



---

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**FACULTAD DE QUÍMICA**

**ELABORACIÓN DE BIOESPONJAS DE QUITINA EXTRAÍDA DEL CEFALOTÓRAX Y  
EXOESQUELETO DE CAMARÓN MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE PLASTIFICANTES  
NATURALES, ALMIDÓN DE MAÍZ**

**TESIS**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE**

**QUÍMICO DE ALIMENTOS**

***PRESENTA***

***SUSANA TOMÁS REYES***



**MÉXICO, D.F.**

**2014**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

**JURADO ASIGNADO:**

**PRESIDENTE: MARÍA DEL CARMEN DURÁN DOMÍNGUEZ DE BAZÚA**

**VOCAL: LANDY IRENE RAMÍREZ BURGOS**

**SECRETARIO: ARGELIA SÁNCHEZ CHINCHILLAS**

**1er. SUPLENTE: FEDERICO NIETO PINEDA**

**2° SUPLENTE: ROLANDO SALVADOR GARCÍA GÓMEZ**

**SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA:**

**LABORATORIOS 301, 302, 303, EDIFICIO E-3 ALIMENTOS Y QUÍMICA  
AMBIENTAL, CONJUNTO E, FACULTAD DE QUÍMICA, UNAM, CIUDAD  
UNIVERSITARIA**

**ASESOR DEL TEMA:**

**MARÍA DEL CARMEN DURÁN DOMÍNGUEZ DE BAZÚA \_\_\_\_\_**

**SUPERVISOR TÉCNICO:**

**ROLANDO SALVADOR GARCÍA GÓMEZ \_\_\_\_\_**

**SUSTENTANTE:**

**SUSANA TOMÁS REYES \_\_\_\_\_**

# ÍNDICE

	PÁGINA
<b>Resumen</b>	14
<b>CAPÍTULO 1. PROBLEMÁTICA</b>	15
<b>1.1. INTRODUCCIÓN</b>	15
<b>1.2. OBJETIVOS</b>	16
<b>1.3. ALCANCES</b>	17
<b>CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO</b>	15
2.1. POLÍMEROS	18
2.1.1. Polímeros naturales	18
2.1.2. Polímeros sintéticos	18
2.1.3. Polimerización	19
2.1.4. Aditivos	20
2.2. PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS MATERIALES	21
2.2.1. Propiedades en tensión	21
2.3. EL POLIESTIRENO	23
2.4. RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS	25
2.4.1. Generación de residuos plásticos	26
2.4.2. Reciclaje de residuos plásticos	26
2.5. EL ALMIDÓN	27
2.5.1. Gelatinización	28

2.5.2. Plastificación	28
	PÁGINA
2.6. QUITINA	29
2.7. BIODEGRADABILIDAD	29
2.7.1. Composta y compostaje	31
2.7.2. Intemperismo	33
<b>CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA</b>	34
3.1. OBTENCIÓN DEL CEFALOTÓRAX DE CAMARÓN PARCIALMENTE DESPROTEINIZADO	34
3.2. EXTRACCIÓN DE QUITINA	34
3.3. ELABORACIÓN DE ESPONJAS DE QUITINA-ALMIDÓN	36
3.4. REALIZACIÓN DE PRUEBAS MECÁNICAS	36
3.5. PRUEBA DE BIODEGRADABILIDAD	37
3.6. PRUEBA DE INTEMPERISMO	38
3.7. ANÁLISIS ESTADÍSTICOS	38
<b>CAPÍTULO 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	40
4.1. ELABORACIÓN DE ESPONJAS	40
4.2. RESULTADOS DE LAS PRUEBAS MECÁNICAS	41
4.2.1. Tensión en la carga máxima	41
4.2.2. Tensión en el punto de ruptura	44
4.2.3. Módulo de Young	45
4.2.4. Porcentaje de deformación	48

	PÁGINA
4.2.5. Tenacidad	50
4.3. PRUEBAS DE INTEMPERISMO	53
4.4. PRUEBAS DE BIODEGRADABILIDAD	55
<b>CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS</b>	60
5.1. CONCLUSIONES	60
5.2. EXPECTATIVAS	61
<b>ANEXOS</b>	63
<b>ANEXO 1. METODOLOGÍAS</b>	63
<b>ANEXO 2. REALIZACIÓN DE PRUEBAS MECÁNICAS</b>	66
<b>ANEXO 3. PRUEBA DE BIODEGRADABILIDAD</b>	72
<b>ANEXO 4. PRUEBA DE INTEMPERISMO</b>	73
<b>ANEXO 5. ACERVO FOTOGRÁFICO</b>	76
<b>ANEXO 6. DATOS ESTADÍSTICOS</b>	79
<b>ANEXO 7. ESTABILIZACIÓN Y DISPOSICIÓN DE LOS RESIDUOS GENERADOS EN ESTA INVESTIGACIÓN</b>	81
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	82

## LISTADO DE IMÁGENES, TABLAS Y DIAGRAMAS

		PÁGINA
<b>Imagen 2.1.</b>	Material sometido a ensayos de tensión (Kalpakjian y Schmid, 2002)	21
<b>Imagen 2.2.</b>	Curva esfuerzo-deformación en pruebas de tensión (Kalpakjian y Schmid, 2002)	23
<b>Imagen 2.3.</b>	Reacción Friedel-Crafts para el estireno (Primo, 1995)	24
<b>Imagen 2.4.</b>	Proceso de degradación de sólidos seguido durante el compostaje (Rodríguez-Salinas y Córdova-Vázquez, 2006)	30
<b>Imagen 2.5.</b>	Proceso involucrado en la maduración de la composta (Rodríguez-Salinas y Córdova-Vázquez, 2006)	32
<b>Imagen 4.1.</b>	Quitina extraída del cefalotórax y exoesqueleto del camarón	40
<b>Imagen 4.2.</b>	Elaboración de esponjas de quitina mezclada a diferentes proporciones de almidón	40
<b>Imagen 4.3.</b>	Esponjas para prueba de intemperismo a 0 días (izquierda) y 63 días (derecha)	54
<b>Imagen 4.4.</b>	Pilas de composta madura (izquierda). Resultado de prueba microbiológica realizada a la composta madura (derecha)	56
<b>Imagen 4.5.</b>	Esponjas de quitina-almidón al 0, 20, 40 y 50% (izquierda a derecha) y control de "unicel" (extrema derecha) después de la prueba de biodegradabilidad	57

	PÁGINA
<b>Imagen 4.6.</b> Comparación de muestras sometidas a biodegradabilidad e intemperismo (derecha a izquierda en cada foto) para las diferentes esponjas en estudio	59
<b>Imagen 4.7.</b> Equipo Instron 5500R, modelo 1125 empleado para caracterizar mecánicamente las esponjas de estudio (operado conforme al manual del equipo)	66
<b>Diagrama 3.1.</b> Obtención de harina de cefalotórax y exoesqueleto de camarón (Bárcenas, 2010)	35
<b>Diagrama 3.2.</b> Elaboración de esponjas de quitina-almidón a partir de cefalotórax y exoesqueleto de camarón	35
<b>Diagrama 3.3.</b> Determinación del tiempo de degradación de las esponjas en composta simulando su disposición en basura o residuos sólidos urbanos (control: "unicel")	37
<b>Diagrama 3.4.</b> Prueba de intemperismo de las esponjas usando como control "unicel"	39



	PÁGINA
<b>Tabla 2.1.</b> Generación de residuos sólidos urbanos por tipo de residuo, 1993 a 2010 (Modificado de INEGI, 2010 <sup>a</sup> )	26
<b>Tabla 2.2.</b> Reciclaje de residuos sólidos urbanos por composición, 2000 a 2009 (Modificado de INEGI, 2010 <sup>b</sup> )	27
<b>Tabla 4.1.</b> Rendimiento para la obtención de las esponjas	37
<b>Tabla 4.2.</b> Pruebas mecánicas para los diferentes tipos de esponja	38
<b>Tabla 4.3.</b> Análisis de varianza para la prueba de tensión en la carga máxima (MPa)	38
<b>Tabla 4.4.</b> Prueba de Duncan para la prueba de tensión en la carga máxima	39
<b>Tabla 4.5.</b> Análisis de varianza para la prueba de tensión en el punto de ruptura	40
<b>Tabla 4.6.</b> Prueba de Duncan para la prueba de tensión en el punto de ruptura	42
<b>Tabla 4.7.</b> Análisis de varianza para la prueba del Módulo de Young	43
<b>Tabla 4.8.</b> Método Duncan para la prueba del Módulo de Young	44
<b>Tabla 4.9.</b> Análisis de varianza para la prueba del porcentaje de deformación	45
<b>Tabla 4.10.</b> Prueba de Duncan para la prueba del porcentaje de deformación	49
<b>Tabla 4.11.</b> Análisis de varianza para la prueba de tenacidad	50
<b>Tabla 4.12.</b> Método Duncan para la prueba de tenacidad	51

	PÁGINA
<b>Tabla 4.13.</b> Recopilación de datos estadísticos usando el “unicel” como esponja control	52
<b>Tabla 4.14.</b> Recopilación de datos para las esponjas sometidas a intemperismo	53
<b>Tabla 4.15.</b> Recopilación de datos para las esponjas puestas en composta para la prueba de biodegradabilidad	57
<b>Gráfico 4.1.</b> Diferencia entre medias para la prueba de tensión en la carga máxima (intervalo de confianza del 95%)	43
<b>Gráfico 4.2.</b> Diferencia entre medias para la prueba de tensión en el punto de ruptura (intervalo de confianza del 95%)	45
<b>Gráfico 4.3.</b> Diferencia entre medias para la prueba del Módulo de Young (intervalo de confianza del 95%)	48
<b>Gráfico 4.4.</b> Diferencia entre medias para el porcentaje de deformación (intervalo de confianza del 95%)	50
<b>Gráfico 4.5.</b> Diferencia entre medias para la prueba de tenacidad (intervalo de confianza del 95%)	52
<b>Gráfico 4.6.</b> Prueba de intemperismo (periodo de 63 días) de las esponjas en estudio incluyendo el control de “unicel”	55
<b>Gráfico 4.7.</b> Prueba de bidegradabilidad (periodo de 57 días) de las esponjas en estudio incluyendo el control de “unicel”	58

## **GLOSARIO**

**A<sub>0</sub>**: área inicial (Imagen 2.2)

**Astricción**: Del lat. *astrictiō, -ōnis*. **1.** f. Acción y efecto de astringir. Del lat. *adstringēre*. **1.** tr. Dicho de una sustancia: Apretar, estrechar, contraer los tejidos orgánicos.

**CPD**: camarón parcialmente desproteínizado

**DS**: desviación estándar

**E**: elastómeros

**e**: deformación (Imagen 2.2)

**F**: tensión (Imagen 2.1)

**F<sub>máx</sub>**: tensión en la carga máxima (Imagen 2.1)

**F<sub>ruptura</sub>**: tensión en el punto de ruptura (Imagen 2.1)

**FTIR**: Siglas en inglés para espectroscopía infrarroja con transformada de Fourier

**INEGI**: Instituto Nacional de Estadística y Geografía (anteriormente, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). Organismo estadístico oficial mexicano

**Intemperie**: A cielo descubierto, sin techo ni otro reparo alguno (intemperismo no existe en el diccionario de la lengua española pero en meteorología se usa mucho para definir las condiciones climatológicas que modifican los materiales)

**MAC**: mezcla de metanol-agua-cloruro de calcio

**P:** carga (Imagen 2.2)

**QUIMAC:** quitina con solución MAC

**RSU:** Siglas para residuos sólidos urbanos

**TP:** polímeros termoplásticos, en inglés

**TS:** polímeros termofijos, en inglés

**UFC:** Unidades Formadoras de Colonias

**Unicel:** Nombre dado en México al poliestireno espumado

**Y:** esfuerzo de cedencia (Imagen 2.2), punto de fluencia o límite de elasticidad

### **Otros símbolos**

**L:** longitud (Imagen 2.2)

**L<sub>0</sub>:** longitud de calibración inicial (Imagen 2.1)

**L<sub>1</sub>:** longitud después del ensayo (Imagen 2.1)

**σ:** esfuerzo (Imagen 2.2)

## RESUMEN

La creciente utilización y el uso indiscriminado de plásticos sintéticos, como lo es el poliestireno espumado, han generado serios problemas ecológicos, debido a su poca eficiencia de recolección y manejo. En esta investigación se planteó como objetivo emplear la quitina, proveniente de cefalotórax y exoesqueletos del camarón como materia prima para la elaboración de bioesponjas con características mecánicas similares al poliestireno espumado (conocido en México como "unicel"), pero con la ventaja de ser biodegradables. Se planteó incorporar almidón de maíz, el cual posee propiedades termoplásticas que podrían proveer de una estructura fuerte y flexible a la bioesponja reduciendo el tiempo de degradación y permitiendo su competencia con el "unicel" en la fabricación de empaques de comida rápida. Se obtuvieron esponjas de quitina-almidón de maíz a diferentes concentraciones (0,20,40,50%), lográndose tener un mayor rendimiento comparado con las elaboradas únicamente con quitina. Las esponjas de quitina elaboradas al 50% de almidón fueron las que presentaron el mayor rendimiento siendo del 68.23%. Se compararon las esponjas de quitina y quitina adicionadas de almidón con las características mecánicas del poliestireno espumado ("unicel"). La esponja de quitina al 50% de almidón, fue la que presentó características mecánicas similares a las del "unicel", siendo la prueba de tensión en el punto de ruptura la única con diferencias estadísticamente significativas. Esta prueba reflejó que la esponja en cuestión posee mayor resistencia a la ruptura pudiendo ampliar su uso como contenedor de alimentos, presentando ventaja frente a los derivados del petróleo por su biodegradabilidad, tal como se observó en la presente investigación. Se corroboró que el uso de almidón de maíz, como plastificante natural, mejora la biodegradabilidad de las esponjas de quitina debido a la composición bacteriana presente en la composta y a su alta afinidad al agua (humedad). Además, se observó que las esponjas al 0% y 20% de almidón presentaron similitud en su caracterización mecánica, aunque la esponja al 20% de almidón se degradó con mayor facilidad. Se recomienda realizar estudios de caracterización mecánica empleando algún otro polímero sintético para compararlo con la esponja de quitina-almidón (50%) debido a que presentó gran resistencia a la ruptura y un buen rendimiento. También podría emplearse otro almidón (termoplástico o catiónico) cuyas características fisicoquímicas favorezcan la interrelación a nivel molecular con la quitina permitiendo asimilar la caracterización mecánica del "unicel", así como complementar la investigación con estudios de permeabilidad, ensayos de migración de componentes y pruebas toxicológicas, determinando su inocuidad para contener o empacar alimentos.

Palabras clave: Bioesponjas, quitina, cefalotórax y exoesqueleto de camarón, plastificantes naturales, almidón de maíz

## **CAPÍTULO 1. PROBLEMÁTICA**

### **1.1. INTRODUCCIÓN**

La creciente utilización y el uso indiscriminado de plásticos sintéticos, como lo es el poliestireno espumado, ha generado serios problemas ecológicos, debido a su poca eficiencia de recolección y manejo (Jiménez y col., 2006; Villada y col., 2008). Se estima que durante el 2009 se generaron 4173.60 miles de toneladas de plásticos, de los cuales 18.9 miles de toneladas fueron reciclados. Esto significa que únicamente se recicló el 0.45% de los plásticos correspondientes a los residuos sólidos urbanos (INEGI, 2010a, b). Además, la contaminación causada por estos tipos de materiales resulta alarmante, no sólo por ser materiales poco biodegradables sino porque para disminuir su cantidad, son incinerados produciendo gases contaminantes a la atmósfera (Pushpadass y col., 2010).

Actualmente, se está incorporando almidón a derivados del petróleo para coadyuvar en su degradación en menor tiempo dada su naturaleza orgánica. Además, hay alta disponibilidad de productos como el maíz, la yuca y la papa, los cuales son altamente cultivados a nivel mundial y son de bajo costo (Merchán y col., 2009), especialmente aquellas variedades que no se consideran aptas para consumo humano. No obstante, la parte que se degrada es aquella conformada únicamente de almidón, por lo que los residuos que no se encuentran ligados al almidón tendrán un tiempo de

degradación cercano al de los polímeros sintéticos. Por otra parte, investigaciones previas han empleado polímeros naturales como la quitina combinada con el sorbitol, sustancia usada como plastificante para la elaboración de sustitutos del poliestireno espumado (Bárcenas, 2010).

## **1.2. OBJETIVOS**

En esta investigación se planteó como objetivo emplear la quitina, proveniente del cefalotórax y exoesqueleto del camarón como materia prima para la elaboración de bioesponjas con características mecánicas similares al poliestireno espumado (conocido en México como "unicel"), pero con la ventaja de ser biodegradables. Aunado a esto, se planteó incorporar almidón de maíz, el cual posee propiedades termoplásticas que podrían proveer de una estructura fuerte y flexible a la bioesponja así como reducir el tiempo de degradación, permitiendo su competencia con el "unicel" en la fabricación de empaques de comida rápida. Dicha aseveración se probará realizando pruebas mecánicas de tensión en la carga máxima (MPa), tensión en el punto de ruptura (MPa), Módulo de Young (MPa), porcentaje de deformación (%) y tenacidad así como pruebas de intemperismo y biodegradabilidad a muestras elaboradas a nivel de laboratorio para probar la bondad de la propuesta tecnológica de aprovechamiento integral de residuos de crustáceos.

### **1.3. ALCANCES**

Con base en los resultados publicados por Bárcenas (2010), la quitina extraída del cefalotórax y exoesqueleto de camarón se emplea en la elaboración de esponjas y las características físicas y mecánicas finales dependen directamente del plastificante. Es por ello que en esta investigación se elaboraron esponjas de quitina empleando almidón como plastificante para mejorar las características mecánicas de la esponja de quitina y asimilar en lo posible las que posee el "unicel" (empleado como control) aunado con mejorar su biodegradabilidad, la cual podría depender directamente de la cantidad de almidón que se agregue.



## **CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO**

### **2.1. POLÍMEROS**

Un polímero es un compuesto que consiste de moléculas de cadena larga donde cada molécula está hecha de unidades repetitivas (monómeros) que se conectan entre sí (Gillespie y Beltrán, 1990). Los monómeros son, por tanto, sustancias químicas de baja masa molecular capaces de reaccionar consigo mismos o con otras sustancias (Groover, 2002). Los átomos se mantienen unidos por medio de enlaces covalentes mientras que la masa del material polimérico emplea fuerzas de Van der Waals y otros enlaces secundarios. Por consiguiente, al material polimérico lo estabilizan fuerzas más débiles que los enlaces primarios

#### **2.1.1. Polímeros naturales**

Proviene de fuentes orgánicas y dentro de éstos se encuentran aquellos que han servido de alimentación (almidón y proteínas) y los que se usan como protección (lana, algodón, celulosa y seda). El almidón se encuentra dentro de esta clasificación ya que es un polímero compuesto de unidades de glucosa.

#### **2.1.2. Polímeros sintéticos**

Los polímeros sintéticos se caracterizan por estar elaborados mediante procesos químicos y se pueden clasificar en plásticos y hules. Dentro de los plásticos, se encuentran los polímeros termoplásticos (*TP*), los cuales cumplen con la característica de ser sólidos a temperatura ambiente y

líquidos viscosos al aumentar la temperatura, además de no degradarse significativamente cuando son sometidos a ciclos de calentamiento y enfriamiento. En este mismo grupo se encuentran los polímeros termofijos (TS) los que, a diferencia de los primeros, no toleran ciclos repetidos de calentamiento y enfriamiento ya que se degradan por pirólisis. En el caso de los hules se encuentran a los elastómeros (E), polímeros de gran extensibilidad elástica al ser sujetos a esfuerzos mecánicos relativamente bajos. Pueden estirarse alargando 10 veces su longitud y recuperar su forma original (Seymour y Carreher, 2002).

Algunos ejemplos de polímeros termoplásticos son el polietileno, el cloruro de polivinilo, el propileno, el poliestireno y el nylon. Para los polímeros termofijos se encuentran los plásticos fenólicos, los epóxicos y ciertos poliésteres y para los elastómeros se encuentra el hule natural (vulcanizado).

### **2.1.3. Polimerización**

Se trata de un proceso químico para la síntesis de los polímeros por medio de dos métodos: la polimerización por adición y la polimerización por pasos. La polimerización por adición consiste en exponer los enlaces dobles de los átomos de carbono perteneciente al monómero para que mediante el uso de un catalizador químico (iniciador) pueda unirse el monómero en ambos extremos de la molécula en expansión. La otra forma es mientras que en la polimerización por pasos, donde se unen dos

monómeros reaccionantes para formar una nueva molécula con la consecuente formación de un subproducto (agua o amoníaco), obteniéndose en cualquier punto del proceso polímeros de varias longitudes (Seymour y Carreher, 2002).

#### **2.1.4. Aditivos**

Son sustancias empleadas para mejorar las propiedades de un polímero, alterando la estructura química del polímero o añadiendo una segunda fase a éste. Los aditivos se pueden clasificar por su función como: rellenos, plastificantes, colorantes, lubricantes, retardadores de flama, antioxidantes, entre otros.

Los rellenos son materiales sólidos de consistencia fibrosa o particulada con la finalidad de alterar sus propiedades mecánicas (incrementa la rigidez, resistencia, dureza y tenacidad), mejorar la estabilidad dimensional y térmica de los polímeros. Algunos rellenos comúnmente usados son: fibras de algodón, aserrín, polvos de sílice, carbonato de calcio y arcilla, mencionados por Kalpakjian y Schmid (2002).

Los plastificantes se definen como sustancias que se incorporan a un material plástico o elastómero para aumentar su flexibilidad y facilitar su transformación (Beltrán-Rico y Marcilla-Gomis, 2012). Según la proporción en que sea añadido un plastificante, puede conferirle al polímero propiedades mecánicas que van desde rígido y frágil hasta flexible y de consistencia ahulada.

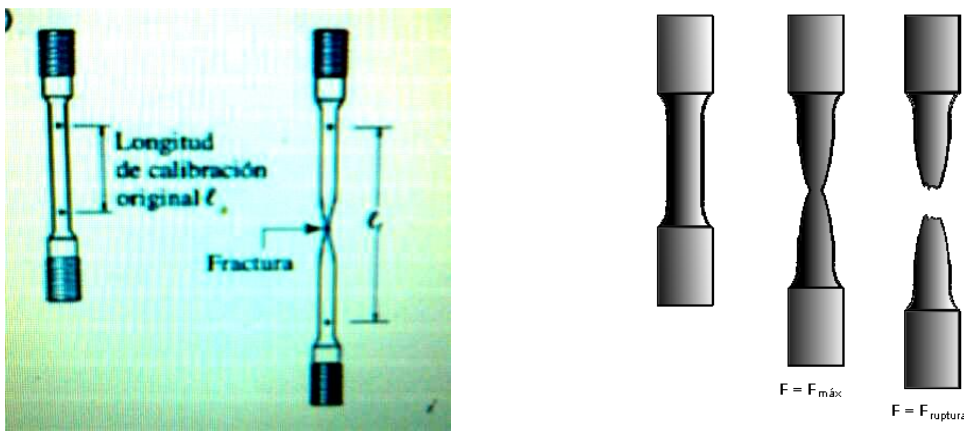
## 2.2. PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS MATERIALES

Es necesario conocer las propiedades mecánicas de un material ya que el desempeño y funcionamiento de los productos dependen de su capacidad para resistir deformaciones durante su vida útil.

Una forma de caracterizar las propiedades mecánicas de los materiales es mediante la relación esfuerzo-deformación. Existen tres tipos de esfuerzo estático a los que pueden ser sometidos los materiales: de tensión, compresión y corte (Billmeyer, 2004).

### 2.2.1. Propiedades de tensión

Este ensayo consta en aplicar una fuerza para elongar el material y reducir su diámetro. Durante el ensayo, el material se estira, luego se forma una astricción (o cuello) para finalmente fracturarse (Imagen 2.1). La relación esfuerzo-deformación (Imagen 2.2) puede clasificarse en dos regiones: elástica y plástica (Kalpakjian y Schmid, 2002).



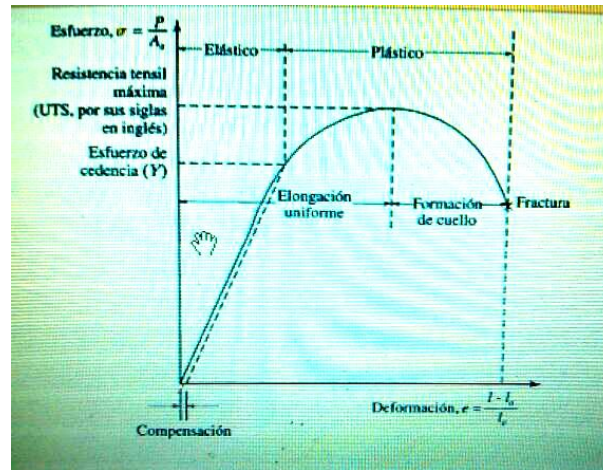
**Imagen 2.1. Material sometido a ensayos de tensión (Kalpakjian y Schmid, 2002)**

En la región elástica se observa un comportamiento lineal, donde el material exhibe comportamiento elástico, es decir, puede recobrar su longitud original cuando es liberado de la carga o esfuerzo y se encuentra relacionado con el módulo de elasticidad. El módulo de elasticidad, es una medida de la rigidez inherente del material, una constante de proporcionalidad cuyo valor difiere entre cada material (Billmeyer, 2004).

El punto de transición del material de la región elástica y la plástica, es denominado punto de fluencia. Es también conocido como límite de elasticidad. El límite de elasticidad es una característica de la resistencia del material. A partir de este punto, cuando se incrementa la carga por encima de él continúa la elongación del material pero a una velocidad mayor respecto a la presentada inicialmente, observándose una pendiente en la curva mostrada en la Imagen 2.2. Dicha elongación provoca la reducción del área en su sección transversal para, finalmente, alcanzar un valor máximo denominado tensión en la carga máxima (Billmeyer, 2004).

Una vez alcanzada la tensión en la carga máxima, la carga empieza a descender y la muestra inicia un proceso de elongación localizada, punto en el que la curva esfuerzo-deformación comienza a descender pues el esfuerzo es menor, generando en la muestra el denominado cuello de botella. La deformación se concentra en una pequeña sección de la muestra y dicha sección se angosta significativamente hasta romperse. La

resistencia calculada inmediatamente antes de la ruptura se conoce como tensión en el punto de ruptura.



**Imagen 2.2. Curva esfuerzo-deformación en pruebas de tensión, donde  $\sigma$ : esfuerzo, P: carga,  $A_0$ : área inicial,  $\epsilon$ : deformación, L: longitud, Y: esfuerzo de cedencia (Kalpakjian y Schmid, 2002)**

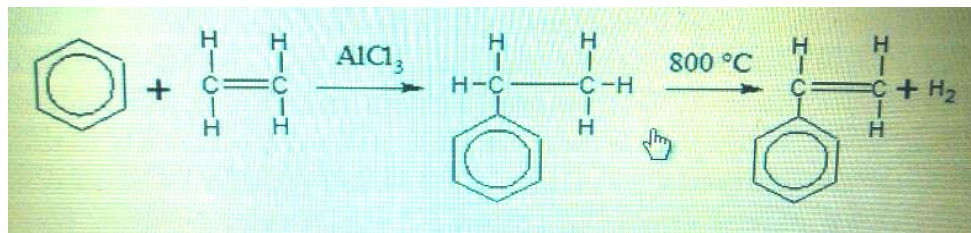
La cantidad de deformación que el material puede soportar antes de romperse es una característica de gran interés en los procesos de manufactura, siendo la ductilidad la medida común de esta propiedad. La ductilidad puede definirse como la capacidad de un material para deformarse plásticamente sin fracturarse y puede tomarse como elongación (porcentaje de deformación).

### **2.3. EL POLIESTIRENO**

El poliestireno es un polímero lineal, relativamente inerte químicamente, bastante resistente a los álcalis, haluros de ácidos, a los agentes oxidantes y reductores. Puede nitrarse con ácido nítrico fumante y sulfonarse con ácido sulfúrico concentrado a 100°C para dar una resina soluble en agua.

El poliestireno se degrada de 81-105°C en una mezcla de compuestos de baja masa molecular, siendo el 40% estireno, 2.4% tolueno y otros compuestos con masa molecular de 264g/mol (Billmeyer, 2004).

El estireno (vinil benceno) se forma a partir de benceno y acetileno. Por reacción de Friedel-Crafts se hace pasar acetileno a presión para hacerlo reaccionar con el benceno; como catalizador se usa el cloruro de aluminio (Imagen 2.3). El etilbenceno resultante se vaporiza a 800°C e hidrogena para resultar en estireno. El estireno se refina por destilación (Gillespie y Beltrán, 1990).



**Imagen 2.3. Reacción Friedel-Crafts para el estireno (Primo, 1995)**

La formación del poliestireno se da por polimerización en suspensión o polimerización en masa. La polimerización en masa del estireno comienza en un "polimerizador" en el que el estireno libre de inhibidores se polimeriza (con un iniciador de peróxido) hasta que la mezcla contenga un 30% del polímero que es lo más viscoso que puede manejarse. Dicha mezcla entra a una torre cilíndrica donde, en condiciones controladas de temperatura, se purifica el polímero y se hace pasar por un extrusor para

finalmente cortar en trozos para dar el polvo final de moldeo, las perlas o granzas de poliestireno (Gillespie y Beltrán, 1990; Primo, 1995).

La fabricación del poliestireno expandido (poliestireno espumado o "unicel", como se le conoce en México) consta de impregnar las perlas de poliestireno con heptano (6 por 100 de n-heptano), se expanden las perlas en un baño de vapor aumentado unas cuarenta veces su tamaño. Dicha expansión se debe a la volatilización del hidrocarburo el cual forma las celdillas a las que accede el vapor de agua por efecto osmótico. Las perlas expandidas se acondicionan por 24 horas dejándolas al aire para que éste entre en las celdillas para finalmente ser moldeadas haciendo pasar vapor a través de la masa y formar un bloque sólido (Vincent-Vela y col., 2006).

#### **2.4. RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS**

Son aquellos que se generan en las casas habitación y en el sector de servicios. Resultan de la eliminación de los materiales que se utilizan en las actividades domésticas y comerciales, de los productos que se procesan y consumen y de sus envases, embalajes o empaques. A ellos se suman los residuos que provienen de cualquier otra actividad dentro de establecimientos o en la vía pública que genere residuos con características domiciliarias y los resultantes de la limpieza de vías y lugares públicos (INEGI, 2010a). Generalmente, los residuos poliméricos objeto de esta investigación son incluidos en estos residuos sólidos urbanos.



### 2.4.1. Generación de residuos plásticos

Según datos proporcionados por el INEGI (2010a), para el 2009 se generaron cerca de 4.2 millones de toneladas lo que equivale al incremento de casi el doble de lo generado en el 2007, además del incremento que éste ha tenido, pasando de 2.2 millones de toneladas en 2007 a 4.3 millones de toneladas para 2010, tal como se muestra en la Tabla 2.1.

**Tabla 2.1. Generación de residuos sólidos urbanos por tipo de residuo, 1993 a 2010 (Modificado de INEGI, 2010a)**

<b>Tipo de basura (Miles de toneladas)</b>	<b>2007</b>	<b>2008</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>
Total reciclable	36,865.00	37,595.00	38,323.00	39,055.00
Papel, cartón, productos de papel	5,489.30	5,199.40	5,300.40	5,401.30
Textiles	552	537.6	548	558.5
<b>Plásticos</b>	<b>2,223.00</b>	<b>4,094.10</b>	<b>4,173.60</b>	<b>4,253.10</b>
Vidrios	2,341.00	2,210.60	2,253.50	2,296.50
Metales	1,298.00	1,293.20	1,318.30	1,343.40
Aluminio	650	650.4	663	N.D.
Ferrosos	410	407.5	415.4	N.D.
Otros no ferrosos	238	235.3	239.9	N.D.
Basura de comida, jardines y materiales orgánicos similares	18,576.00	19,707.30	20,090.00	20,472.60
Otro tipo de basura (residuos finos, hules, pañal desechable, etc.)	6,385.70	4,552.80	4,641.20	4,729.60

N.D. No disponible

### 2.4.2. Reciclaje de residuos plásticos

En la Tabla 2.2 se presenta la información registrada por el INEGI (2010b) sobre los porcentajes que son reciclados de los residuos generados.

**Tabla 2.2. Reciclaje de residuos sólidos urbanos por composición, 2000 a 2009 (Modificado de INEGI, 2010b)**

<b>Tipo de basura (Miles de toneladas)</b>	<b>2007</b>	<b>2008</b>	<b>2009</b>
Total de residuos sólidos urbanos reciclables	11,903.10	13,335.00	13,594.00
Residuos sólidos urbanos reciclables recuperados	1,202.60	1,346.80	1,500.00
Papel, cartón, productos de papel	465	566.7	631.1
Textiles	1.9	2.1	2.3
<b>Plásticos</b>	<b>5.9</b>	<b>17</b>	<b>18.9</b>
Vidrios	417	386.2	430.1
Metales	312.8	374.8	417.5
Aluminio	190.5	79.3	88.4
Ferrosos	70	263.6	293.6
Otros no ferrosos	52.3	31.9	35.5

## **2.5. EL ALMIDÓN**

El almidón está formado por dos tipos de moléculas: amilosa y amilopectina. Es un polímero de glucosa y forma la reserva natural de energía en las plantas (Primo, 1995). Constituye una fuente de energía esencial para muchos organismos como las bacterias y los hongos debido a que poseen amilasas y pueden descomponer el almidón. Se encuentra presente en un gran número de productos agrícolas, de los cuales destacan los cereales (maíz, trigo, arroz), leguminosas (frijol, chícharo, haba) y tubérculos (papa, yuca), donde representa del 60 al 90% de la materia seca (Sánchez, 2007). En el año 2000, la producción mundial de almidón fue de 48.5 millones de toneladas extraídas principalmente de maíz, trigo y papa (Jiménez y col., 2006). Se emplea en la elaboración de películas como biopolímero y la adición del almidón como plastificante,

aumenta sustancialmente la biodegradabilidad y mejora las propiedades mecánicas y de barrera (Villada y col., 2008). Actualmente se encuentran polímeros biodegradables basados en almidón, con una composición entre 6 y 50% (Merchán y col., 2009).

### **2.5.1. Gelatinización**

El fenómeno de gelatinización se refiere a la disrupción del orden molecular debido al proceso de hidratación del gránulo de almidón provocando que el gránulo de almidón pierda ciertas propiedades fisicoquímicas, como son: la birrefringencia, cristalinidad e hinchamiento irreversible. Esta hidratación se consigue mediante tratamiento térmico, a veces acompañado por presión y humedad. La formación y rigidez del gel ocurre por la retención del agua entre los gránulos de almidón mediante puentes de hidrógeno. Dicha propiedad se emplea para mejorar las características físicas de algunos polímeros naturales como la celulosa en la elaboración de papel, la quitina en la elaboración de películas plásticas, entre otros (FEDNA, 2011; Fritz, 1994).

### **2.5.2. Plastificación**

La plastificación es el proceso de sobrehidratación de los gránulos de almidón. Se presenta poco después de la gelatinización y conduce a la disociación de las hélices de la amilosa. Esto involucra un incremento del volumen del gránulo, con la exudación de sus componentes moleculares y eventualmente se da su rompimiento (Sánchez, 2007).

## **2.6. QUITINA**

Constituye el caparazón duro (exoesqueleto) de los crustáceos, los insectos y las paredes celulares de los hongos y algunas algas; está formada por unidades de N-acetil-D-glucosamina unidas por enlaces  $\beta(1-4)$ . Esto le da una estructura plana, análoga a la de celulosa; por su capacidad para asociarse por puentes de hidrógeno es adecuada para tejidos de sostén (Primo, 1995). Es el segundo polímero más abundante en la naturaleza después de la celulosa. Es un polisacárido no tóxico y biodegradable. Es un compuesto altamente hidrofóbico e insoluble en agua y en la mayoría de los solventes orgánicos. Es soluble en hexafluoroisopropanol, hexafluoroacetona y cloroalcoholes en conjunto con soluciones acuosas de ácidos minerales. La producción de quitina y quitosana<sup>1</sup> está basada en la utilización de los desechos provenientes de las industrias de descabezado y flotas pesqueras de crustáceos como el camarón, el cangrejo y la langosta (Majeti y Ravi, 2000).

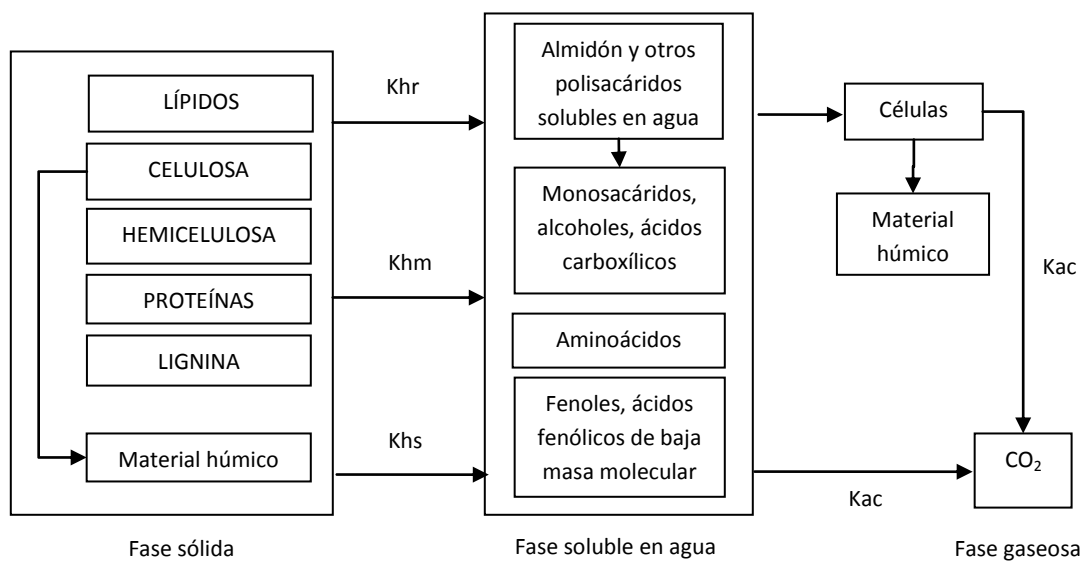
## **2.7. BIODEGRADABILIDAD**

Es la capacidad de un material para descomponerse en dióxido de carbono, metano, agua y componentes orgánicos o biomasa, en el cual el mecanismo predominante es la acción enzimática de microorganismos (ASTM D5488-94 y ASTM D5338-98). Un polímero es biodegradable si su degradación resulta de la acción natural de microorganismos como

---

<sup>1</sup> La palabra quitosana debiera tener la terminación –ana aceptada para las gomas. Por ello en esta investigación así se usa (no quitosan o quitosano o quitosán)

bacterias hongos y algas. La presencia de microorganismos, aire, humedad y temperatura son factores requeridos para el proceso de biodegradación. La conversión de la materia por acción de microorganismos a  $\text{CO}_2$  y agua en condiciones aerobias, es denominada biodegradabilidad aerobia. Dicho proceso inicia con la difusión del agua al material seguido de la hidrólisis de los enlaces primarios y la producción de moléculas pequeñas de fácil asimilación microbiana o alta solubilidad (Imagen 2.4).



**Imagen 2.4. Proceso de degradación de sólidos seguido durante el compostaje donde los valores de K con diferentes subíndices son las constantes de rapidez de reacción (Rodríguez-Salinas y Córdova-Vázquez, 2006)**

Es por ello que destacan algunos factores que afectan directamente el desempeño en el proceso de biodegradabilidad (Fritz, 1994; Rodríguez-Salinas y Córdoba-Vázquez, 2006), tales como:

- Presencia de microorganismos
- Presencia de aire
- Humedad y minerales necesarios
- Temperatura (entre 20 y 60°C)
- pH (entre 5 y 8)

### **2.7.1. Composta<sup>2</sup> y compostaje**

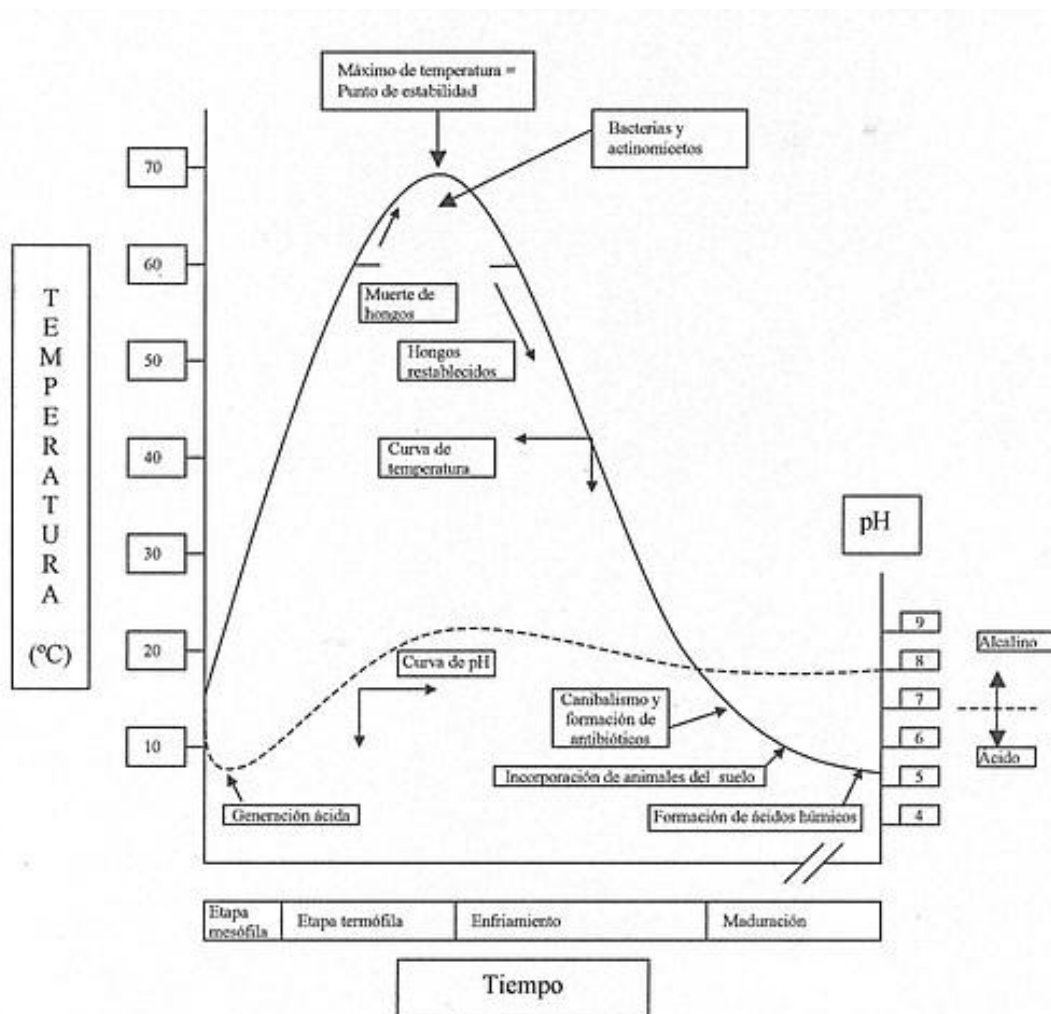
La composta es un mejorador del suelo porque favorece la aireación y la retención de humedad, el almacenamiento de nutrimentos y su disponibilidad para los vegetales, provee un medio donde infinidad de microorganismos se desenvuelven; algunos procesan los residuos para convertirlos en humus y otros procesan el humus para aprovecharlo o generar alimento para otros (Rodríguez-Salinas y Córdoba-Vázquez, 2006).

El proceso de elaboración de composta es denominado compostaje. Dicho proceso requiere de oxígeno (aerobio) y agua en cantidad suficiente; genera cierta cantidad de calor (proceso exotérmico), bióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y vapor de agua. Los organismos implicados en el proceso son un

---

<sup>2</sup> La palabra que aparece en el diccionario de la lengua española es compost, pero ni siquiera se puede pronunciar en español. Por ello, dado que en México se emplea la palabra composta, ésta se usará en este documento

conjunto de bacterias, hongos y microbiota en general. Al ser el compostaje un proceso de transformación de la porción orgánica de los RSU en un producto útil (composta). Una composta madura debe poseer ciertas características fisicoquímicas como son: humedad (40-60%), relación carbono-nitrógeno (25-30:1), pH (6-9), temperatura (40°C) y microbiota, tal como se muestra en la Imagen 2.5 (Rodríguez-Salinas y Córdoba-Vázquez, 2006).



**Imagen 2.5. Proceso involucrado en la maduración de la composta (Rodríguez-Salinas y Córdoba-Vázquez, 2006)**

### **2.7.2. Intemperismo**

Es una prueba auxiliar para la determinación de la estabilidad de los materiales y permite estimar la alteración que pueden sufrir al estar expuestos a condiciones de intemperie. Consta de procesos físicos como el ciclo termal y la insolación, generando cambios fisicoquímicos en la estructura del material como son: reducción constante de sus propiedades, reducción de superficie, fragilidad, entre otros (DOF, 2009).



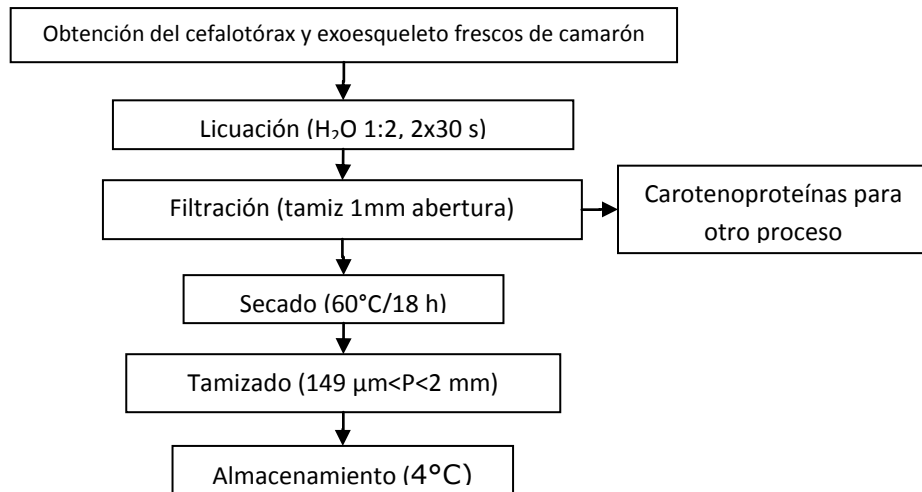
## **CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA**

### **3.1. OBTENCIÓN DEL CEFALOTÓRAX Y EXOESQUELETO DE CAMARÓN PARCIALMENTE DESPROTEINIZADOS**

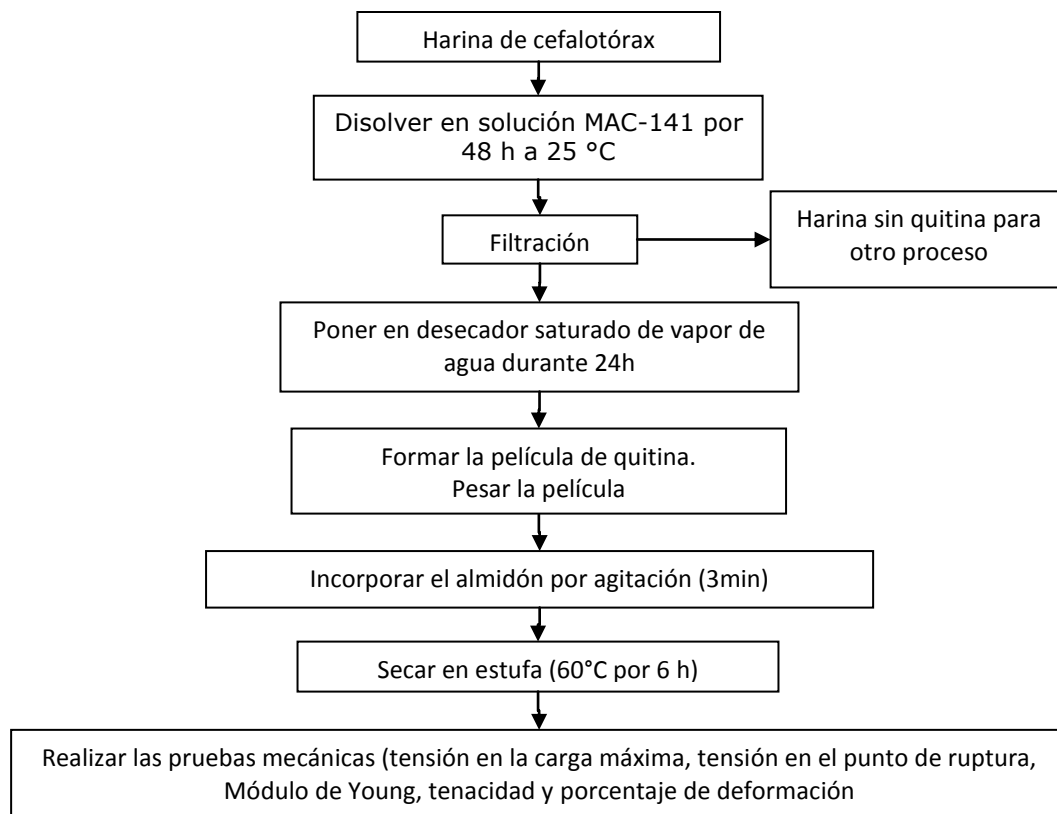
Para la realización de esta investigación, se emplearon cefalotórax y exoesqueletos de camarón proporcionados de forma gratuita por los establecimientos encargados del descabezado del camarón de la zona de pescados y mariscos de La Nueva Viga en la Ciudad de México D.F. Los cefalotórax y exoesqueletos de camarón se lavaron al chorro del agua para eliminar objetos extraños y la parte carnosa que pudiera estar presente. Posteriormente, se sometió el material a una molienda usando agua como medio de eliminación de pigmentos y proteínas solubles presentes en el cefalotórax y exoesqueleto del camarón. Finalmente, los sólidos se secaron en estufa a 60°C por 18 h, como se muestra en el Diagrama 3.1.

### **3.2. EXTRACCIÓN DE LA QUITINA**

La quitina fue extraída empleando el disolvente MAC-141 patentado por Flores-Ortega y col. (2004). El procedimiento consta de dejar el CPD (camarón parcialmente desproteínizado) con una solución de metanol, agua y cloruro de calcio a las que se le denomina MAC-141 (por ser una mezcla de 1 mol de metanol, cuatro mol de agua y 1 mol de cloruro de calcio) durante 48 h para filtrarse y separar los residuos sólidos.



**Diagrama 3.1. Obtención de harina de cefalotórax y exoesqueleto de camarón (Bárcenas, 2010)**



**Diagrama 3.2. Elaboración de esponjas de quitina-almidón a partir del cefalotórax y exoesqueleto de camarón (Flores-Ortega, 2004; Bárcenas, 2010)**

### **3.3. ELABORACIÓN DE ESPONJAS DE QUITINA-ALMIDÓN**

La solución de quitina-disolvente (proveniente de la filtración) se colocó por 24 h en una atmósfera saturada de vapor de agua con la finalidad de extraer el disolvente y determinar la cantidad de quitina extraída. Finalmente, la quitina se mezcló durante 3 minutos con el almidón a diferentes proporciones<sup>3</sup> para formar las esponjas de estudio. Lo anterior se aprecia en el Diagrama 3.2. El almidón de maíz, fue adquirido en la Farmacia París del centro de la Ciudad de México sin ninguna especificación por parte del proveedor. Debido a que el almidón de maíz fue soluble en el disolvente MAC-141 se incorporó directamente con la quitina.

### **3.4. PRUEBAS MECÁNICAS**

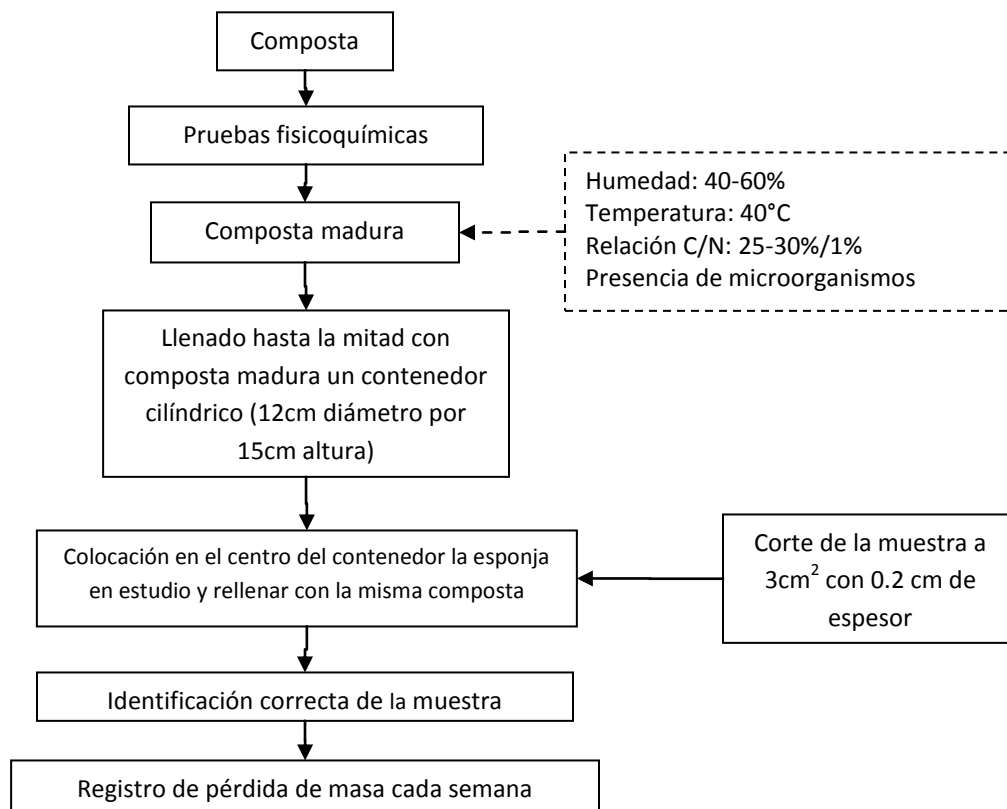
Las pruebas mecánicas empleadas en la caracterización de las esponjas fueron las siguientes: tensión en la carga, tensión en el punto de ruptura, Módulo de Young, porcentaje de deformación y tenacidad con base en el ASTM (2002a) para la identificación y caracterización de los materiales plásticos, siendo 4 el número de réplicas por prueba mecánica y bajo las siguientes condiciones de análisis: Temperatura 22.8°C (73°F), humedad relativa 50%, velocidad de las crucetas 10 mm/min y distancia inicial de la muestra de 25 mm (pruebas realizadas con el apoyo del Instituto de Investigaciones en Materiales de la UNAM).

---

<sup>3</sup> Las proporciones de almidón de maíz empleadas en esta investigación parten de la investigación realizada por Chang y col. (2010)

### 3.5. PRUEBA DE BIODEGRADABILIDAD

Con la finalidad de determinar el tiempo de degradación de las esponjas de quitina adicionadas con almidón de maíz, se empleó composta madura, para la cual fue necesario determinar la proporción de nitrógeno (método Kjeldahl), carbono (determinación de materia orgánica total) y presencia de microorganismos (cuenta en placa) de acuerdo con la metodología descrita por Marín y col. (2002). Para determinar el tiempo de degradación se siguió la metodología descrita en el Diagrama 3.3 (ASTM, 2003).



**Diagrama 3.3. Determinación del tiempo de degradación de las esponjas en composta simulando su descomposición en basura o residuos sólidos urbanos (control: "unicel")**

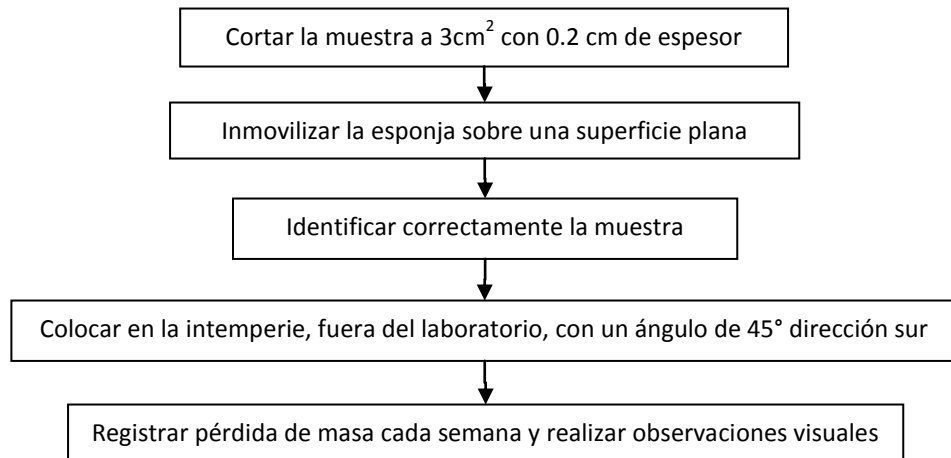
La composta se caracterizó por medio de una prueba microbiológica de conteo de microorganismos (Ramírez-Gama y col., 2008).

### **3.6. PRUEBA DE INTEMPERISMO**

Dada la importancia de saber el comportamiento que tendrán las esponjas de quitina y quitina-almidón de maíz cuando sean expuestas a condiciones ambientales, ya sea para su almacenamiento o como desperdicio en tiraderos municipales se realizó la prueba de intemperismo tal como se indica en el Diagrama 3.4.

### **3.7. ANÁLISIS ESTADÍSTICOS**

Para conocer las diferencias significativas entre los parámetros de tensión en la carga máxima, Módulo de Young, tenacidad, porcentaje de deformación y tensión en el punto de ruptura, para las esponjas de quitina, quitina-almidón 20%, quitina-almidón 40%, quitina-almidón 50% y poliestireno espumado (*unicel*), se empleó el paquete estadístico Statgraphics Plus 5.1 con el cual se realizó el análisis de varianza de un solo factor, andeva (*ANOVA*, en inglés).

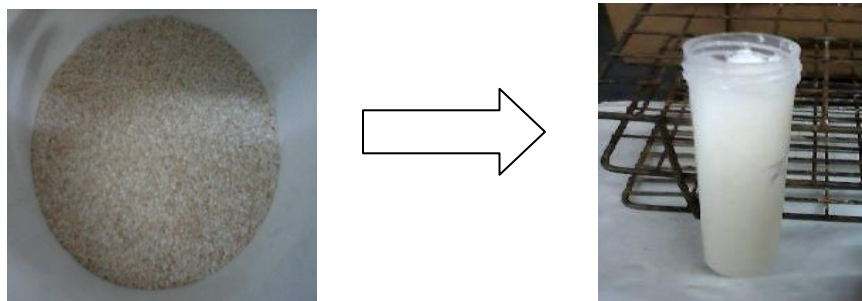


**Diagrama 3.4. Prueba de intemperismo de las esponjas usando como control “unicel”**

## CAPÍTULO 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

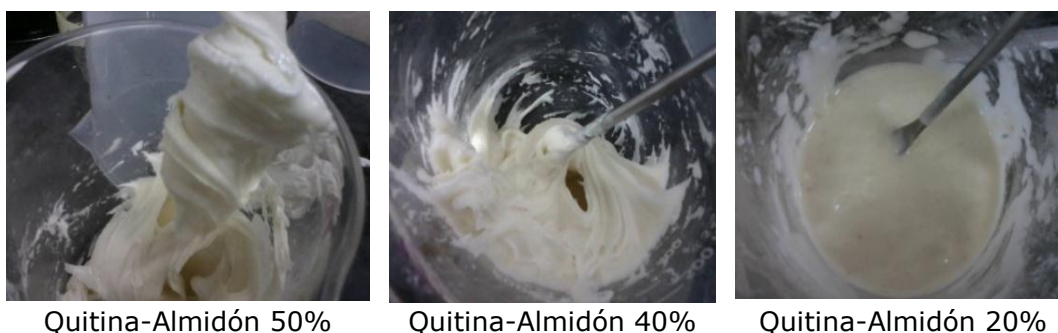
### 4.1. ELABORACIÓN DE ESPONJAS

Para la elaboración de las esponjas de quitina, fue importante conocer la cantidad de quitina extraída y, con base en ella, se determinó el rendimiento y formación de las esponjas (Imagen 4.1).



**Imagen 4.1. Quitina extraída del cefalotórax y exoesqueleto del camarón**

Debido a la solubilidad que presentó el almidón de maíz en la solución MAC 141, se modificó el diagrama establecido por Bárcenas (2010) tal como se ilustra en la Imagen 4.2.



**Imagen 4.2. Elaboración de esponjas de quitina mezclada a diferentes proporciones de almidón**

Las concentraciones de almidón de maíz empleadas en esta investigación fueron 0, 20, 40 y 50% en combinación con la quitina. Los resultados para el rendimiento obtenido se presentan en la Tabla 4.1, en donde se observó que la adición de almidón de maíz incrementa el rendimiento 5.52 veces más comparado con la esponja de quitina, debido a que el almidón tiene gran afinidad por el agua por lo que no hubo pérdida de masa en las esponjas elaboradas (Sánchez, 2007). La tendencia observada fue que la cantidad de almidón agregado resultó ser directamente proporcional al rendimiento.

**Tabla 4.1. Rendimiento para la obtención de las esponjas**

<b>Muestra</b>	<b>Masa de quitina obtenida (g)</b>	<b>Masa de la esponja (g)</b>	<b>Rendimiento (%)</b>
Esponja 0%Almidón	388.72	48	12.35
Esponja 20%Almidón	413.98	56	13.53
Esponja 40%Almidón	433.41	89	20.53
Esponja 50%Almidón	451.41	308	68.23

## **4.2. RESULTADOS DE LAS PRUEBAS MECÁNICAS**

Las pruebas mecánicas se realizaron para las esponjas de quitina, quitina-almidón-20%, quitina-almidón-40%, quitina-almidón-50% y poliestireno espumado (“unicel”), tal como se muestra en la Tabla 4.2.

### **4.2.1. Tensión en la carga máxima**

Por medio del análisis de varianza (ANOVA) se determinó que existen diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) entre las diferentes concentraciones de almidón (Tabla 4.3).



**Tabla 4.2. Pruebas mecánicas para los diferentes tipos de esponja<sup>4</sup>**

Prueba mecánica	Esponja 0%Almidón	Esponja 20%Almidón	Esponja 40%Almidón	Esponja 50%Almidón	Unicel
Tensión en la carga máxima (MPa)	0.030 <sup>±0.039</sup>	0.141 <sup>±0.039</sup>	0.161 <sup>±0.045</sup>	1.903 <sup>±0.758</sup>	0.597 <sup>±0.069</sup>
Módulo de Young (MPa)	0.563 <sup>±0.487</sup>	61.982 <sup>±10.776</sup>	0.064 <sup>±0.005</sup>	6.655 <sup>±1.873</sup>	19.674 <sup>±2.808</sup>
Tenacidad (MPa)	0.029 <sup>±0.006</sup>	0.030 <sup>±0.008</sup>	0.004 <sup>±0.004</sup>	0.163 <sup>±0.120</sup>	0.597 <sup>±0.069</sup>
Deformación (%)	32.360 <sup>±5.814</sup>	24.559 <sup>±7.556</sup>	5.440 <sup>±1.592</sup>	13.468 <sup>±2.817</sup>	4.535 <sup>±1.243</sup>
Tensión en el punto de ruptura (MPa)	0.073 <sup>±0.011</sup>	0.026 <sup>±0.008</sup>	0.864 <sup>±0.888</sup>	0.115 <sup>±0.045</sup>	0.372 <sup>±0.204</sup>

**Tabla 4.3. Análisis de varianza para la prueba de tensión en la carga máxima (MPa)**

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F-Ratio</i>	<i>P-Value</i>
Entre grupos	13.1874	4	3.29684	21.94	0.0000
Dentro de los grupos	2.25379	15	0.150252		
Total	0.60977289	8			

Se realizó la prueba de Duncan para verificar las diferencias existentes entre cada concentración de almidón. Los resultados mostraron que no existe diferencia estadísticamente significativa entre el "unicel" y las esponjas elaboradas al 0, 20 y 40% de almidón, caso contrario a lo ocurrido con la esponja al 50% de almidón (Tabla 4.4). Esta característica refleja que la esponja al 50% de almidón es capaz de soportar mayor fuerza de elongación hasta su ruptura, mientras que las otras esponjas

<sup>4</sup> Análisis estadístico efectuado con n=4

estudiadas sólo soportan el equivalente al presentado por la esponja de "unicel" (Gráfico 4.1).

**Tabla 4.4. Prueba de Duncan para la prueba de tensión en la carga máxima**

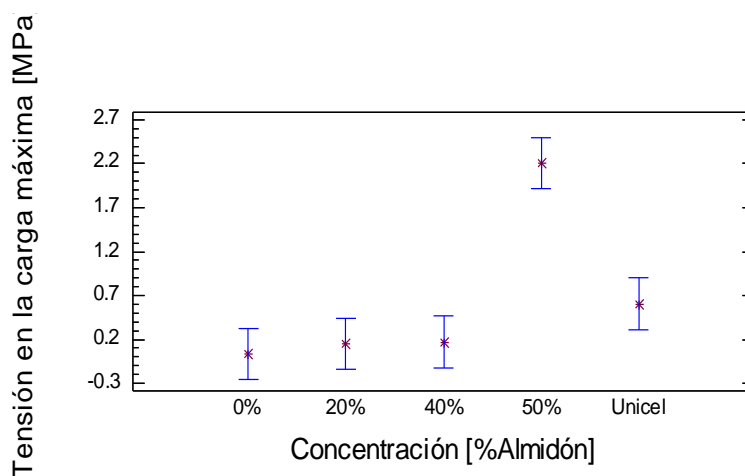
Method: 95.0 percent LSD

Concentración	Count	Mean	Homogeneous Groups
0%	4	0.03175	X
20%	4	0.151	X
40%	4	0.1715	X
Unicel	4	0.60575	X
50%	4	2.21075	X

---

Contrast	Difference	+/- Limits
0% - 20%	-0.11925	0.584214
0% - 40%	-0.13975	0.584214
0% - 50%	*-2.179	0.584214
0% - unicel	-0.574	0.584214
20% - 40%	-0.0205	0.584214
20% - 50%	*-2.05975	0.584214
20% - Unicel	-0.45475	0.584214
40% - 50%	*-2.03925	0.584214
40% - Unicel	-0.43425	0.584214
50% - Unicel	*1.605	0.584214

\* denotes a statistically significant difference.



**Gráfico 4.1. Diferencia entre medias para la prueba de Tensión en la carga máxima (intervalo de confianza del 95%)**

#### 4.2.2. Tensión en el punto de ruptura

En la Tabla 4.5 se muestra el análisis de varianza (ANOVA), en donde se encontró que sí existen diferencias estadísticamente significativas ( $P < 0.05$ ) entre las esponjas de quitina-almidón y el "unicel". Dicho comportamiento se debe a la composición y arreglo estructural entre la quitina y la proporción de almidón presente (López y col., 2014).

**Tabla 4.5. Análisis de varianza para la prueba de tensión en el punto de ruptura**

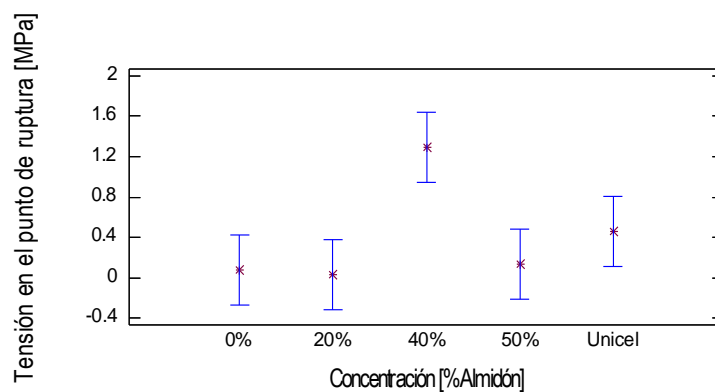
<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F-Ratio</i>	<i>P-Value</i>
Entre grupos	4.49146	4	1.12286	5.31	0.0072
Dentro de los grupos	3.17235	15	0.21149		
Total	7.66381	19			

En la Tabla 4.6 se muestran los resultados de la prueba Duncan, en la cual destaca la esponja al 40% de almidón ya que ésta es la única que presenta diferencia estadísticamente significativa con respecto al "unicel" y a las otras esponjas, además se observa gráficamente (Gráfico 4.2) que es la única que soporta la mayor tensión en el punto de ruptura, superando al "unicel". Indica con estos valores que dicha esponja requiere una mayor tensión para deformarse, siendo la proporción de almidón un factor determinante en dicha deformación, es decir, a mayor proporción de almidón menor deformación en la esponja de quitina.

Esta tendencia se cumple hasta el punto donde la interrelación estructural quitina-almidón pierde su cristalinidad (Beltrán-Rico y Marcilla-Gomis, 2012). Estudios de espectroscopía infrarroja con transformada de Fourier (*FTIR*, en inglés) sugieren que la adición de quitina al almidón modifica las interacciones entre el grupo hidroxilo del almidón y el grupo amino de la quitina, tal como lo indican López y col. (2014), atribuyendo rigidez al polímero y cuya aseveración explicaría el comportamiento presentado por la esponja al 50% de almidón. Se requiere de una siguiente línea de investigación que determine lo ocurrido a nivel estructural.

#### 4.2.3. Módulo de Young

En la Tabla 4.7, se aprecia que sí hubo diferencia significativa entre el “unicel” y las esponjas al 0, 40 y 50% de almidón y el “unicel” y la esponja al 20% (Tabla 4.8).



**Gráfico 4.2. Diferencia entre medias para la prueba de tensión en el punto de ruptura (intervalo de confianza del 95%)**

**Tabla 4.6. Prueba de Duncan para la prueba de tensión en el punto de ruptura**

Method: 95.0 percent LSD

Concentración	Count	Mean	Homogeneous Groups
20%	4	0.02825	X
0%	4	0.07475	X
50%	4	0.1345	X
Unicel	4	0.4615	X
40%	4	1.297	X

---

Contrast	Difference	+/- Limits
0% - 20%	0.0465	0.693116
0% - 40%	*-1.22225	0.693116
0% - 50%	-0.05975	0.693116
0% - Unicel	-0.38675	0.693116
20% - 40%	*-1.26875	0.693116
20% - 50%	-0.10625	0.693116
20% - Unicel	-0.43325	0.693116
40% - 50%	*1.1625	0.693116
40% - Unicel	*0.8355	0.693116
50% - Unicel	-0.327	0.693116

\* denotes a statistically significant difference.

**Tabla 4.7. Análisis de varianza para la prueba del Módulo de Young**

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F-Ratio</i>	<i>P-Value</i>
Entre grupos	11466.3	4	2866.57	84.82	0.0000
Dentro de los grupos	506.961	15	33.7974		
Total	11973.2	19			

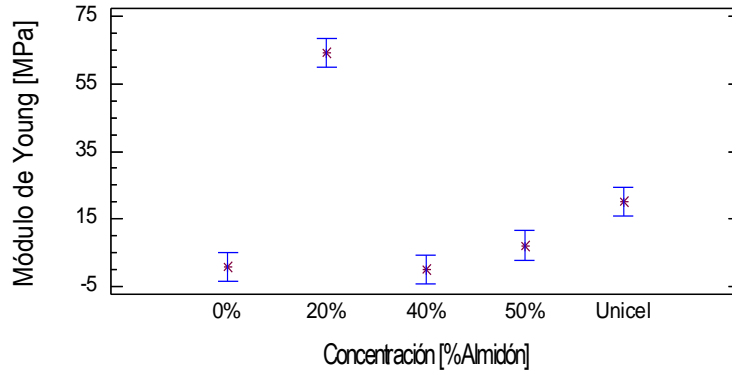
**Tabla 4.8. Método Duncan para la prueba del Módulo de Young**

Method: 95.0 percent LSD			
Concentración	Count	Mean	Homogeneous Groups
40%	4	0.064	X
0%	4	0.80575	X
50%	4	7.13025	X
Unicel	4	20.1223	X
20%	4	64.1258	X
-----			
Contrast	Difference	+/- Limits	
0% - 20%	*-63.32	8.76199	
0% - 40%	0.74175	8.76199	
0% - 50%	-6.3245	8.76199	
0% - Unicel	*-19.3165	8.76199	
20% - 40%	*64.0618	8.76199	
20% - 50%	*56.9955	8.76199	
20% - Unicel	*44.0035	8.76199	
40% - 50%	-7.06625	8.76199	
40% - Unicel	*-20.0583	8.76199	
50% - Unicel	*-12.992	8.76199	

-----  
 \*denotes a statistically significant difference

Además, se observó en el Gráfico 4.3 que la esponja al 20% de almidón fue la única que presentó diferencia estadísticamente significativa con respecto a todas las esponjas del estudio, inclusive obtuvo el valor máximo en el módulo de Young, mostrando poseer mayor elasticidad que el resto de las muestras analizadas.

Este fenómeno depende totalmente de las interacciones (enlaces) que se forman entre la quitina y el almidón, por lo que puede considerarse que una mayor concentración de almidón disminuye la elasticidad de las esponjas de quitina.



**Gráfico 4.3. Diferencia entre medias para la prueba del Módulo de Young (intervalo de confianza del 95%)**

#### 4.2.4. Porcentaje de deformación

Para esta medición se realizó el análisis de varianza (ANOVA) determinándose que sí hubo diferencia significativa (Tabla 4.9).

**Tabla 4.9. Análisis de varianza para la prueba del porcentaje de deformación**

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F-Ratio</i>	<i>P-Value</i>
Entre grupos	2575.14	4	643.785	23.75	0.0000
Dentro de los grupos	406.591	15	27.1061		
Total	2981.73	19			

Por tanto, se realizó la prueba de Duncan para ver si existían diferencias entre cada muestra (Tabla 4.10).

**Tabla 4.10. Prueba de Duncan para la prueba del porcentaje de deformación**

Method: 95.0 percent LSD

Concentración	Count	Mean	Homogeneous Groups
Unicel	4	4.833	X
40%	4	5.9225	X
50%	4	14.0322	X
20%	4	26.6763	X
0%	4	33.45	X

---

Contrast	Difference	+/- Limits
0% - 20%	6.77375	7.84683
0% - 40%	*27.5275	7.84683
0% - 50%	*19.4178	7.84683
0% - Unicel	*28.617	7.84683
20% - 40%	*20.7538	7.84683
20% - 50%	*12.644	7.84683
20% - Unicel	*21.8432	7.84683
40% - 50%	*-8.10975	7.84683
40% - Unicel	1.0895	7.84683
50% - Unicel	*9.19925	7.84683

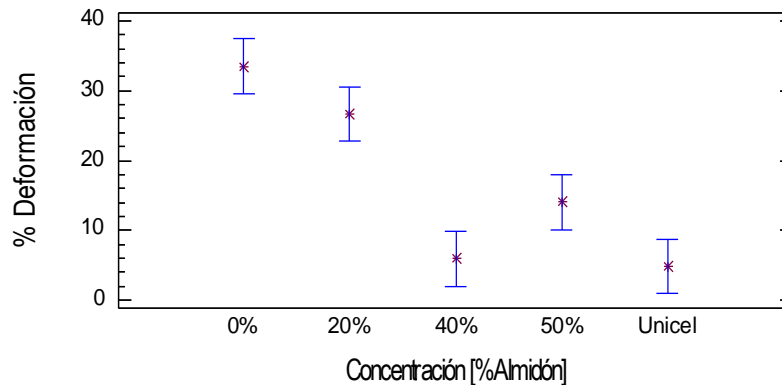
\*denotes a statistically significant difference

En la Tabla 4.10 se observó que las esponjas de quitina al 0, 20 y 50% de almidón presentaron diferencia estadísticamente significativa con respecto al "unicel" mientras que la esponja con 40% de almidón tuvo valores estadísticamente semejantes a los obtenidos por el "unicel", por lo que estas últimas sufren una deformación similar. Nuevamente, estos resultados plantean una vertiente interesante para continuar la investigación.

Cabe mencionar que la esponja que presenta el máximo porcentaje de deformación y por tanto mayor ductilidad es la esponja de quitina con 0%



de almidón (Gráfico 4.4). Para una investigación futura habrá que buscar el fundamento químico de este comportamiento.



**Gráfico 4.4. Diferencia entre medias para el porcentaje de deformación (intervalo de confianza del 95%)**

#### 4.2.5. Tenacidad

En esta prueba, también se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los diferentes tipos de esponja (Tabla 4.11) y, al analizar los resultados obtenidos por la prueba de Duncan, se observó que el “unicel” presentó diferencias estadísticamente significativas con todas las esponjas elaboradas tal como se muestra en la Tabla 4.12.

**Tabla 4.11. Análisis de varianza para la prueba de tenacidad**

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F-Ratio</i>	<i>P-Value</i>
Entre grupos	1.03557	4	0.258891	53.10	0.0000
Dentro de los grupos	0.0731385	15	0.0048759		
Total	1.1087	19			

**Tabla 4.12. Método Duncan para la prueba de tenacidad**

Method: 95.0 percent LSD			
Concentración	Count	Mean	Homogeneous Groups
40%	4	0.0055	X
0%	4	0.02975	X
20%	4	0.032	X
50%	4	0.232	X
Unicel	4	0.60575	X

---

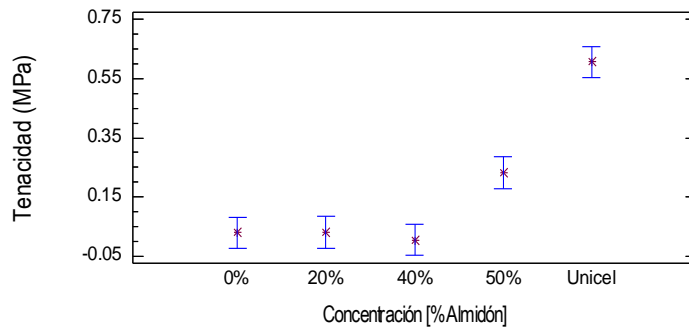
Contrast	Difference	+/- Limits
0% - 20%	-0.00225	0.105242
0% - 40%	0.02425	0.105242
0% - 50%	*-0.20225	0.105242
0% - Unicel	*-0.576	0.105242
20% - 40%	0.0265	0.105242
20% - 50%	*-0.2	0.105242
20% - Unicel	*-0.57375	0.105242
40% - 50%	*-0.2265	0.105242
40% - Unicel	*-0.60025	0.105242

\* denotes a statistically significant difference

Las esponjas al 0, 20 y 40 % de almidón no presentaron diferencias pero el valor obtenido fue menor reflejando su poca resistencia a la tensión. Lo contrario ocurrió con el "unicel", el cual resistió una mayor fuerza antes de su ruptura ( $0.597\text{MPa} \pm 0.069$ ) tal como se muestra en el Gráfico 4.5.

De la información analizada estadísticamente en párrafos anteriores, se realizó la siguiente recopilación de datos (Tabla 4.13), siendo el "unicel" el control para la comparación. La esponja al 50 % de almidón resultó ser aquella con más característica mecánicas semejantes a las presentadas por el "unicel" ya que únicamente se encontró diferencia estadísticamente significativa en la prueba de tensión en el punto de ruptura cuyo valor fue de  $0.115 \pm 0.045$  MPa, menor al obtenido por el "unicel" ( $0.372 \pm 0.204$

MPa), indicando con ello que la esponja elaborada (prototipo) posee mayor resistencia a la ruptura.



**Gráfico 4.5. Diferencia entre medias para la prueba de tenacidad (intervalo de confianza del 95%)**

**Tabla 4.13. Recopilación de datos estadísticos usando el “unicel” como esponja control**

	<b>Unicel vs 0%Almidón</b>	<b>Unicel vs 20%Almidón</b>	<b>Unicel vs 40%Almidón</b>	<b>Unicel vs 50%Almidón</b>
Módulo de Young	✓	✓	✓	✓
Deformación(%)	✓	✓	X	✓
Tensión en la carga máxima	X	X	X	✓
Tenacidad	✓	✓	✓	✓
Tensión en el punto de ruptura	X	X	✓	X

✓ denota: Sí hay diferencia estadísticamente significativa  
 X denota: No hay diferencia estadísticamente significativa

Por otro lado, las esponjas al 0 y 20% de almidón se asemejan entre sí en cuanto a que ambas presentaron diferencias estadísticamente significativas en las mismas pruebas mecánicas (Módulo de Young,

porcentaje de deformación y tenacidad), mientras que la esponja con 40% de almidón presentó diferencias estadísticamente significativas en las pruebas de Módulo de Young, tenacidad y tensión en el punto de ruptura.

### 4.3. PRUEBA DE INTEMPERISMO

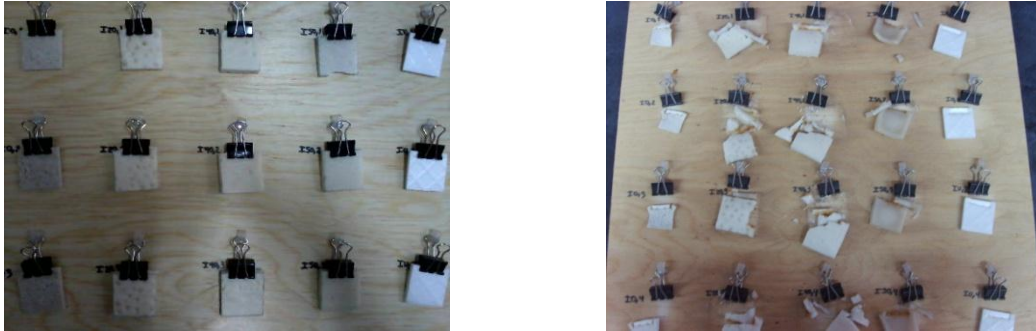
Esta prueba se realizó con la finalidad de determinar el comportamiento de las esponjas en estudio (a diferentes concentraciones de almidón) cuando éstas son expuestas a condiciones de intemperie (Tabla 4.14).

**Tabla 4.14. Recopilación de datos para las esponjas sometidas a intemperismo**

Tiempo (días)	Pérdida de masa (g)				
	Esponja 0% almidón	Esponja 20% almidón	Esponja 40% almidón	Esponja 50% almidón	Unicel
7	1.2772	0.3448	-1.0741	0.2685	-0.0005
14	1.3344	1.7845	0.6346	1.0316	0.0008
21	1.3168	0.6573	-0.4775	0.5592	-0.0007
28	1.3120	0.7623	-0.3278	0.6019	-0.0010
35	1.3071	0.3728	-0.5344	0.3940	-0.0012
42	1.3207	1.1237	0.0854	0.7271	-0.0017
57	1.3233	1.2511	0.2382	0.7565	-0.0029
63	1.4586	0.4543	-0.5241	0.3059	-0.0024
<b>Promedio</b>	1.1874 ± 0.4478	0.7501 ± 0.5508	-0.2200 ± 0.5100	0.5161 ± 0.3090	-0.0011 ± 0.0011

De acuerdo con los resultados obtenidos, se observó que la esponja al 0% de almidón fue la que tuvo mayor pérdida de masa indicando con ello su fácil descomposición en condiciones normales de intemperie, además fue

notoria su pérdida estructural dado que se tornó un tanto quebradiza (Imagen 4.3).

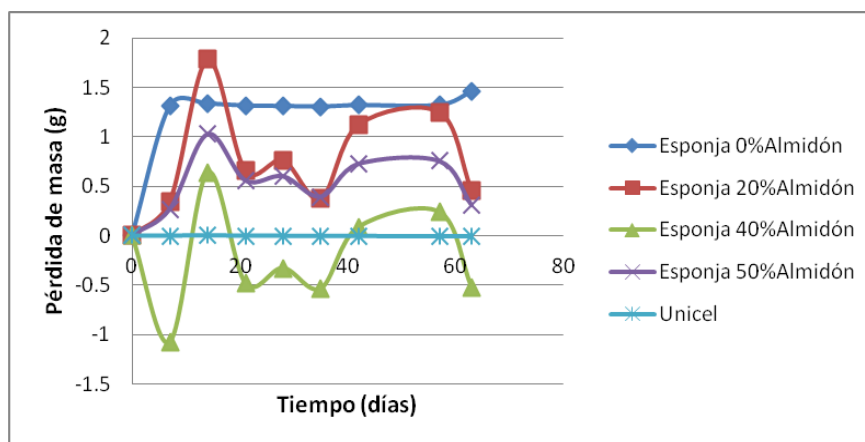


**Imagen 4.3. Esponjas para prueba de intemperismo a 0 días (izquierda) y 63 días (derecha)**

Es de notarse que la esponja de "unicel" tuvo una pérdida de masa despreciable, de  $-0.0011 \pm 0.0011$  g, siendo ésta constante a lo largo del periodo de prueba (63 días) tal como se observa en el Gráfico 4.6. Dicho comportamiento manifiesta una alta resistencia al deterioro cuando este material es desechado en tiraderos municipales favoreciendo su acumulación como residuo sólido.

La esponja al 40% de almidón destacó por ser la de menor pérdida de masa ( $-0.2200 \pm 0.5100$  g) gracias a su alta afinidad a la humedad debido a que la proporción de almidón en dicha muestra favoreció su incremento de masa (gelatinización del almidón) y redujo su compactabilidad adquiriendo una textura quebradiza. Para esta prueba, los ciclos de humedad-calor fueron determinantes debido a las características fisicoquímicas del almidón de maíz dado que la absorción de humedad en

la estructura de las esponjas genera inestabilidad estructural al igual que el secado al no ser controlado. Es decir, aunque la esponja al 40% de almidón no presentó gran pérdida de masa sí hubo deterioro estructural afectando directamente las características físicas y mecánicas de ésta. Con ello se da pauta a futuras investigaciones encaminadas a determinar la variación, en las pruebas mecánicas, que presentan las esponjas después de cierto periodo de intemperismo.



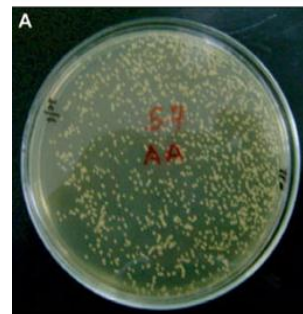
**Gráfico 4.6. Prueba de intemperismo (periodo de 63 días)**

#### **4.4. PRUEBA DE BIODEGRADABILIDAD**

La prueba fue realizada durante 57 días, periodo en el cual se obtuvieron los resultados mostrados en la Tabla 4.15. Se empleó composta madura a la cual se le realizó una prueba microbiológica de conteo de microorganismos (dilución y vaciado en placas) obteniéndose como resultado una población de  $1.69 \times 10^5$  UFC/g de composta, mostrado en la Imagen 4.4, indicando presencia microbiana capaz de degradar

compuestos orgánicos (quitina y almidón de maíz) presentes en dicha composta.

En esta prueba se corroboró que la esponja de "unicel" es cinco veces menos biodegradable en comparación con la esponja al 40% de almidón, aún cuando ésta es sometida a condiciones de compostaje controladas.



**Imagen 4.4. Pilas de composta madura (izquierda). Resultado de prueba microbiológica realizada a la composta madura (derecha)**

En contraste con el "unicel" se encontró que la esponja de quitina al 40% de almidón perdió más masa debido a la ganancia de humedad proveído por la composta, humedad comprendida entre el 40 y el 60%. Aunado a esto, fue detectable la reducción del tiempo de descomposición debido a la acción microbiana de la composta (bacterias, hongos termófilos y actinomicetos) por medio del deterioro progresivo de la estructura formada en las esponjas elaboradas.

**Tabla 4.15. Recopilación de datos para las esponjas puestas en composta para la prueba de biodegradabilidad**

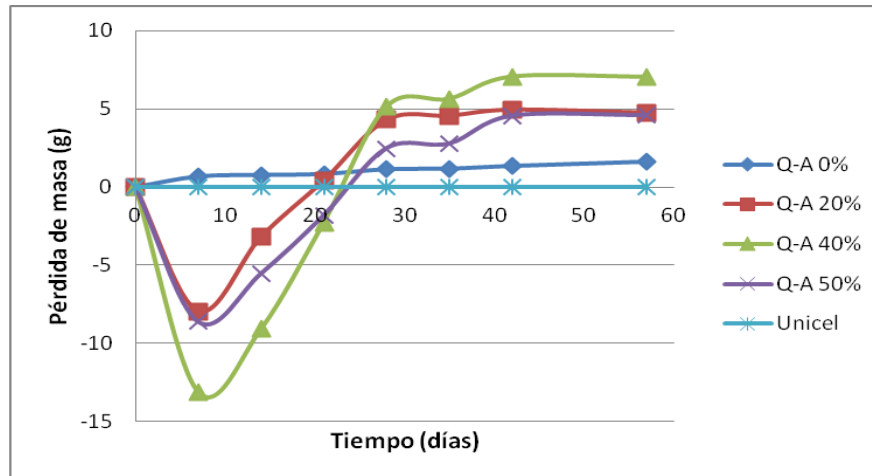
Tiempo (días)	Pérdida de masa (g)				
	Esponja 0% almidón	Esponja 20% almidón	Esponja 40% almidón	Esponja 50 % almidón	"unicel"
7	0.6760	-7.9468	-13.0874	-8.5966	-0.0002
14	0.7706	-3.2080	-9.0763	-5.5290	-0.0006
21	0.8360	0.4070	-2.2701	-1.8060	-0.0017
28	1.1354	4.3039	5.1360	2.4690	-0.0010
35	1.1784	4.5568	5.6357	2.7657	-0.0007
42	1.3447	4.9430	7.0508	4.5356	0.0000
57	1.6167	4.7503	7.0400	4.5771	0.0003

De acuerdo con lo observado en el Gráfico 4.7, la esponja al 40% fue la que más pérdida de masa presentó (7.040 g), debido a su alta afinidad al agua presente en la composta observando descomposición en su estructura, favoreciendo su degradación por acciones bacterianas propias de la composta empleada (Imagen 4.5).



**Imagen 4.5. Esponjas de quitina-almidón al 0, 20, 40 y 50% (izquierda a derecha) y control de "unicel" (extrema derecha) después de la prueba de biodegradabilidad**





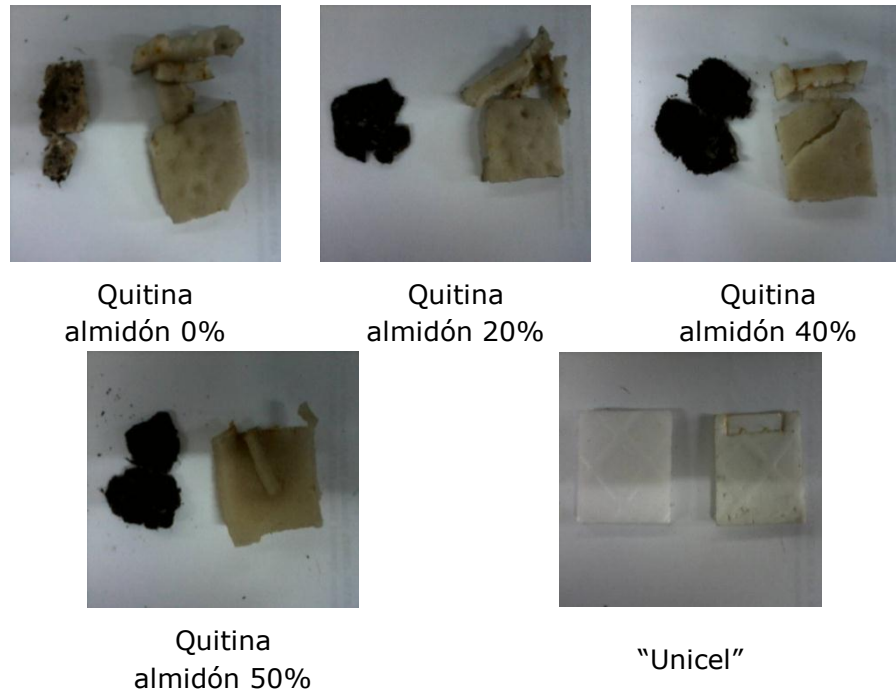
**Gráfico 4.7. Prueba de biodegradabilidad (periodo de 57 días) de las esponjas en estudio incluyendo el control de "unicel"**

También se vio un incremento en la degradación de las esponjas de quitina con plastificante (almidón de maíz), medido como pérdida de masa, comparado con la esponja de quitina sin plastificante, es decir que la adición de plastificante a la esponja favorece la biodegradabilidad y, por tanto, acelera el tiempo de degradación.

Por último, de acuerdo con la información recabada de ambas pruebas (intemperismo y biodegradabilidad), fue notoria la acción de la microbiota presente en la composta ya que se redujo en un 10% el tiempo de degradación de las muestras en estudio (esponjas de quitina y quitina-almidón), pasó de 63 días (intemperismo) a 57 días (biodegradabilidad).

Esto garantiza su rápida eliminación, reduciendo la problemática de los residuos sólidos, como puede observarse en la Imagen 4.6, donde la descomposición de los materiales de las esponjas obtenidas de los

residuos del camarón es muy clara, mientras que el material polimérico obtenido de la refinación del petróleo no sufre ninguna transformación en este lapso.



**Imagen 4.6. Comparación de muestras sometidas a biodegradabilidad e intemperismo (derecha a izquierda en cada foto) para las diferentes esponjas de estudio incluyendo el control de "unicel".**

## 5. CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS

### 5.1. CONCLUSIONES

De acuerdo con los objetivos de esta investigación que eran: Emplear la quitina, proveniente de cefalotórax y exoesqueletos del camarón, como materia prima para la elaboración de bioesponjas con características mecánicas similares al poliestireno espumado (conocido en México como "unicel"), pero con la ventaja de ser biodegradables e incorporar almidón de maíz, el cual posee propiedades termoplásticas que podrían proveer de una estructura fuerte y flexible a la bioesponja así como reducir el tiempo de degradación, permitiendo su competencia con el "unicel" en la fabricación de empaques de comida rápida, puede concluirse lo siguiente:

- Se obtuvieron esponjas de quitina almidón de maíz a diferentes concentraciones (0, 20, 40 y 50%), lográndose tener un mayor rendimiento comparado con las elaboradas únicamente con quitina. Las esponjas de quitina elaboradas al 50% de almidón fueron las que presentaron el mayor rendimiento siendo del 68.23%.
- Se compararon las esponjas de quitina y quitina adicionadas de almidón con las características mecánicas del poliestireno espumado ("unicel"), obteniéndose lo siguiente:
  - La esponja de quitina al 50% de almidón, fue las que presentó características mecánicas similares al presentado por el "unicel", siendo la prueba de tensión en el punto de ruptura la única con

diferencias estadísticamente significativas. Dicha prueba reflejó que la esponja en cuestión posee mayor resistencia a la ruptura pudiendo ampliar su uso como contenedor de alimentos, presentando ventaja frente a los derivados del petróleo por su biodegradabilidad, tal como se observó en la presente investigación.

- Se corroboró que el uso de almidón de maíz, como plastificante natural, mejora la biodegradabilidad de las esponjas de quitina debido a la composición bacteriana presente en la composta y a su alta afinidad al agua (humedad).

- Además, se observó que las esponjas al 0% y 20% de almidón presentaron similitud en su caracterización mecánica, aunque la esponja al 20% de almidón se degradó con mayor facilidad.

## **5.2. PERSPECTIVAS**

De acuerdo con lo obtenido en esta investigación, se recomienda realizar estudios de caracterización mecánica empleando algún otro polímero sintético para compararlo con la esponja de quitina-almidón al 50% debido a que presentó gran resistencia a la ruptura además de un buen rendimiento.

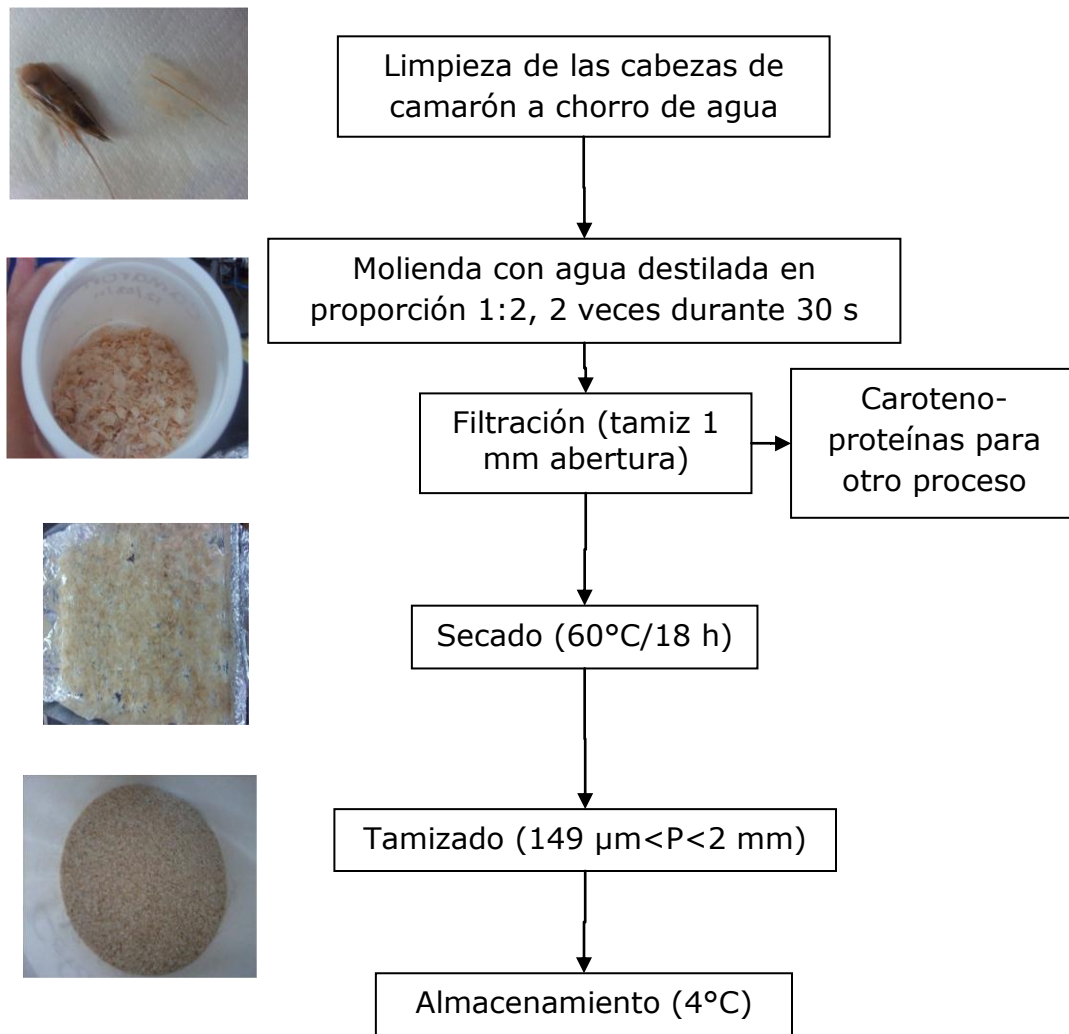
También se podría emplear otro tipo de almidón (termoplástico o catiónico) cuyas características fisicoquímicas favorezcan la interrelación a nivel molecular con la quitina permitiendo assimilar la caracterización

mecánica del "unicel" y, finalmente, complementar la investigación con estudios de permeabilidad, ensayos de migración de componentes y pruebas toxicológicas, que permitan determinar su inocuidad para ser empleado para contener o empacar alimentos (ASTM, 2002b).

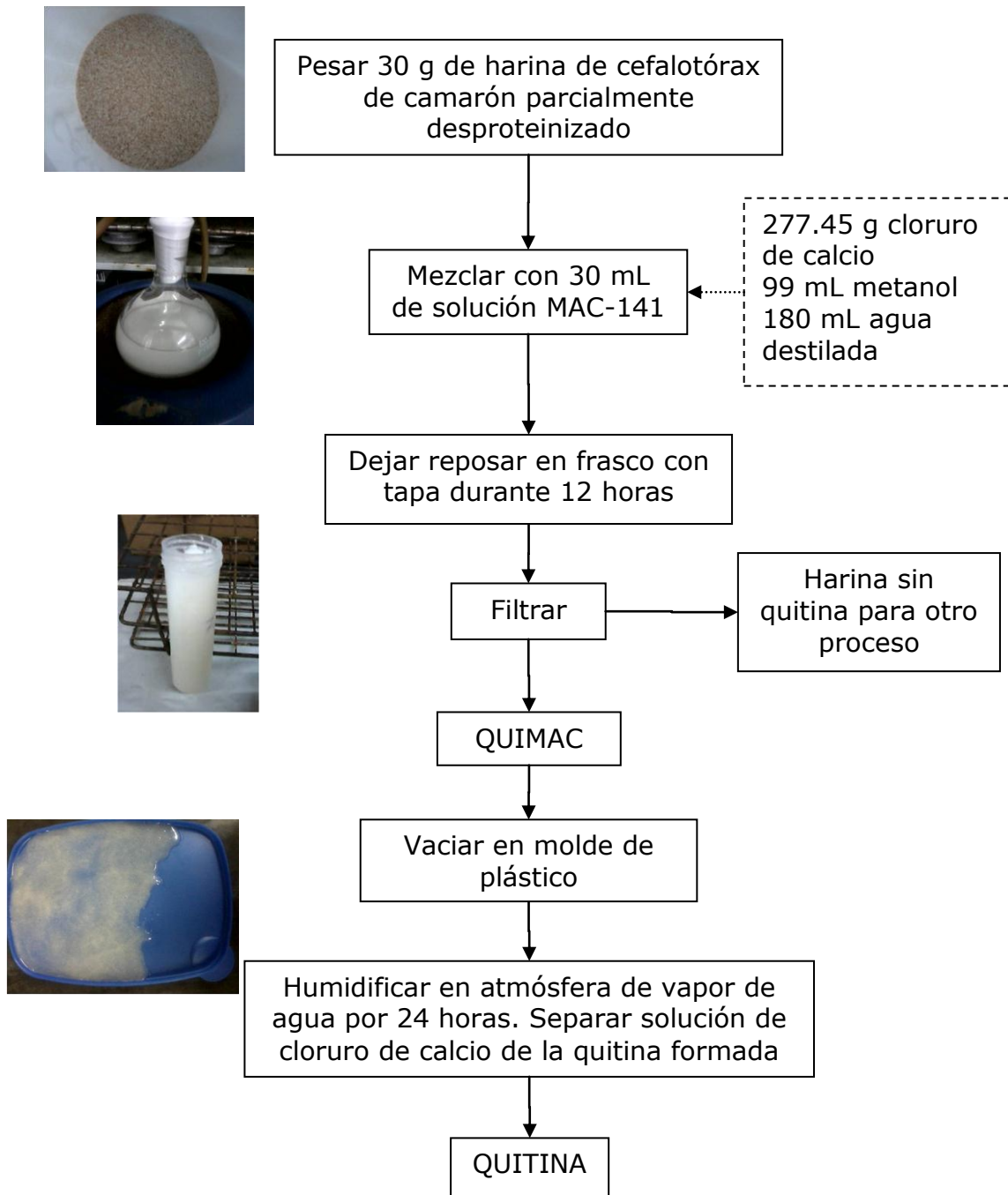
# ANEXOS

## ANEXO 1. METODOLOGÍAS

### A.1.1. Obtención del cefalotórax de camarón parcialmente desproteinizado



### A.1.2. Extracción de la quitina



### A.1.3. Elaboración de esponjas de quitina-almidón





## **ANEXO 2. REALIZACIÓN DE PRUEBAS MECÁNICAS**

Las pruebas mecánicas determinadas fueron: tensión en la carga, tensión en el punto de ruptura, módulo de Young, porcentaje de deformación y tenacidad, siguiendo las metodologías propuestas por la ASTM D882-02 (ASTM, 2002a) para la identificación y caracterización de los materiales plásticos.

Las pruebas se realizaron con la ayuda del Ing. Ernesto Sánchez Colín, del Instituto de Investigaciones en Materiales de la UNAM empleando el equipo de prueba Instron 5500R modelo 1125, las condiciones del análisis de las esponjas de quitina fueron las siguientes: Temperatura 22.8°C (73°F), humedad relativa 50%, velocidad de las crucetas 10 mm/min y distancia inicial de la probeta de 25 mm.



**Imagen 4.7. Equipo Instron 5500R, modelo 1125 empleado para caracterizar mecánicamente las esponjas de estudio (operado de conformidad con el manual del equipo)**

## A.2.1. Resultados emitidos por equipo Instron 5500R para las muestras de esponjas al 0% de almidón

Dra. Carmen Durán (Susana Tomas)  
TENSIÓN

Operador: ESC  
Identif. De la muestra: 0% ALMIDON  
N° metodo ensayo: 10  
QUITINA

Tensile Test ASTM 1708-S.I. Units  
Fe. Ensayo: Miércoles, 22 de Agosto de 2012  
Tipo de interfaz: 5500  
Veloc. Cruceta: 1.0000 mm/min  
segunda velocidad: 0.0000 mm/min  
tercera velocidad: 0.0000 mm/min  
Frec. Muestreo (pto/s): 1.0000  
temperatura: 73.0000 F  
Humedad (%): 50  
Dist. entre mord: 26.0000 mm  
D.I. probeta: 25.4000 mm

	Tensión en la carga máx(Mpa)	Módulo (youngAut) (Mpa)	Tenacidad (Mpa)	Deform máxima (mm/mm)	Deformación % carga ultima	Tensión punto rotur auto (Mpa)
1	0.028	0.976	0.039	0.33	33.007	0.08
2	0.043	0.353	0.03	0.409	40.881	0.072
3	0.023	0.387	0.023	0.352	35.173	0.059
4	0.033	1.507	0.027	0.451	24.739	0.088
media	0.03	0.563	0.029	0.3855	32.360	0.073
D.E.	0.007	0.487	0.006	0.055	5.814	0.011
C.V.	0.7528	0.7433	0.9816	0.3441	-0.5469	-0.5136

## A.2.2. Resultados emitidos por equipo Instron 5500R para las muestras de esponjas al 20% de almidón

Dra. Carmen Durán (Susana Tomas)

TENSIÓN

		Tensile Test ASTM 1708-S.I. Units	
Operador:	ESC	Fe. Ensayo:	Miércoles, 22 de Agosto de 2012
Identif. De la muestra:	20% ALMIDON	Tipo de interfaz:	5500
N° metodo ensayo:	10	Veloc. Cruceta:	1.0000 mm/min
QUITINA		segunda velocidad:	0.0000 mm/min
		tercera velocidad:	0.0000 mm/min
		Frec. Muestreo (pto/s):	1.0000
		temperatura:	73.0000 F
		Humedad (%):	50
		Dist. entre mord:	26.0000 mm
		D.I. probeta:	25.4000 mm

	Tensión en la carga máx(Mpa)	Módulo (youngAut) (Mpa)	Tenacidad (Mpa)	Deform máxima (mm/mm)	Deformación % carga ultima	Tensión punto rotur auto (Mpa)
1	0.193	71.642	0.026	0.863	20.132	0.019
2	0.12	73.185	0.043	0.748	35.001	0.032
3	0.106	46.223	0.023	0.622	18.334	0.023
4	0.185	65.453	0.036	0.823	33.238	0.039
media	0.141	61.982	0.03	0.764	24.559	0.026
D.E.	0.039	10.776	0.008	0.106	7.556	0.008
C.V.	-0.0574	-1.5994	0.3851	-0.9472	-0.0014	0.3287

### A.2.3. Resultados emitidos por equipo Instron 5500R para las muestras de esponjas al 40% de almidón

Dra. Carmen Durán (Susana Tomas)  
TENSIÓN

Operador:	ESC	Tensile Test ASTM 1708-S.I. Units	
Identif. De la muestra:	40% ALMIDON	Fe. Ensayo:	Miércoles, 22 de Agosto de 2012
N° metodo ensayo:	10	Tipo de interfaz:	5500
QUITINA		Veloc. Cruceta:	1.0000 mm/min
		segunda velocidad:	0.0000 mm/min
		tercera velocidad:	0.0000 mm/min
		Frec. Muestreo (pto/s):	1.0000
		temperatura:	73.0000 F
		Humedad (%):	50
		Dist. entre mord:	26.0000 mm
		D.I. probeta:	25.4000 mm

	Tensión en la carga máx(Mpa)	Módulo (youngAut) (Mpa)	Tenacidad (Mpa)	Deform máxima (mm/mm)	Deformación % carga ultima	Tensión punto rotur auto (Mpa)
1	0.135	0.061	0.002	0.054	3.608	2.73
2	0.127	0.065	0.003	0.068	5.448	1.185
3	0.186	0.072	0.006	0.078	6.824	0.455
4	0.238	0.058	0.011	0.059	7.810	0.818
media	0.161	0.064	0.004	0.065	5.440	0.864
D.E.	0.045	0.005	0.004	0.011	1.592	0.888
C.V.	0.7845	0.8107	1.0907	0.5249	-0.5566	1.4863

## A.2.4. Resultados emitidos por equipo Instron 5500R para las muestras de esponjas al 50% de almidón

Dra. Carmen Durán (Susana Tomas)  
TENSIÓN

Operador:	ESC	Tensile Test ASTM 1708-
Identif. De la muestra:	50% ALMIDON	Fe. Ensayo: Miércoles, 22 de Agosto de 2012
Nº metodo ensayo:	10	Tipo de interf: 5500
QUITINA		Veloc. Crucet: 1.0000 mm/min
		segunda veloc 0.0000 mm/min
		tercera velocic 0.0000 mm/min
		Frec. Muestre: 1.0000
		temperatura: 73.0000 F
		Humedad (%) 50
		Dist. entre mo 26.0000 mm
		D.I. probeta: 25.4000 mm

	Tensión en la carga máx(Mpa)	Módulo (youngAut) (Mpa)	Tenacidad (Mpa)	Deform máxima (mm/mm)	Deformación % carga ultima	Tensión punto rotur auto (Mpa)
1	2.730	9.819	0.365	0.116	17.936	0.135
2	3.041	7.728	0.321	0.151	15.093	0.065
3	1.117	4.827	0.080	0.104	10.369	0.186
4	1.955	6.147	0.162	0.127	12.731	0.152
media	1.903	6.655	0.163	0.1245	13.468	0.115
D.E.	0.758	1.873	0.120	0.020	2.817	0.045
C.V.	-0.6416	0.4353	-0.2225	0.7820	0.1829	-0.9764

## A.2.5. Resultados emitidos por equipo Instron 5500R para las muestras de esponjas de "unicel"

Dra. Carmen Durán (Susana Tomas)  
TENSIÓN

Operador: ESC  
Identif. De la muestra: unicel  
N° metodo ensayo: 10  
QUITINA

Tensile Test ASTM 1708-5  
Fe. Ensayo: Miércoles, 22 de Agosto de 2012  
Tipo de interf: 5500  
Veloc. Crucet: 1.0000 mm/min  
segunda veloc 0.0000 mm/min  
tercera velocic 0.0000 mm/min  
Frec. Muestre: 1.0000  
temperatura: 73.0000 F  
Humedad (%) 50  
Dist. entre mo 26.0000 mm  
D.I. probeta: 25.4000 mm

	Tensión en la carga máx(Mpa)	Módulo (youngAut) (Mpa)	Tenacidad (Mpa)	Deform máxima (mm/mm)	Deformación % carga ultima	Tensión punto rotur auto (Mpa)
1	0.491	22.631	0.491	0.063	4.334	0.228
2	0.653	20.472	0.653	0.051	4.932	0.653
3	0.666	15.463	0.666	0.073	6.732	0.666
4	0.613	21.923	0.613	0.069	3.334	0.299
media	0.597	19.674	0.597	0.064	4.535	0.372
D.E.	0.069	2.808	0.069	0.010	1.243	0.204
C.V.	-1.5590	-1.5671	-1.5590	-1.0154	0.7695	-0.0787

### ANEXO 3. PRUEBA DE BIODEGRADABILIDAD

Tiempo (días)	Esponja 0% Almidón		Esponja 20% Almidón		Esponja 40% Almidón		Esponja 50% Almidón		<i>Unicel</i>	
	Masa (g)	Pérdida de masa (g)	Masa (g)	Pérdida de masa (g)	Masa (g)	Pérdida de masa (g)	Masa (g)	Pérdida de masa (g)	Masa (g)	Pérdida de masa (g)
0	2.0165	0.0000	6.0839	0.0000	8.6942	0.0000	5.5875	0.0000	0.1655	0.0000
7	1.3405	0.6760	14.0307	-7.9468	21.7816	-13.0874	14.1841	-8.5966	0.1657	-0.0002
14	1.2459	0.7706	9.2919	-3.208	17.7705	-9.0763	11.1165	-5.5290	0.1661	-0.0006
21	1.1805	0.8360	5.6769	0.4070	10.9643	-2.2701	7.3935	-1.8060	0.1672	-0.0017
35	0.8811	1.1354	1.7800	4.3039	3.5582	5.1360	3.1185	2.4690	0.1665	-0.0010
42	0.8381	1.1784	1.5271	4.5568	3.0585	5.6357	2.8218	2.7657	0.1662	-0.0007
57	0.6718	1.3447	1.1409	4.9430	1.6434	7.0508	1.0519	4.5356	0.1655	0.0000
63	0.3998	1.6167	1.3336	4.7503	1.6542	7.0400	1.0104	4.5771	0.1652	-0.0003
Promedio		0.9447		0.9758		0.0536		-0.1980		-0.0005
DS		0.4942		4.6641		7.7109		4.8209		0.0006

DS, desviación estándar

## ANEXO 4. PRUEBA DE INTEMPERISMO

Tiempo (días)	Masa esponja 0% Almidón (g)				Promedio masa (g)	Pérdida de masa (g)
0	1.4117	1.9578	2.1722	2.2859	1.9569	0.0000
7	0.4452	0.5631	0.6968	0.8666	0.6429	1.3140
14	0.4323	0.5465	0.6763	0.8351	0.6226	1.3344
21	0.4439	0.5615	0.6945	0.8606	0.6401	1.3168
28	0.4438	0.5643	0.6995	0.8720	0.6449	1.3120
35	0.4387	0.5697	0.7076	0.8833	0.6498	1.3071
42	0.4245	0.5582	0.7013	0.8607	0.6362	1.3207
57	0.4277	0.5414	0.7036	0.8617	0.6336	1.3233
63	0.4237	0.0000	0.7143	0.8551	0.4983	1.4586
					Promedio	1.1874
					DS	0.4478

DS, desviación estándar

Tiempo (días)	Masa esponja 20 % Almidón (g)				Promedio masa (g)	Pérdida de masa (g)
0	5.7698	5.9879	6.3500	5.5016	5.9023	0.0000
7	5.3158	5.8694	6.1051	4.9398	5.5575	0.3448
14	3.9309	4.3156	4.5511	3.6739	4.1179	1.7845
21	5.0300	5.5458	5.7870	4.6172	5.2450	0.6573
28	4.9460	5.4177	5.5659	4.6305	5.1400	0.7623
35	5.2129	5.6398	6.0359	5.2294	5.5295	0.3728
42	4.2909	4.7787	5.0980	4.9471	4.7787	1.1237
57	4.4030	4.6103	4.9219	4.6697	4.6512	1.2511
63	5.2291	5.3301	5.6944	5.5385	5.4480	0.4543
					Promedio	0.7501
					DS	0.5508

DS, desviación estándar



Tiempo (días)	Masa esponja 40 % Almidón (g)				Promedio masa (g)	Pérdida de masa (g)
0	6.8792	7.7068	8.7716	8.0546	7.8531	0.0000
7	7.4925	8.9915	10.0405	9.1840	8.9271	-1.0741
14	6.0039	7.3893	8.0753	7.4052	7.2184	0.6346
21	7.0348	8.1000	9.4995	8.6880	8.3306	-0.4775
28	6.9222	8.1551	9.1914	8.4546	8.1808	-0.3278
35	7.4083	8.7254	9.0719	8.3440	8.3874	-0.5344
42	6.7284	7.9277	8.6634	7.7513	7.7677	0.0854
57	6.6165	7.8570	8.4518	7.5341	7.6149	0.2382
63	7.4901	7.9388	9.5313	8.5485	8.3772	-0.5241
					Promedio	-0.2200
					DS	0.5100

DS, desviación estándar

Tiempo (días)	Masa esponja 50 % Almidón (g)				Promedio masa (g)	Pérdida de masa (g)
0	4.8019	6.4110	6.6872	6.8440	6.1860	0.0000
7	4.3206	6.0536	6.6313	6.6647	5.9176	0.2685
14	3.8339	5.2163	5.7342	5.8335	5.1545	1.0316
21	4.1037	5.7341	6.3260	6.3435	5.6268	0.5592
28	4.3303	5.6388	6.0332	6.3344	5.5842	0.6019
35	4.4850	5.8955	6.2664	6.5213	5.7921	0.3940
42	4.2312	5.5320	5.8957	6.1770	5.4590	0.7271
57	4.2131	5.5259	5.8476	6.1314	5.4295	0.7565
63	4.3582	6.0641	6.4373	6.6611	5.8802	0.3059
					Promedio	0.5161
					DS	0.3090

DS, desviación estándar

Tiempo (días)	Masa del "unicel" (g)				Promedio masa (g)	Pérdida de masa (g)
0	0.1608	0.1667	0.1652	0.1700	0.1657	0.0000
7	0.1613	0.1672	0.1657	0.1705	0.1662	-0.0005
14	0.1613	0.1620	0.1656	0.1706	0.1649	0.0008
21	0.1615	0.1673	0.1660	0.1707	0.1664	-0.0007
28	0.1618	0.1676	0.1661	0.1711	0.1667	-0.0010
35	0.1620	0.1681	0.1664	0.1711	0.1669	-0.0012
42	0.1624	0.1683	0.1668	0.1718	0.1673	-0.0017
57	0.1636	0.1697	0.1681	0.1728	0.1686	-0.0029
63	0.1620	0.1690	0.1687	0.1727	0.1681	-0.0024
					Promedio	-0.0011
					DS	0.0011

DS, desviación estándar

## ANEXO 5. ACERVO FOTOGRÁFICO



Izquierda cabeza de camarón con carnosidades. Derecha cabeza de camarón sin carnosidades



Cefalotórax y exoesqueleto de camarón limpio



Hojuelas de CPD<sup>5</sup>



CPD molido



QUIMAC<sup>6</sup>



Mezcla quitina y almidón

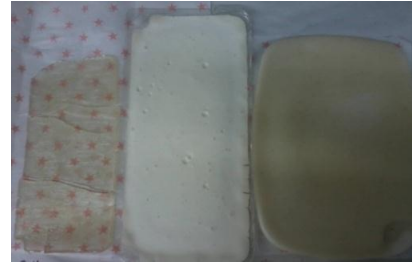
---

<sup>5</sup> Camarón parcialmente desproteinizado

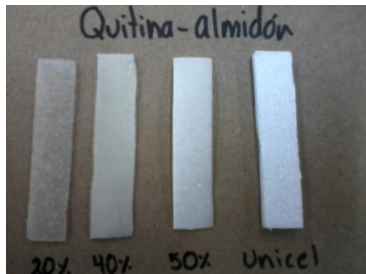
<sup>6</sup> Quitina con solución MAC



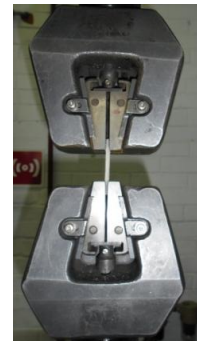
Moldeado de esponjas de quitina



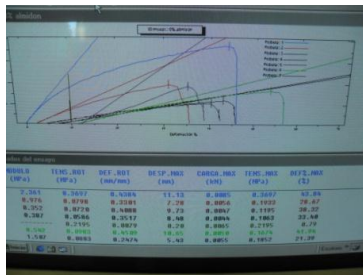
Esponjas elaboradas al 0, 20 y 50% de almidón (izquierda a derecha)



Esponjas cortadas para pruebas mecánicas



Prueba esfuerzo-deformación realizada a las esponjas de estudio



Resultados mostrados por el equipo Instron 5500R



Esponjas para prueba de biodegradabilidad e intemperismo



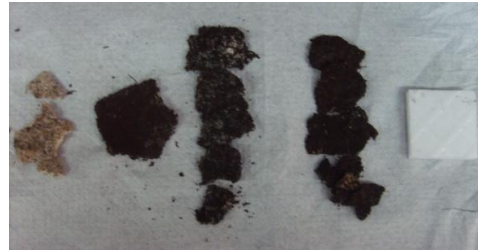
Pilas de compostaje de residuos de jardinería en la Ciudad Universitaria (UNAM)



Esponjas en composta para prueba de biodegradabilidad



Esponja en composta



Esponjas sometidas a biodegradabilidad



Esponjas para prueba de intemperismo en la zona ajardinada del Conjunto E de la Facultad de Química



Esponjas sometidas a intemperismo

## ANEXO 6. DATOS ESTADÍSTICOS

### A.6.1. Análisis estadísticos

Tensión en la carga máxima (MPa)					
Muestra	Proporción de almidón en esponja de quitina				"unicel"
	20 %	0 %	40 %	50 %	
1	0.193	0.028	0.135	2.730	0.491
2	0.120	0.043	0.127	3.041	0.653
3	0.106	0.023	0.186	1.117	0.666
4	0.185	0.033	0.238	1.955	0.613
Promedio	0.141	0.030	0.161	1.903	0.597
DS	0.039	0.007	0.045	0.758	0.069

DS, desviación estándar

Módulo de Young (MPa)					
Muestra	Proporción de almidón en esponja de quitina				"unicel"
	0 %	40 %	50 %	20 %	
1	0.976	0.061	9.819	71.642	22.631
2	0.353	0.065	7.728	73.185	20.472
3	0.387	0.072	4.827	46.223	15.463
4	1.507	0.058	6.147	65.453	21.923
Promedio	0.563	0.064	6.655	61.982	19.674
DS	0.487	0.005	1.873	10.776	2.808

Tensión en el punto de ruptura (MPa)					
Muestra	Proporción de almidón en esponja de quitina				"unicel"
	0 %	20 %	50 %	40 %	
1	0.080	0.019	0.135	2.730	0.228
2	0.072	0.032	0.065	1.185	0.653
3	0.059	0.023	0.186	0.455	0.666
4	0.088	0.039	0.152	0.818	0.299
Promedio	0.073	0.026	0.115	0.864	0.372
DS	0.011	0.008	0.045	0.888	0.204

DS, desviación estándar

Tenacidad (MPa)					
Muestra	Proporción de almidón en esponja de quitina				"unicel"
	0 %	20 %	40 %	50 %	
1	0.039	0.026	0.002	0.365	0.491
2	0.030	0.043	0.003	0.321	0.653
3	0.023	0.023	0.006	0.080	0.666
4	0.027	0.036	0.011	0.162	0.613
Promedio	0.029	0.030	0.004	0.163	0.597
DS	0.006	0.008	0.004	0.120	0.069

DS, desviación estándar

Deformación (%)					
Muestra	Proporción de almidón en esponja de quitina				"unicel"
	0 %	20 %	40 %	50 %	
1	33.007	20.132	3.608	17.936	4.334
2	40.881	35.001	5.448	15.093	4.932
3	35.173	18.334	6.824	10.369	6.732
4	24.739	33.238	7.810	12.731	3.334
Promedio	32.360	24.559	5.440	13.468	4.535
DS	5.814	7.556	1.592	2.817	1.243

DS, desviación estándar

## **ANEXO 7. ESTABILIZACIÓN Y DISPOSICIÓN DE LOS RESIDUOS GENERADOS EN ESTA INVESTIGACIÓN**

### **A.7.1. Disposición del cloruro de calcio ( $\text{CaCl}_2$ )**

Fue resultado del uso del disolvente MAC-141. Su tratamiento consiste en calentar en horno marca Felisa a  $100^\circ\text{C}$ , el tiempo varía según la cantidad de agua presente en el disolvente, hasta observar una apariencia cristalina y blanca que indica la máxima evaporación del agua. Se recupera en frascos de vidrio y reutiliza posteriormente en la preparación de más disolvente.

### **A.7.2. Disposición del residuo CPD**

Es producto de la extracción del QUIMAC y al ser materia orgánica, se deposita en el área de desechos orgánicos.

### **A.7.3. Disposición de la composta y sus subproductos analíticos**

Al tratarse de elementos naturales que no poseen compuestos químicos ni tóxicos, puede incorporarse directamente al suelo como abono debido a su alto contenido de nutrientes (nitrógeno, fósforo, potasio, etc).

### **A.7.4. Disposición de las probetas de esponja**

Al ser polímeros formados a partir de compuestos orgánicos (quitina y almidón) se desechan junto con los residuos orgánicos ya que se degradan e incorporan fácilmente en el suelo y apoyan el compostaje.



## **BIBLIOGRAFÍA**

- ASTM, 2002a. Standard test method for tensile properties of thin plastic sheeting. ASTM D882-02. American Standard Testing and Materials. Washington, D.C. EEUU.
- ASTM. 2002b. Standard terminology of environmental labeling of packing materials and packages. ASTM D5488-94. American Standard Testing and Materials. Washington, D.C. EEUU.
- ASTM. 2003. Standard test method for determining aerobic biodegradation of plastic materials under controlled composting conditions, incorporating thermophilic temperatures. ASTM D5338-98. American Standard Testing and Materials. Washington, D.C. EEUU.
- Bárcenas, E. 2010. Biopolímeros de cefalotórax y exoesqueleto de camarón. Uso de aditivos químicos para modificar sus propiedades mecánicas. Tesis de licenciatura. UNAM. México, D.F. México.
- Beltrán-Rico, M. y Marcilla-Gomis, A. 2012. Tecnología de polímeros. Procesado y propiedades. Universidad de Alicante. Campus San Vicente. Alicante, España.
- Billmeyer, W. F. 2004. Ciencia de los polímeros. Ed. Reverté. Barcelona, España.
- Chang, P. R. Jian, R., Yu, J., Ma, X. 2010. Starch-based composites reinforced with novel chitin nanoparticles. Carbohydrate Polymers, 80:420-425.

DOF. 2009. Exposición a la intemperie de películas plásticas. Norma Mexicana NMX-175-CNCP-2009. Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. Diario Oficial de la Federación. Poder Ejecutivo Federal. México D.F. México.

FEDNA. 2011. Normas FEDNA. Especificación Técnica de Análisis. Tasa de gelatinización del almidón. Fecha: Julio de 2000. Federación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal. Disponible en: <http://www1.etsia.upm.es/fedna/analisis/ana61x.htm>

Flores-Ortega, R. A. 2004. Bioplástico de quitina: Formación de películas de quitina a partir de desechos de camarón por métodos ecológicos. Tesis de Maestría en Ciencias. Programa de Maestría y Doctorado en Ciencias Químicas. UNAM, México, D.F. México. Consultado en: Bárcenas, E., 2010. Biopolímeros de cefalotórax y exoesqueleto de camarón. Uso de aditivos químicos para modificar sus propiedades mecánicas. Tesis de licenciatura. UNAM. México, D.F. México.

Flores-Ortega, R. A., Durán-Domínguez-De-Bazúa, M. C., Barrera-Rodríguez, S. 2004. Extracción ecológica de quitina y subproductos. Patente Núm. 264482. Solicitud de Registro: Octubre 1, 2004. Facultad de Química, UNAM. IMPI. PA/a/2004/009517. Patente otorgada el 12 de febrero de 2009. México D.F. México.

Fritz, H. G. 1994. Study on production of thermoplastics and fibres based mainly on biological materials. European Commission Directorate-

General XII, Science, Research and Development. Bioplastics and Polymers. XVI, 392 páginas. Alemania.

Gillespie, R. y Beltrán, A. 1990. Química. Ed. Reverté. Barcelona, España.

Groover, P. M. 2002. Fundamentos de manufactura moderna. Materiales, procesos y sistemas. Ed. Pearson - Prentice Hall. Estado de México, México.

INEGI. 2010a. Cuarto Informe de Gobierno (Anexo Estadístico). [www.informe.gob.mx](http://www.informe.gob.mx) (fecha de actualización: 4 de octubre de 2010).

Disponible en:

[www.inegi.org.mx/sistemas/sisept/default.aspx?t=mamb57&c=21649](http://www.inegi.org.mx/sistemas/sisept/default.aspx?t=mamb57&c=21649)

INEGI. 2010b. SEMARNAT. SNIARN. Módulo de Consulta Temática. Dimensión Ambiental. Residuos Sólidos Urbanos, 2010. Fecha de actualización: jueves 20 de enero de 2011. Disponible en:

<http://www.inegi.org.mx/sistemas/sisept/default.aspx?t=mamb28&s=est&c=21654>

Jiménez, O., Martínez-Bustos, F., Aguilar-Palazuelos, E., Delgado-Rangel, A. 2006. Moldeado por inyección de materiales poliméricos termoplásticos basados en almidones. Memorias del XII Congreso Internacional Anual de la SOMIM. 20 al 22 de septiembre, Acapulco, Gro. México.

Kalpakjian, S. y Schmid, S. R. 2002. Manufactura, ingeniería y tecnología. Ed. Prentice Hall. Naucalpan de Juárez, Estado de México, México.

- López, O., García, M. A., Villar, M. A., Gentili, A., Rodríguez, M. S., Albertengo, L. 2014. Thermo-compression of biodegradable thermoplastic corn starch films containing chitin and chitosan. *LWT-Food Science and Technology*. 57 (2014) 106-115.
- Majeti, V. y Ravi, K. 2000. A review of chitin and chitosan applications. *Reactive and Functional Polymers*, 46(1):1-27.
- Marín, G., Aragón, R., Gómez, B. 2002. Análisis químico de suelos y aguas. Manual de laboratorio. Universidad Politécnica de Valencia. Valencia.
- Merchán, J., Ballesteros, D., Jiménez, I., Medina, J., Álvarez, O. 2009. Estudio de la biodegradación aerobia de almidón termoplástico (TPS). *Suplemento de la Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales (Venezuela)*, S1(1):39-44.
- Primo, E. 1995. Química orgánica básica y aplicada. De la molécula a la industria. Universidad Politécnica de Valencia. Ed. Reverté. Barcelona, España.
- Pushpadass, H., Weber, R., Dumais, J., Hanna, M. 2010. Biodegradation characteristics of starch-poly styrene loose-fill foams in a composting medium. *Bioresource Technology*, 101(19):7258-7264.
- Ramírez-Gama, R. M., Luna M., Mejía C., Velázquez M., Tsuzuki R., Vierna G., Hernández G., Müggenburg R., Camacho C. y Urzúa H. 2008. Manual de prácticas de microbiología general. Editora R. M. Ramírez-

- Gama. Laboratorio de Microbiología Experimental. Facultad de Química, UNAM. México, D.F. México.
- Rodríguez-Salinas, M.A. y Córdova-Vázquez, A. 2006. Manual de compostaje municipal Tratamiento de residuos sólidos urbanos. SEMARNAT, INE y GTZ. México, D.F. México.
- Sánchez, I. 2007. Propiedades fisicoquímicas de almidones catiónicos elaborados por extrusión. Tesis para obtener el grado de Maestro en Ciencias y Tecnología Avanzada. IPN. Septiembre. México, D.F. México.
- Seymour, B.R. y Carreher E.C. 2002. Introducción a la ciencia de los polímeros. Ed. Reverté. Barcelona, España.
- Villada, H., Acosta, H., Velasco, R. 2008. Biopolímeros naturales usados en empaques biodegradables. Temas agrarios. Información Tecnológica, 19(2):3-14.
- Vincent-Vela, M.C., Álvarez-Blanco, S., Zaragoza-Carbonell, J.L. 2006. Principales polímeros comerciales. Ed. Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, España.