

**EFFECTO DE LA APLICACIÓN DE UN RECUBRIMIENTO DE ALMIDÓN DE YUCA  
MODIFICADO POR VÍA ÁCIDA SOBRE EL TOMATE LARGA VIDA (*Solanum  
lycopersicum*)**



**NELSY HOYOS YELA**

**ROCÍO PÉREZ IMBACHÍ**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL  
POPAYÁN  
2017**

**EFFECTO DE LA APLICACIÓN DE UN RECUBRIMIENTO DE ALMIDÓN DE YUCA  
MODIFICADO POR VÍA ÁCIDA SOBRE EL TOMATE LARGA VIDA (*Solanum  
lycopersicum*)**



**NELSY HOYOS YELA**

**ROCÍO PÉREZ IMBACHÍ**

**Trabajo de grado en la modalidad de investigación para optar al título de Ingenieras  
Agroindustriales**

**Director**

**Mg. Sc. Silvio Andrés Mosquera Sánchez**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL  
POPAYÁN  
2017**

## CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	19
1. MARCO TEÓRICO	21
1.1 TOMATE	21
1.1.1 Defectos de calidad	21
1.2 YUCA	22
1.3 ALMIDÓN	22
1.4 MÉTODOS DE MODIFICACIÓN DEL ALMIDÓN DE YUCA	22
1.5 RECUBRIMIENTOS COMESTIBLES	24
1.6 MICROSCOPIA	24
1.6.1 Microscopía de luz (óptica)	24
1.6.2 Microscopía electrónica	24
1.7 POS-COSECHA	24
1.7.1 Manipulación pos-cosecha	25
1.7.2 Pérdidas pos-cosecha	25
1.7.3 Pos-cosecha del tomate	25
2. METODOLOGÍA	26
2.1 LOCALIZACIÓN	26
2.2 MATERIALES	26
2.2.1 Tomate	26
2.2.2 Almidón de Yuca	26

	<b>Pág.</b>
2.3 INSUMOS	26
2.3.1 Ácido cítrico monohidrato	26
2.3.2 Agente antimicrobiano	26
2.3.3 Glicerina	26
2.3.4 Tween 80	26
2.4 EQUIPOS	27
2.4.1 Equipos usados en las pruebas preliminares de la modificación del almidón	27
2.4.2 Equipos usados en la modificación del almidón	27
2.4.3 Equipos usados en la elaboración del recubrimiento	28
2.4.4 Equipos usados en la medición de variables	28
2.4.5 Equipos usados en microscopía y microbiología	29
2.5 MÉTODOS	30
2.5.1 Pruebas preliminares de la modificación de almidón de yuca variedad SM 707-17 con ácido cítrico	30
2.5.2 Pruebas adicionales para verificar la modificación de almidón de yuca variedad SM 707-17	30
2.5.2.1 Caracterización reológica de suspensiones de almidón	30
2.5.2.2 Determinación de temperaturas de transición térmica de polímeros por Calorimetría de Barrido Diferencial (DSC)	31
2.5.3 Acondicionamiento del fruto	31
2.5.3.1 Selección y clasificación	31
2.5.3.2 Limpieza y desinfección	32
2.5.4 Modificación del almidón	32
2.5.5 Preparación del recubrimiento	33

	<b>Pág.</b>
2.5.6 Aplicación del recubrimiento	33
2.6 MEDICIÓN DE VARIABLES	33
2.6.1 Contenido de Sólidos Solubles Totales (SST)	33
2.6.2 Firmeza	33
2.6.3 Índice de acidez - pH	33
2.6.4 Acidez titulable	33
2.6.5 Tasa de respiración	34
2.6.6 Pérdida de peso	34
2.6.7 Color	34
2.6.8 Crecimiento microbiano	35
2.6.9 Estructura de la epidermis del tomate	35
2.7 DISEÑO EXPERIMENTAL	35
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	37
3.1 PRUEBAS PRELIMINARES DE LA MODIFICACIÓN DE ALMIDÓN DE YUCA VARIEDAD SM 707-17 CON ÁCIDO CÍTRICO	37
3.2 PRUEBAS ADICIONALES PARA VERIFICAR LA MODIFICACIÓN DE ALMIDÓN DE YUCA SM 707-17	37
3.2.1 Caracterización reológica de suspensiones de almidón	38
3.2.2 Determinación de temperaturas de transición térmica de polímeros por Calorimetría de Barrido Diferencial (DSC)	43
3.2.3 Observación microscópica del gránulo de almidón de yuca para almidones nativo y modificado con ácido cítrico y enzimáticamente	48
3.3 VARIABLES DE RESPUESTA	49
3.3.1 Muestras independientes con comportamiento bajo distribución normal	50
3.3.1.1 Sólidos Solubles Totales (SST)	50

	<b>Pág.</b>
3.3.1.2 Firmeza	51
3.3.2 Muestras independientes con comportamiento bajo distribución no normal	53
3.3.2.1 Índice de acidez - pH	53
3.3.2.2 Acidez Titulable	54
3.3.3 Muestras relacionadas con comportamiento bajo distribución normal	56
3.3.3.1 Tasa de Respiración (Porcentaje de O <sub>2</sub> )	56
3.3.3.2 Tasa de Respiración (Porcentaje de CO <sub>2</sub> )	57
3.3.3.3 Porcentaje de pérdida de peso (%PP)	59
3.3.3.4 Color	61
Parámetro L	61
Parámetro a* (+127)	63
Parámetro b*	65
Parámetro C	66
Parámetro h°	68
3.3.4 Crecimiento Microbiano	70
3.3.4.1 Características macro morfológicas y descripción microscópica de hongos que inician el deterioro y degradación en el fruto del tomate	70
3.3.5 Caracterización microscópica del exocarpo del tomate	77
3.3.5.1 Partes del tomate (fruto desarrollado)	77
3.3.5.2 Estructura del exocarpo del tomate	77
3.3.5.3 Microscopía Óptica de Alta Resolución (MOAR)	77
3.3.5.4 Microscopía Electrónica de Transmisión (MET)	80

	<b>Pág.</b>
4. CONCLUSIONES	82
5. RECOMENDACIONES	84
BIBLIOGRAFÍA	85
ANEXOS	96

Nota de aceptación:

El director y los jurados han leído el presente documento, escucharon la sustentación del mismo por sus autoras y lo encuentran satisfactorio.

---

**Silvio Andrés Mosquera Sánchez**  
Director

---

**Sandra Patricia Paz Peña**  
Presidente del Jurado

---

**Carmeza Liliana López Patiño**  
Jurado

Popayán, Febrero 20 de 2017

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Grados de madurez del tomate	32
Figura 2. Viscoamilograma de almidón de yuca variedad SM 707-17 modificado con ácido cítrico	39
Figura 3. Viscoamilograma de almidón de yuca variedad SM 707-17 sin ácido cítrico (muestra testigo)	40
Figura 4. Termograma de DSC para almidón de yuca variedad SM 707-17 modificado con ácido cítrico	43
Figura 5. Termograma de DSC para almidón de yuca variedad SM 707-17 sin ácido cítrico	44
Figura 6. Temperatura de transición vítrea (Tg) de almidón de yuca variedad SM 707-17 modificado con ácido cítrico.	45
Figura 7. Temperatura de transición vítrea (Tg) de almidón de yuca variedad SM 707-17 sin ácido cítrico.	46
Figura 8. Punto de fusión de almidón de yuca variedad SM 707-17 modificado con ácido cítrico	47
Figura 9. Punto de fusión de almidón de yuca variedad SM 707-17 sin ácido cítrico	48
Figura 10. Micrografías de gránulos de almidón de yuca variedad SM 707-17	49
Figura 11. Comportamiento de los Sólidos Solubles Totales	51
Figura 12. Comportamiento de la firmeza	52
Figura 13. Comportamiento del pH	53
Figura 14. Comportamiento de la Acidez titulable	55
Figura 15. Comportamiento del porcentaje de O <sub>2</sub>	57
Figura 16. Comportamiento del porcentaje de CO <sub>2</sub> durante el tiempo de medición	58
Figura 17. Porcentaje de pérdida de peso	60
Figura 18. Evolución del parámetro L en maduración pos-cosecha del tomate larga vida variedad Indaba	62

	<b>Pág.</b>
Figura 19. Evolución del parámetro a* en maduración pos-cosecha del tomate larga vida variedad Indaba	64
Figura 20. Evolución del parámetro b* en maduración pos-cosecha del tomate larga vida variedad Indaba	66
Figura 21. Evolución del parámetro C en maduración pos-cosecha del tomate larga vida variedad Indaba	67
Figura 22. Evolución del parámetro h° en maduración pos-cosecha del tomate larga vida variedad Indaba	69
Figura 23. Características macromorfológicas de <i>Colletotrichum sp.</i> (Anverso)	71
Figura 24. Microfotografía del hongo <i>Colletotrichum sp.</i> (realizada en Microscopio Óptico de Alta Resolución (MOAR), marca Nikon, modelo Microphot)	71
Figura 25. Evolución del hongo <i>Colletotrichum sp.</i> y <i>Fusarium sp.</i> que inician el deterioro del tomate	72
Figura 26. Ataque fúngico sobre la cutícula de un tomate	73
Figura 27. Características macromorfológicas de <i>Fusarium Sp.</i> (Anverso)	74
Figura 28. Microfotografía del hongo <i>Fusarium sp.</i> (realizada en Microscopio Óptico de Alta Resolución (MOAR), marca Nikon, modelo Microphot)	74
Figura 29. Muestra testigo	76
Figura 30. Recubrimiento con almidón modificado enzimáticamente	76
Figura 31. Recubrimiento con almidón modificado con ácido cítrico	76
Figura 32. Recubrimiento con almidón nativo	76
Figura 33. Partes del tomate (fruto desarrollado)	77
Figura 34. Exocarpo de tomate Muestra testigo 10X (T1)	78
Figura 35. Exocarpo de tomate Muestra testigo 40X (T1)	78
Figura 36. Exocarpo de tomate con recubrimiento de almidón modificado enzimáticamente 10X (T2)	78

	<b>Pág.</b>
Figura 37. Exocarpo de tomate con recubrimiento de almidón modificado enzimáticamente 40X (T2)	78
Figura 38. Exocarpo de tomate con recubrimiento de almidón modificado con ácido cítrico 10X (T3)	79
Figura 39. Exocarpo de tomate con recubrimiento de almidón modificado con ácido cítrico 40X (T3)	79
Figura 40. Exocarpo de tomate con recubrimiento de almidón nativo 10X (T4)	79
Figura 41. Exocarpo de tomate con recubrimiento de almidón nativo 40X (T4)	79
Figura 42. MET en Exocarpo de tomate Muestra testigo 2500X (T1)	81
Figura 43. MET en Exocarpo de tomate con recubrimiento de almidón modificado enzimáticamente 2500X (T2)	81
Figura 44. MET en Exocarpo de tomate con recubrimiento de almidón modificado con ácido cítrico 2500X (T3)	81
Figura 45. MET en Exocarpo de tomate con recubrimiento de almidón nativo 2500X (T4)	81

## LISTA DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1. Composición nutricional del tomate por 100 g de tomate fresco	21
Cuadro 2. Resultados obtenidos a partir de los viscoamilogramas realizados en almidón de yuca variedad SM 707-17 modificado con ácido cítrico y almidón de yuca variedad SM 707-17 sin ácido cítrico (muestra testigo)	38
Cuadro 3. Valores de Temperatura de transición vítrea (Tg) para almidón de yuca variedad SM 707-17 modificado con ácido cítrico y sin ácido cítrico.	45
Cuadro 4. Valores de Temperatura de fusión (Tm) y Entalpía ( $\Delta H_m$ ) para almidón de yuca variedad SM 707-17 modificado con ácido cítrico y sin ácido cítrico.	47
<b>Anexo A. Datos promedio de las mediciones de las variables de respuesta</b>	
Cuadro 5. Sólidos Solubles Totales	96
Cuadro 6. Firmeza	96
Cuadro 7. pH	97
Cuadro 8. Acidez titulable	97
Cuadro 9. Tasa de respiración porcentaje (%) de O <sub>2</sub>	98
Cuadro 10. Tasa de respiración porcentaje (%) de CO <sub>2</sub>	98
Cuadro 11. Porcentaje (%) de pérdida de peso acumulado	99
Cuadro 12. Color parámetro L	99
Cuadro 13. Color parámetro a*	100
Cuadro 14. Color parámetro b*	100
Cuadro 15. Color parámetro C	101
Cuadro 16. Color parámetro h°	101
<b>Anexo B. Análisis estadístico de Sólidos Solubles Totales</b>	
Cuadro 17. ANOVA para Sólidos Solubles Totales (°Brix)	102

	<b>Pág.</b>
Cuadro 18. Prueba de homogeneidad de varianzas	102
Cuadro 19. Prueba de comparaciones múltiples T3 de Dunnet respecto al factor Tiempo	102
<b>Anexo C. Análisis estadístico de firmeza</b>	
Cuadro 20. ANOVA para firmeza	103
Cuadro 21. Prueba de homogeneidad de varianzas	103
Cuadro 22. Prueba de comparaciones múltiples T3 de Dunnet para el factor Tiempo	103
<b>PRUEBAS NO PARAMÉTRICAS</b>	
<b>Anexo D. Análisis estadístico de pH</b>	
Cuadro 23. Prueba de Kruskal-Wallis para el factor Recubrimiento	104
Cuadro 24. Prueba de Kruskal-Wallis para el factor Tiempo	104
Cuadro 25. Prueba U de Mann Withney para el factor Tiempo	104
<b>Anexo E. Análisis estadístico de acidez titulable</b>	
Cuadro 26. Prueba de Kruskal Wallis para el factor Recubrimiento	105
Cuadro 27. Prueba de Kruskal Wallis para el factor Tiempo	105
Cuadro 28. Prueba de U Mann Withney para el factor Tiempo	105
<b>PRUEBAS PARAMÉTRICAS DE MEDIDAS REPETIDAS PARA MUESTRAS RELACIONADAS</b>	
<b>Anexo F. Análisis estadístico de porcentaje (%) de O<sub>2</sub></b>	
Cuadro 29. Prueba ANOVA de medidas repetidas para el factor Tiempo	106
Cuadro 30. Prueba ANOVA de medidas repetidas para el factor Recubrimiento	107

	<b>Pág.</b>
Cuadro 31. Prueba de homogeneidad de varianzas para el factor Tiempo	107
Cuadro 32. Prueba de Tukey para porcentaje (%) de O <sub>2</sub> respecto a tipo de Recubrimiento	107
 <b>Anexo G. Análisis estadístico de porcentaje (%) de CO<sub>2</sub></b>	
Cuadro 33. Prueba ANOVA de medidas repetidas para el factor Tiempo	108
Cuadro 34. Prueba de homogeneidad de varianzas respecto a Tiempo	109
Cuadro 35. Prueba T3 de Dunnet para el factor Tiempo	109
Cuadro 36. Prueba ANOVA de medidas repetidas para el factor Recubrimiento	109
Cuadro 37. Prueba de Tukey para el factor Recubrimiento	110
 <b>Anexo H. Análisis estadístico de porcentaje (%) de pérdida de peso</b>	
Cuadro 38. ANOVA para el factor Tiempo	111
Cuadro 39. Prueba de homogeneidad de varianzas para porcentaje (%) de pérdida de peso respecto al Tiempo	112
Cuadro 40. Prueba T3 de Dunnet para porcentaje (%) de pérdida de peso respecto al Tiempo	112
Cuadro 41. ANOVA para el factor Recubrimiento	112
Cuadro 42. Prueba de Tukey para el factor Recubrimiento	112
 <b>Análisis estadístico de color</b>	
 <b>Anexo I. Parámetro L</b>	
Cuadro 43. ANOVA de medidas repetidas para el factor Tiempo	113
Cuadro 44. Prueba de Tukey para el factor Tiempo	114
Cuadro 45. ANOVA de medidas repetidas para el factor Recubrimiento	114

	<b>Pág.</b>
Cuadro 46. Prueba de Tukey para el parámetro L respecto a Recubrimiento	114
Cuadro 47. ANOVA para Tratamiento, para el parámetro L	115
Cuadro 48. Prueba de homogeneidad de varianzas	115
Cuadro 49. Prueba de Tukey para los tratamientos	116
<b>Anexo J. Parámetro a*</b>	
Cuadro 50. ANOVA de medidas repetidas para el factor Tiempo	117
Cuadro 51. Prueba de homogeneidad de varianzas para el factor Tiempo	117
Cuadro 52. Prueba T3 de Dunnet para el factor Tiempo	117
Cuadro 53. ANOVA para Tratamiento	118
Cuadro 54. Prueba de homogeneidad de varianzas	118
Cuadro 55. ANOVA de medidas repetidas para el factor Recubrimiento	118
Cuadro 56. Prueba de Tukey para el factor Recubrimiento	118
<b>Anexo K. Parámetro b*</b>	
Cuadro 57. ANOVA de medidas repetidas para el factor Tiempo e interacción de los factores	119
Cuadro 58. ANOVA de medidas repetidas para el factor Recubrimiento	119
Cuadro 59. Prueba de Tukey respecto al Tiempo	120
Cuadro 60. Prueba de Tukey para el factor Recubrimiento	120
<b>Anexo L. Parámetro C</b>	
Cuadro 61. ANOVA de medidas repetidas para el factor Tiempo	121
Cuadro 62. ANOVA de medidas repetidas para el factor Recubrimiento	121
Cuadro 63. Prueba de Tukey para el factor Recubrimiento	121

	<b>Pág.</b>
Cuadro 64. ANOVA para el factor Tiempo	122
Cuadro 65. Prueba de homogeneidad de varianzas para el factor Tiempo	122
Cuadro 66. Prueba de Tukey para Tiempo	122
 <b>Anexo M. Parámetro <math>h^\circ</math></b>	
Cuadro 67. ANOVA de medidas repetidas para Tiempo	123
Cuadro 68. ANOVA de medidas repetidas para el factor Recubrimiento	123
Cuadro 69. ANOVA para el factor Tiempo	124
Cuadro 70. Prueba de homogeneidad de varianzas para el factor Tiempo	124
Cuadro 71. Prueba de Tukey para el factor Tiempo	124
Cuadro 72. Prueba de Tukey para el factor Recubrimiento	124

## LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO A. DATOS PROMEDIO DE LAS MEDICIONES DE LAS VARIABLES DE RESPUESTA	96
ANEXO B. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE SÓLIDOS SOLUBLES TOTALES	102
ANEXO C. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE FIRMEZA	103
PRUEBAS NO PARAMÉTRICAS	
ANEXO D. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE pH	104
ANEXO E. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE ACIDEZ TITULABLE	105
PRUEBAS PARAMÉTRICAS DE MEDIDAS REPETIDAS PARA MUESTRAS RELACIONADAS	
ANEXO F. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE PORCENTAJE (%) DE O <sub>2</sub>	106
ANEXO G. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE PORCENTAJE (%) DE CO <sub>2</sub>	108
ANEXO H. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE PORCENTAJE (%) DE PÉRDIDA DE PESO	111
ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE COLOR	
ANEXO I. PARÁMETRO L	113
ANEXO J. PARÁMETRO a*	117
ANEXO K. PARÁMETRO b*	119
ANEXO L. PARÁMETRO C	121
ANEXO M. PARÁMETRO h°	123

## RESUMEN

El tomate (*Solanum Lycopersicum*) es fuente de vitaminas A, B1, B2, B6, C y E, y de minerales como fósforo, potasio, magnesio, manganeso, zinc, cobre, sodio, hierro y calcio. Tiene un importante valor nutricional ya que incluye proteínas, hidratos de carbono, fibra, ácido fólico, ácido tartárico, ácido succínico y ácido salicílico: el aporte de cada 100 gramos (g) de nutrientes del tomate en agua es de 93,5% (Cámara de Comercio de Bogotá [CCB], 2015) lo que hace que sea un fruto perecedero que sufre deterioro rápidamente, disminuyendo su tiempo de vida útil, por lo que la aplicación en tomates de tratamientos pos-cosecha destinados a preservar su calidad y alargar su vida comercial resulta ser decisiva (Hernández, 2013). En el presente trabajo el objetivo fue evaluar el comportamiento pos-cosecha del tomate bajo condiciones ambientales luego de aplicar un recubrimiento con base en almidón de yuca modificado por vía ácida, determinando su efecto en las características fisicoquímicas, microbiológicas y estructurales. La modificación de almidón nativo de yuca variedad SM 707-17 se realizó mediante adición de ácido cítrico (en concentración de 15% p/p respecto al almidón en base seca) a una suspensión de almidón sometida a condiciones de temperatura y velocidad de agitación controladas; con el almidón modificado resultante se generó un recubrimiento con formulación aplicada en estudios anteriores. El efecto de este recubrimiento se comparó con el efecto de la aplicación de otros recubrimientos elaborados con base en almidón modificado enzimáticamente y almidón nativo; siendo T1: muestra testigo; T2: recubrimiento con almidón modificado enzimáticamente; T3: recubrimiento con almidón modificado con ácido cítrico y T4: recubrimiento con almidón nativo. Los recubrimientos se aplicaron manualmente con esponja limpia y estéril, posteriormente se colocaron en bandejas debidamente rotuladas dejando secar durante 24 horas (h) a temperatura ambiente, a partir de las cuales se inició la medición de las variables (sólidos solubles totales, firmeza, pH, acidez titulable, tasa de respiración, pérdida de peso, color, crecimiento microbiano y caracterización microscópica del exocarpo del tomate) durante 15 días, aplicando un diseño factorial completamente al azar 4x6 donde se tuvo en cuenta el tipo de muestras (relacionadas e independientes); los datos obtenidos se analizaron mediante el software SPSS versión 19 con el cual se encontró que el factor "Recubrimiento" no influyó sobre las variables de respuesta analizadas, a diferencia del factor "Tiempo" que tuvo efecto decisivo sobre las mismas.

**Palabras clave.** Almidón de yuca, Modificación, Ácido cítrico, Tomate, Recubrimiento.

## INTRODUCCIÓN

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, 2014) en el mundo se pierden o desperdician aproximadamente 1.300 millones de Toneladas (Ton) de alimentos cada año, mientras que las pérdidas pos-cosecha de frutas y hortalizas se estiman entre 40 y 50% debido a que son tejidos vivos que están sujetos a continuos cambios después de la cosecha y durante el almacenamiento ya que continúan respirando, es decir consumiendo oxígeno (O<sub>2</sub>) y desprendiendo dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) (Pérez, del Río, y Rojas, s.f.).

A nivel mundial, en el año 2012 se produjeron 161.793.834 Ton de tomate, siendo China el principal productor con 50.000.000 Ton, seguido por India con 17.500.000 Ton, Estados Unidos con 13.206.950 Ton, Turquía con 11.350.000 Ton y Egipto con 8.625.219 Ton (CCB, 2015). Se estima que más del 70% de la producción total mundial es aportada por los diez principales países productores; Colombia, con 14.855 Hectáreas (Ha) y rendimiento promedio de 28,1 Ton/Ha ocupa el lugar 34 en producción en el mundo (Fondo para el Financiamiento del Sector agropecuario [FINAGRO], s.f.). Para el año 2013 en Colombia se produjeron 412.351,2 Ton, siendo Norte de Santander el principal departamento productor con 119.787 Ton, seguido por Antioquia con 47.110 Ton, Boyacá con 46.638 Ton, Santander con 42.924 Ton y Cundinamarca con 26.851 Ton (CCB, 2015); convirtiéndose el tomate en una de las principales líneas productivas, ubicándose en tercer lugar después del plátano y la papa. El tomate es la principal hortaliza consumida en Colombia dado que abastece aproximadamente el 59% de la población (Asociación Hortifrutícola de Colombia [ASOHOFrucol], 2014), en el Departamento del Cauca la producción de tomate en el año 2014 fue de 6.418 Ton con un porcentaje de participación en la producción nacional de 2,76% (Red de Información y Comunicación del Sector Agropecuario Colombiano [AGRONET], 2016).

El tomate tiene vida útil entre 7 y 10 días en condiciones óptimas de almacenamiento (10 a 12,5°C y 90 a 95% de Humedad Relativa) aunque tiende a deshidratarse (Corporación Colombia Internacional [CCI], s.f.) por ser climatérico y cuya maduración está acompañada por cambios en el sabor, color, aroma, textura y pérdida de firmeza debido a cambios físicos y químicos asociados con la degradación de la pared celular y la solubilización de las pectinas por las enzimas Pectinesterasa (PE), Poligalacturonasa (PG), Pectatoliasa (PL) (San Martín, Ordaz, Sánchez, Beryl, y Borges, 2012). Debido a su manipulación constante e inapropiada desde el momento de cosecha, con el empleo de canastillas plásticas para recolección y transporte, pasando por la selección, clasificación y almacenamiento (Carmen y Loba, 2010) ocurre contaminación del producto (materiales, cantidad, sobre amontonamiento, etc) y la aparición de magulladuras, abrasiones, impactos, cortaduras, ataque de insectos (FAO y Programa Cooperativo de Desarrollo Agroindustrial Rural [PRODAR], 2014) que favorecen la aparición de enfermedades causadas por hongos y bacterias tales como *Alternaria*, *Botrytis*, *Diplodia*, *Monilia*, *Penicillium*, *Phomopsis*, *Rhizopus*, *Erwinia* y *Pseudomonas* (Alvarez, 2011).

Debido a los innumerables elementos que ocasionan pérdidas de calidad, se están generando y usando técnicas y tecnologías pos-cosecha para retrasar la senescencia y mantener la calidad del producto durante un mayor tiempo, como por ejemplo la aplicación de recubrimientos (Pérez *et al.*, s.f.).

Teniendo en cuenta el creciente interés por parte de los consumidores de productos naturales, más sanos, seguros y respetuosos con el medio ambiente, en los últimos años se están desarrollando recubrimientos naturales con base en hidrocoloides y ceras naturales, recubrimientos conocidos como “comestibles” o *edible coatings*. La aplicación de recubrimientos crea una barrera semipermeable a gases (creando una atmósfera modificada (AM)) y al vapor de agua, lo que reduce la velocidad de respiración y la deshidratación de los productos recubiertos. Además, estos recubrimientos permiten la incorporación de aditivos alimentarios (agentes antimicrobianos, antioxidantes, sales minerales, etc.) que permiten retardar la aparición de desórdenes fisiológicos como el escaldado superficial, el crecimiento microbiano, la pérdida de textura, etc. (E. Gómez, 2011).

Los almidones nativos tienen propiedades funcionales inherentes a su origen botánico, que pueden ser no específicos para algunas aplicaciones industriales (Gutiérrez, Pérez, Guzmán, Tapia, y Famá, 2014). Dado que algunos almidones nativos no tienen los requisitos funcionales o las propiedades deseadas por el mercado objetivo, por lo que se realizan esfuerzos de modificarlos según sea apropiado y agregarles valor. Los fabricantes de alimentos son más interesados en las propiedades tecnológicas y funcionales de Almidón en alimentos vinculados estrechamente a su comportamiento reológico, las más importantes son la viscosidad, estabilidad al calor, ácido y cizallamiento, penetración de calor. Los almidones modificados se utilizan para mejorar la viscosidad, estabilidad de almacenamiento, parámetros de procesamiento, partículas Integridad, texturas, solubilidad, apariencia, emulsificación entre otros. (Falade y Ayetigbo, 2015). La modificación de sus propiedades puede llevarse a cabo utilizando técnicas químicas, físicas o biológicas, que pueden mejorar o introducir funcionalidad en su estructura. (Gutiérrez *et al.*, 2014) debido a esto se realizó una modificación química de almidón de yuca con adición de ácido cítrico y se evaluó el efecto de su aplicación como recubrimiento en tomate larga vida (*Solanum Lycopersicum*) bajo condiciones ambientales, evaluando pérdida de peso, firmeza, sólidos solubles, acidez titulable, pH, tasa de respiración, color, crecimiento microbiano y estructura del exocarpo.

## 1. MARCO TEÓRICO

### 1.1 TOMATE

El tomate pertenece a la familia Solanaceae y al género *Lycopersicum esculentum*; es rico en vitaminas (A, B1, B2, B6, C, E) y minerales (fósforo, potasio, magnesio, manganeso, zinc, cobre, sodio, hierro y calcio), proteínas, carbohidratos, fibra, ácidos (fólico, tartárico, succínico y salicílico), (Cuadro 1); y licopeno, pigmento que proporciona su color rojo característico (Jaramillo *et al.*, 2013).

**Cuadro 1. Composición nutricional del tomate por 100 g de tomate fresco.**

Elemento	Cantidad	Elemento	Cantidad
Agua	93,50%	Calcio	7 mg
Proteína	0,9	Hierro	0,7 mg
Grasa	0,1	Vitamina A	1,1 UI
Calorías	23 kcal	Vitamina B1	0,05mg
Carbohidratos	3,3	Vitamina B2	0,02mg
Fibra	0,8	Vitamina C	20mg
Fósforo	19mg	Niacina	0,6mg

**Fuente.** (CCB, 2015)

**1.1.1 Defectos de calidad.** Dentro de los defectos críticos que comprometen la calidad y vida pos-cosecha de los tomates están la podredumbre, inmadurez o sobre madurez, golpes o escaldaduras de sol, daños por helada, pudrición apical, heridas y lesiones graves. En los defectos no críticos se encuentran heridas y lesiones leves, manchas (incluye maduración irregular) y frutos huecos o deformados. Existen enfermedades causantes de daños en los frutos que pueden aparecer en campo y en almacenamiento, como las ocasionadas por hongos (*Alternaria alternata* (pudrición negra, black mold rot), *Botrytis cinerea* (pudrición por moho gris, gray mold rot), *Geotrichum* (pudrición ácida, sour rot), *Rhizopus stolonifer* (pudrición algodonosa, hairy rot)) y bacterias causantes de pudrición blanda bacteriana (bacterial soft rot) causada por *Erwinia spp.* Aunque la

epidermis del tomate ofrece protección ante las infecciones, se daña fácilmente con la manipulación en cosecha y pos-cosecha, provocando heridas que favorecen el ingreso de patógenos causantes de podredumbres y pérdidas de calidad del producto (Argerich *et al.*, s.f.).

## 1.2 YUCA

La yuca (*Manihot esculenta Crantz*) es un cultivo muy versátil utilizado por campesinos en más de 100 países. Sus raíces son ricas en carbohidratos, mientras que sus hojas tiernas contienen hasta un 25% de proteínas, hierro, calcio, vitaminas A y C. Además de su importancia como fuente de alimentos y de seguridad alimentaria, la yuca también tiene usos industriales que le dan un gran potencial para estimular el desarrollo industrial rural y aumentar los ingresos (FAO, 2013).

## 1.3 ALMIDÓN

El almidón es un ingrediente popular utilizado en la industria alimentaria para impartir y mejorar propiedades funcionales de varios alimentos procesados. Aunque, en la naturaleza hay muchas fuentes botánicas disponibles de este polímero, sólo unos pocos se utilizan. Los almidones de maíz (*Zea mays*), papa (*Solanum tuberosum*), batata (*Ipomoea batatas*) y yuca (*Manihot esculenta Crantz*) son los más utilizados en la industria alimentaria y no alimentaria por sus propiedades funcionales y por los consumidores al ser un biopolímero natural, barato, disponible, fácil de manejar y ampliamente distribuido en la naturaleza. Los almidones nativos tienen propiedades funcionales inherentes a su origen botánico, que pueden ser no específicos para algunas aplicaciones industriales, sin embargo, la modificación de sus propiedades puede ser provocada por el uso de productos químicos y biológicos, o técnicas físicas, que pueden mejorar o introducir funcionalidad en su estructura (Gutiérrez, Pérez, Guzmán, Tapia, y Famá, 2014)

## 1.4 MÉTODOS DE MODIFICACIÓN DEL ALMIDÓN DE YUCA

El almidón nativo posee ciertas limitaciones que disminuyen su funcionalidad debido a que el grado de ramificación, la relación amilosa-amilopectina, y la distribución del peso molecular en el almidón nativo, sumado a las diferentes condiciones de pH, temperatura y presión empleadas en procesos tecnológicos, favorecen la alteración de propiedades mecánicas, térmicas, estructurales y de barrera, provocando baja resistencia a esfuerzos de corte, descomposición térmica, alto nivel de retrogradación y sinéresis (Bonilla, 2010) De tal manera que se hace necesario hacer uso de diferentes procesos para modificar el almidón como: Reticulado (cross-linking) con fosfatos o adipatos para mejorar la resistencia a altas temperaturas, bajo pH y elevado cizallamiento. El proceso de pre-gelatinización se utiliza para almidones solubles en frío que espesan cuando se añade agua fría o templada, proporcionando una excelente textura a alimentos procesados en frío o instantáneos además mantiene la estructura granular del almidón y reduce la tendencia a formar grumos. La dextrinación o hidrólisis ácida puede utilizarse para reducir la viscosidad del almidón cocido (Pérez, 2017).

**Aplicación de ácidos orgánicos en la modificación del almidón.** Los ácidos orgánicos, incluyendo el ácido láctico, malónico, málico, acético, cítrico y tartárico son encontrados de forma natural en la naturaleza o pueden ser producidos en grande escala,

principalmente por métodos biotecnológicos. Una de las aplicaciones más importantes de los ácidos orgánicos es en la industria alimenticia donde son adicionados como reguladores de acidez, agentes antimicrobianos o aromatizantes (Giopato, 2015).

Estudios han demostrado que los ácidos orgánicos pueden ser utilizados para modificar químicamente las propiedades funcionales del almidón. El ácido cítrico, encontrado ampliamente en frutas cítricas, ha sido utilizado en películas con base en almidón para la promoción de enlaces cruzados (reticulación) entre las cadenas de almidón y mejorar sus propiedades mecánicas (Giopato, 2015).

En estudios realizados por Olsson (2013) de la Facultad de Salud, Ciencia y Tecnología, sobre los efectos del ácido cítrico en revestimientos de barrera realizados con almidón para producir papel recubierto que actúa como barrera contra el agua y el oxígeno, en el cual uno de los enfoques fue usar materiales con base en almidón en aplicaciones de envasado de alimentos usando ácido cítrico como agente de reticulación del almidón, se encontró que la reticulación y la hidrólisis debido a bajo pH fueron efectuados significativamente al igual que las propiedades de barrera, debido al control de estas dos reacciones, se vio que esto podría conducir a la reducción de la permeabilidad a gases, también se encontró que el ácido cítrico puede reticular el almidón a temperatura de 70°C y pH de 6,5.

Zuraida, Yusliza, Anuar, y Mohd (2012) evaluaron el efecto de la adición de agua y ácido cítrico como co-plastificante en las propiedades mecánicas y térmicas en la producción de almidón bioplástico (BPS) con base en almidón de sagú, encontrándose que este mejora las propiedades del BPS por lo que se considera como co-plastificante interno al reaccionar con el almidón.

De otro modo el ácido cítrico fue usado en el estudio realizado por Mercado, Madera, y Yocupicio (2015) en la evaluación de un recubrimiento comestible con base en agar y ácido cítrico aplicado en papa fresca donde el recubrimiento antes mencionado se caracterizó por mantener las características sensoriales y de calidad en la papa, además de reducir la pérdida de agua con respecto a la muestra testigo después de 25 días de almacenamiento.

Además de los estudios nombrados anteriormente, el ácido cítrico tiene innumerables aplicaciones por su agradable sabor, baja toxicidad y otras propiedades físicoquímicas; así el ácido cítrico es uno de los principales aditivos alimentarios, usado como conservador, antioxidante, acidulante y saborizante de alimentos, también es ampliamente utilizado en medicamentos (Muñoz, Sáenz, López, Cantú, y Barajas, 2014).

Por otra parte, en un estudio realizado por Albán, Joaquín, Villada, y Montilla (2014) para evaluar el efecto de la adición de ácido cítrico en las propiedades de tensión y de barrera en películas elaboradas con base en almidón termoplástico de yuca, encontraron que las películas con ácido cítrico presentaron valores bajos de permeabilidad al oxígeno y absorción de agua.

## 1.5 RECUBRIMIENTOS COMESTIBLES

Los recubrimientos comestibles son materiales compuestos por biopolímeros de distinta naturaleza (lípidos, polisacáridos, proteínas), cuya función es alargar la vida útil del alimento, formando una capa alrededor de éste. Los recubrimientos protegen al alimento actuando como barrera a la transferencia de gases (vapor de agua, O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>), aromas y lípidos entre el alimento y el ambiente que lo rodea, ralentizan el deterioro y senescencia del fruto que recubren, proporcionándole mayor vida útil. Los recubrimientos deben ser transparentes, estar exentos de sabores, olores extraños, sustancias nocivas para la salud, estables a distintas condiciones de almacenamiento y ser extensibles para que el alimento quede recubierto de forma homogénea. Los recubrimientos también ofrecen resistencia a daños mecánicos leves, pueden hacer el fruto más apetecible mejorando su apariencia, además de tener un bajo coste, en general, y no contaminar en absoluto, así mismo, pueden incorporar sustancias antioxidantes y antimicrobianas para proteger el alimento de oxidaciones y deterioro microbiano (Campos, 2014).

## 1.6 MICROSCOPIA

La microscopía se define como el empleo de un microscopio para aumentar de tamaño (es decir, lograr un agrandamiento visual) objetos demasiado pequeños para ser observados a simple vista con el propósito de que puedan verse con facilidad sus características (Forbes, Sahm, y Weissfeld, 2009).

Se tienen las siguientes clases de microscopía (Cediel *et al.*, 2009)

**1.6.1 Microscopía de luz (óptica).** El microscopio óptico utiliza la luz visible para crear una imagen aumentada del objeto no visible, de manera que sea perceptible por el ojo humano mediante el uso de varios sistemas de lentes. El microscopio de luz está conformado por tres grandes sistemas: sistema mecánico, sistema óptico y sistema de iluminación y actúa como un mecanismo de amplificación en dos etapas: una en la cual el lente objetivo proporciona el aumento inicial y otra, en la que el lente ocular o proyector se ubica de tal manera, que amplifica la imagen primaria que proviene del lente objetivo.

**1.6.2 Microscopía electrónica.** A través del microscopio electrónico es posible observar la ultraestructura celular, las formaciones cristalinas tales como las cápsides virales y el ordenamiento de los átomos en una muestra, ya que cuenta con una resolución mayor, debido a que utiliza la longitud de onda de los electrones que es menor a la longitud de onda de la luz utilizada en el microscopio óptico compuesto.

## 1.7 POS-COSECHA

El periodo transcurrido desde la recolección de los productos en el campo hasta que son consumidos en estado fresco o son utilizados en un proceso de reproducción o transformación, se le conoce con el nombre de pos-cosecha. La pos-cosecha comprende las etapas de selección, clasificación, empaque, embalaje, transporte, y almacenamiento, sin embargo, su realización total y parcial o la secuencia de ellas depende de cada cultivo (Jaramillo, Rodríguez, Guzman, Zapata, y Rengifo, 2007).

**1.7.1 Manipulación pos-cosecha** La manipulación pos-cosecha de frutas y hortalizas tiene como objetivo conservar las cualidades de los productos desde que son cosechados hasta que llegan al consumidor, garantizando la calidad organoléptica y microbiológica, mejorando la apariencia externa, y aplicando siempre las normas y recomendaciones vigentes en cada país (Pássaro, Navarro, y Salvador, 2012).

**1.7.2 Pérdidas pos-cosecha.** Las pérdidas pos-cosecha son consecuencia de alteraciones fisiológicas, físicas y patológicas cuya magnitud varía en gran medida de acuerdo con el área de producción, la manipulación, el sistema de distribución y el tiempo transcurrido entre cosecha y consumo (Jaramillo *et al.*, 2007), ocurren en cualquier etapa del proceso de mercadeo, se pueden iniciar durante la cosecha, durante el acopio, distribución y finalmente cuando el consumidor compra y utiliza el producto (Arteaga, 2014) de manera más general son las pérdidas debidas a derrames y al deterioro de los productos durante el manejo, almacenamiento y transporte entre la finca de explotación y la distribución (Gustavsson, Cederberg, Sonesson, Otterdijk, y Meybeck, 2012).

**1.7.3 Pos-cosecha del tomate.** Por ser un fruto climatérico, el tomate sigue madurando después de cosechado, presentando mejor calidad organoléptica aquellos cosechados con mayor grado de madurez, siendo éste uno de los factores de mayor incidencia en la vida pos-cosecha y calidad del producto. Los frutos cosechados verdes son sensibles a la deshidratación y son de menor sabor y valor nutritivo; los maduros son menos sensibles a los daños por frío durante el almacenamiento, presentan mejores características organolépticas pero menor firmeza (Argerich *et al.*, s.f.).

## 2. METODOLOGÍA

### 2.1 LOCALIZACIÓN

El proyecto se desarrolló en las instalaciones de la Planta Piloto para el procesamiento de vegetales, Laboratorios de Biotecnología, Reología y Empaques de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad del Cauca y en la Unidad de Microscopía Electrónica ubicada en el Museo de Historia Natural, en la ciudad de Popayán, Departamento del Cauca, Colombia; a una altitud de 1.738 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m); temperatura media de 19°C y Humedad Relativa (H.R) del 77,75% (Alcaldía Municipal de Popayán, 2016).

### 2.2 MATERIALES

**2.2.1 Tomate.** Se usaron tomates larga vida en grado 4 de madurez, con diámetro promedio ecuatorial de 8 cm y axial de 6 cm, variedad Indaba, producidos bajo cubierta, cultivados en la finca “El Porvenir” ubicada en la vereda Cinco Días, del Municipio de Timbío (Cauca) a una altura promedio de 1.850 m.s.n.m. con temperatura media entre 16 y 23°C (Alcaldía de Timbío, 2016) teniendo en cuenta todos los requisitos de calidad establecidos en la Norma Técnica Colombiana NTC 1103-1 (ICONTEC, 2001)

**2.2.2 Almidón de Yuca.** Se usó almidón nativo de yuca variedad SM 707-17 proveniente de la rallería “La Agustina” ubicada en Mondomo (Cauca) y almidón de yuca SM 707-17 modificado enzimáticamente con  $\alpha$ -amilasa *Bacillus amyloliquefaciens* Ban 240L (Sigma Aldrich), con grado de modificación del 10% de Equivalente de Dextrosa (E.D.) (Ordoñez, Zuñiga, Hoyos, Mosquera, y Mosquera, 2014) aportado por el grupo de investigación CYTBIA (Ciencia y Tecnología de Biomoléculas de Interés Agroindustrial).

### 2.3 INSUMOS

**2.3.1 Ácido cítrico monohidrato.** Grado analítico con pureza del 99,5%, marca CARLO HERBA usado para realizar la modificación por vía ácida al almidón de yuca.

**2.3.2 Agente antimicrobiano.** Se usó aceite esencial de limoncillo (*Cymbopogon citratus*), grado alimentario, por sus propiedades antimicrobianas y antibacteriales (Altamirano y Vásquez, 2016) suministrado por el grupo de investigación CYTBIA.

**2.3.3 Glicerina.** Es una sustancia plastificante no volátil de bajo peso molecular que mejora la flexibilidad, manejabilidad y habilidad de extensión del recubrimiento (Sánchez, Contreras, Nevárez, y Aguilar, 2015).

**2.3.4 Tween 80.** Es un aditivo alimentario con acción surfactante, tiene la propiedad de facilitar o aumentar la emulsividad, dispersión y adherencia del recubrimiento (Riojas, Gortáres, Mondaca, y Balderas, 2011).

## 2.4 EQUIPOS

### 2.4.1 Equipos usados en las pruebas preliminares de la modificación del almidón

**pH-Metro.** Marca Selecta (pH 2006 pH meter) cuantifica la concentración de  $H_3O^+$  en una sustancia, que se puede considerar la acidez activa (Domene y Segura, 2014b). Se usó para medir el pH a la suspensión de almidón antes, durante y después de la adición de ácido cítrico; así como también en la neutralización de la suspensión.

**Campana de extracción.** Usada para extraer vapores generados en la preparación de soluciones de NaOH.

**Espectrofotómetro UV.** Marca SHIMADZU UV 1800 adaptado a software para procesamiento de datos UV PROBE. Mide la absorbancia o transmitancia a una única longitud de onda o en múltiples (hasta ocho) longitudes de onda; obtiene los espectros de la muestra utilizando la exploración de longitud de onda. Genera una curva de calibración a partir de muestras estándar, y lo utiliza para calcular las concentraciones de muestras desconocidas (Shimadzu, 2017). Usado en la determinación de Equivalente de Dextrosa (E.D.).

**Bortex.** Marca Thermolyne, empleado en la homogenización de mezclas y soluciones.

**Plancha de agitación.** Marca BOEKO MSH-300N, usada para distribución regular de NaOH en la suspensión de almidón.

**Baño Termostatado.** Marca POLYSTAT, utilizado en la preparación del reactivo DNS.

### 2.4.2 Equipos usados en la modificación del almidón

**Balanza analítica.** RADWAG XA 110/X POLONIA, empleada para pesar pequeñas muestras de almidón.

**Horno.** Marca Jeio Tech, utilizado para secar muestras de almidón.

**Shaker Thermo Scientific.** MaxQ 4450; permite agitar y mezclar muestras grandes y desiguales, suave y uniformemente; su mecanismo de accionamiento le da funcionamiento continuo las 24 horas. Los controles fáciles de usar le permiten ajustar con precisión temperatura, velocidad y tiempo, y así ver todos los parámetros simultáneamente para evitar el riesgo de error al establecer condiciones de trabajo (Thermo Fisher Scientific, 2015). Este equipo fue usado para la modificación del almidón con ácido cítrico, al mantener la temperatura y velocidad de agitación constantes.

**Centrífuga.** Marca HERMLE; proporciona la técnica de separación basada en el movimiento de partículas por rotación y aceleración centrífuga, de modo que, sometida a altas velocidades durante cortos periodos de tiempo, permite la sedimentación de los componentes de una solución homogénea según sus diferentes densidades. De esta manera, dicha solución queda finalmente separada en dos fracciones, la fracción sobrenadante y la fracción sedimentada que queda depositada en el fondo del tubo de centrifugación (Metrix, 2017); fue usada para separar el sobrenadante del almidón.

### 2.4.3 Equipos usados en la elaboración del recubrimiento

**Horno.** Marca MEMMERT, se usó para retirar el exceso de agua presente en el almidón modificado, hasta llegar a una humedad de 12%.

**Balanza de humedad.** Se empleó en la medición de humedad del almidón.

**Molino.** Marca Polymix PX-MFC 90D, usado a 3000 rpm para realizar la molienda del almidón modificado.

**HL-2.** Marca DWORKS. Usado para la mezcla de los componentes y preparación del recubrimiento.

### 2.4.4 Equipos usados en la medición de variables

**Máquina universal de ensayos.** Marca SHIMADZU modelo EZ-L, permite evaluar la firmeza o dureza de la superficie de cortezas, recubrimientos, etc, en muestras tales como verduras, frutas y judías; por medio de pruebas de perforación y penetración (Shimadzu, 2012); usada para evaluar condiciones de pérdida de firmeza en el tomate larga vida, obteniéndose datos en Newtons (N).

**Balanza electrónica.** Marca JAVAR, empleada para evaluar pérdidas de peso en el tomate a través del tiempo, luego de la aplicación del recubrimiento.

**Refractómetro digital.** Marca ATAGO (Pocket PAL-1); sirve para cuantificar el fenómeno físico de refracción, que consiste en el cambio de medios con distinto índice de propagación en función del cambio de dirección que sufre un rayo de luz al pasar oblicuamente de un medio a otro y se fundamenta en la medida del ángulo crítico que produce el fenómeno de reflexión total (Domene y Segura, 2014b). Se usó para medir grados Brix en muestras de tomate larga vida en el tiempo que se aplicó el recubrimiento.

**pH-metro.** Marca HANNA, fue empleado para medir el pH en los tomates.

**OXYBABY WITT 6.0 para O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub>.** Sirve para medir y cuantificar oxígeno residual y dióxido de carbono liberados por el fruto recubierto, durante el periodo de experimentación (Witt-Gasetechnik GmbH & Co KG, 2009).

**Colorímetro.** Marca 3nh. Es un instrumento sensible a la luz que mide cuánto color es absorbido por un objeto o sustancia, al pasar una longitud de onda específica de luz a través de una muestra, y luego medir la luz que llega a través del otro lado. Determina el color basado en los componentes rojo, azul y verde de la luz absorbida por el objeto o la muestra, como lo hace el ojo humano. Cuando la luz pasa a través de un medio, parte de la luz es absorbida, y como resultado, hay una disminución en la cantidad de luz reflejada por el medio. Un colorímetro mide ese cambio para poder analizar la concentración de una sustancia particular en ese medio (Shenzhen 3nh Technology Co., 2016). Empleado para medir el color y establecer los cambios del mismo a través del tiempo en los tomates.

**Extractor de jugos.** Marca Black and Decker, usado en la extracción del jugo de tomate.

**Pie de rey.** Usado en la medición del diámetro axial y ecuatorial de los tomates.

#### **2.4.5 Equipos usados en microscopía y microbiología**

**Estereomicroscopio.** Marca NIKON, modelo SMZ800. Permite la observación de muestras con contraste extremadamente bajo en alto relieve y la observación fácil de células vivas bajo métodos de fluorescencia, ofrece una iluminación brillante sobre la superficie completa de la muestra. Por medio de un divisor de haz de luz y un adaptador que permite anexar un sistema microfotográfico se logra la toma de microfotografías con alta definición debido a su sistema óptico paralelo que tiene una relación de zoom de 6.3: 1 con clickstops en intervalos de 1X a 6X. Cuenta con un rango de zoom de 1X a 6.3X y la ampliación total (dependiendo del ocular y el objetivo utilizado) es de 5X a 378X (Nikon Instruments Inc, 2017). Fue usado para la visualización de hongos y recubrimiento en la epidermis del tomate.

**Autoclave.** Usado en la esterilización del material necesario para la siembra del medio de cultivo.

**Campana de flujo laminar.** Fue usada para servir el medio de cultivo, sembrar y aislar hongos con el objetivo de obtener especies puras de hongos que afectan el tomate.

**Campana de extracción.** Utilizada en la extracción de vapores generados en la post-fijación de muestras de epidermis de tomate con Tetraóxido de Osmio ( $O_5O_4$ )

**Microscopio Electrónico de Transmisión (MET).** Marca JEOL, modelo JEM 1200EX, empleado para realizar observaciones de los efectos del recubrimiento sobre la estructura celular de la epidermis en el tomate. Aporta imágenes a grandes aumentos (2500X) y alta resolución de la ultraestructura de cualquier muestra biológica (Centro de Investigación Príncipe Felipe, 2015).

**Ultra micrótopo.** Marca LEICA modelo UCT, usado para obtener cortes finos (1-2  $\mu\text{m}$ ) o ultra finos (60 nm) de la epidermis del tomate y observarlas con el Microscopio Electrónico de Transmisión (Unidad de Microscopía Electrónica, Universidad del Cauca, s.f.).

**Máquina para hacer cuchillas.** Marca Leica, para la realización de cortes semifinos para Microscopía Óptica y ultra finos para uso en Microscopía Electrónica (Centro de Investigación Príncipe Felipe, 2015).

**Microscopio Óptico de Alta Resolución (MOAR).** Marca Nikon, modelo Microphot, el cual utiliza la luz visible para crear una imagen aumentada de la estructura de la epidermis del tomate, las imágenes obtenidas fueron analizadas y reproducidas en el sistema digital en el cual se pueden obtener fotografías en blanco y negro o a color (Unidad de Microscopía Electrónica, Universidad del Cauca, s.f.).

## 2.5 MÉTODOS

### 2.5.1 Pruebas preliminares de la modificación de almidón de yuca variedad SM 707-17 con ácido cítrico

**Modificación del almidón con ácido cítrico.** Se empleó almidón nativo de yuca variedad SM 707-17 al cual se le realizaron pruebas de humedad, para determinar su porcentaje de humedad en base seca (B.S.) y usar este valor para realizar una suspensión de 100 g.

Se realizaron ensayos para hacer la suspensión al 40% p/p B.S. La suspensión se dejó en hidratación por 1 h, se le midió pH inicial (5,5) e inmediatamente se llevó a agitación de 175 revoluciones por minuto (rpm) con temperatura de 52°C en el Shaker marca Thermo Scientific; cuando la suspensión alcanzó los 52°C se adicionó ácido cítrico (15%) marca CARLO HERBA con pureza del 99,5% y nuevamente se midió el pH; se colocó en el shaker a las mismas condiciones de temperatura y agitación durante 14 h. Al término de este tiempo se midió el pH de la suspensión y se procedió a ajustarlo hasta 5.5 por medio de neutralización con NaOH 3N.

Luego se procedió a transferir las suspensiones a tubos falcon para centrifugar a 4500 rpm por 30 minutos (establecido por preliminares) y obtener el sobrenadante para medir E.D. en el espectrofotómetro UV marca SHIMADZU UV 1800 utilizando la metodología establecida por Bonilla (2010).

Este mismo procedimiento se siguió para realizar los ensayos con 25% p/p B.S de almidón y diferentes concentraciones de ácido cítrico (15%, 10%, 5%), evaluando por separado las concentraciones de NaOH para neutralización (3N, 1N) y ácido cítrico.

Para comprobar si hubo o no algún tipo de modificación del almidón de yuca, se procedió a realizar pruebas adicionales como la Determinación de temperaturas de transición térmica de polímeros por Calorimetría de Barrido Diferencial (DSC) y Caracterización reológica de suspensiones de almidón.

### 2.5.2 Pruebas adicionales para verificar la modificación de almidón de yuca variedad SM 707-17

**2.5.2.1 Caracterización reológica de suspensiones de almidón.** La medición se realizó a través de un Reómetro Rotacional marca TA Instruments modelo 1500 EX. En este método la muestra de almidón, en forma de suspensión acuosa, se sometió a calentamiento y enfriamiento controlado, en agitación constante, registrándose los cambios de viscosidad a través del tiempo. Como resultado del ensayo se obtuvo un gráfico o curva con los perfiles de gelatinización y de empastamiento del almidón analizado (Universidad del Cauca, 2013a).

**Procedimiento.** Se utilizó una muestra en forma de polvo, con tamaño de partícula menor o igual a 250  $\mu\text{m}$ ; libre de partículas gruesas contaminantes, a un porcentaje de humedad de 12% para el almidón nativo y de 12% para el almidón modificado. Para cada muestra se prepararon aproximadamente 25 mL de una suspensión al 8% en base seca en agua destilada (Universidad del Cauca, 2013a), agitando la mezcla e introduciéndose en la celda de empastamiento de almidón del equipo. La prueba inició manteniéndose el equipo

a 50°C por un minuto a una velocidad constante de agitación de 12,2°C/min. Posteriormente se hizo una rampa de calentamiento desde 50°C a una velocidad de 12,2°C/min y velocidad angular de 16,75 rad/s hasta que la muestra alcanzó 90°C de temperatura manteniéndose constante durante un tiempo de 2 minutos y 30 segundos. Luego se ejecutó una rampa de enfriamiento desde 90°C a una velocidad de 12,2°C/min y velocidad angular de 16,75 rad/s hasta que la temperatura de la muestra fue 50°C; se mantuvo constante esta temperatura durante 2 minutos y finalmente la muestra fue enfriada hasta 30°C (Enríquez, Velasco, y Fernández, 2013).

**2.5.2.2 Determinación de temperaturas de transición térmica de polímeros por Calorimetría de Barrido Diferencial (DSC).** La prueba se realizó con el Calorímetro de Barrido Diferencial (DSC) TA Instruments Q20 series, bajo la norma ASTM D3418-08 2008 (ASTM International, 2008), previamente calibrado.

La muestra encapsulada en una celda de aluminio es calentada o enfriada a una velocidad controlada en una atmósfera inerte, la diferencia entre el calor suministrado a la muestra y una referencia (celda de aluminio vacía) es registrada respecto al incremento o disminución de la temperatura. Una transición térmica ocasiona en la muestra una absorción o liberación de energía, que se refleja en la grafica de la curva del análisis térmico como picos endotérmicos o exotérmicos respectivamente o como desplazamiento de la curva respecto a la línea base (Universidad del Cauca, 2013b).

Se usaron de 5 a 10 mg de almidón para la determinación de temperaturas de transición de primer orden (fusión [T<sub>m</sub>] y cristalización [T<sub>c</sub>]) y entre 10 y 20 mg para la determinación de temperatura de transición vítrea (T<sub>g</sub>).

**Procedimiento.** Se equilibró el equipo a una temperatura de -60°C, luego se inició una rampa de calentamiento a una velocidad de 20°C/min desde -60°C hasta 250°C, manteniéndose constante por 1 minuto. Se realizó una rampa de enfriamiento a velocidad de 20°C/min desde 250°C hasta -60°C dejándose constante por 5 minutos y finalmente se realizó una rampa de calentamiento con 20°C/min de velocidad hasta una temperatura de 250°C (Universidad del Cauca, 2013b)

### **2.5.3 Acondicionamiento del fruto**

**2.5.3.1 Selección y clasificación.** Se seleccionaron tomates larga vida en estado 4 de madurez (Figura 1) provenientes de cultivares de tomate bajo cubierta con atributos de calidad específicos como forma redonda, sano e inocuo, con firmeza y jugosidad; los tomates debían estar enteros, sin daños, con apariencia lisa, sin grietas o quemaduras de sol, sin daños por insectos o cualquier daño de tipo mecánico de acuerdo con la Norma Técnica Colombiana NTC 1103-1(ICONTEC, 2001).

**Figura 1. Grados de madurez del tomate**



**Fuente.** (Hernández, 2013)

**2.5.3.2 Limpieza y desinfección** Los tomates seleccionados se sometieron a lavado por inmersión en agua potable, posteriormente se sometieron a desinfección con solución de hipoclorito de sodio a 5 partes por millón (ppm) durante 15 minutos y se secaron con toalla absorbente (Barco, Burbano, Mosquera, Villada, y Navia, 2011).

**2.5.4 Modificación del almidón.** Se llevó a cabo la modificación ácida del almidón nativo de yuca variedad SM 707-17 preparando una suspensión de 100 g totales usando 25% p/p de almidón en base seca y ácido cítrico grado analítico (metodología implementada por las autoras) a una concentración del 15% p/p respecto al almidón en base seca (Falade y Ayetigbo, 2015). Estos valores se hallaron después de haber realizado varias pruebas preliminares para la modificación de almidón, debido a que la suspensión no se precipitó ni presentó gelatinización durante el proceso de calentamiento y agitación. Éste proceso se llevó a cabo con ayuda del Shaker Thermo Scientific a una temperatura de 52°C (Zambrano, 1998), (Aristizábal, Sánchez, y Mejía, 2007); con velocidad de agitación de 175 rpm (establecido por las autoras mediante pruebas preliminares) usando un tiempo de modificación de 14 horas, basadas en la metodología establecida por (Alves, Klososki, y Montanhini, 2015).

Al término de las 14 horas se centrifugó el almidón en la centrifugadora HERMLE a 4500 rpm por 30 minutos, se eliminó el sobrenadante y se procedió a secar el almidón en el horno, iniciando con una temperatura de 20°C, aumentando 5°C progresivamente hasta llegar a 45°C (establecido por las autoras mediante pruebas preliminares) y alcanzar una humedad de 12% (Aristizábal *et al.*, 2007).

**2.5.5 Preparación del recubrimiento.** La preparación del recubrimiento se realizó a través de tres etapas: (Paz, Mosquera, y Villada, 2016)

**Pre-mezcla:** se realizó una pre-mezcla a baja temperatura de los componentes del recubrimiento (agua, glicerol, almidón de yuca, aceite esencial, tween 80) a 300 rpm y 40°C.

**Calentamiento:** en esta etapa se hizo un incremento de temperatura que va de 40 a 75°C por 10 minutos.

**Gelatinización:** en esta etapa las condiciones de elaboración del recubrimiento se mantuvieron constantes a temperatura de 75°C durante 15 minutos.

**2.5.6 Aplicación del recubrimiento.** El recubrimiento se aplicó a temperatura ambiente con una esponja en condiciones asépticas (Fernández, 2015), creando una capa uniforme en cada tomate, luego se dejaron los frutos en bandejas plásticas previamente lavadas, desinfectadas y secas; las bandejas con los tratamientos se almacenaron a temperatura ambiente en la Planta Piloto para el procesamiento de vegetales.

## 2.6 MEDICIÓN DE VARIABLES

La medición de las variables se realizó cada 3 días, durante 15 días, en las instalaciones del Laboratorio de Reología y Empaques, así como también en la Planta Piloto aplicada a vegetales.

**2.6.1 Contenido de Sólidos Solubles Totales (SST).** Se determinó tomando muestras de jugo de tomate extraído con el extractor de jugos y depositando una gota del mismo en el prisma del refractómetro digital ATAGO Pocket PAL-1.

**2.6.2 Firmeza.** Se determinó en la Máquina Universal de Ensayos (SHIMADZU EZ-L) con desplazamiento de 8 mm y velocidad del cabezal de 60 mm/min (Fernández, 2015).

**2.6.3 Índice de acidez - pH.** Se determinó por medio del pH-metro (HANNA), midiendo el pH a muestras de 10 mL de jugo de tomate.

**2.6.4 Acidez titulable.** Se cuantificó empleando el método volumétrico por neutralización, valorando con una solución de NaOH 0,1N, usando 0,5 mL de fenolftaleína como indicador, expresando el contenido de acidez en porcentaje de ácido cítrico usando la ecuación 2 (Alarcón, 2013):

$$AT (\%) = \left( \frac{0.064 * V * C \left( \frac{NaOH}{1} \right)}{P_m} \right) * 100 \quad (\text{Ecuación 2})$$

Dónde:

**AT (%):** % de ácido cítrico (Acidez Titulable)

**0,064:** factor de equivalencia para el ácido cítrico

**V:** volumen de NaOH gastado en la valoración de la muestra

**C (NaOH/1):** concentración del NaOH

**Pm:** peso de la muestra en gramos

**100:** para expresar los resultados en porciento

**2.6.5 Tasa de respiración.** Se utilizó el equipo OXYBABY WITT para medir la tasa de respiración de las muestras. Se emplearon 2 frutos por réplica (3 réplicas por tratamiento) de cada tratamiento (4 tratamientos); los frutos fueron dispuestos en bandejas de poliestireno expandido (12 bandejas) y cubiertos con vinipel para almacenar el O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub>.

**2.6.6 Pérdida de peso.** Se midió empleando la balanza electrónica marca JAVAR, para determinar los cambios en el peso de los frutos a través del tiempo, usando la ecuación 1 (Alarcón, 2013).

$$PPF (\%) = \left( \frac{PIF - PFF}{PIF} \right) * 100 \quad (\text{Ecuación 1})$$

Dónde:

**PPF (%):** porcentaje de pérdida de peso de los frutos

**PIF:** peso inicial de los frutos

**PFF:** peso final de los frutos

**2.6.7 Color.** La determinación del color externo de los frutos se realizó de forma individual. Se tomaron 4 medidas alrededor del ecuador del fruto, distanciadas 90°, realizándose la media de los valores obtenidos. Los parámetros determinados fueron: L (luminosidad), a\* (variación rojo-verde), b\* (variación amarillo-azul), C (cromaticidad o saturación) =  $(a^*2 + b^*2)^{1/2}$ , y ángulo hue h° (matiz o tono) =  $\arctan(b^*/a^*)$  (Hernández, 2013). Para esta determinación se utilizó un colorímetro 3nh; equipo que trabaja con el sistema de coordenadas de color CIELa\*b\* que es un sistema cartesiano definido por tres coordenadas colorimétricas (L, a\* y b\*); además, este equipo proporciona valores de matices cromáticos como el tono de un color h° y el croma C (Shenzhen 3nh Technology Co., s.f.), (Domene y Segura, 2014a).

De acuerdo con Domene y Segura, 2014a

**L.** Indica el grado de luminosidad o claridad. Toma valores de 0 (negro) a 100 (blanco).

**a\***. Indica el componente rojo-verde, donde el rojo representa los valores positivos y el verde los valores negativos.

**b\***. Indica el componente amarillo-azul presente en la muestra, donde el amarillo representa los valores positivos y el azul, los valores negativos.

**C.** El croma, indica el grado de separación entre un tono determinado y un gris de la misma claridad. Tiene el valor 0 para estímulos acromáticos

**h°.** Representa el tono de un color, que indica su posición en una escala de 100 tonos.

**2.6.8 Crecimiento microbiano.** Se hizo un estudio para la identificación de los principales hongos que atacan al tomate, realizando 5 aislamientos de la especie de hongo que lo ataca (aislamiento a partir del fruto contaminado naturalmente), proporcionándole el medio de cultivo, al cual se le aplicó una dosis de tetraciclina como antibiótico para evitar el crecimiento de bacterias, y tiamina para permitir el desarrollo del hongo.

Se cortaron 4 trozos de tejido enfermo y tejido sano de tomate de 1 cm<sup>2</sup> de área y de 2 mm de grosor con una cuchilla estéril, a cada muestra se le realizaron 4 enjuagues, por un tiempo de un minuto, el primer enjuague se realizó con hipoclorito al 1%, el segundo con etanol al 75%, el tercero y el cuarto con agua destilada estéril, posteriormente se secaron en papel absorbente estéril y se sembraron en agar PDA y se incubaron a temperatura de 25°C; a los dos días se observó el crecimiento de los hongos y se aislaron 4 muestras de cada caja de Petri en el mismo medio de cultivo; para aislar se cortaron pequeñas muestras de PDA de aproximadamente 0,25 mm<sup>2</sup> donde había crecido el hongo y se sembraron nuevamente en cajas de Petri con PDA; realizándose este mismo procedimiento hasta obtener un cultivo puro (Santacruz, 2013).

**2.6.9 Estructura de la epidermis del tomate.** Para visualizar el efecto del recubrimiento sobre la epidermis del tomate se utilizó Microscopía Óptica de Alta Resolución (MOAR) y Microscopía Electrónica de Transmisión (MET); para ello se tomaron muestras de epidermis de 5 mm de longitud y 1 mm de grosor, se fijaron en glutaraldehído al 6% y paraformaldehído al 4% en Buffer de Fosfato Salino (PBS), por 6 horas y se siguió el protocolo de preparación de muestras para observación desarrollado por Plana *et al.* (2011), con algunas modificaciones.

## **2.7 DISEÑO EXPERIMENTAL**

Se utilizó un diseño factorial 4x6 completamente al azar, donde los factores fueron “Tipo de recubrimiento” y “Tiempo”; el factor “Tipo de recubrimiento” consta de 4 niveles distribuidos como sigue:

**T1=** Muestra Testigo (tomate sin recubrir).

**T2=** Recubrimiento con almidón de yuca modificado enzimáticamente.

**T3=** Recubrimiento con almidón de yuca modificado con ácido cítrico.

**T4=** Recubrimiento con almidón de yuca nativo.

El factor "Tiempo" consta de 6 niveles: punto inicial (Día 0), Día 3, Día 6, Día 9, Día 12, Día 15, (para efectos de cuadros de datos estos términos se nombraron así PI, D3, D6, D9, D12, D15; respectivamente).

Se cosecharon 360 unidades experimentales en igual estado de madurez (grado 4 de madurez), cultivadas bajo cubierta, provenientes del mismo lote bajo iguales condiciones de cultivo, fueron transportadas en cajas de cartón y almacenadas en la Planta Piloto de vegetales garantizando iguales condiciones de almacenamiento (temperatura, humedad relativa, luz).

En este diseño, se evaluaron las siguientes variables de respuesta:

**Pruebas destructivas (muestras independientes).** Firmeza, sólidos solubles totales, índice de acidez- pH, índice de madurez (acidez titulable).

**Pruebas no destructivas (muestras relacionadas o muestras repetidas).** Pérdida de peso, tasa de respiración, color, crecimiento microbiano, estructura del exocarpo del tomate.

Se realizaron tres réplicas con cuatro repeticiones por cada tratamiento, en cada réplica se tomaron 30 unidades experimentales distribuidas así:

24 unidades (muestras independientes) para pruebas destructivas, destruyendo 4 por cada día de medición.

6 unidades (muestras relacionadas) que se conservaron hasta el final para evaluación de las pruebas a través del tiempo, 4 de ellas fueron tomadas para las pruebas de pérdida de peso, color, crecimiento microbiano y estructura del exocarpo y las 2 restantes se dejaron para medir tasa de respiración.

Los resultados obtenidos fueron evaluados por pruebas paramétricas (ANOVA), pruebas no paramétricas y pruebas paramétricas con medidas repetidas; con una probabilidad de 95% empleando el software SPSS versión 19.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1 PRUEBAS PRELIMINARES DE LA MODIFICACIÓN DE ALMIDÓN DE YUCA VARIEDAD SM 707-17 CON ÁCIDO CÍTRICO

Después de realizar el proceso de calentamiento y agitación durante 14 horas de las suspensiones de almidón nativo con ácido cítrico y sin ácido, se midió el pH, encontrándose valores de 1,7 para la muestra con ácido cítrico, por lo que se neutralizó con una base fuerte (NaOH) para ajustar el pH a un valor de 5,5 que fue el pH inicial de la suspensión. Inicialmente se utilizó NaOH 6N para la neutralización pero se presentaron cambios bruscos en la suspensión como cambio de color de blanco a caramelo, alta viscosidad, gelatinización, y el pH cambiaba muy lentamente, por lo que se utilizó una concentración de NaOH 3N, encontrándose los mismos problemas o fenómenos; por consiguiente, se usó NaOH 1N, con el cual no se presentaron los problemas antes mencionados a excepción del pH que permanecía fijo, se necesitó una elevada cantidad (28 mL por cada muestra [100 g de suspensión] a neutralizar) de solución de NaOH 1N para cambiar el pH, lo que influyó en un cambio de volumen total de la suspensión presentándose de esta manera una dilución de la muestra que no permitió encontrar un valor de Equivalente de Dextrosa (E.D.) real, por lo que se decidió dejar el ácido cítrico incorporado en la suspensión y no realizar neutralización, ya que el exceso de NaOH en la muestra podría influir sobre el almidón realizando alguna modificación dando valores de E.D. y por otra parte la adición de ácido cítrico a la suspensión provocó la formación de una solución tamponada (buffer); este tipo de disoluciones son sistemas acuosos que consisten en un ácido débil y su base conjugada que tienden a resistir cambios en su pH cuando se añaden pequeñas cantidades de ácido ( $H^+$ ) o base (OH) (Gaitán y Pérez, 2016) como en este caso.

La razón de este fenómeno es que el ácido cítrico posee una región amortiguadora en un rango de valores de pH que va desde 3,12 a 6,40 lo que impide en la titulación llegar al pH requerido (5,5). Se decidió dejar el almidón con ácido incorporado, sin neutralizar; y evaluar los cambios o modificaciones que sufrió el almidón a través de pruebas específicas como E.D. (Equivalente de Dextrosa), análisis de Calorimetría de Barrido Diferencial (DSC) y una caracterización reológica de suspensiones de almidón.

**Equivalente de Dextrosa (E.D.).** Para medir E.D. se siguió el protocolo planteado por (Bonilla, Hoyos, y Villada, 2014) obteniendo valores de absorbancia menores al rango (0,2-0,6 nm) que indican que no hubo E.D., por lo que se procedió a realizar las dos pruebas adicionales para comprobar la modificación del almidón las cuales fueron el análisis de Calorimetría de Barrido Diferencial (DSC) y la caracterización reológica de suspensiones de almidón, hechas en almidón modificado con ácido cítrico y en almidón sin adición de ácido cítrico, como muestra testigo.

#### 3.2 PRUEBAS ADICIONALES PARA VERIFICAR LA MODIFICACIÓN DE ALMIDÓN DE YUCA VARIEDAD SM 707-17

Las muestras de almidón modificado con ácido cítrico y almidón sin ácido cítrico (muestra testigo sometido a las mismas condiciones de temperatura y agitación, por 14 horas pero sin ácido cítrico) se sometieron a análisis de Calorimetría de Barrido Diferencial (DSC) (determinación de temperaturas de transición térmica de polímeros), y a una

caracterización reológica de suspensiones de almidón (cambios de viscosidad a través del tiempo) para observar diferencias entre ambos tipos de almidón causadas por la adición o no de ácido cítrico.

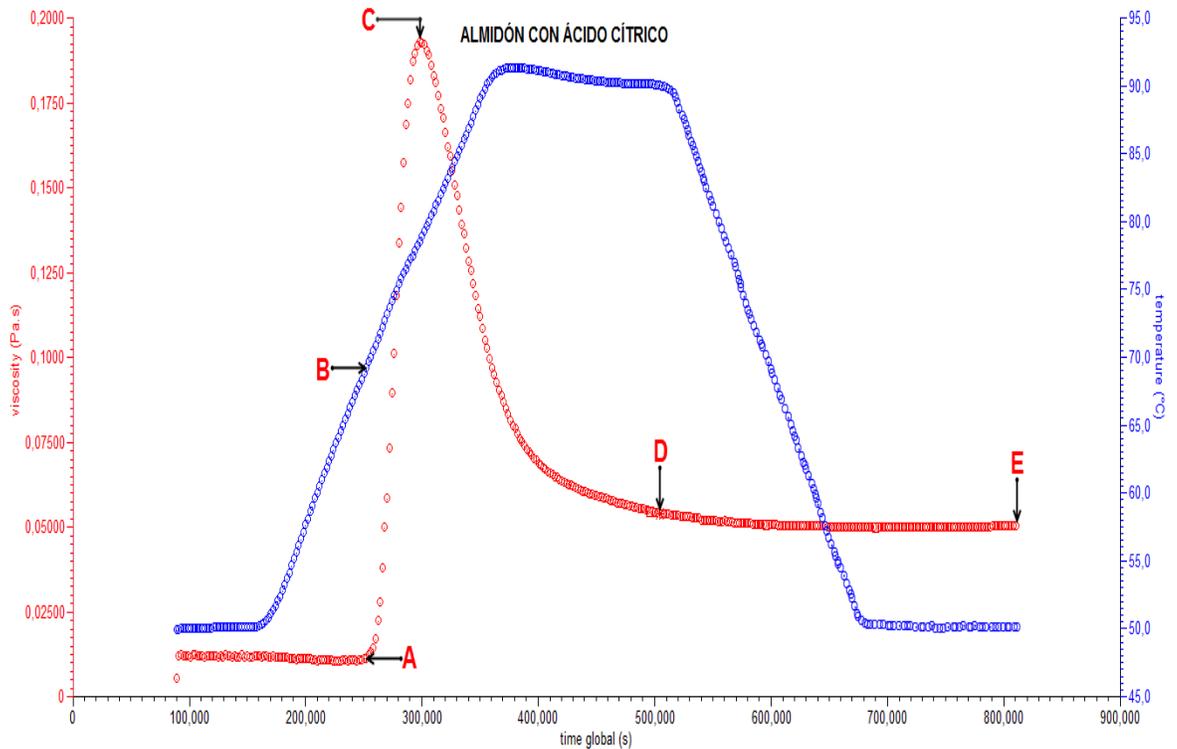
**3.2.1 Caracterización reológica de suspensiones de almidón.** En la caracterización reológica de almidón de yuca variedad SM 707-17 modificado con ácido cítrico y sin ácido cítrico se obtuvieron viscoamilogramas (Figura 2 y Figura 3), a partir de los cuales se deriva el Cuadro 2 que contiene los resultados cuantitativos de los viscoamilogramas (resultados obtenidos mediante el software Data Analysis de TA Instruments), que permiten analizar el comportamiento de los almidones estudiados, en cuanto a **temperatura de inicio de gelatinización, viscosidad máxima, facilidad de cocción, inestabilidad del gel e índice de gelificación**, ya que estos son los parámetros que se evalúan al realizarse este tipo de pruebas reológicas (Aristizábal *et al.*, 2007).

**Temperatura de inicio de gelatinización.** La Temperatura de inicio de gelatinización del almidón modificado con ácido cítrico se dio en un tiempo menor (252 s) y una temperatura mayor (69,1 °C) en comparación con el almidón sin ácido cítrico que presentó un tiempo de 259,012 s y una temperatura de inicio de gelatinización de 68,7 °C (Cuadro 2, Figuras 2 y 3), lo que indica que el almidón modificado con ácido cítrico tardó menos en aumentar la viscosidad en comparación con el almidón sin ácido cítrico, ya que durante la fase inicial de calentamiento la temperatura de gelatinización es la temperatura a la cual los gránulos del almidón se empiezan a hinchar y hay un aumento en la viscosidad (Aristizábal *et al.*, 2007); según Marín (2013) el aumento de temperatura de gelatinización en los almidones modificados con ácido puede ser atribuido al arreglo cristalino molecular, debido a que la adición de ácido provocó una desorganización de las moléculas y cuando las moléculas se reorganizan lo hacen en un intervalo más amplio de temperatura.

**Cuadro 2. Resultados obtenidos a partir de los viscoamilogramas realizados en almidón de yuca variedad SM 707-17 modificado con ácido cítrico y almidón de yuca variedad SM 707-17 sin ácido cítrico (muestra testigo).**

PARÁMETROS	ALMIDÓN MODIFICADO CON ÁCIDO CÍTRICO	ALMIDÓN SIN ÁCIDO CÍTRICO (MUESTRA TESTIGO)
CAMBIO BRUSCO DE VISCOSIDAD (Pa*s)	0,01096	0,01444
Tiempo (s)	252	259,012
TEMPERATURA DE INICIO DE GELATINIZACIÓN (°C)	69,1	68,7
VISCOSIDAD MÁXIMA (Pa *s)	0,1925	2,913
Tiempo (s)	298,004	333,004
Temperatura (°C)	78,4	83,4
VISCOSIDAD MÍNIMA (Pa *s)	0,0538	1,46
Tiempo (s)	504,008	515,02
Temperatura (°C)	89,9	89,9
VISCOSIDAD FINAL (Pa *s)	0,04981	1,347
Tiempo (s)	810,008	819,02
Temperatura (°C)	78	77,4
FACILIDAD DE COCCIÓN (s)	46,004	73,992
INESTABILIDAD DEL GEL (Pa*s)	0,1387	1,453
Porcentaje de Pérdida de viscosidad (%)	72,05	49,88
ÍNDICE DE GELIFICACIÓN (Pa*s)	0,00399	0,113

**Figura 2. Viscoamilograma de almidón de yuca variedad SM 707–17 modificado con ácido cítrico.**



Donde:

La curva en color rojo ilustra el comportamiento reológico del almidón analizado durante el tiempo de proceso.

La curva en color azul ilustra la temperatura a la cual se somete el almidón analizado durante el proceso.

**A** es el cambio brusco de viscosidad que permite hallar el tiempo y la temperatura de inicio de gelatinización.

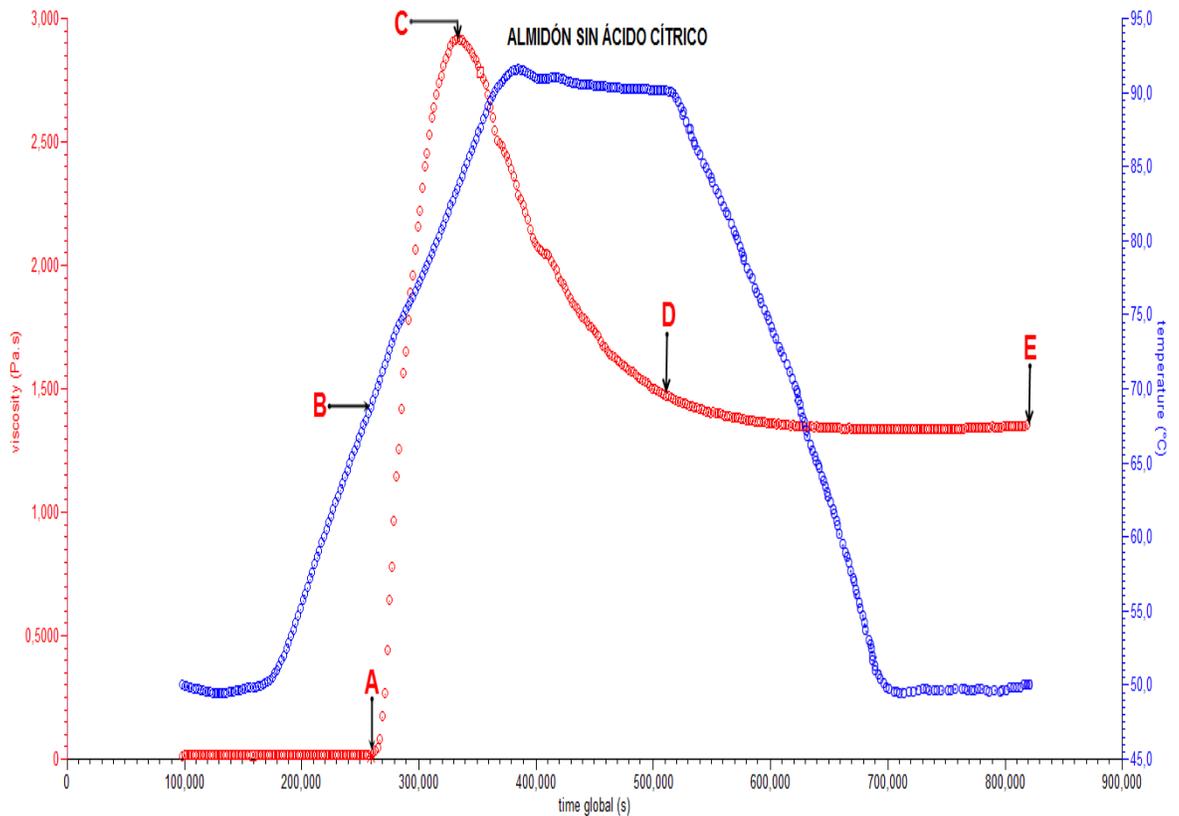
**B** es Temperatura de inicio de gelatinización.

**C** es Viscosidad máxima.

**D** es Viscosidad mínima.

**E** es Viscosidad final.

**Figura 3. Viscoamilograma de almidón de yuca variedad SM 707-17 sin ácido cítrico (muestra testigo)**



Donde:

La curva en color rojo representa el comportamiento reológico del almidón analizado durante el tiempo de proceso.

La curva en color azul representa la temperatura a la cual se somete el almidón analizado durante el proceso.

**A** es el cambio brusco de viscosidad que permite hallar el tiempo y la temperatura de inicio de gelatinización.

**B** es Temperatura de inicio de gelatinización.

**C** es Viscosidad máxima.

**D** es Viscosidad mínima.

**E** es Viscosidad final.

**Viscosidad máxima.** El almidón sin ácido cítrico presentó un valor de viscosidad máxima más grande (2,913 Pa \* s) en comparación con el almidón modificado con ácido cítrico (0,1925 Pa \* s) (Cuadro 2, Figura 2 y Figura 3); esto posiblemente se debe a que los gránulos de almidón modificado fueron atacados por el ácido durante el proceso de modificación rompiendo el gránulo (Méndez *et al.*, 2009), lo que causó una disminución en el tiempo (298,004 s) y la temperatura de gelatinización (78,4 °C) al llegar a la máxima viscosidad; por lo cual, a 52°C (temperatura a la cual se realizó la modificación) posiblemente el almidón gelatinizó y debido a eso en el viscoamilograma realizado sólo gelatinizaron los pocos gránulos que quedaron enteros, es decir, los residuos; por otra parte, se observó que el almidón sin ácido cítrico necesitó mayor temperatura (83,4 °C) y mayor tiempo (333,004 s) para alcanzar el punto máximo de viscosidad respecto al almidón modificado (Cuadro 2, Figuras 2 y 3) lo que indica que requiere más energía en el momento de realizar una gelatinización (Palma, Agama, González, y Bello, 2010).

Según Ramirez (2015), el ácido causa la fragmentación de los gránulos de almidón, y los gránulos pequeños no forman un gel tan fácilmente como los gránulos grandes, siendo los gránulos más grandes los que primero gelatinizan, probablemente esto fue lo que sucedió con el almidón modificado con adición de ácido cítrico, al presentar una viscosidad menor en comparación con el almidón sin ácido (Cuadro 2). En las modificaciones ácidas, el ácido puede causar ruptura de puentes glucosídicos de las cadenas largas, rompiendo enlaces en la región amorfa del gránulo, donde ocurre una erosión gradual, provocando una reducción en el peso molecular que afecta la viscosidad, haciendo que esta disminuya. Por otra parte, la disminución de la viscosidad en el almidón con ácido cítrico pudo deberse a que en la modificación se eliminó cierta cantidad de amilosa, la cual es la responsable de la formación de pastas y por tanto la consistencia (Marín, 2013), ya que el ácido solo hidroliza las regiones amorfas del gránulo y muy poco o nada las cristalinas, por lo que la amilosa es la más afectada (Badui, 2006).

Méndez *et al.* (2009) encontró en harina extruida de sorgo que la adición de ácido cítrico causó considerables cambios en los perfiles de viscosidad ya que durante el proceso de acidificación, el ácido cítrico difunde en los gránulos de almidón con la hidratación, hinchándose éstos ligeramente y permaneciendo parcialmente hidratados; concluyendo que la modificación de los gránulos parece ser la explicación más probable de la disminución en la viscosidad. Según Menzel (2014) se ha demostrado que el aumento de la concentración de ácido cítrico y la temperatura elevada promueven la degradación del almidón. Durante la hidrólisis, el oxígeno glucosídico se protona y se añade una molécula de agua, para producir el grupo de azúcares reductores; por lo tanto, se reduce el peso molecular. Sin embargo, para que se produzca la hidrólisis ácida, tanto el pH bajo como la alta temperatura son necesarios, ya que no se produce hidrólisis sin temperatura suficiente. En este caso, la modificación del almidón se realizó a pH bajo (1,7), y a baja temperatura (52°C), por debajo de la temperatura de gelatinización del almidón (62 -73 °C (Aristizábal *et al.*, 2007), por lo que se puede inferir que no hubo hidrólisis al no hallarse valores de E.D. pero si se pudo dar la fragmentación del gránulo por el bajo pH. Hirashima, Takahashi, y Nishinari (2005) (Citado por Menzel (2014)), sostienen que la viscosidad de las pastas es una función del pH y que la baja viscosidad puede ser provocada por los cambios en el tamaño de los gránulos de almidón y del número de cadenas de amilosa y amilopectina que se separan del gránulo, causados por el cambio de pH, por lo tanto, si el almidón se somete a bajo pH, disminuirá su viscosidad.

**Facilidad de cocción.** La facilidad de cocción es el tiempo que transcurre en alcanzar el almidón el hinchamiento de todos los gránulos, desde el momento en que este se inicia; se calcula restando el tiempo en que alcanza la viscosidad máxima y el tiempo en que alcanza la temperatura de inicio de gelatinización (Aristizábal *et al.*, 2007) El almidón modificado con ácido cítrico presentó mayor facilidad de cocción debido a que el tiempo transcurrido en alcanzar el hinchamiento de todos los gránulos desde el momento en que éste se inicia es menor (46,004 s) respecto al almidón sin ácido (73,992 s) (Cuadro 2). El almidón modificado, al comportarse de esta manera, permite realizar una gelatinización más fácil ya que se logra en menor tiempo.

De acuerdo con lo referenciado por Badui (2006), los valores de pH menores de 5 o mayores de 7 tienden a reducir la temperatura de gelatinización y acelerar el proceso de cocción, lo que puede ser la razón de este comportamiento en el almidón modificado con ácido cítrico ya que presentó valores promedio de pH de 1,7.

**Inestabilidad del gel.** La inestabilidad del gel indica la estabilidad de la pasta o carencia de ella, durante la cocción. A mayor valor, menor estabilidad de la pasta; se calcula como la diferencia entre la viscosidad máxima y la viscosidad mínima (Aristizábal *et al.*, 2007) (Figuras 2 y 3; Cuadro 2). En este caso, la inestabilidad del gel del almidón con ácido cítrico fue de 0,1387 Pa \* s y la del almidón sin ácido fue de 1,453 Pa \* s; con esto se podría decir que el almidón sin acidificar presentó menor estabilidad de la pasta, pero al observar las Figuras 2 y 3 se pudo ver que en la Figura 2 se dio una caída más pronunciada de la curva de viscosidad, por lo cual se obtuvieron valores relativos (%) ya que cada viscoamilograma está en escalas diferentes, encontrando que, quien presenta mayor inestabilidad del gel es el almidón con ácido cítrico, ya que tiene un porcentaje de pérdida de viscosidad de 72,05 respecto a un porcentaje de pérdida de viscosidad de 49,88 del almidón sin ácido cítrico (Cuadro 2). En este sentido se puede decir que la viscosidad en el almidón modificado decayó, es decir, que aunque el almidón se gelatiniza, el producto que se forma es muy inestable; lo que puede deberse a la acción del ácido cítrico sobre las zonas amorfas del almidón, fragmentando el gránulo (Méndez *et al.*, 2009) y por consiguiente al realizarse la cocción se da una menor estabilidad de la pasta (gel débil) (Badui, 2006)

Marín (2013) sostiene que en la modificación con ácidos se producen almidones con polímeros de bajo peso molecular y menor viscosidad, con disminución de la firmeza de los geles.

**Índice de gelificación.** Indica la retrogradación de la pasta después del enfriamiento y la capacidad de formar geles; se calcula como la diferencia entre la viscosidad final y la viscosidad mínima (Aristizábal *et al.*, 2007). El índice de gelificación del almidón modificado con ácido cítrico es menor (0,00399 Pa \* s) que el del almidón sin ácido (0,113 Pa \* s) (Cuadro 2), es decir, la viscosidad final no subió en la curva del almidón modificado, ya que después del pico máximo y luego de caer la curva se espera que, a medida que vaya enfriando, la viscosidad caiga un mínimo y después empiece a subir debido a la formación de gel en la retrogradación. Si no se da un aumento importante de esa viscosidad al final de la curva, lo que significa es que el gel es muy débil, no es un gel estable, lo que representa una desventaja para su utilización en recubrimientos ya que si el almidón no forma ese gel al enfriar, no gelifica, y por lo tanto no está formando un buen

sólido, pero podría servir para otras aplicaciones donde no se requiera formar geles firmes y en altas concentraciones de almidón, tales como caramelos, productos gelificados, especialmente en confitería; así como también en la industria textil y del papel (Marín, 2013).

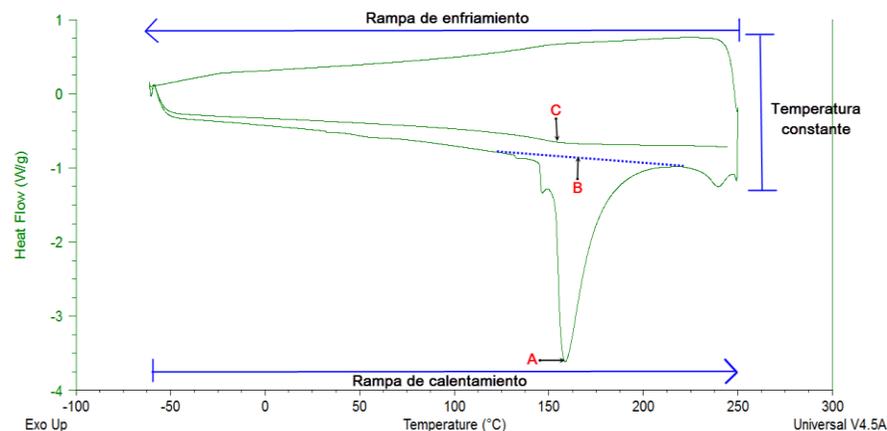
La posible explicación de que el almidón modificado con ácido cítrico haya presentado un índice de gelificación bajo en comparación con el almidón sin ácido cítrico es que la fase amorfa del almidón granular es heterogénea, consistente de amilosa amorfa y de regiones intercrystalinas de amilopectina densamente ramificadas, siendo las últimas altamente susceptibles a varios agentes tales como enzimas y ácidos en disolución. Los ácidos en disolución degradan las zonas amorfas de los almidones afectando los puentes de hidrógeno lo cual retrasa la reasociación de las cadenas de amilosa - amilopectina, disminuyendo la viscosidad de retrogradación, ya que generalmente la retrogradación ocurre cuando las moléculas de almidón se reasocian y forman una estructura ordenada con una rápida cristalización de la amilosa y una lenta recristalización de la amilopectina (Méndez *et al.*, 2009), pues la reasociación de amilosa - amilopectina se da por puentes de hidrógeno, y cuanto más larga sea la zona de unión de los puentes de hidrógeno, el gel será más fuerte y más resistente (Ramírez, 2015).

**3.2.2 Determinación de temperaturas de transición térmica de polímeros por Calorimetría de Barrido Diferencial (DSC).** En esta prueba se obtuvieron termogramas de DSC, para el almidón de yuca variedad SM 707-17 con ácido cítrico (Figura 4) y para el almidón sin ácido cítrico (Figura 5). Los termogramas se analizaron con el software TA Universal Analysis de TA Instruments; para determinar la Temperatura de transición vítrea ( $T_g$ ) (Figuras 6 y 7) y la Temperatura de Fusión ( $T_m$ ) (Figuras 8 y 9). Los valores obtenidos a partir de los termogramas analizados se presentan en los Cuadros 3.y 4

A continuación se presentan los termogramas (Figura 4 y Figura 5) que se obtuvieron en la prueba de DSC, a partir de los cuales se derivan los datos de  $T_g$  y  $T_m$ .

**Figura 4. Termograma de DSC para almidón de yuca variedad SM 707-17 modificado con ácido cítrico**

Muestra el comportamiento del almidón modificado con ácido cítrico, respecto al incremento o disminución de la temperatura en la prueba realizada.



Donde:

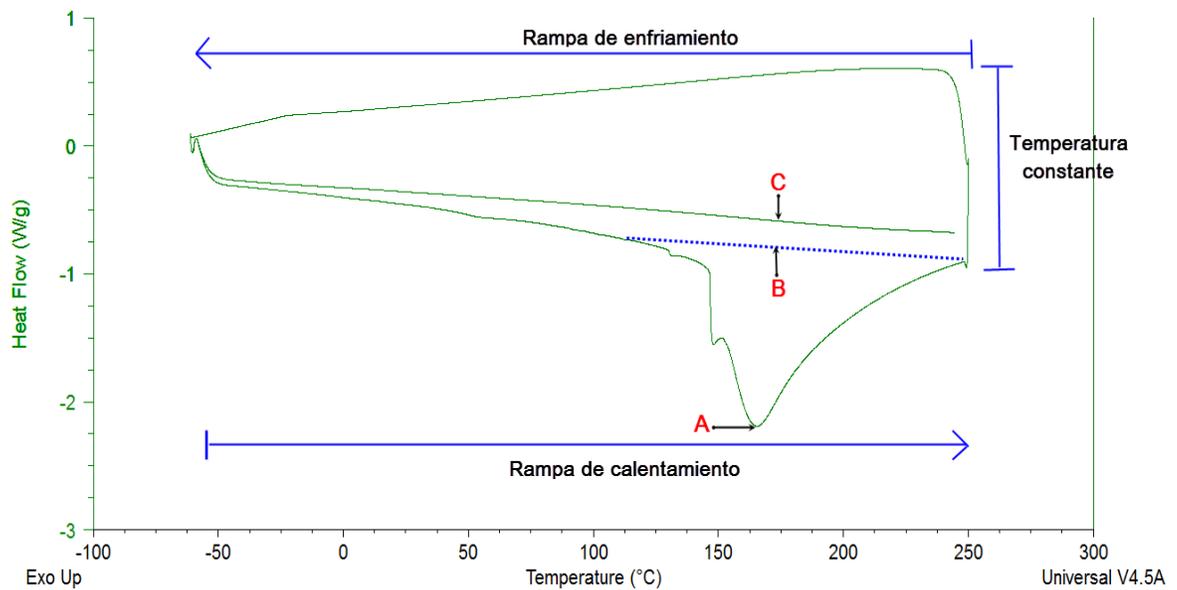
**A** es la curva donde se localiza la Temperatura de Fusión ( $T_m$ )

**B** es la Entalpía ( $\Delta H_m$ ) en el punto de fusión

**C** es la curva donde se localiza la temperatura de Transición vítrea ( $T_g$ )

**Figura 5. Termograma de DSC para almidón de yuca variedad SM 707-17 sin ácido cítrico**

Muestra el comportamiento del almidón sin ácido cítrico, respecto al incremento o disminución de la temperatura en la prueba realizada.



Donde:

**A** es la curva donde se localiza la Temperatura de Fusión ( $T_m$ )

**B** es la Entalpía ( $\Delta H_m$ ) en el punto de fusión

**C** es la curva donde se localiza la Temperatura de transición vítrea ( $T_g$ )

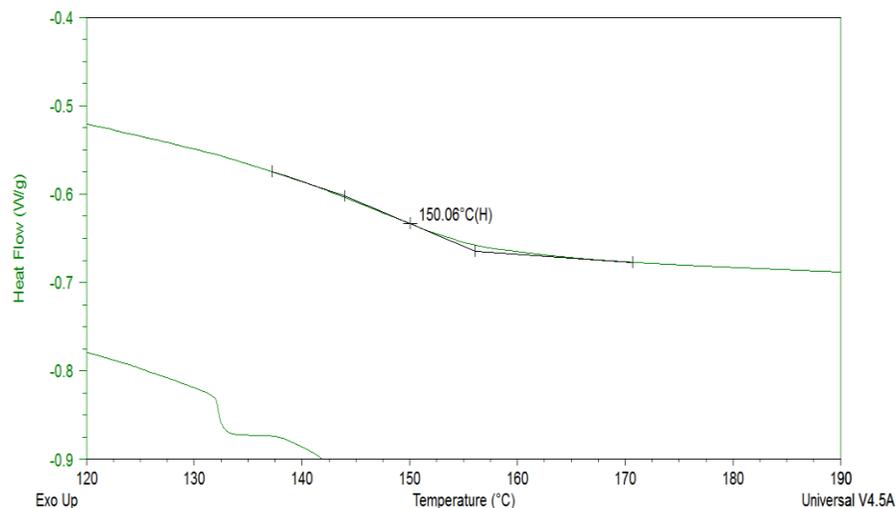
**Temperatura de transición vítrea (Tg).** De acuerdo con los resultados, el valor de Tg para el almidón modificado con ácido fue de 150,06 °C, y para el almidón sin ácido fue de 193,97°C. Estos valores se encuentran por encima de la temperatura ambiente (19 °C) (Cuadro 3, Figuras 6 y 7) lo que significa que los almidones se comportan como materiales vítreos a temperatura ambiente (Enríquez *et al.*, 2013). El almidón modificado con ácido cítrico presentó una Tg menor que el almidón sin ácido, este comportamiento pudo deberse a que el tratamiento ácido desorganizó parte de la estructura del almidón (Palma *et al.*, 2010) disminuyendo su peso molecular, pues según Collazo, Ortega, Talens, y Chiralt (2013) la presencia de ácido cítrico puede disminuir el peso molecular promedio de las cadenas de almidón, haciendo que disminuya la Tg, lo que significa que la modificación con ácido cítrico afectó la estructura molecular del almidón permitiendo que un proceso de gelatinización o cocción se dé a menor temperatura, y por consiguiente con menor energía. Jonguitud *et al.* (2010) dice que la disminución en la temperatura se debe principalmente a la modificación que se genera por efecto del ácido sobre la estructura del almidón, ocasionando que este se vuelva más sensible hacia la gelatinización por efecto de la modificación de la superficie del gránulo, permitiendo que en condiciones de exceso de agua y altas temperaturas la amilosa difunda hacia el exterior del gránulo, de forma tal que el gránulo pierde su estructura y propicia la formación del gel a menores temperaturas que las del almidón nativo

**Cuadro 3. Valores de Temperatura de transición vítrea (Tg) para almidón de yuca variedad SM 707-17 modificado con ácido cítrico y sin ácido cítrico.**

PARÁMETROS	ALMIDÓN MODIFICADO CON ÁCIDO CÍTRICO	ALMIDÓN SIN ÁCIDO CÍTRICO (MUESTRA TESTIGO)
TEMPERATURA DE TRANSICIÓN VÍTREA Tg (°C)	150,06	193,97

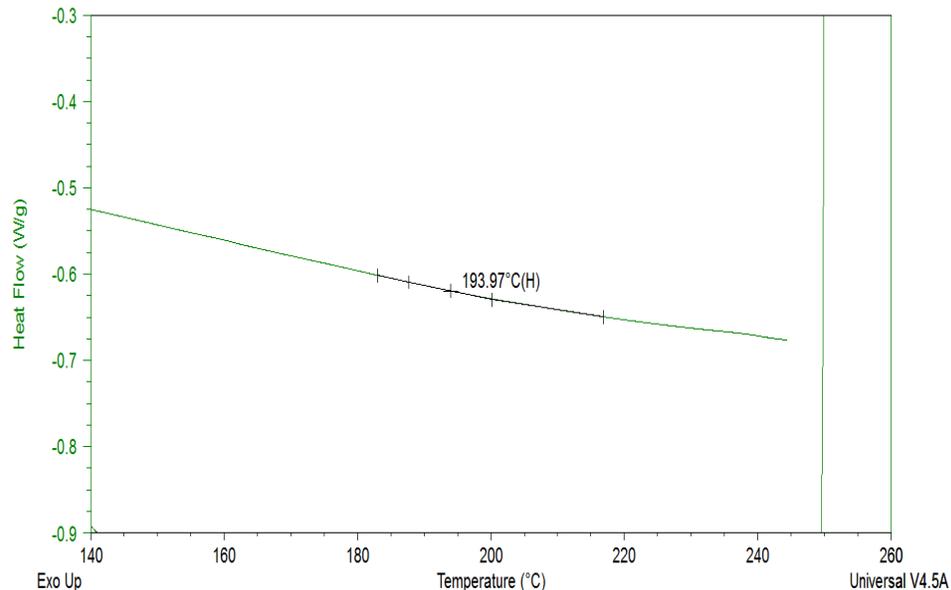
**Figura 6. Temperatura de transición vítrea (Tg) de almidón de yuca variedad SM 707-17 modificado con ácido cítrico.**

El valor de Tg se obtuvo mediante el análisis de la Figura 4 (Curva C), por medio del software TA Universal Analysis de TA Instruments.



**Figura 7. Temperatura de transición vítrea (Tg) de almidón de yuca variedad SM 707-17 sin ácido cítrico.**

El valor de Tg se obtuvo mediante el análisis de la Figura 5 (Curva C), por medio del software TA Universal Analysis de TA Instruments



**Temperatura de fusión (Tm).** El almidón modificado con ácido cítrico presentó disminución en el valor de Tm (158,67 °C) respecto al almidón sin ácido (165,26 °C), (Cuadro 4, Figuras 8 y 9), posiblemente por el efecto del ácido sobre el rompimiento del gránulo del almidón, causando una disminución en la temperatura necesaria para fundir los cristales y alterar la estructura del almidón.

La entalpía del almidón sin ácido es mayor (176,5 J/g) a la del almidón con ácido cítrico (161 J/g) (Cuadro 4; Figura 8; Figura 9), lo que indica que en el momento de fundir los gránulos, se requiere más energía para desorganizar las cadenas (Enríquez *et al.*, 2013). Cuando se disminuye la entalpía o la fusión, el almidón se vuelve menos cristalino porque al aumentar la cristalinidad requiere más energía, es decir, el almidón sin ácido cítrico es más organizado que el modificado, por lo tanto la modificación afectó la organización molecular haciendo que disminuyera la entalpía, ya que cuando se funde un almidón es necesario romper la estructura semicristalina original (Villada, Acosta, y Velasco, 2008))

Los gránulos de almidón son insolubles en agua fría, debido a que su estructura está altamente organizada y a que presenta una gran estabilidad por las múltiples interacciones que existen con sus dos polisacáridos constituyentes; sin embargo, cuando se calientan empieza un proceso lento de absorción de agua en las zonas intermicelares amorfas, que son las menos organizadas y las más accesibles, ya que los puentes de hidrógeno no son tan numerosos ni rígidos como en las áreas cristalinas. A medida que se incrementa la temperatura, se retiene más agua y el gránulo empieza a hincharse y a aumentar de volumen, una vez que la parte amorfa se ha hidratado completamente, la

cristalina inicia un proceso semejante, pero para esto se requiere más energía (Badui, 2006).

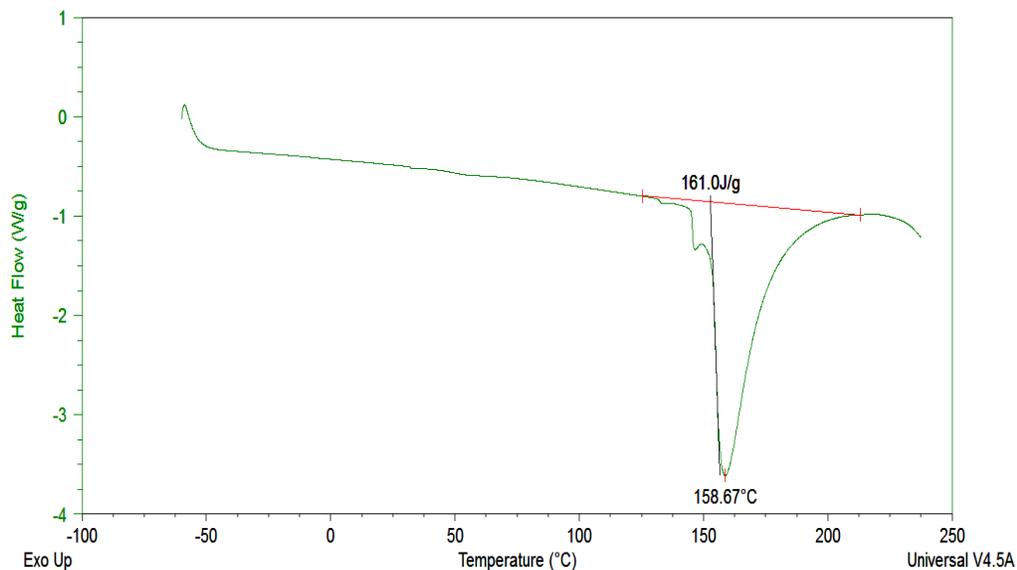
En este punto se pierden la estructura original y la birrefringencia del gránulo, aunado a un aumento de la viscosidad de la amilosa que se encuentra en solución. A todo este proceso se le llama gelatinización, y es una transición de un estado ordenado (la estructura cristalina) a otro desordenado en el que se absorbe calor, es decir, la gelatinización transforma los gránulos de almidón insolubles en una solución de las moléculas constituyentes en forma individual (Badui, 2006).

**Cuadro 4. Valores de Temperatura de fusión (Tm) y Entalpía ( $\Delta H_m$ ) para almidón de yuca variedad SM 707-17 modificado con ácido cítrico y sin ácido cítrico.**

PARÁMETROS	ALMIDÓN MODIFICADO CON ÁCIDO CÍTRICO	ALMIDÓN SIN ÁCIDO CÍTRICO (MUESTRA TESTIGO)
TEMPERATURA DE FUSIÓN Tm (°C)	158,67	165,26
$\Delta H_m$ (J/g)	161	176,5

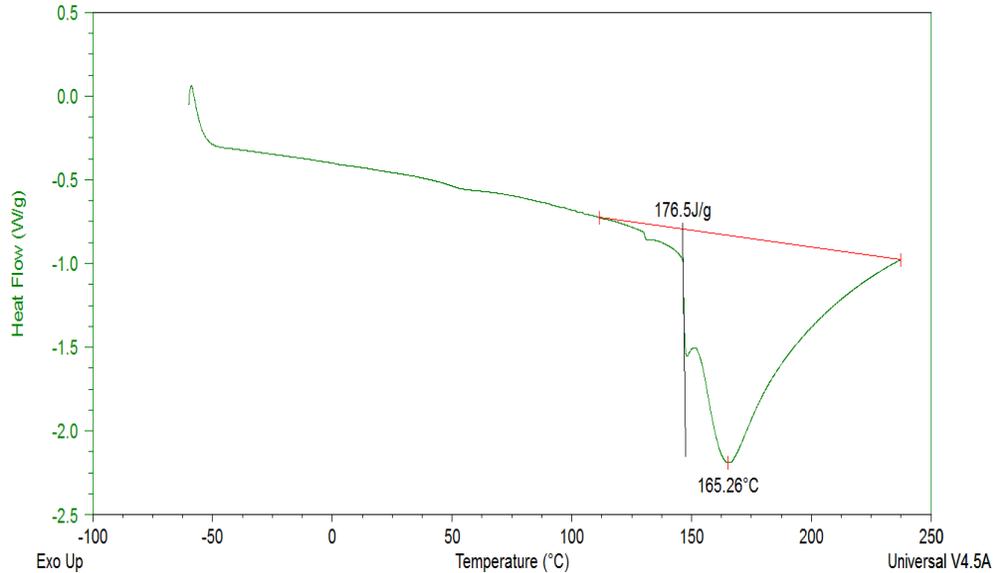
**Figura 8. Punto de fusión de almidón de yuca variedad SM 707-17 modificado con ácido cítrico.**

El valor de Tm y  $\Delta H_m$  se obtuvo mediante el análisis de la Figura 4 (Curva A, Punto B), por medio del software TA Universal Analysis de TA Instruments.



### Figura 9. Punto de fusión de almidón de yuca variedad SM 707-17 sin ácido cítrico.

El valor de  $T_m$  y  $\Delta H_m$  se obtuvo mediante el análisis de la Figura 5 (Curva A, Punto B), por medio del software TA Universal Analysis de TA Instruments.



**3.2.3 Observación microscópica del gránulo de almidón de yuca para almidones nativo y modificado con ácido cítrico y enzimáticamente.** En las micrografías con Microscopía Óptica de Alta Resolución (MOAR) (Figura 10) se observan diferentes características de los almidones de yuca analizados (almidón nativo, almidón modificado con ácido cítrico y almidón modificado enzimáticamente). En el almidón nativo se pueden apreciar los bordes de los gránulos y pequeñas aglomeraciones esféricas, con hilum definido y céntrico en forma de asterisco, indicando que el almidón no está gelatinizado (Sívoli, Pérez, Rodríguez, Raymúndez, y Ayesta, 2009) a diferencia del almidón modificado con ácido cítrico que presenta alteraciones en su superficie dejando ver formas y apariencias irregulares truncadas, como si tuviera cortes en diferentes direcciones, los gránulos se notaron quebrados o fraccionados esto debido a la combinación de temperatura y adición de ácido cítrico que en primera instancia deja notar un cambio en la forma del gránulo, pues según Alvarado (2014) cualquier modificación por mínima que sea puede alterar la forma, la función y el comportamiento de la biomolécula. Además se pueden apreciar hendiduras más pronunciadas en los gránulos modificados con ácido cítrico, debido al rompimiento del granulo por efecto del ácido (Palma *et al.*, 2010) pues, la modificación del almidón corresponde principalmente a la degradación de las regiones amorfas seguido por regiones cristalinas. Esto se ha confirmado mediante estudios comparativos entre hidrólisis ácida y enzimática en almidones de tubérculos (Martín y López, 2009).

**Figura 10. Micrografías de gránulos de almidón de yuca variedad SM 707-17**



**Fuente.** Las autoras

De otro modo, el gránulo de almidón modificado enzimáticamente mostró fisuras, orificios y superficie truncada, esto debido a que según Mendoza (2012) la superficie de los gránulos de almidón se ve afectada de diferentes maneras, primero por erosión de la superficie del gránulo o por secciones (exo-corrosión) ó actuando en zonas específicas que influyen la susceptibilidad a la hidrólisis (Bonilla, 2010) como los canales u orificios producto de la porosidad del gránulo (endo-corrosión) por acción de las enzimas (Mendoza, 2012), por lo que según lo dicho anteriormente se puede notar que las enzimas tienen mayor poder de acción en este tipo de modificación debido a su especificidad y poder de hidrólisis a diferencia del ácido cítrico que demostró ser muy débil para generar hidrólisis aunque haya realizado cambios en la superficie del gránulo.

### **3.3 VARIABLES DE RESPUESTA**

De acuerdo con el diseño experimental, **T1** es Muestra Testigo (tomate sin recubrir); **T2** es Recubrimiento con almidón de yuca modificado enzimáticamente; **T3** es Recubrimiento con almidón de yuca modificado con ácido cítrico y **T4** es Recubrimiento con almidón de yuca nativo.

Debido a la naturaleza del diseño planteado, se evaluó la normalidad de los datos de las variables de respuesta obtenidos en el software SPSS versión 19 con un porcentaje de significancia del 5%, a partir del cual se obtuvo que las pruebas destructivas (muestras independientes) como sólidos solubles totales y firmeza se comportaron bajo una distribución normal, mientras que acidez titulable, pH presentaron comportamiento bajo una distribución no normal y las pruebas no destructivas (muestras relacionadas) como porcentaje de pérdida de peso, porcentaje de O<sub>2</sub>, porcentaje de CO<sub>2</sub> y color (L, a\*, b\*, C, h°) se ajustan a una distribución normal.

De esta manera las muestras independientes y relacionadas con comportamiento bajo distribución normal se evaluaron por pruebas paramétricas (ANOVA) y pruebas paramétricas con medidas repetidas respectivamente, y las muestras independientes que se ajustan a una distribución no normal se evaluaron y analizaron mediante pruebas no paramétricas (prueba de comparaciones múltiples de Mann Whitney y prueba de Kruskal Wallis).

En el Anexo A se encuentran los datos promedio de las mediciones de las variables de respuesta a partir de los cuales se llevó a cabo el análisis para cada variable.

### **3.3.1 Muestras independientes con comportamiento bajo distribución normal.**

**3.3.1.1 Sólidos solubles totales (SST).** Se realizó el análisis de varianza (ANOVA) (Anexo B Cuadro 17) para los factores de Recubrimiento y Tiempo y la interacción de los mismos; para el factor “Recubrimiento” no hay diferencias significativas entre los tratamientos ( $p > 0,05$ ), lo que indica que este factor no incidió en los valores de grados Brix obtenidos, ya que estadísticamente los recubrimientos son iguales.

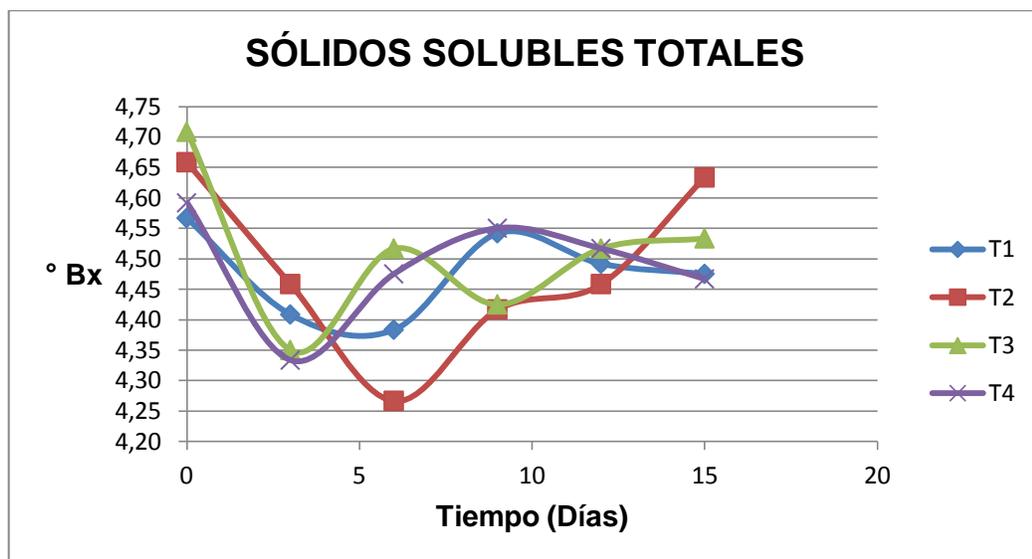
Tales resultados se confirman en la Figura 11 donde aparentemente los tratamientos presentan diferencias, pero según la escala de grados Brix, estas diferencias son muy pequeñas (aproximadamente de 0,2 unidades en sólidos solubles).

En cuanto al factor Tiempo, por criterios de significancia ( $p < 0,05$ ) el tiempo presenta diferencias entre las medias, lo que indica que hay diferencias en los grados Brix al cambiar el tiempo; Alarcón (2013) señala que el contenido de sólidos solubles incrementa con la maduración de los frutos, lo que se atribuye a la acumulación de sustancias orgánicas durante la degradación enzimática del almidón (polisacárido de reserva de las plantas), de la celulosa (carbohidratos estructurales) y de otros componentes celulares de tejido vegetal, dicho esto, se verificó la existencia de diferencia entre las varianzas en el Cuadro de homogeneidad de varianzas (Anexo B Cuadro 18) la cual reveló que estas son estadísticamente diferentes ( $p < 0,05$ ). Debido a lo anterior, se procedió a analizar los resultados mediante la prueba T3 de Dunnett, que demostró que los cambios que hay entre las medias de sólidos solubles, no son estadísticamente significativos, debido a esto la prueba generó un subconjunto, formando un solo grupo que indica que no hay cambios significativos en los sólidos solubles respecto al tiempo (Anexo B Cuadro 19).

De acuerdo con la Figura 11 se puede observar que el comportamiento de los °Bx en todos los tratamientos, presentó fluctuaciones. En los tratamientos T1 y T4 se dio un comportamiento similar donde los °Bx disminuyeron al inicio y luego aumentaron para finalmente descender en el día 15, por el contrario en el tratamiento T2 se dio un descenso abrupto hasta el día 6 y luego incrementó hasta el día 15, en tanto que T3 presentó oscilaciones posiblemente por la intensificación de los procesos de hidrólisis de los polisacáridos estructurales de la pared celular de los frutos hasta sus componentes monoméricos básicos principalmente glucosa, fructosa y sacarosa que son los constituyentes básicos de este indicador (Alarcón, 2013). En este caso Barco *et al.*, (2011) reportó valores hacia el día 15 de 3,9 °Bx lo que difiere con los Brix obtenidos en el día 15 en el presente estudio en donde el mejor tratamiento reportó 4,47 °Bx, lo que posiblemente obedeció a la diferencia en el estado de madurez en el que se cosechó el fruto pues, en el caso antes mencionado, el grado de madurez en la cosecha fue de 1

mientras que en el presente estudio el grado de madurez fue de 4, ya que inmediatamente después de la recolección de los productos vegetales, las enzimas responsables de la hidrólisis del almidón ( $\alpha$ - y  $\beta$ - amilasas) se activan, posiblemente por un efecto de estrés de recolección, lo que supone un rápido incremento de sustratos respiratorios (azúcares y ácidos) (Hernández, 2013).

**Figura 11. Comportamiento de los Sólidos Solubles Totales**



**3.3.1.2 Firmeza.** Para el factor Recubrimiento no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos ( $p > 0,05$ ), lo que indica que este factor no incidió en la firmeza de los frutos, ya que estadísticamente no existen efectos que presenten diferencia significativa entre los recubrimientos. Al evaluar la interacción Recubrimiento-Tiempo en el ANOVA, se encontró que no hay relación entre ellos, es decir, tanto el tiempo como el tipo de recubrimiento actúan de forma independiente en los cambios de firmeza de los frutos.

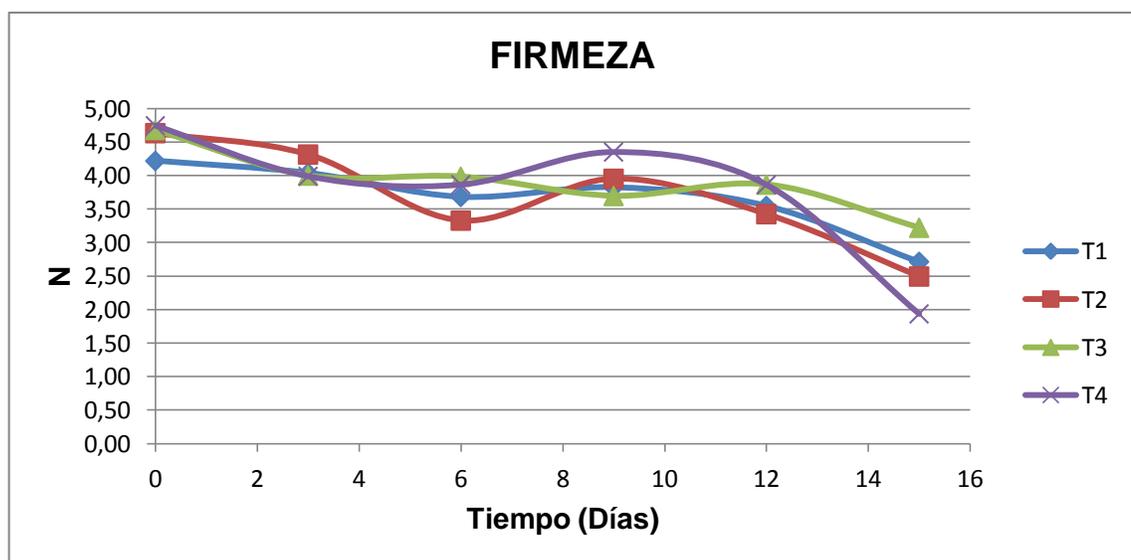
En cuanto al factor Tiempo, según el ANOVA y por criterios de significancia ( $p < 0,05$ ) el tiempo presenta diferencias entre las medias, lo que indica que hay diferencias en la firmeza con el paso del tiempo (Anexo C Cuadro 20) porque la pérdida de firmeza se ve afectada por acción de tres enzimas principales: celulasa, pectinesterasa y poligalacturonasa (Gómez y Camelo, 2002), además pudo existir un gran contenido de humedad y probablemente una producción acelerada de etileno que contribuyó a una maduración precipitada (Alarcón, 2013).

Se observó la existencia de diferencia entre las varianzas en la prueba de homogeneidad de varianzas (Anexo C Cuadro 21), el cual mostró diferencias, por lo que se procedió a analizar los resultados con la prueba T3 de Dunnet (Anexo C Cuadro 22) que indicó la ausencia de cambios significativos en la firmeza entre el punto inicial y el día 3 donde se encontraron los mayores valores de firmeza ya que la prueba los ubica en un mismo grupo indicando que no hay diferencias entre las medias, de igual forma, para los días 6,

9, 12 donde los valores de firmeza fueron intermedios; las diferencias significativas se presentaron hacia el día 15 que presentó el menor valor de firmeza en comparación con los demás días y por ende una diferencia significativa en comparación con el día inicial, por ende la disminución de firmeza es notable a través del tiempo.

En la Figura 12 se puede notar que la pérdida de firmeza sigue un comportamiento parecido para los tratamientos en general, donde hay fluctuaciones en los valores obtenidos. Se observa que desde el punto inicial hasta el día 3 los tratamientos pierden firmeza donde el que representa la menor pérdida es el T2, pero a partir del cual reduce aceleradamente su firmeza hasta el día 6 en donde tiene un comportamiento parecido con el T4 siendo el T2 el que presenta menor firmeza hasta el día 13 presentando incluso menor firmeza que el T1, de otro lado el tratamiento T3 tiene menor fluctuación y presenta menor pérdida de firmeza con un valor de 3,22 N lo que indica que el T3 presentó mejor resistencia a la penetración, estos valores son superiores que los obtenidos por Jimenez y Duque (2016) con 1,48 N hasta 1,15 N en tomate recubierto con propóleo y almidón de yuca; el resultado anterior concuerda con el encontrado por Rojas, Tapia, y Martín, (2008) que encontraron efectos similares con recubrimientos de almidón de yuca y ácido cítrico aplicados a trozos de manzana; así como también por Dussan, Torres, y Reyes (2014) en trozos de mango recubiertos y tratados con ácidos orgánicos (ácido cítrico) que contribuyeron a incrementar la firmeza porque el ácido cítrico reduce las tasas de respiración y de producción de etileno que inciden en la velocidad de maduración. De lo anterior se puede inferir que el T3 por haber sido el tratamiento con fluctuación moderada en los valores de firmeza a lo largo del tiempo evaluado y por haber presentado mayor firmeza hacia el final del mismo, es el tratamiento que presenta mejor comportamiento al mantener la firmeza de los frutos, respecto a los demás tratamientos, ya que de alguna manera la acción del ácido cítrico redujo la solubilización de sustancias pécticas que forman parte estructural de la pared celular, y al retrasar este proceso se retrasa en conjunto el ablandamiento (Benito, Arellanes, y Pérez, 2016), del fruto que se refleja en el valor de firmeza medido.

**Figura 12. Comportamiento de la firmeza**



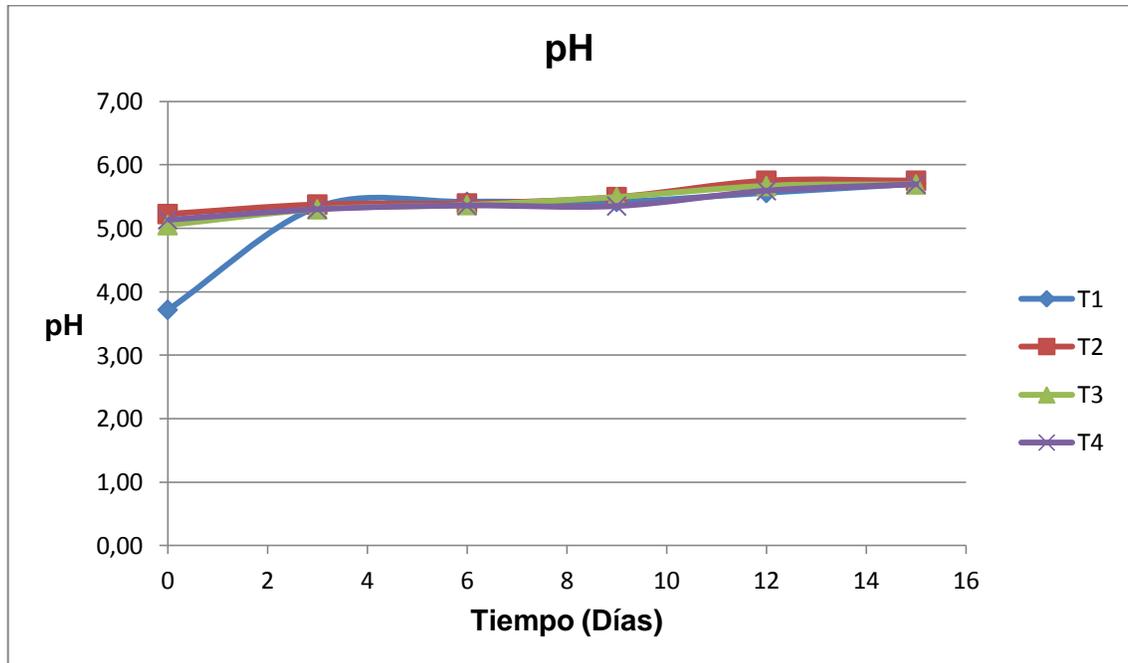
### 3.3.2 Muestras independientes con comportamiento bajo distribución no normal

**3.3.2.1 Índice de acidez - pH.** Las pruebas de pH y acidez titulable tuvieron comportamiento bajo distribución no normal por lo que se analizaron mediante pruebas no paramétricas cuyos análisis se muestran a continuación. En lo que respecta al factor "Recubrimiento" mediante la prueba de Kruskal Wallis (Anexo D Cuadro 23) y por efectos de significancia se determinó que no hubo cambios significativos ( $p > 0,05$ ) en el pH que hayan sido producidos por el tipo de recubrimiento.

En lo correspondiente al efecto del Tiempo sobre el pH, la prueba de Kruskal Wallis (Anexo D Cuadro 24) determinó que el tiempo afectó esta variable de respuesta de manera significativa ( $p < 0,05$ ), por tal razón este factor se analizó nuevamente a través de la prueba de comparaciones múltiples de Mann Whitney (Anexo D Cuadro 25), donde se hicieron comparaciones a través de los días del diseño para establecer las diferencias entre los mismos y los resultados obtenidos demostraron que todos los días hubo cambios significativos de pH, cambios que fueron establecidos por criterios de significancia que dieron lugar a la formación de un grupo diferente para cada día de evaluación .

En este caso la relación pH - Tiempo es directamente proporcional en todos los tratamientos como se puede ver en la Figura 13, es decir, a medida que avanza el tiempo, el pH se incrementa en los frutos.

**Figura 13. Comportamiento del pH**



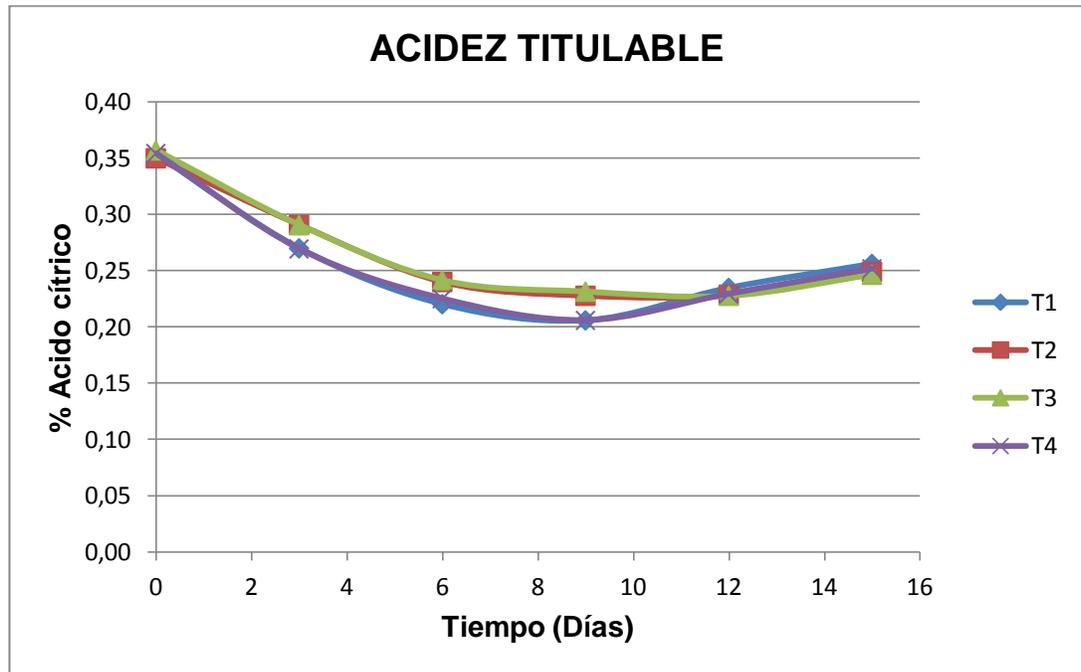
El tratamiento con mayores cambios en el valor de pH es el T1 (Figura 13) debido a que inicia con un valor de 3,72 y hasta el día 3 incrementó su valor a 5,33 mostrando disminución de la acidez, lo que concuerda con los resultados hallados por Jimenez y Duque (2016), donde las muestras de tomate sin recubrir disminuyeron ligeramente su acidez mostrando valores de pH superiores a los valores de pH de los frutos recubiertos; según Hernández (2013) el incremento en el pH de los productos vegetales se debe a que los ácidos orgánicos de reserva presentes en las vacuolas de las células, son transformados por la propia célula a azúcares que son utilizados para la respiración, lo que ocasiona una disminución de la acidez del medio y con ello un aumento del pH; por otro lado, a partir del día 3 el comportamiento de todos los tratamientos es similar, en donde las líneas de cada tratamiento se superponen hasta el día final del estudio, demostrando que hubo un leve incremento en el pH, en el cual no se puede definir el mejor tratamiento para el control de esta variable; de igual manera el incremento de pH se da por la susceptibilidad de las hortalizas a la alteración bacteriana eso debido a que las hortalizas carecen en contenido de proteínas y por ello no poseen la capacidad de tamponado para contrarrestar los cambios en su pH durante el crecimiento de microorganismos durante la maduración (Hernández, 2013).

**3.3.2.2 Acidez titulable.** Mediante la prueba de Kruskal Wallis se determinó que el factor recubrimiento no influyó ( $p > 0,05$ ) el porcentaje de ácido cítrico encontrado a través de las mediciones, en cambio el tiempo tuvo influencia en esta variable de respuesta ( $p < 0,05$ ) (Anexo E Cuadro 26 y Anexo E Cuadro 27), factores Recubrimiento y Tiempo respectivamente), siendo significativos los cambios por efecto del tiempo; se siguió el análisis a través de la prueba de comparaciones múltiples U de Mann Whitney (Anexo E Cuadro 28) que determinó que la acidez titulable tuvo el mayor valor al inicio del estudio (0,3535) y disminuyó progresivamente hasta el día 9, luego tuvo una pequeña recuperación para el día 12 donde tuvo un valor de acidez titulable parecida a la del día 6, ubicándose estos dos días en un solo grupo, a diferencia de los demás días donde hubo cambios estadísticamente significativos.

La influencia del tiempo sobre la acidez titulable tiene que ver con la aceleración del proceso respiratorio de los frutos que causa el incremento de la concentración de ácidos en los mismos, lo que representa la caída de la acidez hasta el día 9 pero el incremento a partir de este día ya no se caracteriza por ser un proceso fisiológico normal, sino que se da por la desintegración de los tejidos del fruto causada por el ataque de hongos (Amaya, Peña, Mosquera, Villada, y Villada, 2010) como *Colletotrichum sp.* y *Fusarium sp.*, que causaron un aumento de la acidez; debido a que estos microorganismos se encontraron en las muestras (frutos recubiertos y sin recubrir).

Dicho de otro modo, como se observa en la Figura 14 los tratamientos T1 y T4 presentan comportamiento similar al igual que los tratamientos T2 y T3. De manera general, se puede notar que los cuatro tratamientos presentan disminución de la acidez titulable desde el primer día de tratamiento hasta el día 9 donde se nota claramente la influencia del tiempo anteriormente mencionada y en donde T2 y T3 generaron menor disminución en el porcentaje de acidez titulable respecto a T1 y T4, lo que se traduce en que de una u otra manera los recubrimientos aplicados de almidón modificado (por vía ácida y enzimática) generaron una barrera que retrasó levemente la actividad metabólica de los frutos, característica responsable del descenso en la acidez titulable (Hernández, 2013).

Figura 14. Comportamiento de la Acidez titulable



Respecto al T3, su comportamiento pudo deberse a que la actividad respiratoria disminuye ante la presencia de agentes acidificantes como el ácido cítrico (Galvis, Morales, y Suárez, 2012). Un resultado similar fue encontrado por Reina (1998) (citado por Hernández (2013) quien encontró fluctuaciones con tendencia decreciente en el porcentaje de acidez titulable durante la conservación de tomate a condiciones ambientales, fenómeno que según Vazquez y Guerrero (2013) se debe a la aplicación de recubrimientos con base en hidratos de carbono, ya que son una alternativa para disminuir y retrasar la pérdida de peso, color, acidez titulable entre otras; al mismo resultado se llegó a través del estudio de cambios de color y contenido de ácidos durante el almacenamiento de rodajas de tomate, realizado por Galvis *et al.* (2012), quienes reportaron que el mejor tratamiento fue la aplicación de ácido cítrico ya que en todos los tratamientos en general hubo disminución de ácidos, pero las pulpas tratadas con ácido cítrico presentaron la menor disminución en el contenido de ácidos. De otro modo los tratamientos T1 y T4 presentaron comportamiento similar en donde la Figura 14 muestra que estos tratamientos se superponen y que además presentaron mayor disminución en el porcentaje de acidez titulable lo que indica que la actividad metabólica fue mayor y que el recubrimiento de almidón nativo no ejerció influencia, dado que se comportó igual que la muestra testigo, y no influyó sobre la maduración. A partir del día 9 la acidez titulable tuvo un incremento progresivo en los cuatro tratamientos, siendo más acelerado en los tratamientos T1 y T4 posiblemente a causa de la desintegración de los frutos, resultado que concuerda con el encontrado por (Amaya *et al.*, 2010), quienes aplicaron solución de almidón nativo y cera comercial en tomate y reportaron incremento en las concentraciones de ácidos por efecto de la aceleración en el proceso respiratorio debido a la

descomposición de los frutos donde la muestra testigo presentó mayor valor de acidez. Por otra parte Jiménez y Duque (2016) reportaron mayores valores de acidez en los tomates recubiertos y atribuyeron el resultado a la fermentación interna que se presentó en el fruto; es probable que este fenómeno se haya dado en los frutos de todos los tratamientos del presente estudio, al mostrar dicho comportamiento. De otro modo, el resultado anterior se puede explicar mediante estudios realizados por Alarcón (2013) que afirma que cuando los frutos utilizan sus reservas energéticas para realizar el proceso respiratorio, se obtiene como resultado mayor acumulación de etileno, una mayor concentración de ácidos orgánicos del ciclo de Krebs y específicamente del ácido cítrico. De manera general en cuanto a valores de acidez titulable los tratamientos que mejor se comportaron fueron T2 y T3 dejando ver similares resultados en cuanto a esta variable, además se puede decir que los recubrimientos con almidón modificado mejoraron la retención de ácidos y retardaron la volatilización de ácidos orgánicos, por lo que reportaron mayor concentración de ácido cítrico.

### **3.3.3 Muestras relacionadas con comportamiento bajo distribución normal**

**3.3.3.1 Tasa de Respiración (Porcentaje de O<sub>2</sub>).** En un fruto es deseable una baja velocidad de respiración, puesto que indica un bajo porcentaje de utilización de azúcares, que son los principales sustratos respiratorios, y de otros materiales de reserva esenciales, lo que alargará su vida útil (Salgado y Martínez, 2006).

Para el análisis de porcentaje de O<sub>2</sub> se usó la prueba de medidas repetidas (Anexo F Cuadro 29) usando como criterio de decisión la significancia, que reportó que el porcentaje de O<sub>2</sub> no se vio influenciado por el paso del tiempo ( $p > 0,05$ ), de manera similar, el análisis estadístico demostró que el factor recubrimiento no afectó la variable en cuestión (Anexo F Cuadro 30), ya que los tratamientos no presentaron diferencias estadísticamente significativas.

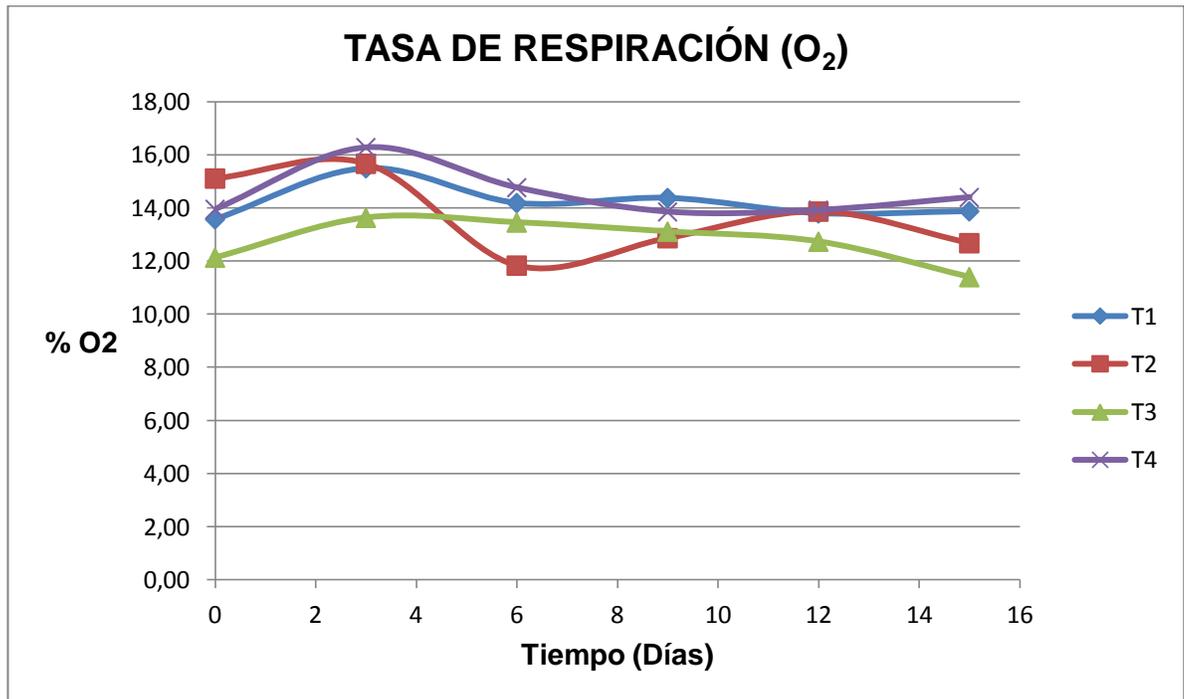
Igualmente, el análisis demostró que no hay interacción Tiempo vs Recubrimiento ( $p > 0,05$ ), lo que significa que el efecto del recubrimiento influye de manera independiente al efecto del tiempo.

La Figura 15 muestra que aunque existen cambios o fluctuaciones en el porcentaje de O<sub>2</sub>, estos cambios estadísticamente no son significativos; para el factor "Tiempo" se realizó la prueba de homogeneidad (Anexo F Cuadro 31), que señala que no hay diferencias en los resultados obtenidos de concentración de O<sub>2</sub> a través del tiempo, lo que se confirmó mediante la prueba de Tukey (Anexo F Cuadro 32), que agrupó el factor "Tipo de recubrimiento" en el mismo conjunto indicando que estos tienen efectos iguales en la concentración de oxígeno.

Sin embargo teniendo en cuenta la Figura 15 cabe resaltar que durante los dos primeros días de tratamiento el tratamiento T2 reveló mayor consumo de O<sub>2</sub>, mientras que los tratamientos T1 y T4 mantuvieron mayores valores en la velocidad de respiración a partir del día 3 respecto a los demás tratamientos a causa del incremento en la actividad metabólica (Hernández, 2013), este incremento en la variable de respuesta concuerda con los resultados obtenidos por Jiménez y Duque (2016) que encontraron incrementos notorios en la tasa de respiración en tomates sin recubrir lo que atribuyen a la difusión libre de gases como O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub>; el incremento de la tasa de respiración conduce a la

maduración y es a causa del periodo de evolución de los frutos en el que suceden una serie de cambios bioquímicos que se inician con la producción autocatalítica del etileno, marcando el paso del crecimiento hacia la senescencia (Hernández, Barrera, y Melgarejo, 2010).

**Figura 15. Comportamiento del porcentaje de O<sub>2</sub>**



A partir del día 2 hasta el día 6 los frutos del T2 disminuyeron su consumo de O<sub>2</sub> debido a que el tejido de los productos de origen vegetal envejece disminuyendo la tasa de respiración y considerando que en esta etapa algunos frutos estaban dañados por el ataque de hongos y otros sobre-madurados; por otro lado el tratamiento que presentó menor velocidad en la tasa de respiración fue el T3 debido a que el recubrimiento tiene inmerso el ácido cítrico a causa de la modificación, este resultado concuerda con lo referenciado por Dussan *et al.*, 2014 donde reseña que está comprobado que la utilización de ácido cítrico reduce las tasas de respiración y producción de etileno en rebanadas de mango.

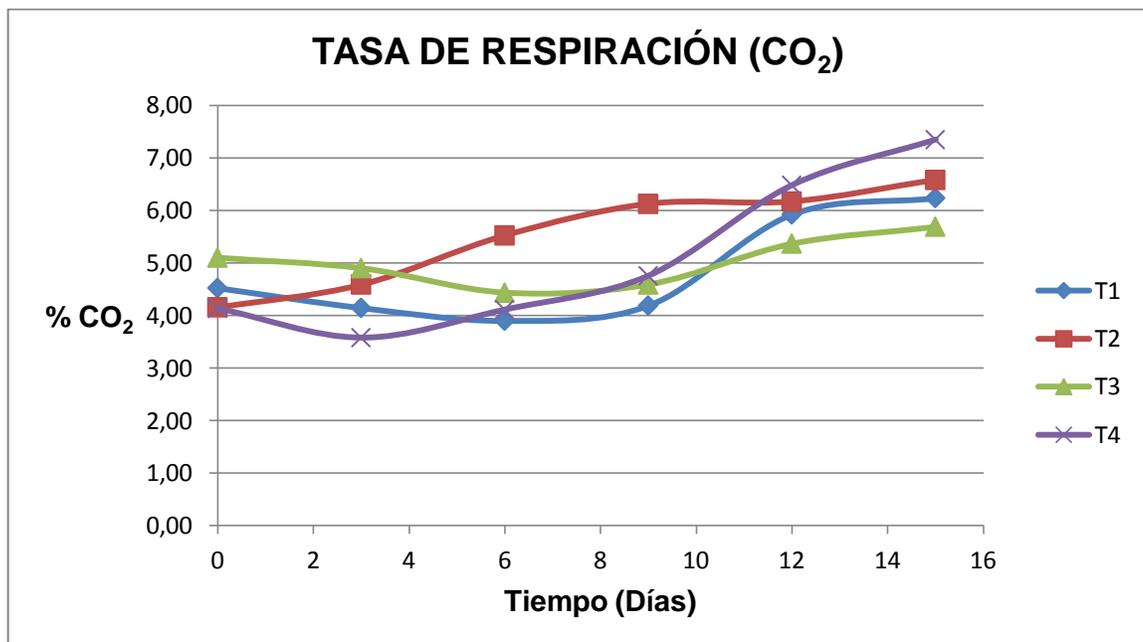
**3.3.3.2 Tasa de respiración (Porcentaje de CO<sub>2</sub>).** El ANOVA de medidas repetidas (Anexo G Cuadro 33), muestra que el tiempo ejerce influencia en el contenido de CO<sub>2</sub> ( $p < 0,05$ ) por lo que se recurre a la prueba de homogeneidad de varianzas (Anexo G Cuadro 34), ( $p < 0,05$ ); que muestra diferencias entre las mismas, por lo que se aplicó la prueba de T3 de Dunnet (Anexo G Cuadro 35), que corrobora que no hay diferencias en el porcentaje de CO<sub>2</sub> reportado ya que esta prueba ubica todos los tratamientos en un mismo grupo. La interacción entre tiempo vs recubrimiento no es significativa ( $p > 0,05$ )

por lo tanto se puede inferir que la influencia del tiempo fue independiente de la influencia del recubrimiento.

Respecto a la influencia del tipo de recubrimiento, el ANOVA de medidas repetidas muestra claramente que no hubo efecto ( $p > 0,05$ ) sobre el  $\text{CO}_2$  (Anexo G Cuadro 36); teniendo en cuenta lo anterior se analizó la información proporcionada por la prueba de Tukey para recubrimiento (Anexo G Cuadro 37) resolviendo que todos los tipos de recubrimientos ejercieron igual influencia sobre el contenido de  $\text{CO}_2$  dado que esta prueba agrupó los diferentes tipos de recubrimiento un solo conjunto.

Se puede ver que hay aumento en el contenido de  $\text{CO}_2$  a través del tiempo para todos los tratamientos (Figura 16); T2 presentó un incremento pronunciado en comparación con los demás tratamientos desde el día inicial hasta el día 11, lo que está estrechamente relacionado con los procesos fisiológicos llevados a cabo por el fruto, a causa de la descomposición de polisacáridos en azúcares simples; oxidación de azúcares a ácido pirúvico y la transformación aeróbica del piruvato y de otros ácidos orgánicos en  $\text{CO}_2$ , agua y energía (García, Contreras, Rodríguez, y Trujillo, 2010). Como se puede notar el tratamiento T2 aumentó los niveles de  $\text{CO}_2$  liberado y disminuyó el consumo de  $\text{O}_2$ , proceso que se atribuye a la acción de la enzima piruvato descarboxilasa que provoca incremento en la liberación de  $\text{CO}_2$  en la quema de azúcares, lo que disminuye por tanto la cantidad de azúcares en el fruto, es en este momento en que el fruto comienza a producir más  $\text{CO}_2$  que el  $\text{O}_2$  consumido, se detiene el crecimiento vegetativo, lo que conlleva al envejecimiento o maduración del fruto (Vera, de los Ríos, Urruela y Hernández, 2012)

**Figura 16. Comportamiento del porcentaje de  $\text{CO}_2$  durante el tiempo de medición**



Teniendo en cuenta que el estudio se realizó en un estado de madurez de grado 4 en los frutos de tomate, según los resultados anteriores de respiración se puede inferir que el recubrimiento que menos efecto tuvo en el retraso de la maduración fue el tratamiento T2 por su disminución en el consumo de O<sub>2</sub> y el incremento en CO<sub>2</sub> liberado, mientras que el tratamiento que retardó la maduración en sus frutos fue el tratamiento T3 por su consumo de O<sub>2</sub> durante su desarrollo y menor liberación de CO<sub>2</sub> lo que indica que posiblemente la enzima piruvato descarboxilasa tuvo menos efecto en los frutos de este tratamiento retrasando así su senescencia.

La Figura 16 muestra un incremento de porcentaje de CO<sub>2</sub> para todos los tratamientos, siendo T3 el que presentó menor porcentaje en los dos últimos días en los cuales los frutos se deterioraron por acción de hongos y bacterias que se encuentran en el medio (Amaya *et al.*, 2010). El incremento en la producción de CO<sub>2</sub> se acopla a resultados similares encontrados por Suárez, Trejo, y Lira (2015) en la aplicación de recubrimientos en frutos climatéricos donde atribuyen el aumento de la tasa de respiración al estrés generado por la aplicación de recubrimiento sobre el fruto, ya que al tener un agente extraño que limitó el consumo de oxígeno, las frutas incrementaron su ritmo respiratorio, además de que las películas demostraron tener alta permeabilidad al CO<sub>2</sub>.

**3.3.3.3. Porcentaje de pérdida de peso (% PP).** El ANOVA (Anexo H Cuadro 38) mostró que por el factor “Tiempo” hay diferencias en el porcentaje de Pérdida de Peso (%PP), ( $p < 0,05$ ), indicando que a través del tiempo, el peso de los frutos cambió.

La interacción entre los factores “Tiempo vs Recubrimiento” no es significativa, puesto que la significancia es mayor a 0,05 ( $p > 0,05$ ), por lo que se infiere que el tiempo y el recubrimiento afectan al fruto de forma independiente, analizándose el factor tiempo separado del factor recubrimiento.

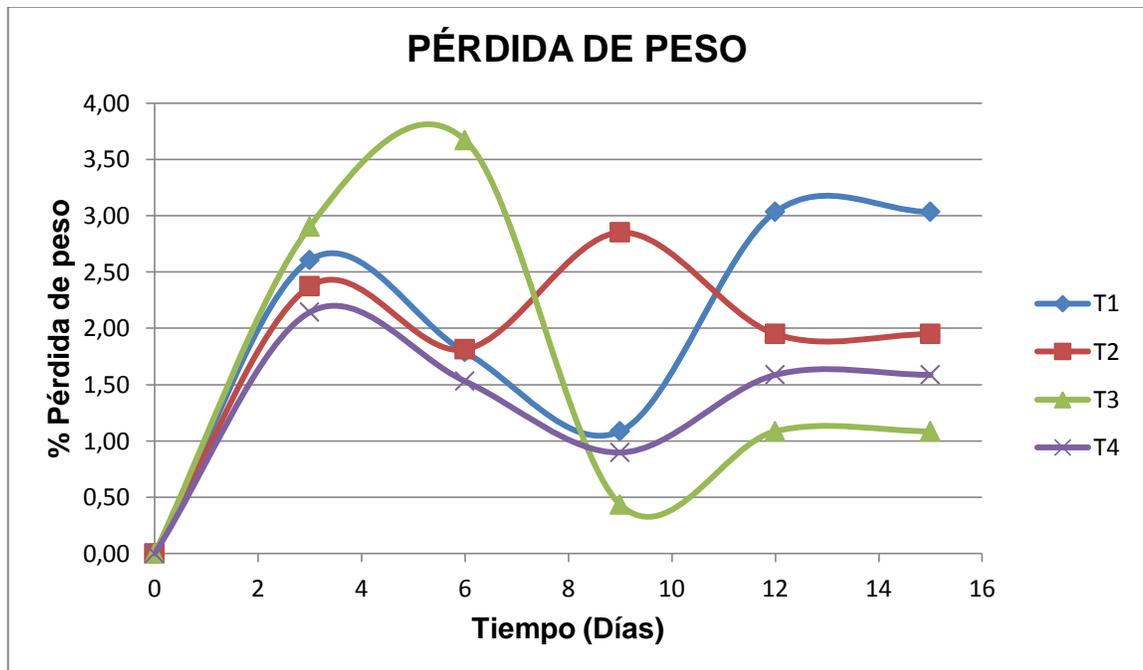
Los datos obtenidos de la variable de respuesta se analizaron mediante un ANOVA respecto al factor Tiempo, donde la prueba de homogeneidad (Anexo H Cuadro 39) confirmó diferencias entre las varianzas por lo que se procedió a verificar cuáles tratamientos son diferentes a través de la prueba de comparaciones múltiples T3 de Dunnet (Anexo H Cuadro 40); esta prueba demostró que en el punto inicial no hay pérdida de peso, estableciendo la diferencia con los demás días, pues al día 3 se obtuvo una disminución significativa en el peso en comparación al punto inicial; entre el día 3 y el día 6 no hubo cambios significativos, por lo cual la prueba T3 de Dunnet ubica estos días en un mismo grupo; pero el día 3 sí se diferenció del día 9 al 15, pues las diferencias son estadísticamente significativas, no hubo diferencias significativas entre los días 6, 9 y 12, pues se ubican en un mismo subconjunto; así mismo entre los días 9, 12 y 15 el descenso en el %PP no es significativo, debido a que la prueba ubica a estos días en un mismo subconjunto.

El factor “Recubrimiento” no influyó ( $p > 0,05$ ) (Anexo H Cuadro 41) en la pérdida de peso de los frutos, por lo tanto se infiere que al aplicar cualquier recubrimiento de los planteados, no se van a encontrar diferencias; este resultado se confirma analizando el Cuadro de Tukey (Anexo H Cuadro 42); pues éste indicó que los recubrimientos tuvieron efectos iguales, ya que ubica los diferentes recubrimientos en un grupo.

Respecto a las pruebas estadísticas que ratifican los cambios significativos, en el Cuadro 40 (Anexo H) de la prueba T3 de Dunnet se pudo observar que a través del tiempo los tomates perdieron peso, debido a que los recubrimientos en general no tuvieron efectos significativos en la disminución de la pérdida de peso.

Como se puede notar en la Figura 17, durante los primeros 5 días de seguimiento se observó que el porcentaje de pérdida de peso fue mayor en los frutos del tratamiento T3, respecto a los demás tratamientos. Teniendo en cuenta que las pérdidas de peso son generadas por dos causas principales como la respiración y la transpiración (Laiton, Almanza, y Balaguera, 2012), se puede atribuir este suceso a la pérdida de agua de las células de los frutos mediante la transpiración (Alarcón, 2013) (en términos de respiración el tratamiento T3 fue el que presentó menor tasa de respiración) dado que este fenómeno es la causa de la disminución significativa del peso (FAO, 1987). Otra de las razones a la que se puede atribuir la pérdida de peso por adición de ácido cítrico es por el posible debilitamiento en las membranas y paredes celulares del fruto, permitiendo la salida de agua por transpiración (Salcedo, 2014). Un resultado similar fue reportado por Chiumarelli, Ferrari, Sarantópoulos, y Hubinger (2011) que encontró que en muestras de mango pre-tratadas con ácido cítrico y recubiertas con recubrimiento con base en almidón de yuca presentaron mayor pérdida de peso, además Rocculi *et al.* (2007) citado por los mismos autores (Chiumarelli *et al.*, 2011) afirma que el uso de ácido cítrico aumenta la pérdida de peso de los productos recién cortados, causando una deshidratación del tejido vegetal.

**Figura 17. Porcentaje de pérdida de peso**



De otro modo, respecto a la Figura 17 se puede notar que los tratamientos T1, T2 y T4 presentaron comportamiento similar durante los primeros 6 días de seguimiento en donde T1 perdió más peso seguido de T2 y T4, este resultado coincide con el encontrado en el estudio realizado por Jiménez y Duque (2016) en donde evaluaron el efecto de la inclusión de propóleo en recubrimiento de almidón de yuca aplicado en tomate en el que encontraron que la muestra testigo perdió mayor cantidad de peso a falta de una barrera protectora contra la difusión de vapor de agua; resultados similares fueron hallados por Barco *et al* (2011) quienes evaluaron el efecto del recubrimiento de almidón de yuca modificado sobre la maduración de tomate donde reportaron el retraso en la pérdida de peso en los frutos recubiertos con almidón modificado. Durante el resto de los días se presentaron fluctuaciones en los valores de disminución de peso donde hacia el día 15 los frutos del tratamiento T3 revelan menor pérdida de peso, lo que es normal debido a que estos frutos perdieron la mayor cantidad de peso durante los primeros días. En este punto se nota que los frutos que perdieron peso en mayor nivel son los del tratamiento T1 seguido de T2 y T4, teniendo en cuenta que los frutos ya han pasado su etapa de maduración y estaban en descomposición, producida por el ataque de hongos y bacterias que produjeron la desintegración de los frutos. Según lo dicho anteriormente el ácido cítrico no contribuyó con la disminución de pérdida de peso en los tomates para lo cual se sugiere la utilización de almidón modificado enzimáticamente o almidón nativo para evitar pérdidas de peso debidas a la transpiración.

**3.3.3.4 Color.** El color es la propiedad óptica más importante en los alimentos, junto con la transparencia y la opacidad, que están relacionados con la cantidad de luz que el material deja pasar a través de él o que se refleja en él; estas propiedades conforman mayoritariamente el aspecto visual de los alimentos (Hernández, 2013).

**Parámetro L.** El ANOVA de muestras repetidas (Anexo I Cuadro 43) mostró que hay diferencias significativas en la luminosidad ( $p < 0,05$ ) con el paso del tiempo, por lo que se definieron los días que mostraron mayores cambios, para tal fin se usó nuevamente el ANOVA donde se verificó la homogeneidad entre las varianzas, las cuales resultaron iguales, por tal razón la prueba de Tukey (Anexo I Cuadro 44) mostró que la luminosidad del fruto presentó fluctuaciones con el paso del tiempo, específicamente el Cuadro 44 agrupó al punto inicial, día 12 y día 9 en un mismo subgrupo indicando así que en estos días la luminosidad fue estadísticamente igual, además entre el día 9 y el día 12 no hubo diferencias en la luminosidad o los pequeños cambios que haya mostrado este factor no fueron significativos; un resultado parecido fue obtenido por (Moreno, 2012) quien reportó que el parámetro L no presenta diferencias significativas y por lo tanto concluyó que este no es influyente en muestras de tomate; hay diferencias significativas entre el punto inicial y el día 15, puesto que en el punto inicial el fruto presentó mayor luminosidad y el día 15 presentó menos luminosidad por lo que estos días se agrupan en conjuntos diferentes y entre los días 3, 6, 9 12 y 15 no hay diferencias significativas en el parámetro nombrado.

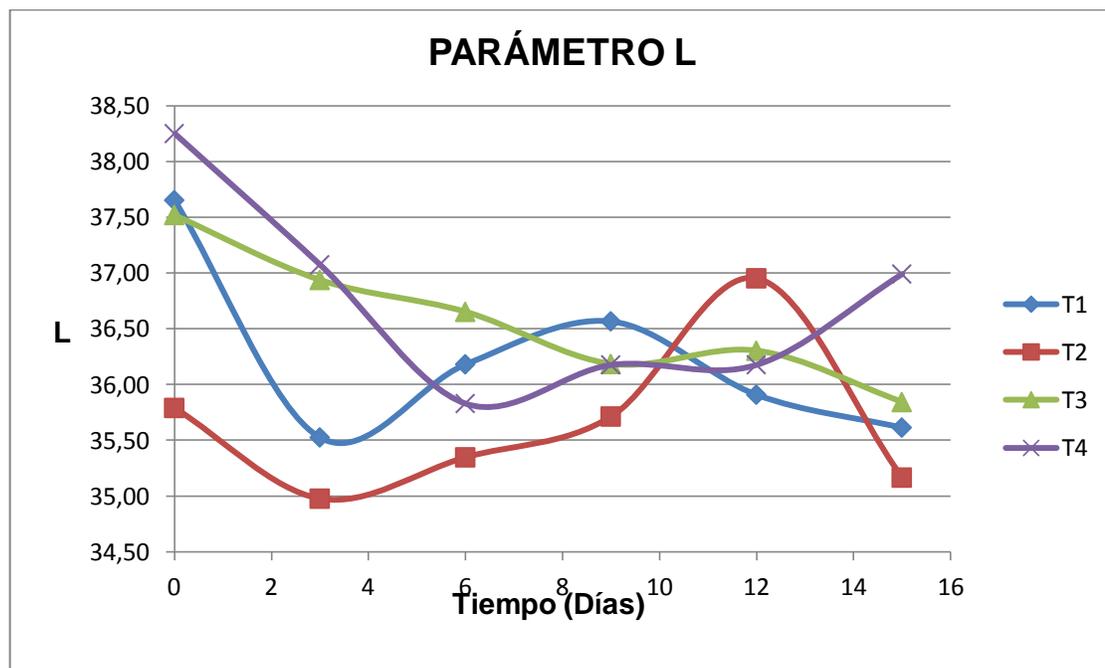
El ANOVA de medidas repetidas mostró que el factor “Recubrimiento” (Anexo I Cuadro 45); no afectó el componente de luminosidad en el fruto ( $p > 0,05$ ), lo que se confirmó a través de Tukey (Anexo I Cuadro 46) donde no hubo diferencias significativas entre los recubrimientos aplicados por lo que nuevamente el factor “Recubrimiento” no generó

efectos significativos que permitieran categorizar el efecto de los mismos; además el ANOVA indicó que la interacción entre Tiempo vs Recubrimiento es significativa ( $p < 0,05$ ). Por lo anterior, se realizó un análisis de los tratamientos combinados para el parámetro L de color, en el cual el ANOVA (Anexo I Cuadro 47) estableció que hubo diferencia estadísticamente significativa ( $p < 0,05$ ) entre los tratamientos, entonces se realizó la prueba de comparaciones múltiples de Tukey, que afirmó la igualdad de las mismas (Anexo I Cuadro 48).

La prueba de Tukey para los tratamientos (Anexo I Cuadro 49) presentó 3 subgrupos: en el subgrupo 1 se presentaron los tratamientos que no reflejaron diferencias significativas y que mostraron los valores menores de luminosidad, de igual manera en el subgrupo 2 se ubicaron los tratamientos estadísticamente iguales y que presentaron valores intermedios de luminosidad y en el subgrupo 3 están los tratamientos que presentaron valores de luminosidad mayores.

Teniendo en cuenta la evaluación estadística anterior que concreta que en cuanto al factor “Recubrimiento” no hay diferencias significativas, cabe resaltar que este resultado fue arrojado recordando que el intervalo de evaluación [0-100] del parámetro L es grande en comparación con los pequeños cambios encontrados, pero gráficamente se puede notar en la Figura 18 que el tratamiento T4 tuvo mayor valor de luminosidad respecto a los demás tratamientos hasta el día 3 mientras que T2 presentó un comportamiento diferente a los demás ya que en los primeros 3 días L disminuyó y luego aumentó de forma progresiva hasta el día 12 siendo más luminoso y de repente tuvo una caída hacia el día 15.

**Figura 18. Evolución del parámetro L en maduración pos-cosecha del tomate larga vida variedad Indaba**



Según este comportamiento es importante nombrar que los frutos de T2 fueron los primeros en deteriorarse, a causa de la rápida maduración, provocada por el aumento en la velocidad de respiración y como consecuencia la disminución marcada en el parámetro L que según Hernández (2013) está influenciado por el estado de maduración en el que son cosechados los frutos ya que se produce una reducción de la luminosidad de la piel del fruto durante el desarrollo de los mismos, dicha reducción puede ser debida al aumento del contenido en carotenoides que se produce a lo largo de la maduración; la luminosidad también disminuyó de manera progresiva en el T3, lo que se debe a la adición de ácido cítrico que en este caso se puede comparar con el resultado encontrado por Galvis *et al.* (2012) quienes reportaron menor valor de luminosidad debido a la aplicación de ácido cítrico en tomate, como tratamiento antioxidante; de manera general la luminosidad disminuyó en los demás tratamientos acercándose a valores neutros; este resultado concuerda con el resultado encontrado por (López *et al.*, 2016) quien encontró que la luminosidad disminuyó al avanzar los días de almacenamiento, además Padrón, Padrón, Montes, y Oropeza (2012) encontraron disminución de valores de luminosidad en frutos de tomate, suceso que atribuyen a que los pigmentos rojos comienzan a ser sintetizados.

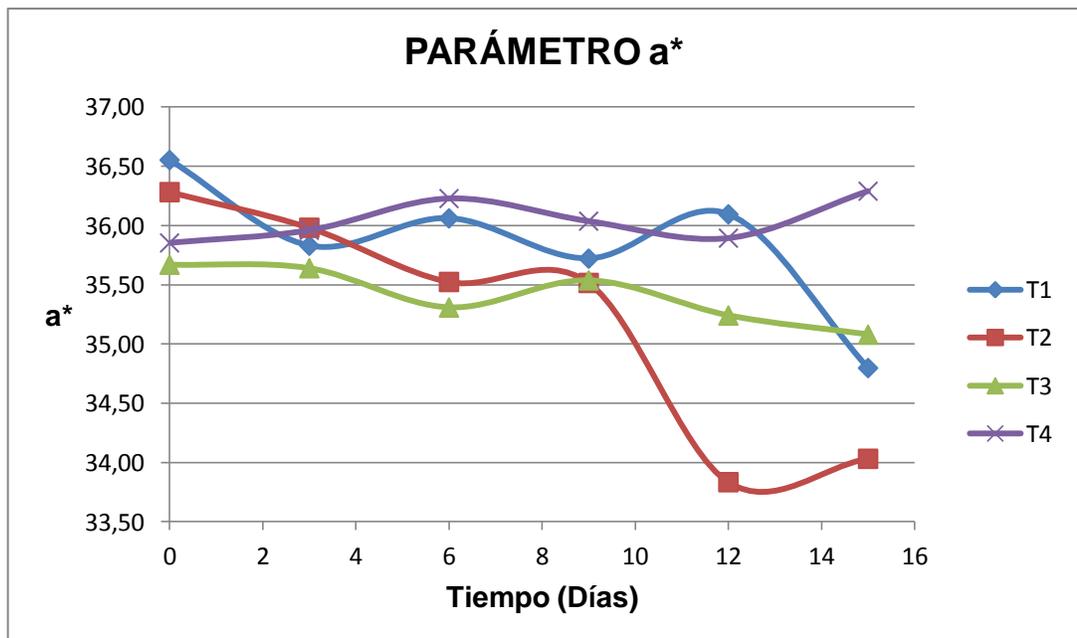
**Parámetro a\* (+127).** El ANOVA (Anexo J Cuadro 50) de medidas repetidas mostró que en el factor “Tiempo”, existieron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) y que hubo interacción entre los factores Tiempo-Recubrimiento. Al existir diferencias significativas en la tonalidad a\* +127 (ya que el estudio arrojó sólo valores positivos, ubicando los frutos en el sector de color rojo) entre los tratamientos con el paso del tiempo, se aplicó la prueba de ANOVA para evaluar el parámetro a\* respecto al factor “Tiempo”; en la prueba de homogeneidad de varianzas (Anexo J Cuadro 51) se observaron diferencias entre las varianzas para lo cual fue necesario realizar el análisis mediante la prueba T3 de Dunnet para el factor “Tiempo” (Anexo J Cuadro 52) que demostró que las diferencias entre los tratamientos no son estadísticamente significativas, puesto que se ubican en un mismo subgrupo los valores del parámetro a+, donde el mayor valor se presentó en el día inicial lo que sugiere que en este día se encontró mayor coloración roja debido a que el estudio se inició cuando los tomates estaban en grado 4 de maduración y este resultado es producto de la degradación de la clorofila, así como síntesis de licopeno y otros carotenoides durante el proceso de maduración (López *et al.* 2016) y el menor valor se dio en el día 15.

Teniendo en cuenta que hay interacción entre los factores Tiempo-Recubrimiento se realizó un nuevo ANOVA (Anexo J Cuadro 53) para evaluar el efecto del tratamiento respecto al parámetro a\*, donde bajo condiciones de significancia ( $p < 0,05$ ) se encontró que las varianzas fueron diferentes, por lo que se realizó la prueba T3 de Dunnet que estableció que no hubo diferencia significativa entre los tratamientos.

El ANOVA de medidas repetidas (Anexo J Cuadro 55) mostró que para el factor “Recubrimiento” las diferencias no fueron significativas, (prueba de Tukey para recubrimiento, Anexo J Cuadro 56), debido a que los recubrimientos se concentraron en un solo grupo ya que no hubo diferencias en los valores de tonalidad entre la aplicación de cualquiera de los recubrimientos.

Aunque el análisis estadístico mostró que no hay diferencias significativas en los valores de  $a^*$  en cuanto al factor "Recubrimiento", es importante analizar un poco más a fondo desde el punto de vista fisiológico, ya que en la Figura 19 se nota que el tratamiento T4 fue el único que tuvo tendencia creciente, lo que se puede deber a que el recubrimiento provocó mayor maduración (Amaya *et al.*, 2010) debido a su baja eficiencia para retrasarla, por lo que los pigmentos rojos fueron más intensos. Por otra parte T2 mostró un comportamiento diferente a los demás, pues hasta el día 9 los tratamientos siguen un comportamiento similar, a partir del cual el T2 se aleja, presentando disminución en la coloración roja que cae aproximadamente 2 unidades (que desde el punto de vista estadístico no es significativo ya que los valores de  $a^*$  están en un intervalo de -128 para colores verdes a +127 para colores rojos (Colourphil.co.uk, 2016), pero desde el fisiológico es muy importante hablando en términos de industrialización en los cuales el color juega un papel importante), una explicación posible de este comportamiento se puede atribuir al desprendimiento del recubrimiento en la mayoría de los frutos debido a su quebrantamiento prematuro y a su baja adherencia, lo que causó que los frutos estuvieran expuestos a mayor intensidad de luz, lo que pudo haber afectado al parámetro  $a^*$ , pues según Deaquiz (2014) los licopenos se ven afectados por el exceso de luz, disminuyendo la intensidad del color rojo en los frutos; a partir del día 9 hasta el día 15 el contenido de licopeno cayó rápidamente en el T2 donde otra de las razones de la disminución de licopeno es porque este caroteno es inestable debido a la presencia de dobles enlaces lo que hace que estos compuestos sean fácilmente oxidables produciendo disminución en la intensidad del color, provocados por la incidencia de la luz (Hernández, 2013).

**Figura 19. Evolución del parámetro  $a^*$  en maduración pos-cosecha del tomate larga vida variedad Indaba**



Además, teniendo en cuenta que, los frutos de este tratamiento (T2) fueron los primeros en presentar síntomas de deterioro debido a la presencia de hongos y bacterias que generaron incremento de acidez también pudieron estimular la reducción de color rojo en los frutos dado que otra de las razones en esta disminución es debida a factores externos como las condiciones climáticas o el estrés generado por el ataque de patógenos (Consejo Argentino para la Información y Desarrollo de la Biotecnología [ARGENBIO], 2016). Por otro lado el T3 presentó alteración en la pigmentación roja, dato que concuerda con el resultado hallado por Galvis *et al.* (2012) donde reportan que los frutos tratados con ácido cítrico presentaron reducción en el valor lo que explican mediante la acción antioxidante del ácido cítrico.

**Parámetro b\*.** Según el ANOVA de medidas repetidas bajo condiciones de significancia, (Anexo K Cuadro 57) el factor “Tiempo” afectó ( $p < 0,05$ ) de manera significativa el parámetro, además no hubo interacción ( $p > 0,05$ ) entre los factores “Tiempo - Recubrimiento” de tal manera que el efecto del tiempo es independiente al efecto del recubrimiento en los valores de b\*. El ANOVA de medidas repetidas demostró que el factor “Recubrimiento” (Anexo K Cuadro 58) no tuvo ningún efecto sobre el parámetro b\*.

Teniendo en cuenta las diferencias significativas, se analizó mediante ANOVA, y la prueba de homogeneidad dio como resultado que las varianzas fueron estadísticamente iguales; se analizó por último con la prueba de Tukey (Anexo K Cuadro 59), que estableció que entre el punto inicial (día 0), día 3, día 6, y día 9, al encontrarse en un mismo subgrupo, no hubo cambios significativos en el parámetro b\*, además que en estos días los valores de b\* fueron mayores a los del segundo subgrupo donde no hubo diferencias significativas en entre los días 3, 6, 9, 12 y 15; pero sí existieron diferencias significativas entre el día inicial y el día 15.

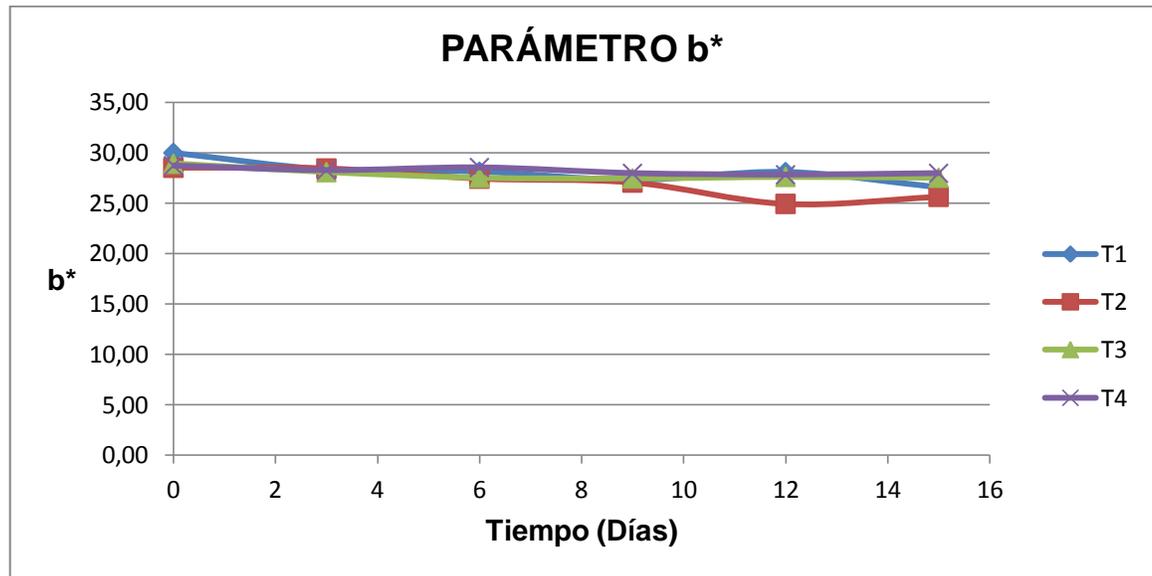
Al no encontrar efectos significativos del tipo de recubrimiento sobre el parámetro b\*, los resultados se analizaron mediante la prueba de Tukey (Anexo K Cuadro 60), que ordenó de mayor a menor el contenido del parámetro b\* respecto al recubrimiento utilizado, encontrándose que los frutos del T4 presentaron valores superiores de b\*, seguido por los frutos del T1, y por último los de T3 y T2

Bajo condiciones de significancia ( $p > 0,05$ ) según el ANOVA de medidas repetidas, no hubo interacción entre los factores “Tiempo - Recubrimiento” de tal manera que el efecto del tiempo fue independiente al efecto del recubrimiento en los valores de b\*.

Como se observa en la Figura 20, el comportamiento de los tratamientos es relativamente parecido, en el que se muestra que los valores de coordenada b\* (b\* indica la variación entre color azul y amarillo en el sistema CIEL\*a\*b\*) presentan tendencia a mantenerse constantes, lo que concuerda con el resultado obtenido por Dussan *et al.* (2014) en donde se evaluaron los efectos de recubrimientos comestibles con base en almidón de yuca en las propiedades fisicoquímicas del mango y donde se reportan valores constantes para el parámetro b\* en trozos de mango recubierto y pre-tratado con ácidos orgánicos; los valores presentados al ser positivos ubican a los frutos de los tratamientos en el sector amarillo (+127). Uno de los tratamientos que se diferencia de los demás a partir del día 9 hasta el día 15 es el T2 donde muestra una reducción marcada de color amarillo, (al igual que sucedió con el contenido de licopeno en los mismos días) que se puede atribuir a la

degradación de los carotenoides por reacciones de oxidación e isomerización (Hernández, 2013).

**Figura 20. Evolución del parámetro b\* en maduración pos-cosecha del tomate larga vida variedad Indaba**



De otro modo, según el comportamiento del tratamiento T4 que fue el único que presentó tendencia creciente en el parámetro a\* y teniendo en cuenta que los valores de b\* manifiestan decrecimiento muy leve, es importante mencionar la relación que existe entre estos parámetros que infiere que cuando los valores de a\* crecen más acentuadamente de lo que disminuyen los valores de b\* se presenta mayor formación de pigmentos rojos que la degradación de pigmentos verdes, desarrollándose un color rojo intenso y puro (Hernández, 2013).

Según lo expuesto anteriormente se infiere que los tratamientos de forma general no expresaron reducción de color amarillo en los frutos, esto no indica que los tomates se vean a simple vista amarillos, lo que indica es que los pigmentos amarillentos fueron “enmascarados” por la masiva acumulación de pigmentos rojizos – anaranjados (licopeno- $\beta$ -caroteno), dado que la síntesis de los colores amarillos antecede a la síntesis de pigmentos rojos y naranjas (Hernández, 2013).

**Parámetro C.** En el ANOVA de medidas repetidas para el factor Tiempo ( $p < 0,05$ ) (Anexo L Cuadro 61) hubo diferencias significativas, mostró que no hubo interacción de los factores “Tiempo - Recubrimiento” ( $p > 0,05$ ), de esta manera el tiempo y el recubrimiento actuaron de forma independiente en la variable de respuesta analizada.

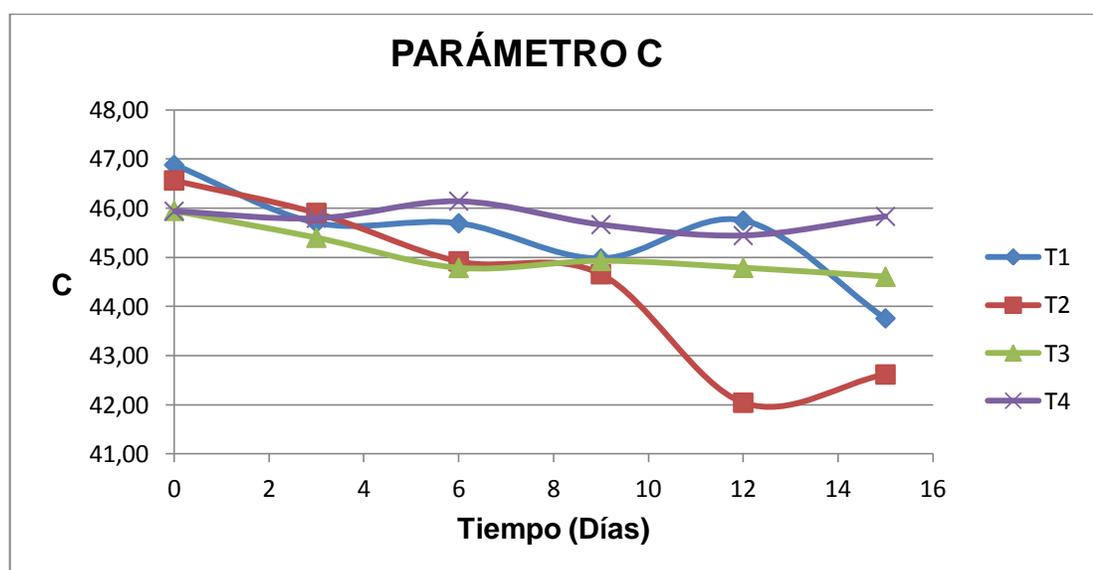
El ANOVA de medidas repetidas para recubrimiento (Anexo L Cuadro 62) mostró que la aplicación de estos no ejerció diferencia alguna en los valores reportados del parámetro

C, siendo estos iguales. La prueba de Tukey (Anexo L Cuadro 63) arrojó un subconjunto donde mostró que el valor superior del parámetro C se obtuvo en T4 seguido por los tratamientos T1, T3 y T2.

Teniendo en cuenta que hubo diferencias en los valores de C con el paso del tiempo, se realizó un nuevo ANOVA (Anexo L Cuadro 64) tomando como variable dependiente el parámetro C y como factor fijo el tiempo; al realizar el análisis, se tuvo en cuenta que las varianzas resultaron ser iguales (Anexo L Cuadro 65) estadísticamente hablando, por lo que se procedió a analizar el efecto del tiempo con la prueba de Tukey (Anexo L Cuadro 66), mostrando que a través del tiempo el parámetro C disminuyó, indicando cambios significativos solamente entre el día inicial y el día final, afirmando así que entre los demás días las variaciones que hayan existido no fueron significativas, por lo que los agrupa en subconjuntos homogéneos.

Según la Figura 21 que muestra los resultados de la evaluación de saturación del color, se puede notar que tiene una relación con el parámetro  $a^*$ , dado que este refleja el color y el parámetro C dice qué tan saturado está, por lo tanto el comportamiento de los tratamientos es parecido, en donde se observa que T1 y T4 disminuyeron la saturación del color, siendo menor en el tratamiento T3 a lo largo del tiempo hasta el día 14 y en el día 15 el tratamiento T1 presentó mayor disminución en la saturación del color rojo. En lo que respecta al tratamiento T4 que fue el que presentó un leve aumento en  $a^*$ , ahora presenta una insignificante disminución de la saturación. Dada la relación entre  $a^*$  y C, nuevamente es el T2 que a partir del día 9 la saturación decayó hasta los días finales por la disminución en licopenos, afectados por el incidencia de luz, disminuyendo la intensidad del color rojo en los frutos (Deaquiz, 2014) la disminución de la saturación en los tratamientos en general concuerda con los resultados encontrados por Amaya (2004) quien reportó pérdida en la intensidad de la coloración rojiza para muestras de tomate a condiciones de almacenamiento en presencia de luz.

**Figura 21. Evolución del parámetro C en maduración pos-cosecha del tomate larga vida variedad Indaba**



**Parámetro h°.** El ANOVA de muestras repetidas (Anexo M Cuadro 67) infiere que el tiempo influye de manera significativa ( $p < 0,05$ ) en los valores del parámetro h°, además que el tiempo y el recubrimiento no ejercen influencia conjunta ( $p > 0,05$ ) sobre la variable de respuesta, y que el factor recubrimiento (Anexo M Cuadro 68) ( $p > 0,05$ ) por sí solo no afecta significativamente a dicho parámetro.

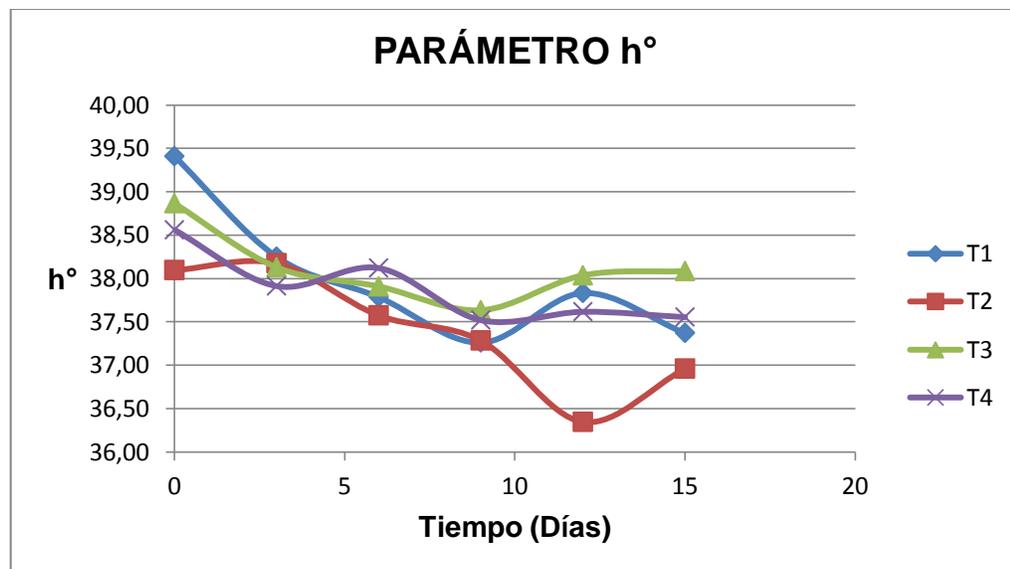
Dado que el Tiempo afecta el valor de h° en los frutos, mediante un nuevo ANOVA (Anexo M Cuadro 69) y para varianzas homogéneas (Anexo M Cuadro 70) por la prueba de Tukey (Anexo M Cuadro 71) se evidenció que en el punto inicial del diseño se obtuvo el mayor valor de h°, seguido por los días 3, y 6, disminuyendo progresivamente conforme aumenta el tiempo, cayendo así hasta el día 9, a partir de éste día nuevamente se empieza a observar un aumento gradual entre los días 12 y 15; estos cambios, aunque parezcan tener una tendencia de disminución y aumento al final de los días, se puede notar que no son grandes cambios y de esta manera no son estadísticamente significativos, por lo cual la prueba de Tukey afirma que los tratamientos se ubican en un mismo subconjunto por ser homogéneos y al ser homogéneos se puede asegurar que no hubo cambios en el parámetro h° a través del tiempo.

El tipo de recubrimiento no afectó el h°, por lo tanto, los recubrimientos aplicados a los frutos se ubican en un mismo subconjunto dentro del Cuadro de Tukey (Anexo M Cuadro 72) afirmando así que los resultados no son diferentes estadísticamente.

De acuerdo con la Figura 22, el tono h° disminuyó desde el punto inicial de medición hasta el día final en los tratamientos T1, T3 y T4, mientras que dada la relación entre h° y a\*, se tiene nuevamente la relación de los tratamientos con comportamientos similares en los parámetros de color evaluados, en donde en el matiz se presenta disminución progresiva hasta el día 9 en el T2 y disminución significativa hasta los días finales del estudio. Teniendo en cuenta el comportamiento diferenciado del tratamiento T2 respecto a los demás en los diferentes parámetros de color evaluados, es importante explicar que este hecho se puede atribuir a la influencia del almidón modificado enzimáticamente con un E.D. de 10% dando como resultados la pérdida o disminución en carotenos, luminosidad y matiz de los mismos; este resultado es similar mediante un estudio realizado por Meléndez, Vicario, y Heredia (2004) quienes evaluaron la estabilidad de  $\alpha$ - y  $\beta$ -caroteno en polvo de zanahoria encapsulado en diferentes tipos de almidón hidrolizado, en el cual encontraron que no todos los tipos de almidón hidrolizado empleados para encapsular el producto fueron eficientes, comprobándose que el de 36.5 % Equivalente de Dextrosa mejoraba la retención de carotenos en comparación con el resto (4%, 15% y 25% Equivalentes de Dextrosa); por lo explicado anteriormente se puede inferir que el recubrimiento con base en almidón modificado enzimáticamente con E.D. de 10% no es eficiente en el mantenimiento del color rojo en tomates ya que influyó negativamente en la intensidad del color así como en el matiz. Según lo anterior se pudo notar que en términos de color, los frutos de los tratamientos (excepto T4) probablemente presentaron disminución de los niveles de carotenos a partir del día inicial del estudio, con lo cual se puede inferir que los tratamientos no inhiben la pérdida o disminución de carotenos así como su luminosidad, matiz e intensidad de color rojo en los frutos, de otro modo según lo observado y analizado anteriormente el tratamiento que tuvo un comportamiento con menor variación de color fue el tratamiento T3, por lo que es un recubrimiento aceptable para mantener características de color, sin que las mismas se pierdan o disminuyan en

exceso, lo que se confirma según lo dicho por Dussan *et al.* (2014), quienes afirman que los recubrimientos realizados con almidón de yuca, ácido cítrico y glicerol permiten mantener las características de color en un fruto debido a su acción combinada; así mismo Chiumarelli *et al.* (2011), reporta que recubrimientos de almidón de yuca, ácido cítrico y glicerol ofrecen un efectivo mantenimiento de las características de color en muestras de mango cortado, debido al efecto combinado del recubrimiento y el ácido cítrico; por el contrario, el tratamiento con mayores fluctuaciones de color fue el tratamiento T2, por lo que no es un tratamiento adecuado a la hora de mantener el color en los frutos; por otro lado el tratamiento T4, aunque no haya presentado la mayor luminosidad, fue el que presentó un color rojo de mayor pureza respecto a los demás tratamientos por lo que en este caso resultó ser el mejor para reducir la pérdida de la luminosidad, mantener constantes los niveles de pigmentos amarillos e incrementar los niveles de color rojo puro en los frutos, esto debido a que en su contenido no tiene inmerso ni ácido cítrico que por acción antioxidante reduce la luminosidad y no contribuye a disminuir la pérdida de color y el contenido de licopeno, ni tampoco el almidón modificado enzimáticamente que dado su E. D. no logra retener los carotenos.

**Figura 22. Evolución del parámetro  $h^\circ$  en maduración pos-cosecha del tomate larga vida variedad Indaba**



Los cambios generados en todas las variables de respuesta sin excepción, sólo fueron a causa del tiempo, de manera que ningún recubrimiento ejerció influencia estadísticamente significativa sobre las mismas, es decir los recubrimientos no fueron efectivos en la preservación del color en el tomate, dado que las soluciones de los recubrimientos no tuvieron la capacidad de esparcirse bien sobre la epidermis del fruto y, en consecuencia, no se logró aplicar una cobertura homogénea de espesor adecuado y con adhesión apropiada que permitiera cumplir con su función, razón por la que las mínimas cantidades que se adhirieron, de igual manera se desprendieron prematuramente y con facilidad de manera que la capa de recubrimiento seco tampoco tuvo la suficiente adhesión que le

permitiera mantenerse unida a la superficie (Gamboni, Slavutsky, y Bertuzzi, 2015), esto pudo ser provocado por varias razones, la primera es que los diferentes tipos de enlaces formados entre las cadenas que conforman al almidón, no generaron una red semirrígida para atrapar e inmovilizar el agua (solvente); a nivel molecular intervienen dos fuerzas. La primera es la fuerza de cohesión que actúa entre las moléculas del polímero, y la segunda es la fuerza de adhesión que se ejerce entre el recubrimiento y la epidermis del tomate en donde se está formando (Ávila y López, 2008) otra de las razones es que la tensión superficial de las soluciones de los recubrimientos fue mucho menor a la de la epidermis de los frutos en general, razón por la cual las soluciones obtenidas tuvieron tanta capacidad de esparcimiento que llegaron hasta el punto de escurrirse en la superficie de los frutos.

Una razón adicional que no deja de ser importante por la cual aún fue más difícil que el recubrimiento se adhiriera a la superficie del tomate, es la estructura del exocarpo del tomate que está constituido por las células de la epidermis que están cubiertas por una cutícula donde hay presencia de una capa de cutina una sustancia cerosa, sobre la cual emergen ceras epicuticulares, depósitos cerosos que emergen desde el interior de la cutícula que le confieren hidrofobicidad, es decir, repulsión al agua y sustancias polares (Lázar, Fernández, Cabello, y Carretero, 2014).

### **3.3.4 Crecimiento Microbiano**

Después de haber hecho el aislamiento, se hizo seguimiento al crecimiento del hongo, observando sus esporas y características específicas macro morfológicas como color, superficie, borde, consistencia, aspecto y desarrollo; también se caracterizaron los hongos de forma micro morfológica, teniendo en cuenta estructuras reproductivas, presencia de hifas y la formación de esporas, conidias y la forma del micelio que permiten la identificación del hongo que inicia la degradación del fruto.

#### **3.3.4.1 Características macro morfológicas y descripción microscópica de hongos que inician el deterioro y degradación en el fruto de tomate**

***Colletotrichum sp.*** (Fulgueira, 2014), (Hilario, Quispe, Ninahuaca, Villanes, y Huaman, 2013)

**Características macromorfológicas:** (Figura 23)

**Color.** Anverso de color blanco y el reverso presenta color blanco en los extremos y rosa pálido en el centro.

**Forma.** Circular

**Elevación.** Plana

**Margen.** Entero

**Consistencia.** Algodonosa

**Desarrollo.** Abundante

**Aspecto.** Aterciopelado

**Borde.** Liso

**Superficie.** Acuminada

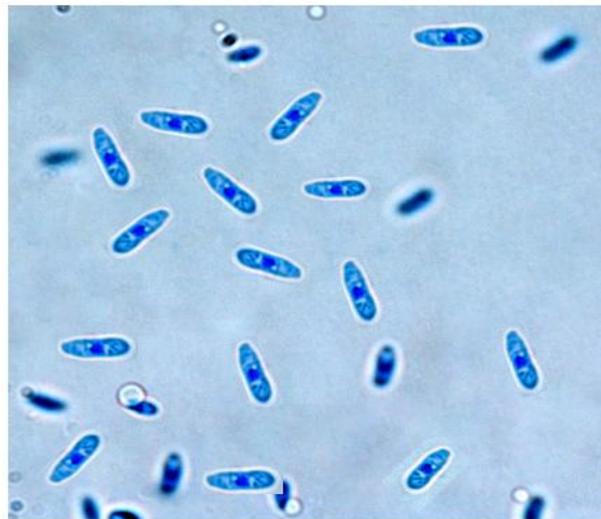
**Figura 23. Características macromorfológicas de *Colletotrichum sp.* (Anverso)**



**Fuente.** Las autoras

**Descripción microscópica.** El hongo *Colletotrichum sp.* visto microscópicamente presentó conidios de tamaño y forma cilíndrica recta con ambos extremos redondeados como se muestra en la Figura 24.

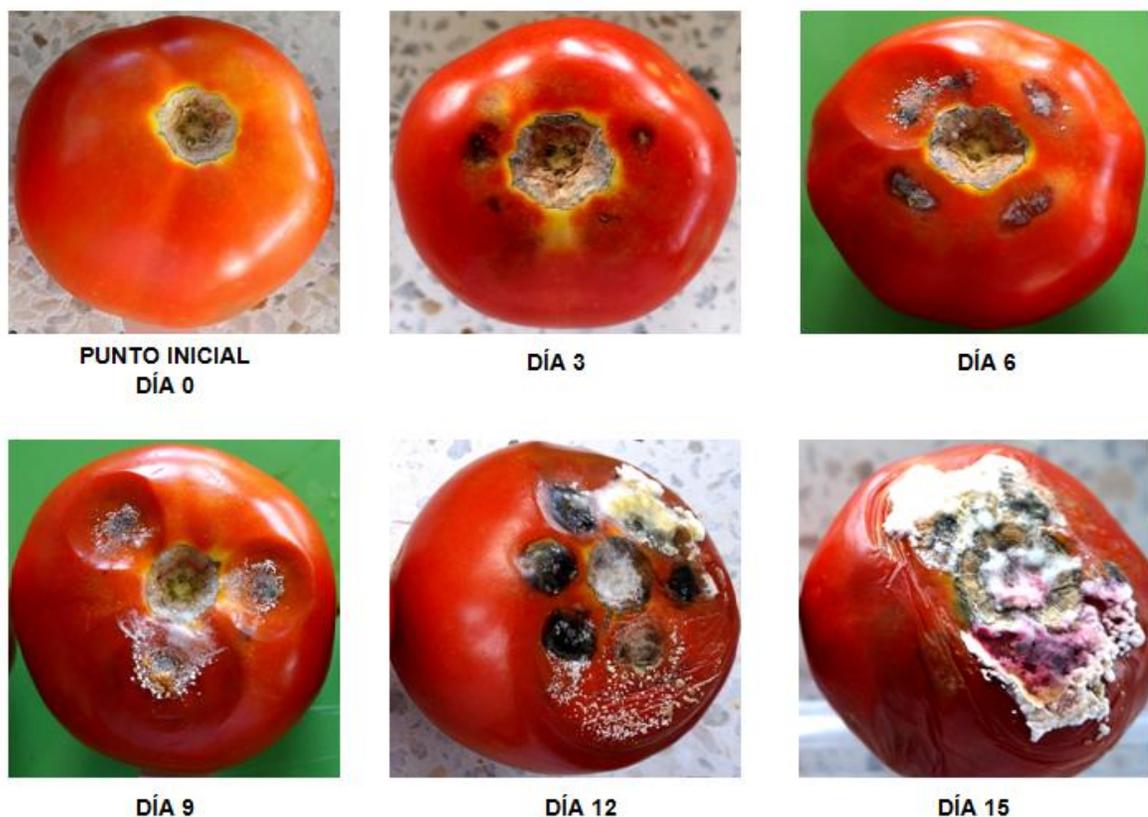
**Figura 24. Microfotografía del hongo *Colletotrichum sp.* (realizada en Microscopio Óptico de Alta Resolución (MOAR), marca Nikon, modelo Microphot)**



**Fuente.** Las autoras

**Síntomas en el fruto.** Los síntomas aparecen como pequeñas manchas húmedas hundidas y de forma circular que se asemejan a las depresiones dejadas por objetos redondos. Conforme se ablandan los frutos, las manchas se extienden hasta alcanzar un diámetro de 2 o 3 cm y su parte central se ennegrece o endurece ligeramente debido a los acérvulos negros que se desarrollan inmediatamente por debajo de la epidermis del fruto. Las manchas producen el ablandamiento húmedo del fruto y pudrición que en ocasiones es acelerada por otros microorganismos invasores, bajo ciertas condiciones aparecen masas de esporas de color rosa sobre la superficie de las manchas (Santacruz, 2013), como lo muestra la Figura 25.

**Figura 25. Evolución del hongo *Colletotrichum sp.* y *Fusarium sp.* que inician el deterioro del tomate**

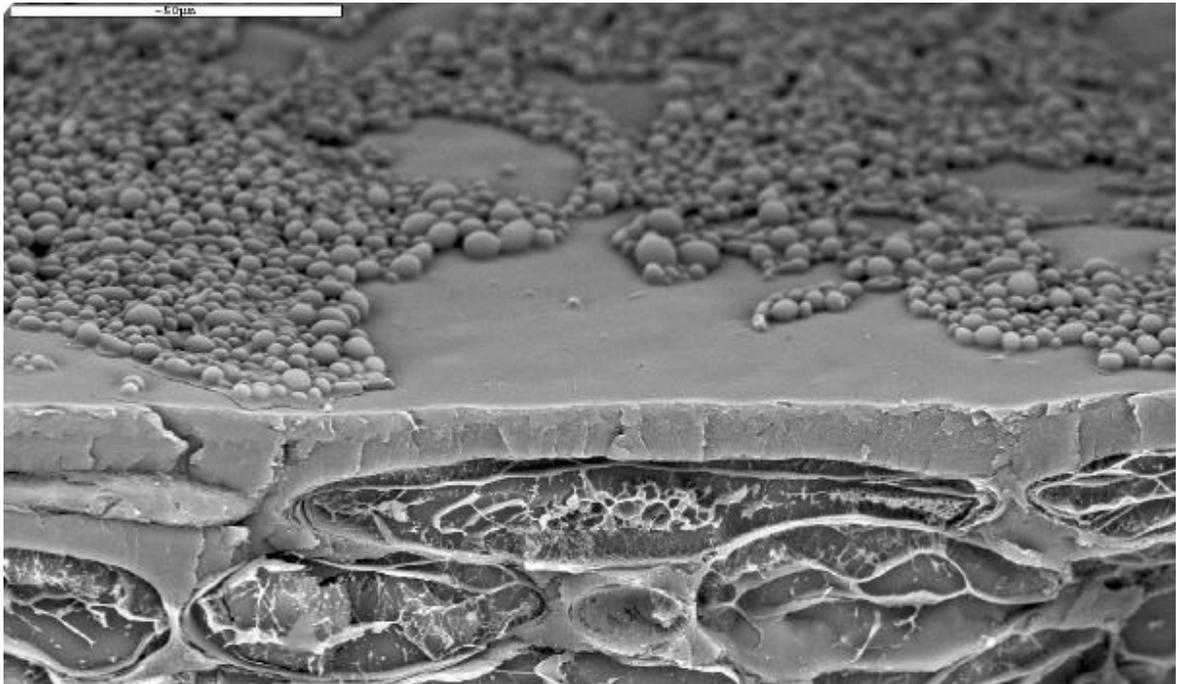


**Fuente.** Las autoras

La infección puede ocurrir en frutas, tallos, hojas y raíces, y las infecciones de frutas y raíces son las más severas. Aunque la fruta ya está infectada cuando está verde, los síntomas no aparecen hasta que madura (Seminis Vegetable Seeds, 2017), ya que estos microorganismos permanecen latentes hasta que los cambios fisiológicos permanecen en el fruto. Se pueden propagar hasta el fruto por medio de lluvias o el salpique del agua de riego desde tejidos enfermos, pueden ser transportados por el viento o al entrar en contacto con insectos, animales o herramientas (Santacruz, 2013).

En la Figura 26 se observa el ataque fúngico sobre la cutícula de un tomate. Las células fúngicas pueden secretar enzimas que degraden la cutina protectora o bien penetrar a través de desgarros o de los estomas del fruto.

**Figura 26. Ataque fúngico sobre la cutícula de un tomate**



**Fuente.** Lázar *et al.* (2014)

***Fusarium Sp.*** En el deterioro del tomate (Figura 25) se encontró que este hongo es uno de los que inician el ataque junto con el hongo *Colletotrichum sp.*

**Características macro morfológicas.** (Figura 27). Su micelio es generalmente aéreo, abundante, algodonoso y con coloración variable de blanco a rosado durazno. Algunas especies presentan usualmente un tinte de color intenso al dorso de la colonia (Hilario *et al.*, 2013) (Fulgueira, 2014)

**Color.** Anverso blanco con visos beige tanto en los extremos como en el centro. Reverso de color blanco cremoso.

**Forma.** Circular

**Elevación.** Umbonada

**Margen.** Ondulada

**Consistencia.** Algodonosa

**Desarrollo.** Abundante

**Aspecto.** Aterciopelado

**Superficie.** Acuminada

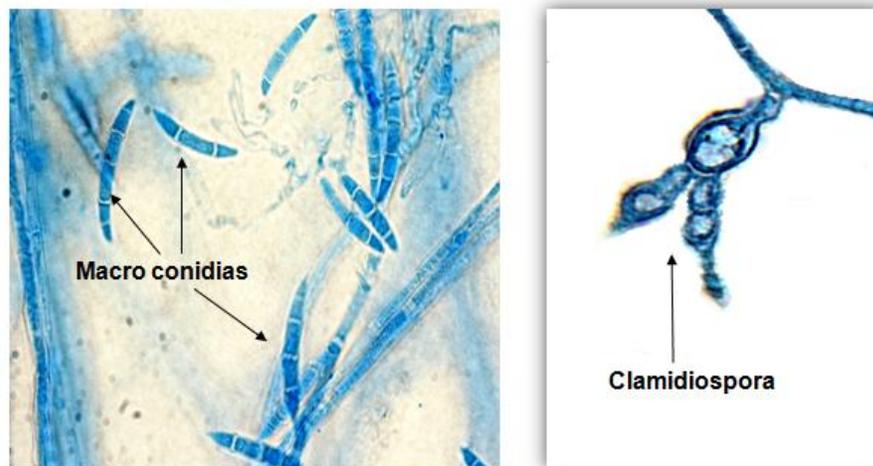
**Figura 27. Características macromorfológicas de *Fusarium Sp.* (Anverso)**



**Fuente.** Las autoras

**Descripción microscópica.** Como se aprecia en la Figura 28 el *Fusarium sp.* presenta conidióforos variables, escasos y simples o corpulentos cortos con ramificaciones irregulares, conidias hialinas, macroconidias ovoides (Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga [CDMB], 2011).

**Figura 28. Microfotografía del hongo *Fusarium sp.* (realizada en Microscopio Óptico de Alta Resolución (MOAR), marca Nikon, modelo Microphot)**



**Fuente.** Las autoras

El hongo se caracteriza por producir colonias de crecimiento rápido y tres tipos de esporas: microconidias, macroconidias y clamidiosporas.

Las microconidias son esporas unicelulares sin septos, hialinas, rectas o curvadas. Las macroconidias son esporas de pared delgada, fusiformes, con varias células y de 3 a 5 septos transversales. Las clamidiosporas son esporas formadas a partir de la condensación de células de las hifas o de las macroconidias y se caracterizan por poseer paredes bastante gruesas, lo que las hace muy resistentes a condiciones ambientales desfavorables (Arbeláez, 2000).

Respecto a la participación de los recubrimientos en la inhibición de los hongos se puede decir que el tratamiento T2 fue el que presentó menor inhibición, de microorganismos, dado que su maduración fue prematura respecto a los demás tratamientos lo que se pudo notar de manera cuantitativa en el consumo de  $O_2$  y liberación de  $CO_2$  y de manera cualitativa en la acelerada aparición de hongos que causaron su deterioro y descomposición por lo que no ejerció influencia sobre su crecimiento, ya que al día 6 ya había presencia de hongo desarrollado en algunos frutos; a partir de este ataque, el hongo evolucionó rápidamente hasta lograr la desintegración en el fruto acompañada de olores desagradables causados por la presencia de bacterias, y hongos oportunistas que generaron exudación de líquidos en el fruto; de otro modo de manera cualitativa se observó que los frutos tratados con ácido cítrico presentaron un retraso en el ataque de los hongos de 3 días aproximadamente por lo que es recomendable su uso como aditivo conservante en recubrimientos.

Es importante mencionar que al final del estudio, los frutos de todos los tratamientos presentaron diferentes niveles de deterioro, en donde una de las razones por las cuales los recubrimientos probablemente no inhibieron completamente el crecimiento de microorganismos son porque al parecer los hongos que inician el deterioro permanecen en el fruto desde etapas tempranas en el cultivo y que solo se desarrollan por cambios fisiológicos dados por la etapa de maduración; además, es importante mencionar que la escasa adherencia de los recubrimientos sobre los frutos no permitió formar una capa uniforme que restringiera el desarrollo de especies fúngicas como se puede apreciar en las Figuras 29, 30, 31, 32.

**Figura 29. Muestra testigo**



**Figura 30. Recubrimiento con almidón modificado enzimáticamente**



**Figura 31. Recubrimiento con almidón modificado con ácido cítrico**



**Figura 32. Recubrimiento con almidón nativo**



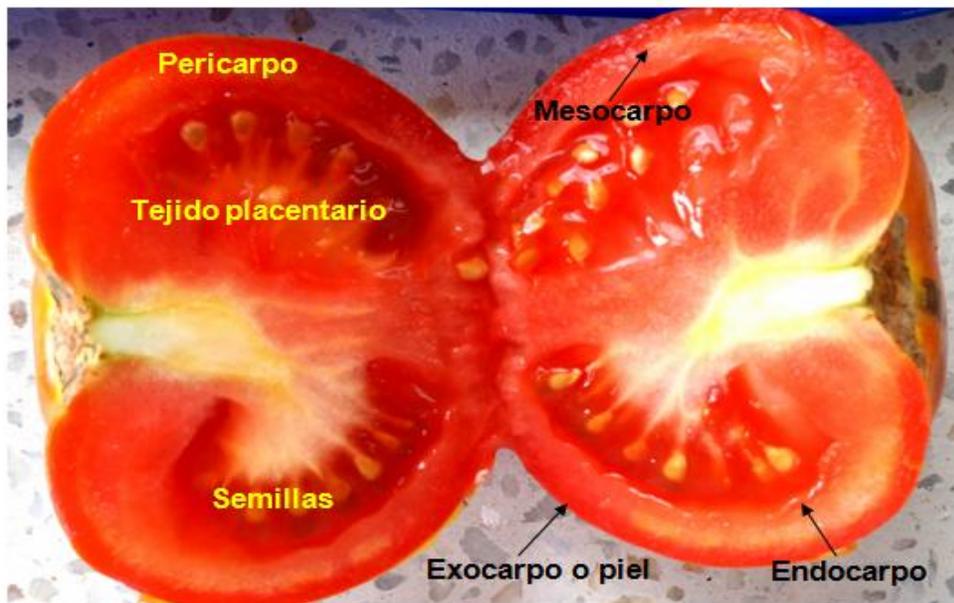
**Fuente.** Las autoras

### 3.3.5 Caracterización microscópica del exocarpo del tomate

#### 3.3.5.1 Partes del tomate (fruto desarrollado)

En la Figura 33 se muestra la imagen de un fruto desarrollado que está constituido básicamente por el pericarpio, tejido placentario y las semillas. El pericarpio consta de un exocarpo o piel, un mesocarpo parenquimático y el endocarpo. El exocarpo o piel está constituido por cutícula, células epidérmicas y colénquima (López, 2006).

**Figura 33. Partes del tomate (fruto desarrollado)**



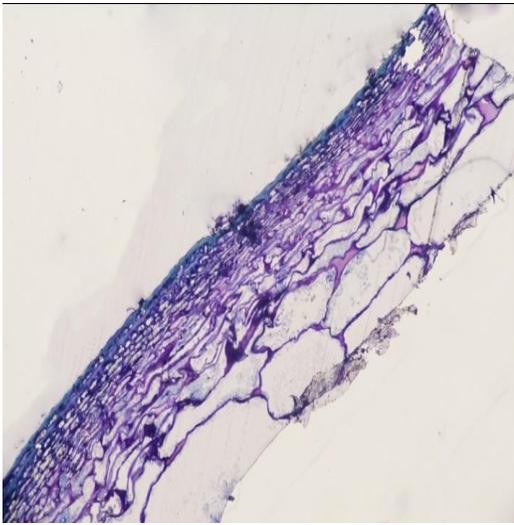
**Fuente.** Las autoras

**3.3.5.2 Estructura del exocarpo del tomate** Los cortes del exocarpo del tomate realizados por cada tratamiento, fueron observados a través de Microscopía Óptica de Alta Resolución (MOAR) y Microscopía Electrónica de Transmisión (MET), para evaluar los cambios en su estructura respecto a los tratamientos aplicados.

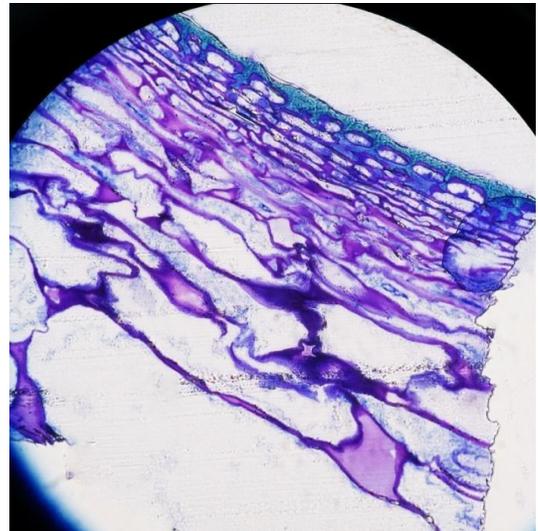
**3.3.5.3 Microscopía Óptica de Alta Resolución (MOAR).** La muestra testigo junto con la muestra a la que se le aplicó recubrimiento de almidón nativo presentaron cutícula delgada, de color azul agua marina intenso, células epidérmicas achatadas y parénquima con grosor mayor que el de las células epidérmicas, frente a otros cortes de exocarpo a los cuales se les aplicó recubrimiento con almidón modificado enzimáticamente y modificado con ácido cítrico, en los cuales se generó un ensanchamiento de la cutícula del exocarpo y de la capa de colénquima, como se puede notar en las Figuras 34 a 41, debido a que aunque la cutícula actúa como barrera en un fruto, no es absolutamente impermeable, ya que es una membrana que presenta pequeñas porosidades, lo que permite la entrada de compuestos polares y apolares, pues la morfología y composición química de la cutícula determina la capacidad de la superficie para mojarse y la retención

de agua, condicionando así la permeabilidad del agua a través de la cutícula (Matas, 2005). De acuerdo con esto, se puede inferir que pequeñas partes acuosas de los recubrimientos con almidones modificados (con ácido cítrico, enzimáticamente) penetraron a través de la cutícula, logrando así el ensanchamiento de la misma, de células epidérmicas y colenquimatosas.

**Figura 34. Exocarpo de tomate  
Muestra testigo 10X (T1)**



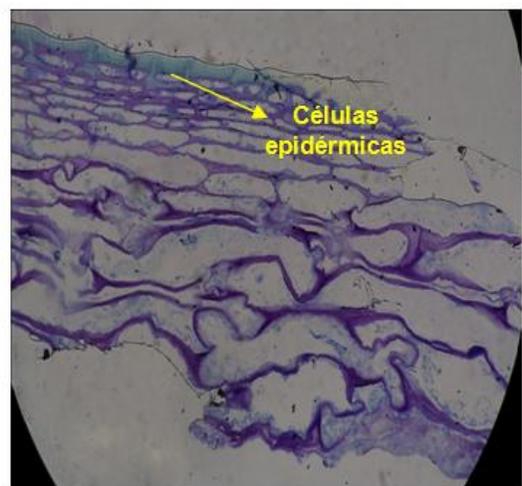
**Figura 35. Exocarpo de tomate  
Muestra testigo 40X (T1)**



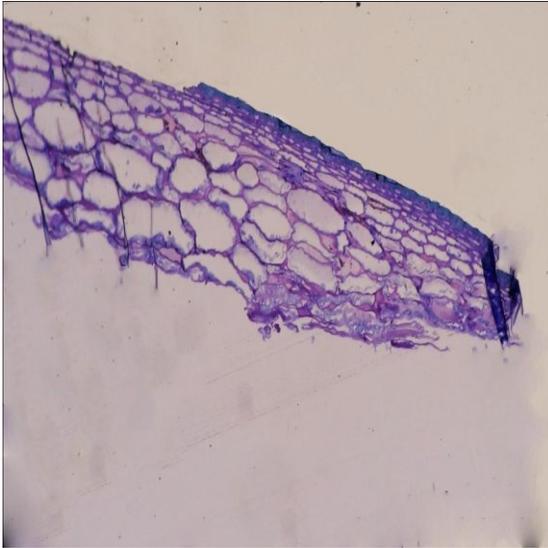
**Figura 36. Exocarpo de tomate con  
recubrimiento de almidón modificado  
enzimáticamente 10X (T2)**



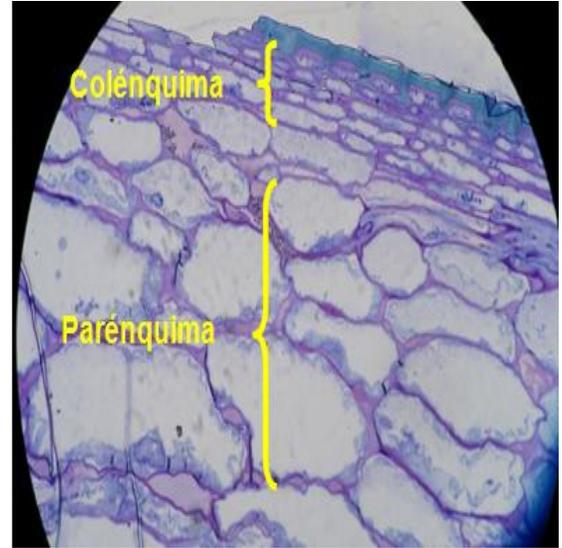
**Figura 37. Exocarpo de tomate con  
recubrimiento de almidón modificado  
enzimáticamente 40X (T2)**



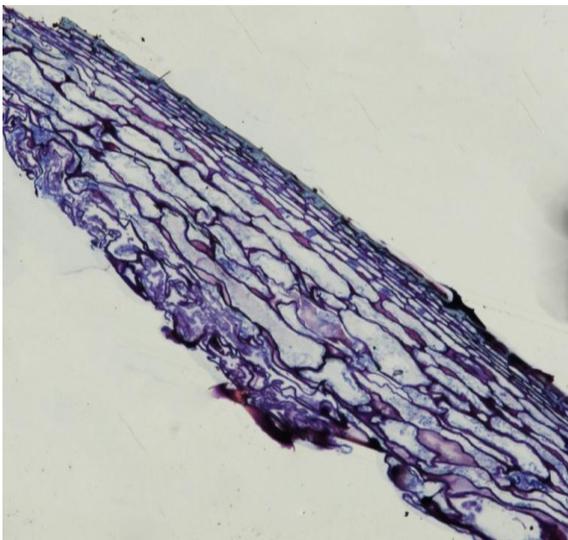
**Figura 38. Exocarpo de tomate con recubrimiento de almidón modificado con ácido cítrico 10X (T3)**



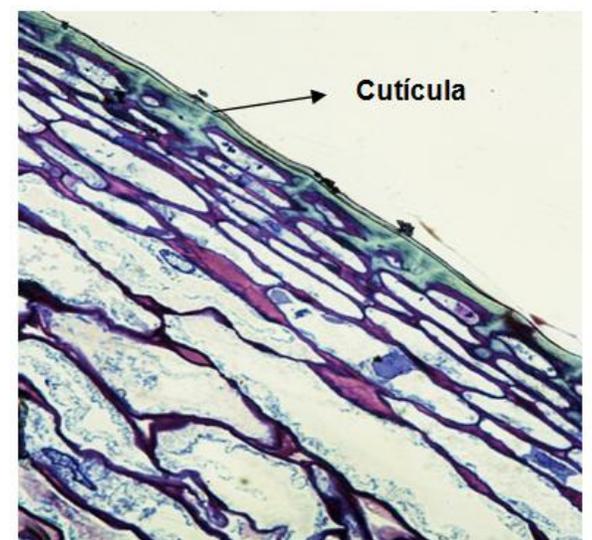
**Figura 39. Exocarpo de tomate con recubrimiento de almidón modificado con ácido cítrico 40X (T3)**



**Figura 40. Exocarpo de tomate con recubrimiento de almidón nativo 10X (T4)**



**Figura 41. Exocarpo de tomate con recubrimiento de almidón nativo 40X (T4)**



**Fuente. Las autoras**

Los tomates a los cuales se les aplicó recubrimiento de almidón modificado con ácido cítrico (Figuras 38 y 39), presentaron una apariencia con aumento en el tamaño de las células del exocarpo en forma circular frente a las demás muestras.

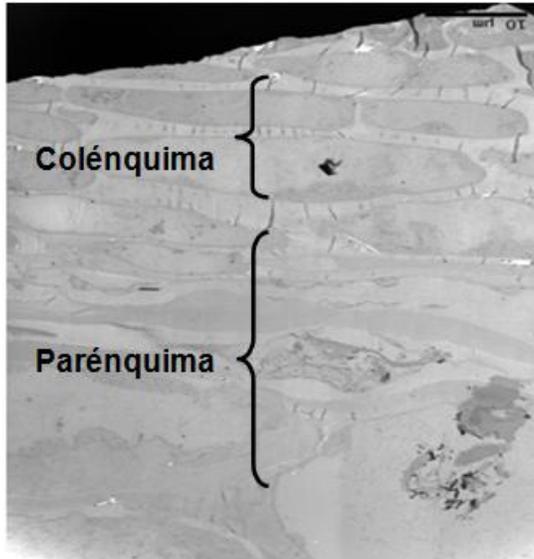
Según lo dicho anteriormente, los frutos a los cuales se les aplicó recubrimiento con base en almidones modificados (con ácido cítrico, enzimáticamente) presentaron mayor penetración del recubrimiento a diferencia de los frutos a los cuales se les aplicó recubrimiento hecho con almidón nativo y la muestra testigo (frutos sin recubrir), que mostraron colénquima sin ninguna modificación aparente, lo que concuerda con los resultados de las variables de respuesta anteriores donde estos no produjeron efectos significativos.

Debido a la falta de estudios científicos que relacionen la introducción de recubrimientos (de almidón de yuca) en células epidérmicas de tomate, se intuye que debido a la modificación ya sea enzimática o por vía ácida, se produjo una disminución en la viscosidad del almidón, lo que hizo más fácil la penetración del recubrimiento hacia el interior de las células epidérmicas, por lo que en el caso del recubrimiento con almidón nativo al presentar mayor viscosidad, tuvo dificultad para penetrar en las células epidérmicas, y por consiguiente el ensanchamiento de las células no se llevó a cabo, por lo que los frutos con este tratamiento (T4) (Figuras 40 y 41) se comportaron igual que los frutos sin recubrir (T1) (Figuras 34 y 35).

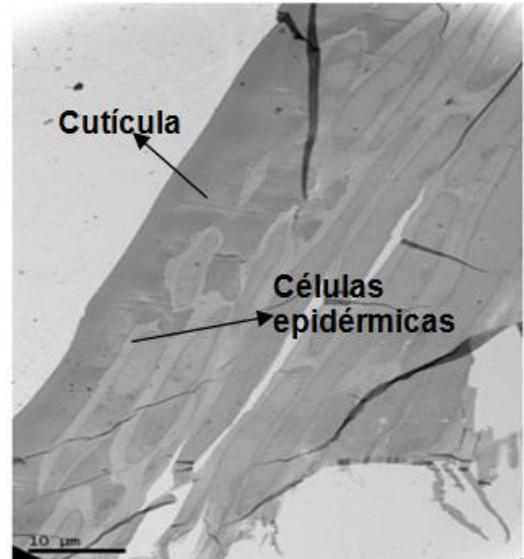
En esta etapa del estudio se puede hallar una diferencia entre las imágenes del exocarpo del tratamiento T2 (Figuras 36 y 37) y las de tomate con tratamiento T3 (Figuras 38 y 39) donde en este último, la capa de colénquima presentó mayor tamaño con células redondeadas lo que significa que a través del mesocarpo se dio una introducción de componentes presentes en el recubrimiento a diferencia del T2 donde la capa de colénquima presentó un ensanchamiento de las células pero en menor medida que el T3.

**3.3.5.4 Microscopía Electrónica de Transmisión (MET).** Además de las imágenes anteriores, se obtuvieron imágenes (Figuras 42, 43, 44, 45) de las células del exocarpo de tomate con diferentes tratamientos (T1, T2, T3, T4) mediante Microscopía Electrónica de Transmisión, donde se pueden apreciar la sección de la cutícula y las células epidérmicas, corroborando lo explicado en las imágenes de MOAR.

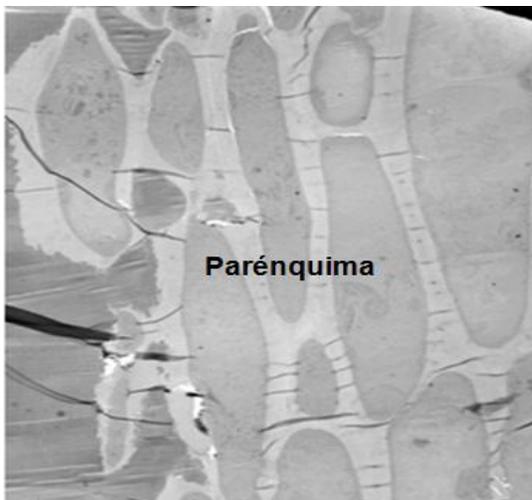
**Figura 42. MET en Exocarpo de tomate  
Muestra testigo 2500X (T1)**



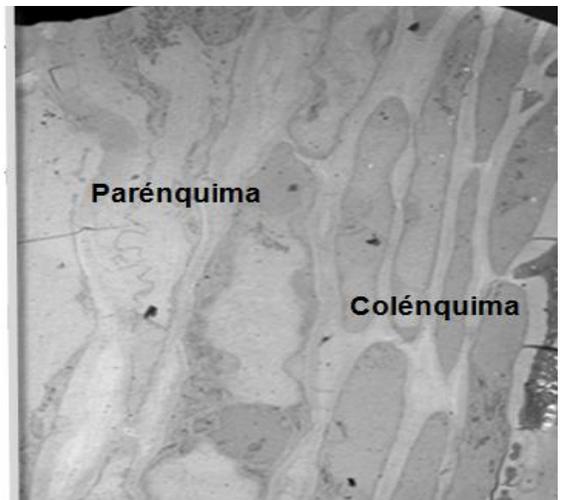
**Figura 43. MET en Exocarpo de tomate  
con recubrimiento de almidón  
modificado enzimáticamente 2500X  
(T2)**



**Figura 44. MET en Exocarpo de tomate  
con recubrimiento de almidón  
modificado con ácido cítrico 2500X  
(T3)**



**Figura 45. MET en Exocarpo de tomate  
con recubrimiento de almidón nativo  
2500X (T4)**



**Fuente.** Las autoras

## 4. CONCLUSIONES

Fue posible realizar una modificación de almidón de yuca variedad SM 707-17 con ácido cítrico, debido a que permitió obtener un almidón con mayor facilidad de cocción, menor Tg y Tm; por ende, temperaturas de gelatinización más bajas aunque presentó baja viscosidad y estabilidad del gel.

Se logró determinar los parámetros de modificación de un almidón de yuca nativo con ácido cítrico, estableciendo, velocidad de agitación, tiempo de modificación, temperatura y concentración de ácido cítrico.

El ácido cítrico generó un pH de soluciones amortiguadoras, lo que dificultó su neutralización, por lo que se debe optar por dejarlo incorporado en la suspensión de almidón ya que se generan gastos excesivos de solución neutralizante, cambiando el volumen de las suspensiones, que puede conllevar a resultados erróneos en las mediciones de E.D.

El almidón sin modificar presentó mayor viscosidad, lo que indica que al calentar una suspensión esta se tornará glutinosa y difícil de agitar. Por el contrario, el almidón modificado con ácido cítrico presentó desventajas al momento de requerir altas consistencias de pasta, por lo cual se requiere mayor cantidad de almidón para lograrlo, lo que se traduce en mayores gastos de insumos. De otro modo, la facilidad de cocción del almidón modificado con ácido cítrico permitió una gelatinización más rápida, debido a que se necesitó menos tiempo para lograrlo.

La modificación con ácido cítrico afectó la temperatura de transición vítrea (Tg) y la temperatura de fusión (Tm) en el almidón, permitiendo que la desorganización de las moléculas al aplicar calor se dé en menor tiempo y con menor gasto de energía, de lo contrario, los valores entre los almidones analizados (almidón modificado con ácido cítrico y almidón sin ácido cítrico) serían similares.

La modificación de almidón con ácido cítrico permite que el almidón sea utilizado en una concentración más alta de sólidos, para llevar a cabo una rápida gelatinización, la cual provee una textura baja y las características flexibles de una goma. La baja viscosidad representa una desventaja para su utilización en recubrimientos ya que se necesitaría mayor cantidad de almidón, pero podría ser utilizado en otras aplicaciones donde se pueda aprovechar sus características.

Como recubrimiento el almidón modificado con ácido cítrico presentó algunos inconvenientes, ya que al esperar un gel, éste tuvo menos estabilidad que el almidón sin modificar. En ese sentido presenta una desventaja, porque lo que se espera es que al momento de aplicar el recubrimiento, el gel sea firme, tenga la capacidad de formar capas uniformes y estables para que se mantenga en el fruto, lo que explica la falta de adherencia en una superficie cerosa como la cutícula del tomate.

Aunque estadísticamente, los recubrimientos no ejercieron ningún efecto sobre los frutos, cabe resaltar que las pequeñas diferencias en el comportamiento de cada tratamiento se traducen en cambios fisiológicos que pueden contribuir al mejoramiento de una variable de respuesta, permitiendo mayor vida útil en los frutos, como sucedió con la aplicación de recubrimiento con almidón de yuca modificado por vía ácida, que generó cambios positivos en la firmeza, color, tasa de respiración, en el tomate, por efecto de la incorporación de ácido cítrico en el almidón. Por lo tanto, el tratamiento que presentó mejor comportamiento en la preservación del tomate de estas variables a temperatura ambiente fue el T3, que corresponde al recubrimiento elaborado con almidón modificado con ácido cítrico.

El tiempo es un factor determinante en un análisis estadístico, por su efecto e influencia en las variables de respuesta cuando se trata de la evolución y el deterioro de tejidos vivos, ya que presentó interacción con cada uno de los tratamientos realizados.

De forma cualitativa se pudo establecer que los frutos del tratamiento T3 presentaron retraso de 3 días en la maduración y en el ataque generado por hongos, por lo que se concluye que el ácido cítrico se puede añadir como agente conservante en recubrimientos y no como modificador de almidón para uso en los mismos, dado que se necesita mayor cantidad de almidón para lograr mayor viscosidad en el recubrimiento.

La influencia de los hongos iniciadores de deterioro sobre el tomate, es determinante en su calidad, puesto que una vez que el ataque inicia, otros microorganismos encuentran condiciones óptimas de crecimiento que incrementan de manera exponencial la desintegración del fruto.

Con la Microscopía Óptica de Alta Resolución (MOAR) y Microscopía Electrónica de Transmisión (MET), se observaron las diferencias en las células epidérmicas del exocarpo de tomate, permitiendo ver la influencia de los recubrimientos sobre los frutos, siendo el recubrimiento con almidón modificado con ácido cítrico el que produjo mayor ensanchamiento de las células epidérmicas.

## 5. RECOMENDACIONES

Se recomienda el estudio de otro tipo de ácidos débiles o la combinación de ácido cítrico con otros ácidos en diferentes concentraciones, para realizar modificaciones de almidón nativo de yuca donde la variable de respuesta principal sea E.D., y que además vayan a ser empleados en recubrimientos comestibles, evaluando trazas de migración de estos ácidos hacia los frutos.

Se recomienda realizar estudios profundos en la formulación de los recubrimientos, de tal manera que se logre obtener una película homogénea y adherente sobre el tomate, que le permita al recubrimiento cumplir con su función como barrera protectora.

Debido a que el medio ácido en un recubrimiento proporciona condiciones favorables para el crecimiento de algunos hongos, se recomienda realizar un estudio en recubrimientos donde se proporcione un medio básico para evaluar el comportamiento del crecimiento de los mismos.

Además de tener en cuenta las propiedades de cohesión del polímero usado como base del recubrimiento, también se debe tener en cuenta las propiedades de adhesión de las superficies de los frutos a los cuales se van a aplicar los recubrimientos para que se tenga en cuenta en nuevas aplicaciones.

Se recomienda utilizar agentes emulsificantes apropiados en la formulación de recubrimientos, que permitan adherencia entre la epidermis del tomate y el recubrimiento.

## BIBLIOGRAFÍA

- AGRONET, R. de I. y C. del S. A. C. (2016). Estadísticas. Agrícola. Área, producción, rendimiento y participación. Recuperado de <http://www.agronet.gov.co/estadistica/Paginas/default.aspx>
- Alarcón, A. (2013). *Calidad poscosecha del tomate (Solanum lycopersicum L.) cultivado en sistemas ecológicos de fertilización*. ( Tesis Doctoral). Universidad Politécnica de Madrid. Madrid. Recuperado de [http://oa.upm.es/21908/1/ALEJANDRO\\_ALARCON\\_ZAYAS.pdf](http://oa.upm.es/21908/1/ALEJANDRO_ALARCON_ZAYAS.pdf)
- Albán, P., Joaquín, D., Villada, H., y Montilla, C. (2014, June). Efecto del ácido cítrico en películas elaboradas a base de almidón termoplástico de yuca. *Facultad Nacional de Agronomía*, 67, 559–561.
- Alcaldía de Timbío - Cauca. (2016). Recuperado de [http://timbio-cauca.gov.co/informacion\\_general.shtml](http://timbio-cauca.gov.co/informacion_general.shtml)
- Alcaldía Municipal de Popayán. (2016). Nuestra geografía. Recuperado de <http://popayan.gov.co/ciudadanos/popayan/nuestra-geografia>
- Altamirano, F., y Vásquez, K. (2016). *Variación de la composición química de los aceites esenciales de cúrcuma (Curcuma longa), hierba luisa (Cymbopogon citratus) y jengibre (Zingiber officinale) en función del tipo de suelo de la zona de cultivo de las especies vegetales en las provincias de Santa Elena, Guayas, Los Ríos, Bolívar, Cotopaxi, Tungurahua, Chimborazo, Morona Santiago y Pastaza*. (Tesis de pregrado).. Universidad Politécnica Salesiana. Quito. Recuperado de <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/12136/1/UPS-QT09893.pdf>
- Alvarado, M. (2014). ¿Qué son las biomoléculas? Recuperado Enero 25, 2017, de <http://www.conocimientosweb.net/portal/article1674.html>
- Alvarez, J. (2011). *Plan de negocios para el desarrollo de un proyecto productivo de tomate chonto (lycopersicon esculentum mill) bajo invernadero en la finca Las Mercedes Municipio de Gomez Plata*. (Tesis de Especialización). Corporación Universitaria Lasallista. Caldas, Antioquia. Recuperado de [http://repository.lasallista.edu.co/dspace/bitstream/10567/577/1/PLAN DE NEGOCIOS PARA EL DESARROLLO DE UN PROYECTO PRODUCTIVO DE TOMATE CHONTO.pdf](http://repository.lasallista.edu.co/dspace/bitstream/10567/577/1/PLAN_DE_NEGOCIOS_PARA_EL_DESARROLLO_DE_UN_PROYECTO_PRODUCTIVO_DE_TOMATE_CHONTO.pdf)
- Alves, T., Klososki, S., y Montanhini, M. (2015). Produção e caracterização de amidos de mandioca modificados. *Revista Agropecuária Técnica*, 36, 58–64.
- Amaya, C. (2004). *Evaluación de la estabilidad de las propiedades físicas del extracto de pigmentos rojizos obtenidos a partir de la cáscara de tomate (Lycopersicum esculentum)*. (Tesis de pregrado). Universidad de la Sabana. Bogotá D. C.

- Amaya, P., Peña, L., Mosquera, A., Villada, H., y Villada, D. (2010). Efecto del uso de recubrimientos sobre la calidad del tomate (*Lycopersicon esculentum* mill ). *Dyna*, 77(162), 67–73. Recuperado de <http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/view/15776>
- Arbeláez, G. (2000). Algunos Aspectos de los hongos del género *Fusarium* y de la especie *Fusarium oxysporum*. *Agronomía Colombiana*, 17, 11–22.
- ARGENBIO, C. A. para la I. y el D. de la B. (2016). Los pigmentos en la naturaleza. Recuperado Enero 25, 2017, de <http://www.porquebiotecnologia.com.ar/index.php?action=cuaderno&tipo=1&note=122>
- Argerich, C., Troilo, L., Rodríguez, M., Izquierdo, J., Strassera, M., Balcaza, L., ... Iribarren, M. (s.f.). *Manual de Buenas Prácticas Agrícolas en la cadena de tomate*. (C. Argerich & L. Troilo, Eds.). Buenos Aires Argentina.
- Aristizábal, J., Sánchez, T., y Mejía, D. (2007). Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca. Recuperado de <http://www.fao.org/3/a-a1028s.pdf>
- Arteaga, H. (2014). Necesidad de tecnología postcosecha frutas y hortalizas como alimento. Recuperado de <http://www.slideshare.net/geilerpedrodiazromero/w20140817224013650-7000602815-08262014154714pms1>
- ASOHOFrucol, A. H. de C. (2014). Balance y perspectivas del sector hortifrutícola. *Frutas & Hortalizas, Revista de La Asociación Hortifrutícola de Colombia, ASOHOFrucol*, 33, 12. Recuperado de <http://www.fondohortifruticola.com.co/RevistaFyH.php>
- ASTM International, A. S. F. T. and M. (2008). ASTM D3418 - 08 Standard Test Method for Transition Temperatures and Enthalpies of Fusion and Crystallization of Polymers by Differential Scanning Calorimetry. <http://doi.org/10.1520/D3418-08>
- Ávila, R., y López, A. (2008). Aplicación de Sustancias a Recubrimientos Comestibles. *Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos* 2, 2, 4–13.
- Badui, S. (2006). *Química de los alimentos*. (E. Quintamar Duarte, Ed.) (Cuarta ed.). México: PEARSON EDUCACIÓN.
- Barco, P., Burbano, A., Mosquera, S., Villada, H., y Navia, D. (2011). Efecto del recubrimiento a base de almidón de yuca modificado sobre la maduración del tomate. *Revista Lasallista de Investigación*, 8(2), 96–103. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=69522607011>
- Benito, P., Arellanes, N., y Pérez, M. (2016). Color y estado de madurez del fruto de tomate de cáscara. *Agronomía Mesoamericana*, 27(1), 115–130. <http://doi.org/http://dx.doi.org/10.15517/am.v27i1.21891>

- Bonilla, J. (2010). *Modificación enzimática de almidón obtenido de siete variedades de yuca (Manihot esculenta Crantz) para el desarrollo de películas flexibles*. (Tesis de pregrado). Universidad del Cauca. Popayán, Colombia.
- Bonilla, J., Hoyos, J., y Villada, H. (2014). Modificación enzimática de almidón de yuca (Manihot esculenta Crantz) para el desarrollo de películas flexibles. *Bioteología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 12(1), 134–143. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v12n1/v12n1a16.pdf>
- Campos, S. (2014). *Recubrimientos biodegradables de biopolímeros para su aplicación en frutas*. (Tesis de pregrado). Universitat Politècnica de València. Valencia, España.
- Carmen, C., y Loba, A. (2010). *Producción y comercialización de tomates*. (Tesis de Especialización). Corporación Universitaria Minuto de Dios. Santiago de Cali, Colombia.
- CCB, C. de C. de B. (2015). *Manual Tomate*. Bogotá, D.C.: Cámara de Comercio de Bogotá.
- CCI, C. C. I. (s.f.). *Plan Hortícola Nacional PHN*. Recuperado de [http://www.asohofrucol.com.co/archivos/biblioteca/biblioteca\\_28\\_PHN.pdf](http://www.asohofrucol.com.co/archivos/biblioteca/biblioteca_28_PHN.pdf)
- CDMB, C. A. R. para la D. de la M. de B. (2011). diagnóstico fitopatológico. Recuperado de <http://www.cdmb.gov.co/bpin/archivos/5f76a085212091465322.pdf>
- Cediel, J., Cárdenas, M., García, A., Chuaire, L., Payán, C., Villegas, V., y Sánchez, C. (2009). *Manual de histología: Tejidos fundamentales*. Universidad del Rosario. Bogotá, D.C. Recuperado de [https://books.google.com.co/books?id=ca2kuO4iwM0C&pg=PA23&dq=tipos+de+microscopia&hl=es&sa=X&ei=ICrxVJLGB-L-sATA1IDgAQ&ved=0CCAQ6AEwAQ#v=onepage&q=tipos de microscopia&f=false](https://books.google.com.co/books?id=ca2kuO4iwM0C&pg=PA23&dq=tipos+de+microscopia&hl=es&sa=X&ei=ICrxVJLGB-L-sATA1IDgAQ&ved=0CCAQ6AEwAQ#v=onepage&q=tipos+de+microscopia&f=false)
- Centro de Investigación Príncipe Felipe. (2015). Microscopía Electrónica de Transmisión. Recuperado de <http://www.cipf.es/documents/10157/9d815129-2a5a-420c-9185-742db6b5494c>
- Chiumarelli, M., Ferrari, C., Sarantópoulos, C., y Hubinger, M. (2011). Fresh cut Tommy Atkins mango pre-treated with citric acid and coated with cassava (Manihot esculenta Crantz) starch or sodium alginate. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 12(3), 381–387. <http://doi.org/10.1016/j.ifset.2011.02.006>
- Collazo, S., Ortega, R., Talens, P., y Chiralt, A. (2013). *Films biodegradables a base de almidón de maíz y policaprolactona: efecto del ácido cítrico como agente de entrecruzamiento*. (Tesis de Maestría). Universitat Politècnica de València. Valencia, España. Recuperado de [https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/33929/TFM\\_Sofia\\_Collazo.pdf;sequence=1](https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/33929/TFM_Sofia_Collazo.pdf;sequence=1)
- Colourphil.co.uk. (2016). Introduction to the CIE LCH & Lab Colour Spaces. Recuperado Febrero 9, 2017, de [http://www.colourphil.co.uk/lab\\_lch\\_colour\\_space.shtml](http://www.colourphil.co.uk/lab_lch_colour_space.shtml)

- Deaquiz, Y. (2014). Los frutos y su fotosíntesis. *CONEXAGRO JDC*, 4(1), 39–47.
- Domene, M., y Segura, M. (2014a). Parámetros de calidad externa en la industria agroalimentaria. En *Cajamar ADN Agro* (Vol. 3, pp. 1–12).
- Domene, M., y Segura, M. (2014b). Parámetros de calidad interna de hortalizas y frutas en la industria agroalimentaria. En *Cajamar ADN Agro* (Vol. 5, pp. 1–18).
- Dussan, S., Torres, C., y Reyes, P. (2014). Efecto del recubrimiento comestible sobre los atributos físicoquímicos de mango “Tommy Atkins” mínimamente procesado y refrigerado. *Acta Agronómica*, 63(3), 212–221. <http://doi.org/10.15446/acag.v63n3.40973>
- Enríquez, M., Velasco, R., y Fernández, A. (2013). Caracterización de almidones de yuca nativos y modificados para la elaboración de empaques biodegradables. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 11(2), 21–30.
- Falade, K., y Ayetigbo, O. (2015). Effects of annealing , acid hydrolysis and citric acid modifications on physical and functional properties of starches from four yam (*Dioscorea spp.* ) cultivars. *Food Hydrocolloids*, 43, 529–539.
- FAO, O. de las N. U. para la A. y la A. (1987). Manual para el mejoramiento del manejo poscosecha de frutas y hortalizas - Las frutas y hortalizas frescas como productos perecibles. Recuperado Enero 25, 2017, de <http://www.fao.org/docrep/x5055s/x5055s02.htm>
- FAO, O. de las N. U. para la A. y la A. (2013). FAO - Noticias: La yuca tiene gran potencial como cultivo del siglo XXI. Recuperado de <http://www.fao.org/news/story/es/item/176821/icode/>
- FAO, O. de las N. U. para la A. y la A. (2014). Pérdidas y desperdicios de alimentos en América Latina y el Caribe - Julio 2014, 7. Recuperado de <http://www.fao.org/3/a-i3942s.pdf>
- FAO, O. de las N. U. para la A. y la A., y PRODAR, P. C. de D. A. R. (2014). *Productos frescos de verduras Fichas técnicas*. FAO. Recuperado de <http://www.fao.org/3/a-au174s.pdf>
- Fernández, N. (2015). *Efecto de barrera contra el vapor de agua de recubrimientos comestibles sobre el tomate (Solanum lycopersicum)*. (Tesis de pregrado). Universidad del Cauca. Popayán, Colombia.
- FINAGRO, F. para el F. del S. A. (s.f.). *EL TOMATE*. Recuperado de [http://www.google.com.co/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0CBwQFjAA&url=https://www.finagro.com.co/sites/default/files/node/info\\_sect/image/tomate\\_0.docx&ei=gY2MVYTalsyoNrLmgZgD&usg=AFQjCNGPRAEK7a4WIEK8D9UnR8](http://www.google.com.co/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0CBwQFjAA&url=https://www.finagro.com.co/sites/default/files/node/info_sect/image/tomate_0.docx&ei=gY2MVYTalsyoNrLmgZgD&usg=AFQjCNGPRAEK7a4WIEK8D9UnR8)

- Forbes, B., Sahm, D., y Weissfeld, A. (2009). *Bailey & Scott; Diagnóstico Microbiológico*. (Silvia Rondinone, Ed.) (12a ed.). Buenos Aires: Médica Panamericana. Recuperado de [https://books.google.com.co/books?id=239cauKqSt0C&pg=PA78&dq=tipos+de+microscopia&hl=es&sa=X&ei=ICrxVJLGB-L-sATA1IDgAQ&ved=0CDUQ6AEwBA#v=onepage&q=tipos de microscopia&f=false](https://books.google.com.co/books?id=239cauKqSt0C&pg=PA78&dq=tipos+de+microscopia&hl=es&sa=X&ei=ICrxVJLGB-L-sATA1IDgAQ&ved=0CDUQ6AEwBA#v=onepage&q=tipos+de+microscopia&f=false)
- Fulgueira, C. L. (2014). *Microbiología - Farmacia 2014 T.P. N° 1 Micología*.
- Gaitán, J., y Pérez, A. (2016). *Soluciones amortiguadoras y pH*. Universidad del Tolima. Ibagué, Colombia. Recuperado de [https://www.academia.edu/25440752/Soluciones\\_amortiguadoras\\_y\\_pH](https://www.academia.edu/25440752/Soluciones_amortiguadoras_y_pH)
- Galvis, J., Morales, C., y Suárez, N. (2012). Cambios de color y contenido de ácidos durante el almacenamiento del tomate (*Lycopersicon esculentum*) variedad larga vida, minimamente procesado. *Vitae*.
- Gamboni, J., Slavutsky, A., y Bertuzzi, M. (2015). Estudio de las fuerzas de adhesión de películas de almidón sobre diferentes soportes. *AAIQ, Asociación Argentina de Ingenieros Químicos - CSPQ*.
- García, A., Contreras, A., Rodríguez, M., y Trujillo, Y. (2010). Características físicas y químicas del tomate (*Solanum lycopersicum L.*) variedad pera. @ *Limentech, Ciencia y Tecnología Alimentaria*, 8(1), 75–82.
- Giopato, F. (2015). *Obtenção e caracterização de amido de mandioca (Manihot esculenta Crantz) modificado com ácido tartárico*. (Tesis de Maestría). Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, Brasil.
- Gómez, E. (2011). Recubrimientos para frutas y hortalizas, 13. Recuperado de [http://www.deccopostharvest.com/pdf/newsletter/11\\_04\\_2011/recubrimientos\\_frutas\\_hortalizas.pdf](http://www.deccopostharvest.com/pdf/newsletter/11_04_2011/recubrimientos_frutas_hortalizas.pdf)
- Gómez, P., y Camelo, A. (2002). Calidad postcosecha de tomates almacenados en atmósferas controladas. *Horticultura Brasileira*, 20(1), 38–43. <http://doi.org/10.1590/S0102-05362002000100007>
- Gustavsson, J., Cederberg, C., Sonesson, U., Otterdijk, R., y Meybeck, A. (2012). *Pérdidas y desperdicio de alimentos en el mundo - Alcance, causas y prevención*. Roma, Italia. Recuperado de <http://www.fao.org/docrep/016/i2697s/i2697s.pdf>
- Gutiérrez, T., Pérez, E., Guzmán, R., Tapia, M., y Famá, L. (2014). Physicochemical and Functional Properties of Native and Modified by Crosslinking, Dark-Cush-Cush Yam (*Dioscorea Trifida*) and Cassava (*Manihot Esculenta*) Starch. *Journal of Polymer and Biopolymer Physics Chemistry*, 2(1), 1–5. <http://doi.org/10.12691/jpbpc-2-1-1>

- Hernández, J. (2013). *Caracterización físico-química y microbiológica del tomate margariteño (Lycopersicon esculentum var. España) y evaluación de la efectividad de tratamientos de pre-ensado para el incremento de su vida comercial a temperatura ambiente*. (Tesis Doctoral). Universidad de Córdoba. Córdoba, España.
- Hernández, M., Barrera, J., y Melgarejo, L. (2010). Fisiología poscosecha. En L. Melgarejo (Ed.), *Experimentos en Fisiología Vegetal* (Primera Ed., pp. 167–186). Bogotá, D.C.: Goth's Imágenes Taller Editorial.
- Hilario, K., Quispe, H., Ninahuaca, J., Villanes, D., y Huaman, J. (2013). *Aislamiento de hongos*. Huancayo, Perú.
- Hirashima, M., Takahashi, R., y Nishinari, K. (2005). Effects of adding acids before and after gelatinization on the viscoelasticity of cornstarch pastes. *Food Hydrocolloids*, 19(5), 909–914. Recuperado de <http://miuse.mie-u.ac.jp/bitstream/10076/11177/1/20A13304.pdf>
- ICONTEC, I. C. de N. T. y C. (2001). NTC 1103-1 Industrias Alimentarias. Tomate de Mesa. Recuperado de <https://es.scribd.com/document/58308258/NTC-1103-1-Tomate-de-Mesa>
- Jaramillo, J., Rodríguez, V., Gil, L., García, M., Hío, J., Quevedo, D., ... Guzmán, M. (2013). *Tecnología para el cultivo de tomate bajo condiciones protegidas*. (J. N. Corpoica, Ed.). Bogotá, D.C. Recuperado de [http://www.siembracom.co/NetCorpoica/WebNetAgroNetTec/WebNetAgroNetTec/Pg\\_GestArchivos/Archivos\\_Varios/cartilla-Tecnologia para el cultivo del Tomate\(CLIENTE\).pdf](http://www.siembracom.co/NetCorpoica/WebNetAgroNetTec/WebNetAgroNetTec/Pg_GestArchivos/Archivos_Varios/cartilla-Tecnologia para el cultivo del Tomate(CLIENTE).pdf)
- Jaramillo, J., Rodriguez, V., Guzman, M., Zapata, M., y Rengifo, T. (2007). *Manual Técnico: Buenas Prácticas Agrícolas -BPA- en la producción de tomate bajo condiciones protegidas* (Primera Ed). Medellín, Colombia: CTP Print.
- Jimenez, E., y Duque, J. (2016). *Efecto de la inclusión de propóleo en el recubrimiento de almidón de yuca modificado sobre la bacteria Erwinia Carotovora causante de la pudrición blanda del tomate de mesa (Solanum Lycopersicum)*. (Tesis de pregrado). Universidad del Cauca. Popayán, Colombia.
- Jonguitud, P., Gomez, A., Velasquez, de la C., Bustos, V., Trejo, P., Morales, J., ... Fonseca, A. (2010). Efecto de la modificación ácida de almidón de maíz azul (Zea mays) con diferentes solventes acidificados con ácido clorhídrico sobre las propiedades térmicas y estructurales del almidón. *XII Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos*.
- Laiton, A., Almanza, P., y Balaguera, E. (2012). Producción y calidad poscosecha de tomate ( *Solanum lycopersicum* L .) larga vida sometido a la aplicación de ácido giberélico. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 6(2), 183–195. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/rcch/v6n2/v6n2a07.pdf>

- Lázar, A., Fernández, I., Cabello, F., y Carretero, C. D. L. (2014). *Catálogo de la Comunidad de Madrid* (Instituto). Madrid, España.
- López, C., Leynes, E., López, M., Quintero, A., Vargas, A., y Hernández, A. (2016). Calidad poscosecha de tomate nativo ( *Solanum lycopersicum* L var. Cerasiforme ) de México, durante su almacenamiento. *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 1(1), 395–399.
- López, G. (2006). *Biomecánica de la epidermis y la cutícula del fruto de tomate (Solanum lycopersicum L.) y su relación con el agrietado*. (Tesis Doctoral). Universidad de Málaga. Málaga, España.
- Marín, E. (2013). *Extracción, caracterización y modificación de almidón de platano (musa sapientum) variedad Roatán, producto de desecho post-cosecha de la zona de Vega de Alatorre Veracruz*. (Tesis de Pregrado). Universidad Veracruzana. Xalapa, Veracruz, México.
- Martín, J., y López, E. (2009). Modificación física del almidón de yuca y evaluación de la susceptibilidad a la hidrólisis enzimática por una alfa amilasa. *Revista Colombiana de Química*, 38(3), 395–408.
- Matas, A. (2005). *Estudio de los factores incidentes en el agrietado del fruto de tomate (Lycopersicon esculentum Mill.) tipo cereza: el papel de la cutícula del fruto*.(Tesis Doctoral). Universidad de Málaga. Málaga, España Recuperado de <http://www.biblioteca.uma.es/bbldoc/tesisuma/16788400.pdf>
- Meléndez, A., Vicario, I., y Heredia, F. (2004). Estabilidad de los pigmentos carotenoides en los alimentos. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 54(2), 209–215.
- Méndez, A., Martínez, F., Véles, J., Moreno, C., Del Río, J., y Moreno, E. (2009). Efecto de la adición de ácido cítrico sobre la degradación de las aflatoxinas y las propiedades funcionales de productos extrudidos de sorgo. *Interciencia*, 34(4), 252–258.
- Mendoza, I. (2012). *Caracterización de soluciones formadoras de películas elaboradas con harina y almidón de cebada*. (Tesis de Maestría). Instituto Politécnico Nacional. Yauatepec, Morelos, México.
- Menzel, C. (2014). *Starch structures and their usefulness in the production of packaging materials*. (Tesis Doctoral). Swedish University of Agricultural Science. Uppsala. Suecia. Recuperado de [http://pub.epsilon.slu.se/11576/1/menzel\\_c\\_141103.pdf](http://pub.epsilon.slu.se/11576/1/menzel_c_141103.pdf)
- Mercado, J., Madera, T., y Yocupicio, J. (2015). Evaluación de un recubrimiento comestible a base de agar y ácido cítrico. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, 33–39. Recuperado de <http://www.investigacionyciencia.es/revistas/investigacion-y-ciencia/numero/429/el-futuro-de-la-energa-elica-8652>

- Metrix, L. (2017). Todo sobre centrifugas. Recuperado Enero 17, 2017, de <http://www.metrixlab.mx/no-cat/todo-sobre-centrifugas/>
- Moreno, D. (2012). *Evaluación y estandarización de las condiciones del proceso de deshidratación de tomate*. (Tesis de Maestría). Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, D.C.
- Muñoz, A., Sáenz, A., López, L., Cantú, L., y Barajas, L. (2014). Ácido Cítrico: Compuesto Interesante. *Revista Científica de la Universidad Autónoma de Coahuila*, 6(12).
- Nikon Instruments Inc, A. (2017). SMZ800 Zoom Stereomicroscope. Recuperado Enero 18, 2017, de [https://www.nikoninstruments.com/es\\_AMS/Productos/Microscopios-estereoscopicos-y-macroscopios/Microscopios-estereo/SMZ800](https://www.nikoninstruments.com/es_AMS/Productos/Microscopios-estereoscopicos-y-macroscopios/Microscopios-estereo/SMZ800)
- Olsson, E. (2013). *Effects of Citric Acid on Starch-Based Barrier Coatings*. (Tesis Doctoral). Karlstad University. Karlstad Suecia.
- Ordoñez, D., Zuñiga, D., Hoyos, J., Mosquera, S., y Mosquera, L. (2014). Efecto de recubrimiento de almidón de yuca modificado y aceite de tomillo aplicado al pimiento (*Capsicum annum*). *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 5, 795–805. Recuperado de <http://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v5n5/v5n5a6.pdf>
- Padrón, C., Padrón, G., Montes, A., y Oropeza, R. (2012). Determinación del color en epicarpio de tomates (*Lycopersicum esculentum* Mill.) con sistema de visión computarizada durante la maduración. *Agronomía Costarricense*, 36(1), 97–111.
- Palma, H., Agama, E., González, R., y Bello, L. (2010). Efecto del tamaño del gránulo en la modificación química del almidón. *XII Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 281–286.
- Pássaro, C., Navarro, P., y Salvador, A. (2012). Poscosecha. En *Cítricos: cultivo, poscosecha e industrialización* (p. 249). Corporación Universitaria Lasallista. Recuperado de <http://hdl.handle.net/10567/566>
- Paz, S., Mosquera, S., y Villada, H. (2016). Evaluación de la permeabilidad de un recubrimiento elaborado a partir de almidón de yuca nativo y modificado. *Vitae*, 23(1), 222–225.
- Pérez, M., del Río, M., y Rojas, C. (s.f.). Recubrimientos comestibles en frutas y hortalizas, 1. Recuperado de <http://www.horticom.com/pd/imagenes/69/831/69831.pdf>
- Pérez, V. (2017). World leader in carbohydrate ingredients. Almidones modificados. Recuperado Enero 26, 2017, de [https://www.academia.edu/15338868/World\\_leader\\_in\\_carbohydrate\\_ingredients\\_Almidones\\_modificados](https://www.academia.edu/15338868/World_leader_in_carbohydrate_ingredients_Almidones_modificados)

- Plana, D., Álvarez, M., Dueñas, F., Lara, R., Moya, C., Florido, M., ... Rodríguez, J. (2011). Caracterización de la mancha solar en frutos de tomate (*Solanum lycopersicum*) cosechados en Cuba. *Cultivos Tropicales*, 32(3), 36–41.
- Ramirez, B. (2015). *Gelatinización y gelificación de almidones*. Recuperado de [www.unac.edu.pe](http://www.unac.edu.pe)
- Riojas, H., Gortáres, P., Mondaca, I., y Balderas, J. (2011). Aplicación de Tween 80 y D – Limoneno en la biorremediación de suelo contaminado por hidrocarburos. *Ide@s CONCYTEG ISSN: 2007-2716*, 6(71), 571–584.
- Rojas, M., Tapia, M., y Martín, O. (2008). Using polysaccharide-based edible coatings to maintain quality of fresh-cut Fuji apples. *LWT - Food Science and Technology*, 41(1), 139–147.
- Salcedo, A. (2014). *Evaluación de absorbentes de etileno compuestos por mezclas de permanganato de potasio y vermiculita como retardantes de madurez de frutos de tomate (Solanum lycopersicum L.)*. (Tesis de Maestría). Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, D.C.
- Salgado, T., y Martínez, R. (2006). *Relación entre la intensidad respiratoria y las propiedades fisicoquímicas del banano (Musa sapientum l) var. Criollo, tomate de árbol (Solamun betaceum) var. Morada y mango (Mangifera indica l) var. Azúcar*. (Tesis de Pregrado). Universidad de la Salle. Bogotá, D.C.
- San Martín, C., Ordaz, V., Sánchez, P., Beryl, M., y Borges, L. (2012). Calidad de tomate (*Solanum lycopersicum L.*) producido en hidroponía con diferentes granulometrías de tezontle. *Agrociencia*, 46(3), 243–254. Recuperado de <http://www.colpos.mx/agrocien/Bimestral/2012/abr-may/art-4.pdf>
- Sánchez, D., Contreras, J., Nevárez, G., y Aguilar, C. (2015). Caracterización de películas comestibles a base de extractos pécticos y aceite esencial de limón Mexicano. *CyTA - Journal of Food*, 13(Agosto 2015), 16–25. <http://doi.org/10.1080/19476337.2014.904929>
- Santacruz, C. (2013). *Caracterización morfológica, patogénica y molecular de especies de colletotrichum spp. causantes de la antracnosis del fruto de ají y pimentón capsicum spp. en el Valle del Cauca*. (Tesis de Maestría). Universidad Nacional de Colombia. Palmira, Colombia. Recuperado de <http://www.bdigital.unal.edu.co/12716/1/7711008.2013.pdf>
- Seminis Vegetable Seeds. (2017). Antracnosis. Recuperado Febrero 9, 2017, de <http://seminis-andina.com/recursos/guias-de-enfermedades/tomates/antracnose-2/>
- Shenzhen 3nh Technology Co., L. (s.f.). *Operating Instruction for NR145 and NR20XE Colorimeter*. Recuperado de <http://www.3nhcolor.com>
- Shenzhen 3nh Technology Co., L. (2016). What is a colorimeter? Recuperado Enero 20, 2017, de <http://www.3nhtesting.com/news/160-448.html>

- Shimadzu, C. (2012). *EZ Test. Table- Top Universal Testing Instruments*. Japón. Recuperado de <https://www.ssi.shimadzu.com/products/literature/Testing/C224-E055.pdf>
- Shimadzu, C. (2017). UV-1800 UV-VIS | Modos de medición: SHIMADZU (Shimadzu Corporation). Recuperado Enero 17, 2017, de [http://www.shimadzu.com/an/molecular\\_spectro/uv/uv1800/uv2.html](http://www.shimadzu.com/an/molecular_spectro/uv/uv1800/uv2.html)
- Sívoli, L., Pérez, E., Rodríguez, P., Raymúndez, M., y Ayesta, C. (2009). Técnicas microscópicas y de dispersión de luz empleadas en la evaluación de la estructura del almidón nativo de yuca (*Manihot esculenta* C). *Acta Microscópica*, 18(3), 195–203.
- Suárez, A., Trejo, A., y Lira, M. (2015). Desarrollo de un recubrimiento con efecto antifúngico y antibacterial a base de aceite esencial de orégano para conservación de papaya “maradol.” *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 16(1), 58–63.
- Thermo Fisher Scientific, I. (2015). *Thermo Scientific MaxQ Shakers. Reliability. Simplicity. Flexibility*. Recuperado de <https://tools.thermofisher.com/content/sfs/brochures/D11049~.pdf>
- Unidad de Microscopía Electrónica Universidad del Cauca. (s.f.). Recuperado de <http://www.microscopia.unicauca.edu.co/servicios.htm>
- Universidad del Cauca, L. de R. y E. (2013a). *Caracterización Reológica de suspensiones de almidón* (No. 3). Popayán, Colombia.
- Universidad del Cauca, L. de R. y E. (2013b). *Determinación de temperaturas de transición térmica de polímeros por Calorimetría de Barrido Diferencial (DSC)*. Popayán, Colombia.
- Vazquez, M., y Guerrero, J. (2013). Recubrimiento de frutas con biopelículas. *Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos*, 5–14. Recuperado de <http://web.udlap.mx/tsia/files/2014/12/TSIA-72-Vazquez-Briones-et-al-2013.pdf>
- Vera, J., de los Ríos, L., Urruela, R., y Hernández (2012). Producción de alcoholes volátiles durante maduración de los frutos, 1–11. Recuperado de [http://pendientedemigracion.ucm.es/info/cvicente/seminarios/maduracion\\_frutos.pdf](http://pendientedemigracion.ucm.es/info/cvicente/seminarios/maduracion_frutos.pdf)
- Villada, H., Acosta, H., y Velasco, R. (2008). Investigación de Almidones Termoplásticos, Precursores de Productos Biodegradables. *Información Tecnológica*, 19(2), 3–14. Recuperado de <http://www.scielo.cl/pdf/infotec/v19n2/art02.pdf>
- Witt-Gasetechnik GmbH & Co KG. (2009). *Operating Instructions for OXYBABY® 6 for O2 /CO2*.

Zambrano, F. (1998). *Optimização das condições de hidrólise ácida do amido de mandioca para obtenção de substituto de gordura caracterização de hidrolisados e aplicação em bolos*. (Tesis de Doctoral) Universidade Estadual de Campinas. Campinas.

Zuraida, A., Yusliza, Y., Anuar, H., y Mohd, R. (2012). The effect of water and citric acid on sago starch bio-plastics. *International Food Research Journal*, 19(2), 715–719.

## ANEXOS

### ANEXO A. DATOS PROMEDIO DE LAS MEDICIONES DE LAS VARIABLES DE RESPUESTA

Cuadro 5. Sólidos Solubles Totales

TRATAMIENTO	PUNTO INICIAL	DÍA 3	DÍA 6	DÍA 9	DÍA 12	DÍA 15
T1	4,60	4,35	4,33	4,45	4,30	4,35
	4,23	4,33	4,35	4,60	4,68	4,48
	4,88	4,55	4,48	4,58	4,50	4,60
T2	4,73	4,18	4,30	4,60	4,50	4,38
	4,50	4,58	4,23	4,28	4,33	4,73
	4,75	4,63	4,28	4,38	4,55	4,80
T3	4,70	4,43	4,60	4,23	4,50	4,63
	4,58	4,40	4,50	4,50	4,48	4,50
	4,85	4,23	4,45	4,55	4,58	4,48
T4	4,45	4,30	4,40	4,60	4,48	4,55
	4,43	4,53	4,40	4,55	4,58	4,63
	4,90	4,18	4,63	4,50	4,50	4,23

Cuadro 6. Firmeza

TRATAMIENTO	PUNTO INICIAL	DÍA 3	DÍA 6	DÍA 9	DÍA 12	DÍA 15
T1	4,13	3,95	3,28	4,24	3,30	3,28
	4,17	3,96	3,38	3,04	3,47	2,24
	4,36	4,20	4,38	4,19	3,87	2,62
T2	4,77	3,31	3,07	4,68	2,97	2,48
	4,65	4,94	3,84	3,94	3,66	1,91
	4,48	4,69	3,08	3,23	3,64	3,09
T3	4,45	3,50	4,01	3,58	4,31	2,90
	4,66	4,46	3,79	3,95	3,47	3,43
	5,12	4,04	4,15	3,56	3,82	3,33
T4	4,45	4,31	4,36	3,92	3,73	0,00
	4,66	3,72	3,61	4,85	3,79	3,41
	5,12	3,94	3,63	4,29	4,07	2,40

Cuadro 7. pH

TRATAMIENTO	PUNTO INICIAL	DÍA 3	DÍA 6	DÍA 9	DÍA 12	DÍA 15
T1	5,33	5,33	5,43	5,33	5,58	5,68
	5,13	5,30	5,40	5,50	5,55	5,75
	5,03	5,38	5,43	5,43	5,55	5,68
T2	5,15	5,28	5,45	5,45	5,58	5,73
	5,33	5,38	5,33	5,53	5,88	5,75
	5,20	5,48	5,40	5,50	5,80	5,78
T3	5,08	5,28	5,40	5,45	5,70	5,63
	5,08	5,33	5,40	5,53	5,65	5,63
	5,00	5,30	5,30	5,50	5,65	5,83
T4	5,08	5,35	5,30	5,43	5,58	5,65
	5,18	5,30	5,38	5,28	5,60	5,75
	5,15	5,25	5,40	5,35	5,60	5,68

Cuadro 8. Acidez titulable

TRATAMIENTO	PUNTO INICIAL	DÍA 3	DÍA 6	DÍA 9	DÍA 12	DÍA 15
T1	0,36	0,28	0,22	0,21	0,23	0,25
	0,36	0,27	0,22	0,20	0,24	0,26
	0,34	0,26	0,22	0,20	0,24	0,25
T2	0,35	0,29	0,24	0,23	0,23	0,25
	0,35	0,30	0,24	0,23	0,24	0,25
	0,35	0,29	0,24	0,23	0,24	0,25
T3	0,36	0,29	0,24	0,23	0,23	0,24
	0,36	0,29	0,24	0,23	0,23	0,25
	0,36	0,29	0,24	0,23	0,23	0,25
T4	0,36	0,27	0,22	0,21	0,23	0,25
	0,35	0,26	0,23	0,21	0,23	0,25
	0,36	0,27	0,22	0,20	0,23	0,25

Cuadro 9. Tasa de respiración porcentaje (%) de O<sub>2</sub>

TRATAMIENTO	PUNTO INICIAL	DÍA 3	DÍA 6	DÍA 9	DÍA 12	DÍA 15
T1	15,57	16,90	14,10	13,27	11,60	14,27
	13,97	15,97	14,67	15,20	15,03	13,40
	11,20	13,63	13,80	14,67	14,77	13,97
T2	15,53	16,97	13,23	13,67	13,57	12,80
	14,10	15,30	14,87	16,17	14,10	16,20
	15,70	14,73	7,40	8,77	13,93	9,03
T3	15,07	15,80	14,37	14,83	15,53	15,17
	8,97	11,13	12,17	10,73	9,57	7,17
	12,37	13,97	13,83	13,77	13,10	11,87
T4	17,03	14,77	11,30	10,20	9,93	13,27
	11,87	18,73	18,30	17,73	18,10	18,60
	12,97	15,33	14,70	13,63	13,73	11,33

Cuadro 10. Tasa de respiración porcentaje (%) de CO<sub>2</sub>

TRATAMIENTO	PUNTO INICIAL	DÍA 3	DÍA 6	DÍA 9	DÍA 12	DÍA 15
T1	4,43	3,97	4,43	5,53	9,70	10,07
	4,20	4,00	3,60	3,43	4,10	4,67
	4,93	4,47	3,67	3,60	3,97	3,97
T2	4,00	3,70	4,40	4,20	4,60	4,63
	4,67	4,60	3,90	2,97	3,37	3,13
	3,80	5,47	8,27	11,20	10,53	11,97
T3	4,23	4,50	4,03	3,67	3,70	3,33
	5,73	5,10	4,73	5,60	6,87	8,03
	5,33	5,10	4,53	4,50	5,53	5,70
T4	2,57	4,93	6,43	7,27	8,93	7,33
	4,93	1,53	1,60	2,07	2,57	2,07
	4,90	4,27	4,30	4,93	7,93	12,63

Cuadro 11. Porcentaje (%) de Pérdida de peso acumulado

TRATAMIENTO	PUNTO INICIAL	DÍA 3	DÍA 6	DÍA 9	DÍA 12	DÍA 15
T1	0	1,83	3,05	4,88	5,49	7,93
	0	3,25	5,19	6,49	7,79	10,39
	0	2,74	4,79	4,79	7,53	10,96
T2	0	2,30	4,60	9,77	11,49	12,64
	0	2,41	3,61	5,42	6,63	8,43
	0	2,41	4,22	5,42	7,83	10,24
T3	0	1,75	4,09	4,09	5,85	6,43
	0	6,32	13,22	13,79	16,09	16,67
	0	0,63	1,89	2,52	3,14	5,03
T4	0	1,97	3,29	4,61	5,26	6,58
	0	1,99	3,31	3,97	5,30	6,62
	0	2,47	4,32	4,94	6,17	8,02

### COLOR

Cuadro 12. Parámetro L

TRATAMIENTO	PUNTO INICIAL	DÍA 3	DÍA 6	DÍA 9	DÍA 12	DÍA 15
T1	37,78	35,13	36,83	36,61	35,10	35,53
	38,22	35,69	35,24	36,02	36,08	35,50
	36,96	35,76	36,48	37,07	36,55	35,82
T2	35,33	33,71	35,42	35,19	36,36	34,43
	35,65	36,40	35,64	36,32	36,65	35,88
	36,40	34,82	34,99	35,64	37,85	35,19
T3	37,74	35,58	35,37	36,53	35,43	34,98
	37,93	37,98	37,09	36,52	36,44	36,30
	36,89	37,26	37,50	35,51	37,04	36,26
T4	38,38	36,20	35,57	35,88	35,48	36,57
	37,23	37,37	35,95	35,34	36,61	35,95
	39,14	37,65	35,97	37,31	36,45	38,45

Cuadro 13. Parámetro a\*

TRATAMIENTO	PUNTO INICIAL	DÍA 3	DÍA 6	DÍA 9	DÍA 12	DÍA 15
T1	36,57	35,81	35,97	35,59	36,25	36,62
	36,89	35,80	36,46	36,43	36,39	33,78
	36,20	35,88	35,76	35,15	35,66	34,00
T2	37,20	36,41	35,73	35,12	32,74	33,10
	35,57	35,78	35,60	36,66	35,68	35,16
	36,08	35,76	35,24	34,78	33,09	33,84
T3	36,39	37,03	37,01	36,03	36,21	36,65
	35,04	35,11	35,15	35,44	34,48	34,05
	35,59	34,79	33,77	35,15	35,04	34,54
T4	35,90	36,35	36,40	36,07	35,69	36,25
	36,56	36,67	36,48	37,33	36,69	36,96
	35,11	34,86	35,81	34,72	35,31	35,67

Cuadro 14. Parámetro b\*

TRATAMIENTO	PUNTO INICIAL	DÍA 3	DÍA 6	DÍA 9	DÍA 12	DÍA 15
T1	31,86	28,44	27,02	26,73	28,23	27,92
	29,92	29,22	29,96	29,33	29,00	26,18
	28,17	27,30	27,35	25,79	26,99	25,53
T2	29,52	28,75	27,15	26,55	22,85	24,17
	27,01	26,72	26,42	26,94	25,78	25,72
	28,99	29,81	28,70	27,63	26,14	26,98
T3	29,77	29,85	28,98	26,78	27,67	28,17
	28,27	28,04	27,94	28,53	28,28	27,98
	28,67	26,34	25,66	27,07	26,86	26,41
T4	27,85	29,19	29,00	27,85	27,70	28,95
	31,80	29,95	29,06	30,70	28,75	28,95
	26,53	25,64	27,56	25,32	26,98	25,96

Cuadro 15. Parámetro C

TRATAMIENTO	PUNTO INICIAL	DÍA 3	DÍA 6	DÍA 9	DÍA 12	DÍA 15
T1	47,26	45,78	45,00	44,54	45,98	46,00
	47,50	46,22	47,04	46,78	46,53	42,74
	45,88	45,10	45,03	43,61	44,73	42,54
T2	48,67	46,42	44,89	44,03	39,93	40,98
	44,68	44,66	44,35	45,50	44,02	43,58
	46,35	46,63	45,52	44,44	42,17	43,29
T3	47,05	47,57	47,01	44,92	45,59	46,25
	45,08	44,97	44,92	45,50	44,62	44,09
	45,71	43,66	42,42	44,36	44,15	43,48
T4	45,46	46,64	46,56	45,60	45,19	46,42
	48,31	47,39	46,66	48,35	46,65	46,96
	44,04	43,35	45,21	43,05	44,49	44,12

Cuadro 16. Parámetro h°

TRATAMIENTO	PUNTO INICIAL	DÍA 3	DÍA 6	DÍA 9	DÍA 12	DÍA 15
T1	41,32	38,37	36,83	36,79	37,79	37,31
	39,03	39,21	39,14	38,79	38,56	37,81
	37,88	37,18	37,39	36,21	37,15	37,00
T2	38,46	38,155	37,13	37,09	34,91	36,13
	37,14	36,685	36,53	36,30	35,83	36,15
	38,69	39,685	39,06	38,47	38,30	38,6
T3	39,18	38,825	38,03	36,49	37,32	37,45
	38,62	38,5275	38,47	38,81	39,32	39,41
	38,81	37,0325	37,23	37,60	37,47	37,40
T4	37,72	38,6925	38,43	37,57	37,82	38,55
	41,16	39,16	38,49	39,41	37,98	38,09
	36,80	35,885	37,44	35,59	37,05	36,03

## ANEXO B. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE SÓLIDOS SOLUBLES TOTALES

Cuadro 17. ANOVA para Sólidos Solubles Totales (°Brix)

Origen	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	,743 <sup>a</sup>	23	0,032	1,279	0,232
Intersección	1451,033	1	1451,033	57423,24	0
RECUBRIMIENTO	0,01	3	0,003	0,13	0,942
TIEMPO	0,459	5	0,092	3,632	0,007
RECUBRIMIENTO * TIEMPO	0,274	15	0,018	0,724	0,749
Error	1,213	48	0,025		
Total	1452,989	72			
Total corregida	1,956	71			

Cuadro 18. Prueba de homogeneidad de varianzas

F	gl1	gl2	Sig.
2,03	23	48	0,019

Cuadro 19. Prueba de comparaciones múltiples T3 de Dunnet respecto al factor Tiempo

TIEMPO	SUBCONJUNTOS
	1
DÍA 3	4,3875
DÍA 6	4,4104
DÍA 9	4,4833
DÍA 12	4,4958
DÍA 15	4,5271
PUNTO INICIAL	4,6313

### ANEXO C. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE FIRMEZA

Cuadro 20. ANOVA para firmeza

Origen	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	22,820 <sup>a</sup>	23	0,992	4,972	0
Intersección	1044,887	1	1044,887	5236,673	0
RECUBRIMIENTO	1,235	3	0,412	2,063	0,118
TIEMPO	19,265	5	3,853	19,31	0
RECUBRIMIENTO * TIEMPO	2,32	15	0,155	0,775	0,697
Error	9,578	48	0,2		
Total	1077,284	72			
Total corregida	32,397	71			

Cuadro 21. Prueba de homogeneidad de varianzas

F	gl1	gl2	Sig.
1,774	23	48	0,047

Cuadro 22. Prueba de comparaciones múltiples T3 de Dunnet para el factor Tiempo

TIEMPO	SUBCONJUNTOS		
	1	2	3
DÍA 15	2,8585		
DÍA 12		3,6748	
DÍA 9		3,7145	
DÍA 6		3,9555	
DÍA 3		4,0848	4,0848
PUNTO INICIAL			4,5689

## PRUEBAS NO PARAMÉTRICAS

### ANEXO D. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE pH

Cuadro 23. Prueba de Kruskal-Wallis para el factor Recubrimiento

	<b>PH</b>
<b>Chi-cuadrado</b>	1,899
<b>gl</b>	3
<b>Sig. asintót.</b>	0,594

Cuadro 24. Prueba de Kruskal-Wallis para el factor Tiempo

	<b>PH</b>
<b>Chi-cuadrado</b>	61,126
<b>gl</b>	5
<b>Sig. asintót.</b>	0

Cuadro 25. Prueba U de Mann Withney para el factor Tiempo

<b>TIEMPO</b>	<b>SUBCONJUNTOS</b>					
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
<b>Punto inicial</b>	5,1413					
<b>Día 3</b>		5,3271				
<b>Día 6</b>			5,3833			
<b>Día 9</b>				5,4375		
<b>Día 12</b>					5,6417	
<b>Día 15</b>						5,7083

## ANEXO E. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE ACIDEZ TITULABLE

Cuadro 26. Prueba de Kruskal Wallis para el factor Recubrimiento

	<b>AT</b>
<b>Chi-cuadrado</b>	1,363
<b>gl</b>	3
<b>Sig. asintót.</b>	0,714

Cuadro 27. Prueba de Kruskal Wallis para el factor Tiempo

	<b>AT</b>
<b>Chi-cuadrado</b>	62,704
<b>gl</b>	5
<b>Sig. asintót.</b>	0

Cuadro 28. Prueba de U Mann Withney para el factor Tiempo

<b>TIEMPO</b>	<b>SUBCONJUNTOS</b>				
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
<b>Día 9</b>	0,2177				
<b>Día 12</b>	0,23				
<b>Día 6</b>	0,2317				
<b>Día 12</b>	0,2508				
<b>Día 3</b>	0,2801				
<b>Punto inicial</b>	0,3535				

**PRUEBAS PARAMÉTRICAS DE MEDIDAS REPETIDAS PARA MUESTRAS  
RELACIONADAS**

**ANEXO F. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE PORCENTAJE (%) DE O<sub>2</sub>**

Cuadro 29. Prueba ANOVA de medidas repetidas para el factor Tiempo

Origen		Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
<b>TIEMPO</b>	Esfericidad asumida	34,094	5	6,819	1,796	0,136
	Greenhouse- Geisser	34,094	2,083	16,371	1,796	0,196
	Huynh-Feldt	34,094	3,885	8,775	1,796	0,156
	Límite- inferior	34,094	1	34,094	1,796	0,217
<b>TIEMPO * RECUBRIMIENTO</b>	Esfericidad asumida	29,99	15	1,999	0,527	0,91
	Greenhouse- Geisser	29,99	6,248	4,8	0,527	0,786
	Huynh-Feldt	29,99	11,656	2,573	0,527	0,877
	Límite- inferior	29,99	3	9,997	0,527	0,676
<b>Error(TIEMPO)</b>	Esfericidad asumida	151,826	40	3,796		
	Greenhouse- Geisser	151,826	16,661	9,113		
	Huynh-Feldt	151,826	31,082	4,885		
	Límite- inferior	151,826	8	18,978		

Cuadro 30. Prueba ANOVA de medidas repetidas para el factor Recubrimiento

Origen	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Intersección	13694,94	1	13694,94	566,73	0
<b>RECUBRIMIENTO</b>	33,068	3	11,023	0,456	0,72
Error	193,319	8	24,165		

Cuadro 31. Prueba de homogeneidad de varianzas para el factor Tiempo

	F	gl1	gl2	Sig.
<b>Punto Inicial</b>	1,067	3	8	0,416
<b>día 3</b>	0,639	3	8	0,611
<b>día 6</b>	2,831	3	8	0,106
<b>día 9</b>	1,292	3	8	0,342
<b>día 12</b>	1,866	3	8	0,214
<b>día 15</b>	1,609	3	8	0,262

Cuadro 32. Prueba de Tukey para porcentaje (%) de O<sub>2</sub> respecto a tipo de Recubrimiento

Tipo recubrimiento		N	Subconjunto
			1
<b>DHS de Tukey</b>	MC	3	12,7456
	ME	3	13,6706
	MT	3	14,2213
	MN	3	14,5289
	Sig.		0,706

## ANEXO G. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE PORCENTAJE (%) DE CO<sub>2</sub>

Cuadro 33. Prueba ANOVA de medidas repetidas para el factor Tiempo

Origen		Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
<b>TIEMPO</b>	Esfericidad asumida	48,764	5	9,753	3	0,022
	Greenhouse-Geisser	48,764	1,706	28,576	3	0,089
	Huynh-Feldt	48,764	2,936	16,609	3	0,052
	Límite-inferior	48,764	1	48,764	3	0,122
<b>TIEMPO * RECUBRIMIENTO</b>	Esfericidad asumida	17,365	15	1,158	0,356	0,983
	Greenhouse-Geisser	17,365	5,119	3,392	0,356	0,873
	Huynh-Feldt	17,365	8,808	1,972	0,356	0,943
	Límite-inferior	17,365	3	5,788	0,356	0,786
<b>Error(TIEMPO)</b>	Esfericidad asumida	130,042	40	3,251		
	Greenhouse-Geisser	130,042	13,652	9,526		
	Huynh-Feldt	130,042	23,488	5,537		
	Límite-inferior	130,042	8	16,255		

Cuadro 34. Prueba de homogeneidad de varianzas respecto a Tiempo

	<b>F</b>	<b>gl1</b>	<b>gl2</b>	<b>Sig.</b>
<b>PUNTO INICIAL</b>	3,965	3	8	0,053
<b>DÍA 3</b>	4,584	3	8	0,038
<b>DÍA 6</b>	3,494	3	8	0,07
<b>DÍA 9</b>	3,705	3	8	0,061
<b>DÍA 12</b>	1,437	3	8	0,302
<b>DÍA 15</b>	0,708	3	8	0,574

Cuadro 35. Prueba T3 de Dunnet para el factor Tiempo

<b>TIEMPO</b>	<b>SUBCONJUNTOS</b>
	1
<b>DÍA 3</b>	4,3028
<b>PUNTO INICIAL</b>	4,4767
<b>DÍA 6</b>	4,4906
<b>DÍA 9</b>	4,9144
<b>DÍA 12</b>	5,9839
<b>DÍA 15</b>	6,4611

Cuadro 36. Prueba ANOVA de medidas repetidas para el factor Recubrimiento

<b>Origen</b>	<b>Suma de cuadrados tipo III</b>	<b>gl</b>	<b>Media cuadrática</b>	<b>F</b>	<b>Sig.</b>
<b>Intersección</b>	1876,326	1	1876,326	84,127	0
<b>RECUBRIMIENTO</b>	4,796	3	1,599	0,072	0,973
<b>Error</b>	178,429	8	22,304		

Cuadro 37. Prueba de Tukey para el factor Recubrimiento

TIPO DE RECUBRIMIENTO		N	Subconjunto
			1
DHS de Tukey	MT	3	4,8189
	MC	3	5,0117
	MN	3	5,0665
	ME	3	5,5226
	Sig.		0,968

## ANEXO H. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE PORCENTAJE (%) DE PÉRDIDA DE PESO

Cuadro 38. ANOVA para el factor Tiempo

Origen		Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
<b>TIEMPO</b>	Esfericidad asumida	661,287	5	132,257	56,072	0
	Greenhouse-Geisser	661,287	1,248	530,088	56,072	0
	Huynh-Feldt	661,287	1,921	344,281	56,072	0
	Límite-inferior	661,287	1	661,287	56,072	0
<b>TIEMPO * RECUBRIMIENTO</b>	Esfericidad asumida	27,905	15	1,86	0,789	0,682
	Greenhouse-Geisser	27,905	3,743	7,456	0,789	0,551
	Huynh-Feldt	27,905	5,762	4,843	0,789	0,588
	Límite-inferior	27,905	3	9,302	0,789	0,533
<b>Error(TIEMPO)</b>	Esfericidad asumida	94,348	40	2,359		
	Greenhouse-Geisser	94,348	9,98	9,454		
	Huynh-Feldt	94,348	15,366	6,14		
	Límite-inferior	94,348	8	11,793		

Cuadro 39. Prueba de homogeneidad de varianzas para porcentaje (%) de pérdida de peso respecto al Tiempo

<b>F</b>	<b>gl1</b>	<b>gl2</b>	<b>Sig.</b>
3,301	5	66	0,01

Cuadro 40. Prueba T3 de Dunnet para porcentaje (%) de pérdida de peso respecto al Tiempo

<b>TIEMPO</b>	<b>SUBCONJUNTOS</b>			
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
<b>Punto inicial</b>	0			
<b>Día 3</b>	2,5058			
<b>Día 6</b>	4,6317		4,6317	
<b>Día 9</b>			5,8908	5,8908
<b>Día 12</b>			7,3808	7,3808
<b>Día 15</b>	9,1617			

Cuadro 41. ANOVA para el factor Recubrimiento

<b>Origen</b>	<b>Suma de cuadrados tipo III</b>	<b>gl</b>	<b>Media cuadrática</b>	<b>F</b>	<b>Sig.</b>
<b>Intersección</b>	1748,868	1	1748,868	47,188	0
<b>RECUBRIMIENTO</b>	35,439	3	11,813	0,319	0,812
<b>Error</b>	296,494	8	37,062		

Cuadro 42. Prueba de Tukey para el factor Recubrimiento

	<b>Tipo de recubrimiento</b>	<b>N</b>	<b>Subconjunto</b>
			<b>1</b>
<b>DHS de Tukey</b>	MN	3	3,8233
	MT	3	4,8389
	ME	3	5,4122
	MC	3	5,6394
	Sig.		0,808

## ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE COLOR

### ANEXO I. PARÁMETRO L.

Cuadro 43. ANOVA de medidas repetidas para el factor Tiempo

Origen		Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
<b>TIEMPO</b>	Esfericidad asumida	15,614	5	3,123	7,079	0
	Greenhouse-Geisser	15,614	3,371	4,631	7,079	0,001
	Huynh-Feldt	15,614	5	3,123	7,079	0
	Límite-inferior	15,614	1	15,614	7,079	0,029
<b>TIEMPO * RECUBRIMIENTO</b>	Esfericidad asumida	18,316	15	1,221	2,768	0,005
	Greenhouse-Geisser	18,316	10,114	1,811	2,768	0,017
	Huynh-Feldt	18,316	15	1,221	2,768	0,005
	Límite-inferior	18,316	3	6,105	2,768	0,111
<b>Error(TIEMPO)</b>	Esfericidad asumida	17,645	40	0,441		
	Greenhouse-Geisser	17,645	26,971	0,654		
	Huynh-Feldt	17,645	40	0,441		
	Límite-inferior	17,645	8	2,206		

Cuadro 44. Prueba de Tukey para el factor Tiempo

	TIEMPO	N	Subconjunto	
			1	2
<b>DHS de Tukey</b>	DÍA 15	12	35,9058	
	DÍA 6	12	36,0042	
	DÍA 3	12	36,1287	
	DÍA 9	12	36,1603	36,1603
	DÍA 12	12	36,3367	36,3367
	PUNTO INICIAL	12		37,3042
	Sig.			0,881

Cuadro 45. ANOVA de medidas repetidas para el factor Recubrimiento

Origen	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
<b>Intersección</b>	94908,41	1	94908,41	60296,8	0
<b>RECUBRIMIENTO</b>	12,442	3	4,147	2,635	0,122
<b>Error</b>	12,592	8	1,574		

Cuadro 46. Prueba Tukey para el parámetro L respecto a Recubrimiento

	Tipo de recubrimiento	N	Subconjunto
			1
<b>DHS de Tukey</b>	ME	3	35,6594
	MT	3	36,2428
	MC	3	36,5742
	MN	3	36,7502
	Sig.		0,116

Cuadro 47. ANOVA para Tratamiento, para el parámetro L

<b>Origen</b>	<b>Suma de cuadrados tipo III</b>	<b>gl</b>	<b>Media cuadrática</b>	<b>F</b>	<b>Sig.</b>
<b>Modelo corregido</b>	46,373 <sup>a</sup>	23	2,016	3,201	0
<b>Intersección</b>	94908,41	1	94908,41	150664,3	0
<b>TRATAMIENTO</b>	46,373	23	2,016	3,201	0
<b>Error</b>	30,237	48	0,63		
<b>Total</b>	94985,02	72			
<b>Total corregida</b>	76,61	71			

Cuadro 48. Prueba de homogeneidad de varianzas

<b>F</b>	<b>gl1</b>	<b>gl2</b>	<b>Sig.</b>
1,353	23	48	0,186

Cuadro 49. Prueba de Tukey para los tratamientos

	TRATAMIENTO	N	Subconjunto		
			1	2	3
DHS de Tukey	T2D3	3	34,9767		
	T2D15	3	35,17	35,17	
	T2D6	3	35,35	35,35	
	T1D3	3	35,5267	35,5267	
	T1D15	3	35,6167	35,6167	
	T2D9	3	35,7133	35,7133	
	T2PI	3	35,7933	35,7933	35,7933
	T4D6	3	35,83	35,83	35,83
	T3D15	3	35,8467	35,8467	35,8467
	T1D12	3	35,91	35,91	35,91
	T4D9	3	36,1769	36,1769	36,1769
	T4D12	3	36,18	36,18	36,18
	T1D6	3	36,1833	36,1833	36,1833
	T3D9	3	36,1842	36,1842	36,1842
	T3D12	3	36,3033	36,3033	36,3033
	T1D9	3	36,5667	36,5667	36,5667
	T3D6	3	36,6533	36,6533	36,6533
	T3D3	3	36,9375	36,9375	36,9375
	T2D12	3	36,9533	36,9533	36,9533
	T4D15	3	36,99	36,99	36,99
	T4D3	3	37,0742	37,0742	37,0742
	T3PI	3		37,52	37,52
	T1PI	3		37,6533	37,6533
	T4PI	3			38,25
Sig.			0,214	0,053	0,059

## ANEXO J. PARÁMETRO a\*

Cuadro 50. ANOVA de medidas repetidas para el factor Tiempo

Origen		Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
<b>TIEMPO</b>	Esfericidad asumida	9,119	5	1,824	4,07	0,004
	Greenhouse-Geisser	9,119	2,64	3,454	4,07	0,023
	Huynh-Feldt	9,119	5	1,824	4,07	0,004
	Límite-inferior	9,119	1	9,119	4,07	0,078
<b>TIEMPO * RECUBRIMIENTO</b>	Esfericidad asumida	13,11	15	0,874	1,95	0,047
	Greenhouse-Geisser	13,11	7,921	1,655	1,95	0,105
	Huynh-Feldt	13,11	15	0,874	1,95	0,047
	Límite-inferior	13,11	3	4,37	1,95	0,2
<b>Error(TIEMPO)</b>	Esfericidad asumida	17,926	40	0,448		
	Greenhouse-Geisser	17,926	21,124	0,849		
	Huynh-Feldt	17,926	40	0,448		
	Límite-inferior	17,926	8	2,241		

Cuadro 51. Prueba de homogeneidad de varianzas para el factor Tiempo

F	gl1	gl2	Sig.
2,933	5	66	,019

Cuadro 52. Prueba T3 de Dunnet para el factor Tiempo

TIEMPO	SUBCONJUNTOS
	1
<b>DÍA 15</b>	35,0483
<b>DÍA 12</b>	35,2692
<b>DÍA 9</b>	35,7038
<b>DÍA 6</b>	35,7817
<b>DÍA 3</b>	35,8535
<b>PUNTO INICIAL</b>	36,0917

Cuadro 53. ANOVA para tratamiento

Origen	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	30,434 <sup>a</sup>	23	1,323	1,543	0,102
Intersección	91376,52	1	91376,52	106571,7	0
TRATAMIENTO	30,434	23	1,323	1,543	0,102
Error	41,156	48	0,857		
Total	91448,11	72			
Total corregida	71,591	71			

Cuadro 54. Prueba de homogeneidad de varianzas

F	gl1	gl2	Sig.
2,188	23	48	0,011

Cuadro 55. ANOVA de medidas repetidas para el factor Recubrimiento

Origen	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Intersección	91376,522	1	91376,522	31468,648	,000
RECUBRIMIENTO	8,206	3	2,735	,942	,465
Error	23,230	8	2,904		

Cuadro 56. Prueba de Tukey para el factor Recubrimiento

	tipo de recubrimiento	N	Subconjunto
			1
DHS de Tukey	ME	3	35,1937
	MC	3	35,4143
	MT	3	35,8447
	MN	3	36,0460
	Sig.		,480

### ANEXO K. PARÁMETRO b\*

Cuadro 57. ANOVA de medidas repetidas para el factor Tiempo e interacción de los factores

Origen		Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
<b>TIEMPO</b>	Esfericidad asumida	37,812	5	7,562	6,969	,000
	Greenhouse-Geisser	37,812	3,203	11,805	6,969	,001
	Huynh-Feldt	37,812	5,000	7,562	6,969	,000
	Límite-inferior	37,812	1,000	37,812	6,969	,030
<b>TIEMPO * RECUBRIMIENTO</b>	Esfericidad asumida	21,029	15	1,402	1,292	,252
	Greenhouse-Geisser	21,029	9,609	2,188	1,292	,287
	Huynh-Feldt	21,029	15,000	1,402	1,292	,252
	Límite-inferior	21,029	3,000	7,010	1,292	,342
<b>Error(TIEMPO)</b>	Esfericidad asumida	43,405	40	1,085		
	Greenhouse-Geisser	43,405	25,624	1,694		
	Huynh-Feldt	43,405	40,000	1,085		
	Límite-inferior	43,405	8,000	5,426		

Cuadro 58. ANOVA de medidas repetidas para el factor Recubrimiento

Origen	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
<b>Intersección</b>	55543,195	1	55543,195	6222,520	,000
<b>RECUBRIMIENTO</b>	15,887	3	5,296	,593	,637
<b>Error</b>	71,409	8	8,926		

Cuadro 59. Prueba de Tukey respecto al Tiempo

	TIEMPO	N	Subconjunto	
			1	2
DHS de Tukey	DÍA 15	12	26,9117	
	DÍA 12	12	27,1025	
	DÍA 9	12	27,4331	27,4331
	DÍA 6	12	27,9000	27,9000
	DÍA 3	12	28,2708	28,2708
	PUNTO INICIAL	12		29,0300
	Sig.			,254

Cuadro 60. Prueba de Tukey para el factor Recubrimiento

	tipo de recubrimiento	N	Subconjunto
			1
DHS de Tukey	ME	3	26,9917
	MC	3	27,8478
	MT	3	28,0517
	MN	3	28,2076
	Sig.		,632

## ANEXO L. PARÁMETRO C

Cuadro 61. ANOVA de medidas repetidas para el factor Tiempo

Origen		Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
<b>TIEMPO</b>	Esfericidad asumida	36,718	5	7,344	5,919	,000
	Greenhouse-Geisser	36,718	2,895	12,684	5,919	,004
	Huynh-Feldt	36,718	5,000	7,344	5,919	,000
	Límite-inferior	36,718	1,000	36,718	5,919	,041
<b>TIEMPO * RECUBRIMIENTO</b>	Esfericidad asumida	31,984	15	2,132	1,719	,086
	Greenhouse-Geisser	31,984	8,685	3,683	1,719	,143
	Huynh-Feldt	31,984	15,000	2,132	1,719	,086
	Límite-inferior	31,984	3,000	10,661	1,719	,240
<b>Error(TIEMPO)</b>	Esfericidad asumida	49,624	40	1,241		
	Greenhouse-Geisser	49,624	23,159	2,143		
	Huynh-Feldt	49,624	40,000	1,241		
	Límite-inferior	49,624	8,000	6,203		

Cuadro 62. ANOVA de medidas repetidas para el factor Recubrimiento

Origen	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
<b>Intersección</b>	147076,883	1	147076,883	18958,557	,000
<b>RECUBRIMIENTO</b>	18,124	3	6,041	,779	,538
<b>Error</b>	62,062	8	7,758		

Cuadro 63. Prueba de Tukey para el factor Recubrimiento

	Tipo de recubrimiento	N	Subconjunto
			1
<b>DHS de Tukey</b>	ME	3	44,4508
	MC	3	45,0744
	MT	3	45,4588
	MN	3	45,8025
	Sig.		,503

Cuadro 64. ANOVA para el factor Tiempo

Origen	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
<b>Modelo corregido</b>	36,718 <sup>a</sup>	5	7,344	2,996	,017
<b>Intersección TIEMPO</b>	147076,883	1	147076,883	59996,498	,000
<b>Error</b>	161,794	66	2,451		
<b>Total</b>	147275,395	72			
<b>Total corregida</b>	198,512	71			

Cuadro 65. Prueba de homogeneidad de varianzas para el factor Tiempo

F	gl1	gl2	Sig.
,409	5	66	,841

Cuadro 66. Prueba de Tukey para Tiempo

	TIEMPO	N	Subconjunto	
			1	2
<b>DHS de Tukey</b>	DÍA 15	12	44,2050	
	DÍA 12	12	44,5042	44,5042
	DÍA 9	12	45,0556	45,0556
	DÍA 6	12	45,3842	45,3842
	DÍA 3	12	45,6983	45,6983
	PUNTO INICIAL	12		46,3325
	Sig.			,195

### ANEXO M. PARÁMETRO h°

Cuadro 67. ANOVA de medidas repetidas para Tiempo

Origen		Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
<b>TIEMPO</b>	Esfericidad asumida	15,768	5	3,154	4,957	,001
	Greenhouse-Geisser	15,768	2,381	6,623	4,957	,015
	Huynh-Feldt	15,768	4,728	3,335	4,957	,002
	Límite-inferior	15,768	1,000	15,768	4,957	,057
<b>TIEMPO * RECUBRIMIENTO</b>	Esfericidad asumida	5,744	15	,383	,602	,856
	Greenhouse-Geisser	5,744	7,142	,804	,602	,750
	Huynh-Feldt	5,744	14,183	,405	,602	,848
	Límite-inferior	5,744	3,000	1,915	,602	,632
<b>Error(TIEMPO)</b>	Esfericidad asumida	25,447	40	,636		
	Greenhouse-Geisser	25,447	19,045	1,336		
	Huynh-Feldt	25,447	37,822	,673		
	Límite-inferior	25,447	8,000	3,181		

Cuadro 68. ANOVA de medidas repetidas para el factor Recubrimiento

Origen	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
<b>Intersección</b>	103127,184	1	103127,184	15810,067	,000
<b>RECUBRIMIENTO</b>	5,123	3	1,708	,262	,851
<b>Error</b>	52,183	8	6,523		

Cuadro 69. ANOVA para el factor Tiempo

Origen	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
<b>Modelo corregido</b>	15,768 <sup>a</sup>	5	3,154	2,352	,050
<b>Intersección TIEMPO</b>	103127,184	1	103127,184	76910,473	,000
<b>Error</b>	88,498	66	1,341		
<b>Total</b>	103231,449	72			
<b>Total corregida</b>	104,265	71			

a. R cuadrado = ,151 (R cuadrado corregida = ,087)

Cuadro 70. Prueba de homogeneidad de varianzas para el factor Tiempo

F	gl1	gl2	Sig.
,257	5	66	,935

Cuadro 71. Prueba de Tukey para el factor Tiempo

	TIEMPO	N	Subconjunto 1
<b>DHS de Tukey</b>	DÍA 9	12	37,4247
	DÍA 12	12	37,4583
	DÍA 15	12	37,4942
	DÍA 6	12	37,8475
	DÍA 3	12	38,1173
	PUNTO INICIAL	12	38,7342
	Sig.		,075

Cuadro 72. Prueba de Tukey para el factor Recubrimiento

	tipo de recubrimiento	N	Subconjunto 1
<b>DHS de Tukey</b>	ME	3	37,4060
	MN	3	37,8811
	MT	3	37,9864
	MC	3	38,1107
	Sig.		,840