



UTMACH

UNIDAD ACADÉMICA DE CIENCIAS QUÍMICAS Y DE LA
SALUD

CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

DETERMINACIÓN DE LA ENERGÍA DE ACTIVACIÓN EN LA
DESCOMPOSICIÓN DE UNA MANZANA (ROYAL GALA)
MAGULLADA

CARMONA CARMONA EUGENIO ALFREDO
INGENIERO QUÍMICO

MACHALA
2018



UTMACH

**UNIDAD ACADÉMICA DE CIENCIAS QUÍMICAS Y DE LA
SALUD**

CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

**DETERMINACIÓN DE LA ENERGÍA DE ACTIVACIÓN EN LA
DESCOMPOSICIÓN DE UNA MANZANA (ROYAL GALA)
MAGULLADA**

**CARMONA CARMONA EUGENIO ALFREDO
INGENIERO QUÍMICO**

**MACHALA
2018**



UTMACH

UNIDAD ACADÉMICA DE CIENCIAS QUÍMICAS Y DE LA
SALUD

CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

EXAMEN COMPLEXIVO

DETERMINACIÓN DE LA ENERGÍA DE ACTIVACIÓN EN LA DESCOMPOSICIÓN
DE UNA MANZANA (ROYAL GALA) MAGULLADA

CARMONA CARMONA EUGENIO ALFREDO
INGENIERO QUÍMICO

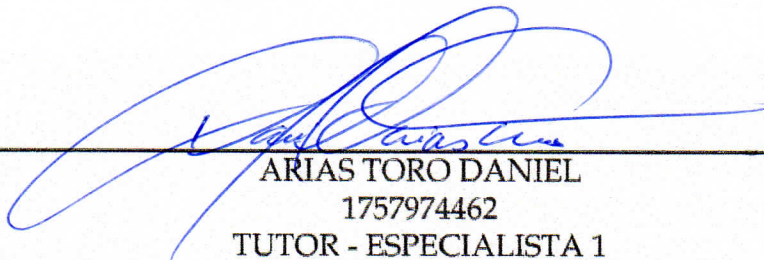
ARIAS TORO DANIEL

MACHALA, 16 DE ENERO DE 2018

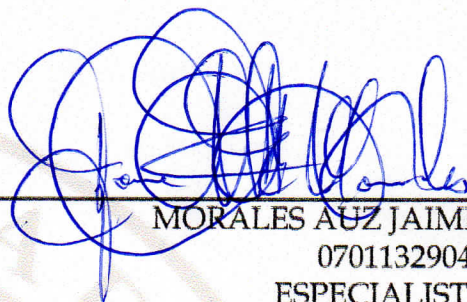
MACHALA
16 de enero de 2018

Nota de aceptación:

Quienes suscriben, en nuestra condición de evaluadores del trabajo de titulación denominado DETERMINACIÓN DE LA ENERGÍA DE ACTIVACIÓN EN LA DESCOMPOSICIÓN DE UNA MANZANA (Royal gala) MAGULLADA, hacemos constar que luego de haber revisado el manuscrito del precitado trabajo, consideramos que reúne las condiciones académicas para continuar con la fase de evaluación correspondiente.



ARIAS TORO DANIEL
1757974462
TUTOR - ESPECIALISTA 1



MORALES AUZ JAIME ROBERTO
0701132904
ESPECIALISTA 2



PEREIRA GUANUCHE FREDDY ALBERTO
0702078825
ESPECIALISTA 3

Fecha de impresión: jueves 18 de enero de 2018 - 11:06

Urkund Analysis Result

Analysed Document: DETERMINACIÓN DE LA ENERGÍA DE ACTIVACIÓN EN LA
DESCOMPOSICIÓN DE UNA MANZANA (Royal gala)
MAGULLADA.docx (D33858156)

Submitted: 12/15/2017 5:37:00 PM

Submitted By: ecarmona_est@utmachala.edu.ec

Significance: 3 %

Sources included in the report:

Tesis-Final-1-1.docx (D33022883)
Tesis Dota 26 de Oct.docx (D12172236)
TESIS SALAZAR DIANA.docx (D29507097)

Instances where selected sources appear:

5

CLÁUSULA DE CESIÓN DE DERECHO DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL

El que suscribe, CARMONA CARMONA EUGENIO ALFREDO, en calidad de autor del siguiente trabajo escrito titulado DETERMINACIÓN DE LA ENERGÍA DE ACTIVACIÓN EN LA DESCOMPOSICIÓN DE UNA MANZANA (Royal gala) MAGULLADA, otorga a la Universidad Técnica de Machala, de forma gratuita y no exclusiva, los derechos de reproducción, distribución y comunicación pública de la obra, que constituye un trabajo de autoría propia, sobre la cual tiene potestad para otorgar los derechos contenidos en esta licencia.

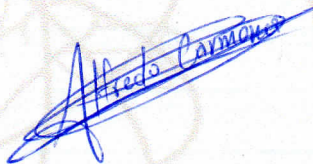
El autor declara que el contenido que se publicará es de carácter académico y se enmarca en las disposiciones definidas por la Universidad Técnica de Machala.

Se autoriza a transformar la obra, únicamente cuando sea necesario, y a realizar las adaptaciones pertinentes para permitir su preservación, distribución y publicación en el Repositorio Digital Institucional de la Universidad Técnica de Machala.

El autor como garante de la autoría de la obra y en relación a la misma, declara que la universidad se encuentra libre de todo tipo de responsabilidad sobre el contenido de la obra y que asume la responsabilidad frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros de manera exclusiva.

Aceptando esta licencia, se cede a la Universidad Técnica de Machala el derecho exclusivo de archivar, reproducir, convertir, comunicar y/o distribuir la obra mundialmente en formato electrónico y digital a través de su Repositorio Digital Institucional, siempre y cuando no se lo haga para obtener beneficio económico.

Machala, 16 de enero de 2018



CARMONA CARMONA EUGENIO ALFREDO
0706987773

RESUMEN

Este trabajo tiene como objetivo determinar la energía de activación en la descomposición de una manzana *Royal gala* magullada a 4°C y 25°C, simulando las causadas por golpes o caídas en su transporte de cosecha y comercialización. La activación de la enzima polifenoloxidasasa (PPO) debido a la magulladura, provoca una pérdida de peso a dichas temperaturas, se usó este parámetro para evaluar la degradación de polifenoles en forma de CO₂. Se obtuvieron gráficas (tiempo vs pérdida de peso) que registran la masa perdida por la manzana, en un lapso de dieciséis días para cada una de las condiciones de trabajo. Así mismo, se hace uso de la ecuación de Arrhenius, que describe la velocidad de reacción, para determinar la energía de activación que tiene el proceso de putrefacción de la manzana, en base a la variación de temperatura, obteniendo un valor de $4,61 \times 10^4 \text{ Jmol}^{-1}$, que hace referencia a la energía requerida para que dé inicio dicho proceso, este valor es bajo, porque es un proceso biológico, que se reduce para incrementar la velocidad de putrefacción. Se experimentó la descomposición de una manzana sin magullar con adición de 2,5ml de pectina a 25°C, para comparar la actividad de la enzima polifenoloxidasasa frente a la velocidad de descomposición que presenta la manzana magullada a 25°C, obteniendo que es más lento su deterioro. Como conclusión la magulladura a 25 °C demostró ser más perjudicial en la degradación, produciendo una pérdida significativa de peso, oscurecimiento y desprendimiento de olores de putrefacción en la experimentación.

Palabras claves: Energía de activación, magullada, polifenoloxidasasa, polifenoles, ecuación de Arrhenius.

ABSTRACT

The objective of this work is to determine the activation energy in the decomposition of a Royal gala apple bruised at 4°C and 25°C, simulating those caused by blows or falls in its transport of harvest and commercialization. The activation of the polyphenoloxidase enzyme (PPO) due to the bruising, causes a loss of weight at said temperatures, this parameter was used to evaluate the degradation of polyphenols in the form of CO₂. Graphs were obtained (time vs weight loss) that recorded the mass lost by the apple, in a span of sixteen days for each of the working conditions. Likewise, use is made of the Arrhenius equation, which describes the reaction rate, to determine the activation energy of the apple putrefaction process, based on the temperature variation, obtaining a value of $4.61 \times 10^4 \text{ Jmol}^{-1}$, which refers to the energy required to start the process, this value is low, because it is a biological process, which is reduced to increase the rate of putrefaction. The decomposition of an unblemished apple was experimented with the addition of 2.5ml of pectin at 25°C, to compare the activity of the polyphenoloxidase enzyme with the decomposition rate of the bruised apple at 25°C, obtaining that its deterioration is slower. In conclusion, the bruise at 25 ° C proved to be more damaging in the degradation, producing a significant loss of weight, darkening and release of odors of putrefaction in the experimentation.

Keywords: Activation energy, bruised, polyphenoloxidase, polyphenols, Arrhenius equation.

RESUMEN	1
ABSTRACT	2
UNIDADES	4
INTRODUCCIÓN	5
FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	6
1. EL MANZANO	6
1.1 Descripción del Manzano	6
1.2 Componentes de la manzana	7
1.3 Manzana Royal gala	7
2. PRODUCCIÓN MUNDIAL DE LA MANZANA	7
3. MANEJO POSCOSECHA	8
3.1 Daños mecánicos en la manipulación de la manzana	8
3.2 Consecuencias de los daños mecánicos	9
4. PARDEAMIENTO ENZIMÁTICO	10
4.1 Enzima Polifenoloxidasa	11
5. CINÉTICA DEL DETERIORO DE LA CALIDAD	11
5.1 Velocidad de reacción	11
5.2 Energía de activación	12
6. MODELO DE ARREHNIUS	12
METODOLOGÍA	13
CONCLUSIONES	17
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	18
ANEXOS	20

UNIDADES

k = constante cinética (dependiente de la temperatura T)

A = factor preexponencial o factor de frecuencia. Indica la frecuencia de las colisiones

E_a = energía de activación, expresada en J/mol

R = constante universal de los gases. Su valor es $8,3143 \text{ JK}^{-1}.\text{mol}^{-1}$

T = temperatura absoluta [K]

INTRODUCCIÓN

Siendo uno de los cultivos más antiguos en la historia de la humanidad (1), la manzana es la fruta dulce con mayor extensión a nivel mundial (2), considerada tanto por la variedad de color, sabor y aroma, como por las múltiples propiedades y beneficios (1) que esta aporta en la dieta humana.

Actualmente su producción supera las 54 millones de toneladas, obteniendo cosechas de más del 48% provenientes de Asia, 30,8% de Europa, 15,6% de América y 1,5% de Oceanía (3), esto se debe a su asequible adecuación a diferentes zonas climáticas, suelo y medio de producción (4). Es muy importante tener en cuenta la calidad con que la fruta se presenta al consumidor ya que de esta depende el valor en el mercado. Uno de los principales motivos por el cual la calidad de la manzana decrece es por daños mecánicos (5,6), provocando magulladuras en esta. El pardeamiento y el ablandamiento del tejido de la fruta son dos resultados básicos de la magulladura en manzanas (7).

El cambio de color en la fruta se debe al pardeamiento producido por magulladuras dando como producto una reacción de oxidación de los compuestos fenólicos (8), generada por las enzimas polifenoloxidasas (PFO o PPO) y peroxidasas (PO) (8,9), afectando de forma negativa la calidad de esta (9,10) y reduciendo su valor económico.

El presente caso práctico analiza la evolución del proceso de descomposición en la manzana *Royal gala* producida por magulladuras durante el procesamiento de la fruta, activando la enzima PFO y estableciendo su energía de activación a condiciones aerobias con distintos periodos de tiempo y temperatura.

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

1. EL MANZANO

1.1 Descripción del Manzano

El manzano es una planta caducifolia (11) de la especie frutal *Malus domestica* perteneciente a las rosáceas (11–13). Es una especie de clima suave (12) pero gracias a los avances en genética se cultiva en zonas frías, templadas y tropicales. Su fruto es pomoso y según la variedad puede ser achatada o redondeada (14).

La manzana es la fruta dulce más cultivada a nivel mundial (12) y es considerada por su alto valor nutritivo (Tabla 1) además de consumirse habitualmente en fresco (11). Entre las principales variedades están *Fuji*, *Gala* o *Royal gala*, *Golden*, *Granny smith*, *Red delicious*, entre otras.

Propiedades nutricionales	Valor nutricional
Calorías	59 kcal
Proteínas	0,2 g
Hidratos de carbono	10,9 g
Grasas totales	0,6 g
Fibra	2,4 g
Vitaminas B3	0,3 mg
Vitaminas B6	0,05 mg
Vitaminas C	12 mg
Potasio	144 mg
Calcio	7 mg
Fósforo	10 mg

Tabla 1: Información nutricional de 100 gramos de manzana. Fuente: Elaboración propia

1.2 Componentes de la manzana

- *Pectina*: Hidrato de carbono que forma casi en su totalidad los 2,4 g/100 g de fibra que se encuentra en la manzana y tan solo una quinta parte de ella en la piel del fruto (1).
- *Ácidos Orgánicos*: Estos ácidos ayudan a renovar la flora intestinal, evitando así las fermentaciones intestinales. Según la variedad representan el 1 – 1,5% del peso total de la manzana (1).
- *Taninos*: La manzana es una de las principales fuentes de Astringentes y antiinflamatorios después del membrillo (1).
- *Flavonoides*: Presentes en frutas y hortalizas, los flavonoides son capaces de impedir la oxidación de la lipoproteínas de baja densidad, impidiendo que el colesterol se acumule en las arterias (1).

1.3 Manzana Royal gala

Esta variedad fue descubierta al cruzar la Red delicious con la Kidds Orange Red (3), obteniendo una manzana crujiente con un buen contenido de azúcar (14), excelente sabor y aroma. Su piel es brillante y con estrías rojo anaranjadas (3), de tamaño pequeña a mediana y forma achatada (14).

Esta es una variedad que se distingue a las demás por ser de rápida maduración (3).

2. PRODUCCIÓN MUNDIAL DE LA MANZANA

Debido a su adaptación climática, el manzano es uno de los cultivos con mayor difusión a nivel mundial (11).

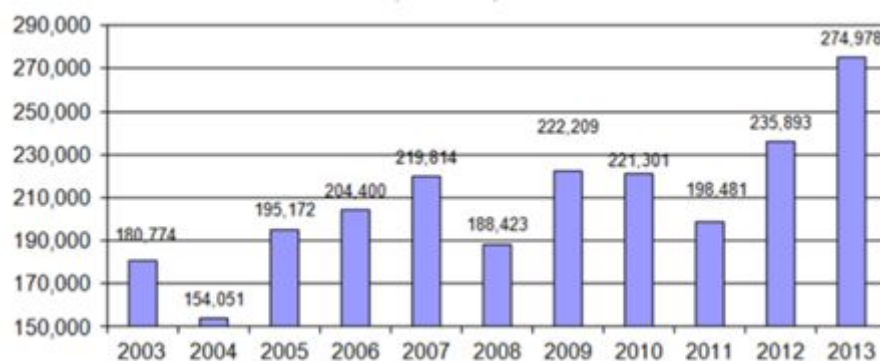


Figura 1: Crecimiento de exportaciones en el mundo entre los años 2000 y 2008. Fuente: Elaborado con cifras de Sistema Información Arancelaria vía a internet (SIAVI).

En la década de los 90 la producción de manzanas se mostró en aumento (11), pasando de 5,7 a 7,8 kilos por habitante en el mundo entre el año 1990 y 2000 (11). Según la FAO (2008) se registró un aumento de producción de 63,7 millones de toneladas/año en el 2006 con respecto a 58,4 millones de toneladas/año del 2000 (11).

3. MANEJO POSCOSECHA

Los productos hortofrutícolas después de ser cosechados siguen liberando energía y calor, además de perder humedad y estar sujetos a múltiples cambios y a su deterioro (15). Debido a esto, el cuidado que se debe tener en la poscosecha juega un papel relevante sobre el proceso fisiológico del fruto, alterando su calidad, costo y vida útil.

Según estudios realizados en el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) las principales causas que provocan las pérdidas en la poscosecha, son por enfermedades y por daño mecánico (15).

3.1 Daños mecánicos en la manipulación de la manzana

En la actualidad las exigencias en la calidad de los productos hortofrutícolas van en aumento, debido a la susceptibilidad a todo tipo de daños y magulladuras ocasionadas en la manipulación durante el proceso de producción (16).

Fruta	Tipos de Lesión		
	Compresión	Impacto	Vibración
Manzana	S	S	I
Albaricoque	I	I	S
Plátano, verde	I	I	S
Plátano, maduro	S	S	S
Melón	S	I	I
Uva	R	I	S
Melocotón	S	S	S
Pera	R	I	S
Ciruela	R	R	S
Fresa	I	S	R

Tabla 2: Susceptibilidad de las frutas a diversos tipos de lesiones mecánicas: Susceptible (S); Resistente (R); Intermedio (I).

Fuente: Navarrete, O. (2013)

La intensidad del golpe se determina dependiendo el tipo de lesión que presenta la fruta de acuerdo a la susceptibilidad (4) que posee ante daños por compresión, impacto, vibración, incisión y magulladuras (Tabla 2).

- *Lesiones por compresión:* Se origina cuando la presión ejercida sobre la fruta sobrepasa su umbral (4).
- *Lesiones por impacto y abrasión:* Producidas por un exceso de fuerza sobre la fruta (4) y por la fricción que se genera entre ellas u otra superficie durante la etapa del transporte.
- *Lesiones por vibración:* Este trastorno origina una fuerza recuperadora que reestablece el equilibrio si a ella se opone un rozamiento(15). Normalmente este tipo de daño es causado durante el transporte.
- *Lesiones por magulladuras:* La magulladura es el resultado del daño en el tejido de la fruta, lo cual no siempre implica la ruptura de este (15).

3.2 Consecuencias de los daños mecánicos

Todo impacto, vibración, incisión, magulladura y lesión no solo destruye la apariencia física del producto, sino también constituye primordialmente la vía de acceso para los organismos de putrefacción (3).

Según García, Briz y Ruiz (1994) la manzana es el fruto que presenta más daño por magulladura producidas por impacto (6).

Los daños mecánicos intensifican la pérdida de humedad en la fruta (3,4), la cual se podría incrementar en un 400% por tan solo presentar una magulladura grave en ella (3). Durante el daño provocado se promueve la actividad fisiológica del tejido de la fruta alterando su proceso de maduración (15).

Los frutos que presentan algún tipo de lesión al estar en contacto con el aire se oxidan (15), produciendo una decoloración oscura o pardeamiento enzimático como producto de la oxidación de sus compuestos fenólicos (4).

4. PARDEAMIENTO ENZIMÁTICO

Las principales reacciones de deterioro de la manzana están relacionadas con el pardeamiento enzimático (17).

El pardeamiento enzimático (figura 2) es producido cuando el tejido del fruto se ve afectado, lo que conlleva a la ruptura celular y liberación de la enzima polifenoloxidasa, la cual permite catalizar la reacción entre el oxígeno y las moléculas libre de polifenol (8,17).

El pH óptimo para que esta reacción ocurra está entre 5 y 7 (18). Los enlaces que forma la enzima PPO son más débiles si la temperatura va en aumento (18).

Variedad	Piel	Corteza
Red delicious	100	100
Golden delicious	33	30
Fuji	57	71
Gala	30	48
Granny Smith	43	73

Tabla 3: Actividad relativa de PPO en diferentes variedades de manzanas. Fuente: Pereyra (2011)

Como se observa en la Tabla 3 todas las variedades de manzana representan distintos valores en cuanto a la actividad de la enzima polifenoloxidasa sobre su piel y corteza, esto se debe a que algunos cultivares son menos propensos al pardeamiento enzimático durante el proceso de transporte y almacenamiento (17).

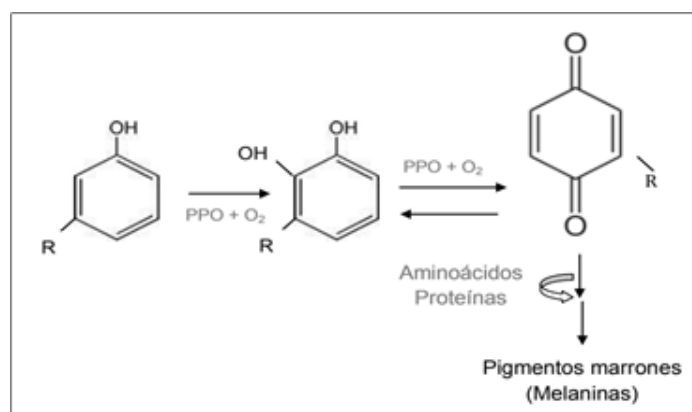


Figura 2: Reacción de pardeamiento enzimático. Fuente: Civera. (2012)

Las reacciones de pardeamiento enzimático se pueden controlar mediante métodos físicos como la reducción de temperatura y/o la disponibilidad de O₂, recubrimientos comestibles, entre otros (9).

4.1 Enzima Polifenoloxidasa

La enzima polifenoloxidasa (PPO) es una enzima ubicua capaz de catalizar reacciones que dependen del oxígeno para transformar o-difenoles en o-quinonas (19,20). Las quinonas conducen a la polimerización y reacciones de condensación entre proteínas y polifenoles (21). Como consecuencia a estas reacciones se produce el pardeamiento enzimático, disminuyendo el valor nutricional del alimento y sus propiedades organolépticas (19,21,22). Por ello, la inactivación de esta enzima es muy importante para asegurar la calidad de los productos (20).

5.CINÉTICA DEL DETERIORO DE LA CALIDAD

Hoy en día, el estudio de la cinética de los procesos de transformación en alimentos es muy importante debido a la optimización de la calidad durante el procesado y almacenamiento (18).

Aunque tradicionalmente se utilice la cinética química para explicar cambios químicos en un sistema, esta también puede ser aplicada a cambios físico-químicos (18).

Para estimar la vida útil de un alimento se puede hacer uso del modelo de Arrhenius (23), la cual evalúa el efecto de la temperatura sobre la degradación de las características físicas del alimento.

El orden de reacción (n), la constante de velocidad (k) y la energía de activación (Ea), son parámetros cinéticos muy importantes en la vida útil de un alimento (23).

5.1 Velocidad de reacción

En los alimentos la velocidad de reacción representa el cambio de concentración de un reactivo a través del tiempo (18), esta es función principal de la composición y de la temperatura.

5.2 Energía de activación

La energía necesaria para contorsionar las moléculas de reactivo de modo que puedan modificarse los enlaces se conoce como energía de activación (24).

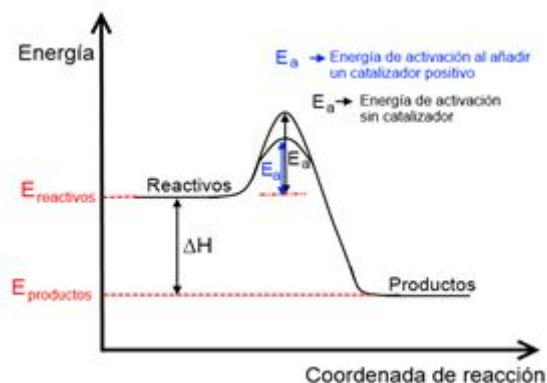


Figura 3: cambios de energía en el paso de transformación de reactivos a producto.

La figura 3 muestra el paso de reactivos a productos, el cual al inicio posee una determinada energía mientras sus reactivos van reaccionando para formar un complejo activo y mantenerse en un estado de transición, en el que se aprecia como los reactivos se debilitan para formar los productos. La energía necesaria para alcanzar el complejo activo se denomina energía de activación.

6 MODELO DE ARREHNIUS

Este modelo describe la relación que existe entre la constante de velocidad y la temperatura (18)

$$k = Ae^{-\frac{Ea}{RT}}$$

Donde:

k = constante de velocidad a la temperatura T ; A = factor de frecuencia;

Ea = energía de activación; R = constante de los gases

Svante Arrhenius observó que la velocidad de una reacción aumentaba al incrementar su temperatura.

METODOLOGÍA

Como punto de partida para la determinación de la energía de activación en la descomposición de una manzana de variedad *Royal gala* que presentaba lesiones por magulladura donde sus tejidos fueron afectados con lesiones en su textura de una caída de 2 metros produciendo un ablandamiento en la fruta , se empleó la pérdida de peso por activación de la enzima PPO a 4°C y 25°C por un lapso de dieciséis días (Tabla 4), de esta manera se pudo observar la degradación de polifenoles liberados en forma de CO₂.

Tiempo (días)	Peso (gramos)		
	Magullada		Pectina
	4°C	25°C	25°C
0	151,32	154,43	161,49
2	150,31	152,44	160,15
4	149,18	149,79	158,63
6	148,36	147,51	157,27
8	147,10	144,38	155,18
10	146,01	141,83	153,40
12	144,95	139,34	151,55
14	143,98	136,77	149,33
15	143,59	135,66	148,22
Pérdida total de peso (g)	7,73	18,77	13,27

Tabla 4: Pérdida de peso por activación de la enzima PPO en una manzana de variedad Royal gala.

Fuente: Elaboración Propia.

Como se puede observar en la figura 4 la activación de la enzima PPO en la manzana magullada a 25°C da inicio al cuarto día donde surge su primera pendiente significativa de: -1,3 mantenerse en ese punto de pérdida de peso continuo al activarse la enzima que representó el 12,15 % desde su día inicial al final del análisis, al contrario de lo que sucede con la manzana magullada a 4°C (figura 5) que su proceso de putrefacción empieza al día dieciséis con punto pendiente con su valor es de: -0,53 , demostrando una leve pérdida de peso que representa el 5,11% del peso total e impidiendo la descomposición acelerada de los polifenoles .

El valor de la energía de activación se pudo obtener haciendo uso de la ecuación de Arrhenius, ya que, esta demuestra como la velocidad de reacción en un sistema aumenta al incrementa su temperatura.

De acuerdo con la ecuación de Arrhenius:

$$k = Ae^{-\frac{Ea}{RT}}$$

Se toma logaritmos neperianos, y queda:

$$\ln k = \ln A - \frac{Ea}{RT}$$

Se toma los subíndices 1 y 2 para referirse a las temperaturas dadas, 4°C y 25°C, respectivamente:

$$\ln k_1 = \ln A - \frac{Ea}{RT_1} \quad ; \quad \ln k_2 = \ln A - \frac{Ea}{RT_2}$$

Restando las dos ecuaciones, resulta:

$$\ln k_2 - \ln k_1 = -\frac{Ea}{RT_2} - \left(-\frac{Ea}{RT_1}\right)$$

$$\ln \frac{k_2}{k_1} = \frac{Ea}{R} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}\right)$$

Siendo proporcionales las velocidades con los valores de la constante, entonces:

$$\frac{k_2}{k_1} = \frac{V_2}{V_1} = \frac{4 \text{ (días}^{-1}\text{)}}{16 \text{ (días}^{-1}\text{)}} = 4$$

$$\ln 4 = \frac{Ea}{8,314 \text{ J.mol}^{-1}\text{K}^{-1}} \left(\frac{1}{277\text{K}} - \frac{1}{298\text{K}}\right)$$

$$\ln 4 = \frac{Ea}{8,314 \text{ J.mol}^{-1}\text{K}^{-1}} * 2,54 \times 10^{-4} \text{ K}^{-1}$$

$$**Ea = 4,61 \times 10^4 \text{ J.mol}^{-1}**$$

Esto quiere decir que su energía de activación es baja porque la enzima activada de fase biológica se reduce pero incrementa su velocidad de descomposición.

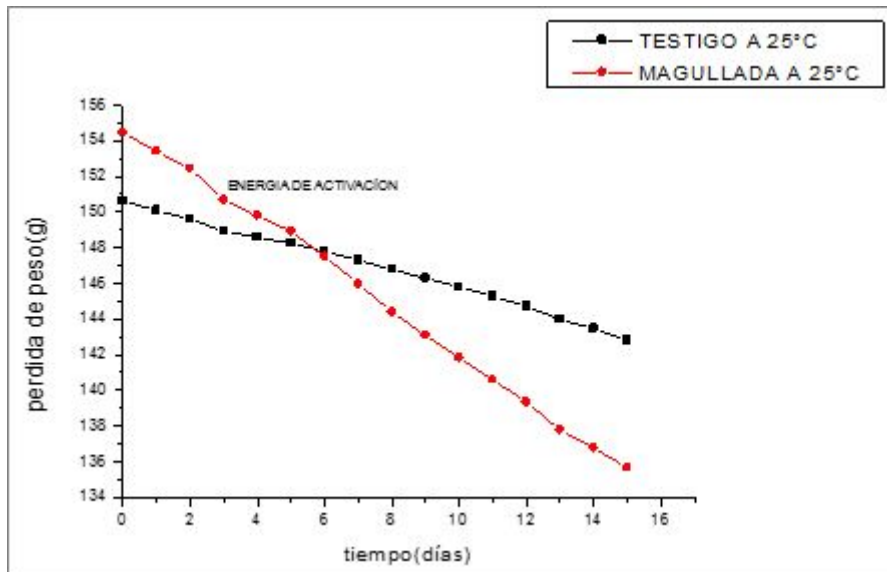


Figura 4: Activación de la enzima PPO en una manzana Royal gala magullada a temperatura ambiente (25°C). **Fuente:** Elaboración propia

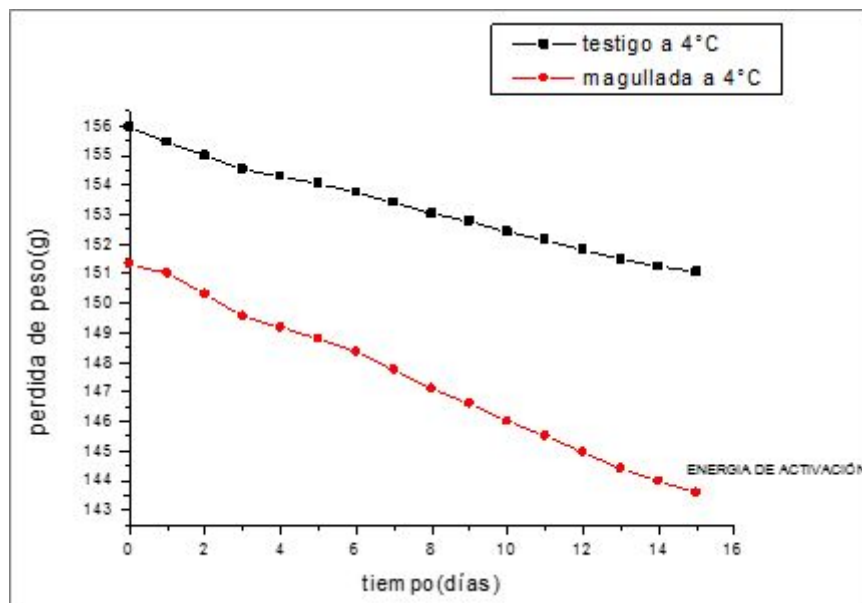


Figura 5: Activación de la enzima PPO en una manzana Royal gala magullada sometida a congelación (4°C). **Fuente:** Elaboración propia

Como parte de una comparación con respecto a la figura 4 se realizó una variable con la misma variedad de manzana pero, sin lesiones por magulladura, a 25°C por dieciséis días y adición de 2,5ml de pectina.

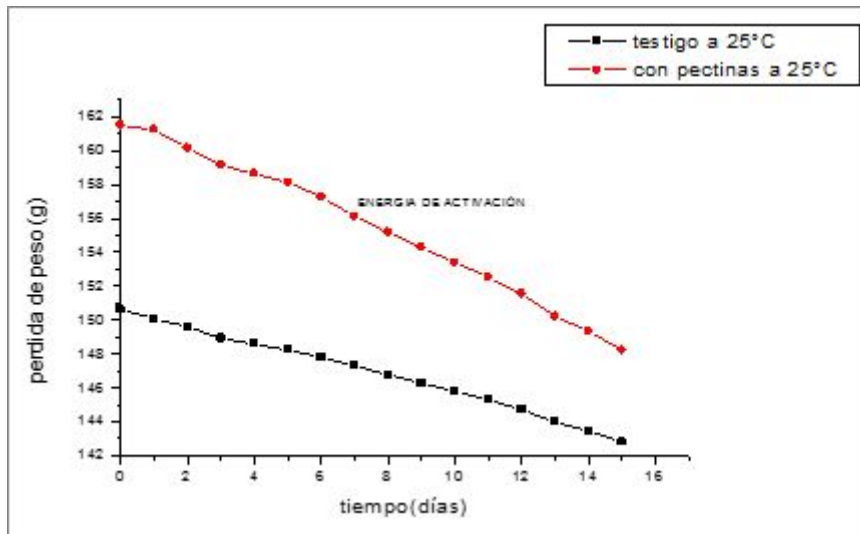


Figura 6: Activación de la enzima PPO en una manzana Royal gala a temperatura ambiente (25°C), con adición de pectina. **Fuente:** Elaboración propia

En la figura 6, se puede observar como en el sexto día comienza la caída de pendiente, manteniéndose en -0,9, esto representa una aceleración en el proceso de putrefacción, esta pérdida de peso y el deterioro por la oxidación enzimática viene por la activación de la enzima PPO. La pérdida de peso total fue de 13,27 gr durante los dieciséis, lo que representa el 8,22 % de su peso total inicial.

Por medio de las pendientes de las curvas, se puede comparar la velocidad de descomposición a las diferentes condiciones, siendo los valores, para 4°C= -0,5 25°C magullada = -1,3 y 25°C con pectina = -0,9, encontrándose que la velocidad de descomposición de la fruta con magulladura supera la descomposición por efecto del PPO, y como se esperaba estas superan a la de 4°C.

CONCLUSIONES

Se determinó la energía de activación en la descomposición de una manzana *Royal gala* magullada a temperaturas de entre 4 y 25°C, siendo $E_a = 4,61 \times 10^4 \text{ Jmol}^{-1}$ es baja por los polifenoles en oxidación son de fase biológica por tanto se reduce y se incrementa la velocidad de putrefacción.

La temperatura tiene una influencia en la velocidad de descomposición, ya que al 4°C se alcanza una pérdida total de peso de 11,04 g menos que a su equivalente a 25°C.

El empleo de la enzima PPO en la manzana sin magulladura no provoca un efecto similar a la fruta magullada, ya que la pérdida total de peso fue 5,50 g menos que la magullada.

Se comprobó que la magulladura es una forma perjudicial para la degradación de la manzana *Royal gala*.

Las pendientes decrecientes obtenidas en las gráficas estudiadas de descomposición demuestran que la manzana con magulladura a 25°C presenta la velocidad de descomposición más alta.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) Hidalgo, R.; Gómez, M.; Escalera, D.; Rojas, P.; Moya, V.; Delgado, P.; Mamani, C.; Hinojosa, J. *Rev. Investig. e Inf. en Salud* **2016**, 58–64
- (2) Hermosillo, G.; Quezada, M.; Moreno, J.; Pascual, S.; Trejo, M. *cols Rev. Iber. Technol. Postcosecha* **2015**, 16 (2), 281–286
- (3) Anchatuña, A.; Villagómez, M. Determinación de parámetros físico-químicos en poscosecha en fruto de manzano cosechados en tres estados de madurez en tres variedades (Golden delicious, Royal gala, Emilia) con la aplicación de ceras en el cantón Cevallos, Universidad Técnica de Cotopaxi, **2011**
- (4) García Navarrete, O. L. Detección temprana de daños mecánicos por golpe en el manejo poscosecha de la manzana Fuji a través de imágenes hiperespectrales, Universidad Nacional de Colombia, **2013**
- (5) Huang, W.; Li, J.; Wang, Q.; Chen, L. *J. Food Eng.* **2015**, 146, 62–71
- (6) Briz, J.; García, J.; Ruiz-Altisent, M. *Daños mecánicos en manzana «Golden»*; **1994**
- (7) Baranowski, P.; Mazurek, W.; Wozniak, J.; Majewska, U. *J. Food Eng.* **2012**, 110 (3), 345–355
- (8) Rodríguez, L.; Ruiz, M. **1992**, 7 (1)
- (9) Denoya, G. I.; Ardanaz, M.; Sancho, a. M.; Benítez, C. E.; González, C.; Guidi, S. *Rev. Investig. Agropecu.* **2012**, 134, 3–7
- (10) Guerrero, C. **2009**, 91
- (11) Dolz, P. **2008**, 1–64
- (12) Letosa, M. Estudio del desarrollo del fruto en variedades de manzana con distinta susceptibilidad al bitter pit., 2003
- (13) Pacheco, L. Determinación De Nutrientes En Manzanas De Las Variedades Fuji Royal, Granny Smith Y Fuji En Frutos Libres Y Afectados Por Bitter Pit, Universidad de Chile, 2009
- (14) FAUTAPO. **2014**
- (15) Alcántara, M. Estimación de los daños físicos y evaluación de la calidad de la fresa durante el manejo poscosecha y el transporte simulado, 2009
- (16) Ceballos, C.; Ruiz, M. **1990**
- (17) Pereyra, M. Desarrollo de manzana trozada minimamente procesada y determinación de vida útil, 2011
- (18) Miranda, G. Influencia de la temperatura, en el envase y la atmósfera en la conservación de uvas pasas y de albaricoque deshidratados., 2004
- (19) Carriel, J.; Agnieszka, A.; Bru-martínez, R.; Patiño, M.; Pico-Saltos, R.; Nieto, E. *Cienc. y Technol. UTEQ* **2014**, 7 (1), 23–31

- (20) Civera, M. EFECTO COMBINADO DE LA APLICACIÓN DE ALTAS PRESIONES HIDROSTÁTICAS Y STEVIA REBAUDIANA SOBRE LA ACTIVIDAD DE PEROXIDASA Y POLIFENOLOXIDASA, 2012
- (21) Muñoz, K.; Bravo, K.; Zapata, P.; Londoño, J. *Sci. Tech.* **2007**, *13* (33), 161–164
- (22) Trujillo N, Y.; Urrutia O, W.; Pabón, J. *Cienc. y Technol. Aliment.* **2011**, *9* (2), 161–166
- (23) Gutiérrez Valencia, T. M.; Hoyos Saavedra, O. L.; Cuervo Ochoa, G. *Biotecnología en el Sect. Agropecu. y Agroindustrial* **2016**, *14* (1), 126
- (24) Lozano, G.; García, Y.; García, S.; Ortiz, C. *Introducción a la termodinámica y a las enzimas*; 2016

ANEXOS



Figura 7: Toma de peso de la manzana *Royal gala*. **Fuente:** Elaboración propia.



Figura 8: Manzanas *Royal gala* sometidas a temperaturas de 4°C (izquierda) y 25°C (derecha).
Fuente: Elaboración propia.



Figura 9: Adición de pectina en manzanas *Royal gala*. **Fuente:** Elaboración propia.

