

ZAMORANO
CARRERA DE AGROINDUSTRIA ALIMENTARIA

**Efecto de la madurez de tomate
Lycopersicon esculentum en el rendimiento y
contenido de sólidos insolubles en alcohol
(SIA) durante la elaboración de pasta**

Proyecto especial de graduación presentado como requisito parcial para optar
al título de Ingeniero en Agroindustria Alimentaria en el Grado
Académico de Licenciatura

Presentado por

Rándol José Rodríguez Rosales

Zamorano, Honduras
Noviembre, 2011

RESUMEN

Rodríguez Rosales, R. J. 2011. Efecto de la madurez de tomate *Lycopersicon esculentum* en el rendimiento y contenido de sólidos insolubles en alcohol (SIA) durante la elaboración de pasta. Proyecto especial de graduación del programa de Ingeniería en Agroindustria Alimentaria, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. Honduras. 18 p.

Los sólidos insolubles en alcohol (SIA) contienen parte de la fibra de los alimentos y son utilizados para medir el avance de la madurez entre otros. Los Polisacáridos No Almidonáceos (PNA) están contenidos en los SIA, constituidos por pectinas, hemicelulosas y celulosas. Su presencia puede ser afectada por el procesamiento e influye en la viscosidad del producto final. El objetivo del estudio fue evaluar el efecto de la madurez del tomate sobre los rendimientos y el contenido de SIA durante el procesamiento de pasta. Adicionalmente, evaluar la efectividad de un método para cuantificación de PNA. Los resultados fueron analizados por medio de un Diseño Completamente al Azar (DCA). Se evaluaron dos estados de madurez (50-75% y 100%) durante cuatro etapas del proceso tradicional de elaboración de pasta por triplicado para determinar rendimientos de pasta, contenido de SIA y PNA. Se encontraron rendimientos del 40 a 45% sin diferencias significativas entre estados de madurez del tomate. El método para extracción de SIA fue efectivo al obtener uniformidad aceptable (75%) y datos comparables con investigaciones previas (180-360mg SIA/g pasta seca). El fraccionamiento de PNA no fue completamente determinado debido a la formación de 0.48-13.53 g de sales de EDTA y Etóxido de sodio en las fracciones II, III y IV y a la cuantificación por gravimetría. Pruebas posteriores podrían revelar más detalle que permitirían la adaptación del método para cuantificación de SIA y PNA en estas condiciones y así también su aplicación efectiva en diferentes procesos productivos.

Palabras clave: Fibra dietética, macromoléculas, patrón de monosacáridos, sólidos del tomate.

CONTENIDO

Portadilla.....	i
Página de firmas	ii
Resumen	iii
Contenido	iv
Índice de Cuadros, Figuras y Anexos.....	v
1 INTRODUCCIÓN.....	1
2 MATERIALES Y MÉTODOS.....	3
3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	7
4 CONCLUSIONES.....	13
5 RECOMENDACIONES.....	14
6 LITERATURA CITADA.....	15
7 ANEXOS.....	17

ÍNDICE DE CUADROS, FIGURAS Y ANEXOS

Cuadros	Página
1. Diseño experimental del estudio.....	6
2. Rendimientos (%) en la producción de pasta de tomate.....	7
3. Sólidos insolubles en alcohol (SIA) y polisacáridos no almidonáceos (PNA) estimados durante el procesamiento.	8
4. Fraccionamiento de Polisacáridos no almidonáceos (PNA) extraídos de los Sólidos insolubles en alcohol (SIA) durante el procesamiento.....	10
Figuras	Página
1. Frutos de tomate con punto de madurez 50, 75 y 100 %.....	4
2. Flujo de proceso tradicional para producción de pasta en PPHF, Zamorano.....	5
3. Comportamiento del rendimiento y sólidos insolubles en alcohol (SIA) durante el procesamiento.	9
4. Resultados del fraccionamiento de polisacáridos no Almidonáceos (PNA) durante el procesamiento para los tratamientos.	12
Anexos	Página
1. Hoja para registro de datos durante producción de pasta y obtención de SIA.....	17
2. Hoja de registro de datos durante la separación o fraccionamiento y cuantificación de PNA.....	18

1. INTRODUCCIÓN

El tomate se ha convertido en un campo de estudio amplio en cuanto a ablandamiento de tejidos y maduración debido a su facilidad de transformación, importancia comercial y disponibilidad (Brummell y Harpster 2001). Es una de las hortalizas más producidas, procesadas y comercializadas a nivel mundial. La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura (FAO) reporta 3.6 millones de hectáreas cultivadas a nivel mundial (2010). Adicionalmente, la Agrupación de Cooperativas de Regadío de Extremadura, ACOREX, cita un crecimiento promedio del 2.5 % anual en el consumo de tomate industrializado desde 1991 hasta 2007 (24.5 millones de toneladas 1995/1997, INTA, Argentina). El tomate es un fruto climatérico (Rick 1978), es decir que su maduración continua aún después de ser cosechado. De acuerdo con Zambrano (1995), el contenido de sólidos insolubles en alcohol (SIA), entre otros, cambia con el avance de la madurez de los frutos de tomate; lo mismo es reportado por Reinders y Thier (1998) acerca de los polisacáridos no Almidonáceos (PNA); estos constituyen el 75 % de SIA. Ambos, SIA y PNA, son parte de la fibra dietética de los alimentos (Lee 2009), la cual ha tenido variaciones en cuanto a definición y metodologías analíticas de determinación (FAO 1997, AOAC 2000). Estos cambios son consecuencia de la degradación por actividad enzimática de poligalacturonasas (PG) y pectinmetilesterasas (PME) entre otras (Brummell y Harpster, 2001) durante la maduración y condiciones en el procesamiento después de la maduración. Diferentes factores influyen en la actividad enzimática, pero varios autores coinciden en que ocurre un aumento notable durante la maduración de frutas y vegetales: Tucker *et al.* (1980), Bonghi *et al.* (1996), Priya *et al.* (1996), Brummell *et al.* (2001), Baquero (2005), Menéndez (2006), Miranda (2009) entre otros. Yoshida *et al.* (1983) reporta la participación de dos iso-enzimas poligaracturonasas en tomate y su vigoroso aumento en actividad durante la etapas avanzadas de maduración.

Cada enzima dirige su acción a un determinado grupo de sustancias, en el caso de las poligaracturonasas, su acción es evidente sobre sustancias pécticas con bajo grado de metoxilación al atacar el enlace α -1,4-glicosídico del ácido péctico (Rodríguez *et al.* 2006), en la cuales es abundante la presencia de ácido galacturónico; su acción resulta en el aumento de oligosacáridos o azúcares reductores de menor tamaño molecular. Para el caso de pectinmetilesterasas su acción está dirigida a pectinas de algo grado de metoxilación removiendo los grupos metoxilo. Se reporta actividad complementaria entre PG y PME por Warrilow y Jones (1994) y Brummell y Harpster (2001), lo que sugiere que la presencia de las dos (lo común en frutas y vegetales) puede resultar en la catalización completa de la mayoría de sustancias pécticas. Polifenoloxidasas (PFO) cataliza la oxidación de fenoles convirtiéndolos a quinonas lo que produce empardeamiento y disminución de textura, color y sabor.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Materiales y equipo. Como reactivos se utilizaron: etanol 89 % (purificado con rotavapor al vacío, 55 °C, 35 rpm), etanol 99.9 % (Merck No K40645183), eter di-etílico (Fisher Scientific No E492-20), solución 0.1M ácido dietilaminotetraacético –EDTA en inglés- (preparación a 27 °C –EDTA sal di-sódica Sigma Aldrich No E9884-), solución hidróxido de sodio –NaOH- 1M y 4M (preparación a 27 °C -Merck No 1.06498.1000-), solución ácido sulfúrico –H₂SO₄- 4N (preparación a 27 °C –J. T Baker 9694-03-).

Dentro de los insumos, cristalería y consumibles: frutos de tomate, agua desmineralizada (Destilador CORNING Mega pure system D2), manta de tela, POE LAAZ –instrucciones de uso de equipos, Equipo de Protección Personal –EPP-: gafas, guantes de látex, gabacha, mascarilla, etc.; probetas volumétricas (50,100 y 500 mL), beaker (100, 250, 700, 1000, 3000 mL), pinzas, crisoles, crisoles de vacío, pipeta 10 mL, bulbos, espátula, pinza, erlen meyer (300, 500 mL), embudos de separación (500 mL), desecador, varilla de vidrio, tamiz estandarizados de USA (No. 14,18,19 y 100), otra cristalería en general; celite para filtración –Merck-, papel aluminio, termómetro, marcador, papel para limpieza, cinta adhesiva.

Para las actividades fueron útiles los equipos: marmita, molino despulpador Speed-Trol (Sterling Electric Inc. JY154FCA1184A), rotavapor (Buchi R-215), campana de gases (Labconco 8100), horno de secado (Fisher Scientific 750F) procesador de alimentos Ultra-Power (Kitchen Aid KFP600B), calentador-agitador Cimarec (Thermo Scientific SP131325), cristalería soxhlet, balanza analítica Adventurer (OHAUS AR2140), balanza (A&D Co. AND EJ 6100), bomba de motor (Marathon EVK 56C17F5160 P).

Ubicación. La elaboración de las pastas y almacenamiento antes de los análisis fueron en la Planta de Procesamiento Hortofrutícola (PPHF) Zamorano; la elaboración se hizo en series de 2 tandas y se utilizaron las instalaciones y equipo de las áreas: recepción de materiales primas, procesamiento de materias primas y elaboración de productos.

Posteriormente los análisis se realizaron en el Laboratorio de Análisis de Alimentos Zamorano (LAAZ) ubicado en el complejo agroindustrial de la universidad. Las condiciones dominantes en las instalaciones del LAAZ fueron 22-27°C, 70-75 % H-

Es importante aclarar que existen más enzimas que participan en la degradación de los componentes de la pared celular como también una amplia variedad de maneras en la cual estos pueden degradar los diferentes componentes del pared celular, sin embargo, para aplicación de este estudio solamente los mencionados tomarán importancia.

Por otro lado, el proceso tradicional de producción de pasta de tomate en la Planta de Procesamiento Hortofrutícola (PPHF) de Zamorano incluye operaciones unitarias como: escaldado, despulpado, concentrado, elaboración de productos a base de mezcla de ingredientes adicionales y uso de evaporación. Para objeto de esta investigación, se destaca entre estos efectos la significativa disminución en la presencia de los SIA y PNA como consecuencia de degradación enzimática, tratamiento térmico, remoción por cizallamiento y concentración por drenaje de líquidos; se reportan pérdidas de 16.25 y 11 % respectivamente durante el procesamiento tradicional de pasta o puré de tomate; aunque esto es común y permite obtener productos con características adecuadas en cuanto a calidad, podría obtenerse un mejoramiento evidente al evitar en alguna medida la disminución del contenido de PNA (Reinders y Thier 1998). De las causas de dicha pérdida o disminución, se decidió investigar sobre la degradación enzimática, debido a que esta tiene efectos tanto antes del procesamiento como durante el mismo ya que aumenta la vulnerabilidad de los compuestos a los tratamientos utilizados en el procesamiento.

Con los fundamentos anteriores se espera que frutos con menor maduración presenten menor acción de estas enzimas y así disminución de las pérdidas en el contenido de SIA y PNA antes y durante el procesamiento de la pasta de tomate.

En este contexto se definió los objetivos que este estudio comprende y se resumen en lo siguiente:

- Evaluar el efecto de la madurez sobre el rendimiento de pasta de tomate y la concentración de SIA en la pasta.
- Determinar la uniformidad de la extracción y fraccionamiento de SIA en muestras de pasta de tomate para evaluar la efectividad de este método en la cuantificación PNA

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Materiales y equipo. Como reactivos se utilizaron: etanol 89 % (purificado con rotavapor al vacío, 55 °C, 35 rpm), etanol 99.9 % (Merck No K40645183), eter di-etílico (Fisher Scientific No E492-20), solución 0.1M ácido dietilaminotetraacético –EDTA en inglés- (preparación a 27 °C –EDTA sal di-sódica Sigma Aldrich No E9884-), solución hidróxido de sodio –NaOH- 1M y 4M (preparación a 27 °C -Merck No 1.06498.1000-), solución ácido sulfúrico –H₂SO₄- 4N (preparación a 27 °C –J. T Baker 9694-03-).

Dentro de los insumos, cristalería y consumibles: frutos de tomate, agua desmineralizada (Destilador CORNING Mega pure system D2), manta de tela, POE LAAZ –instrucciones de uso de equipos, Equipo de Protección Personal –EPP-: gafas, guantes de látex, gabacha, mascarilla, etc.; probetas volumétricas (50,100 y 500 mL), beaker (100, 250, 700, 1000, 3000 mL), pinzas, crisoles, crisoles de vacío, pipeta 10 mL, bulbos, espátula, pinza, erlen meyer (300, 500 mL), embudos de separación (500 mL), desecador, varilla de vidrio, tamiz estandarizados de USA (No. 14,18,19 y 100), otra cristalería en general; celite para filtración –Merck-, papel aluminio, termómetro, marcador, papel para limpieza, cinta adhesiva.

Para las actividades fueron útiles los equipos: marmita, molino despulpador Speed-Trol (Sterling Electric Inc. JY154FCA1184A), rotavapor (Buchi R-215), campana de gases (Labconco 8100), horno de secado (Fisher Scientific 750F) procesador de alimentos Ultra-Power (Kitchen Aid KFP600B), calentador-agitador Cimarec (Thermo Scientific SP131325), cristalería soxhlet, balanza analítica Adventurer (OHAUS AR2140), balanza (A&D Co. AND EJ 6100), bomba de motor (Marathon EVK 56C17F5160 P).

Ubicación. La elaboración de las pastas y almacenamiento antes de los análisis fueron en la Planta de Procesamiento Hortofrutícola (PPHF) Zamorano; la elaboración se hizo en series de 2 tandas y se utilizaron las instalaciones y equipo de las áreas: recepción de materiales primas, procesamiento de materias primas y elaboración de productos.

Posteriormente los análisis se realizaron en el Laboratorio de Análisis de Alimentos Zamorano (LAAZ) ubicado en el complejo agroindustrial de la universidad. Las condiciones dominantes en las instalaciones del LAAZ fueron 22-27°C, 70-75 % H-

Producción de la pasta. Frutos de tomate, variedad Nawara, con madurez 50, 75 y 100% fueron cosechados del área de producción de la carrera de Ingeniería Agronómica Zamorano. La clasificación por punto de madurez se realizó basado en cambio de coloración (avance desde el pedúnculo hacia el ápice) y firmeza del fruto. Para cada tratamiento, se tomaron lotes de 7 kg de frutos por repetición para ser sometidos al proceso tradicional de producción de pasta de tomate en PPHF. La combinación para el segundo tratamiento fue necesaria para facilitar la uniformidad en madurez ya que los frutos presentaron patrones de maduración irregulares como consecuencia de la nutrición durante el crecimiento. La Figura 1 muestra un ejemplo de los frutos clasificados como 50, 75 y 100 %. Muestras de 700 g fueron obtenidas en cuatro diferentes puntos del proceso: recepción de materia prima (RMP), escaldado (E), despulpado (D) y drenaje de líquidos (DL); la Figura 2 expresa el flujo tradicional de proceso. Las muestras fueron almacenadas en envases de Tereftalato de polietileno (PET) a 4°C hasta realizarse los análisis para la cuantificación de SIA y PNA. El método para extracción de SIA, fraccionamiento y cuantificación de PNA fue adaptado de investigaciones realizadas previamente (Reinders y Thier 1998).



Figura 1. Frutos de tomate con punto de madurez 50, 75 y 100 %

Extracción de Sólidos Insolubles en Alcohol (SIA). Se transportaron las muestras a el LAAZ en envases PET; 20-25 g/muestra fueron secados en horno a 105 °C, 24 h para determinar el contenido de humedad. Se tomaron 500 g cada una, de las muestras de frutos frescos y frutos escaldados, se tamizaron (tamices 14 -1.4 mm-, 18 -1.0 mm- y 100 -150 μm -) para separar pericarpio y semillas obteniendo aproximadamente 250 g/muestra; luego, en campana de gases, fueron agregados lentamente a 1 L de etanol 89% en ebullición (78-79 °C) durante 3-5 minutos para lavar parcialmente pigmentos, proteínas y gasas (muestras de despulpado y drenaje líquidos no fueron tamizadas, se tomaron 250 g directamente); el residuo insoluble se filtró utilizando tamiz 200 -75 μm -. La pasta fue colocada en bandejas de aluminio y secada en horno a 105 °C, 24 h, luego se sometieron a desengrasado Soxhlet por reflujo con eter di-etílico en campana de gases por 5 h y secadas en la campana de gases, 0.75 h para eliminar residuos de éter di-etílico. Las muestras secas fueron pesadas para obtener el contenido de SIA.

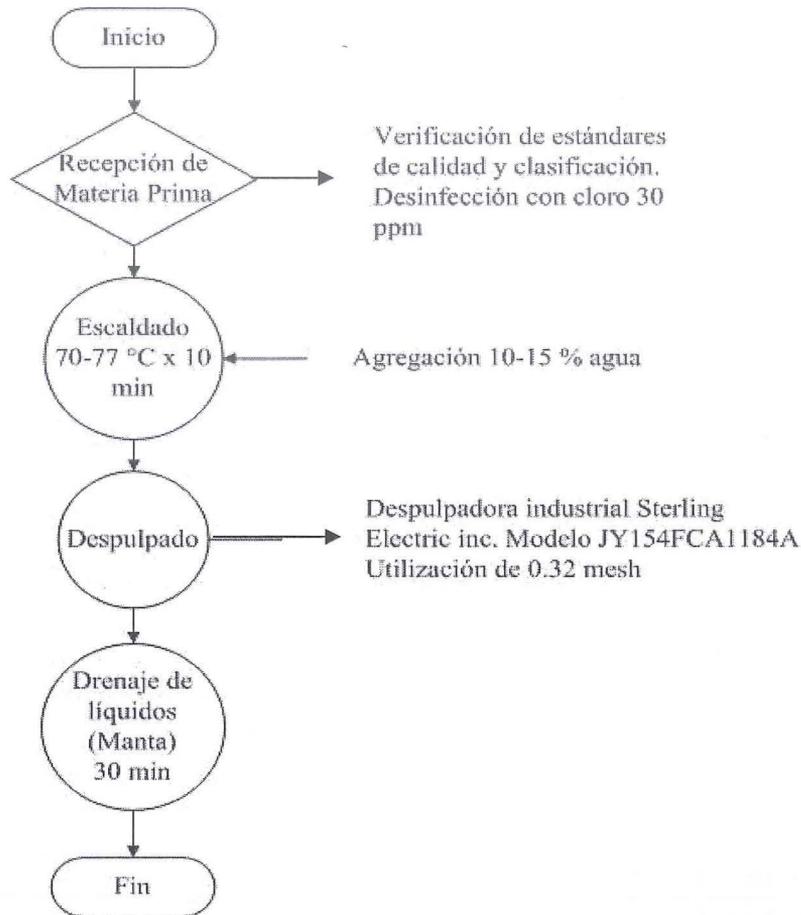


Figura 2 Flujo de proceso tradicional para producción de pasta en PPHF, Zamorano

Fraccionamiento de SIA en PNA. La muestra seca de SIA fue colocada en bolsas elaboradas de manta de tela y colocada en 100 mL de agua desmineralizada en baño maría en ebullición (95-97 °C) 2 veces durante 30 minutos; el líquido fue recolectado en beaker 250 mL (**Fracción I**); las bolsas con el residuo insoluble I fueron colocadas en 100 mL de una solución 0.1M EDTA en baño maría en ebullición 2 veces durante 30 minutos, el líquido fue recolectado (**Fracción II**); residuo insoluble II fue colocado en una solución 1M NaOH a temperatura ambiente (22-25 °C) 2 veces durante 2 h, líquido fue nuevamente recolectado (**Fracción III**); residuo insoluble III fue colocado en una solución 4M NaOH a temperatura ambiente (22-25 °C) 2 veces durante 2 h, residuo insoluble (**Fracción V**) y líquido (**Fracción IV**) fueron recolectados. Fueron tomados 50 mL de cada fracción; de estos, fracción III y IV fueron neutralizadas al agregar 11.5-12 y 46.8-47.2 mL 4N H₂SO₄ respectivamente.

Cada fracción fue agregada lentamente a 200 mL de 95 % etanol, después de 5-6 h de reposo fue posible observar precipitado y sobrenadante, ambos fueron recolectados separadamente y luego filtrados al vacío utilizando crisoles de vacío con 0.5 g de celite.

El líquido filtrado fue utilizado para reciclaje de etanol con Rotavapor (35 RPM, 48-50 °C). El precipitado filtrado para cada fracción fue secado en horno a 105 °C, 24 h; Finalmente el contenido de PNA para cada fracción fue cuantificado al pesar los precipitados en balanza analítica.

Para la correcta tabulación, interpretación de resultados y análisis estadístico, debido a frecuentes pérdidas de muestra durante el manejo en diferentes partes de los análisis, fue necesario hacer un detallado control sobre los rendimientos y pérdidas de muestra en peso durante cada actividad del análisis con el objetivo de establecer relaciones que permitan traducir el valor final de PNA (g/100g SIA) a contenido por unidad de pasta (100 g pasta) o bien de materia prima (100 g fruto fresco) y así uniformizar los resultados para reducir la variabilidad del experimento. Los Anexos 1 y 2 muestran el formato y datos tomados durante el proceso. Para análisis estadísticos “Statistical Analysis System” –SAS®- software fue utilizado con un diseño completamente al azar (DCA).

Diseño Experimental. Se estableció un Diseño experimental Completamente al Azar (DCA) para evaluar el efecto de la madurez sobre los rendimientos y contenido de SIA y además determinar la uniformidad en la extracción de SIA y fraccionamiento de PNA por medio de análisis de varianza (ANDEVA) y separación de medias Tukey. Se evaluaron dos tratamientos: (1. Frutos con madurez 100 % y 2. Frutos con madurez 50 y 75 % relación 1:1) con tres repeticiones. Para el análisis de los rendimientos los valores utilizados para SAS® fueron convertidos utilizando arcoseno. Este diseño se presenta en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Diseño experimental del estudio

Madurez ¹	Rep 1	Rep 2	Rep 3
100%	T1	T1	T1
50-75% (1:1)	T2	T2	T2

¹ 100 %: pasta elaborada con frutos de madurez avanzada; 5075% (1:1): pasta elaborada con frutos de 50 y 75 % de madurez mezclados relación 1:1
Rep: repetición; T: tratamiento.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Rendimientos en el proceso de producción. Los rendimientos promedio obtenidos durante las pruebas son mostrados en el Cuadro 2. El flujo de proceso para la producción de pasta puede ser consultado en la Figura 2.

Cuadro 2. Rendimientos (%) en la producción de pasta de tomate.

Operación ²	Punto de madurez ¹	
	100%	50-75 % (1:1)
RMP	100±0.00 ^a	100±0.00 ^a
E	66.2±14.3 ^a	71.1±7.54 ^a
D	92.7±9.84 ^a	84.8±4.44 ^b
DL	44.5±5.74 ^a	52.2±16.2 ^a
RFinal E	41.6±4.62 ^a	44.1± 9.8 ^a
CV% ⁵	10.21	

¹ 100 %: pasta elaborada con frutos de madurez avanzada; 50-75% (1:1): pasta elaborada con frutos de 50 y 75 % de madurez mezclados relación 1:1. ² RMP: Recepción Materia Prima; E: Escaldado; D: Despulpado; DL: Drenaje de Líquidos; RFinalE: Rendimiento Final Estimado. Letras diferentes representan diferencias significativas entre los tratamientos (P<0.05) ⁵ Coeficiente de variación.

Aunque no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos, a excepción de la etapa de despulpado (D), fue posible identificar particularidades en los resultados. Para las etapas de escaldado (E) y drenaje de líquidos (DL), el tratamiento 2 (50-75 %) presentó un mayor rendimiento consecuencia de la disminución en la pérdida de líquidos por una mayor capacidad para retener líquidos. Esto podría estar relacionado a la diferencia del ablandamiento de los tejidos y solubilización (liberación de la matriz hacia el líquido) parcial de polisacáridos por la degradación enzimática durante la maduración (Shackel, *et al.* 1991; Bartley y Knee 1982). Igualmente, la diferencia en la etapa de despulpado (D) se produjo debido a la firmeza de los tejidos y la fuerza de cizallamiento; las mismas condiciones en el motor despulpador tuvieron mayor efecto en los tejidos del primer tratamiento (100%) ya que estos fueron más vulnerables por la previa degradación en la maduración y tratamiento térmico en el escaldado (Reinders y Thier 1998).

Pudo identificarse una ligera disminución en los rendimientos al utilizar frutos con mayor madurez, lo cual es contrario a lo reportado por Vincenzi (2006); este autor también afirma que la utilización de tomates con mayor madurez podría representar mayores

desechos y disminución de la vida de anaquel del producto. Aún cuando en el final (RFinalE) no se identificaron diferencias estadísticamente significativas el aumento podría ser económicamente significativo en producciones de mayor escala. Para asegurar lo anterior es necesario realizar más estudios para confirmar estos resultados y así también tomar en cuenta las diferencias en costo al utilizar frutos con menor punto de madurez para el procesamiento.

Contenido de SIA, PNA y punto de madurez. Investigaciones previas reportan que existe una disminución evidente en el contenido de SIA y PNA durante la maduración y también durante el procesamiento. El Cuadro 3 muestra los resultados encontrados para el contenido de SIA para ambos tratamientos y cada uno de los puntos de muestreo. Adicionalmente se muestran valores del contenido de PNA. Estos valores fueron obtenidos de acuerdo a lo reportado por Reinders y Thier (1998), en donde mencionan análisis proximales para las muestras de SIA con contenidos de 0.2 % de almidón, 6.1 % de cenizas y 18.3 % de proteínas; el contenido de PNA es entendido ser el resto equivalente a 75.4 %.

Cuadro 3. Sólidos insolubles en alcohol (SIA) y polisacáridos no almidonáceos (PNA) estimados durante el procesamiento.

Operación ²	SIA (g/kg PS)		PNA ¹ (g/kg PS)	
	100% ³	50-75 % (1:1)	100%	50-75 % (1:1)
RMP	245±2.44 ^b (x)	179±14.6 ^b (x) ⁵	184±1.83 ^b (x)	134±10.9 ^b (x)
E	240±94.9 ^b (x)	187±17.2 ^b (x)	180±71.2 ^b (x)	140±12.9 ^b (x)
D	173±11.6 ^b (x)	221±13.8 ^a (x)	130±8.73 ^b (x)	165±10.4 ^b (x)
DL	354±10.4 ^a (x)	318±12.7 ^a (x)	262±4.57 ^a (x)	238±95.2 ^a (x)
CV%	23.8		23.9	

¹ se obtuvo considerando que constituye aproximadamente el 75 % de SIA (Reinders y Thier, 1998).

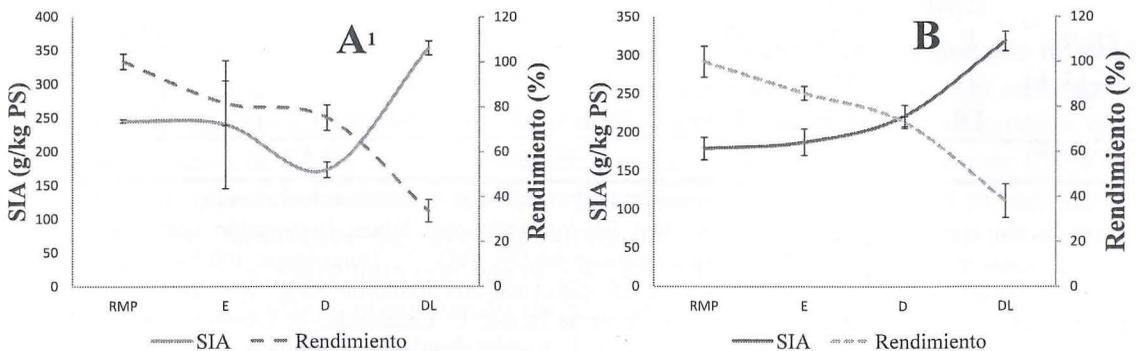
² RMP: Recepción Materia Prima; E: Escaldado; D: Despulpado; DL: Drenaje de Líquidos; ³ 100 %: pasta elaborada con frutos de madurez avanzada; 5075% (1:1): pasta elaborada con frutos de 50 y 75 % de madurez mezclados relación 1:1. Letras diferentes en cada columna representan diferencias significativas entre las operaciones (P<0.05). Letras diferentes en cada fila representan diferencias significativas entre los tratamientos para SIA y PNA por separado (P<0.05). ⁷ Coeficiente de variación; PS: Pasta seca

Al analizar los resultados del contenido de SIA, pudo identificarse que a nivel general, el primer tratamiento (100%) muestra valores más altos durante el proceso a excepción de la etapa de despulpado (D) lo cual va contrario a lo reportado por Zambrano, *et al* (1995) al establecer que el contenido de SIA es alto en el estado de madurez fisiológica y disminuye bruscamente con el avance de la madurez. Con estos valores también se identificó un comportamiento diferente entre los tratamientos; para el primer tratamiento el comportamiento encontrado fue una disminución entre las etapas de recepción de

materia prima (RMP) y despulpado (D) seguido por un fuerte incremento durante el drenaje de líquidos (DL). Para el segundo tratamiento (50-75 %) se encontró un incremento gradual y constante durante todo el proceso. Las diferencias en el comportamiento fueron explicadas por las mismas causas encontradas en el análisis del rendimiento y reportadas por Shackel (1991) y Bartley y Knee (1982). Así, se estableció que la disminución para el primer tratamiento fue producto de la solubilización parcial de algunos polisacáridos y la posterior pérdida de estos líquidos por la limitada capacidad de retención de líquidos; el aumento se explicó como producto de la alta concentración de sólidos totales en el drenaje de líquidos, la cual fue mayor que para el segundo tratamiento por la diferencia en la capacidad de retención de líquidos.

El aumento constante para el segundo tratamiento se debió a que tanto la solubilización parcial de polisacáridos como la pérdida de líquidos tienen un comportamiento más constante y controlable. La razón por la cual el contenido de SIA en el despulpado (D) es mayor para el segundo tratamiento pudo deberse a que mayor cantidad de polisacáridos fueron retenidos en la matriz de la pasta en lugar de ser liberados a los líquidos que fueron posteriormente separados en el análisis en laboratorio para determinación de SIA. Para reforzar lo mencionado, también fue posible identificar diferentes resultados estadísticos. Puede observarse que no hubieron diferencias significativas para las primeras 3 etapas (RMP, E y D) en el primer tratamiento pero sí para el drenaje de líquidos (DL); para el segundo tratamiento RMP y E no mostraron diferencias significativas entre ellos, lo mismo para D y DL; sin embargo sí las hay entre E y D. Estos resultados coinciden parcialmente con los reportados por Reinders y Thier (1998). Los valores estimados para PNA mostraron el mismo comportamiento ya que fueron calculados del contenido de SIA.

Después de analizar los Cuadros 2 y 3, fue interesante integrar esta información para la generación de gráficos que permitieron analizar su comportamiento en conjunto. La Figura 3 muestra el comportamiento del rendimiento y el contenido de SIA durante el procesamiento.



¹ A: 100 % madurez, B: 50-75 % (1:1) madurez;

Figura 3. Comportamiento del rendimiento y sólidos insolubles en alcohol (SIA) durante el procesamiento.

Para ambos tratamientos pudo identificarse que el rendimiento (%) disminuyó mientras el contenido de SIA (g/kg pasta seca) aumentó. Sin olvidar la discusión sobre los Cuadros 2 y 3, con esta Figura pueden destacarse las diferencias en el comportamiento entre las etapas de escaldado (E) y despulpado (D). El primer tratamiento (A: 100 % madurez), presentó una ligera disminución en el rendimiento mientras el contenido de SIA, en lugar de aumentar, disminuyó notablemente; el segundo tratamiento (B: 50-75 % madurez) presentó disminución y aumento constante para el rendimiento y contenido de SIA respectivamente representando una mejor estabilidad de los polisacáridos al evitar su solubilización y pérdida en los líquidos.

Hasta este punto, se logró determinar el contenido de diferentes polisacáridos entendidos como un conglomerado (SIA), sin embargo Yoshida *et al.* (1983) menciona diferencias en la interacción de cada tipo de polisacárido en la matriz de los alimentos contribuyendo de formas diferentes en atributos como viscosidad y textura. De esto, se estableció que además de conocer los efectos sobre el contenido de SIA, la determinación del contenido de diferentes polisacáridos generaría entendimiento más específico sobre el efecto de los tratamientos. Así, las muestras de SIA fueron fraccionadas en PNA (pectinas de alta y baja metoxilación, hemicelulosas libres y asociadas); los resultados son presentados en el Cuadro 4. Celulosas son también parte de los PNA y son obtenidos en el residuo insoluble después del fraccionamiento pero no fueron cuantificados debido a que su contribución en los atributos es menos significativa en comparación con pectinas y hemicelulosas.

Cuadro 4. Fraccionamiento de Polisacáridos no almidonáceos (PNA) extraídos de los Sólidos insolubles en alcohol (SIA) durante el procesamiento.

Trat ²	Op ³	PNA (g/100g SIA) en fraccionamiento ¹			
		I	II ⁴	III ⁵	IV ⁵
100%	RMP	2.89±0.14 ^a (x)	30.2±0.35 ^b (x)	70.8± 0.35 ^b (x)	118± 0.71 ^b (x)
	E	0.81±4.58 ^a (x)	67.6±51.3 ^{ab} (x)	118 ±78.0 ^{ab} (x)	233±33.4 ^{ab} (y)
	D	3.07±0.49 ^a (x)	75.5±4.03 ^a (x)	154 ± 7.87 ^a (x)	495±53.7 ^a (x)
	DL	0.00±0.00 ^b (x)	25.6±0.45 ^b (x)	44.1± 0.77 ^b (x)	139±115 ^b (x)
50-75 % (1:1)	RMP	2.86±0.28 ^a (x)	58.8±2.52 ^{ab} (x)	63.4±64.4 ^a (x)	221±283 ^c (x)
	E	2.59±0.52 ^a (x)	68.6±0.69 ^{ab} (x)	123 ± 1.98 ^a (x)	502±8.94 ^a (x)
	D	0.00±0.00 ^b (y)	54.9±0.56 ^a (x)	117 ± 1.21 ^a (x)	487±5.03 ^{ab} (x)
	DL	0.00±0.00 ^b (x)	26.3±4.97 ^b (x)	54.6±10.3 ^a (x)	235±44.4 ^{bc} (x)
CV% ⁸		62.47	35.94	38.67	36.67

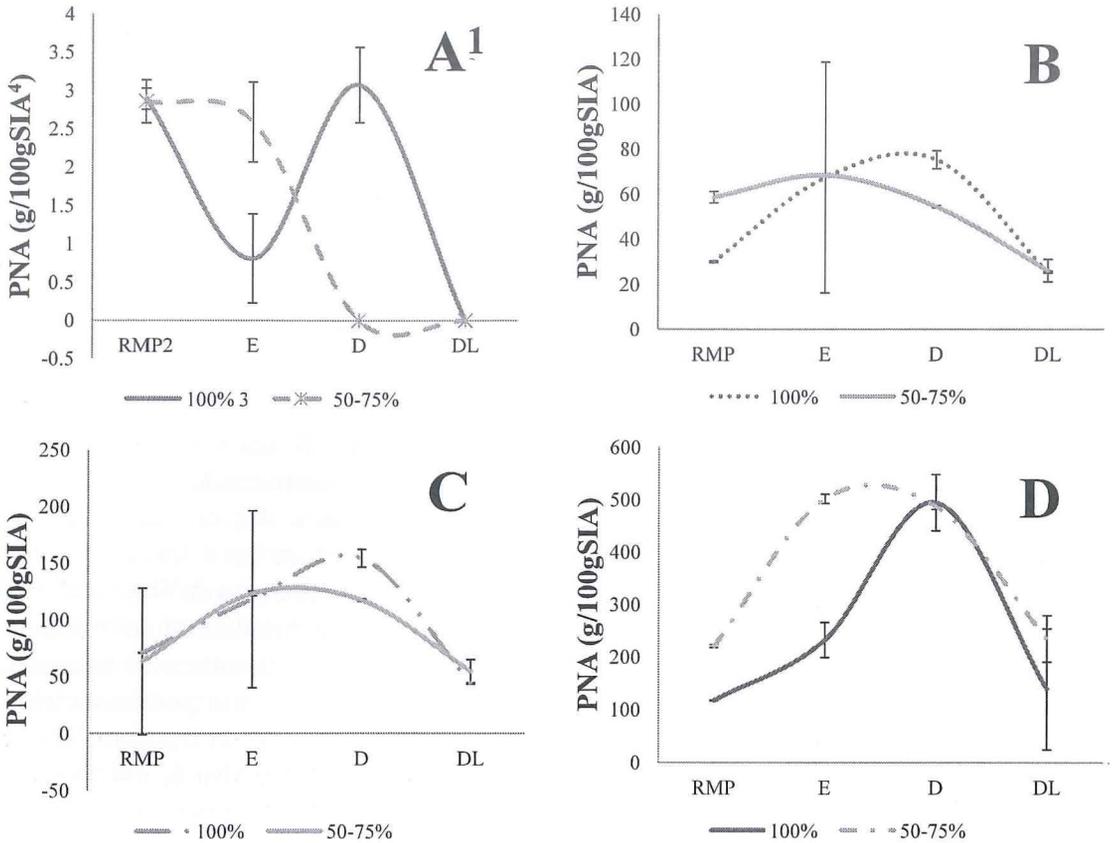
¹ Fracciones: I: Pectinas de alta metoxilación (extracción con agua desmineralizada); II: pectinas de baja metoxilación (extracción con EDTA 0.1M); III: hemicelulosas libres (extracción con NaOH 1M); IV: hemicelulosas asociadas a celulosas (extracción con NaOH 4M). ² Tratamiento: 100 %: pasta elaborada con frutos de madurez avanzada; 5075% (1:1): pasta elaborada con frutos de 50 y 75 % de madurez mezclados relación 1:1. ³ Operación: RMP: Recepción Materia Prima; E: Escaldado; D: Despulpado; DL: Drenaje de Líquidos; ⁴ Incluye sales de EDTA provenientes de la precipitación. ⁵ Incluyen sales de etóxido de sodio (CH₃CH₂Na), por lo cual presentan valores por arriba de 100g en algunos casos. Letras diferentes en cada columna representan diferencias significativas entre las operaciones para el mismo tratamiento (P<0.05). Letras diferentes en cada fila representan diferencias significativas entre los tratamientos para la misma operación (P<0.05). ⁸ Coeficiente de variación para cada fracción.

El Cuadro 4 muestra las cantidades de PNA. La fracción II (pectinas de baja metoxilación) presentó sales de EDTA para las 4 etapas de cada tratamiento; así también las fracciones III (hemicelulosas libres) y IV (hemicelulosas asociadas) presentaron formación de sales de etóxido de sodio ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{Na}$) producto de la reacción de etanol e hidróxido de sodio; esta es la causa por la cual los valores sobrepasan los 100 g SIA, lo cual resultaría imposible si se hablara del contenido de PNA. Adicionalmente, los resultados obtenidos no coinciden con los valores reportados por Reinders y Thier (1998) lo cual sugiere que el fraccionamiento no fue totalmente efectivo. Debido a estas causas, generar discusión y conclusiones en términos cuantitativos no es productivo, sin embargo pueden obtenerse ideas preliminares identificando particularidades cualitativas. Investigaciones previas reportan la formación de sales en la fracción II pero no lo hacen para las fracciones III y IV.

A nivel general pueden identificarse valores mayores para el segundo tratamiento (50-75%) para las 4 fracciones en cada etapa a excepción del despulpado (D). Así también pudieron observarse comportamientos similares en el avance del proceso para ambos tratamientos que sugieren disminución del contenido de PNA en las 4 fracciones durante el proceso de elaboración de pasta lo cual coincide con los hallazgos de Reinders y Thier (1998). Al comparar los valores de la fracción I con los reportados en investigaciones previas también se sugirió que existieron porciones de pectinas de alta metoxilación que no fueron extraídas y se acumularon en las siguientes fracciones, esto podría suceder con las otras fracciones ya que la literatura reporta menores valores para la fracción III y IV en comparación con fracción I. Para caracterizar los valores del Cuadro 4, gráficos fueron generados y son presentados en la Figura 4.

En la Figura 4, la fracción I (A) presenta irregularidades en su comportamiento debido a que en algunas repeticiones la cuantificación fue difícil por las mínimas cantidades obtenidas. Con estos gráficos el comportamiento puede ser fácilmente identificado observándose que para cada fracción se encontraron incrementos en la fracción II y III con la posterior disminución hacia la fracción IV, esto probablemente es explicado por la acumulación de las fracciones anteriores y la intervención de las sales.

Efectividad del método. Los valores de SIA y PNA mostraron que el método utilizado puede ser adaptado a las condiciones en las que se condujo este estudio, sin embargo se estableció que para este estudio el método fue completamente efectivo solamente en la parte de extracción de SIA y no así para el fraccionamiento y cuantificación de PNA. Los valores previos obtenidos durante el proceso de extracción fueron bastante uniformes y de acuerdo con los reportados en investigaciones previas. El porcentaje de materia seca promedio fue 5.55 %, valor muy cercano al 5.4 % reportado por Reinders y Thier (1998) y 6% por Zambrano (1995); el contenido de SIA promedio fue de 11.3 g/kg fruto fresco, diferente al reportado (20.3) pero dentro del rango de 10-20 % por Reinders y Thier y debajo de los reportados por Zambrano (1995).



¹ A: fracción I (pectinas de alta metoxilación), B: fracción II (pectinas de baja metoxilación + sales de EDTA), C: fracción III (hemicelulosas libres + sales de etóxido de sodio), D: fracción IV (hemicelulosas asociadas + sales de etóxido de sodio). ² RMP: Recepción Materia Prima; E: Escaldado; D: Despulpado; DL: Drenaje de Líquidos; ³ Tratamientos 100 % madurez, 50-75% (1:1) ⁴ SIA: sólidos insolubles en alcohol

Figura 4. Resultados del fraccionamiento de polisacáridos no Almidonáceos (PNA) durante el procesamiento para los tratamientos.

En cuanto al fraccionamiento y cuantificación del contenido de PNA se estableció que no fue efectivo basado en los resultados durante esta parte. Cada fracción es muy diferente al reportado por Reinders y Thier en los cuales la mayoría de los SIA están constituidos por las fracciones I y III. Los resultados para fracción V (reportado como el precipitado obtenido después de la separación de precipitados formados en la neutralización de la fracción IV) y VI no son mostrados debido a que a diferencia con resultados anteriores no se formaron precipitados después de la precipitación con etanol en la fracción IV y que las celulosas (VI) son menos significativas en cuanto a la intervención en atributos como viscosidad cuando son comparados con pectinas y hemicelulosas. Nuevos estudios podrían mostrar mejores resultados modificando los medios utilizados para la adaptación y haciendo comparaciones con valores obtenidos por cromatografía líquida, cromatografía de gases y permeabilidad de gel.

4. CONCLUSIONES

- El rendimiento en la producción de pasta fue de 40 a 90 % para las operaciones y 40-45 % en el final. No se encontraron diferencias significativas en el rendimiento al utilizar diferentes puntos de madurez, a excepción del despulpado.
- El contenido de sólidos insolubles en alcohol (SIA) osciló entre 180 a 360 g/kg pasta seca. Se determinó que la adaptación del método fue efectiva para la extracción de SIA en estas condiciones.
- El contenido de SIA no presentó diferencias significativas entre los tratamientos pero sí entre las operaciones especialmente en muestras de 100% de nivel de madurez. Así también mostró una relación inversa con el rendimiento.
- Existió dificultad para uniformizar el fraccionamiento del método. Para las fracciones II, III y IV se formaron sales de EDTA y Etóxido de sodio lo cual limitó la inferencia sobre los resultados al analizar los métodos de forma gravimétrica.

5. RECOMENDACIONES

- Llevar a cabo un experimento con mayores repeticiones para aumentar la confiabilidad sobre la determinación de diferencias significativas en cuanto al rendimiento con diferentes estados de madurez.
- Realizar análisis proximales a las muestras desengrasadas de SIA para obtener información más detallada (PNA, cenizas y proteínas) y así obtener datos preliminares que permitan ser comparados con los resultados obtenidos en el fraccionamiento y también pueda determinar la relación entre el rendimiento y el contenido de PNA.
- Conducir estudios posteriores que evalúen diferentes métodos para evitar la formación de sales o bien aislar los PNA de los mismos y así obtener resultados confiables de forma gravimétrica.
- Someter las muestras de extractos de PNA y sales a los procesos de derivatización para determinación del patrón de monosacáridos por HPLC/GC y así evaluar la posibilidad de adaptación del método completo

6. LITERATURA CITADA

ACOREX. 2007. Un momento decisivo para el tomate de industria. Agricultura Familiar en España. 146-147. 2007.

AOAC International. 2000. AOAC Official Method 993.19. Soluble Dietary Fiber in Food and Food Products. 45.4.08

AOAC International. 2006. AOAC Official Method 2001.3. Dietary Fiber containing Supplemented Resistant Maltodextrin (RMD). 45.4.13.

FAO *et al.* 1997. Carbohydrates in human nutrition. FAO corporate Document repository.

FAO *et al.* 2010. Producción mundial de tomate. Base de datos FAOSTAT. FAO dirección de estadística.

Baquero, L. *et al.* 2005. Catalasa, peroxidasa y polifenoloxidasa en pitaya amarilla *Acanthocereus pitajaya*, maduración y senescencia. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia. Vol 10 no 2. 2005 49.

Bartley I, Knee M. 1982. The Chemistry of Textural Changes in Fruit During Storage. Food Chem. 1982;9:47-58.

Bongui C, Pagni S, Vidrih R, Ramina A, Tonutti P. 1996. Cell Wall Hydrolases and Amylase in Kiwifruit Softening. Postharvest Biol and Tech. 1996;9:19-29.

Brummell, D.A. y Hapster M. 2001. Cell wall metabolism in fruit softening and quality and its manipulation in transgenic plants. Plant Molecular Biology. 47: 311-340.

DeVries, J.W. 1999. A Historical Perspective on Defining Dietary Fiber. American Association of Cereal Chemists, Inc. W-1999-0423-01O. W8079 0254-4725, version 66.

Lee, S. 2009. Dietary Fiber Analysis. Kellogg Company. 201-211. Consultado en línea en Octubre 13. Disponible en: http://www.nutrientdataconf.org/PastConf/NDBC17/8-2_Lee.pdf

Lozano, J. sf. Componentes de calidad en el tomate. INTA. Artículo Énfasis Alimentación Online. Consultado en julio de 2010. Disponible en: <http://www.alimentacion.enfasis.com/notas/9141-componentes-calidad-el-tomate>

- Menéndez, O. *et al.* 2006. Cambios en la actividad de α -amilasa, pectinmetilesterasa y poligacturonasa durante la maduración del maracuyá amarilla *Passiflora edulis* var. *Flavicarpa* degener. Asociación Intercencia. Venezuela. 0378-1844.
- Miranda, I. *et al.* 2009. Extracción y medida de actividad de Pectinmetilesterasa en pitaya amarilla *Acanthocereus pitajaya*, enzima relacionada con el ablandamiento. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia. Vol. 14 no. 2, 2009 73-82.
- Priya S, Prabha T, Tharanathan R. 1996. Post-Harvest Biochemical Changes Associated with the Softening Phenomenon in *Capsicum Annuum* Fruits. *Phytochem.* 1996;42:961-966.
- Reinders, G. y Their, H. P. 1998. Non-star polyssacharides of tomatoes: Characterizing pectins and hemicelluloses. *Eur Food Res Technol* 209:43-46.
- Reinders, G. y Their, H. P. Their. 1998. Non-star polyssacharides of tomatoes: Influence of thermal process. *Eur Food Res Technol* 209:47-51.
- Rick, C. 1978. The tomato. *Scientific American* 239(2):77-81.
- Rodríguez, J. *et al.* 2006. Estudio de la actividad enzimática de poligacturonasa en la corteza de pitaya amarilla *Acanthocereus pitajaya*. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia.
- Shackel, K. A., Greve, C., Labavitch, J. M. and Ahmadi, H. 1991. Cell turgor changes associated with ripening in tomato pericarp tissue. *Plant Physiol.* 97: 814–816.
- Tucker, G.A., Robertson, N.G. and Grierson, D. 1980. Changes in polygalacturonase isoenzymes during the 'ripening' of normal and mutant tomato fruit. *Eur. J. Biochem.* 112: 119–124.
- Vincenzi F. 2006. Proceso de elaboración de la salsa de tomate. Consultado en línea en octubre de 2011. Disponible en: <http://www.monografias.com/trabajos40/salsa-de-tomate/salsa-de-tomate.shtml>
- Warrilow, A.G.S., Turner, R.J. and Jones, M.G. 1994. A novel form of pectinesterase in tomato. *Phytochemistry* 35: 863–868.
- Yoshida *et al.* 1983. Effect of Heat Treatment on the Development of Polygalacturonase Activity in Tomato Fruit during Ripening. *Plant Cell Physiol* (1984) 25 (3): 505-509.
- Zambrano *et al.* 1995. Efecto del estado de madurez en la composición y calidad de frutos de tomate. *Agronomía Tropical* 46(1):61-7

7. ANEXOS

Anexo 1. Hoja para registro de datos durante producción de pasta y obtención de SIA.

Hoja de Resultados preliminares							
Tesis: PNA y pasta de Tomate- Rándol J Rodríguez							
Tratamiento		Tomate 100 % madurez. Rep 1					
Fase	Muestra	1 Recepción de MP	2 Escaldado	3 Despulpado	4 Drenaje de líquidos	OBSERVACIONES	
Producción de Pasta	P Inicial	7.1	8.5	6.97	4.9		
	P m+ (r)						
	Pérdida	0	1.53	2.07	3.75		
	R Total	7.1	6.97	4.9	1.15		
Viscosidad	1	N/A	N/A	N/A			
	2						
	3						
Color (L,a,b)	1	N/A	N/A	N/A			
	2						
	3						
Extracción de Sólidos Insolubles en Alcohol (SIA)	Recepción/ Trituración	P Inicial		780.8	695.3	694.4	
		%Humedad	6	4.55	4.72	5.46	
		Pasta	506.5	677.8	661.1	396.86	
	Tamizado	Pérdida (14,18,100)	461.8	468.7			
			380.8	378.8			
		Desecho	536.8	549.7			
	Lavado Etanol	Pasta filtrada	234.8	327.1	423.6	253.4	
		Pérdida Pasta Lavado 1				5.47	
	Secado 1	Krisol					
		Krisol + Ph					
		Krisol + Ps		6.2	6.6		
	Macerado	Inicial					
		Pérdida					
		Final					
	Desengrasado o Soxhlet	Inicial					
Final		7.5	4.6	5.32	7.7		
	gr AIS/gkg Pasta	31.94208	14.062978	12.559018	30.38674		
	Ajuste	14.808	6.787	8.047	19.402		
	gr AIS/g MS	246.792	149.157	170.491	355.354		

Anexo 2 Hoja de registro de datos durante la separación o fraccionamiento y cuantificación de PNA.

Hoja de Resultados preliminares						
Tesis: PNA y pasta de Tomate- Rándol J Rodríguez						
		Tratamiento	Tomate 100 % madurez. Rep 1			
Separación Fraccionada SIA	Fracción I	Krisol	38.5345	29.7131	21.8105	35.334
		Celite	0.4982	0.5013	0.5002	0.5029
		Krisol + Ps	39.1359	30.283	22.3655	35.6272
	Fracción II	Krisol	28.4079	29.4234	33.1034	33.4892
		Celite	0.4981	0.5039	0.5053	0.4974
		Krisol + Ps	30.0143	31.689	35.0706	35.2109
	Fracción III	Krisol	32.7447	35.2137	30.0343	33.4787
		Celite	0.5066	0.5028	0.5051	0.5009
		Krisol + Ps	35.8611	38.6592	33.5316	36.0907
	Fracción IV	Krisol	36.1808	27.9096	34.4899	38.5313
		Celite	0.499	0.4027	0.4943	0.5074
		Krisol + Ps	41.0147	31.8607	44.1691	41.8307
	Fracción V	Krisol				
		Celite				
		Krisol + Ps				
CONTENIDO DE PNA						
Cuantificación de PNA	Fracción I	Ps Muestra	0.1032	0.0686	0.0548	0.0000
		PNA/200ml	0.4128	0.2744	0.2192	0.0000
		grPNA/100grSIA	2.7878	4.0432	2.7239	0.0000
	Fracción II	Ps Muestra	1.1083	1.7617	1.4619	1.2243
		PNA/200ml	4.4332	7.0468	5.8476	4.8972
		PNA/100grSIA	29.9389	103.8331	72.6663	25.2403
	Fracción III	Ps Muestra	2.6098	2.9427	2.9922	2.1111
		PNA/200ml	10.4392	11.7708	11.9688	8.4444
		PNA/100grSIA	70.4994	173.4402	148.7326	43.5227
	Fracción IV	Ps Muestra	4.3349	3.5484	9.1849	2.7920
		PNA/200ml	17.3396	14.1936	36.7396	11.1680
		PNA/100grSIA	117.1001	209.1396	456.5517	57.5602
	Fracción V	Ps Muestra				
		PNA/200ml				
		PNA/100grSIA				
TOTAL	Ps Muestra	8.1562	8.3214	13.6938	6.1274	
	PNA/200ml	32.6248	33.2856	54.7752	24.5096	
	PNA/100grSIA	220.3261	490.4561	680.6745	126.3231	

303246