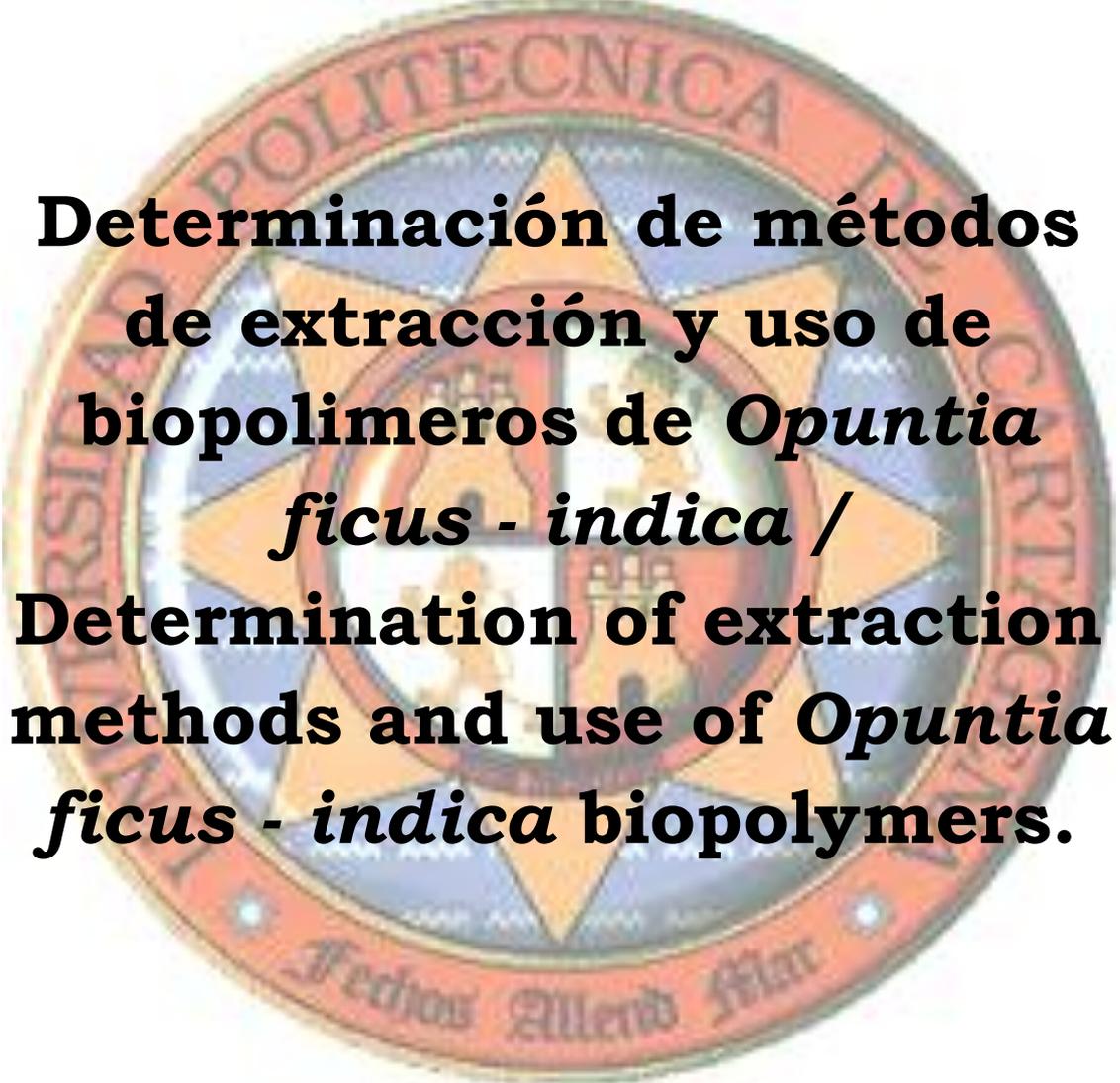


TRABAJO FIN DE MÁSTER



**Determinación de métodos
de extracción y uso de
biopolímeros de *Opuntia
ficus - indica* /
Determination of extraction
methods and use of *Opuntia
ficus - indica* biopolymers.**

Alumna: Luisa M^a Carrión López

Tutor universitario: Dr. Marcos Egea Gutierrez - Cortines

Cartagena, 30 de Septiembre de 2014

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA
MÁSTER EN TADAA
TRABAJO FIN DE MÁSTER

A mi familia, por hacer posible mi formación académica y por el apoyo recibido en todo momento. A Juan, por su paciencia, apoyo, y sus ideas brillantes. A Marcos Egea, mi director de proyecto por el apoyo brindado y la formación ofrecida a lo largo del curso, así como su aportación durante las horas de laboratorio. Agradezco también la ayuda y asesoramiento de Alberto Alcolea con los ensayos de termogravimetría.

Muchas gracias a todos.

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA
MÁSTER EN TADAA
TRABAJO FIN DE MÁSTER

INDICE

Resumen	4
Palabras clave	5
Abstract	6
Key words	7
INTRODUCCIÓN.....	8
MATERIALES Y MÉTODOS.....	11
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	18
CONCLUSIONES.....	24
REFERENCIAS.....	25
ANEXO	27

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA

MÁSTER EN TADAA

TRABAJO FIN DE MÁSTER

Resumen

El objetivo del presente proyecto es el dilucidar posibles usos industriales para la planta de *Opuntia ficus-indica*, conocida como higo chumbo. Se han elaborado dos trabajos paralelos basados en un análisis de literatura científica. Debido a la importancia de la regeneración de las Aguas Residuales (AR), cada vez hay más estudios dedicados a la optimización del proceso, ahorros energéticos, etc. Entre otros el uso de coagulantes/floculantes naturales. En este trabajo se estudia la extracción de mucilago de *Opuntia ficus-indica*, así como sus posibles usos, entre ellos, su uso como floculante/coagulante para la depuración de AR o como fuente de polisacáridos. Para su uso como coagulante se ha extraído el mucilago de *Opuntia* de diferentes formas: cladodio natural triturado con agua, cladodio deshidratado triturado, cladodio cocido, cladodio cocido prensado y cladodio natural prensado. Se mezcla con AR un volumen de mucilago entre 10 y 200 ml cada 500 ml de AR. Para su evaluación se ha empleado un Jar-test, cuyos parámetros de funcionamiento para todas las muestras fueron los siguientes: primero una agitación rápida a 150 rpm durante 3 min, seguido de una agitación lenta a 20 rpm durante 15 minutos. Para cuantificar el lodo generado se emplearon conos Imhoff. En ninguno de los supuestos estudiados se observa formación de flóculos o mejora en los valores de turbidez del AR. En el caso de los conos Imhoff se observa un aumento de sedimentación al emplear mucilago en polvo, ya que este no llega a disolverse con el AR y precipita.

El segundo estudio ha pretendido establecer un método de extracción de los biopolímeros de *Opuntia ficus-indica* para su posible uso en la industria. se ha llevado a cabo un estudio de los contenidos de polisacáridos del cladodio así como de diferentes métodos de extracción. Se ha realizado análisis termogravimétricos de muestras de: cladodio natural, cladodio prensado, cladodio prensado tras calentar durante 5 y 10 min, y de los extractos obtenidos en cada caso. Nuestras conclusiones son que a pesar de los estudios publicados sobre el posible uso de extractos de *O.ficus-indica* para

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA

MÁSTER EN TADAA

TRABAJO FIN DE MÁSTER

tratamiento de AR, un extracto sencillo no cumple los requisitos mínimos de efectividad. El método recomendado de extracción sería empleando una prensa, debido a su bajo coste, sencillez y eficacia. Una vez comprobado la mejor metodología de extracción, nos basamos en ella para estudiar otros posibles usos teniendo en cuenta que los principales componentes de la Opuntia son: agua, pectinas, hemicelulosa, celulosa y lignina. Dependiendo de qué componente se quiera aprovechar se aplicará calor o no, antes de prensar el cladodio. Por ejemplo, si nos centramos en la extracción de pectinas, no sería necesario aplicar calor ya que el contenido en pectinas del mucilago es inversamente proporcional a la temperatura aplicada. Sin embargo, el calentamiento mejora sustancialmente la extracción de hemicelulosa.

PALABRAS CLAVE: Agua residual (AR), floculación/coagulación, Opuntia, termogravimetría, pectinas, hemicelulosa, celulosa y lignina.

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA

MÁSTER EN TADAA

TRABAJO FIN DE MÁSTER

Abstract

The aim of the current project is to identify possible industrial uses of the prickly pear cactus *Opuntia ficus-indica*. We have developed two parallel works originally based on literature surveys. In last year's, more studies concerning regeneration Wastewater such as process optimization, energy savings, etc. has been developed since the subject is getting more importance. One of the main research fields is the use of natural coagulants / flocculants. In this work the extraction of *Opuntia ficus-indica* mucilage, and its possible uses is studied, including its use as flocculant / coagulant for the treatment of wastewater or as a source of polysaccharides. In order to use it as a coagulant, the mucilage of *Opuntia* has been extracted in different ways: natural cladode triturated with water, dried cladode shredded, cooked cladodes, cladode cooked pressed and pressed cladode. Wastewater has been mixed with between 10 and 200 ml of extracted mucilage per 500 ml/AR. For its evaluation, it has been employed a jar-test, whose operating parameters for all samples were the following: firstly, a rapid stirring at 150 rpm for 3 min, followed by a slow stirring at 20 rpm for 15 minutes. To quantify the generated sludge Imhoff cones were used. In none of the cases studied floc formation or improvement in the turbidity values of wastewater was observed. In the case of Imhoff cones it was observed an increase in the sedimentation when mucilage powder is used, because of the recipitation of powder, since it does not reach to dissolved with the wastewater. The second study was intended to establish a method of extraction of biopolymers from *Opuntia ficus-indica* in order to use it in the industry. It has been carried out a studio in cladode polysaccharide content as well as different methods of extraction. Thermogravimetric analysis was performed on samples: natural cladodes, cladode pressing, pressing cladode after heating for 5 and 10 min, and the extracts obtained in each case. Our conclusions are that despite published studies on the possible use of extracts *O.ficus-indica* for treatment of wastewater, a simple extract did not meet the minimum requirements which permit us to affirm its effectiveness. The preferred extraction method is to using a press, because of its low cost, simplicity and efficiency. After checking it and

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA
MÁSTER EN TADAA
TRABAJO FIN DE MÁSTER

conclude that this is the best extraction methodology, we rely on it to study other possible uses considering that the main components of *Opuntia* are water, pectin, hemicellulose, cellulose and lignin. Depending on which component is intended to use, heat would be applied or not to the cladode, before pressing it. For example if we focus on the mucilage of *Opuntia* as a source of pectin, it would not be necessary to apply heat as the quantity of mucilage pectin is inversely proportional to the applied temperature. However heat substantially improves hemicellulose extraction.

PALABRAS CLAVE: wastewater, flocculation/coagulation, *Opuntia*, thermogravimetry, pectin, hemicelluloses, cellulose and lignin.

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA

MÁSTER EN TADAA

TRABAJO FIN DE MÁSTER

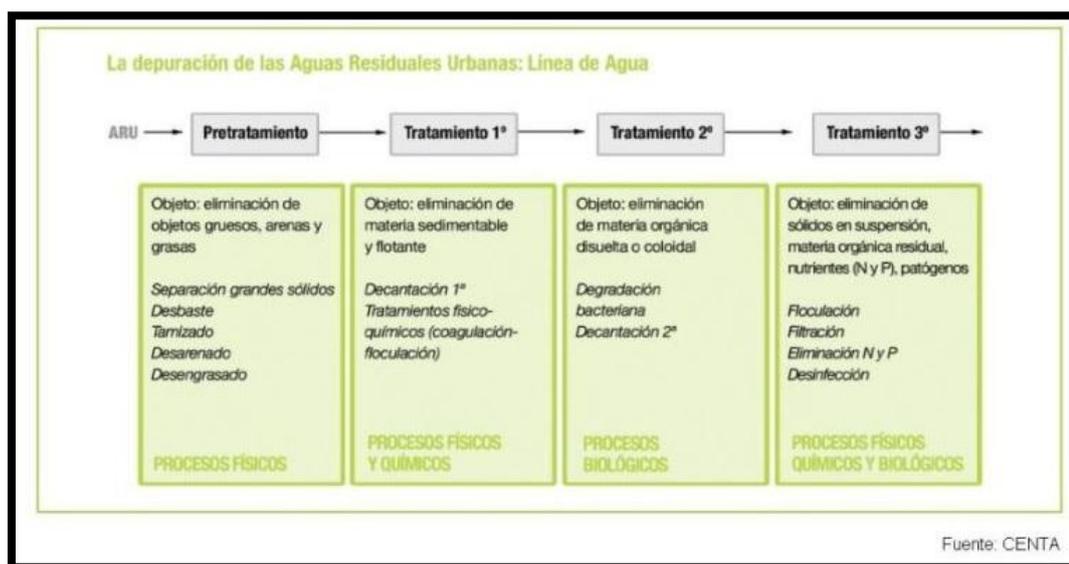
INTRODUCCIÓN

La generación de aguas residuales (AR) es una consecuencia inevitable de las actividades humanas. Estas actividades modifican las características de las aguas de partida, contaminándolas e invalidando su posterior aplicación para otros usos.

A efectos de la Ley de Aguas de 1985, se entiende por **contaminación**: *"la acción y el efecto de introducir materias o formas de energía, o introducir condiciones en el agua que, de modo directo o indirecto, impliquen una alteración perjudicial de su calidad en relación con los usos posteriores o con su función ecológica"*.

El vertido de AR sin depurar ocasiona daños al medio ambiente y riesgos para la salud humana, por lo que es preciso el tratamiento de estas aguas antes de su devolución al medio natural o su reutilización.

En el tratamiento de las AR éstas se someten a una serie de procesos físicos, químicos y biológicos, con objeto de reducir las concentraciones de los contaminantes presentes y poder verter los efluentes depurados cumpliendo la legislación vigente.



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA

MÁSTER EN TADAA

TRABAJO FIN DE MÁSTER

Debido a la importancia de la regeneración de las AR, cada vez hay más estudios dedicados a la optimización del proceso, ahorros energéticos, etc. Con el fin de eludir los problemas asociados con los métodos de purificación convencionales, los coagulantes/floculantes de origen vegetal son una alternativa en la remoción de contaminantes en el agua.

La coagulación es el método más importante para la remoción de partículas coloidales suspendidas del agua. El coagulante elimina estas partículas, por lo general cargadas negativamente, mediante iones cargados positivamente, de esta manera se produce la aglomeración mediante partículas de van der Waals, para posteriormente formar microfloculos y más tarde floculos que pueden sedimentarse fácilmente.

Entre los coagulantes naturales están los de origen orgánico que se encuentran en ciertas plantas. Son de diversos tipos, incluyen semillas en polvo del árbol *Moringa olifeira*, las habas, *Opuntia*, etc. (Okuda et al.,2001)

Opuntia es un género de plantas de la familia de las cactáceas que consta de más de 300 especies, todas originales del continente americano, y que habitan desde el norte de Estados Unidos hasta la Patagonia, donde crecen de forma silvestre. Fueron introducidas en Europa por los conquistadores y se naturalizaron fácilmente en la región mediterránea.

La *Opuntia* es fuente natural de polisacáridos, entre ellos se encuentran las pectinas, celulosa, hemicelulosa y mucilago (García Ruiz, M.T.). El mucilago procede de las degradaciones de celulosa, calosa y lignina.

El mucilago extraído de los cladodios de *Opuntia* contiene básicamente ácido poligalacturónico (muy similar a la estructura de las pectinas), más residuos de algunos azúcares, como D-galactosa, D-xilosa, L-arabinosa y D-ácido galacturónico (McGarvie and Parlis, 1979).

Actualmente, las principales fuentes de pectinas comercialmente aceptables son manzanas y cítricos (Francisco M. Goycoolea and Adriana Cárdenas,

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA

MÁSTER EN TADAA

TRABAJO FIN DE MÁSTER

2003). Las pectinas son ingredientes muy importantes en la industria de los alimentos para hacer gelatinas, helados, salsas, queso, etc. También se emplean en otras industrias como la farmacéutica, que requieren modificar la viscosidad de sus productos, y en la industria de los plásticos así como en la fabricación de productos espumantes (Gómez, 1998).

La hemicelulosa recubre la superficie de las fibras de celulosa y permitiendo el enlace de pectina.

La celulosa constituye la materia prima del papel y de los tejidos de fibras naturales. También se utiliza en la fabricación de explosivos (el más conocido es la nitrocelulosa o "pólvora para armas"), celuloide, seda artificial, barnices y se utiliza como aislamiento térmico y acústico, como producto derivado del papel reciclado triturado.

Las ligninas son polímeros insolubles en ácidos y solubles en álcalis fuertes como el hidróxido de sodio, que no se digieren ni se absorben y tampoco son atacados por la microflora del colon. Pueden ligarse a los ácidos biliares y otros compuestos orgánicos (por ejemplo, colesterol), retrasando o disminuyendo la absorción en el intestino delgado de dichos componentes. Sólo existen dos tipos de lignina comercialmente disponibles: las ligninas sulfonadas y las kraft ligninas (Villanueva R. 2012).

Todos estos componentes y sus funciones hacen muy interesante el uso de la *Opuntia* como fuente de polisacáridos. El objetivo del presente proyecto es el dilucidar posibles usos industriales para la planta de *Opuntia*, conocida como higo chumbo. Se han elaborado dos trabajos paralelos basados en un análisis de literatura científica. En primer lugar se estudiar su uso como floculante/coagulante para la depuración de AR y en segundo lugar como fuente de polisacáridos.

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA

MÁSTER EN TADAA

TRABAJO FIN DE MÁSTER

MATERIALES Y MÉTODOS

Para evaluar el uso del extracto de *Opuntia* como floculante para la depuración de AR se ha empleado un Jar-test. Este ensayo consiste en la adición de dosis crecientes de coagulante y/o floculante a una serie de porciones del agua a ensayar, determinando después de un período de agitación adecuado, las características del coágulo y algunas propiedades físicas y químicas en las porciones tratadas, que permiten establecer las dosis óptimas de coagulante y/o floculante que deben añadirse al agua para su tratamiento (Figura 2).

El AR empleada en este estudio procede de la Estación de Bombeo de Aguas Residuales (EBAR) “Barrio Peral”, éste bombeo impulsa el AR de Cartagena hacia la Estación Depuradora de Aguas Residuales (EDAR) “Cabezo Beaza”.

Tras el Jar-test, para cuantificar el lodo se midieron los sólidos sedimentables (SSed.) para lo que se emplearon conos de sedimentación Imhoff (Figura 1). También se midieron valores de pH, conductividad eléctrica (CE) y se valoró visualmente la formación de flóculos.



Figura 2. Equipo Jar - test



Figura 1. Conos Imhoff

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA

MÁSTER EN TADAA

TRABAJO FIN DE MÁSTER

Tras consultar varios artículos técnicos de extracción de mucilago de *Opuntia* hemos procedido a extraerlo de las siguientes formas (Torres Bustillos, 2013; Sepulveda et al. 2004):

- I. Cladodio natural triturado con agua: se corta el cladodio a cuadraditos, se mezcla con agua en una relación 1:1 y se tritura, para lo que se emplea una ultraturrax, luego se centrifuga en una centrifuga Beckman.



Figura 4. Cladodio crudo cortado



Figura 3. Cladodio mezclado con agua triturado y centrifugado

- II. Cladodio calentado en el microondas: se procede como en el apartado anterior pero esta vez, en vez de triturar el cladodio, se mete al microondas durante 20 min. En este caso el aspecto del mucilago es como una baba de caracol.
- III. Cladodio triturado previamente calentado en el microondas: se procede como en el primer caso, esta vez antes de triturar el cladodio se mete en el microondas durante 20 min.
- IV. Cladodio deshidratado triturado: se corta el cladodio a cuadraditos, se deja en el horno a 65 °C durante 48 h, como aún está un poco húmedo se aplica nitrógeno líquido para facilitar su triturado. Se tritura empleando una ultraturrax.

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA

MÁSTER EN TADAA

TRABAJO FIN DE MÁSTER



Figura 5. Cladodio en polvo

- V. Cladodio cocido: se cuece 1,8 kg de cladodio en 2 L de agua, se desecha el residuo sólido y nos quedamos con el líquido.



Figura 6. Cladodio cocido

- VI. Cladodio cocido prensado: se cuecen 2 kg de cladodio en 2 L de agua, se desecha el agua y se prensa el residuo sólido con una prensa manual sencilla.



Figura 7. Prensa manual

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA

MÁSTER EN TADAA

TRABAJO FIN DE MÁSTER

- VII. Cladodio natural prensado: se corta el cladodio a taquitos tal y como se muestra en la Figura 4 y se prensa. Se miden sólidos totales (ST) de este mucilago.

Una vez se prepara la muestra de mucilago, éste se mezcla con 500 ml de AR. Para cada tipo de mucilago se aplican diferentes cantidades al AR. A continuación se muestra una tabla resumen de los ensayos realizados y parámetros medidos (Tabla 1).

Tabla 1. Ensayos realizados y parámetros medidos

Tipo mucilago	Cantidad	Unidades	Parámetros medidos
I	10	ml	formación de flóculos*, Ssed., pH, CE
	20	ml	
	30	ml	
II	23	ml	formación floculos*, Ssed., turbidez
	57	ml	
III	88	ml	
	40	ml	
IV	6	gr	
	500	mg	
	150	mg	
	50	mg	
	150**	mg	
V	130	ml	
VI***	25	ml	
	50	ml	
	100	ml	
VII	120	ml	
* mediante observación macroscópica			
** disueltos en 25 ml de agua			
*** a este mucilago también se le calculan contenido en ST			

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA

MÁSTER EN TADAA

TRABAJO FIN DE MÁSTER

Los parámetros de funcionamiento con el Jar-test para todas las muestras fueron los siguientes: primero una agitación rápida a 150 rpm durante 3 min para mezclar el AR con el mucilago, a continuación se realizaba una agitación lenta a 20 rpm durante 15 minutos para favorecer la formación de flóculos. Una vez finalizado el Jar-test se pasaba la solución a los conos Imhoff para medir los sólidos sedimentables.

Para estudiar el uso de Opuntia como fuente de polisacáridos se han realizado ensayos de termogravimetría (TG). La TG es la técnica en que se mide el peso de una muestra frente al tiempo o a la temperatura mientras se somete la muestra a un programa de temperatura controlado en una atmósfera específica. Y permite identificar los productos desprendidos a partir de los porcentajes de pérdida

(http://www.upct.es/~minaeees/analisis_termogravimetrico.pdf).

En este trabajo se ha empleado un analizador modelo TGA/DSC 1 HT de Mettler – Toledo. El programa de temperatura empleado en estos ensayos tiene dos segmentos, en el primero se calienta desde 30 hasta 900 °C a una velocidad de 10 °C/min, mientras que en el segundo se mantiene a 900 °C durante 30 min, todo en una atmósfera de N₂ de 50 mL/min de caudal.



Figura 8. Analizador TG modelo TGA/DSC 1 HT de Mattler - Toledo

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA

MÁSTER EN TADAA

TRABAJO FIN DE MÁSTER

Para la realización de los ensayos, el cladodio se ha preparado de 4 formas distintas, para la obtención del mucilago se ha usado una prensa manual sencilla (Figura 7).

Una vez se prensa el cladodio, tenemos por un lado el residuo sólido y por otro el extracto líquido (Figura 9). Y como control usamos el cladodio natural, el cual no ha sido prensado. Antes de realizar el análisis TG es necesario desecar la muestra (Figura 10). De cada muestra se han realizado 3 repeticiones.

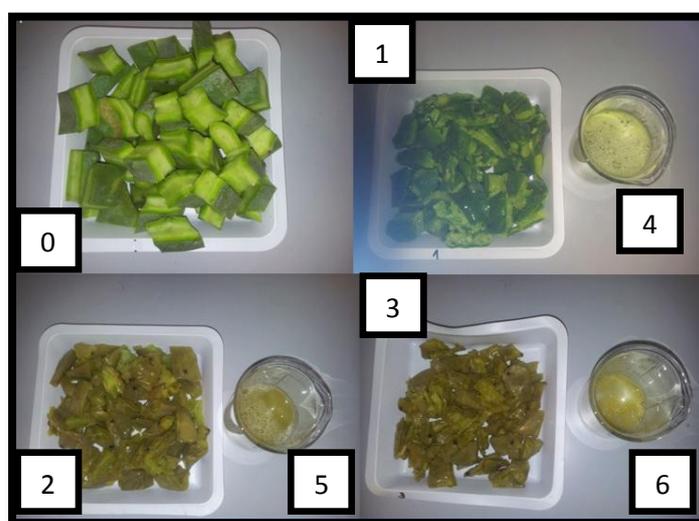


Figura 9. Muestras preparadas



Figura 10. Muestras deshidratadas

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA

MÁSTER EN TADAA

TRABAJO FIN DE MÁSTER

A continuación se muestra una tabla resumen de los ensayos realizados (

Tabla 2).

Tabla 2. Ensayos de (TG) realizados

Muestras preparadas	Parte	nº muestra	Nº repeticiones
Cladodio natural*	sólido	01, 02 y 03	3
Cladodio natural prensado**	sólido	11, 12 y 13	3
	mucilago extraído	41, 42 y 43	3
Cladodio prensado calentado 5 min***	sólido	21, 22 y 23	3
	mucilago extraído	51, 52 y 53	3
Cladodio prensado calentado durante 10 min***	sólido	31, 32 y 33	3
	mucilago extraído	61, 62 y 63	3
<p>* Cladodio natural: se trocea el cladodio en cuadraditos</p> <p>** Cladodio natural prensado: el cladodio troceado en cuadraditos se prensa empleando una prensa manual sencilla y se analiza por separado el residuo sólido y el extracto líquido (mucilago)</p> <p>*** Cladodio prensado calentado 5 min y 10 min: el cladodio cortado en cuadraditos se calienta en el microondas durante 5 min y 10 min respectivamente, y posteriormente se prensa manualmente</p>			

Para la evaluación de las curvas termogravimétricas se sigue el siguiente patrón de degradación de los componentes de la *Opuntia*: agua, pectinas, hemicelulosa, celulosa y lignina.

Tras consultar diferentes estudios se concluye que la hemicelulosa se degrada en dos pasos, lo que se tiene en cuenta a la hora de analizar las curvas obtenidas en los ensayos de termogravimetría (Anexo).

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA
MÁSTER EN TADAA
TRABAJO FIN DE MÁSTER

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

USO DE OPUNTIA PARA TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

En la Tabla 3 se muestran los valores de turbidez medidos en el AR antes y después de adicionar el mucilago de *Opuntia*. Como se puede comprobar en ningún caso mejora los valores de turbidez. Además tampoco se observa formación de flóculos, ni mejora la decantación del fango.

Tras no observar cambios en los resultados de pH y CE del AR obtenidos antes y después de la adición del mucilago en los primeros ensayos, se decide que no son parámetros influyentes, por lo que no se miden en los ensayos posteriores. Lo realmente interesante era la formación de flóculos, y por ende el aumento de la sedimentabilidad del fango, cosa que no ocurre en ninguno de los ensayos realizados (Tabla 3).

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA MÁSTER EN TADIAA

TRABAJO FIN DE MÁSTER

Tabla 3. Resultados obtenidos

Tipo mucilago	Cantidad	Unidades	PARÁMETRO						
			pH antes	pH después	CE (mS/cm) antes	CE (mS/cm) después	Turbidez (NTU)	SSed. (ml/l)	formación de flóculos
I	control		7,97	7,79	1625	1626	348	10	Ausencia
	10	ml	7,98	7,71	1621	1630	349	6	Ausencia
	20	ml	8	7,9	1622	1631	345	8	Ausencia
	30	ml	7,99	7,89	1623	1630	350	15	Ausencia
II	control		no se miden datos de pH y CE				200	8	Ausencia
	23	ml					183	7,5	Ausencia
	57	ml					184	8	Ausencia
III	control						271	1	Ausencia
	88	ml					286	2	Ausencia
	40	ml					245	1	Ausencia
IV	control						347	13	Ausencia
	6	gr					348	46	Ausencia
	500	mg					350	11	Ausencia
	150	mg					347	10	Ausencia
	50	mg					348	9	Ausencia
	150	mg					348	8	Ausencia
V	control						347	13	Ausencia
	150	ml					330	14	Ausencia
VI	control						347	13	Ausencia
	25	ml					386	14,5	Ausencia
	50	ml					370	15	Ausencia
	100	ml					397	18	Ausencia
VII	control						349	8	Ausencia
	120	ml	351	15	Ausencia				

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA

MÁSTER EN TADAA

TRABAJO FIN DE MÁSTER

En la siguiente tabla se muestran los resultados de ST del mucilago:

Tabla 4. Datos Sólidos Totales en muestras de mucilago obtenido por cocción y posterior prensado

Muestra	ST (% M.S.)
1	3,38
2	3,39

EXTRACCIÓN DE POLÍMEROS DE CLADODIO DE OPUNTIA Y ANÁLISIS POR TERMOGRAVIMETRÍA

En el ANEXO se pueden consultar las curvas analizadas, a partir de las cuales se ha identificado y cuantificado la presencia de cada componente de la *Opuntia*. En las curvas termogravimetricas se presenta el peso (en %) en el eje y frente al tiempo en el eje x

En la Tabla 5, Tabla 6 y Tabla 7 se muestran los contenidos medios de los componentes de Opuntia de cada muestra. Obtenidos a partir de las curvas termogravimetricas.

Tabla 5. Contenido de cada componente en el prensado y extracto natural comparado con el cladodio natural.

TIPO PRENSADO	COMPONENTE				
	AGUA	PECTINAS	HEMICELULOSA	CELULOSA	LIGNINA
CLADODIO NATURAL	11,7106	21,6578	28,2834	6,7636	12,9970
PRENSADO NATURAL	10,9608	23,8560	26,7653	7,8017	9,0150
EXTRACTO NATURAL	9,6987	24,1713	17,5618	12,0474	16,0976

Tabla 6. Contenido de cada componente en el prensado y extracto tras calentar 5 min comparado con el cladodio natural.

TIPO PRENSADO	COMPONENTE				
	AGUA	PECTINAS	HEMICELULOSA	CELULOSA	LIGNINA
CLADODIO NATURAL	11,7106	21,6578	28,2834	6,7636	12,9970
PRENSADO CALOR 5 MIN	8,8804	24,8463	29,4949	7,0030	9,5003
EXTRACTO CALOR 5 MIN	9,5847	18,7315	21,9632	16,2386	12,9842

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA

MÁSTER EN TADAA

TRABAJO FIN DE MÁSTER

Tabla 7. Contenido de cada componente en el prensado y extracto tras calentar 10 min comparado con el cladodio natural.

TIPO PRENSADO	COMPONENTE				
	AGUA	PECTINAS	HEMICELULOSA	CELULOSA	LIGNINA
CLADODIO NATURAL	11,7106	21,6578	28,2834	6,7636	12,9970
PRENSADO CALOR 10 MIN	9,6085	27,4346	25,8315	6,8413	6,2929
EXTRACTO CALOR 10 MIN	7,5483	8,9539	35,7004	12,3991	15,9019

A continuación se muestra en gráficos la pérdida de cada componente en %, para cada muestra ensayada.

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA

MÁSTER EN TADAA

TRABAJO FIN DE MÁSTER

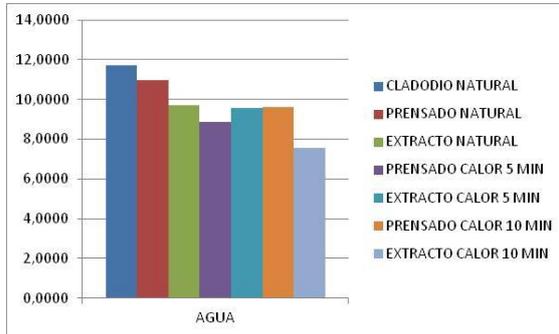


Gráfico 1. Pérdida de agua (%) en cada muestra

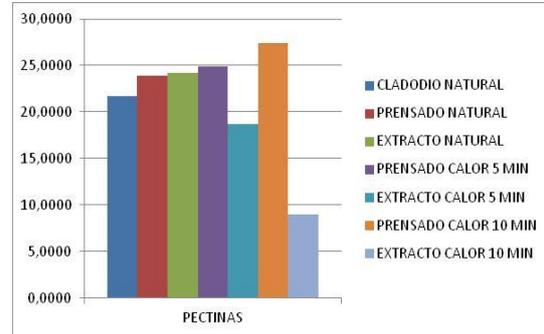


Gráfico 1. Pérdida de pectinas (%) en cada muestra

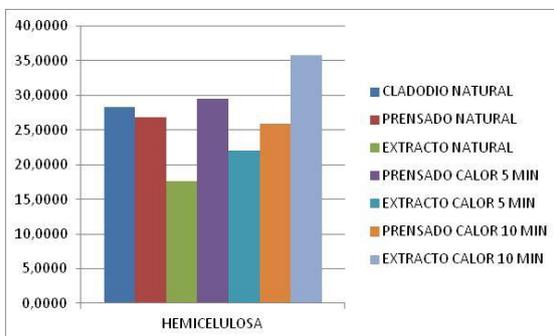


Gráfico 2. Pérdida de hemicelulosa (%) en cada muestra

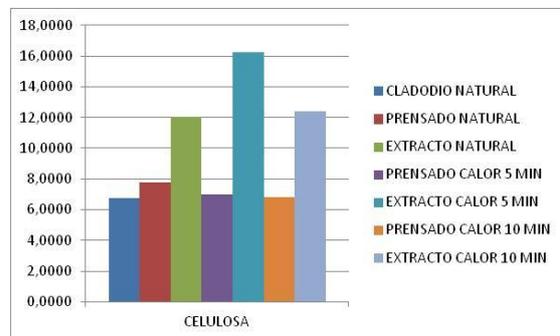


Gráfico 3. Pérdida de celulosa (%) en cada muestra

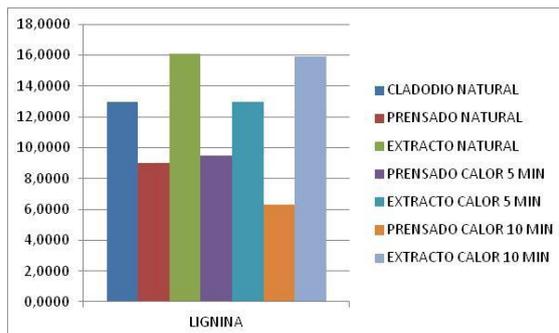


Gráfico 5. Pérdida de lignina (%) en cada muestra

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA
MÁSTER EN TADAA
TRABAJO FIN DE MÁSTER

Tal y como se observa en el Gráfico 1 el contenido en agua disminuye en todas las muestras con respecto al cladodio natural que se toma como referencia. Observándose una menor pérdida, y por ende, menor contenido de agua en el mucilago al calentar el cladodio durante 10 min. Por el contrario, se observa que el mayor contenido de pectinas (Gráfico 1) se encuentra en el residuo sólido del cladodio cuando aplicamos calor y no en el mucilago. En cuanto al contenido en hemicelulosa (Gráfico 2) hay mayor contenido de la misma en el extracto al aplicar calor. En el caso de la celulosa (Gráfico 4), alcanza su máximo contenido en el mucilago cuando calentamos durante 5 min el cladodio antes de prensarlo. Mientras que obtenemos el máximo contenido en lignina (Gráfico 5) en el mucilago al calentar durante 10 min.

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA

MÁSTER EN TADAA

TRABAJO FIN DE MÁSTER

CONCLUSIONES

No se observa formación de flóculos en ninguno de los ensayos realizados, esto puede ser debido a que sea necesaria una mayor concentración de mucilago que no se ha logrado alcanzar o que el mucilago de opuntia no tiene esa propiedad coagulante/floculante que se pretendía evaluar.

Por lo que se concluye que a pesar de los estudios publicados sobre el posible uso de extractos de *O.ficus-indica* para tratamiento de AR, un extracto sencillo no cumple los requisitos mínimos de efectividad.

La mejor forma de obtener el mucilago de *Opuntia* es empleando una prensa, por su sencillez y eficacia. Como se observa en los resultados obtenidos si aplicamos calor reducimos su contenido en agua en todos los casos, y la presencia de los demás componentes en el mucilago aumenta o disminuye. Con lo que concluimos que dependiendo del componente que queramos aprovechar del mucilago aplicaremos o no calor al cladodio antes de prensarlo.

Por ejemplo, si queremos extraer pectinas, no sería necesario calentar el cladodio, ya que el contenido en pectinas del mucilago es inversamente proporcional al aumento de la temperatura del cladodio.

Una de las líneas de investigaciones futuras que se propone sería estudiar los diferentes componentes de la *Opuntia* extraídos mediante prensado en función del grado de madurez de la misma.

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA

MÁSTER EN TADAA

TRABAJO FIN DE MÁSTER

REFERENCIAS

E. Sepúlveda, C. Sáenz, E. Aliaga, C. Aceituno. "Extraction and characterization of mucilage in *Opuntia* spp." 2007. *Journal of Arid Environments* 68 534-545.

Gómez Z., Juan F. (1998). Factibilidad Técnica del Aislamiento y la Caracterización de Pectina Cítrica para el Sector Agroindustrial. (Trabajo de Grado). Medellín: Corporación Universitaria Lasallista, Facultad de Administración.

Luis Gilberto Torres Bustillos. "Production and characterization of *Opuntia ficus-indica* mucilage and its use as coagulant-flocculant aid for industrial wastewaters". March 2013. *International Journal of Biotechnology Research* Vol. 1(2).

Mayra Teresa García Ruiz. "Procesos fisiológicos y contenido de polisacáridos estructurales en nopalito (*Opuntia* spp) y su modificación por el potencial de agua del suelo". Tesis doctoral. Instituto de Enseñanza e Investigación en Ciencias Agrícolas.

Okunda T, Baes A, Nishijima W, Okanda M. "Isolation and Characterization of coagulant Extracted from *Moringa Oleifera* Seed by Salt solution" *Wat.* 2001. Res. Vol. 35, N° 2, pp. 405-410.

Villanueva Flores, R. "Compuestos importantes para la salud encontrados en los cereales enteros". Universidad de Lima. *Ingeniería Industrial*, núm. 30, 2012, pp. 209-224

Yoselin Parra, Marieli Cedeño, María García, Iván Mendoza, Yoalis González y Lorena Fuentes. "Clarificación de aguas de alta turbidez empleando el mucilago

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA
MÁSTER EN TADAA
TRABAJO FIN DE MÁSTER

de Opuntia Wetiana (Britton&Rose)/(Cactaceae). 2011. REDIELUZ ISSN 2244-7334 Vol. 1, Nº 1, pp. 27-33

<http://es.wikipedia.org> 21 Abril 2014

<http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/> - Accedido 2 de junio de 2014

<http://www.cdaguas.com> - Accedido 2 de Junio de 2014

http://www.upct.es/~minaees/analisis_termogravimetrico.pdf - Accedido mayo 2014

ANEXO

CURVAS TERMOGRAVIMETRÍA

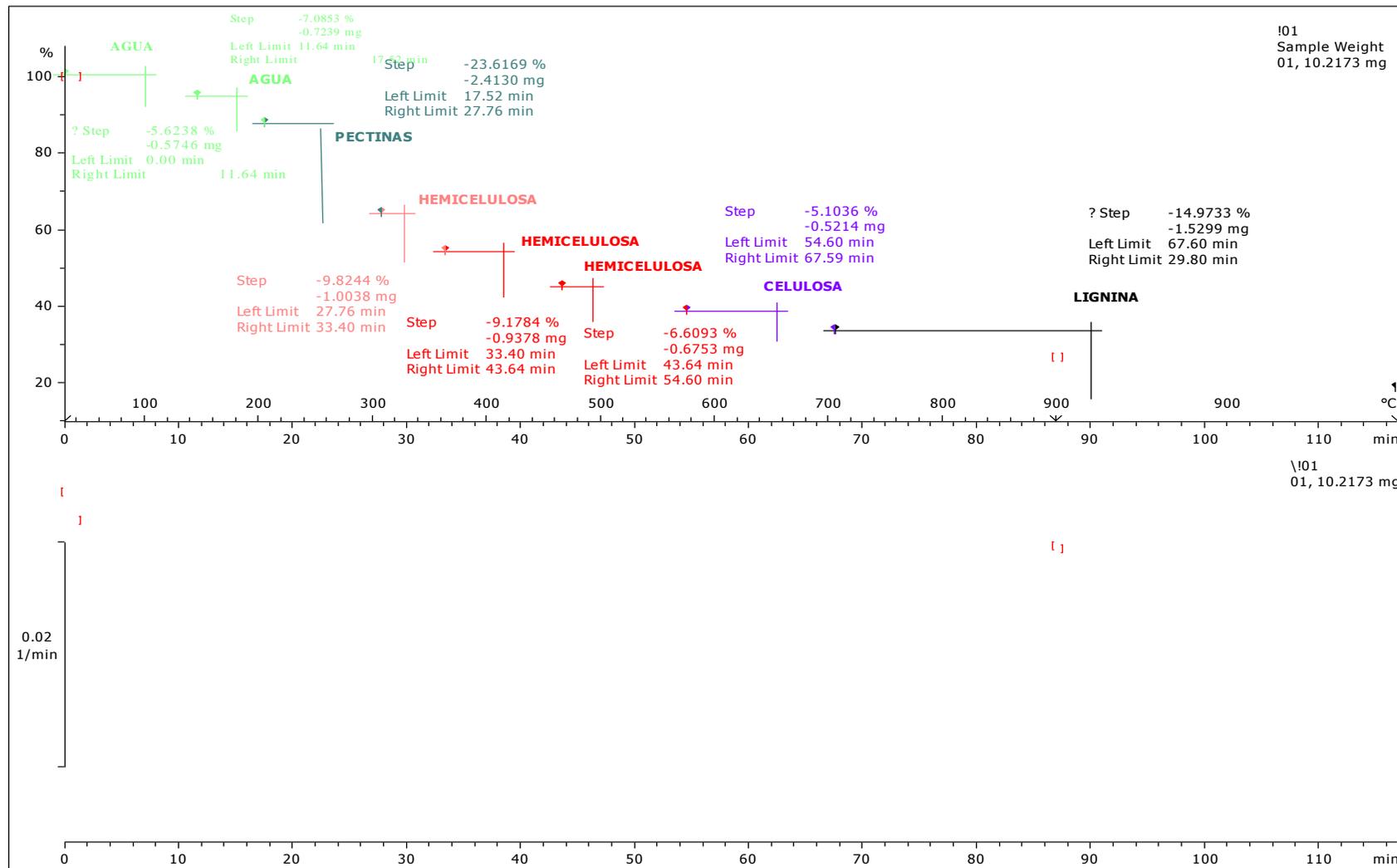
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA MÁSTER EN TADIAA

TRABAJO FIN DE MÁSTER

^exo

CLADODIO NATURAL 01

15.05.2014 16:51:08



Lab: SAIT

STAR[®] SW 10.00

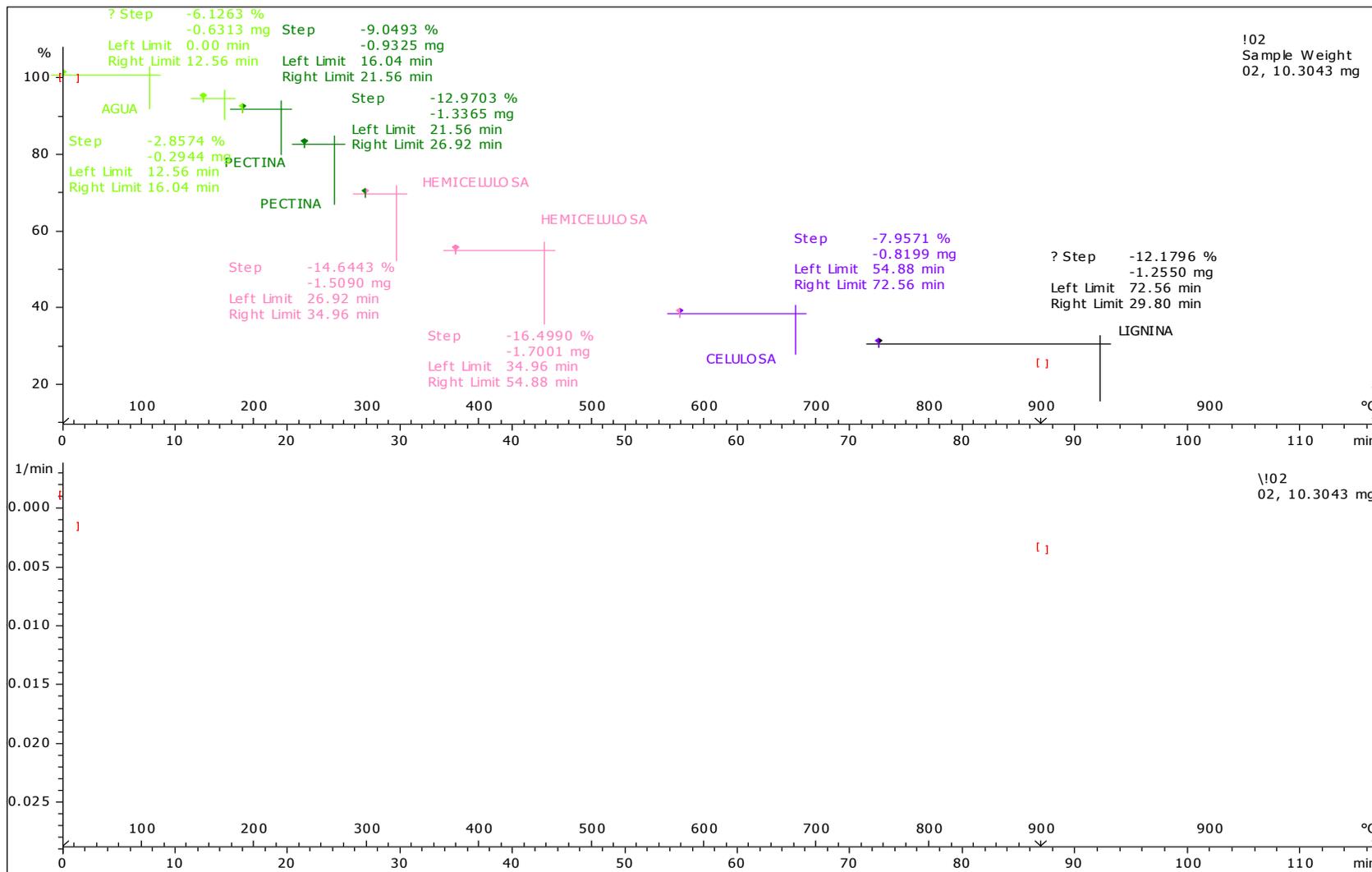
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA MÁSTER EN TADIAA

TRABAJO FIN DE MÁSTER

^exo

CLADODIO NATURAL 02

04.07.2014 13:18:52

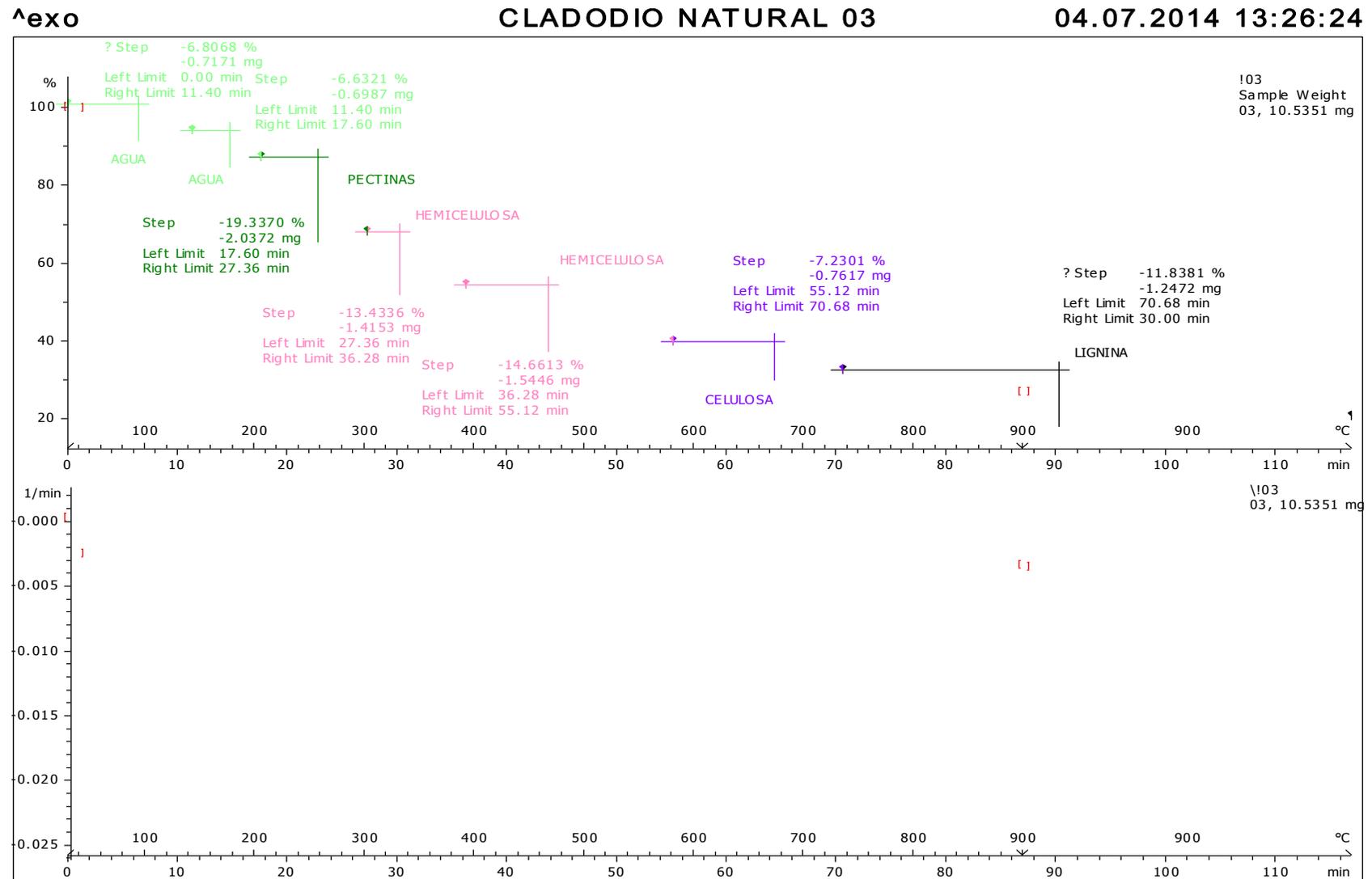


Lab: SAIT

STAR[®] SW 10.00

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA MÁSTER EN TADIAA

TRABAJO FIN DE MÁSTER



Lab: SAIT

STAR[®] SW 10.00

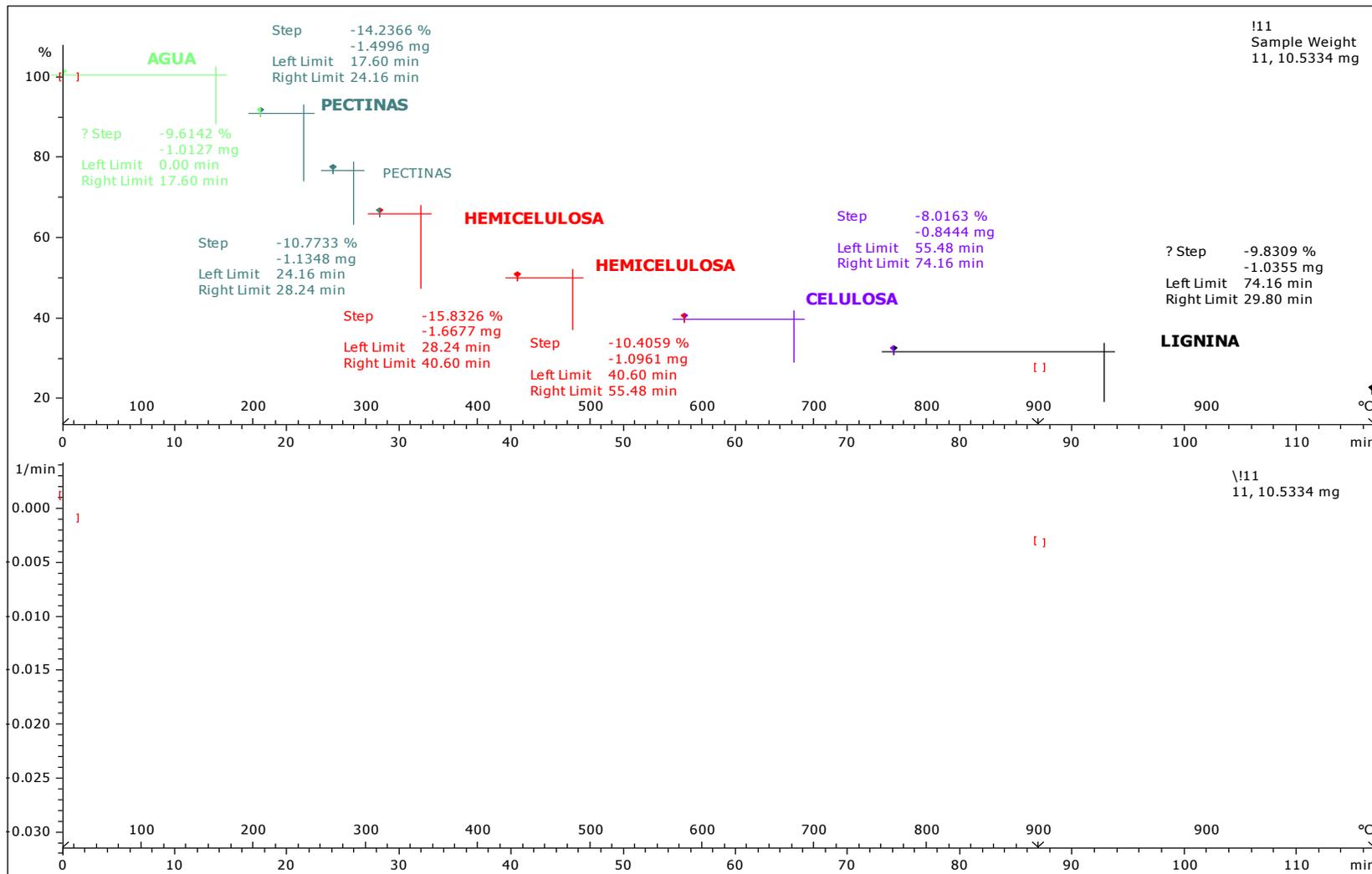
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA MÁSTER EN TADIAA

TRABAJO FIN DE MÁSTER

^exo

PRENSADO NATURAL 11

15.05.2014 17:10:38



Lab: SAIT

STAR[®] SW 10.00

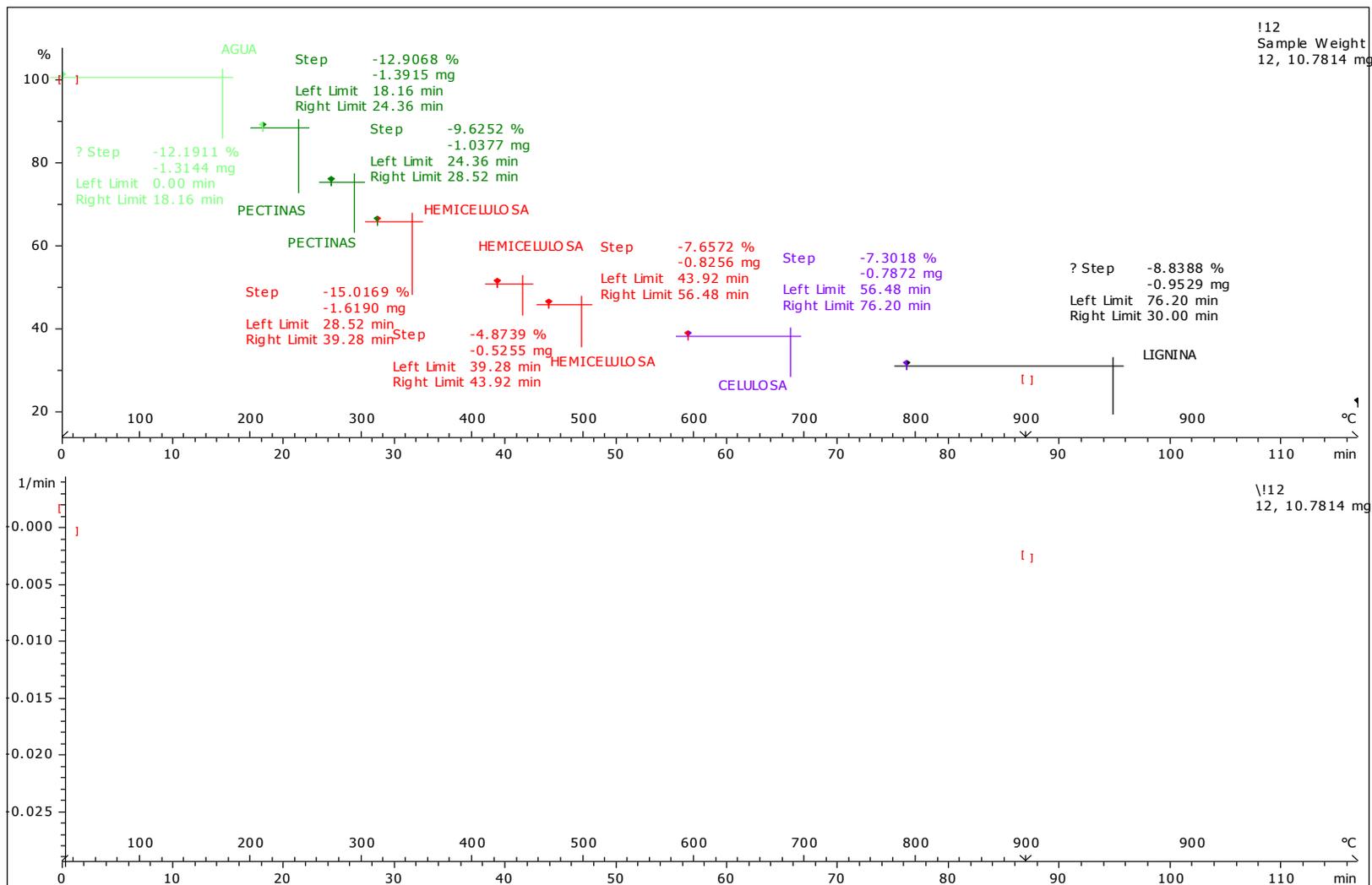
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA MÁSTER EN TADIAA

TRABAJO FIN DE MÁSTER

^exo

PRENSADO NATURAL 12

04.07.2014 13:36:04



Lab: SAIT

STAR[®] SW 10.00

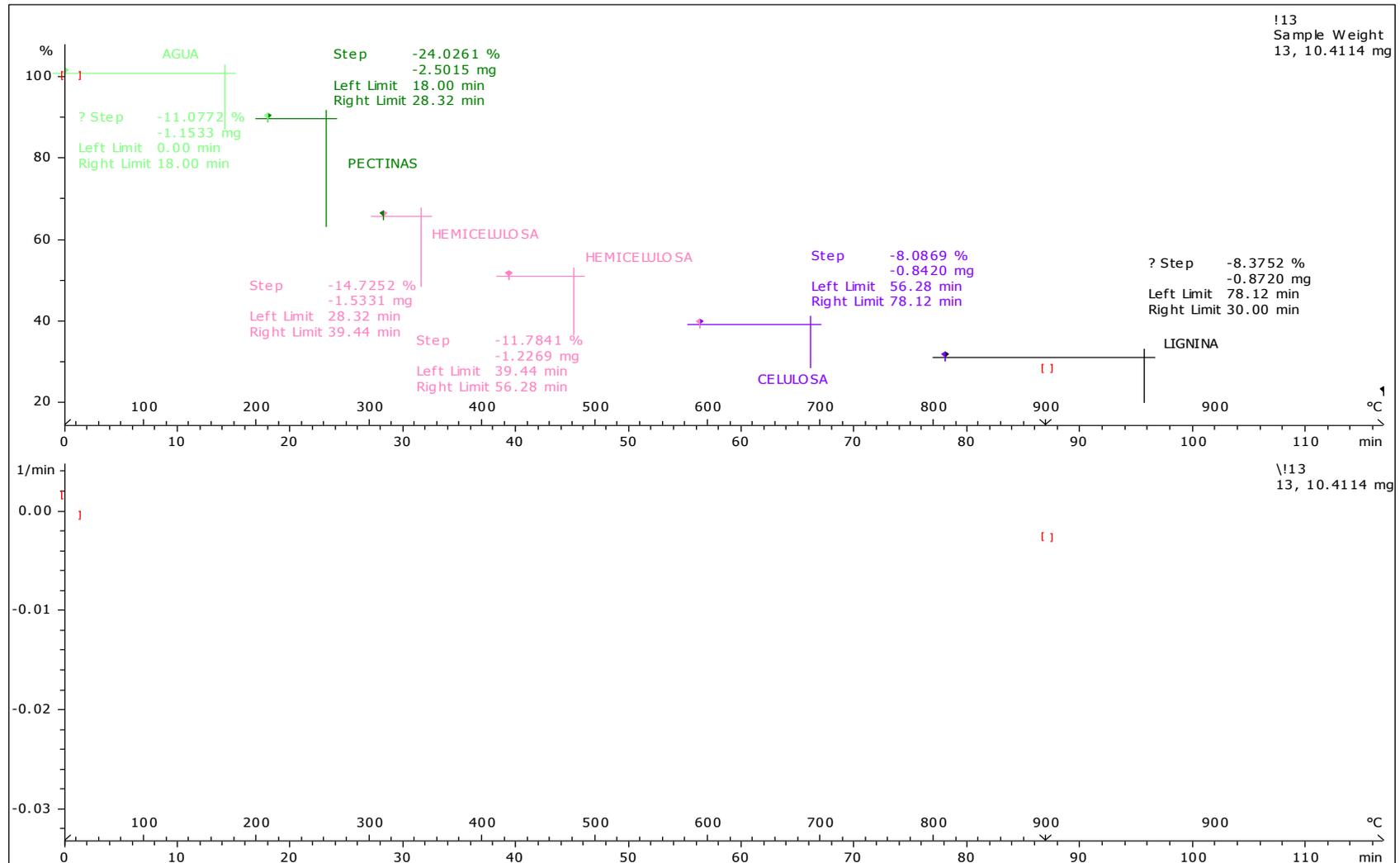
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA MÁSTER EN TADIAA

TRABAJO FIN DE MÁSTER

^exo

PRENSADO NATURAL 13

04.07.2014 13:42:16



Lab: SAIT

STAR[®] SW 10.00

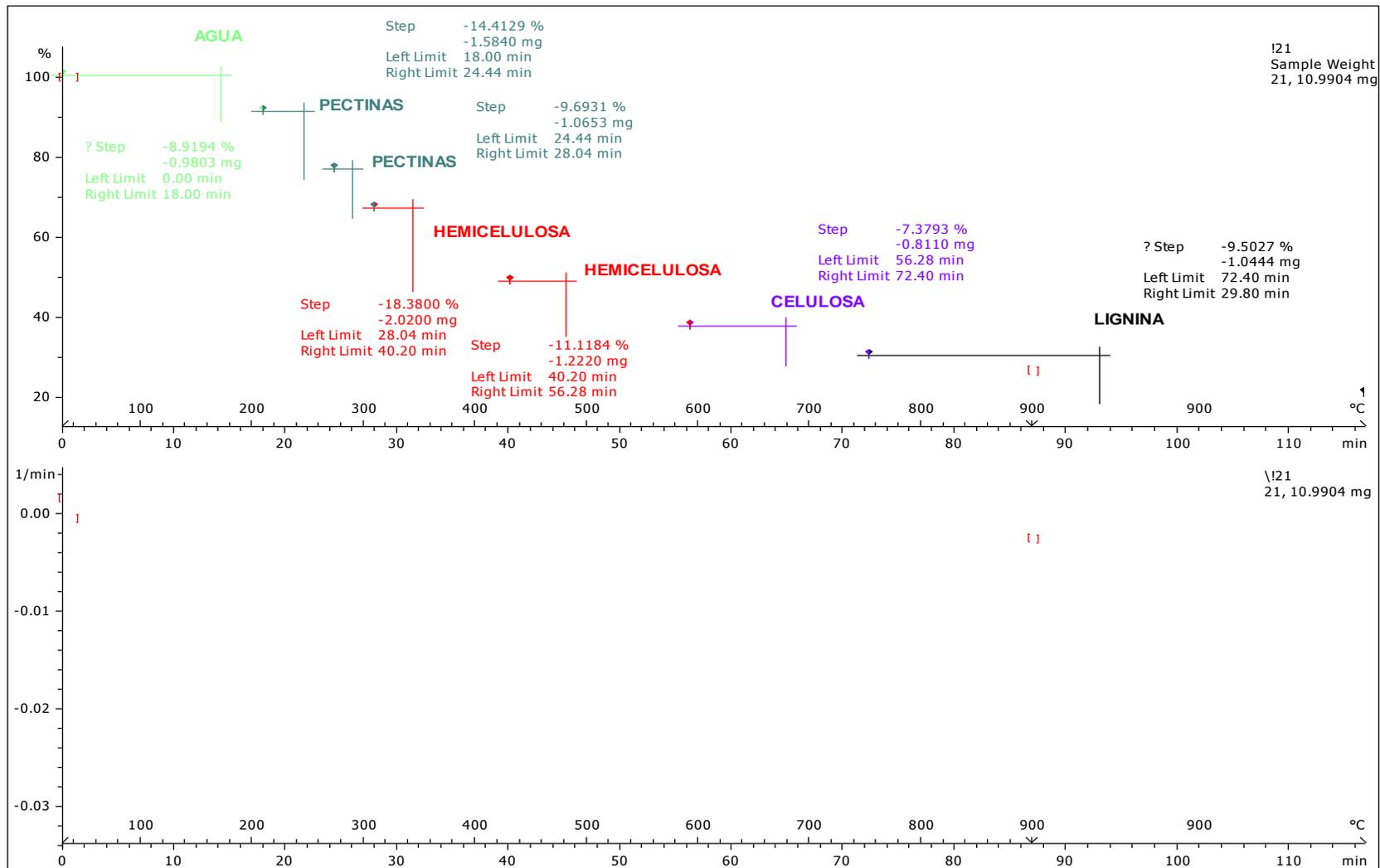
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA MÁSTER EN TADIAA

TRABAJO FIN DE MÁSTER

^exo

PRENSADO CALOR 5 MIN 21

15.05.2014 17:25:00



Lab: SAIT

STAR[®] SW 10.00

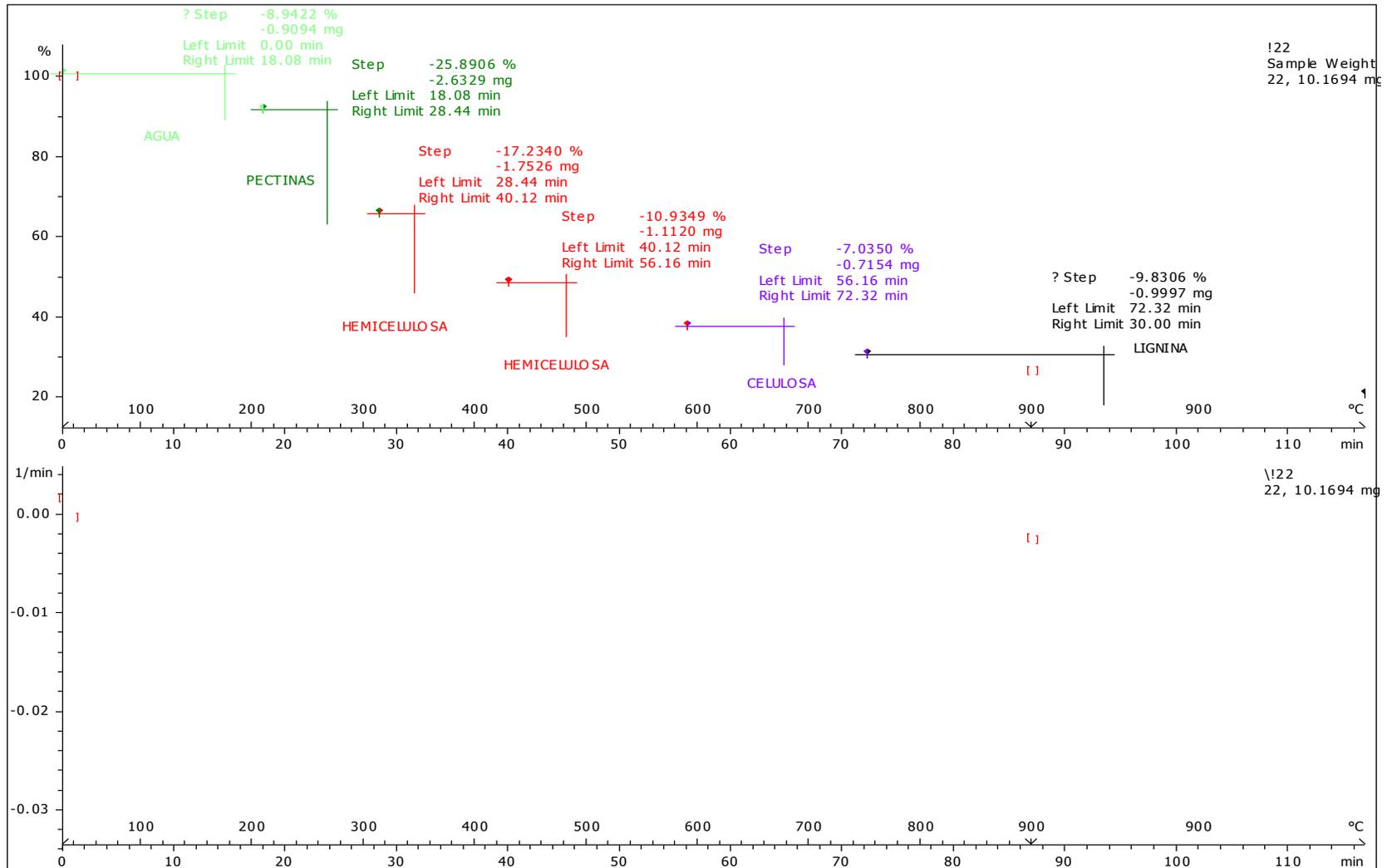
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA MÁSTER EN TADIAA

TRABAJO FIN DE MÁSTER

^exo

PRENSADO CALOR 5 MIN 22

04.07.2014 13:47:45



Lab: SAIT

STAR[®] SW 10.00

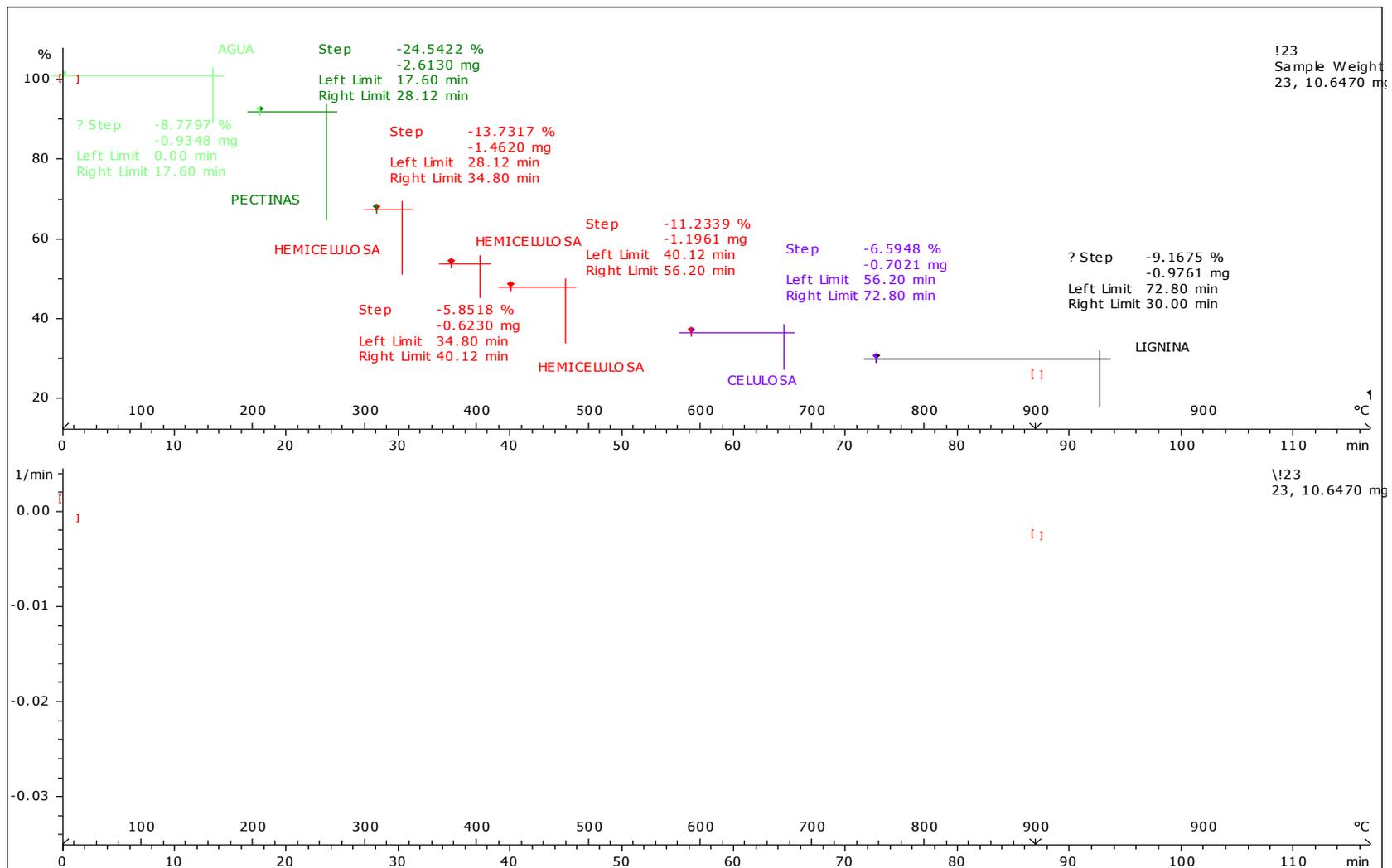
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA MÁSTER EN TADIAA

TRABAJO FIN DE MÁSTER

^exo

PRENSADO CALOR 5 MIN 23

04.07.2014 13:53:27



Lab: SAIT

STAR[®] SW 10.00

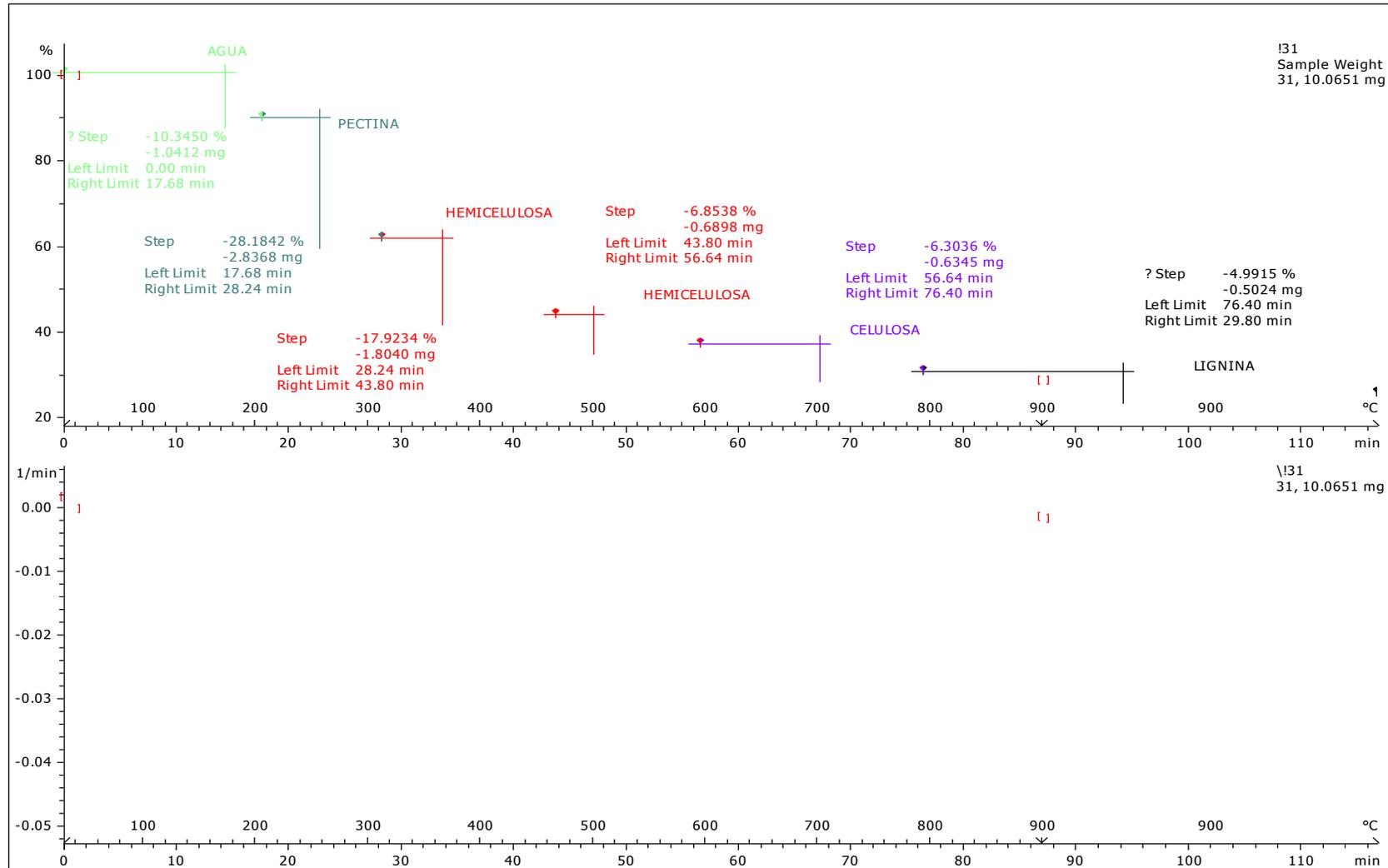
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA MÁSTER EN TADIAA

TRABAJO FIN DE MÁSTER

^exo

PRENSADO CALOR 10 MIN 31

15.05.2014 17:42:05

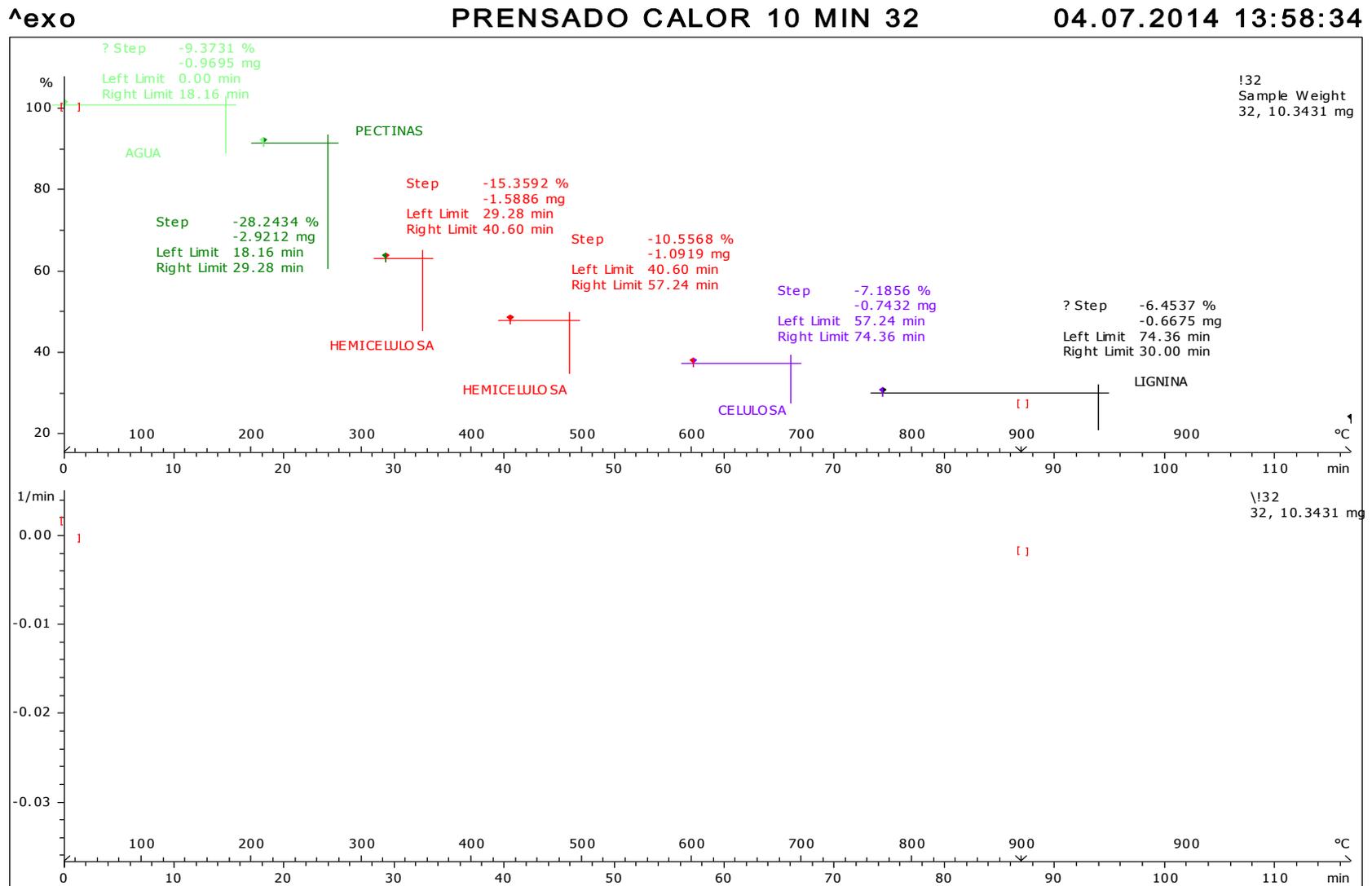


Lab: SAIT

STAR[®] SW 10.00

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA MÁSTER EN TADIAA

TRABAJO FIN DE MÁSTER



Lab: SAIT

STAR[®] SW 10.00

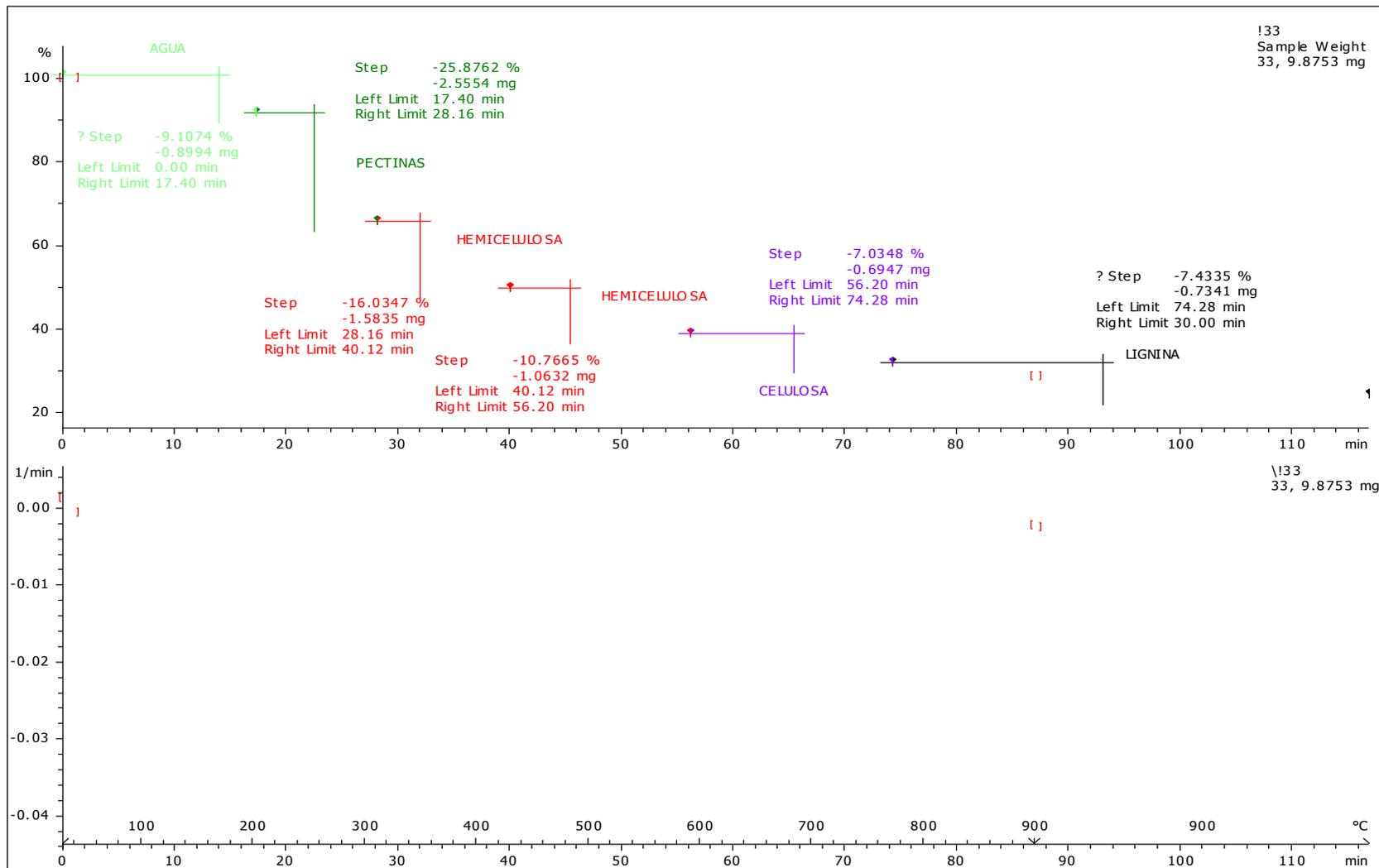
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA MÁSTER EN TADIAA

TRABAJO FIN DE MÁSTER

^exo

PRENSADO CALOR 10 MIN 33

04.07.2014 14:03:39



Lab: SAIT

STAR[®] SW 10.00

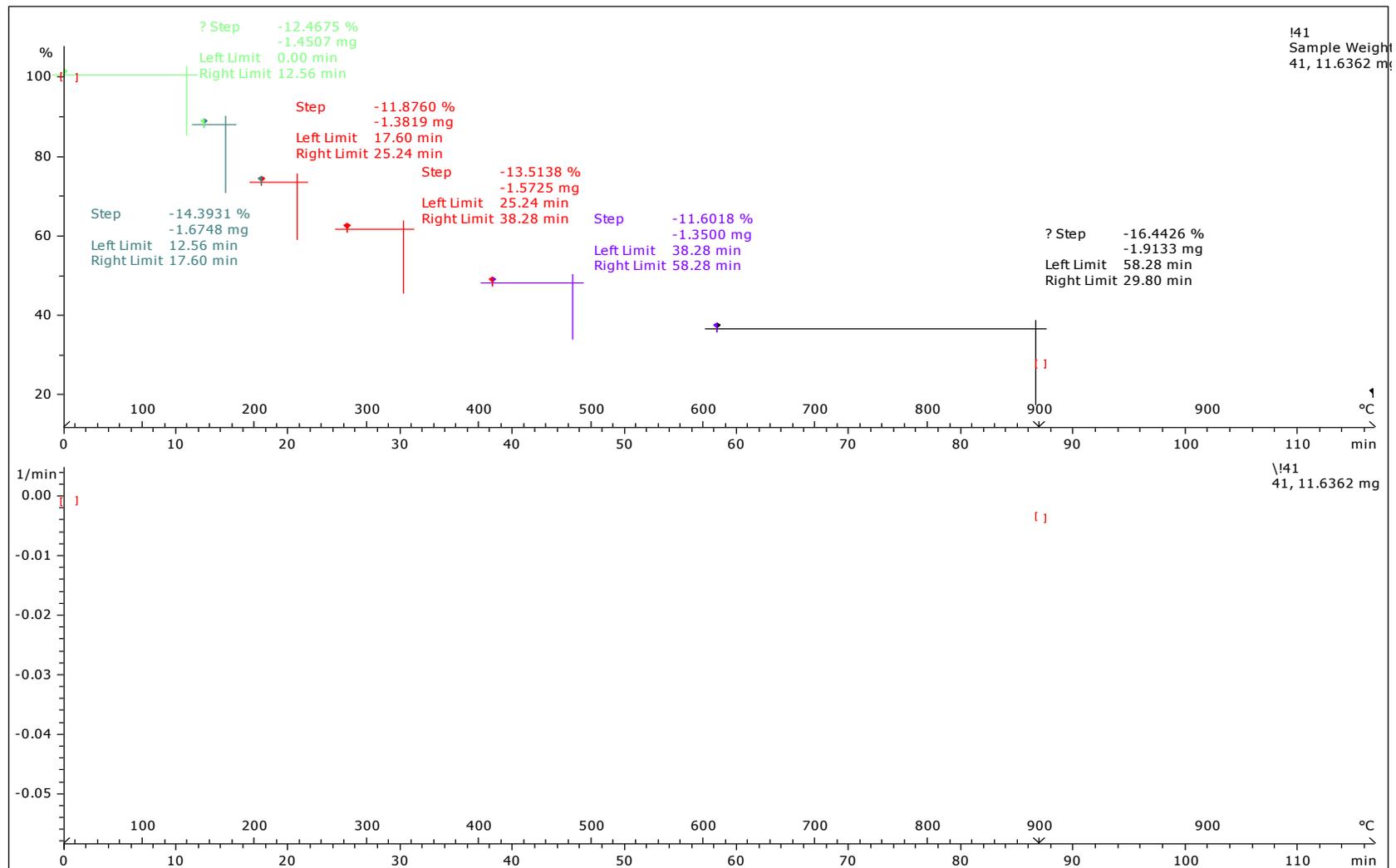
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA MÁSTER EN TADAA

TRABAJO FIN DE MÁSTER

^exo

EXTRACTO NATURAL 41

15.05.2014 17:56:09



Lab: SAIT

STAR[®] SW 10.00

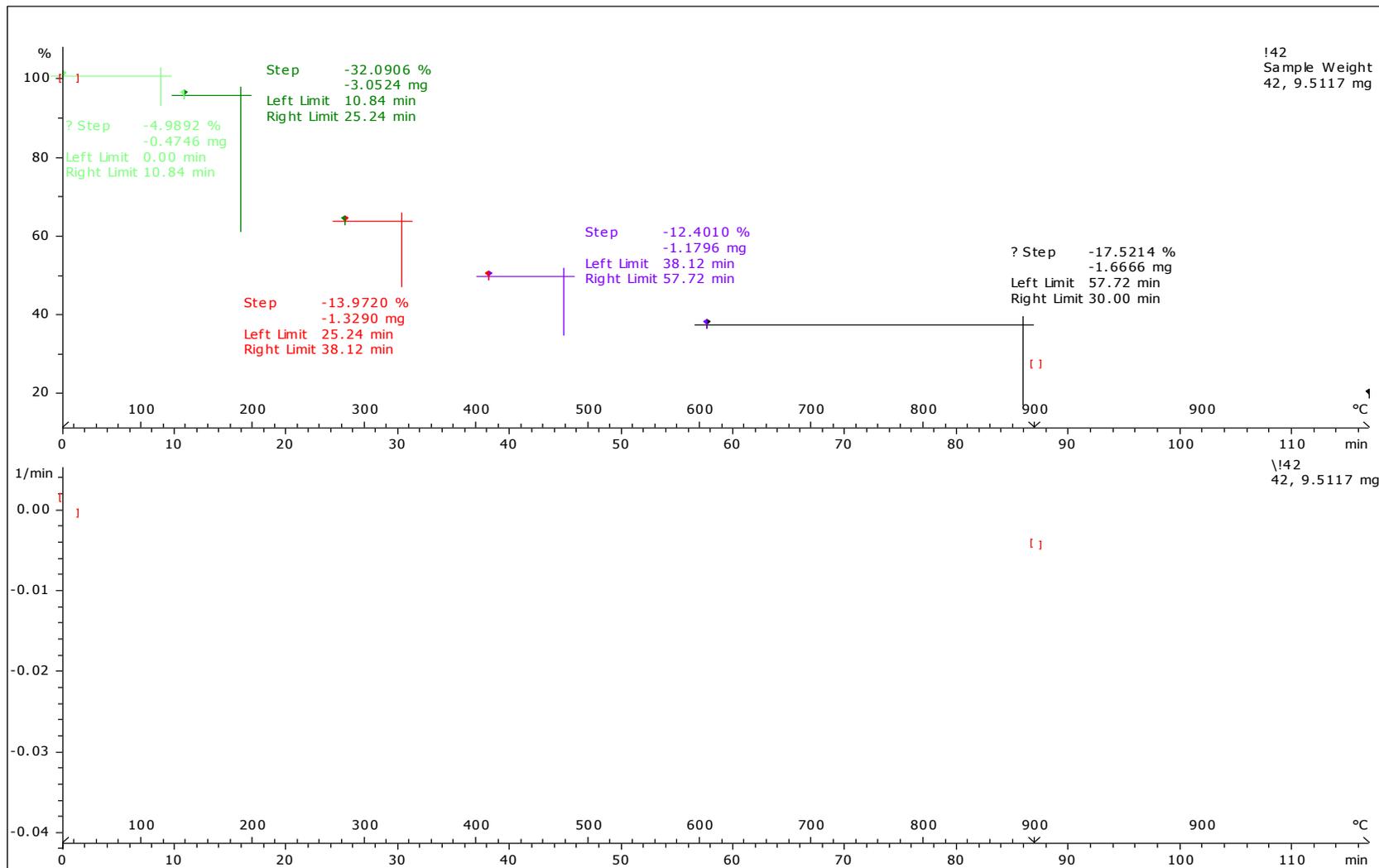
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA MÁSTER EN TADIAA

TRABAJO FIN DE MÁSTER

^exo

EXTRACTO NATURAL 42

04.07.2014 14:09:45

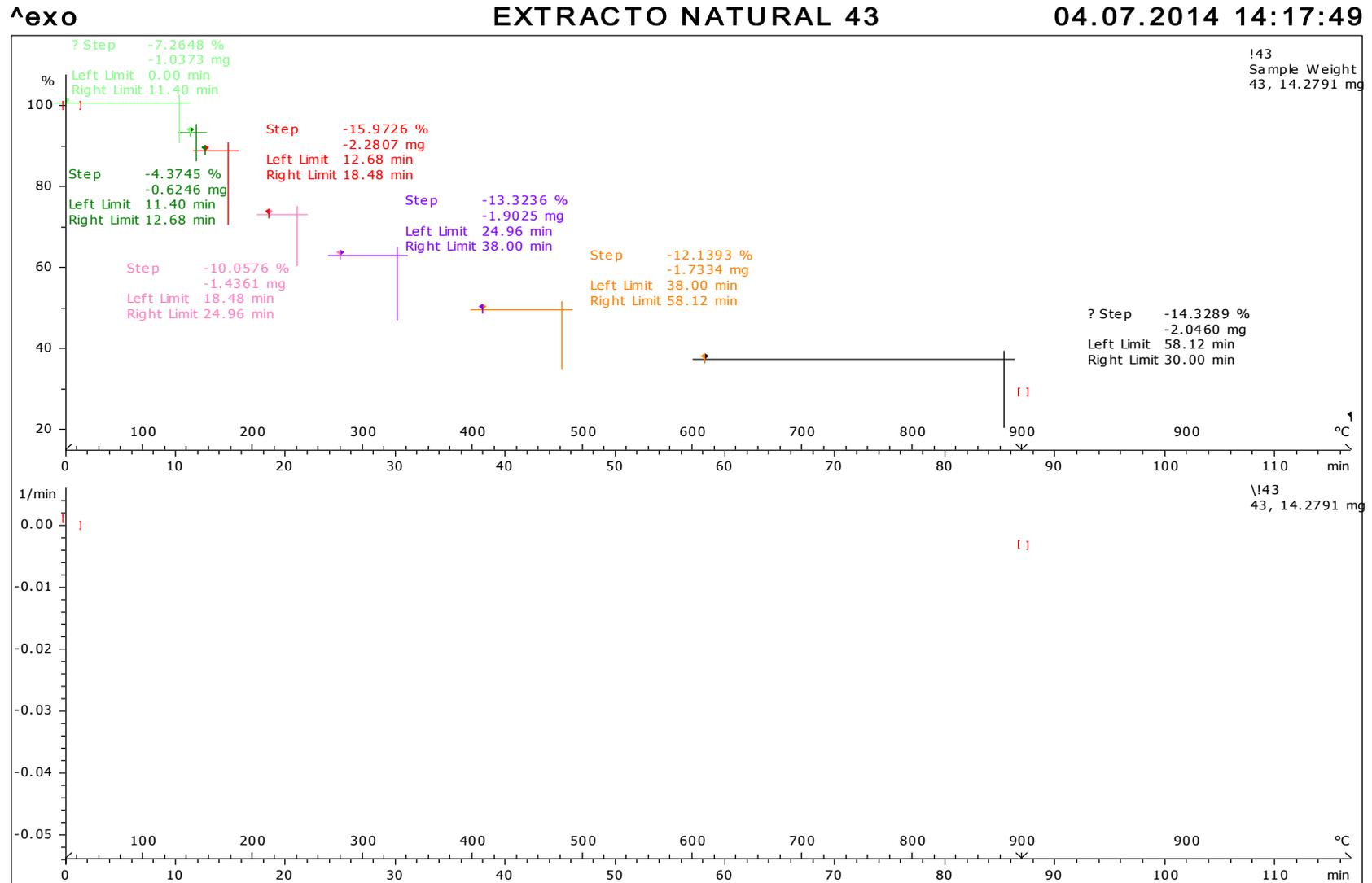


Lab: SAIT

STAR[®] SW 10.00

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA MÁSTER EN TADIAA

TRABAJO FIN DE MÁSTER

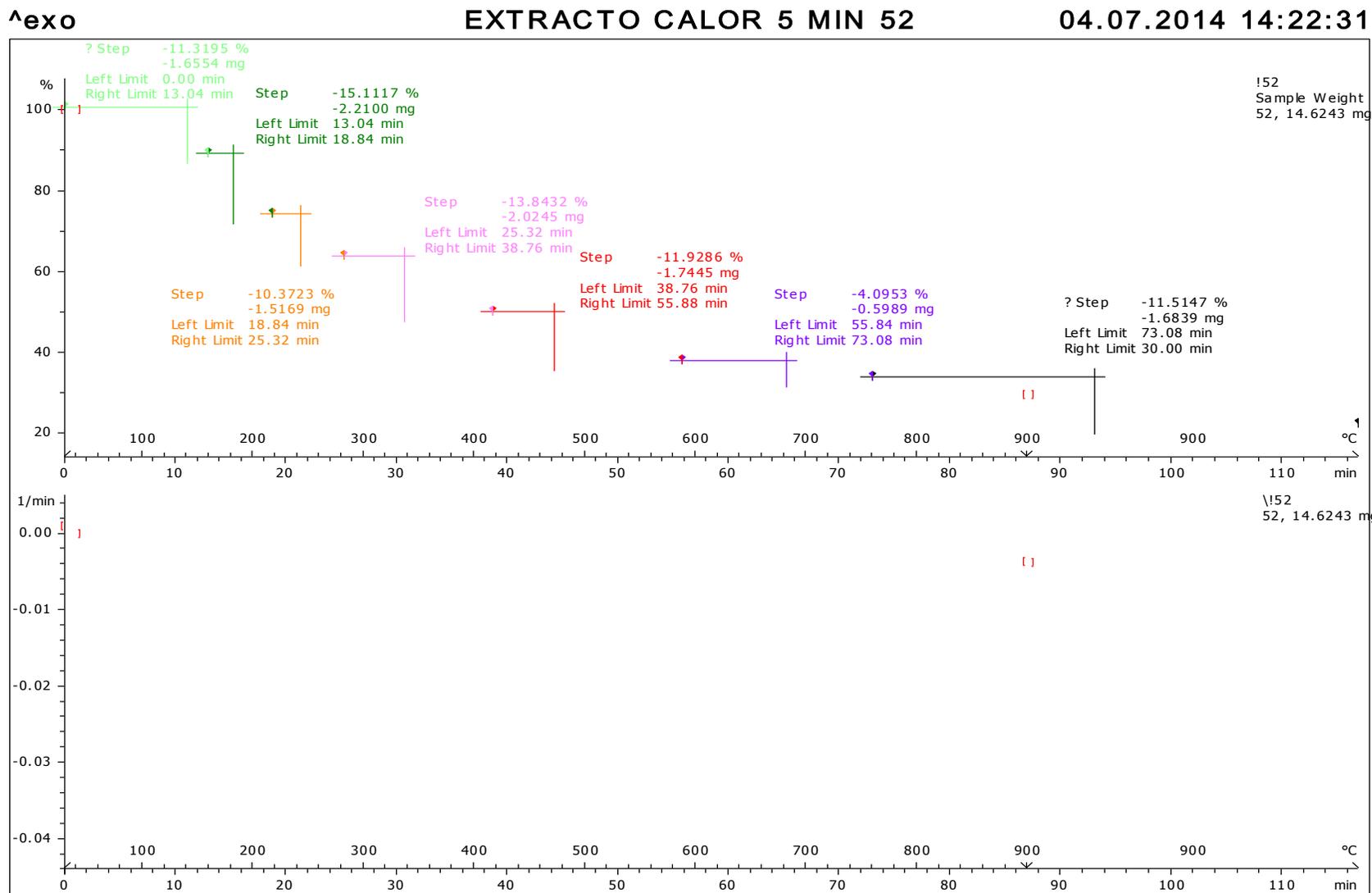


Lab: SAIT

STAR[®] SW 10.00

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA MÁSTER EN TADIAA

TRABAJO FIN DE MÁSTER

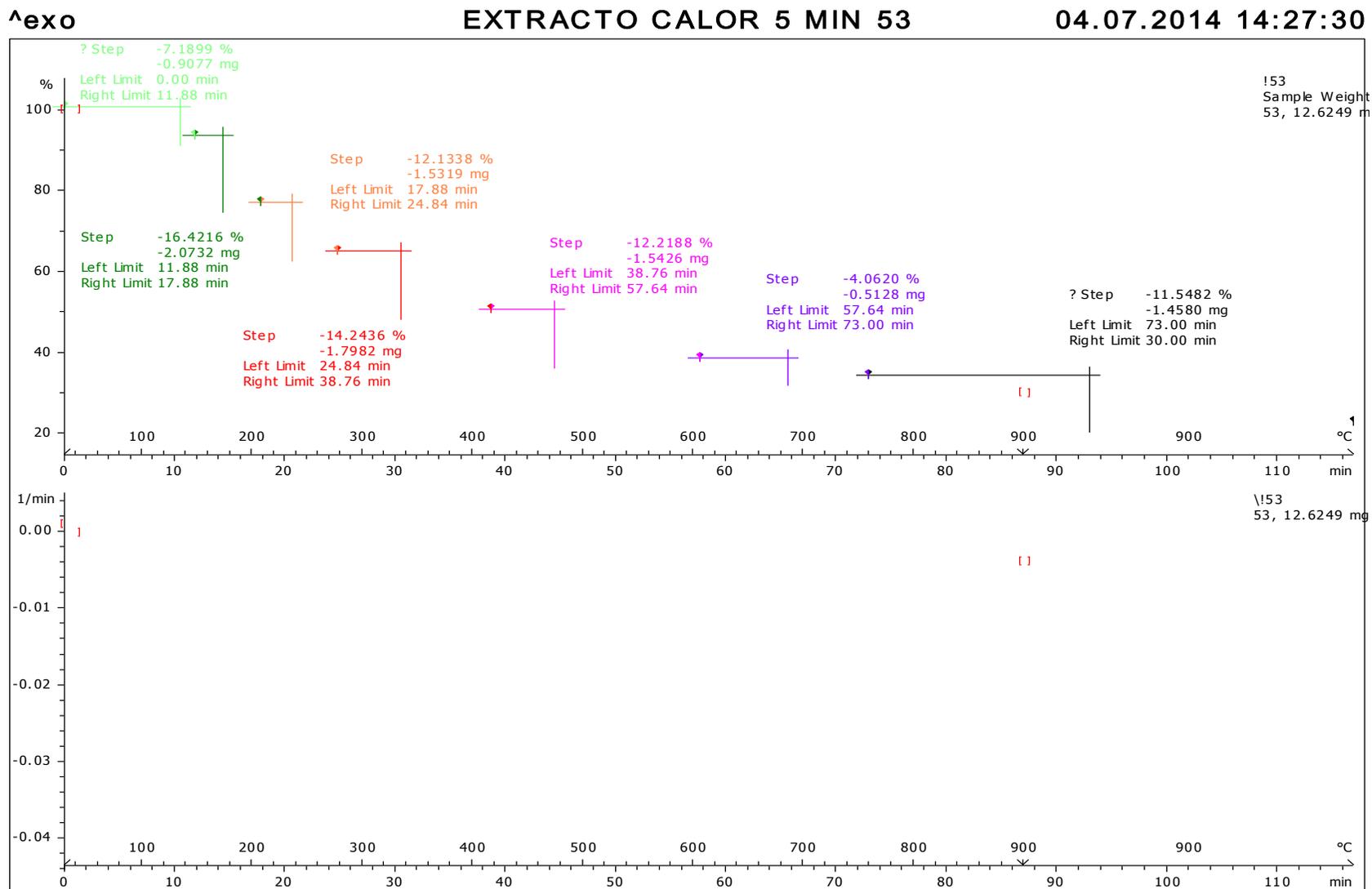


Lab: SAIT

STAR[®] SW 10.00

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA MÁSTER EN TADIAA

TRABAJO FIN DE MÁSTER



Lab: SAIT

STAR[®] SW 10.00

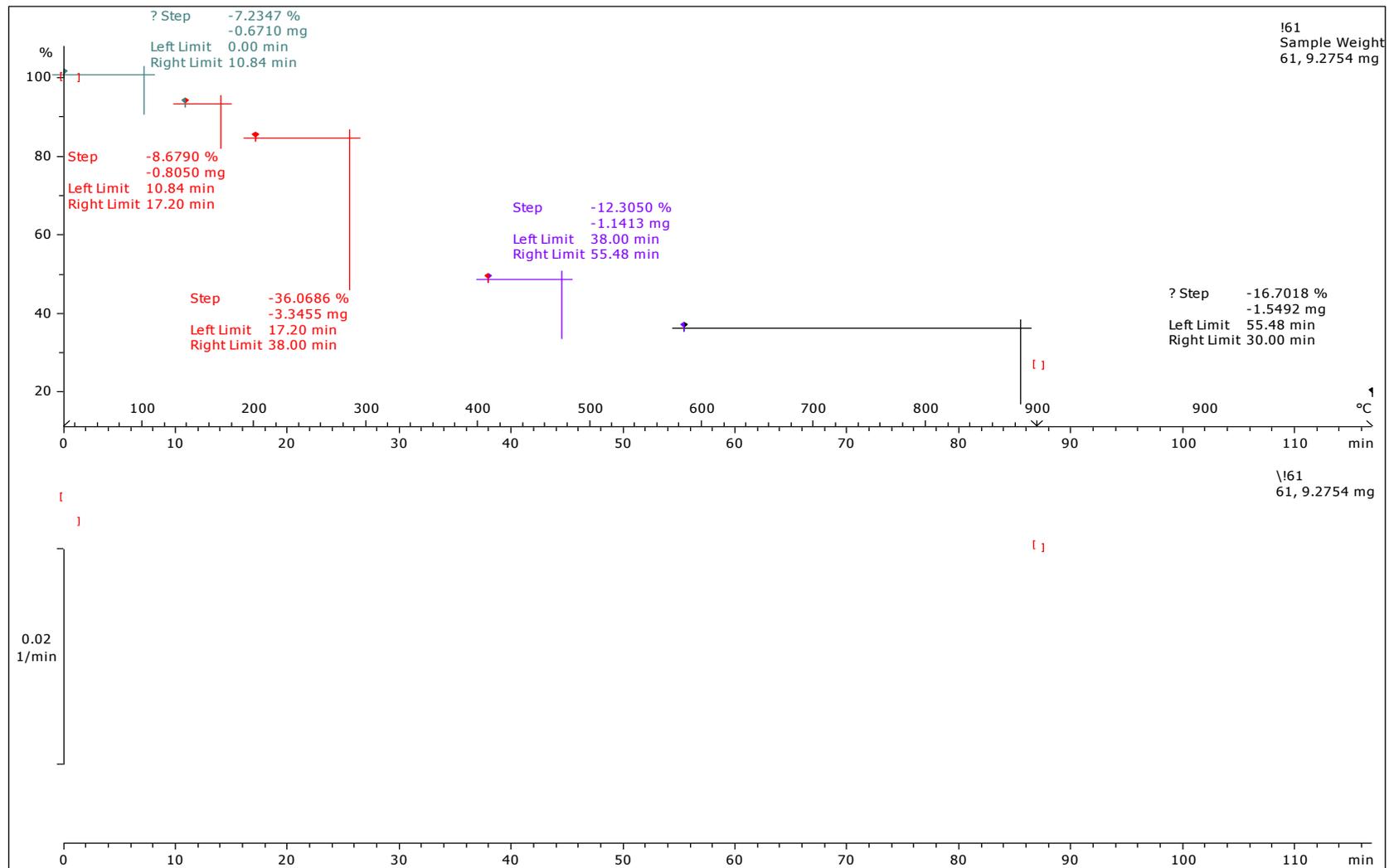
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA MÁSTER EN TADIAA

TRABAJO FIN DE MÁSTER

^exo

EXTRACTO CALOR 10 MIN 61

15.05.2014 18:21:53



Lab: SAIT

STAR[®] SW 10.00

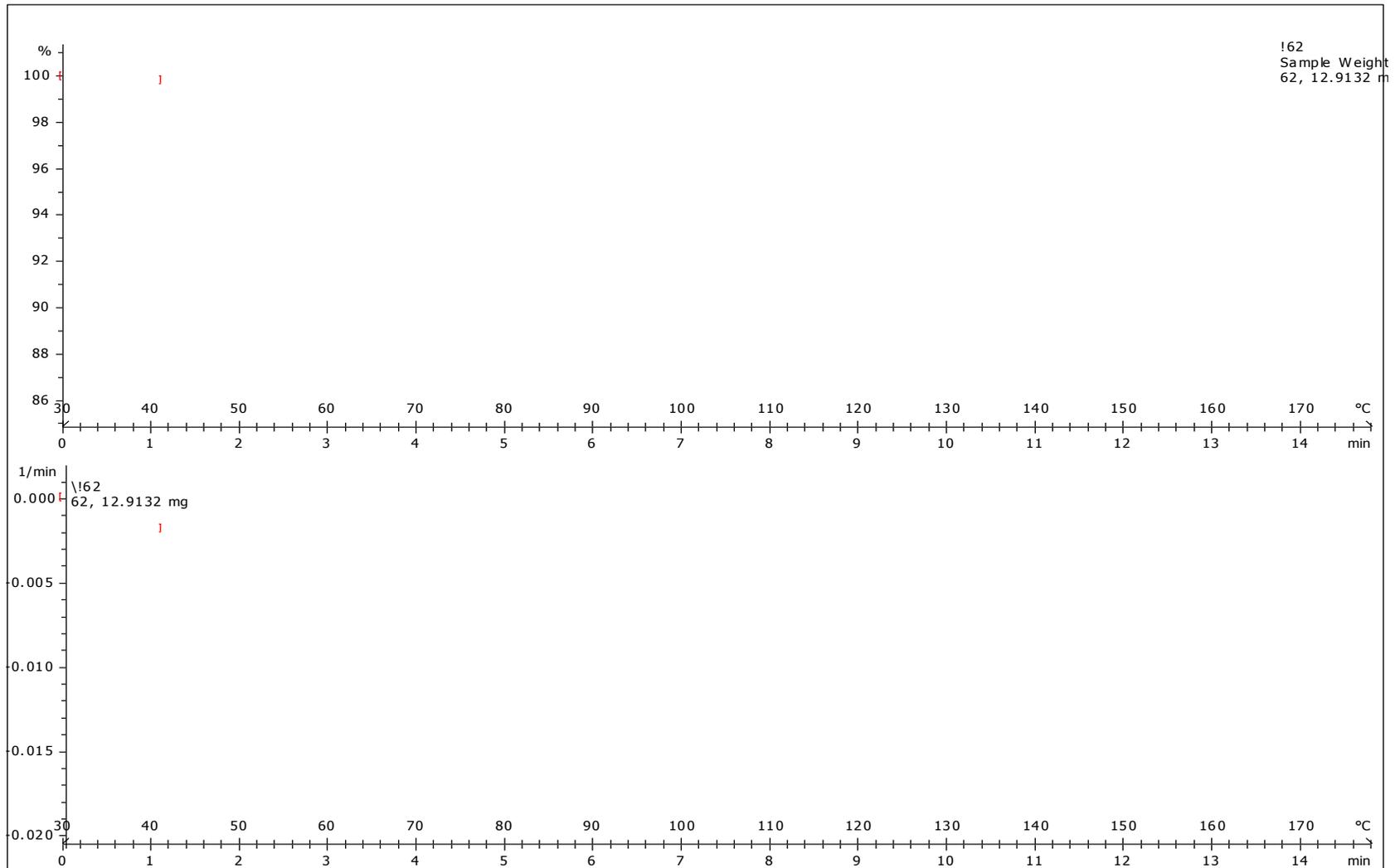
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA MÁSTER EN TADAA

TRABAJO FIN DE MÁSTER

^exo

EXTRACTO CALOR 10 MIN 62

04.07.2014 14:28:50



Lab: SAIT

STAR[®] SW 10.00

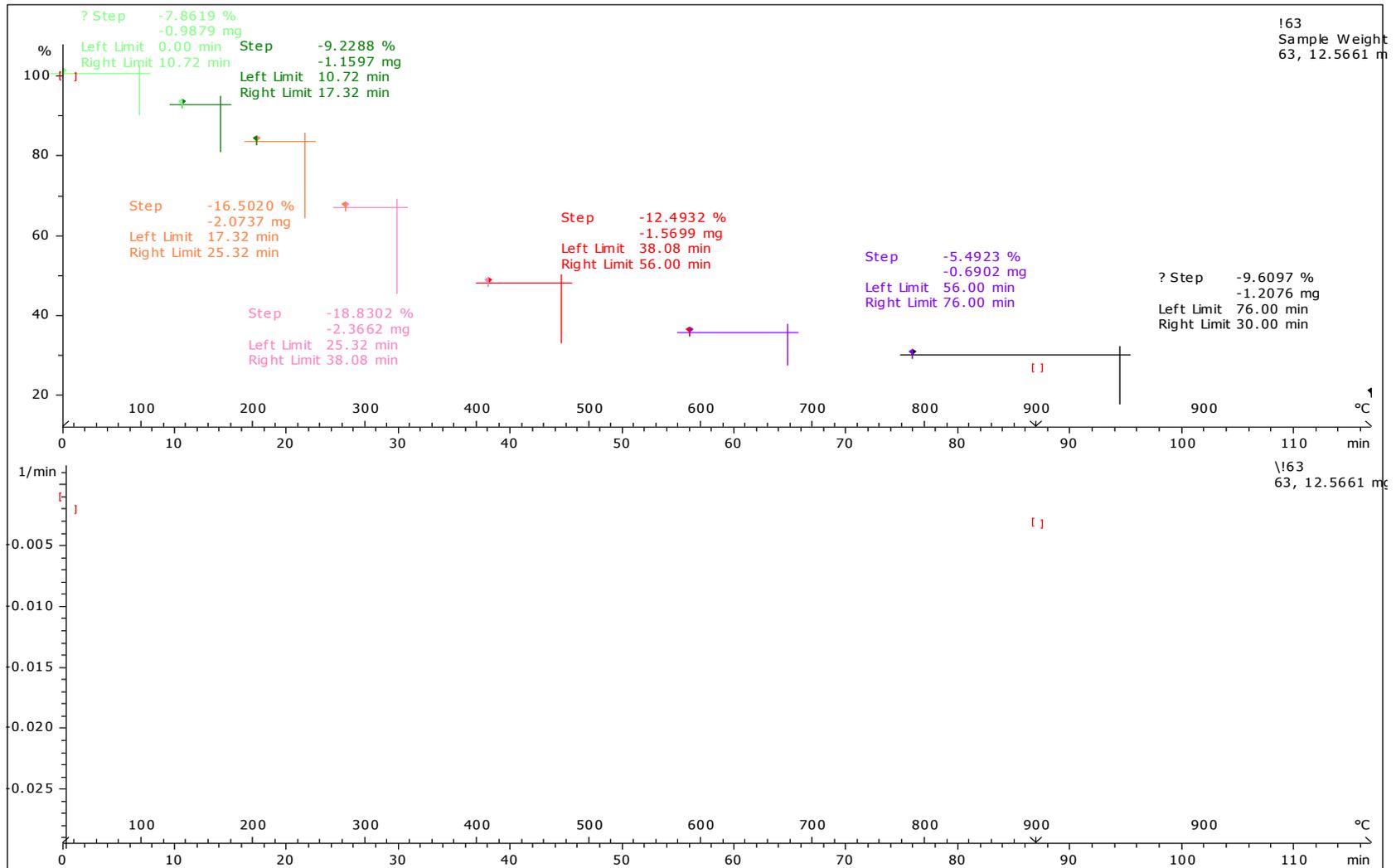
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA MÁSTER EN TADIAA

TRABAJO FIN DE MÁSTER

^exo

EXTRACTO CALOR 10 MIN 63

04.07.2014 14:33:28



Lab: SAIT

STAR[®] SW 10.00