



Dirección de Investigación

Subdirección de Programación y Evaluación



Proyecto de Investigación 2018

Unidad:	Saltillo	División:	Ciencia Animal	Departamento:	Ciencia y Tecnología de Alimentos
Tema estratégico (ANA/PEP):		<b>ANA:</b> Bioeconomía <b>Área del conocimiento:</b> Ingeniería y Tecnología/ Ingeniería de Materiales/Materiales funcionales			
Línea de investigación:		Conservación de Alimentos			
Título del proyecto: Caracterización y funcionalización de empaques activos biodegradables					
Presupuesto solicitado (Máximo \$75,000)		75,000	El proyecto es:		Nuevo <input type="checkbox"/> Continuidad <input checked="" type="checkbox"/>
Tipo de investigación:		Básica <input type="checkbox"/> Aplicada <input checked="" type="checkbox"/> Tecnológica <input type="checkbox"/>	e-mail del responsable		maryhg12@yahoo.com
Vinculación:		Si <input checked="" type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>	Fondos concurrentes: <input type="checkbox"/>		
Cooperante(s):		Universidad Autónoma de Ciudad Juárez			
Entidad (es):		Coahuila/ Chihuahua	Municipio (s): Saltillo / Ciudad Juárez		
Localidades:		Saltillo / Ciudad Juárez			
A realizar durante el(los) año(s):		2018			

Participantes	Adscripción (Clave Depto.)	Expediente No.	Firma
Responsable	María Hernández González	3624	3496
Colaborador:	MC. Haydeé Yajaira López De La Peña	3624	3715
Colaborador:	MP Francisco Hernández Centeno	3624	3714
Colaborador:	Dra. Dolores Gabriela Martínez Vázquez	3624	3869
Colaborador:	PhD. Claudia Alejandra Rodríguez González	UACJ	
Colaborador:			
		Grado por obtener	Matrícula
Tesista:	Francisco Javier Sánchez Salas	Licenciatura	41136334
Programa Docente:	Ingeniero en Ciencia y Tecnología de Alimentos		
Tesista:			
Programa Docente:			
Tesista:			
Programa Docente:			

Vo. Bo.		Autoriza	
Firma y sello			
Nombre	Dra. Dolores Gabriela Martínez Vázquez Jefe de Departamento	Dr. Armando Robledo Olivo Subdirector de Programación y Evaluación	

Cada Jefe de Departamento deberá dejar copia para su archivo



1.-Título del proyecto

Presupuesto solicitado:

Caracterización y funcionalización de empaques activos biodegradables	\$75,000.00
---	-------------

2.- Introducción

Los problemas medio ambientales derivados del elevado consumo de material plástico en diversos sectores, y del hecho de que el petróleo es una fuente de energía no renovable, cada vez más escasa, han conducido a una continua evolución del sector. El desarrollo de materiales de envasado a partir de biomateriales supone el uso de materiales amigables con el medio ambiente (Mañosos, 2011).

Múltiples estudios se han centrado en innovar y desarrollar sistemas de envasado empleando biomateriales, los criterios para la selección de un biomaterial incluyen aspectos técnicos como son las propiedades físico-químicas, mecánicas y de barrera, ya que, si no se poseen dichas propiedades, el envase puede desarrollar grietas, agujeros o zonas frágiles (Rodríguez, 2012).

Otro factor importante es el que se refiere a las interacciones con el producto contenido para alargar la vida útil de los mismos, manteniendo su calidad, estos empaques denominados activos tienen múltiples funciones, antimicrobiano, antioxidante, secuestradores de oxígeno, etc. (Suppakul, 2003).

Para que un envase activo pueda llevar a cabo sus funciones se requiere de la presencia de un principio activo que realice dicha función, por lo que es necesario establecer las metodologías para la inclusión de los mismos al biomaterial base, a este proceso se le conoce como funcionalización (Sanghvi, 2005).

Los aditivos químicos han sido empleados con este fin, sin embargo, los consumidores exigen cada vez más productos alimentarios con características lo más cercanas a lo natural (Sauceda, 2011). Los extractos derivados de diversas plantas mexicanas están siendo muy bien aceptadas por los consumidores; destacándose el aceite esencial de orégano que presenta propiedades antioxidantes y antimicrobianas: fungistático y antibacteriano atacando a la mayoría de las bacterias patógenas, debido a dos componentes el timol y el carvacrol (Silva, 2003).

El establecimiento tanto de las condiciones como la caracterización, para la obtención de un biomaterial biocompatible, funcionalizado con un antimicrobiano natural, con propiedades mecánicas aceptables, que permita su liberación de manera prolongada, para así inhibir tanto el desarrollo de flora corruptora de alimentos, como su envejecimiento; resulta un área de interés (Porrás, 2012).

La polisuccinimida es un biomaterial biodegradable y biocompatible (Tudorachi, 2011) que ha cobrado atención recientemente en los ámbitos tanto farmacéutico como alimentario, que puede ser probado como base para el desarrollo de un empaque activo, con propiedades tanto térmicas como mecánicas aceptables.



## Objetivos

- Elaborar un material de empaque a base de polisuccinimida variando las concentraciones de almidón y glicerol, como agentes de entrecruzamiento.
- Caracterizar, térmica y mecánicamente las muestras Polisuccinimida-Almidón-Glicerol obtenidas.
- Establecer las condiciones para la funcionalización, de la muestra que presente propiedades térmicas y mecánicas mas adecuadas para el desarrollo de un biomaterial de empaque.
- Caracterizar química, térmica y mecánicamente los biomateriales en estado libre y funcionalizados.

## Hipótesis

Es posible obtener un biomaterial biodegradable a base de polisuccinimida con propiedades térmicas y mecánicas que satisfagan las necesidades de los empaques alimentarios, mediante su entrecruzamiento con almidón y glicerol, para el desarrollo de un empaque activo.

## 3.-Revisión de Literatura

El auge de la petroquímica durante la segunda mitad del siglo pasado ha marcado un fuerte desarrollo de la producción de polímeros sintéticos. La disponibilidad de un número creciente de monómeros a partir de los recursos fósiles ha suplantado durante algún tiempo al uso de productos químicos de base biológica y sus polímeros correspondientes. Por diferentes razones, principalmente económicas, durante mucho tiempo no se invirtió en el desarrollo de los recursos renovables en la química. Sin embargo, el aumento del uso de combustibles fósiles asociada a la falta de disponibilidad de algunas fracciones de gasolina y una conciencia cada vez mayor en relación con los impactos humanos sobre el medio ambiente han dado lugar a un fuerte interés renovado en el uso de recursos sostenibles para la energía y materiales (Laurichesse, 2014).

Comúnmente se mencionan las consecuencias de la vida en la tierra si no se hace un cambio inmediato en el uso de los polímeros convencionales a los polímeros biobasados (Scholz, 2006; Mohanty *et al.*, 2005).

Desde el punto de vista de la opinión pública, las principales directrices para el desarrollo de empaques biodegradables son los problemas de los residuos sólidos, de la basura y la contaminación del medio marino debido al uso de materiales no biodegradables (Narayan, 2006).

El desarrollo de biomateriales a base del ácido poliaspártico (PASP), es prometedor, ya que pertenece a la familia de polipéptidos sintéticos y es un polímero biodegradable y soluble en agua. Debido en parte al grupo carboxílico, el PASP tiene alguna similitud en propiedades químicas con el ácido poli acrílico (PAA). Como compuesto biocompatible que no causa efectos tóxicos o mutagénicos, el PASP puede ser usado en la industria médica, cosmética y alimenticia. También es considerado como un producto químico sustentable y ambientalmente amigable, debido a su biodegradabilidad, que lo hace particularmente valioso desde el punto de vista medioambiental. Debido a la completa degradabilidad y a sus aplicaciones potenciales en las áreas biológicas y farmacéuticas, el PASP y sus derivados como la polisuccinimida (PSI) y la polihidroxietilaspartamida, han atraído fuertemente la atención (Tudorachi, 2011).

Gran parte de los polímeros se destinan al envasado de alimentos, los cuales en un inicio tenían como finalidad ser un medio contenedor, que identifica e informa sobre el producto, la barrera física entre el alimento y el exterior, protegiéndolo de las influencias externas como: microorganismos, oxígeno, malos olores, en algunos casos, de la luz; de igual manera garantizar la fácil manipulación en las operaciones antes de ser consumido, entre otros. Por lo tanto, ser inertes cuando se pongan en contacto con el alimento es el objetivo clave de estos materiales, es decir, debe haber un mínimo de interacción entre los alimentos y el envase. En las últimas décadas, uno de los desarrollos más innovadores en el área de empaquetado de alimentos es el envasado activo e inteligente; estos se desarrollan apoyados en las interacciones deliberadas entre el alimento, envase y medio ambiente (Dainelli, 2008).

El empackado inteligente es definido como un sistema capaz de monitorizar y comunicar información acerca del estado del producto a lo largo de la cadena de procesado y tiempo de vida útil, mediante la incorporación de un elemento de



respuesta a cambios.

El envasado inteligente comunica y/o registra al consumidor cambios en el alimento o en su entorno. Esto permite detectar irregularidades a través de toda la cadena hasta su consumo, lo que se traduce en una cadena de suministro más segura y eficiente, reduciendo las pérdidas por alimentos, residuos, logística, trazabilidad y transporte (Heising *et al.*, 2014).

Por otro lado se define envase activo, al envasado en donde existe una interacción envase-producto-entorno para alargar la vida útil de los alimentos, mejorar las propiedades organolépticas y/o inocuidad alimentaria, manteniendo la calidad del producto (Suppakul *et al.*, 2003). Otra definición es la que establece la Unión Europea, incluida en el reglamento marco sobre los materiales y objetos destinados a entrar en contacto con alimentos (1935/2004), que cita que los materiales activos están destinados a ampliar el tiempo de conservación, mantener o mejorar el estado de los alimentos envasados y que están diseñados para incorporar deliberadamente componentes que transmitan o absorban sustancias a los alimentos envasados y/o al entorno de estos" (Parlamento Europeo y del Consejo, 2004).

Los principios activos de los envases activos están basados en las propiedades intrínseca del polímero utilizado como material del envase en si o en inclusión, atrapamiento, etc. de determinadas sustancias en el interior del polímero (Gontard, 2000. Citado por Dainelli *et al.*, 2008).

Las metodologías empleadas para la inclusión del principio activo, se basan en el recubrimiento de la cara interna del envase, con una capa que contiene el agente activo (aspersión, laminado, sumersión). La otra alternativa es la extrusión, donde el agente activo se incluye junto con el resto de los componentes durante la formación del envase. La naturaleza de los agentes activos que pueden añadirse es muy diversa (ácidos orgánicos, enzimas, bacteriocinas, fungicidas, extractos naturales, iones, etanol, etc.), así como la de los materiales en los que se van a incluir (matriz) tales como: papeles, polímeros, plásticos, metales o combinaciones de éstos (Dainelli, 2008).

Para determinar la mejor metodología, desde el punto de vista tecnológico y fisicoquímico, es importante conocer a detalle la naturaleza del elemento activo y las interacciones con la matriz del envase durante dicho procesamiento. Antes de que los materiales biobasados puedan ser utilizados exitosamente en la industria del empaque, se deben evaluar tanto características físico químicas como las mecánicas, ya que deben encontrarse en un rango aceptable, a un costo razonable.

Las principales características físico-químicas, se señalan a continuación:

#### **Análisis por espectrofotometría infrarroja**

El análisis infrarrojo permite conocer los grupos funcionales de compuestos orgánicos. A través de esta técnica se puede interpretar el espectro y compararlo con bases de datos especializadas para determinar la presencia de grupos funcionales definidos en la estructura molecular (Pretsch, 2000).

La Espectroscopía molecular es el estudio de la interacción de la radiación electromagnética con la materia. Dependiendo de la región del espectro en la que se trabaje y, por tanto, de la energía de la radiación utilizada (caracterizada por su longitud o número de onda), esta interacción será de diferente naturaleza. La molécula, al absorber la radiación infrarroja, cambia su estado de energía vibracional y rotacional. Las transiciones entre dos estados rotacionales requieren muy poca energía, por lo que solo es posible observarlas, específicamente, en el caso de muestras gaseosas. En el caso del estudio del espectro infrarrojo de muestras sólidas y líquidas, sólo se tienen en cuenta los cambios entre estados de energía vibracional, lo que hace posible la caracterización de los principales grupos funcionales de la estructura molecular de un compuesto. Aunque el espectro infrarrojo se extiende desde 10 a 14000  $\text{cm}^{-1}$ , aproximadamente, desde el punto de vista funcional y de sus aplicaciones se divide en tres zonas: IR lejano, IR medio y el IR cercano (Torres, 2013).

#### **Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC)**

La calorimetría diferencial de barrido (DSC) es una técnica de análisis térmico basada en la medición cuantitativa del calor absorbido o liberado por una muestra cuando esta es calentada enfriada o permanece a temperatura constante. La energía absorbida o liberada por la muestra se debe a que el material sufre un cambio físico (fusión, cristalización de estructuras cristalinas, etc.) o químico (síntesis, descomposición) y es compensada por la adición o sustracción de una cantidad equivalente de energía eléctrica la cual actúa a través de un calentador localizado en el porta muestras



(Kampf, 1986).

La finalidad de los sistemas térmicos diferenciales es registrar la diferencia entre el cambio de entalpía que tiene lugar entre una muestra y algún material inerte de referencia cuando ambos son calentados (Lund, 1983).

### **Análisis Termo- gravimétrico (TGA)**

El análisis termo-gravimétrico (TGA, por sus siglas en inglés), es una técnica que se basa en la determinación de la pérdida de masa que experimenta una muestra al ser sometida a un programa térmico, la medición se lleva a cabo en atmósferas perfectamente controladas, habitualmente N<sub>2</sub> (condiciones inertes) o bien aire u O<sub>2</sub> (condiciones oxidativas).

En la investigación de polímeros verdes, el TGA ha sido usada para obtener la siguiente información:

- Temperaturas de descomposición.
- Picos de temperatura de curvas derivadas de TG.
- Residuos de masa a temperatura, en rangos de 720 a 870 K.
- Pérdidas de masa por vaporización de sustancias de bajo peso molecular.
- Energía de activación de descomposición e índice de descomposición (Hatakeyama, T. & Hatakeyama, H. 2004;2005).

### **Análisis Dinámico mecánico (DMA)**

El DMA puede ser descrito simplemente como la fuerza aplicada a una oscilación de fuerza a una muestra y un análisis de la respuesta de un material hacia aquella fuerza (Menard, 1999).

La siguiente información puede ser obtenida por mediciones visco elásticas de polímeros verdes:

- Modulo dinámico, módulo de pérdida y tangente de  $\delta$  como función de la temperatura y frecuencia.
- Temperatura de la relajación de la cadena principal (Transición vítrea)
- Temperatura de modo de relajación local

Energía de activación de cada relajación (Menard, 1999).

En cuanto a las propiedades mecánicas de interés en los polímeros destinados al desarrollo de empaques alimentarios se encuentran:

#### **Dureza**

El término dureza es relativo a la vez que general. Propiedades tales como la resistencia al rayado, y a la resistencia a la abrasión están relacionados con la dureza del material. Existen una serie de instrumentos para medir la capacidad de un material para resistir el rayado y el desgaste. Hay varias escalas de dureza relativa.

La dureza Shore es un ensayo dinámico de dureza de rebote, que mide la relación elástica del material cuando se deja caer sobre él o se intenta penetrar con un material más duro. Mientras más blando sea el material, mayor cantidad de energía se absorberá en el choque. El resto de la energía se traduce en un rebote (Seymour, 1995).

#### **Resistencia al impacto**

Cuando un material es sujeto a un golpe repentino y violento, en el que la velocidad de deformación es extremadamente rápida, se puede comportar en una forma mucho más frágil que la que se observa en otro tipo de pruebas, por ejemplo en el ensayo de tensión. Esto, se puede observar en muchos plásticos, ya que al estirarlo con mucha lentitud, las moléculas de polímero tienen tiempo de desenredarse o las cadenas de deslizarse entre sí y permitir deformaciones plásticas grandes.

Sin embargo, si se aplica una carga de impacto, el tiempo es insuficiente para que esos mecanismos jueguen un papel en el proceso de deformación, y los materiales se rompen en forma frágil. Con frecuencia se usa un ensayo de impacto para evaluar la fragilidad de un material bajo estas condiciones. En contraste con el ensayo de tensión, en el de impacto las tasas de deformación unitaria son mucho mayores.



En general, los ensayos de resistencia al impacto son medidas de la tenacidad o capacidad de una muestra de resistir un golpe, como por ejemplo una caída desde una altura determinada o, como ya se ha dicho, determinado por la energía necesaria para romper una muestra (Seymour, 1995).

Las propiedades mecánicas de un polímero pueden ser reguladas variando sus estructuras moleculares y su composición como copolímeros, de acuerdo con las necesidades del uso destinado. Por ejemplo el polihidroxitirato (PHB) es un polímero termoplástico altamente cristalino, muy parecido al polipropileno (PP) isostático con respecto a su comportamiento mecánico. Aunque el polímero del polihidroxitirato (PHB) es relativamente rígido y frágil, la introducción de monómeros de HV mejora considerablemente sus propiedades mecánicas, reduciendo el nivel de cristalinidad y el punto de fusión, teniendo menor rigidez, pero una mejora en la dureza o resistencia al impacto (Bohlmann, 2005). Como consecuencia, la familia de poliésteres de PHA (polihidroxialcanoato) presenta una gran variedad de propiedades, desde duro y cristalino hasta gomas elásticas (Sudesh *et al.*, 2000).

Por otro lado, recubrimientos de películas de celulosa acetilada con PHB, mostraron módulos elásticos y fuerza tensora más elevados al adicionarlos con 10% o más de PHB, así como mejor resistencia al quiebre que las películas que contiene 15% o más de PHB (Cyras *et al.*, 2009).

Por lo anteriormente expuesto el presente trabajo tiene como objetivo elaborar un empaque activo biodegradable basado en polisuccinimida y almidón, funcionalizado con un aditivo natural, cuyas propiedades térmicas y mecánicas satisfagan las expectativas que de un empaque alimentario se esperan.

#### 4.- Procedimiento Experimental

1. Elaborar los materiales base: almidón gelatinizado, polisuccinimida mediante policondensación térmica de acuerdo a lo establecido por Nery
2. Preparar diferentes muestras PSI-almidón glicerol, para su posterior termoconformación
3. Evaluar las propiedades térmicas, de las diferentes muestras mediante TGA (análisis termogravimétrico), DSC (Calorimetría Diferencial de Barrido) y DMA (Análisis Dinámico Mecánico).
4. Evaluar las propiedades mecánicas de las diferentes muestras mediante pruebas de Dureza (Shore D), Resistencia al Impacto de materiales plásticos (Izod y Gardner), Flexión y torsión.
5. Seleccionar la muestra que mejor cumpla con las características para el desarrollo de un empaque alimentario y establecer las condiciones para su funcionalización.
6. Evaluar térmica y mecánicamente el material funcionalizado, mediante las pruebas antes mencionadas, así como químicamente, mediante espectrofotometría infraroja por transformadas de Fourier y microestructura, mediante microscopía electrónica de barrido.

#### Cronograma de Actividades para el 2018.

Actividad por realizar	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
- Revisión de literatura	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
- Elaboración de los biomateriales base		X	X									
- Mezclado y termoconformado de las diversas formulaciones PSI-almidón-glicerol			X	X								
- Evaluación térmica y mecánica de las muestras				X	X	X						
- Análisis de datos						X	X					
- Funcionalización							X	X				
- Evaluación térmica, mecánica y química del bioempaque funcionalizado								X	X			
- Realización de ajustes									X	X		
- Tratamiento de datos									X	X		
- Escritura de artículo científico								X	X	X	X	X
- Escritura de tesis de licenciatura					X	X	X	X	X	X	X	X



Cronograma de distribución de presupuesto para el 2018.

Actividad por realizar	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Adquisición de reactivos	X	X	X									
Adquisición de material de laboratorio		X	X									
Consumibles		X	X									
Material de oficina para elaboración de los productos comprometidos							X	X	X	X	X	
Asistencia a congreso							X	X				
Gasolina				X	X		X	X				
Viáticos para realizar análisis en equipos especiales de la institución cooperante				X	X		X	X				

Duración total del proyecto

Año de Inicio	2018	Año estimado de conclusión	2019
---------------	------	----------------------------	------

5.-Productos Esperados

- 1 Artículo científico.
- 1 Ponencia en congreso internacional.
- 1 Tesis de licenciatura
- Formación de recursos humanos (1 Tesista de licenciatura, 2 estudiantes de licenciatura en trabajo de investigación, vía servicio social).

6.-Literatura Citada

1. Cyras, V. P., Commisso, M. S., & Vazquez, A. (2009). Biocomposites based on renewable resource: acetylated and non acetylated cellulose cardboard coated with polyhydroxybutyrate. *Polymer*, 50(26), 6274-6280.
2. Dainelli, D. Gontard, N., Spyropoulos, D., Zondervan-van den Beuken, E., & Tobback, P. (2008) "Active and intelligent food packaging: Legal aspects and safety concerns". *Trends in Food Science & Technology*, 103-112.
3. Hatakeyama, T. & Hatakeyama, H. (2004;2005) *Thermal Properties of Green Polymers and Biocomposites*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
4. Heising, J., Dekker, M., Bartels, P., & Van Boekel, M. (2014). Monitoring the quality of perishable food: opportunities for intelligent packaging *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* pp. 645-654.
5. Kampf, G. (1986) "Characterization of Plastics by Physical Methods" Haser publishers.
6. Laurichesse, S; Averous, L. (2014). "Chemical modification of lignins: Towards biobased polymers" *Progress in polymer science*, vol. 39, No. 7, pp.1266-1290.
7. Lund, D.B. (1983) Applications of differential scanning calorimetry in foods. En *Physical properties of foods*. Edit. M. Pelleg y L. Baglye. Eonneticur, AVI pp. 125-155.
8. Marcos Mutual, B. (2011). *Tecnologías de Conservación Emergentes de Productos Cárnicos*. *Mundo Lácteo y Cárnico*, 24-31.
9. Menard, Kevin Peter. (1999). *Dynamic mechanical analysis: a practical introduction*. Boca Raton Londond New York Washington, D.C.
10. Narayan, P. (2006) "Biobased and biodegradable polymer materials: rationale, drivers and technology exemplars" in Khemani K and Scholz C (Eds), *Degradable Polymers and Materials: Principles and Practice*,



11. Parlamento Europeo y del Consejo (2004). Reglamento (CE) sobre los materiales y objetos destinados a entrar en contacto con alimentos.
12. Porras, M., Madrigal, S., & Baudrit, J. V. (2012). Síntesis de nanopartículas poliméricas de quitosano funcionalizadas con extractos de la mora (*Rubrus glaucus*) y su evaluación preliminar como agentes antimicrobianos. *Revista Científica de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia*, 22(1), 81-91.
13. Pretsch E., Bühlmann P. & Affolder C. (2000). Structure Determination of Organic Compounds. Tables of spectral data. 3rd ed. Berlín: Springer. 421p.
14. Rodríguez Cortina, J. (2012). "efecto de la temperatura de termoconformado sobre las propiedades funcionales de películas de gliadinas" (Doctoral dissertation).
15. Sanghvi, A. B., Miller, K. P. H., Belcher, A. M., & Schmidt, C. E. (2005). Biomaterials functionalization using a novel peptide that selectively binds to a conducting polymer. *Nature materials*, 4(6), 496-502.
16. Scholz, C. Khemani, K. (2006). "Introduction in Khemani K and Scholz E (Eds), Degradable Polymers and Materials: Principles and Practice, ACS Symposium" Series No. 939, American Chemical Society, pp 2-11.
17. Seymour, R.B., Charles, E.C., (1995) Introducción a la química de los polímeros. Reverte.
18. Silva Vazquez, R, (2003) El Orégano (Los nuevos caminos de la agricultura) Folleto Técnico CONAZA CIRENA (Centro de Investigación para los Recursos Naturales). Saltillo, López Chihuahua.
19. Sudesh k, abe h, doi y (2000), 'Synthesis, structure and properties of polyhydroxyalkanoates: biological polyesters', *Prog Polym Sci* 25, 1503-1555.
20. Suppakul, P., Miltz, J., Sommeveld, K., & Bigger, S. (2003). Active packaging technologies with an emphasis antimicrobial packaging and its applications. *Journal of Food Science*, 408-420.
21. Tudorachi, N., & Chiriac, A. P. (2011). TGA/FTIR/MS study on thermal decomposition of poly (succinimide) and sodium poly (aspartate). *Polymer Testing*, 30(4), 397-407.