	0.79
90	249.5	173.63	42.25	0.73	90	298.5	193.58	43.87	0.78
91	247.5	175.63	41.79	0.72	91	297.0	195.08	43.58	0.77
92	247	176.13	41.67	0.71	92	295.5	196.58	43.30	0.76
93	246	177.13	41.43	0.71	93	295.0	197.08	43.20	0.76
94	244.5	178.63	41.07	0.70	94	294.5	197.58	43.11	0.76
95	244	179.13	40.95	0.69	95	293.5	198.58	42.91	0.75
96	243	180.13	40.71	0.69	96	292.0	200.08	42.62	0.74
97	242	181.13	40.46	0.68	97	290.5	201.58	42.32	0.73
98	241.5	181.63	40.34	0.68	98	289.5	202.58	42.12	0.73
99	241	182.13	40.22	0.67	99	289.0	203.08	42.02	0.72
100	239.5	183.63	39.84	0.66	100	287.5	204.58	41.72	0.72
101	239	184.13	39.72	0.66	101	287.0	205.08	41.62	0.71
102	238	185.13	39.46	0.65	102	285.5	206.58	41.31	0.70
103	237	186.13	39.21	0.64	103	285.0	207.08	41.21	0.70
104	236	187.13	38.95	0.64	104	284.0	208.08	41.00	0.69
105	235	188.13	38.69	0.63	105	283.0	209.08	40.79	0.69
106	234.5	188.63	38.56	0.63	106	282.0	210.08	40.58	0.68
107	233	190.13	38.16	0.62	107	281.0	211.08	40.37	0.68
108	232.5	190.63	38.03	0.61	108	280.0	212.08	40.16	0.67
109	232	191.13	37.90	0.61	109	279.5	212.58	40.05	0.67
110	231	192.13	37.63	0.60	110	278.5	213.58	39.84	0.66
111	229.5	193.63	37.22	0.59	111	277.5	214.58	39.62	0.66
112	229	194.13	37.08	0.59	112	276.0	216.08	39.29	0.65
113	233	190.13	38.16	0.62	113	275.5	216.58	39.18	0.64
114	231.5	191.63	37.76	0.61	114	274.0	218.08	38.85	0.64
115	230.5	192.63	37.49	0.60	115	273.0	219.08	38.63	0.63
116	229	194.13	37.08	0.59	116	272.5	219.58	38.51	0.63



117	228.5	194.63	36.95	0.59	117	272.0	220.08	38.40	0.62
118	228	195.13	36.81	0.58	118	271.0	221.08	38.17	0.62
119	225.5	197.63	36.11	0.57	119	270.5	221.58	38.06	0.61
120	225	198.13	35.97	0.56	120	269.5	222.58	37.83	0.61
121	224	199.13	35.68	0.55	121	268.0	224.08	37.48	0.60
122	223	200.13	35.39	0.55	122	268.0	224.08	37.48	0.60
123	222.5	200.63	35.25	0.54	123	267.0	225.08	37.25	0.59
124	221	202.13	34.81	0.53	124	266.0	226.08	37.01	0.59
125	220.5	202.63	34.66	0.53	125	265.5	226.58	36.89	0.58
126	219.5	203.63	34.36	0.52	126	264.0	228.08	36.53	0.58
127	218.5	204.63	34.06	0.52	127	263.5	228.58	36.41	0.57
128	217.5	205.63	33.76	0.51	128	263.0	229.08	36.29	0.57
129	217.5	205.63	33.76	0.51	129	262.0	230.08	36.05	0.56
130	216	207.13	33.30	0.50	130	262.0	230.08	36.05	0.56
131	215.5	207.63	33.14	0.50	131	262.0	230.08	36.05	0.56
132	214.5	208.63	32.83	0.49	132	261.0	231.08	35.80	0.56
133	214	209.13	32.67	0.49	133	260.5	231.58	35.68	0.55
134	213.5	209.63	32.52	0.48	134	260.0	232.08	35.56	0.55
135	213	210.13	32.36	0.48	135	259.0	233.08	35.31	0.55
136	211.5	211.63	31.88	0.47	136	258.5	233.58	35.18	0.54
137	211	212.13	31.72	0.46	137	258.0	234.08	35.06	0.54
138	210.5	212.63	31.56	0.46	138	257.5	234.58	34.93	0.54
139	209.5	213.63	31.23	0.45	139	257.5	234.58	34.93	0.54
140	209	214.13	31.06	0.45	140	257.0	235.08	34.80	0.53
141	208	215.13	30.73	0.44	141	256.5	235.58	34.68	0.53
142	207.5	215.63	30.57	0.44	142	256.5	235.58	34.68	0.53
143	207	216.13	30.40	0.44	143	256.0	236.08	34.55	0.53
144	206.5	216.63	30.23	0.43	144	255.5	236.58	34.42	0.52
145	205.5	217.63	29.89	0.43	145	255.5	236.58	34.42	0.52
146	205	218.13	29.72	0.42	146	255.5	236.58	34.42	0.52
147	204	219.13	29.37	0.42	147	255	237.08	34.29	0.52
148	203.5	219.63	29.20	0.41	148	254.5	237.58	34.16	0.52
149	203	220.13	29.03	0.41	149	255	237.08	34.29	0.52
150	202.5	220.63	28.85	0.41	150	254.5	237.58	34.16	0.52
151	201.5	221.63	28.50	0.40	151	254.5	237.58	34.16	0.52
152	201	222.13	28.32	0.40	152	254	238.08	34.03	0.52
153	200.5	222.63	28.14	0.39	153	253.5	238.58	33.90	0.51
154	199.5	223.63	27.78	0.38	154	253.5	238.58	33.90	0.51
155	199.5	223.63	27.78	0.38	155	253	239.08	33.77	0.51
156	200.5	222.63	28.14	0.39	156	253.5	238.58	33.90	0.51
157	200.5	222.63	28.14	0.39	157	253	239.08	33.77	0.51
158	199.5	223.63	27.78	0.38	158	252.5	239.58	33.64	0.51
159	198.5	224.63	27.42	0.38	159	252	240.08	33.51	0.50
160	198	225.13	27.23	0.37	160	252	240.08	33.51	0.50
161	198	225.13	27.23	0.37	161	250.5	241.58	33.11	0.50
162	197.5	225.63	27.05	0.37	162	247.5	244.58	32.30	0.48
163	197	226.13	26.87	0.37	163	248.5	243.58	32.57	0.48
164	196.5	226.63	26.68	0.36	164	247	245.08	32.16	0.47
165	195.5	227.63	26.30	0.36	165	247.5	244.58	32.30	0.48
166	195.5	227.63	26.30	0.36	166	246	246.08	31.89	0.47
167	194.5	228.63	25.93	0.35	167	244.5	247.58	31.47	0.46
168	194.5	228.63	25.93	0.35	168	243	249.08	31.05	0.45
169	192.5	230.63	25.16	0.34	169	244	248.08	31.33	0.46
170	193.5	229.63	25.54	0.34	170	241.5	250.58	30.62	0.44
171	193	230.13	25.35	0.34	171	241	251.08	30.48	0.44
172	194.5	228.63	25.93	0.35	172	240.5	251.58	30.33	0.44
173	194.5	228.63	25.93	0.35	173	241	251.08	30.48	0.44
174	192.5	230.63	25.16	0.34	174	239	253.08	29.89	0.43
175	191.5	231.63	24.76	0.33	175	238	254.08	29.60	0.42
176	192.5	230.63	25.16	0.34	176	237.5	254.58	29.45	0.42
177	192	231.13	24.96	0.33	177	236	256.08	29.00	0.41
178	192	231.13	24.96	0.33	178	235.5	256.58	28.85	0.41
179	192	231.13	24.96	0.33	179	235.5	256.58	28.85	0.41
180	192	231.13	24.96	0.33	180	234	258.08	28.40	0.40
181	191.5	231.63	24.76	0.33	181	233	259.08	28.09	0.39
182	190.5	232.63	24.37	0.32	182	231.5	260.58	27.62	0.38



183	190.5	232.63	24.37	0.32	183	232.5	259.58	27.93	0.39
184	190.5	232.63	24.37	0.32	184	234.5	257.58	28.55	0.40
185	190	233.13	24.17	0.32	185	232.5	259.58	27.93	0.39
186	189.5	233.63	23.97	0.32	186	233.5	258.58	28.24	0.39
187	189.5	233.63	23.97	0.32	187	230	262.08	27.15	0.37
188	188	235.13	23.36	0.30	188	230.5	261.58	27.31	0.38
189	187.5	235.63	23.16	0.30	189	228	264.08	26.51	0.36
190	187.5	235.63	23.16	0.30	190	227	265.08	26.19	0.35
191	187	236.13	22.95	0.30	191	225.5	266.58	25.70	0.35
192	187	236.13	22.95	0.30	192	226.5	265.58	26.03	0.35
193	186	237.13	22.54	0.29	193	226	266.08	25.86	0.35
194	185.5	237.63	22.33	0.29	194	224.5	267.58	25.37	0.34
195	185	238.13	22.12	0.28	195	225	267.08	25.53	0.34
196	185	238.13	22.12	0.28	196	223	269.08	24.86	0.33
197	183.5	239.63	21.48	0.27	197	222.5	269.58	24.70	0.33
198	184	239.13	21.70	0.28	198	222	270.08	24.53	0.32
199	183.5	239.63	21.48	0.27	199	220.5	271.58	24.01	0.32
200	183.5	239.63	21.48	0.27	200	219.5	272.58	23.67	0.31
201	183	240.13	21.27	0.27	201	221	271.08	24.18	0.32
202	182.5	240.63	21.05	0.27	202	220.5	271.58	24.01	0.32
203	182.5	240.63	21.05	0.27	203	220.5	271.58	24.01	0.32
204	181.5	241.63	20.62	0.26	204	219	273.08	23.49	0.31
205	182.5	240.63	21.05	0.27	205	218.5	273.58	23.32	0.30
206	181	242.13	20.40	0.26	206	218	274.08	23.14	0.30
207	180.5	242.63	20.18	0.25	207	218	274.08	23.14	0.30
208	180.5	242.63	20.18	0.25	208	216.5	275.58	22.61	0.29
209	179.5	243.63	19.73	0.25	209	216.5	275.58	22.61	0.29
210	179.5	243.63	19.73	0.25	210	215.5	276.58	22.25	0.29
211	179	244.13	19.51	0.24	211	215	277.08	22.07	0.28
212	178.5	244.63	19.29	0.24	212	214.5	277.58	21.89	0.28
213	178	245.13	19.06	0.24	213	214.5	277.58	21.89	0.28
214	178	245.13	19.06	0.24	214	214	278.08	21.70	0.28
215	177.5	245.63	18.83	0.23	215	212.5	279.58	21.15	0.27
216	177	246.13	18.60	0.23	216	213	279.08	21.34	0.27
217	177	246.13	18.60	0.23	217	212.5	279.58	21.15	0.27
218	176.5	246.63	18.37	0.23	218	210.5	281.58	20.40	0.26
219	176	247.13	18.14	0.22	219	211.5	280.58	20.78	0.26
220	176	247.13	18.14	0.22	220	211	281.08	20.59	0.26
221	175.5	247.63	17.91	0.22	221	210.5	281.58	20.40	0.26
222	175.5	247.63	17.91	0.22	222	208.5	283.58	19.64	0.24
223	174.5	248.63	17.44	0.21	223	209	283.08	19.83	0.25
224	174.5	248.63	17.44	0.21	224	208	284.08	19.45	0.24
225	174	249.13	17.20	0.21	225	207	285.08	19.06	0.24
226	174	249.13	17.20	0.21	226	207	285.08	19.06	0.24
227	174	249.13	17.20	0.21	227	208.5	283.58	19.64	0.24
228	173.5	249.63	16.96	0.20	228	206.5	285.58	18.86	0.23
229	173.5	249.63	16.96	0.20	229	206.5	285.58	18.86	0.23
230	173	250.13	16.72	0.20	230	205.5	286.58	18.47	0.23
231	173	250.13	16.72	0.20	231	205.5	286.58	18.47	0.23
232	172.5	250.63	16.48	0.20	232	204	288.08	17.87	0.22
233	172.5	250.63	16.48	0.20	233	206.5	285.58	18.86	0.23
234	172	251.13	16.24	0.19	234	204	288.08	17.87	0.22
235	172	251.13	16.24	0.19	235	204.5	287.58	18.07	0.22
236	172	251.13	16.24	0.19	236	202.5	289.58	17.26	0.21
237	171	252.13	15.75	0.19	237	202.5	289.58	17.26	0.21
238	171.5	251.63	15.99	0.19	238	202	290.08	17.05	0.21
239	171.5	251.63	15.99	0.19	239	201	291.08	16.64	0.20
240	170.5	252.63	15.50	0.18	240	201	291.08	16.64	0.20
241	170.5	252.63	15.50	0.18	241	200.5	291.58	16.43	0.20
242	170.5	252.63	15.50	0.18	242	199.5	292.58	16.01	0.19
243	170	253.13	15.25	0.18	243	202.5	289.58	17.26	0.21
244	170	253.13	15.25	0.18	244	204	288.08	17.87	0.22
245	169.5	253.63	15.00	0.18	245	197	295.08	14.95	0.18
246	169.5	253.63	15.00	0.18	246	199	293.08	15.80	0.19
247	169.5	253.63	15.00	0.18	247	199	293.08	15.80	0.19
248	169	254.13	14.75	0.17	248	199.5	292.58	16.01	0.19



249	168.5	254.63	14.50	0.17	249	197.5	294.58	15.16	0.18
250	168.5	254.63	14.50	0.17	250	197.5	294.58	15.16	0.18
251	168.5	254.63	14.50	0.17	251	198	294.08	15.38	0.18
252	168.5	254.63	14.50	0.17	252	198	294.08	15.38	0.18
253	168.5	254.63	14.50	0.17	253	197	295.08	14.95	0.18
254	168	255.13	14.24	0.17	254	196	296.08	14.51	0.17
255	168	255.13	14.24	0.17	255	197.5	294.58	15.16	0.18
256	167.5	255.63	13.98	0.16	256	195.5	296.58	14.30	0.17
257	167.5	255.63	13.98	0.16	257	196	296.08	14.51	0.17
258	167	256.13	13.73	0.16	258	195.5	296.58	14.30	0.17
259	167	256.13	13.73	0.16	259	195.5	296.58	14.30	0.17
260	167	256.13	13.73	0.16	260	195.5	296.58	14.30	0.17
261	167	256.13	13.73	0.16	261	194.5	297.58	13.85	0.16
262	166.5	256.63	13.47	0.16	262	194	298.08	13.63	0.16
263	166	257.13	13.21	0.15	263	194.5	297.58	13.85	0.16
264	166	257.13	13.21	0.15	264	193	299.08	13.18	0.15
265	167	256.13	13.73	0.16	265	193	299.08	13.18	0.15
266	166.5	256.63	13.47	0.16	266	193	299.08	13.18	0.15
267	166.5	256.63	13.47	0.16	267	191.5	300.58	12.50	0.14
268	166	257.13	13.21	0.15	268	191	301.08	12.28	0.14
269	166	257.13	13.21	0.15	269	190.5	301.58	12.05	0.14
270	166	257.13	13.21	0.15	270	190	302.08	11.81	0.13
271	165.5	257.63	12.95	0.15	271	190.5	301.58	12.05	0.14
272	165.5	257.63	12.95	0.15	272	190	302.08	11.81	0.13
273	165	258.13	12.68	0.15	273	190	302.08	11.81	0.13
274	165	258.13	12.68	0.15	274	189	303.08	11.35	0.13
275	164.5	258.63	12.42	0.14	275	189	303.08	11.35	0.13
276	164.5	258.63	12.42	0.14	276	189	303.08	11.35	0.13
277	164	259.13	12.15	0.14	277	188.5	303.58	11.11	0.13
278	164	259.13	12.15	0.14	278	188.5	303.58	11.11	0.13
279	164	259.13	12.15	0.14	279	189	303.08	11.35	0.13
280	164	259.13	12.15	0.14	280	188	304.08	10.88	0.12
281	163.5	259.63	11.88	0.13	281	188	304.08	10.88	0.12
282	163.5	259.63	11.88	0.13	282	188	304.08	10.88	0.12
283	163.5	259.63	11.88	0.13	283	187	305.08	10.40	0.12
284	163.5	259.63	11.88	0.13	284	187	305.08	10.40	0.12
285	163	260.13	11.61	0.13	285	187	305.08	10.40	0.12
286	163	260.13	11.61	0.13	286	186.5	305.58	10.16	0.11
287	162.5	260.63	11.34	0.13	287	186.5	305.58	10.16	0.11
288	162.5	260.63	11.34	0.13	288	186	306.08	9.92	0.11
289	162.5	260.63	11.34	0.13	289	186	306.08	9.92	0.11
290	162.5	260.63	11.34	0.13	290	185.5	306.58	9.67	0.11
291	162	261.13	11.06	0.12	291	185.5	306.58	9.67	0.11
292	162.5	260.63	11.34	0.13	292	185.5	306.58	9.67	0.11
293	162	261.13	11.06	0.12	293	185	307.08	9.43	0.10
294	162	261.13	11.06	0.12	294	185	307.08	9.43	0.10
295	162	261.13	11.06	0.12	295	185	307.08	9.43	0.10
296	161.5	261.63	10.79	0.12	296	184.5	307.58	9.19	0.10
297	161.5	261.63	10.79	0.12	297	184.5	307.58	9.19	0.10
298	161.5	261.63	10.79	0.12	298	184	308.08	8.94	0.10
299	161.5	261.63	10.79	0.12	299	184	308.08	8.94	0.10
300	161	262.13	10.51	0.12	300	184.5	307.58	9.19	0.10

Anexo 9. Valores de las características de dureza obtenidos al final del secado con aire caliente.

Dureza (N)	Cohesividad (Adim)	Adhesividad (Nm)	Elasticidad (Adim)	Gomosidad (N)	Masticabilidad (N)
8.53	0.021	0.48	0.33	0.22	0.07
11.34	0.026	1.08	0.32	0.26	0.08
6.53	0.027	0.73	0.32	0.15	0.05
8.98	0.023	0.85	0.32	0.19	0.06
7.53	0.022	0.65	0.33	0.14	0.04
8.45	0.021	0.58	0.31	0.10	0.03
6.16	0.025	0.44	0.31	0.18	0.06
6.76	0.013	0.91	0.31	0.08	0.04
7.68	0.021	0.46	0.31	0.12	0.06
7.33	0.013	0.54	0.31	0.21	0.04
7.02	0.018	0.75	0.31	0.14	0.03
9.17	0.027	0.37	0.31	0.10	0.05
6.51	0.019	0.72	0.31	0.15	0.03
6.30	0.014	0.42	0.31	0.09	0.03
8.39	0.016	0.42	0.31	0.08	0.05
6.27	0.013	0.38	0.31	0.15	0.04
6.31	0.013	0.61	0.31	0.13	0.03
10.46	0.018	0.65	0.31	0.08	0.05
8.62	0.021	0.44	0.31	0.09	0.05
6.87	0.018	1.02	0.31	0.15	0.04
11.68	0.015	0.44	0.32	0.17	0.03
6.77	0.014	0.75	0.31	0.12	0.05
10.45	0.019	0.33	0.31	0.08	0.04
7.68	0.017	0.56	0.32	0.16	0.08
6.76	0.024	0.96	0.31	0.12	0.04
6.42	0.023	0.35	0.30	0.25	0.03
6.88	0.024	0.67	0.33	0.13	0.06
9.49	0.017	0.35	0.31	0.11	0.04
15.04	0.017	0.79	0.32	0.19	0.06
7.29	0.030	0.77	0.32	0.13	0.09
9.16	0.019	0.67	0.30	0.18	0.04
7.89	0.019	0.59	0.31	0.11	0.04
12.27	0.019	0.42	0.31	0.08	0.04
8.33	0.018	0.56	0.31	0.14	0.10
15.44	0.016	0.49	0.31	0.12	0.05
10.91	0.015	0.46	0.32	0.16	0.07
7.49	0.015	0.42	0.31	0.21	0.03
9.81	0.015	0.73	0.31	0.09	0.05
7.78	0.021	0.97	0.31	0.17	0.09
11.85	0.024	1.06	0.31	0.08	0.04
6.26	0.019	0.52	0.33	0.30	0.06
7.75	0.024	0.55	0.32	0.13	0.04
9.20	0.019	0.54	0.31	0.19	0.04
8.31	0.016	0.41	0.31	0.12	0.06
7.78	0.022	0.49	0.32	0.12	0.03
6.55	0.013	1.11	0.30	0.19	0.06
10.84	0.030	0.35	0.31	0.11	0.08
7.25	0.017	0.43	0.31	0.19	0.06
9.73	0.016	0.46	0.31	0.25	0.08
6.88	0.019	0.88	0.31	0.19	0.03
11.63	0.015	0.58	0.31	0.24	0.07
9.85	0.013	0.65	0.31	0.09	0.04
11.20	0.013	0.67	0.31	0.22	0.05
	0.021		0.31		
	0.014		0.31		
	0.025		0.32		
	0.023		0.31		
	0.026		0.32		
	0.025		0.31		



0.013	0.32
0.019	0.32
	0.32
	0.31
	0.31

Dureza (N)	Cohesividad (Adim)	Adhesividad (Nm)	Elasticidad (Adim)	Gomosidad (N)	Masticabilidad (N)
31.19	0.20	-0.19	0.41	2.08	2.60
32.23	0.24	0.14	0.39	3.01	2.96
30.54	0.25	-0.07	0.39	4.15	2.43
30.13	0.20	0.08	0.41	2.66	1.11
21.08	0.22	0.01	0.41	2.17	1.13
27.33	0.25	0.09	0.37	4.40	2.53
25.38	0.24	-0.19	0.42	3.88	2.05
22.28	0.20	0.16	0.43	2.16	1.39
17.34	0.22	-0.01	0.41	2.95	1.06
13.24	0.18	0.02	0.36	5.39	2.21
23.11	0.23	-0.04	0.38	2.11	1.02
15.14	0.22	0.05	0.41	2.47	1.03
14.19	0.23	0.23	0.36	2.42	1.34
17.58	0.26	-0.14	0.41	3.19	1.07
16.47	0.21	0.01	0.46	2.78	1.24
17.35	0.24	0.11	0.41	3.15	1.14
12.05	0.21	-0.07	0.43	3.24	1.90
13.89	0.20	0.18	0.42	4.67	2.47
29.36	0.26	-0.05	0.38	4.77	1.01
16.12	0.19	0.07	0.39	2.13	1.05
24.23	0.28	0.13	0.39	2.41	1.93
19.57	0.18	0.16	0.39	2.71	1.13
27.62	0.28	0.21	0.35	2.77	1.39
19.33	0.27	0.11	0.41	3.72	1.45
26.27	0.22	-0.09	0.41	4.18	1.70
25.18	0.20	0.15	0.42	4.12	1.14
31.83	0.21	0.22	0.39	3.01	2.08
16.59	0.20	-0.12	0.39	3.79	1.67
19.84	0.18	0.00	0.36	3.27	1.45
23.22	0.17	-0.01	0.41	3.96	2.40
19.58	0.19	0.17	0.37	4.43	1.80
15.69	0.21	0.22	0.35	2.66	1.67
	0.23	0.20	0.41		
	0.23	0.02	0.38		
	0.22	-0.01	0.36		
	0.23	-0.02	0.46		
	0.22	-0.24	0.46		
	0.16	0.06	0.44		
	0.17	-0.06	0.35		
	0.23	-0.10	0.44		
	0.17	0.03	0.36		
	0.21	-0.16	0.39		



Dureza (N)	Cohesividad (Adim)	Adhesividad (Nm)	Elasticidad (Adim)	Gomosidad (N)	Masticabilidad (N)
33.42	0.23	0.63	0.54	7.56	4.09
30.30	0.16	0.96	0.42	5.92	3.08
34.84	0.24	0.77	0.47	7.40	2.79
26.03	0.17	1.61	0.40	5.95	3.16
31.28	0.19	0.37	0.45	7.01	2.68
34.63	0.22	0.32	0.42	10.47	2.65
30.88	0.21	0.24	0.38	6.43	3.49
30.22	0.23	0.57	0.43	7.01	2.67
27.94	0.19	0.56	0.42	8.22	3.12
28.48	0.19	0.35	0.40	5.38	2.41
35.73	0.22	1.50	0.41	6.68	3.66
25.85	0.22	0.59	0.39	7.60	4.81
26.25	0.17	0.31	0.41	5.73	5.50
26.97	0.23	0.44	0.45	5.94	3.61
28.19	0.26	0.22	0.41	8.10	5.60
33.83	0.17	0.74	0.41	8.92	5.43
23.75	0.24	0.55	0.48	8.74	5.89
26.69	0.21	1.24	0.38	11.69	4.15
22.78	0.26	0.94	0.38	11.79	5.90
22.04	0.24	0.23	0.38	10.83	4.79
18.15	0.14	0.61	0.43	9.94	5.91
29.38	0.25	0.62	0.49	5.11	4.62
28.27	0.17	0.43	0.46	7.27	3.14
25.91	0.25	0.37	0.39	5.21	2.41
27.46	0.24	0.45	0.43	6.38	2.60
14.72	0.22	0.72	0.40	6.50	3.37
15.93	0.27	0.61	0.38	8.09	2.40
33.94	0.23	0.52	0.51	5.52	3.50
25.40	0.22	0.96	0.41	8.85	3.20
22.79	0.29	0.44	0.40	7.89	3.20
17.04	0.21	0.41	0.42	7.15	2.97
26.27	0.29	0.90	0.41	6.73	2.38
30.37	0.23	1.13	0.51	5.42	2.86
16.59	0.28		0.52	6.85	3.68
29.40	0.26		0.43	7.05	2.71
23.81	0.23		0.40	5.88	3.90
21.96	0.20		0.41	5.71	2.45
16.31	0.24		0.45	10.20	3.45
23.14	0.23		0.46	5.40	3.45
23.03	0.25		0.44	9.36	3.90
26.42	0.29		0.50	5.25	3.85
	0.25		0.44		
	0.23		0.42		
	0.19		0.52		
			0.55		
			0.54		
			0.38		
			0.48		
			0.38		
			0.45		
			0.46		
			0.46		
			0.51		
			0.48		
			0.51		
			0.40		