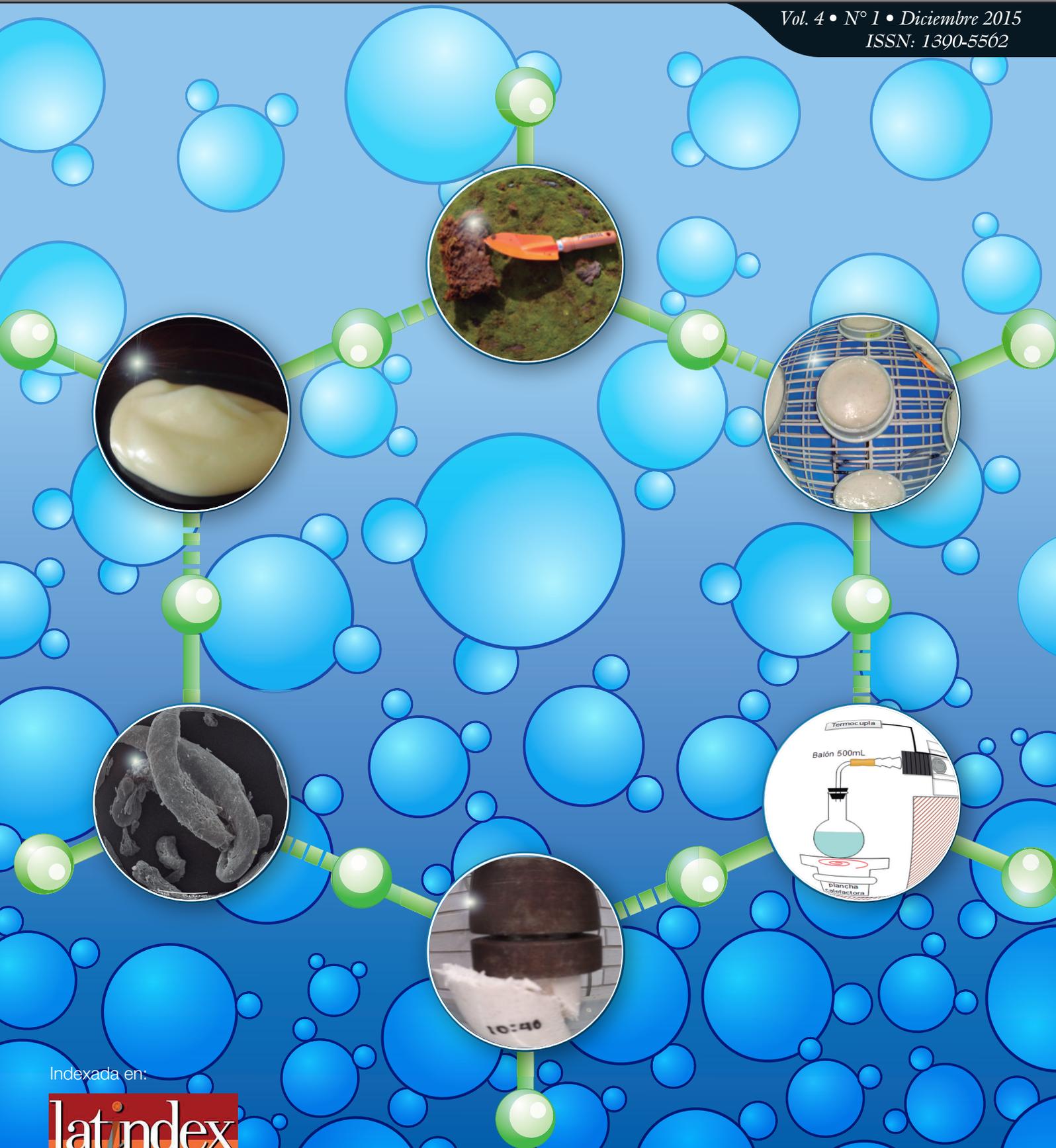


Química Central



Revista de la Facultad de Ciencias Químicas
Universidad Central del Ecuador

Vol. 4 • N° 1 • Diciembre 2015
ISSN: 1390-5562



Indexada en:

latindex

CONTENIDOS

Presentación	1
Elaboración de mayonesa nutracéutica a base de inulina y estudio reológico	3
<i>Silvana Corea, Pablo Bonilla</i>	
Caracterización mecánica de bioesponjas de residuos de crustáceos como opción al poliestireno expandido en empaques para alimentos	13
<i>Jesús A. Ortega-granados, Rolando S. García-gómez, Ronny Flores, María Del Carmen Durán-domínguez-de-bazúa</i>	
Estudio de factibilidad para la determinación de nitrógeno y proteína mediante el uso del calorímetro diferencial adiabático	27
<i>Gabriela Páez, Pablo Bonilla</i>	
Presencia de metales pesados y semimetales en musgo entorno a la Estación Antártica Ecuatoriana Pedro Vicente Maldonado	33
<i>Deisy Sarmiento, Ronny Flores</i>	
Pirólisis y gasificación de residuos sólidos de polietilentereftalato	41
<i>Daniel Zurita, Washington Núñez, Klaus L. Amen</i>	
Instrucciones para los autores	47

QUÍMICA CENTRAL

QUÍMICA CENTRAL (ISSN 1390-5562), Volumen 4, Número 1, diciembre 2015. Revista científica bianual de Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Central del Ecuador, Quito-Ecuador. El contenido de los artículos es responsabilidad exclusiva de los autores y no refleja el punto de vista de la Facultad de Ciencias Químicas. Química Central está indizada en el catálogo Latindex, Sistema Regional de Información en Línea para Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal. Tiraje 500 ejemplares. Dirección: Instituto de Investigación y Postgrado, calle Jerónimo Leyton (detrás del Hospital del Día), Ciudadela Universitaria, Quito, Teléfonos: (593 2) 3216975 / 2523710 / 2500 409. Apartado postal: 17-03-1369, Quito-Ecuador.

Sitio Web:

Proyectos en:

<http://www.uce.edu.ec/web/ciencias-quimicas>

Correo electrónico:

revista.fcq@uce.edu.ec

ISSN: 1390-5562

DIRECTOR

Quím. Ronny Flores, MSc, PhD
Investigador Docente Laboratorio de Química Sostenible
Facultad de Ciencias Químicas
Universidad Central del Ecuador, Ecuador

Consejo Editorial

Dra. Lorena Goetchel, MSc
Directora Instituto de Investigación y Posgrado
Facultad de Ciencias Químicas
Universidad Central del Ecuador, Ecuador
Dr. Jorge Heredia, PhD
Docente investigador del Centro de Investigación Traslacional
Universidad de las Américas, Ecuador
Dra. María José García Celia, PhD
Facultad de Farmacia, Unidad de Tecnología Farmacéutica
Universidad de Barcelona, España
Dr. René Miranda Ruvalcaba, PhD
Laboratorio de Estudios sobre Química Verde
Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán
Universidad Nacional Autónoma de México, México

Consejo Técnico

Dr. Ullrich Stahl, PhD
Facultad de Ingeniería Química
Universidad Central del Ecuador, Ecuador
Dr. José Iván Chango Villacís
Centro de investigación aplicada a polímeros
Escuela Politécnica Nacional del Ecuador, Ecuador
MSc. Verónica Egas
Departamento de Productos Naturales
Instituto de Química
Universidad Nacional Autónoma de México, México
MSc. Cecilia Nieto Aravena
Departamento de Bioquímica y Enzimología
Universidad Nacional Agraria La Molina, Perú

Diseño e Impresión: Editorial Universitaria

EDITORIAL

Como una respuesta a la corresponsabilidad que conlleva ser parte de un centro de estudios universitarios, con gran beneplácito la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Central del Ecuador, presenta a la comunidad científica en particular, y al país en general, el Cuarto Volumen de la Revista Química Central, órgano oficial de difusión de los estudios investigativos que se han gestado y desarrollado en las aulas y espacios académicos de esta facultad y, también, de trabajos realizados en otras universidades nacionales e internacionales.

Quienes forman parte de ella, buscan contribuir con sus aportes al bienestar del ser humano, por ello se incorporan en esta publicación, trabajos con el debido rigor científico, en las áreas de la industria de los alimentos, los biomateriales, la contaminación ambiental y la energía. Estudios que sin duda, guardan la esencia de la formación profesional de la Facultad de Ciencias Químicas, que es la investigación científica, y en la que confluyen el interés por parte de los estudiantes y la experiencia y capacidad de sus maestros, así como la permanente colaboración de investigadores de la Universidad Nacional Autónoma de México, a fin de estructurar propuestas serias frente a las necesidades de la comunidad, en los ámbitos de la industria química y alimentaria.

La ciencia per se, va de la mano de la tecnología e innovación, mismas que se construyen y se desarrollan gracias a la producción de conocimientos nuevos, los cuales se generan no como hechos aislados, sino mediante procesos que arrancan con una idea o inquietud para entender lo que circunda al ser humano, para luego darle no solo forma o sentido, sino intervenir en esa realidad para transformarla mediante el planteamiento de soluciones y de esta manera provocar verdaderos cambios que trascienden a lo productivo, económico y social. Esta es la misión de quienes somos parte de la noble tarea de educar, la de entregar a la sociedad profesionales con formación en el quehacer científico, pero sobre todo con gran compromiso social.

Química Central, es una revista científica de publicación bianual, referida a artículos originales del área de las Ciencias Químicas en virtud de lo cual extendemos una permanente invitación a la comunidad universitaria o vinculada al sector industrial a compartir sus experiencias investigativas, a ser parte de esta iniciativa y con ello dar impulso a la formación académica y profesional del estudiantado.

Consejo Editorial

Elaboración de mayonesa nutracéutica a base de inulina y estudio reológico

SILVANA CORREA^{a*}, PABLO BONILLA^a
Facultad de Ciencias Químicas,
Universidad Central del Ecuador (UCE), Quito, Ecuador

*Correspondencia: silvypcc@yahoo.com

Recibido: 07 de mayo de 2015, Aceptado: 19 de septiembre de 2015

Resumen

La mayonesa es un alimento que posee gran cantidad de ácidos grasos esenciales y fosfolípidos por lo que es una gran fuente de nutrientes, pero tiene el inconveniente de que es uno de los causantes de la ganancia de peso corporal.

Esta investigación se enfocó en modificar la formulación de la mayonesa tradicional por una mayonesa nutracéutica a base de inulina (prebiótico) y analizar su comportamiento reológico, sin cambiar sus propiedades organolépticas característica de la mayonesa tradicional.

Al realizar el respectivo análisis reológico, fisicoquímico y sensorial, en la mayonesa nutracéutica, se observó que la estabilidad no se ve afectada por problemas de rancidez gracias a la baja concentración de aceite que presenta. El comportamiento reológico de la mayonesa es plástico en un inicio y plástico-tixotrópico al final del estudio de estabilidad. El tiempo de vida útil, según su comportamiento reológico, es de 3 meses aproximadamente. La mayonesa nutracéutica comparada con la mayonesa comercial cuenta con 40% menos de calorías, con un 45% menos de grasa, el colesterol es mayor en un 8% y las proteínas son mayores en un 20%, además, cuenta con beneficios prebióticos al ser la inulina su materia prima.

Palabras clave: mayonesa, inulina, reología, prebiótico.

Mayonnaise preparation of inulin-based nutraceutical and rheological study

Abstract

Mayonnaise is a nutriment that contains a great essential fatty acids quantity, but one problem is that it has let gain corporal weight. The main objective of the present investigation was modify the traditional mayonnaise formulation. In that sense, a nutraceutical mayonnaise with inulina (prebiotic) was developed. The rheological, sensorial and physicochemical analyses showed that stability was not affected by rancidity problems result of low oil concentration in the nutraceutical mayonnaise. At the beginning and the ending of the stability assays, the rheological nutraceutical mayonnaise behavior was plastic and thixotropic plastic respectively. The useful lifetime of the nutraceutical mayonnaise according its rheological behavior is about 3 months. Furthermore, the nutraceutical mayonnaise benefits are 40% fewer calories, 45% less fat, cholesterol increased in 8%, a 20% higher protein quantity, and its prebiotic activity produced by the inulin compared with the traditional mayonnaise.

Keywords: mayonnaise, inulin, prebiotic, rheological behavior.

1. Introducción

La nutrición está experimentando un cambio significativo, en la actualidad el concepto clásico de nutrición equilibrada, es aquello que aporta a través de los alimentos las correctas proporciones de los nutrientes básicos, tales como hidratos de carbono, proteínas, grasas, vitaminas, minerales así como las calorías suficientes para satisfacer las necesidades orgánicas particulares.

Este concepto clásico tiende a ser sustituido por el de nutrición funcional, que además de hacer referencia a la capacidad de nutrir se refiere a la potencialidad que tienen algunos alimentos para promover la salud, mejorando el bienestar y reduciendo el riesgo de desarrollar ciertas enfermedades, tales alimentos son llamados "alimentos nutraceuticos", entre los que destacan no solamente los fitonutrientes sino los probióticos y prebióticos [1].

Los alimentos prebióticos según Santos Marquina [1] son alimentos que contienen microorganismos vivos que, al ser ingeridos en cantidades suficientes, ejercen algún efecto beneficioso sobre la salud más allá de sus propiedades nutricionales. Según la definición del Ministerio de Agricultura de España, los alimentos prebióticos son los que contienen ingredientes no digeribles de la dieta, que benefician al consumidor por estimular el crecimiento o la actividad microbiana intestinal, en esta categoría se encuentran, por ejemplo: la fibra, los fructooligosacáridos, la inulina, y la lactulosa. La inulina es un carbohidrato de almacenamiento presente en muchas plantas, vegetales, frutas y cereales aproximadamente 36 000 especies y por tanto forma parte de nuestra dieta diaria. A nivel industrial, la inulina se obtiene principalmente de la raíz de la achicoria y se usa como ingrediente en los alimentos, ofreciendo ventajas tecnológicas e importantes beneficios a la salud [2].

La propiedad de la inulina más estudiada es su comportamiento como prebiótico, definido por su capacidad selectiva de estimular el crecimiento de un grupo de bacterias en el colon (bifidobacterias y lactobacilos), con la consecuente disminución de otras especies que pueden ser perjudiciales (ejemplo: *E. coli* y bacterias de la especie *Clostridium spp.*) [2].

La alimentación continuada con inulina de 9 a 15 g/día en tres dosis diarias, produce un aumento de 6 a

22% en la población de bifidobacterias y disminución de *E. coli* de 25 a 4% y *Clostridium* de 1 a 0.2% [3]. La población bacteriana total se mantiene constante, variando la correlación porcentual de las diferentes especies. Entre otras propiedades beneficiosas de la inulina, se mencionan: el refuerzo de las funciones inmunológicas (ante cáncer o tumores), el aumento de la biodisponibilidad de minerales, la mejora del metabolismo de las grasas y de la respuesta glicémica [3].

La inulina está constituida por moléculas de fructosa unidas por enlaces β - (2 \rightarrow 1) fructosil-fructosa, siendo el término "fructanos" usado para denominar este tipo de compuestos. Las cadenas de fructosa tienen la particularidad de terminar en una unidad de glucosa unida por un enlace α -(1,2) (residuo β -D-glucopiranosil), como en la sacarosa pero también el monómero terminal de la cadena puede corresponder a un residuo de β -D-fructopiranosil, Figura 1 [3].

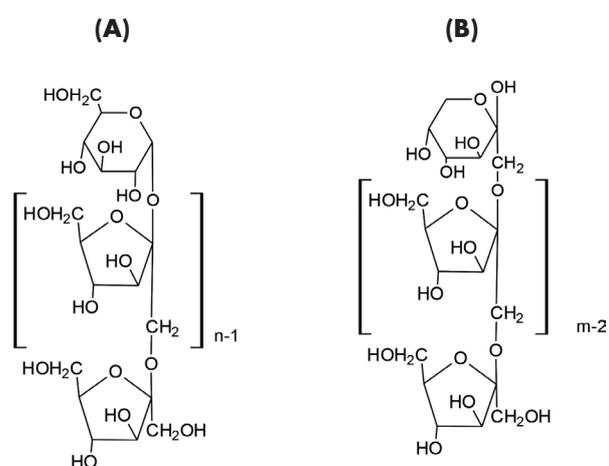


Figura 1. Estructura química de la inulina: con una molécula terminal de glucosa (β -D-glucopiranosil) (A) y con una molécula terminal de fructosa (β -D-fructopiranosil) (B)

La mayonesa es un alimento, que posee gran cantidad de ácidos grasos esenciales especialmente ácido linoleico, así como fosfolípidos y vitaminas, por lo que es una gran fuente de nutrientes, pero tiene el inconveniente de que es uno de los causantes de ganancia de peso corporal por ser rico en calorías, aumenta el nivel de colesterol y triglicéridos por efecto de su materia prima que es el huevo y el alto contenido de aceite que este producto tiene.

Esta investigación se enfocó en modificar la formulación de la mayonesa tradicional por una mayonesa nutracéutica a base de inulina, sin modificar las características sensoriales de la mayonesa, luego analizar su comportamiento reológico, así como el análisis físico-químico y sensorial.

La mayonesa nutracéutica puede ser un sustituto de la mayonesa tradicional, la misma que, por presentar altos contenidos de calorías y grasas, tiene un consumo limitado por personas diabéticas, obesas e hipertensas. La mayonesa nutracéutica puede ser consumida sin límite, ya que por su composición es un producto bajo en calorías y grasas y por los beneficios que presenta a la salud al ser un alimento prebiótico, este producto puede ser dirigido a todo tipo de persona, ya que la inulina como materia prima aporta grandes beneficios a la salud.

2. Parte experimental

La investigación fue de tipo experimental, en la cual se modificó la cantidad de aceite e inulina, con el fin de buscar una formulación con características físicas, químicas y sensoriales, similares a la mayonesa tradicional.

Para reemplazar el aceite por la inulina, se probó una población de 50 formulaciones diferentes, variando la relación inulina-aceite, de las cuales se escogió la formulación que más se aproximó su viscosidad a la de la mayonesa tradicional que es de 18.000 cP. A partir de esta se desarrollaron 7 formulaciones en las que se disminuyó la cantidad de aceite que se reemplazó por inulina.

En las 7 formulaciones diferentes se analizó, el comportamiento reológico y las propiedades físicas como la homogeneidad (diámetro de las gotas de aceite), viscosidad, color y análisis sensorial [4]. En función de estos parámetros se seleccionaron las mejores formulaciones para realizar el análisis de estabilidad con el fin de llegar a la formulación final de la mayonesa nutracéutica.

La estabilidad se analizó a 10°C, 20°C y 30°C, que son los posibles ambientes de almacenamiento. (Ver Tabla 1). El análisis de estabilidad se realizó durante 3 meses y la periodicidad de la evaluación de los pa-

rámetros se hizo a los tiempos 0, 1, 7, 15, 30, 60, 75 y 90 días. Los parámetros analizados fueron:

- Análisis reológico (NMX-F-722 COFOCALE)
- Índice de acidez (INEN 38 1973-08)
- Índice de peróxidos (INEN 277:1978-02)
- Análisis sensorial [4]

Todos los parámetros fueron comparados con los de la mayonesa tradicional, de acuerdo a los valores de la Norma mexicana NMX-F-021-S-1979 y la Norma ecuatoriana NTE INEN 2 295:2006, con el fin de establecer las similitudes o diferencias entre las mismas y de esta manera escoger la formulación final de la mayonesa nutracéutica.

Tabla 1. Diseño experimental tiempo de vida útil

Tiempo, días	Temperatura								
	10°C			20°C			30°C		
	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
0	x	x	x	x	x	x	x	x	x
1	x	x	x	x	x	x	x	x	x
7	x	x	x	x	x	x	x	x	x
15	x	x	x	x	x	x	x	x	x
30	x	x	x	x	x	x	x	x	x
60	x	x	x	x	x	x	x	x	x
75	x	x	x	x	x	x	x	x	x
90	x	x	x	x	x	x	x	x	x

Las muestras elaboradas fueron en total 72, ocho muestras para cada día de ensayo a las tres temperaturas. Tres repeticiones por tratamiento.

3. Resultados y discusión

En la Tabla 2 se indican viscosidades de cada formulación con una diferente concentración de aceite, la cual disminuye conforme se aumenta la inulina, la viscosidad no varía en gran medida entre cada formulación.

Tabla 2. Diseño experimental

Formulaciones	Aceite (%)	Viscosidad, cP
F(P)	70	18 000
F(1)	60	17 900
F(2)	50	18 100
F(3)	40	18 000
F(4)*	30	17 950
F(5)	20	18 000
F(6)	10	18 000
F(7)	0	18 100

F=formulación**P=Patrón*****= formulación seleccionada**

La formulación seleccionada F(4) tiene un tamaño de partícula de 2 a 9 μm , una viscosidad de 17.950 y sabor y aroma característicos, los cuales son valores muy cercanos a la mayonesa tradicional.

Parámetros físicos de selección para las formulaciones destinadas al estudio de estabilidad

Para el estudio de estabilidad se eligieron las mejores formulaciones con base en los parámetros: concentración de aceite, sabor, textura, color y comportamiento reológico, todos estos valores se compararon con la formulación comercial, Tabla 3.

Tabla 3. Comparación de parámetros para la selección de las mejores formulaciones para el estudio de estabilidad

Formulaciones	Sabor	Textura (cP)	Color	Tamaño de Partícula (mm)	% Aceite
F(patrn)	Característico	18 000	Característico	2-8	70
F(1)	Característico	17 900	Característico	2-8	60
F(2)	Característico	18 100	Característico	2-8	50
F(3)	Característico	18 000	Característico	2-9	40
F(4)	Característico	17 950	Característico	2-9	30
F(5)	Ligero sabor dulce	18 000	Ligeramente rosado	4-10	20
F(6)	Ligero sabor dulce	18 000	Ligeramente rosado, algo brillante	No detectable	10
F(7)	Sabor dulce más pronunciado	18 100	Rosado más intenso y brillante	No detectable	0

En el análisis sensorial, los panelistas determinaron mediante una prueba dúo trío, que el sabor, color y la textura no difieren entre las formulaciones patrón y las formulaciones 1, 2, 3, 4, de ahí en adelante estas propiedades cambian proporcionalmente hasta la formulación 7, según estos parámetros las dos últimas formulaciones quedarían descartadas para el estudio de estabilidad, ya que no cumplen con las características esperadas de sabor y color.

Análisis de los resultados del comportamiento reológico

Las mayonesas nutraceúticas que se asemejan más al comportamiento reológico de la formulación patrón, en orden de similitud fueron las formulaciones 1, 2, 3 y 4.

La formulación uno, a pesar de que su comportamiento reológico superaba al de la mayonesa comercial,

se descartó debido a que presenta bajas concentraciones de aceite reemplazado por inulina.

Las formulaciones 6 y 7, además de su mal sabor y color, se descartaron por su comportamiento reológico ya que presenta inestabilidad como emulsión.

La formulación 5 se seleccionó por la concentración de aceite reemplazado y porque su comportamiento reológico es similar al de la mayonesa comercial.

Finalmente, para el estudio de estabilidad se seleccionaron las formulaciones 2, 3, 4 y 5. Presentado el siguiente comportamiento reológico:

Los gráficos de la curva de fluidez representan el esfuerzo cortante (τ) en mPa vs. velocidad de deformación (D) en s^{-1} , la medida se realiza desde una velocidad menor a una mayor y viceversa.

Para los gráficos de curva de viscosidad se representan viscosidad (η) en mPa.s vs. velocidad de deformación (D) en s^{-1} , la medida se realiza desde una velocidad menor a una mayor y viceversa.

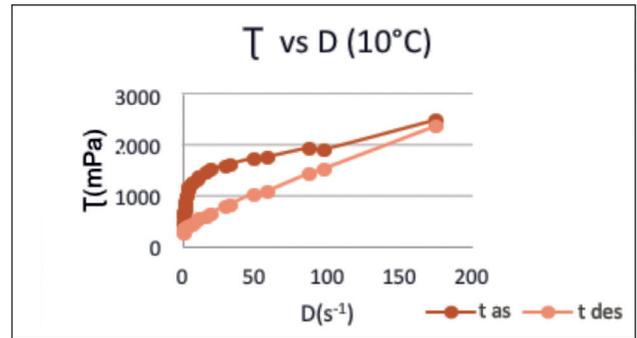


Figura 4. Fórmula 3

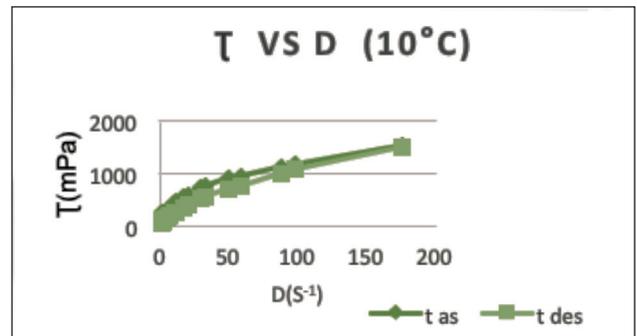


Figura 5. Fórmula 4

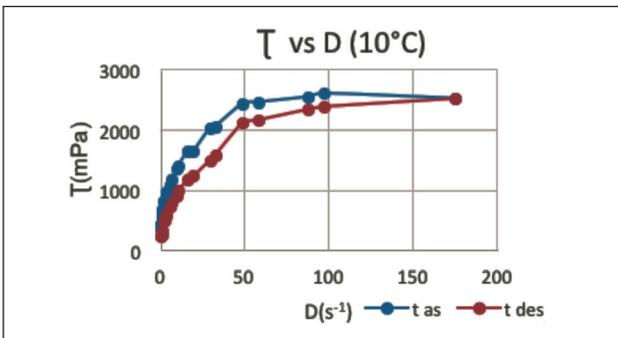


Figura 2. Mayonesa comercial

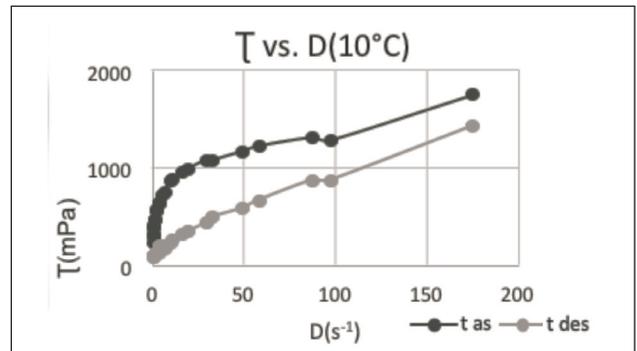


Figura 6. Fórmula 5

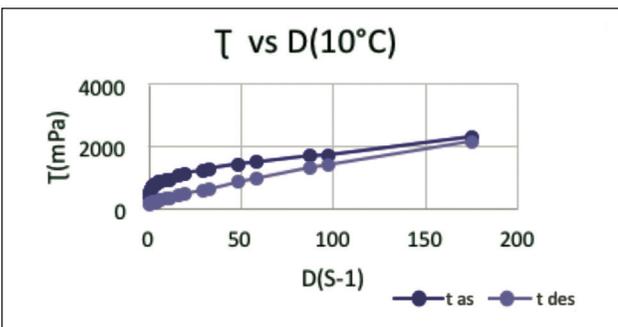


Figura 3. Fórmula 2

t as: esfuerzo cortante ascendente
t des: esfuerzo descendente

Curvas de fluidez:

Interpretación

Formulación comercial: En un inicio presenta una histéresis pequeña que se mantiene en este tamaño hasta los 60 días, a los 75 y 90 días es más pronunciada.

Fórmula 2: El esfuerzo cortante no se estabiliza durante los primeros días este aumenta su valor en un 30%, para todas las velocidades de deformación hasta el día 7 y se mantienen en este valor hasta los 90 días.

Se observa una pequeña histéresis a los 90 días con un tamaño, menor que la formulación patrón, tienen un comportamiento plástico.

Fórmula 3: El esfuerzo cortante se estabiliza a los 7 días manteniéndose en estos valores hasta los 60 días y a los 75 días estos valores disminuyen conservando el mismo valor hasta los 90 días.

Inicialmente presenta una histéresis a lo largo de la curva. Es estable hasta los 60 días y se hace más notable a los 75 días y en una mayor proporción a los 90 días. Tienen un comportamiento plástico y tixotrópico.

Fórmula 4: El esfuerzo cortante en los primeros días sufre el mismo comportamiento que las formulaciones 2 y 3 manteniendo este valor hasta los 75 días y a los 90 días este valor disminuye en un 15%.

La histéresis se hace presente en el tiempo cero, esta es más pronunciada a los 75 días y a los 90 días se observa un crecimiento de la misma. Esto da un comportamiento plástico y tixotrópico.

Fórmula 5: La separación de la curva ascendente y descendente es notable desde el inicio y esta crece con respecto al tiempo, la separación aumenta a los 60 días y con mayor razón a los 75 y 90 días. Tienen un comportamiento más tixotrópico que plástico.

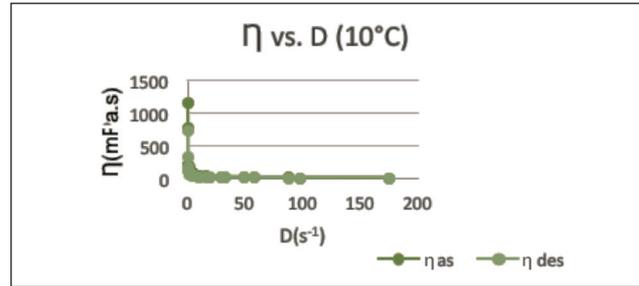


Figura 8. Fórmula 2

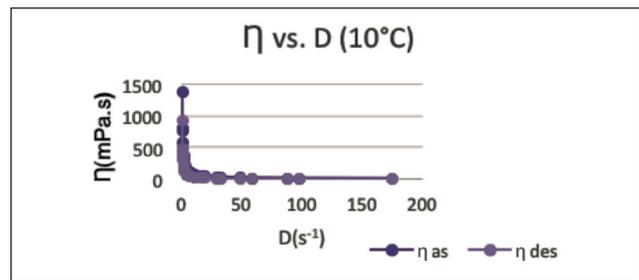


Figura 9. Fórmula 3

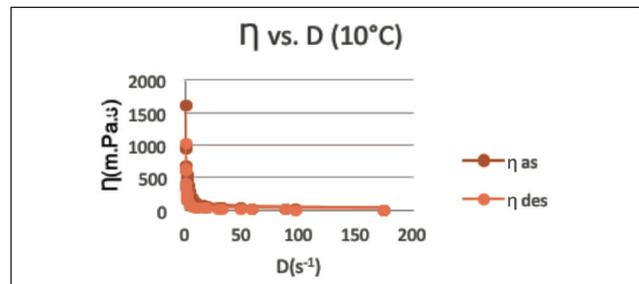


Figura 10. Fórmula 4

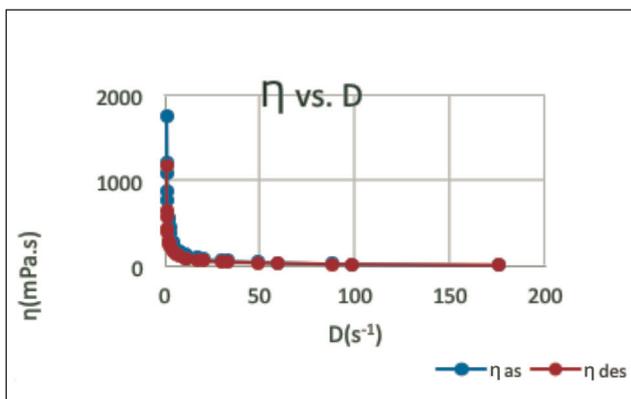


Figura 7. Mayonesa comercial

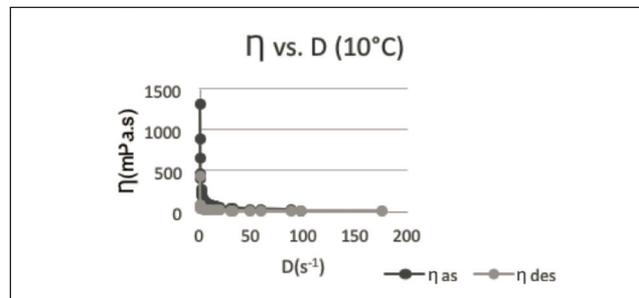


Figura 11. Fórmula 5

η as: viscosidad
η des: viscosidad de retorno

Curvas de viscosidad:

Interpretación

Formulación comercial: Inicialmente aparece con una diferencia de 586 mPa.s para las tres temperaturas, a los 75 días los valores a las tres temperaturas son 439.5, 659.25 y 733 mPa.s y a los 90 días los valores son de 586, 732.5 y 879 mPa.s para las temperaturas respectivas.

Formulación 2: La viscosidad al igual que el esfuerzo cortante se demora en estabilizarse durante los primeros 7 días, aumentando en la misma proporción su valor. La diferencia inicial es de 439.5 mPa.s para las 3 temperaturas, este valor se mantiene hasta los 60 días, en los 75 días a 10, 20, 30°C es de 586; 659.22; 732 mPa.s y a los 90 días es de 659.22, 732.5; 879 mPa.s para las temperaturas respectivas.

Formulación 3: Los valores de viscosidad se demoran en estabilizarse durante los primeros 7 días. La diferencia inicial es de 512.75 mPa.s manteniéndose hasta los 60 días. A los 75 días los valores correspondientes a 10°C, 20°C y 30°C son de 659.22, 732.5 y 805.75 mPa.s, en los 90 días para 10, 20, 30°C los valores son de 732.5; 808.75; 879 mPa.s

Formulación 4: Al tiempo cero el valor es de 586 mPa.s para las tres temperaturas y a los 7 días para 10, 20, 30°C es de 586 659, 732 mPa.s respectivamente, estos valores se mantienen hasta los 60 días, a los 75 a 10, 20, 30°C los valores son de 732.5, 808, 1025.5 mPa.s y a los 90 días se obtienen valores de 732.5, 879.75, 1172 mPa.s para las temperaturas respectivas.

Formulación 5: El valor inicial es de 732.5 mPa.s para las 3 temperaturas, a las 24 horas el valor es de 732.5, 879, 879 mPa.s para 10, 20 y 30°C respectivamente, a los 7 días es de 1020, 1026, 1172 mPa.s para las temperaturas respectivas, estos valores se mantienen hasta los 60 días a los 75 días los valores son de 1318.5, 1318.5 y 1465 mPa.s para las temperaturas respectivas y a los 90 días la diferencia es de 1465 mPa. para las 3 temperaturas.

3.1 Selección de la formulación final

Los parámetros críticos de selección para la formulación final fueron:

- Concentración de aceite.
- Estabilidad frente a tiempo (reología) y tamaño de partícula.

El porcentaje de acidez y el índice de peróxidos no afectaron a la estabilidad de la mayonesa durante los 3 meses de estudio, por lo que no se consideraron parámetros críticos de selección.

El cambio de color afectó en gran medida a la formulación 5, por este motivo esta formulación quedó descartada y para las otras formulaciones este parámetro no es crítico de selección, ya que es un comportamiento normal durante los 3 meses de análisis.

El tamaño de partícula se relaciona directamente con la reología en cuanto a la estabilidad, es decir, si el tamaño de partícula es estable lo es también reológicamente.

Las formulaciones que cuentan con un porcentaje significativo de aceite reemplazado son las formulaciones 3, 4 y 5. (Ver. Tabla 4)

Tabla 4. Porcentaje de aceite reemplazado de las formulaciones 2, 3, 4 y 5.

Fórmulas	% Aceite presente en la formulación	% Aceite reemplazado
Comercial	70	-
2	50	28.5
3	40	42
4	30	57
5	20	71.45

Analizando el comportamiento de cada formulación, según los criterios escogidos para la selección de la mayonesa nutracéutica, se rechazó la formulación 2 debido a que el aceite reemplazado por inulina no es significativo en comparación con las otras formula-

ciones, a pesar de que su estudio reológico tiene un comportamiento muy parecido e incluso es un poco más estable que la mayonesa de referencia.

La formulación 5 se rechazó porque no cumple con el criterio de selección, como estabilidad en el comportamiento reológico, tamaño de partícula y color a pesar que el porcentaje de aceite reemplazado es grande.

Las formulaciones 3 y 4 cumplen con los criterios de concentración de aceite.

La concentración de aceite para la formulación 4 es mayor en un 10% con respecto a la formulación 3. En cuanto al comportamiento reológico la curva de fluidez de la formulación 3 presenta menor histéresis que la fórmula 4 es decir la emulsión 3 presenta mayor estabilidad con res-

pecto al tiempo, pero esta diferencia no es tan grande entre las dos formulaciones. Según el análisis llevado a cabo las emulsiones 3 y 4 son estables durante los 90 días con respecto a la reología y en las curva de viscosidad de las dos formulaciones se observa que no presentan diferencias significativas.

Según el análisis de estabilidad la mayonesa nutracéutica seleccionada fue la formulación 4. La formulación seleccionada F(4) tiene un tamaño de partícula de 2 a 9 μm , una viscosidad de 17.950 y sabor y aroma característicos, los cuales son valores muy cercanos a la mayonesa tradicional.

3.2 Análisis físico químico y sensorial de la formulación final y mayonesa comercial

Análisis químico

Tabla 5. Análisis químico o nutricional de la mayonesa nutracéutica y mayonesa comercial

Análisis	Unidad	Método usado	Mayonesa comercial	Mayonesa nutracéutica
Energía	kcal /100g	Bomba calórica	750	460
Grasa	g/100g	AOAC 989.05	77.8	34.09
Colesterol	mg/100g	AOAC 994.10	260	280.9
Proteínas	g/100g	AOAC 991.20	1.1	5.89
Índice de peróxidos	meq O ₂ /kg	INEN 277 1978-02	0.005	0.004
Acidez	%	NMX-F-021-S-1979	0.0128	0.0086

Como se puede observar en la Tabla 5, la mayonesa nutracéutica presenta una cantidad menor de energía calórica y de grasa de aproximadamente el 40% y 43% respectivamente. El coleste-

rol aumentó en un 8% y las proteínas aumentaron en un 80%.

Análisis físico

Tabla 6. Comparación de análisis físico entre la mayonesa comercial y mayonesa nutracéutica

Característica	Mayonesa Nutracéutica	Mayonesa Comercial
Color	Ligeramente amarillo uniforme (característico)	Ligeramente amarillo uniforme (característico)
Olor	Característico	Característico
Textura	Homogénea, aspecto liso y brillante	Homogénea, aspecto liso y brillante
Viscosidad (cP)	17950	18000
Tamaño de Partícula (mm)	2-9	2-8

Las características de la mayonesa nutracéutica y mayonesa comercial son iguales en cuanto a color, olor y textura, es decir, el remplazo del aceite por inulina no afectó a las características señaladas. Las característi-

cas físicas como la viscosidad y tamaño de partícula entre las dos mayonesas tienen una mínima diferencia que no es perceptible sensorialmente.

Comparación de color



Fig. 12. Mayonesa comercial



Fig. 13. Mayonesa nutracéutica

Análisis Sensorial

Tabla 7. Resultados del análisis sensorial emitido por 12 jueces previamente entrenados

Jueces	Diferencia		Grado de diferencia				Aceptabilidad	
	Mayonesa Nutracéutica	Mayonesa Comercial	ligero	moderado	mucho	extremo	Mayonesa Nutracéutica	Mayonesa Comercial
1	X			X			X	
2	X		X				X	
3	X		X					X
4	X			X			X	
5	X		X					X
6	X			X			X	
7	X		X				X	
8	X		X				X	
9		X	X				X	
10	X		X				X	
11		X	X				X	
12	X		X				X	
Total	10	2	9	3			10	

X = elección del juez

Prueba triangular (identificación)

Los resultados obtenidos de la prueba triangular indican que 10 jueces entrenados identificaron la muestra diferen-

te que correspondía a la mayonesa nutracéutica y dos jueces no identificaron la diferencia con la mayonesa patrón.

Significancias

95% = 8
 99% = 9
 99.9% = 10

Número de aciertos=10 * significativo

Resultado: Las muestras de mayonesa nutracéutica y mayonesa comercial son diferentes sensorialmente con una probabilidad de error del 0.1%.

Grado de diferencia

	Valor	Resultado de jueces
Ligero	1	x 9
Moderado	2	x 6
Mucho	3	x 0
Extremo	4	x 0
Total	—	—
	15 / 12 = 1.25 \cong 1 = Ligero	

Resultado: La mayonesa nutracéutica es ligeramente diferente a la mayonesa comercial.

Aceptabilidad

De los 12 jueces entrenados 10 jueces prefirieron la mayonesa nutracéutica y 2 de los jueces prefirieron la mayonesa comercial.

Significancias

95% = 10
 99% = 11
 99.9% = 12

Números de juicios favorables=10 es significativo al 95%.

4. Conclusiones

- La inulina cumple con la propiedad de estabilizar a las emulsiones cuando se encuentra en

cantidades menores al 10%. Sobre este valor en las propiedades reológicas se observa inestabilidad ya que la histéresis se hace más notable en la curva de fluidez, como se observa a partir de la formulación 3. (Ver Fig. 4 - Fig.11)

- La inulina en concentraciones mayores al 30%, forma geles dando como resultados mezclas pastosas, fuera de lo que son las propiedades de viscosidad de la mayonesa.
- El aceite aporta con estabilidad a la emulsión, ya que al disminuir la concentración del mismo, la emulsión presenta un comportamiento reológico inestable, con una histéresis de mayor tamaño en la curva de fluidez y una diferencia de viscosidad en la curva respectiva, que va aumentando mientras se va disminuyendo la concentración de aceite.
- En el aspecto sensorial la mayonesa nutracéutica, es apreciada por el consumidor, ya que la diferencia es ligera con respecto a la mayonesa tradicional, esta diferencia en cuanto al color, al sabor y la textura ayuda a que la mayonesa nutracéutica sea preferida por el consumidor.
- El tiempo de vida útil de la mayonesa nutracéutica fue de 3 meses para 20 y 30°C. A 10°C se prolongaría su tiempo de vida útil ya que por la temperatura de almacenamiento las reacciones de la mayonesa son más lentas, estableciendo su tiempo de vida útil en aproximadamente 4 meses, por lo que se recomienda que la mayonesa se almacene en refrigeración.
- El colesterol de la mayonesa nutracéutica es mayor en un 8% que la mayonesa comercial, pero esto no es significativo ya que este porcentaje representa la quinta parte de la ingesta diaria y porque la inulina tiene la propiedad de reducir el colesterol.
- La mayonesa nutracéutica puede ser consumida por el público en general, en especial personas obesas, hipertensas y diabéticos, entre otros.

Referencias

- [1] SANTOS, M. (2009). "Alimentos probióticos, prebióticos y salud". Universidad Complutense Departamento de Microbiología III Facultad de Biología.
- [2] JEAN, A. (2000). Análisis nutricional de los alimentos. Madrid: Acribia.
- [3] GIL, A. (2010). Tratado de nutrición; composición y calidad nutritiva de los alimentos. Madrid: Panamericana.
- [4] AZALDUA, A. (1990). La evaluación sensorial de los alimentos en la teoría y la práctica. Zaragoza: Acribia.

Caracterización mecánica de bioesponjas de residuos de crustáceos como opción al poliestireno expandido en empaques para alimentos

JESÚS A. ORTEGA-GRANADOS¹, ROLANDO S. GARCÍA-GÓMEZ¹,
RONNY FLORES², MARÍA DEL CARMEN DURÁN-DOMÍNGUEZ-DE-BAZÚA^{1*}

¹Laboratorios 301, 302, 303 de Ingeniería Química Ambiental y de Química Ambiental, Facultad de Química, UNAM. ²Laboratorio de Química Ambiental y Sostenible, Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Central del Ecuador

*Correspondencia: mcduran@unam.mx

Recibido: 06 de enero de 2015, Aceptado: 04 de agosto de 2015

Resumen

Se propone aprovechar los subproductos de las industrias de los crustáceos, tomando como ejemplo a la industria camaronesa, ya que contienen cantidades interesantes del biopolímero quitina, que podría usarse para producir envases desechables para alimentos, similares a los de poliestireno expandido, PE, utilizando una metodología amigable con el ambiente y empleando una mezcla de aditivos de grado alimentario: una mezcla de carboximetilcelulosa, a tres diferentes concentraciones (10, 20, 30%) y almidón de tapioca (*Manihot esculenta*), con una concentración, 40%. Se midió una propiedad mecánica de tracción (compresión) usando PE como blanco para las bioesponjas. Se obtuvieron resultados mejores para las probetas experimentales de quitina-quitosana (10% de carboximetilcelulosa y 40% almidón de tapioca) en comparación con el control de poliestireno expandido: Módulos de Young de 0.5087 ± 0.061 y 0.535 ± 0.065 MPa versus 7.832 y 1.858 para el PE de densidad de 0.035 g/cm^3 y 4.555 y 4.546 MPa para el de 0.018 g/cm^3 de densidad, respectivamente. Esto indica que son menos deformables que el poliestireno espumado. Los resultados son alentadores y deben ser corroborados con la producción de bandejas reales.

Palabras clave: empaques de alimentos, poliestireno espumado, bioesponjas de quitina, residuos sólidos de crustáceos.

Mechanical characterization of bio-sponges from crustacean wastes as an option for expanded polystyrene in food packaging

Abstract

The use of crustacean byproducts is proposed and shrimp residues are used as an example, since they contain interesting amounts of chitin, that might be used to produce disposable packaging for foods, similar to those of expanded polystyrene, PE, utilizing an environmentally friendly methodology and using a mixture of GRAS additives: carboxymethylcellulose, at three different concentrations (10, 20, 30%) and tapioca starch (*Manihot esculenta*), with a concentration of 40%. A traction mechanical property (compression) using PE as blank for the biosponges was measured. Better results were obtained for the experimental specimens with 10% carboxymethylcellulose and 40% tapioca starch in comparison with the expanded polystyrene, PE: Modules of Young of 0.5087 ± 0.061 and 0.535 ± 0.065 MPa **versus** 7.832 and 1.858 for the PE with density of 0.035 g/cm^3 and 4.555 and 4.546 MPa for the PE with density of 0.018 g/cm^3 , respectively. These data indicate that biosponges are less deformable than expanded polystyrene. Results are encouraging and should be corroborated with real tests using trays used for containing foods.

Key words: food packaging, expanded polystyrene from oil derivatives, chitin biosponges, crustacean solid residues.

1. Introducción

La intensificación de la industrialización que se presentó en México durante la segunda mitad del siglo pasado, produjo una mayor demanda de materias primas para satisfacer el creciente consumo de bienes y servicios de una población en aumento y con patrones de consumo cambiantes y cada vez más demandantes [1]. El Instituto Nacional de Estadística y Geografía reporta que en México se produjeron 40 millones de toneladas de basura: Residuos orgánicos (52.4%), plásticos y vidrios (16.8%), productos de papel y cartón (13.8%) y metales (3.4%). De estos residuos sólidos, el 62.2% del total tiene disposición final en rellenos sanitarios y el 25.3% en tiraderos a cielo abierto [2]. Respecto de los plásticos en México, en el año 2002, el consumo fue de 1.4 millones de toneladas [3]. Cuando no son desechados adecuadamente, pueden causar la muerte de algunos animales que los confunden con comida, como ha ocurrido con las tortugas y aves marina. También puede suceder que se quedan atrapados en ellos, como es el caso de algunas aves que se enredan en los arillos de plástico usados para empacar latas de aluminio.

El camarón, un crustáceo muy apreciado, se encuentra posicionado por su masa en el segundo lugar de la producción pesquera en México. Por su valor económico, está en el primer lugar. La tasa media de crecimiento anual de la producción en los últimos 10 años es de 6.24%, lo cual se debe al crecimiento de la actividad acuícola de dicha especie. En las exportaciones se encuentra en el primer lugar de las especies pesqueras, siendo Estados Unidos, Japón y Francia sus principales destinos. La producción de camarón en México en el 2011 fue de 184,123 Ton (biomasa completa) representando un valor económico en 513,121 dólares estadounidenses. Los estados mexicanos con mayor participación porcentual de la producción de camarón fueron Sinaloa (42.92%), Sonora (28.47%), Nayarit (8.83%) y Tamaulipas (6.31%) [4].

Los camarones son decápodos de agua dulce o salada con infraorden Caridea. Siendo un producto alimenticio, solamente el 50% es comestible, dejando el 50% restante como un subproducto de alto valor por su contenido de quitina y otros productos útiles [5]. La composición del cefalotórax del camarón muestra que puede ser aprovechado ya que está compuesto,

en base seca, de 44.7% de proteína, de 26.3% de ceniza, 20.7% de fibra cruda, 5.2% de grasas y 3.1% de otros hidratos de carbono. De esta composición bromatológica destaca la quitina con 14 a 27% [5-6].

Estimando que el 50% de la producción se traduce en subproductos sólidos, re-aprovechables utilizando el cefalotórax y exoesqueleto como materia prima para producir quitina, en México se cuenta con aproximadamente el 50% de las 184,123 toneladas anuales, dando 92,061.5 Ton anuales. El cefalotórax y exoesqueleto tienen una función de protección, respiratoria y mecánica en los artrópodos [7-11]. Los residuos generados durante el descabezado y pelado del camarón pueden, por tanto, ser una fuente de recursos muy importante, especialmente los pigmentos y la quitina [12].

La quitosana, goma derivada químicamente de la desacetilación de la quitina, comparte con ella algunas propiedades en común entre las que se destacan: adsorción, actividad antimicrobiana, biodegradabilidad, capacidad para soportar mucha fuerza de tensión, flexibilidad y fácil modificación [9,13]. Su aplicación ha tenido resultados favorables en la ingeniería ambiental. Se ha usado en el tratamiento de aguas residuales, en la adsorción de Cr (III) de efluentes contaminados [14]. La quitina, a pesar de su insolubilidad en agua y muchos disolventes, tiene el potencial para formar una esponja estable altamente insoluble en agua y biodegradable [5,6,15,16].

En esta fase de la investigación se propone aprovechar la producción de desechos de la industria camaronera, siendo una de las industrias más importantes en México ya que poseen cantidades interesantes de quitina. Con estos desechos podría disminuirse la generación de residuos de plásticos derivados del petróleo, como los envases desechables de la comida rápida fabricados con poliestireno expandido, utilizando una metodología amigable con el ambiente basada en la química verde. En ella se extrae una mezcla de quitina-quitosana de los desechos de cefalotórax y exoesqueletos de camarón produciendo una bioesponja, especialmente si se le agregan mezclas de aditivos de grado alimentario, buscando obtener una bioesponja de quitina-quitosana con propiedades mecánicas similares o mejores que las del poliestireno expandido.

El objetivo fue corroborar la bondad de la adición de dos agentes plastificantes a la quitina-quitosana obtenida de los residuos de crustáceos para darles propiedades similares a las de sus contrapartes derivadas del petróleo usando para ello una prueba de compresión y la medición del Módulo de Young en un equipo Instron y en uno de pruebas triaxiales cíclicas [17-20]. La meta última es que sean estables a condiciones ambientales y fácilmente biodegradables en rellenos sanitarios.

2. Parte experimental

2.1 Tratamiento del cefalotórax de camarón fresco y elaboración del disolvente MAC-141[®]

Mediante un proceso basado en la química verde para la extracción de la quitina se empleó un disolvente amigable con el ambiente patentado en los Laboratorios 301, 302 y 303 de la Facultad de Química de la UNAM [21]. En la literatura se presenta la metodología precisa para tratar el cefalotórax y para obtener este disolvente [5,6]. El disolvente es una mezcla de agua, metanol y cloruro de calcio, patentado como MAC-141[®] [7,8,21]. En investigaciones previas [5,6,22] se desarrollaron las metodologías para la extracción de quitina y, por el propio proceso, su derivado desacetilado, la quitosana. La extracción se llevó a cabo en un reactor con una mezcla de residuos sólidos de camarón y el disolvente MAC-141[®] en una relación 1:10, respectivamente, para la obtención de la mezcla de quitina-quitosana (Q-Qn) disuelta en el disolvente MAC-141[®]. La extracción de la quitina-quitosana con el disolvente MAC-141[®] permitió obtener una solución de quitina y sólidos de los componentes de la harina de residuos de camarón [7,8,22]. Los sólidos se separaron por filtración con vacío en un equipo Millipore empleando como medio filtrante una rejilla de plástico. La descripción detallada está en la literatura [7,8].

El diagrama de bloques de la adecuación de la metodología se encuentra en proceso de patentamiento [23]. Para la obtención de las bioesponjas de los polímeros naturales quitina-quitosana (Q-Qn) a temperatura ambiente ($20 \pm 2^\circ\text{C}$), se utilizó la metodología reportada [5,6,20,24,25], usando solamente el disolvente MAC-141.

2.2 Producción de bioesponjas

Posteriormente, la solución extraída se vertió en cajas de Petri de vidrio, las cuales se colocaron en una cámara

con la atmósfera saturada de agua para que el calcio del disolvente MAC[®] presente en la película se solubilizará y, de esta manera, poder retirar la mayor cantidad de iones calcio del polímero de quitina. Después de la cámara de humidificación, en el proceso se realizó una operación unitaria de agitación para la formación de la bioespuma (adicionando dos agentes plastificantes, carboximetilcelulosa, CMC, y almidón de tapioca, AlmTap.

2.2.1 Elaboración de las probetas de las bioesponjas usadas para las pruebas mecánicas

Se prepararon las probetas de las bioesponjas a las diferentes concentraciones de agentes plastificantes de acuerdo con la Tabla 1, empleando soluciones de quitosana Sigma Aldrich (85% desacetilación) disuelta en disolvente MAC-141[®]. Estas se vertieron en vasos de precipitados de 250 mL de capacidad con agitación continua para homogeneizar y adicionar aire para la formación de la espuma. Con las bioesponjas se prepararon probetas cilíndricas de 36 mm (diámetro) x 75 mm (altura). Dichas probetas se cortaron con un "suaje" o molde y se tomaron medidas de la anchura y el espesor con un Vernier. Posteriormente, cada probeta se sometió a pruebas mecánicas en dos equipos mencionados en la literatura [7], uno de ellos de la marca Instron. Las pruebas mecánicas se aplicaron para evaluar la bondad del biopolímero obtenido y de los dos agentes plastificantes con objeto de que sus propiedades lleguen a ser prácticamente idénticas a las del poliestireno espumado.

Tabla 1. Comparación entre las bioesponjas en estudio obtenidas del cefalotorax y exoesqueleto de camarón con un disolvente amigable con el ambiente (MAC-141[®]) y un control (poliestireno expandido, PE, unice!)

Película	Agentes plastificantes biodegradables (APB)	
	Carboximetilcelulosa CMC [%]	Almidón de tapioca AlmTap [%]
Q-Qn	10.0	40.0
	20.0	40.0
	30.0	40.0
Control	Poliestireno expandido (unice!)	

2.2.2 Pruebas mecánicas de las bioespumas

Las pruebas mecánicas que se realizaron a las bioespumas fueron mediante dos métodos de compresión simple. En ellos se vio el comportamiento mecánico de las probetas y se compararon con probetas similares de poliestireno expandido (unicel). Los equipos en que se realizaron las pruebas fueron: a) un equipo Instron Modelo Series IX (Automated Materials Testing System) y b) un equipo de compresión triaxial estática simple no confinada construido en el Instituto de Ingeniería de la UNAM, en el Laboratorio de Suelos.

2.2.3 Método estándar de propiedades de compresión para plásticos celulares rígidos ASTM D1621-00 [7]

Con las bioespumas que presentaron una mayor dureza, determinada de manera subjetiva (visual y táctil) se prepararon las probetas cilíndricas de 36 mm (diámetro) x 75 mm (altura). Las pruebas mecánicas que se aplicaron para evaluar la bondad del biopolímero obtenido con los dos agentes plastificantes buscando que sus propiedades lleguen a ser prácticamente idénticas a las del poliestireno espumado siguieron los estándares internacionales de comportamiento esfuerzo-deformación para obtener el valor del Módulo de Young, E.

2.2.4 Método estándar para suelos cohesivos tipo no consolidado y no drenado ASTM [7]

Esta norma tiene como objetivo determinar la resistencia al esfuerzo cortante y la relación esfuerzo-deformación de una muestra cilíndrica de suelo cohesivo inalterada o remoldeada. Es una prueba lenta, es decir, el espécimen recibe un esfuerzo de compresión en pequeños incrementos, esperando siempre que en cada incremento el valor sea cero, para que el material se consolide y que la presión interna sea cero. Estas pruebas son de mayor confiabilidad al momento de determinar la resistencia de materiales porosos como el suelo y dan la opción de conocer en forma más completa las características mecánicas del material.

2.2.5 Espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier método ASTM [7]

El método de detección tiene una resolución de 4 cm^{-1} . El equipo está acoplado con un microscopio óptico de análisis infrarrojo y de luz visible. El modo de preparación de la muestra necesita que éstas sean individuales.

2.2.6 Microscopía de barrido electrónico para las bioespumas o bioesponjas

El microscopio electrónico de barrido de bajo vacío MEB-BV (SEM-LV, por sus siglas en inglés Scanning Electron Microscope-Low Vacuum) es usado para observar especímenes no conductores, que contienen relativamente poca agua y que se deforman al ser procesados de manera convencional. Este equipo permite observarlos directamente en modo de bajo vacío, sin tener que deshidratarlos o recubrirlos con material conductor, lo que evita la introducción de artefactos por el procesamiento [26].

3. Resultados y discusión

En esta investigación se obtuvieron rendimientos de hasta casi 40% en masa de harina parcialmente desproteïnizada de cefalotórax y exoesqueletos con respecto a los residuos totales (Tabla 2). La extracción de la quitina se llevó a cabo a temperatura ambiente ($20\pm 2^\circ\text{C}$) y sin el uso de sustancias tóxicas ni agresivas con la molécula de quitina ni con el medio y por ello se le considera amigable con el ambiente [27]. En la Tabla 2 se observa que el rendimiento para el lote de 2.20 kg de cefalotórax y exoesqueletos de camarón frescos fue de 27.27%, obteniéndose 0.600 kg (600 g) de harina de camarón. El rendimiento mayoritario lo presenta el lote de 2.0 kg de cefalotórax y exoesqueletos de camarón frescos, con un rendimiento del 37.50%. Esto significa que hasta el 37% del total que es considerado como desperdicio, aún puede ser recuperado y aprovechado para la extracción de quitina y la elaboración de esponjas [24,25]. Las diferencias en los rendimientos se deben a que, proviniendo de la "Central de Abastos" de la Ciudad de México, las bolsas tenían muchos desperdicios o restos de otras especies marinas (como pulpo, cabezas de pescado y estrellas de mar).

Tabla 2. Porcentaje de harina recuperada a partir de camarón: cefalotórax y exoesqueletos frescos

Cefalotórax y exoesqueletos de camarón [kg]*	Harina de residuos de camarón [kg]*	Porcentaje de harina recuperada [%]
2.20	0.600	27.27
2.10	0.680	32.38
2.00	0.750	37.50
2.15	0.710	33.02

* **b.h.** Base húmeda

3.1 Eficiencia del disolvente MAC-141® para la extracción de la mezcla de quitina-quitosana (Q-Qn) de los residuos secos de camarón

De acuerdo con lo reportado por Flores en 2004 y 2008 [5,6,21], el calcio que no pudo solubilizarse en el disolvente MAC-141® por el efecto de la solvatación del calcio en el metanol y agua puede ser recuperado, como se realizó en esta investigación y ser regresado al proceso de obtención del disolvente MAC-141® debido a que en

una mayor concentración de calcio genera una mayor extracción de bioespumas (Tabla 3).

La Tabla 4 presenta el balance de masa para la extracción de quitina de la harina de camarón. De acuerdo a los resultados obtenidos el método permite que lo que es considerado como desperdicio, pueda ser recuperado y aprovechado para la extracción de quitina y la elaboración de esponjas que podrían ser útiles para la elaboración de recipientes de un solo uso [5,6]. La Figura 1 presenta la formación de bioespuma quitina.

Tabla 3. Rendimiento en la recuperación de calcio del disolvente MAC-141®

Cloruro de calcio comercial [g]	MeOH [mL]	H ₂ O llave o grifo [mL]	MAC obtenido [g]	Remanente (residuos de calcio y agua) [g]	Calcio recuperado	Porcentaje de calcio recuperado
277.45	99	180	398	93.18	58.45	21.07
277.45	99	180	335	87.58	60.54	21.82
277.45	99	180	420	68.86	36.57	13.18
277.45	99	180	420	91.06	37.82	13.63
277.45	99	180	476	76.00	56.44	20.34

Tabla 4. Balances de masa de las extracciones de harinas secas de cefalotórax y exoesqueleto de camarón usando el disolvente MAC-141® después de 48 horas a temperatura ambiente (20±2°C) para obtener las bioespumas o bioesponjas

Muestra	Inicio				Después de 48 horas		Esponja de quitina obtenida por filtración	
	Masa harina [g]	Masa MAC-141® [g]	Masa total [g]	Rendimiento	Masa total [g]	Rendimiento	Masa total [g]	Rendimiento
1	5.02	50.09	55.11	100	55.62	100.91	31.97	58.02
2	5.02	50.01	55.03	100	55.01	99.97	37.11	67.44
3	5.02	50.04	55.06	100	55.45	100.69	32.65	59.29
	5.02±0.00	50.05±0.04	55.07±0.04	100	55.36±0.31	100.52±0.49	33.91±2.79	61.58±5.10
4	5.00	50.07	55.05	100	59.51	108.10	23.06	41.89
5	5.05	50.09	55.14	100	58.34	105.81	26.68	48.38
6	5.03	50.08	55.10	100	57.55	104.42	28.36	51.48
	5.02±0.03	50.08±0.01	55.09±0.04	100	58.47±0.98	106.11±1.85	26.03±2.71	47.25±4.89
7	5.03	50.70	55.74	100	55.44	99.47	26.86	48.20
8	5.03	50.08	55.12	100	56.16	101.89	24.36	44.19
9	5.05	50.95	56.00	100	56.22	100.39	32.88	58.70
	5.04±0.01	50.58±0.44	55.62±0.45	100	55.94±0.43	100.58±1.21	28.03±4.38	50.36±7.49

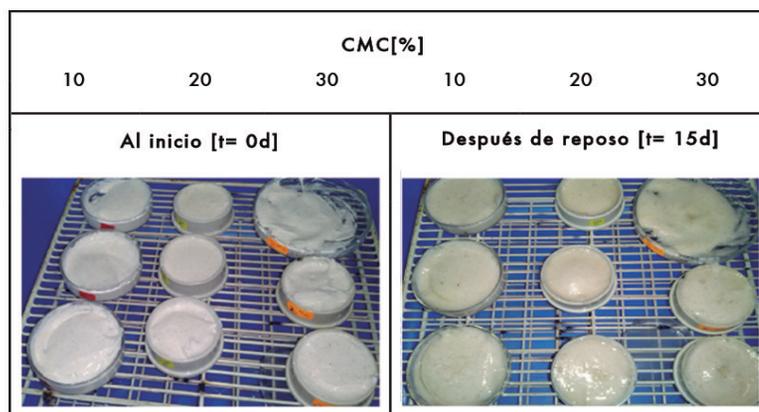


Figura 1. Bioespumas con la mezcla de los dos agentes plastificantes, CMC y 40% de almidón de tapioca

3.2 Caracterización de las bioespumas o bioesponjas de quitina-quitosana (Q-Qn) adicionadas con agentes plastificantes

De acuerdo con la obtención de las mejores concentraciones de los agentes plastificantes se identificaron las propiedades estructurales de las bioespumas, mediante técnicas analíticas como se describen a continuación y que permitieron definir según su estructura cuáles serían las mejores candidatas para realizar las pruebas mecánicas mediante las dos metodologías descritas anteriormente. A continuación se presentan los resultados de la microscopía electrónica de barrido y los espectros de FT-IR para las probetas del material en estudio.

3.2.1 Microscopía electrónica de barrido para las bioespumas

En la literatura, reportado por Núñez-Bretón en 2009 [28] se menciona que la incorporación del almidón produce una película plástica con una estructura porosa, permitiendo el acceso entre las moléculas plásticas al oxígeno, así bien se muestra en la Figura 1, donde las mezclas de bioespuma de Q-Qn con los agentes plastificantes 10, 20 y 30% CMC, se vieron favorecidas por el 40% de almidón de tapioca, que se encontraba permitiendo la inclusión de aire observándose los poros dentro del material diseñado.

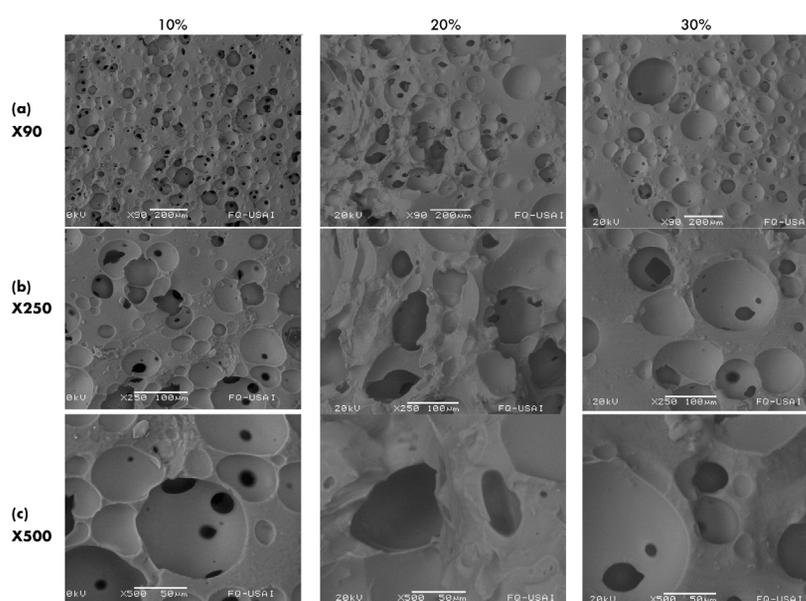


Figura 2. Microscopía electrónica de barrido de bioespumas o bioesponjas de quitina-quitosana, Q-Qn, con la mezcla de agentes plastificantes al 10, 20 y 30% de carboximetilcelulosa, CMC, y de 40% almidón de tapioca, Alm-Tap, en ellas.

En la Figura 2 se presentan las microfotografías obtenidas con ayuda del equipo de microscopía electrónica de barrido, donde se observa la fractura o falla de la bioespuma de Q-Qn con la mezcla de agentes plastificantes 10, 20 y 30% CMC y 40% almidón de tapioca, sometida con los equipos de compresión simple para determinar el Módulo de Young (E), el uso de almidón podría ser considerado como composta en un relleno sanitario por

su biodegradabilidad. En la literatura, lo reportado por Flores en 2004 y 2008 [5,6] menciona que la estructura de la quitina (Figura 3.a) presenta una diferencia con la forma de celda entre la espuma de poliestireno, poliuretano y el material en estudio. La espuma de poliestireno presenta celdas hexagonales (Figura 3.b) y la espuma de poliuretano es la que más se asemeja a la muestra en estudio presentando celdas abiertas deformes (Figura 3.c).

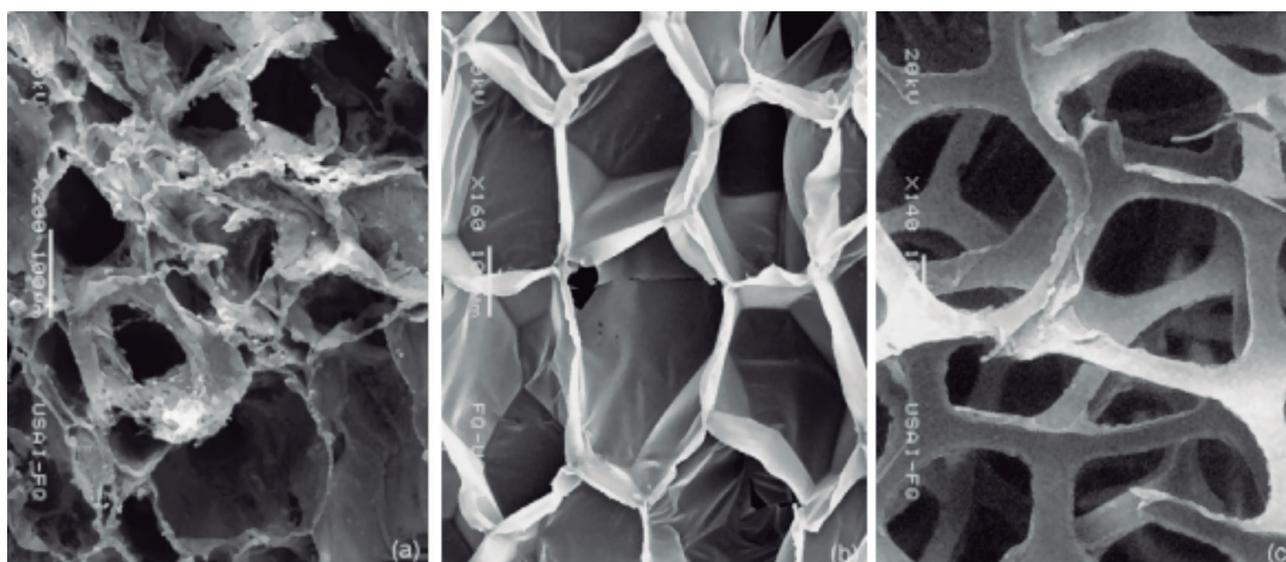


Figura 3. Microscopía electrónica de barrido de: (a) esponja de quitina, (b) espuma de poliestireno y (c) espuma de poliuretano. Tomada de Flores (2008) [6]

En la Figura 4 se muestran los resultados, analizados también mediante microscopía electrónica de barrido, de los materiales usados en esta investigación, especialmente de la carboximetilcelulosa grado alimenticio, CMC, ya que en la literatura se ha encontrado que es un formador de geles. De hecho, se usa en las plantas cementeras ya que es un buen estabilizador y un agente hidrofílico, también es un buen espesante y un agente "suspensor" y coloide protector. Su función en este nuevo material es el de ofrecer resistencia y, como también se reporta, para mejorar el brillo ya que es un aglutinante [29]. Se muestra también el otro agente, el almidón de tapioca comparado con los de maíz y trigo [30,31].

3.2.2 Análisis de espectroscopía de infrarrojo (IR)

Las muestras se caracterizaron por espectroscopía de infrarrojo (IR) para ver la homogeneidad de las bioespumas

o bioesponjas en toda la superficie. La espectroscopía infrarroja consiste en dar energía del orden de infrarrojo a las moléculas y obtener vibraciones de los enlaces los cuales proporcionan información de los grupos funcionales presentes [32]. El análisis se realizó en diferentes porciones de las muestras de bioespuma (hechas en cajas de Petri de 5 cm de diámetro). El gráfico de la Figura 5 muestra la mezcla de Q-Qn adicionada con los dos agentes plastificantes (CMC-AlmTap), en una relación 10,20,30 a 40% de ellos. En ella, la banda presente en 3358.94 cm^{-1} se compara con bandas 3434 y 3444 cm^{-1} , que corresponden al grupo $-\text{OH}$ [22].

También se puede observar la banda en 3434.24 cm^{-1} para el grupo $-\text{OH}$, que pertenece a la quitina. La banda en 1629 cm^{-1} es característica del grupo $-\text{NH}_2$, cuando está ligado al polímero de quitosana suele estar presente en 1621 cm^{-1} , en la Figura 5 parece estar desplazado hasta la banda 1650.78 cm^{-1} [22].

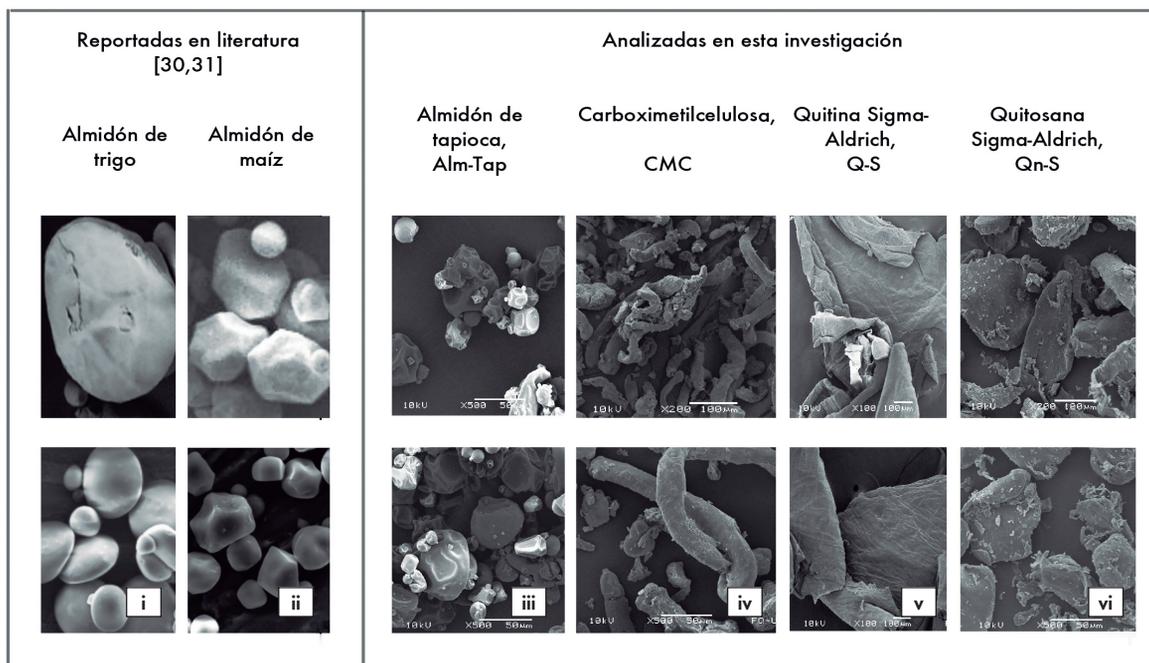


Figura 4. Microscopía electrónica de barrido de las diferentes materias primas y controles empleados en esta investigación y de dos almidones de (i) trigo y de (ii) maíz

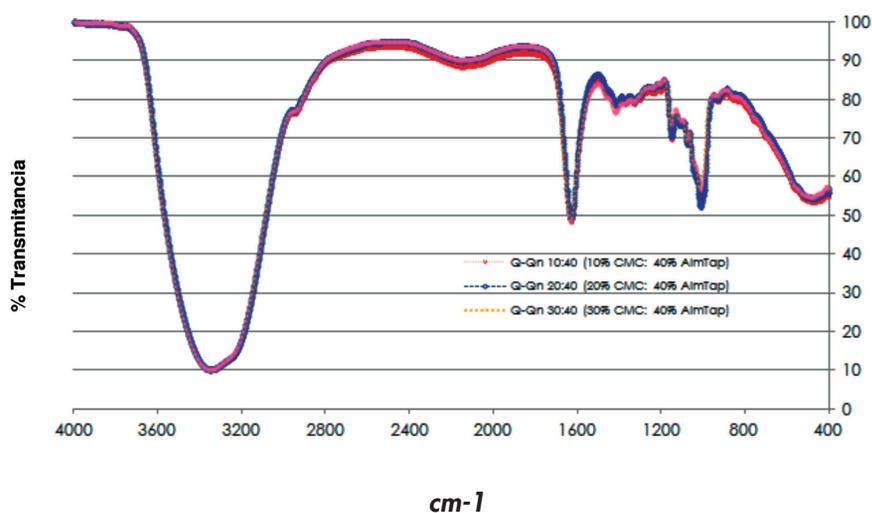


Figura 5. Espectro de infrarrojo, IR, para las bioespumas o bioesponjas hechas con la mezcla de agentes plastificantes 10, 20 y 30% CMC y 40% almidón de tapioca obtenidas de los residuos de camarón

3.3 Análisis mecánicos de las bioespumas o bioesponjas

La Tabla 5 presenta los valores del Módulo de Young en MPa para las probetas de quitina-quitosana con la mezcla de los dos agentes plastificantes (10% CMC, carboximetilcelulosa y 40% Alm-Tap, almidón de ta-

pioca) obtenidos a partir de los datos experimentales del equipo Instron y del equipo de pruebas triaxiales cíclicas no confinadas. Se tomaron solamente las muestras que contienen CMC al 10% y almidón de tapioca al 40% ya que son las que más se asemejan al unigel (muestras de poliuretano expandido). El análisis estadístico de estos datos ($p < 0.05$) indica que sí

hay diferencia significativa por lo que sigue habiendo una oportunidad de mejora para continuar con los estudios de adición de otros agentes plastificantes (Figura 6), aunque debe mencionarse que las bioespumas o bioesponjas tienen mejores características que el unicel según los resultados de algunas pruebas subjetivas realizadas con jueces no entrenados sobre sus propiedades mecánicas ya que fueron menos deformables que los de poliestireno espumado [7].

Un ejemplo de las curvas obtenidas en uno de los equipos, el de pruebas triaxiales cíclicas no confinadas (compresión simple), se presentan en la Figura 7. En ella se tienen las pruebas mecánicas de compresión

para las tres probetas obtenidas con los polímeros naturales provenientes de los residuos de camarón mezclados con los dos agentes plastificantes en una relación 10:40 (10% CMC y 40% Alm-Tap). En la Figura 8 se presenta la secuencia fotográfica en el equipo Instron.

El comportamiento elástico que presenta una probeta de poliestireno expandido al ser deformada puede verse con estudios previos realizados por Flores en 2008 [6]. En esa investigación las microfotografías que se tomaron fueron ya del sólido celular (bioespuma o bioesponja) que muestra cómo al ser un material biodegradable, el comportamiento estructural es diferente al del poliestireno espumado y al poliuretano espumado.

Tabla 5. Comparación de los valores del Módulo de Young en MPa para las tres probetas de quitina-quitosana con la mezcla de los dos agentes plastificantes (10% carboximetilcelulosa y 40% almidón de tapioca) en el equipo Instron y el equipo de pruebas triaxiales cíclicas no confinadas y los datos para la muestra control de poliestireno espumado (unicel) de dos diferentes densidades

Pruebas en los equipos	Mezcla de agentes plastificantes [%]		Módulo de Young [MPa]	
	CMC	AlmTap	Instron	Pruebas triaxiales cíclicas
1	10	40	0.4418	0.440
2	10	40	0.5212	0.531
3	10	40	0.5632	0.566
Promedio			0.5087±0.0617	0.535±0.065
1	20	40	1.416	0.487
2	20	40	1.599	0.669
3	20	40	1.550	0.424
Promedio			1.521±0.094	0.556±0.127
1	30	40	1.614	0.669
2	30	40	1.542	0.733
3	30	40	1.405	0.565
Promedio			1.520±0.106	0.694±0.084
	Densidad [g/mL]			
Unicel	0.035		7.832*	1.858*
Unicel	0.018		4.555*	4.546*

*No se hicieron triplicados debido a que la barra o "viga" de unicel de donde se tomó la muestra presentó homogeneidad por lo que se consideró innecesario

Means and 95.0 Percent LSD Intervals

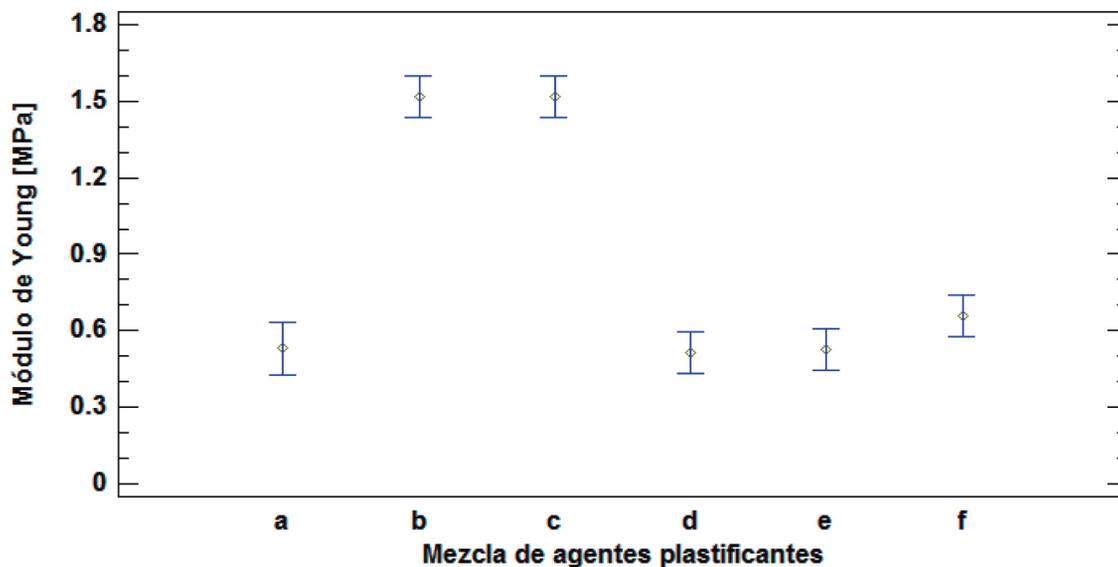


Figura 6. Resultados estadísticos de las diferencias de medias entre los datos de la Tabla 5. **a**, **b** y **c** con el equipo Instron; **d**, **e** y **f** pruebas triaxiales cíclicas.

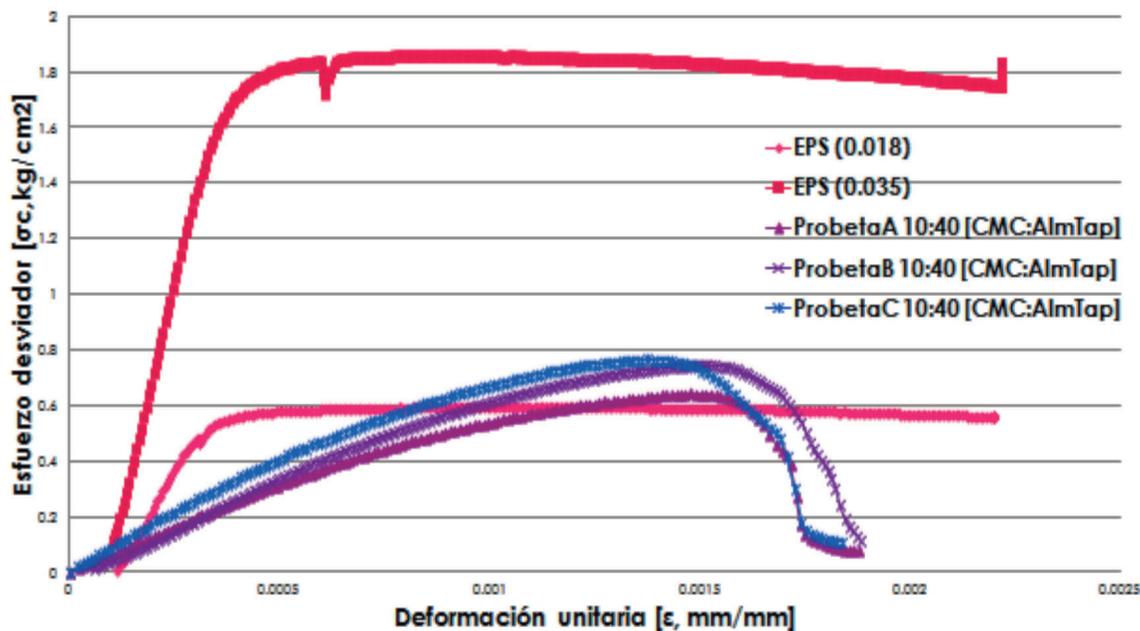


Figura 7. Módulo de Young para las probetas obtenidas con los residuos de camarón usando dos agentes plastificantes en una relación 10:40 (CMC:Alm-Tap) comparada con los controles de unigel (EPS) con dos diferentes densidades (0.018 y 0.032 g/ml)

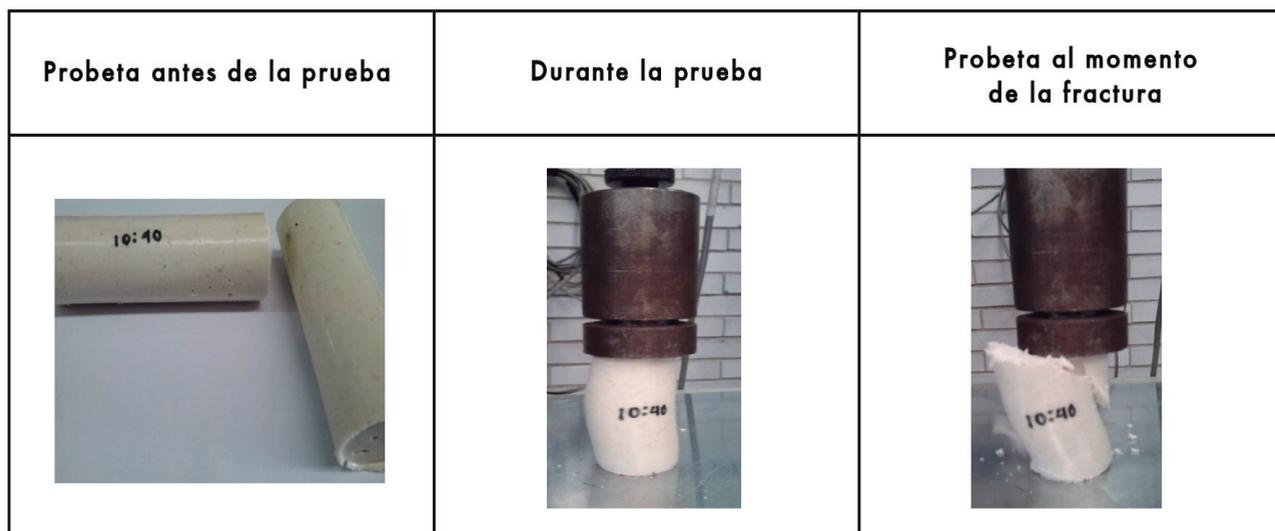


Figura 8. Secuencia fotográfica para la fractura de las probetas obtenidas en esta investigación en el equipo Instron. Probetas de Q-Qn-10CMC-40AlmTap.

4. Conclusiones

De acuerdo con el objetivo de esta investigación de realizar la caracterización mecánica de los productos espumados obtenidos de los residuos sólidos del camarón utilizando agentes plastificantes para su posible aplicación en la ingeniería ambiental, puede concluirse lo siguiente:

El material polimérico natural proveniente de los exoesqueletos y cabezas de camarón, una mezcla de quitina-quitosana, Q-Qn, adicionado con una mezcla de los dos agentes plastificantes biodegradables en estudio carboximetilcelulosa y almidón de tapioca en una proporción de 10 y 40%, respectivamente, fue el que mostró las mejores características mecánicas. Al comparar los resultados de los Módulos de Young obtenidos de estas

bioespumas o bioesponjas con un polímero derivado del petróleo conocido en México como unicel, sus probetas fueron estadísticamente diferentes ($p < 0.05$), pero en pruebas subjetivas con jueces no entrenados [7] se consideraron mejores para almacenar alimentos por tener una menor "deformabilidad" que el poliestireno espumado.

Reconocimiento

El primer autor agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de México por la beca de maestría para realizar esta investigación. Los autores agradecen al personal académico de la Facultad de Ingeniería y el Instituto de Ingeniería de la UNAM por su valioso apoyo para realizar las pruebas mecánicas en sus Laboratorios de Materiales y Manufactura y de Geotecnia.

Referencias

- [1] SEMARNAT. 2013. Residuos. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Última revisión. 28 de julio del 2013. Disponible en internet: [http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe_12/pdf/Cap7_residuos.pdf]
- [2] INEGI. 2012. Conociendo México. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Última revisión. 28 de julio del 2013. Disponible en internet: [http://www.inegi.org.mx/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/integracion/pais/mexcon/folleto_nacional_pliegos_baja.pdf]
- [3] Navarrete-Gatica, M.R. 2005. Disposición final de residuos sólidos municipales. Tesis de Licenciatura, UNAM, Facultad de Ingeniería. México, D. F. México. Recuperado el 11 de mayo de 2015, de sitio Web de la UNAM: <http://132.248.9.195/pdtestdf/0344453/Index.html>
- [4] CONAPESCA. 2012. Comisión Nacional de Acuicultura y Pesca. Disponible en las Redes Internacionales (internet). Recuperado el 12 de noviembre del 2010, de sitio Web: [http://www.conapesca.sagarpa.gob.mx/wb/cona/anuario_2009_capitulo_i_preliminar]
- [5] Flores, 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, Facultad de Química. México, D. F. México. Recuperado el 11 de mayo de 2015, de sitio Web de la UNAM: <http://132.248.9.195/ppt2004/0333631/Index.html>
- [6] Flores, R.A. 2008. Obtención y caracterización de esponja de quitina a partir de cefalotórax de camarón. Tesis de Doctorado en Ciencias. Programa de Maestría y Doctorado en Ciencias Químicas, UNAM, Facultad de Química. México, D. F. México. Recuperado el 11 de mayo de 2015, de sitio Web de la UNAM: <http://132.248.9.195/ptd2008/agosto/0629854/Index.html>
- [7] Ortega-Granados, J.A. 2014. Caracterización mecánica de productos espumados obtenidos de residuos sólidos de las pesquerías para su posible aplicación en la ingeniería ambiental. Tesis de Maestría en Ingeniería (Campo del conocimiento: Ingeniería Ambiental, Campo disciplinario: Sustancias y Residuos Peligrosos). Programa de Maestría y Doctorado en Ingeniería. UNAM. Agosto 15. México, D. F. México. Recuperado el 11 de mayo de 2015, de sitio Web de la UNAM: [http://oreon.dgbiblio.unam.mx/F/ME2L9H7M7ARVYNT-G32ATMELSGF3P4YBMJ3A96B79E9VFKR14F5-46421?func=full-set-set&set_number=036199&set_entry=000001&format=999]
- [8] Ortega-Granados, J.A. 2011. Efecto del recubrimiento de fresas usando quitina-quitosana obtenida de cefalotórax y exoesqueleto de camarón en su vida de anaquel a temperatura ambiente (20±2°C) y refrigeración (4°C). Tesis de Licenciatura, UNAM, Facultad de Química. Noviembre 29. México, D. F. México. Recuperado el 11 de mayo del 2015 de sitio Web de la UNAM: [<http://132.248.9.195/ptd2012/mayo/0679804/Index.html>]
- [9] Pillai, C.K.S., Paul, W., Sharma C.P. 2009. Chitin and chitosan polymers: Chemistry, solubility and fiber formation. *Progress in Polymer Science*. 34(7):641-678.
- [10] Salas-Osornio, J. 2011. Aprovechamiento integral de residuos crustáceos: evaluación de los recubrimientos de frutas frescas usando mezclas de quitina y quitosana obtenidas por medio de química verde. Tesis de Licenciatura, UNAM, Facultad de Química. México, D. F. México. Recuperado el 11 de mayo del 2015 de sitio Web de la UNAM: [<http://132.248.9.195/ptd2012/marzo/0677848/Index.html>]
- [11] Shirai-Matsumoto, K. 2011. Producción de quitina y quitosana: Nuevo proceso biotecnológico para la obtención de quitina y quitosana. Pub. Universidad Autónoma Metropolitana. Campus Iztapalapa. México, D. F. México.
- [12] Gutiérrez-Cabello, M., García-Gómez, R.S., Sánchez-Zamora, A., Suárez-Bautista, J., Gaxiola-Cortés, G., Chel-Guerrero, L., Durán-de-Bazúa, C. 2009. Aprovechamiento integral de especies acuícolas del sureste de México: Beneficios obtenidos por la pigmentación

- "natural" de su carne / Global reuse of Mexico's southeast aquacultural species: Benefits obtained by its flesh "natural" pigmentation. Gutiérrez-Cabello, Carnilac Industrial. Edición Especial de la Industria Cárnica 2009:32-36.
- [13] Majeti, N. V., Kumar, R. 2000. A review of chitin and chitosan applications. *Reactive & Functional Polymers*, 46:1-27.
- [14] Santosa, S.J., Siswanta, D., Sudiono, S., Utarianingrum, R. 2008. Chitin-humic acid hybrid as adsorbent for Cr (III) in effluent of wastewater treatment. *Applied Surface Science*, 254:7846-7850.
- [15] Flores, R., Barrera-Rodríguez, S., Shirai, K., Durán-de-Bazúa, C. 2007. Chitin sponge, extraction procedure from shrimp wastes using green chemistry. *J. Appl. Polym. Sci.* 104:3909-3916.
- [16] Flores, R., Barrera-Rodríguez, S., Shirai-Matsumoto, C.K., Durán-de-Bazúa, C. 2006. Obtención de esponjas de quitina a partir de cefalotórax de camarón para empaques. *AlimenPack*, 2(4):26-28.
- [17] Arias-Torres, O., Mendoza-Márquez, A.M., Bárcenas-Ochoa, E.M., Flores, R., García-Gómez, R.S., Durán-Domínguez-de-Bazúa, M.C. 2013. Comparación de diferentes agentes plastificantes adicionados en esponjas de quitina obtenidas de cefalotórax de camarón. *Revista Química Central de la Facultad de Ciencias Químicas (Ecuador)*. 3(1):11-18.
- [18] Barrera-Rodríguez, S., Flores-Ortega, R.A., Durán-Domínguez-de-Bazúa, M.C. 2011. Extracción de quitina del cefalotórax de camarón para la elaboración de películas / Chitin extraction from shrimp cephalothorax and exoskeleton for films preparation. Vol. 10, Serie: TECNOLOGÍAS más LIMPIAS. Pub. AMCATH y Laboratorios 301, 302, 303 de Ing. Quím. Amb. y de Quím. Amb. Facultad de Química, UNAM. ISBN 978-607-7807-08-0. 75 págs. 1ª Ed. Disco compacto (2006). 2ª Ed. Mejorada, disco compacto (2007). 3ª Ed. con ISBN (2011). México D.F. México.
- [19] Tomás-Reyes, S. 2015. Elaboración de bioesponjas de quitina extraída del cefalotórax y exoesqueleto de camarón mediante la utilización de plastificantes naturales, almidón de maíz. Tesis de Licenciatura, UNAM, Facultad de Química. México, D. F. México. Recuperado el 11 de mayo del 2015 de sitio Web de la UNAM: [<http://132.248.9.195/ptd2014/noviembre/304159855/Index.html>]
- [20] Valencia-Ávila, I. 2012. Efecto de agentes plastificantes naturales en las propiedades mecánicas de esponjas de quitina. Tesis de Licenciatura, UNAM, Facultad de Estudios Profesionales Zaragoza. México, D. F. México. Recuperado el 11 de mayo del 2015 de sitio Web de la UNAM: [<http://132.248.9.195/ptd2012/junio/300842018/Index.html>]
- [21] Durán-Domínguez-de-Bazúa, M.C., Barrera-Rodríguez, S., Flores-Ortega, R.A. 2004. Extracción ecológica de quitina y subproductos. Solicitud de Registro: Octubre 1, 2004. UNAM, Facultad de Química. IMPI. PA/a/2004/009517. Patente Núm. 264482. Otorgada el 12 de febrero de 2009. México D.F. México.
- [22] Sarabia-Bañuelos, P. 2011. Aprovechamiento integral de residuos de crustáceos: obtención de quitina y quitosana del cefalotórax de camarón por métodos ecológicos. Tesis de Maestría en Ciencias. Programa de Maestría y Doctorado en Ciencias Químicas, UNAM, Facultad de Química. México, D. F. México. Recuperado el 11 de mayo del 2015 de sitio Web de la UNAM: [<http://132.248.9.195/ptd2012/enero/0676305/Index.html>]
- [23] Ortega-Granados, J.A., Durán-Domínguez-de-Bazúa, M.C. 2014. Proceso de química verde para la obtención de materiales espumados a partir de residuos sólidos de animales artrópodos y productos obtenidos del mismo. Solicitud de Registro: Diciembre 10, 2014. UNAM, Facultad de Química. IMPI. Folio MX/e/2014/088656. Expediente: MX/a/2014/015119. En proceso de otorgamiento. México D.F. México.
- [24] Bárcenas-Ochoa, E.M. 2010. Biopolímeros de cefalotórax y exoesqueleto de camarón. Uso de aditivos químicos para modificar sus propiedades mecánicas. Tesis de Licenciatura, UNAM, Facultad de Química. Agosto 23. México, D. F. México. Recuperado el 11 de mayo del 2015 de sitio Web de la UNAM: [<http://132.248.9.195/ptb2010/agosto/0660690/Index.html>]
- [25] Mendoza-Márquez, A.M., Arias-Torres, O. 2010. Caracterización mecánica de un polímero de origen natural derivado de cefalotórax y exoesqueletos de camarón. Tesis de Licenciatura, UNAM, Facultad de Química. Mayo 12. México, D. F. México. Recuperado el 11 de mayo del 2015 de sitio Web de la UNAM: [<http://132.248.9.195/ptd2010/abril/0656717/Index.html>]
- [26] González-Mancera, G., Noguez-Amaya, M.E. 2006. Principios de microscopía electrónica de barrido y microanálisis por rayos X. Departamento de Ingeniería Química Metalúrgica. Facultad de Química, UNAM. ISBN 970-3-4011-9. Pp. 1-97. México D.F. México.
- [27] Manahan, S.E. 2007. Introducción a la química ambiental. Coedición UNAM-Editorial Reverté. Barcelona-México D.F. España-México.
- [28] Núñez-Bretón, L. C. 2009. Importancia del almidón (aspectos fisicoquímicos, usos y aplicaciones). Tesis profesional. UNAM, Facultad de Química. México, D. F. México.
- [29] Sánchez-Soto, A. 2013. Caracterización de películas biodegradables y su aplicación como envase activo en zarzamora (*Rubus fruticosus*) para el control de podredumbre gris. Tesis profesional. UNAM, Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, México, D. F. México.
- [30] Barrera, N.G., Calderón-Domínguez, G., Chanona-Pérez, J., Gutiérrez-López, G.F., León, A.E., Ribotta, P.D. 2013. Evaluation of the mechanical damage on wheat starch granules by SEM, ESEM, AFM and texture image analysis. *Carbohydrate Polymers*. 08:1449-1457.
- [31] Sujka, M., Jamroz, J. 2013. Ultrasound-treated starch: SEM and TEM imaging, and functional behaviour. *Food Hydrocolloids*. 31:413-419.
- [32] Martínez-Hernández, N.B., Vásquez-Escobar, M. 2009. Obtención y caracterización de un material polimérico a partir de la mezcla de polietileno de baja densidad (PEBD) y almidón de maíz modificado. Tesis profesional. Universidad Veracruzana, Facultad de Ciencias Químicas. Campus Coatzacoalcos, México. Recuperado el 11 de mayo del 2015 de sitio Web de la UV: [<http://cdigital.uv.mx/bitstream/12345678/938/1/Miriam%20Vazquez%20Escobar.pdf>]

Estudio de factibilidad para la determinación de nitrógeno y proteína mediante el uso del calorímetro diferencial adiabático

GABRIELA PÁEZ¹*, PABLO BONILLA¹

¹Facultad de Ciencias Químicas,
Universidad Central del Ecuador (UCE), Ciudadela Universitaria. Av. América, Quito.

*Correspondencia: gabbylu84@hotmail.com

Recibido: 07 de mayo de 2015, Aceptado: 13 de septiembre de 2015

Resumen

La bomba calorimétrica permite medir el contenido calórico de alimentos, ésta posee una camisa de agua que absorbe el calor liberado por la combustión del alimento. El calor que absorbe el agua, no proviene únicamente de la combustión del alimento, sino que intervienen otros factores como el calor de formación del HNO_3 . Este ácido se forma porque el nitrógeno presente en el alimento y aire es oxidado N_2O_5 , el mismo que reacciona con el agua y forma HNO_3 . El objetivo de esta investigación fue aprovechar la formación HNO_3 para cuantificar la cantidad de nitrógeno presente en el alimento y determinar sus proteínas. La factibilidad de determinar nitrógeno usando el calorímetro está sujeta a varios factores que impiden la cuantificación exacta de nitrógeno. Estos factores son limitaciones propias del aparato y complejidad de la muestra analizada. A pesar de estos inconvenientes, se obtuvo buenos resultados con muestras de suplementos nutricionales y harina de maíz que presentaron valores de nitrógeno muy similares a los obtenidos por el método oficial Kjeldah. Para alcanzar ésta similitud, se cambió algunos parámetros como mezclar la muestra con ácido benzoico y cuantificar el HNO_3 formado con una base 0.02N.

Palabras clave: nitrógeno, proteína, calorímetro.

Feasibility study for the determination of nitrogen and protein by using the adiabatic differential calorimeter

Abstract

The bomb calorimeter allows measure the caloric content's food, it has a water jacket to absorb the heat released by the combustion food. The heat absorbed by water not only comes from the combustion food, but also other factors such as heat of formation of nitric acid. This acid is formed because the nitrogen present in the food and air is oxidized N_2O_5 , it reacts with water to form HNO_3 . The objective in this investigation consists of use the formation of HNO_3 to quantified the amount of nitrogen present in the food and know their protein percent. The feasibility of determining nitrogen using the adiabatic calorimeter it is subject to several factors that prevent accurate quantification exactly of nitrogen. These factors are; limitation's device and complexity of the sample analyzed. Despite these drawbacks, good results were obtained with sample's supplements nutritional. Value's Nitrogen of these samples are very similar to the values obtained by the official method Kjeldah. To achieve this similarity, some parameters are changed as mixing the sample with benzoic acid and quantify HNO_3 0.02N formed with a base.

Key words: nitrogen, protein, adiabatic calorimeter.

1. Introducción

La bomba calorimétrica es utilizada para determinar el calor de combustión de varias sustancias cuando se queman a volumen constante. Para el análisis del calor de combustión de una sustancia sólida, ésta deberá colocarse en forma de pastilla dentro de la bomba, adicionalmente se agrega el oxígeno necesario para la combustión.

Este tipo de calorímetro se rodea de una camisa de agua que absorberá el calor liberado por la sustancia; esto se realiza dentro de una camisa adiabática para evitar pérdida de calor que afecte al proceso. Sin embargo, el calor que absorbe el agua no solo es debido a la combustión de la sustancia, sino a otros factores, entre los cuales pueden nombrarse: liberación de calor del alambre que provoca el encendido de la muestra, liberación de calor por la formación de ácido nítrico y sulfúrico, entre otros.

Al aplicar la ecuación de la Primera Ley de la Termodinámica al proceso de combustión a volumen constante y tomando en cuenta todos los factores mencionados anteriormente, se obtiene la siguiente ecuación:

$$H_g = \frac{(tW - e_1 - e_3)}{g} \quad (1)$$

Donde:

H_g = calor de combustión bruto;
(cal/g) (1 cal/g = 4.1868 J/g)

t = cambio de temperatura en la combustión;
(°C) ($t = t_f - t_0$)

W = equivalente de energía del calorímetro;
(cal/°C) (J/°K)

e_1 = corrección por el calor de formación del ácido nítrico (HNO₃); (cal) (1 cal = 4.1868 J); también equivale a los mililitros de solución alcali utilizados en la titulación ácido-base.

e_3 = corrección por el calor de combustión del alambre de ignición; (cal) ó (J)

g = peso de la muestra (g) [1].

El factor e_2 , corrección del ácido sulfúrico, es importante en el caso de combustibles, pero para alimentos el contenido de azufre es insignificante por lo que se elimina de la ecuación.

El valor e_1 representa el calor de formación del ácido nítrico; éste se origina por la alta presión de oxígeno existente en el interior de la bomba que ocasiona que el nitrógeno proveniente de la muestra o del aire se oxide a óxido nítrico (N₂O₅), el mismo que al combinarse con el agua forma el ácido nítrico (HNO₃).

Para conocer el factor de corrección del ácido nítrico (e_1) se valora el líquido de lavado de la bomba con un álcali [1].

Al determinar la cantidad de ácido nítrico formado en la combustión, se conocerá el contenido de nitrógeno de la muestra y a su vez el porcentaje de proteína.

2. Parte experimental

2.1 Materiales

- Calorímetro adiabático (PARR 1976)
- Bomba de combustión 1108
- Termómetro digital (FISHER SCIENTIFIC)
- Plancha calefactora (THERMOLYNE TYPE 1000)
- Balanza analítica (METTLER Ac 100)
- Tanque de oxígeno (AGA)
- Potenciómetro (METTLER)
- Molino eléctrico (MLW)

2.3 Métodos

Se utilizó el método estandarizado ASTM D 240-64 correspondiente para ensayos en el calorímetro adiabático, con las respectivas modificaciones para lograr determinar el contenido de nitrógeno de la muestra. Se probaron diferentes suplementos nutricionales: Ensure®,

Pediasure®, Colada Nutrinfa® y harina de maíz y se midió el contenido de nitrógeno por el método oficial de Kjeldahl y el calorimétrico.

Procedimiento:

a) Preparación de la muestra:

- Se pesó cantidades iguales de muestra y ácido benzoico.
- Se mezcló y trituró en un mortero eléctrico.
- Se comprimió esta mezcla (muestra más ácido benzoico) en forma de pastillas de 1g.

b) Alambre de ignición:

- Se cortó un fragmento del alambre de ignición (Fe) entre 10-11 centímetros y se pesó.
- Se envolvió el alambre alrededor de la pastilla y se pesó.
- Se conectó a los electrodos de la bomba calorimétrica el alambre más la pastilla.
- Se colocó 1ml de agua destilada dentro de la bomba y se cerró herméticamente.

c) Introducción de oxígeno:

- Se llenó la bomba con 25 atmósferas de presión de oxígeno.

d) Montaje del calorímetro:

- Se llevó la bomba al recipiente calorimétrico, el mismo que contiene 2000 ml de agua destilada a 25°C y que está dentro de la camisa adiabática.
- Se colocó el agitador, el termómetro y en la tapa los bornes del dispositivo de suministro de energía eléctrica.

e) Encendido:

- Se cerró la tapa de la camisa adiabática y se encendió el agitador para alcanzar el equi-

librio térmico entre los distintos componentes del sistema.

- Se encendió la bomba, una vez que se llegó al equilibrio entre la temperatura del agua (2000 mL) y el calorímetro, presionando el botón de ignición para dar inicio a la combustión de la muestra.

- Se registraron los valores de temperatura cada 30 segundos hasta que no presentó cambios.

- Se apagó el calorímetro.

f) Desmontaje del aparato:

- Se retiró la bomba y se dejó evacuar los gases de su interior mínimo 1 minuto.

- Se lavó con agua destilada las paredes de la bomba y sus electrodos.

- Se filtró el agua de lavado.

g) Determinación de nitrógeno [2]

- Se determinó el error de formación del ácido nítrico, titulando el agua de lavado con NaOH (0.02N) y el indicador fenofaleína.

- Se determinó la cantidad de nitrógeno utilizando la siguiente relación:

$$C_{\text{NaOH}} \times V_{\text{NaOH}} = C_{\text{HNO}_3} \times V_{\text{HNO}_3}$$

$$\# \text{eq g NaOH} = \# \text{eq g HNO}_3$$

$$\# \text{eq g HNO}_3 = C_{\text{NaOH}} \times V_{\text{NaOH}}$$

$$\# \text{eq g HNO}_3 \rightarrow \text{gHNO}_3 \text{ total}$$

$$\text{gHNO}_3 \text{ corrido} = \text{gHNO}_3 \text{ total} - \text{gHNO}_3 \text{ ac.benzoico}^*$$

$$\text{gHNO}_3 \approx \text{gN}$$

$$\% \text{ Proteína} = \text{N} \times 6.25$$

(2)

*Nota: El ácido benzoico no tiene nitrógeno en su estructura, sin embargo, su presencia contribuye a aumentar la temperatura favoreciendo la oxidación del nitrógeno.

3. Resultados y discusión

3.1 Resultados

En la Tabla 3.1 se presenta el contenido de proteínas determinado por el método calorimétrico y en la Tabla 3.2 por el método de Kjeldahl.

Tabla 3-1 Determinación de nitrógeno por el método calorimétrico

Muestra	Determinaciones	Nitrógeno (g)	%Proteína (N x 6.25)
Ensure®	6	2.52 ± 0.02 ^a	15.74 ± 0.10 ^a
Pediasure®	6	2.45 ± 0.02 ^a	15.29 ± 0.12 ^a
Colada Nutrinfa®	6	2.08 ± 0.05 ^a	13.01 ± 0.28 ^a
Harina de maíz	6	1.65 ± 0.03 ^a	10.31 ± 0.17 ^a

^aDesviación estándar

Tabla 3-2 Determinación de nitrógeno por el método de Kjeldahl

Muestra	Nitrógeno (g)	% Proteína (N x 6.25)
Ensure®	2.54	15.85
Pediasure®	2.47	15.44
Colada Nutrinfa®	2.12	13.25
Harina de maíz	1.68	10.50

3.2 Análisis estadístico

Para determinar la igualdad o diferencia entre los valores obtenidos con el método calorimétrico y el método de Kjeldahl, se planteó la siguiente hipótesis de trabajo:

Ho: Nitrógeno_(Kjeldahl) = Nitrógeno_(calorimetría)

Hi: Nitrógeno_(Kjeldahl) ≠ Nitrógeno_(calorimetría)

Se calculó el valor "t" de student correspondiente a la comparación de la media de la muestra (método calorimétrico) con un valor teórico (método de Kjeldahl), Tabla 3.3

$$t = \frac{|\mu - \bar{x}|}{\frac{s}{\sqrt{n}}} \quad (3)$$

\bar{x} = valor medio de la muestra

μ = valor teórico de la muestra

s = desviación estándar

n = número de valores

Tabla 3-3 Valores de "t" de student

Muestra	t _{calculado}	t _{Teórico (dos colas 95%)}
Ensure®	2.24	2.57
Pediasure®	2.24	2.57
Colada Nutrinfa®	1.79	2.57
Harina de Maíz	2.24	2.57

3.3 Discusión

El análisis estadístico de la prueba t al 95%, indicó que los valores de t_{calculado} son menores que el valor de t_{teórico}. Es decir, que no existe diferencia significativa entre los valores que se obtuvieron por el método calorimétrico y el método Kjeldahl.

Por tanto, se aceptó la hipótesis nula:

Ho: Nitrógeno_(Kjeldahl) = Nitrógeno_(calorimetría)

4. Conclusiones

- El ácido benzoico añadido a la muestra contribuye a incrementar la temperatura de combustión y obtener valores de nitrógeno similares entre sí, con desviaciones estándar bajas.

- En las muestras de harina de maíz, Ensure®, Pediasure® y Colada Nutrinfa® las condiciones de oxidación de la bomba calorimétrica fueron adecuadas para lograr el rompimiento de los enlaces de sus componentes y liberar el nitrógeno presente. Por esta razón, se obtuvo valores similares a los de Kjeldahl.
- La aplicación del método calorimétrico como una alternativa para determinar nitrógeno y proteína en los alimentos no puede ser generalizada. Debido a que para muestras más complejas se requiere condiciones más ex-

tremas de temperatura, lo que implicaría un cambio en el diseño del aparato.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Universidad Central del Ecuador, en especial a la Facultad de Ciencias Químicas, por facilitar sus laboratorios, materiales y equipos para la realización de esta investigación. El primer autor agradece al Dr. Pablo Bonilla por brindarle la oportunidad de trabajar con él y beneficiarme de sus conocimientos.

Referencias

-
- [1] ASTM (1973). D240-64: Standard Method of Test for Heat of Combustion of Liquid Hydrocarbon Fuels by Bomb Calorimeter. (Volume 05.01) Petroleum Products Liquid Fuels, and Lubricants. USA.
 - [2] R. Stout, F. Nettleton & L. Price. (1985). Bomb calorimetry: The energy content of pizza. *Journal of Chemical Education*, 62(5), 438.

Presencia de metales pesados y semimetales en musgo en torno a la Estación Antártica Ecuatoriana Pedro Vicente Maldonado

DEISY SARMIENTO^a, RONNY FLORES^{a,*}

(a) Laboratorio de Química Ambiental, Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Central del Ecuador (UCE), Quito, Ecuador

*Correspondencia: raflores@uce.edu.ec

Recibido: 25 de marzo de 2014, Aceptado: 14 de agosto de 2014

Resumen

Durante la XV expedición ecuatoriana a la Antártida, desarrollada por el Instituto Antártico Ecuatoriano en los meses de febrero y marzo de 2011, se recolectaron muestras de musgo **Saniona Uncinata** en el área cercana a la Estación Pedro Vicente Maldonado, ubicada en la Isla Greenwich, para conocer la posible afectación que tiene la actividad humana en la región. El musgo fue utilizado como biomonitor de la contaminación por metales pesados y semimetales. Se establecieron cinco puntos de muestreo que corresponden a áreas de influencia directa e indirecta de la Estación. Los elementos se cuantificaron por espectroscopia de absorción atómica y se determinó que el arsénico, cromo, plomo y cadmio se encuentran en mayor concentración en el musgo recolectado en el área cercana al Módulo de los Generadores Eléctricos de la estación, que en el musgo recolectado de los otros sitios más distantes. Las actividades realizadas en el Módulo de los Generadores, como quema de combustibles fósiles, uso de pinturas anticorrosivas, procesos de soldadura, etc., pueden ser los causantes del incremento de metales en el sitio.

Palabras clave: musgo, contaminación, metales, Antártida, biomonitor.

Presence of heavy metals and semimetals in moss that surrounds the Ecuadorian Antarctic Station Pedro Vicente Maldonado

Abstract

During 15th Ecuadorian expedition to the Antarctic, carried out by the Antarctic Ecuadorian Institute during the months of February and March 2011, samples of moss **Saniona Uncinata** were collected in the area closest to the Pedro Vicente Maldonado Station, on the Greenwich Island, with the purpose of knowing how much human activity had affected the area. The moss was used as a bio-monitor of the contamination caused by heavy metals and semimetals. Five areas of sampling were established, corresponding to areas of direct or indirect influence of the Station. The elements were quantified by use of an atomic absorption spectroscopy. It was determined that arsenic, chrome, lead, and cadmium were found in greater percentages in the moss retrieved in the area close to the Generators Module of the Station than was found in samples from more distant sites. Activities proper to the area of the Generators Module, that is, burning of fossil fuel, use of anti-corrosive paint, soldering, among others, could be responsible for the increase of metals in the area.

Key words: moss, pollution, metals, Antarctica, biomonitor.

1. Introducción

La Estación Científica Ecuatoriana Pedro Vicente Maldonado está ubicada en la Punta Fort William de la Isla Greenwich que pertenece al archipiélago Shetland del Sur a $62^{\circ}26'57,6''$ de latitud sur y $59^{\circ}44'32,1''$ de longitud oeste. Es una base antártica temporal que funciona durante el verano austral que empieza a finales de diciembre y se extiende hasta marzo del siguiente año. Tiene una capacidad aproximada para treinta personas y las labores que se realiza en ella son investigativas en los campos de geología, meteorología, oceanografía, contaminación ambiental y fisiología humana.

La Antártida, a pesar de ser el continente más aislado, no está libre de la contaminación por el ser humano. La entrada antropogénica de metales pesados en el ambiente antártico puede ser originada tanto de fuentes locales como globales. En las fuentes locales se incluyen estaciones científicas, incineración de basura, uso de combustibles y pinturas y aguas residuales. Mientras que las fuentes globales están relacionadas con el transporte atmosférico de elementos procedentes de latitudes más bajas [1].

Para determinar metales y semimetales presentes en el ambiente antártico, puede emplearse musgo como bio-monitor o bioindicador. Un bioindicador es un ser vivo que manifiesta una respuesta clara frente a una determinada sustancia y a una determinada concentración de esa sustancia. Existen algunos vegetales que son buenos bioindicadores de la contaminación atmosférica, como los musgos y los líquenes, no por los efectos que sobre ellos se producen sino porque son bioacumuladores, pues absorben los contaminantes directamente del aire con una perfecta correlación entre la concentración en la atmósfera y concentración en el ser vivo [2]. Estos organismos acumulan específicamente metales pesados en sus células en concentraciones superiores a las que se dan en los medios donde habitan. La concentración de metales pesados en el ambiente es más fácil de detectar a través del musgo que si se mide directamente del aire o del agua en que viven [3].

Las briofitas han sido ampliamente utilizadas como bioindicadores de la contaminación atmosférica en la Antártida por su presencia dominante en áreas libres de nieve y su facilidad de muestreo [2]. El musgo es la especie vegetal que cubre el 9% del área total alrededor de la estación ecuatoriana Pedro Vicente Maldonado [4].

Los elementos que se analizaron, por su toxicidad y uso generalizado fueron As, Cr, Hg, Pb y Cd [5]. El uso de combustibles fósiles, equipos y maquinarias pueden ser los causantes de la presencia de estos metales en la Antártida. El arsénico puede provenir de la quema de combustibles fósiles o conservantes de madera. El cromo de su empleo en recubrimientos metálicos y pinturas anticorrosivas. El mercurio se libera durante la quema de combustibles fósiles, está presente en baterías viejas y lámparas fluorescentes. El plomo se utiliza en soldaduras, pinturas y dispositivos electrónicos (televisores, computadoras, celulares y demás). El cadmio se emplea en recubrimiento de metales, baterías recargables, equipos electrónicos y pigmentos; y se libera con la quema de carbón [6]. Además, la contaminación antropogénica puede llegar desde África, Sudamérica y Australia transportada por la atmósfera [7].

La presente investigación es parte del proyecto C-02-11: Presencia de contaminantes antropogénicos orgánicos volátiles, orgánicos persistentes, gases invernadero y metales pesados en torno de la estación ecuatoriana Pedro Vicente Maldonado, que se ejecuta con el apoyo del Instituto Antártico Ecuatoriano.

2. Parte experimental

Recolección y pretratamiento de las muestras

Durante la tercera etapa de la XV expedición ecuatoriana a la Antártida, en los meses de febrero y marzo de 2011, se recolectaron muestras de musgo *Saniona Uncinata*. Se establecieron cinco puntos de muestreo, que corresponden a las áreas de influencia directa e indirecta de la estación Pedro Vicente Maldonado [8] (500 m y 5000 m alrededor de la estación, respectivamente, Fig. 1). En cada punto se tomaron tres muestras de musgo (50 g aprox.) (Fig. 2). Las muestras se secaron en una estufa eléctrica a 80°C durante toda la noche, se almacenaron herméticamente y se transportaron, en refrigeración, hasta Ecuador a la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Central del Ecuador. Los sitios de recolección de las muestras de musgo fueron georeferenciados para poder volver a muestrear en los mismos sitios en expediciones futuras, lo que permitirá monitorear la evolución de la concentración de los contaminantes.

Análisis de metales y semimetales

En las muestras recolectas se separó cuidadosamente el suelo del musgo con un tamiz de 630 μm . El musgo se sometió a digestión, en un digestor de microondas marca Berghof, modelo Speedwave Four, según una modificación del método Microwave Digestion of Herbs, incluido en el equipo. A 1000 mg de muestra se añadió 12 mL de ácido nítrico 65% y 4 mL de peróxido de hidrógeno 30%. Se digestó durante 10 minutos a 170°C con una presión de 80

bar y 80% de potencia. Todos los reactivos fueron grado analítico. Las muestras se analizaron por triplicado.

Los elementos extraídos se cuantificaron por espectroscopia de absorción atómica a la llama, según los métodos EPA 7061A para arsénico, 7470A para mercurio, 7130 para cadmio, 7420 para plomo y 7190 para cromo, en un equipo marca Perkin Elmer, modelo AANALYST 100. Todos los análisis se realizaron en un laboratorio acreditado perteneciente a la Facultad de Ciencias Químicas.

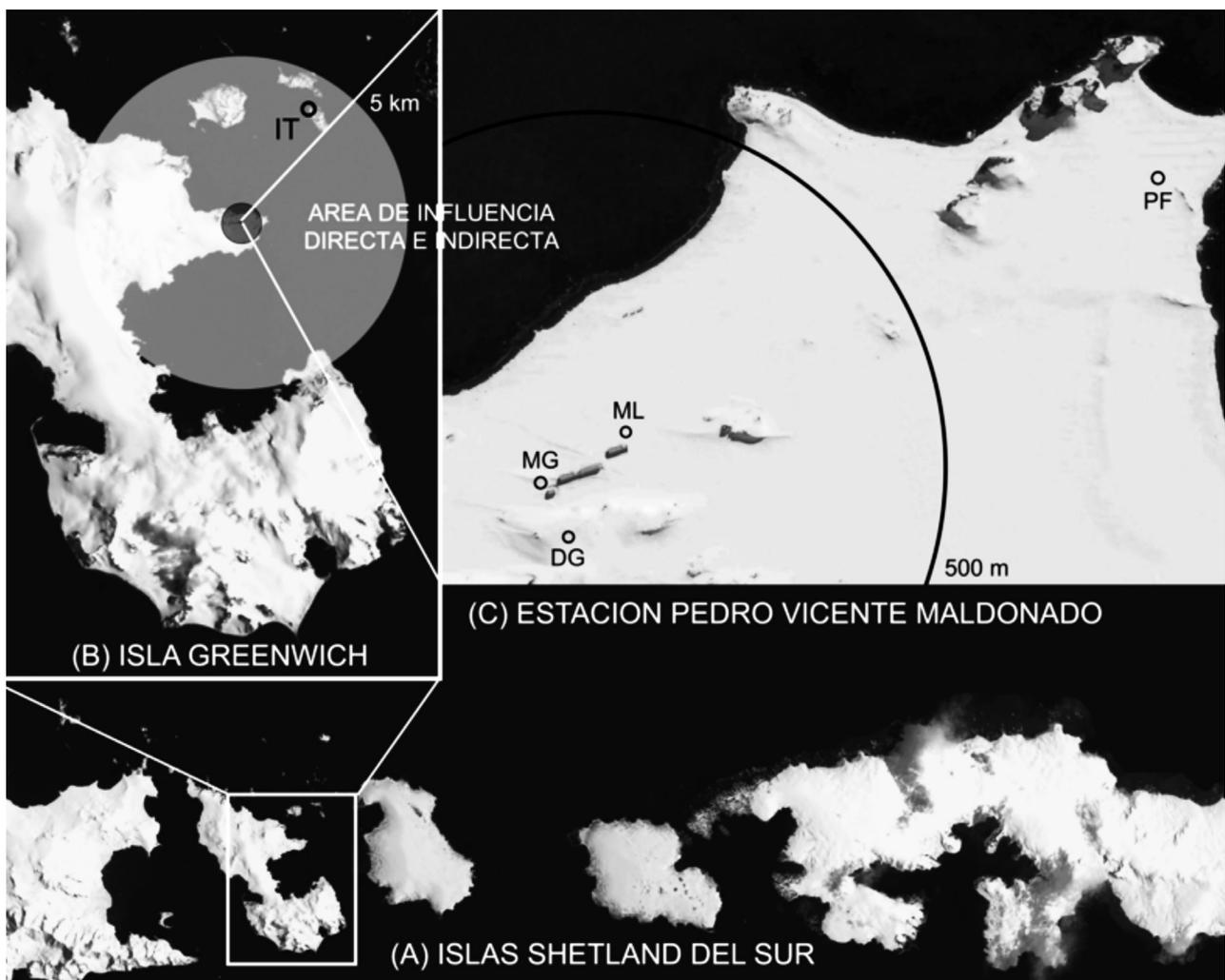




Figura 2. Toma de muestra de musgo en la Antártida.
Foto R. Flores (2011)

3. Resultados y discusión

Los sitios de muestreo fueron cinco distribuidos entre el área de influencia directa e indirecta de la estación (Fig. 1). El área de influencia directa es el ámbito geográfico donde se presenta de manera evidente los impactos ambientales. Para la estación es el espacio físico ocupado en forma permanente por los diferentes módulos, las operaciones que allí se realizan y las actividades de investigación científica. Incluye todos los sitios donde se depositan materiales excedentes, lugares de muestreo y mo-

nitoreo. Esta área es susceptible de afectación por las diferentes actividades, tanto de construcción como de mantenimiento y operación, que cotidianamente se llevan a cabo en la estación. El área de influencia directa comprende las instalaciones de la estación hasta una distancia aproximada de 500 metros alrededor de la misma [8].

El área de influencia indirecta de la estación es la zona sobre la cual uno o varios aspectos ambientales afectados en el área de influencia directa, pueden, a su vez, trasladar esas afectaciones, aunque sea en mínima proporción, a otros aspectos ambientales más alejados de las actividades directas de la estación. El área de influencia indirecta cubre la Punta Fort William, incluyendo los ecosistemas terrestres de las islas Dee, Barrientos y Torre, además, de los cuerpos hídricos de Ensenada Guayaquil y Bahía Chile, hasta una distancia de cinco kilómetros alrededor de la estación [8].

Los puntos MG, ML y DG corresponden al área de influencia directa (Tabla 1 y Fig. 1). Los puntos IT y PF comprenden el área de influencia indirecta. Para el análisis estadístico de resultados se utilizó la Prueba de Rango Múltiple de Duncan, que es una comparación de las medias de todos los tratamientos al 95% de confianza con el software STATISTICA 8.0.

Tabla 1. Sitios donde se tomaron las muestras de musgo en torno a la Estación Científica Ecuatoriana Pedro Vicente Maldonado. MG, ML y DG corresponden a área de influencia directa, PF e IT a área de influencia indirecta.

CLAVE	Nombre del sitio	Georeferencia, UTM	Distancia desde la Estación
MG	Módulo de generadores	21E, 358524X, 3072780Y	14 m
ML	Módulo de laboratorio	21E, 358617X, 3072849Y	25 m
DG	Detrás de los generadores	21E, 358565X, 3072720Y	52 m
PF	Punta Figueroa	21E, 359283X, 3073205Y	828 m
IT	Isla Torre	21E, 358677X, 3077012Y	4234 m

El arsénico tuvo una concentración diez veces mayor en MG que en el resto de sitios de muestreo, IT y PF presentaron las más bajas concentraciones de

arsénico (Fig. 3). El cadmio (Fig. 4) mostró una concentración alta en todos los puntos excepto en IT que presentó la concentración más baja. El cromo

(Fig. 5) tuvo una concentración alta en MG y ML y la más baja en PF. El mercurio (Fig. 6) presentó una concentración alta en MG y ML, siendo la más alta en ML, y la más baja en PF. El plomo (Fig. 7) estuvo en mayor concentración en MG y en menor en DG. Pb y Hg fueron los metales que se encontraron en mayor concentración durante el estudio y corresponden a los módulos de generadores y laboratorio. MG tiene las más altas concentraciones para As, Cd, Cr y Pb; en cambio IT y PF tienen, en general, las concentraciones más bajas para la mayoría de contaminantes. Las bajas concentraciones en los puntos IT y PF se explica ya que están localizados en la zona de influencia indirecta, por lo que no están muy afectados por la contaminación directa generada en la estación.

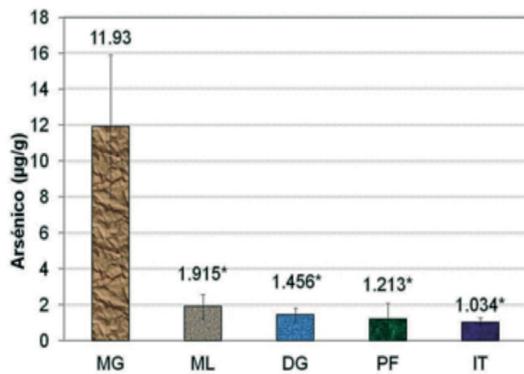


Figura 3. Concentración de arsénico en un gramo de musgo seco en los cinco puntos de muestreo. La concentración de arsénico es diez veces mayor en MG que en los otros sitios de muestreo y las concentraciones en los restantes cuatro puntos son similares entre sí. Barra de error corresponde a la desviación estándar de tres determinaciones. (*) Indica que no hay diferencia significativa entre medias de concentración con la prueba de Rango Múltiple Duncan al 95% de confianza.

En cambio, MG es el sitio donde se realiza la mayoría de actividades de mantenimiento de la estación, además, allí funcionan los generadores por lo que fue el módulo que presentó mayor contaminación. ML, es el segundo módulo, después de MG, con contaminación más alta, hay que recordar que este módulo fue recientemente inaugurado, por lo que cabría esperar que el proceso de construcción fue el causante del alto nivel de contaminación en el sitio.

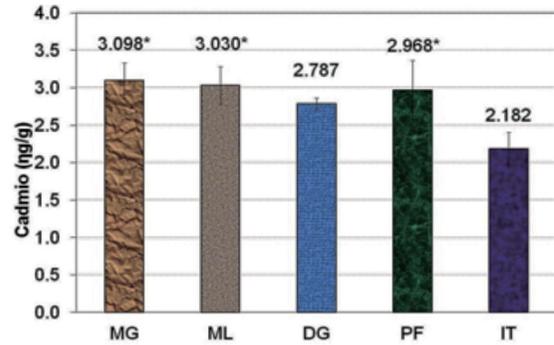


Figura 4. Concentración de cadmio en un gramo de musgo seco en los cinco puntos de muestreo. El cadmio tiene una concentración parecida en la mayoría de sitios analizados, excepto en IT que es la más baja. Barra de error corresponde a la desviación estándar de tres determinaciones. (*) Indica que no hay diferencia significativa entre medias de concentración con la prueba de Rango Múltiple Duncan al 95% de confianza.

El arsénico es un elemento ubicuo que puede hallarse en matrices bióticas y abióticas y es movilizado a través del ambiente por procesos naturales y antropogénicos [9]. La alta concentración de arsénico en MG con respecto a los otros puntos de muestreo se asocia, sin duda, a la actividad humana. El arsénico puede provenir de la quema de combustibles fósiles o conservantes de madera. Concentraciones importantes de arsénico se han encontrado en macroalgas antárticas, 41.0 a 447 µg/g peso seco [10]; las algas toman el arsénico de especies en solución en el agua del mar, en cambio, el musgo lo toma directamente del ambiente.

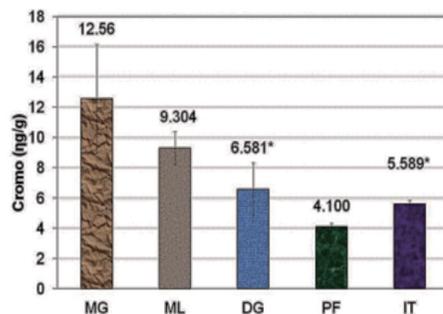


Figura 5. Concentración de cromo en un gramo de musgo seco en los cinco puntos de muestreo. El cromo está presente en mayor concentración en MG y ML. Y las concentraciones entre IT y DG son similares. La menor concentración de cromo se encontró en PF. Barra de error corresponde a la desviación estándar de tres determinaciones. (*) Indica que no hay diferencia significativa entre medias de concentración con la prueba de Rango Múltiple Duncan al 95% de confianza.

Las actividades humanas como industria, disposición de aguas residuales y el uso de combustibles fósiles cambian los niveles naturales de Hg. Santos *et al.* [1] encontraron Hg en briofitas en una concentración de 23.1 a 39.5 ng/g, concentraciones que fueron consideradas bajas. En este estudio la concentración de Hg estuvo en el orden de los microgramos, concentración mil veces mayor a lo determinado por Santos. La presencia de mercurio en matrices bióticas sugiere que se está produciendo bioacumulación debido a su alta movilidad y afinidad por materia orgánica. El mercurio se libera durante la quema de combustibles fósiles, de baterías viejas y lámparas fluorescentes.

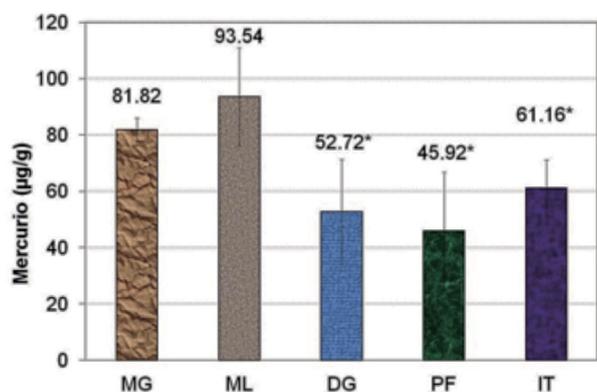


Figura 6. Concentración de mercurio en un gramo de musgo seco en los cinco puntos de muestreo. El mercurio está en una concentración mayor en MG y ML. DG, IT y PF tienen concentraciones bajas y parecidas. Barra de error corresponde a la desviación estándar de tres determinaciones. (*) Indica que no hay diferencia significativa entre medias de concentración con la prueba de Rango Múltiple Duncan al 95% de confianza.

La presencia de plomo se puede asociar al uso de pinturas, equipos de soldadura y a la existencia de baterías usadas. Webster *et al.* [11] llegaron a relacionar la concentración elevada de plomo en el suelo de una antigua estación antártica con una pintura roja utilizada en la estación.

La presencia de cromo puede deberse a su empleo en recubrimientos metálicos y pinturas anticorrosivas y el cadmio a su uso en recubrimiento de metales, baterías recargables y pigmentos. En la estación ecuatoriana, las actividades realizadas en el módulo de los generadores como uso de combustibles, equipos y maquinarias pueden ser las causantes del incremento de metales en este sitio.

Otras investigaciones relacionadas con la contaminación por metales en la Antártida [1], [12] y [13] han determinado presencia de metales como cadmio (0,13-0,07 µg/g), mercurio (23,1 ng/g), plomo (0,01-0,03 µg/g) y cromo (menor a 0,03 µg/g) en algas, musgos (especies distintas a las utilizadas en esta investigación), pingüinos y hielo lo que confirma que la Antártida a pesar de ser un continente aislado, sufre contaminación ambiental ya sea por arrastre a través del aire o agua y/o por actividades en el sitio.

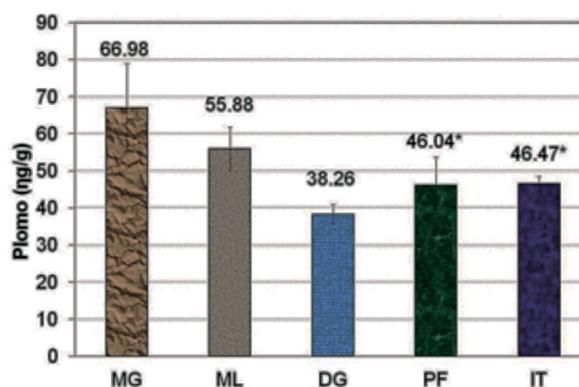


Figura 7. Concentración de plomo en un gramo de musgo seco en los cinco puntos de muestreo. El plomo está presente en mayor concentración en MG. IT y PF tienen concentraciones similares. La concentración más baja se localizó en DG. Barra de error corresponde a la desviación estándar de tres determinaciones. (*) Indica que no hay diferencia significativa entre medias de concentración con la prueba de Rango Múltiple Duncan al 95% de confianza.

4. Conclusiones

De los resultados del estudio se concluye que existe mayor presencia de metales y semimetales en el área de influencia directa que en el área de influencia indirecta ocasionada por la presencia de la estación Pedro Vicente Maldonado. El metal que se encuentra en mayor cantidad en todos los sitios de muestreo fue el mercurio. El Hg forma compuestos volátiles, como el dimetilmercurio, que escapa al ambiente por acción de bacterias anaerobias en los sedimentos y puede bioacumularse en el musgo que lo toma del aire por el arrastre del contaminante a través del aire y agua que llegan a la Antártida. En expediciones futuras a la Antártida se tomarán muestras de los productos utilizados en el módulo de generadores de la estación para poder determinar cuáles son las

posibles fuentes de la contaminación encontrada y poder realizar recomendaciones sobre qué artículos deben prohibirse su uso en la Antártida. También, se volverá a tomar muestras de musgo en los mismos sitios lo que permitirá monitorear la evolución de la concentración de los contaminantes con el tiempo.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Instituto Antártico Ecuatoriano (INAE) y a la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Central del Ecuador por el apoyo brindado para la realización de esta investigación.

Referencias

- [1] Santos I.R., E.V. Silva-Filho, C. Schaefer, et al. (2006). Escribe texto o la dirección de un sitio web, o bien, traduce un documento. Cancelar Alpha Baseline mercury and zinc concentrations in terrestrial and coastal organisms of Admiralty Bay, Antarctica. *Environmental Pollution* 140: 304-311.
- [2] Yogui G.T., J.L. Sericano. (2008). Polybrominated diphenyl ether flame retardants in lichens and mosses from King George Island, maritime Antarctica. *Chemosphere* 73: 1589-1593.
- [3] Bargagli R., D.H. Brown & L. Nelli. (1995). Metal biomonitoring with mosses: procedures for correcting for soil contamination. *Environmental Pollution* 89 (2): 169-175.
- [4] Ordóñez N., H. Yii, W. Cárdenas, et al. (2008). Estudio preliminar de la cobertura superficial en la Isla Greenwich Antártida. *Revista Tecnológica ESPOL* 21 (1): 17-21.
- [5] Negri A., K. Burns, S. Boyle, et al. (2006). Contamination in sediments, bivalves and sponges of McMurdo Sound, Antarctica. *Environmental Pollution* 143: 456-467.
- [6] Noriega P., A. Mediciz, A. Murillo, et al. (2008). Estudio de la concentración de cadmio y plomo en el aire de la ciudad de Quito, empleando briofitas como biomonitores. *La Granja* 8(2):17-24.
- [7] Klánová J., N. Matykiewiczová, Z. Máčka, et al. (2008). Persistent organic pollutants in soils and sediments from James Ross Island, Antarctica. *Environmental Pollution* 152: 416-423.
- [8] SAMBITO. (2011). (en línea). Estudio de impacto ambiental Ex-post Estación Científica Ecuatoriana Pedro Vicente Maldonado, Isla Greenwich-Shetland del Sur-Antártida. <<http://www.slideshare.net/sambitoeco/eia-expost-pegvima>>. Acceso 21/03/2012.
- [9] Vodopivec C., S. Farías, P. Smichowski, D. Vélez, et al. (2004). Arsénico total e inorgánico en macroalgas antárticas. *Actas del V° Simposio Argentino y I° Latinoamericano sobre Investigaciones Antárticas* CD-ROM. Resumen expandido N. 205BG.
- [10] Smichowski P., S. Farias, L. Valiente, et al. (2004). Total arsenic content of nine species of Antarctic macro algae as determined by electrothermal atomic absorption spectrometry. *Analytical and Bioanalytical Chemistry* 378: 465-469.
- [11] Webster J., K. Webster, P. Nelson, et al. (2003). The behaviour of residual contaminants at a former station site, Antarctica. *Environmental Pollution* 123: 163-179.
- [12] Bargali, R. (2008). Environmental contamination in Antarctic ecosystems. *Science of The Total Environment* 400(1-3): 212-226.
- [13] Szefer, P., Szefer, K., Pempkowiak, J., Skwarzec, B., y Bojanowski, R. (1994). Distribution and coassociations of selected metals in seals of the Antarctic. *Environmental Pollution* 83(3): 314-349.

Pirolisis y gasificación de residuos sólidos de polietilentereftalato

DANIEL ZURITA¹*, WASHINGTON NÚÑEZ¹, KLAUS L. AMEN¹

¹Facultad de Ciencias Químicas,
Universidad Central del Ecuador (UCE), Quito, Ecuador

*Correspondencia: zeto_zeta@hotmail.com. Laboratorio 304, Departamento de Química Inorgánica y Nuclear, Facultad de Química, Universidad Nacional Autónoma de México. México D.F. México.

Recibido: 29 de agosto de 2014, Aceptado: 04 de abril de 2015

Resumen

Se desarrolló un proceso de pirolisis y gasificación para producir hidrógeno y monóxido de carbono (gas de síntesis) a partir de residuos sólidos de polietilentereftalato. Los experimentos se realizaron en un reactor tubular de dos etapas, a 600°C, 800°C y 1000°C en presencia y ausencia de níquel soportado en dióxido de silicio como catalizador, en la segunda etapa del reactor. La presencia de Ni/SiO₂ en la etapa de gasificación mostró un aumento en el rendimiento de hidrógeno y monóxido de carbono en comparación con el proceso no catalítico.

Palabras clave: gasificación de plásticos, reciclaje de residuos plásticos, catalizador de níquel, polietilentereftalato, pirolisis, residuos sólidos.

Pyrolysis and gasification of polyethylene terephthalate solid wastes

Abstract

Polyethylene Terephthalate (PET) solid wastes were used in hydrogen and carbon monoxide (syngas) production by pyrolysis and gasification process. The experiments were carried out in a two stage pyrolysis-gasification tubular reactor, at 600°C, 800°C and 1000°C with and without nickel supported over silica (Ni/SiO₂) as catalyst in the second stage. The presence of Ni/SiO₂ in gasification stage was showed a growth in the yields of hydrogen and carbon monoxide, compared with the non-catalytic process.

Key words: plastic gasification, plastic waste recycling, nickel catalyst, polyethylene terephthalate, pyrolysis, solid wastes.

1. Introducción

El gas de síntesis (syngas) es una mezcla de monóxido de carbono e hidrógeno, cuya composición varía según la materia prima y el proceso usado para su obtención [1] [2]. Además de ser un intermediario químico importante en la producción de metanol y combustibles líquidos, este gas también participa,

de forma directa o indirecta, en otros procesos de síntesis, como: hidrogenación catalítica, los procesos oxo, Tennessee, Haber-Bosch, Monsanto, Mobil, Fischer Tropsch y Mittasch [3] [4] [5]. Consecuentemente, existe una gran atención a los métodos de obtención de gas de síntesis, donde las metodologías

típicas involucran procesos de pirólisis y gasificación [6] [7] [8]. En años recientes el reciclado químico de plásticos usando procesos de pirólisis y gasificación ha sido intensamente estudiado como una alternativa para la obtención de gas de síntesis con altas concentraciones de hidrógeno [9] [10] [11]. Previamente se ha reportado el uso de catalizadores de níquel (catalizador comercial para el reformado de nafta C11-NK) en la pirólisis y gasificación de varios polímeros a 800°C usando vapor de agua como gas reactivo; cuando el polímero usado es polietilentereftalato (PET) se ha logrado obtener hidrógeno a un 78% del valor teórico [12]. En este trabajo se reporta la pirólisis y gasificación de PET a escala de laboratorio en un reactor de dos etapas, usando vapor de agua como gas reactivo en presencia de níquel soportado en dióxido de silicio como catalizador, con el objetivo de obtener hidrógeno y monóxido de carbono a partir de la degradación del polietilentereftalato.

2. Parte experimental

2.1 Materiales

Las muestras de PET utilizadas en los ensayos fueron trozos de 2 cm x 2 cm de botellas plásticas incoloras. El catalizador de níquel soportado en sílice (Ni/SiO₂) fue sintetizado en el laboratorio por co-precipitación de una disolución de Na₂SiO₃ y Ni(NO₃)₂·6H₂O, des-

pués fue secado a 70°C por una semana y luego fue reducido en corriente de hidrógeno a 300°C.

2.2 Métodos

La pirólisis y gasificación de PET se realizó en un reactor tubular de dos etapas, donde puede controlarse la temperatura de cada horno por separado (Fig. 1). El reactor está conectado a una fuente de vapor de agua y a un gasómetro para coleccionar los gases obtenidos. En cada experimento en el horno 1 se colocaron 3g de PET soportado entre lana de cerámica y en el horno 2 se pusieron 16 g de Ni/SiO₂ entre lana de cerámica y se usaron 45 g de agua. Cada uno de los tubos en los hornos tiene una longitud de 70 cm y un diámetro interno de 1.5 cm.

Después de cargar el PET y el Ni/SiO₂ en el reactor, el horno 2 se calentó hasta llegar a la temperatura de reacción elegida, luego se calentó al horno 1 hasta la misma temperatura del horno 2. Se pasó vapor de agua por todo el sistema durante 45 minutos, el gas empezó a coleccionarse cuando la temperatura del horno 1 fue de 350°C. De esta forma la pirólisis del PET se llevó a cabo en el horno 1 y en el horno 2 se realizó la gasificación catalizada por Ni/SiO₂. El análisis del gas obtenido se realizó por combustión selectiva de H₂ y CO usando una variación del método de análisis elemental de Liebig [13].

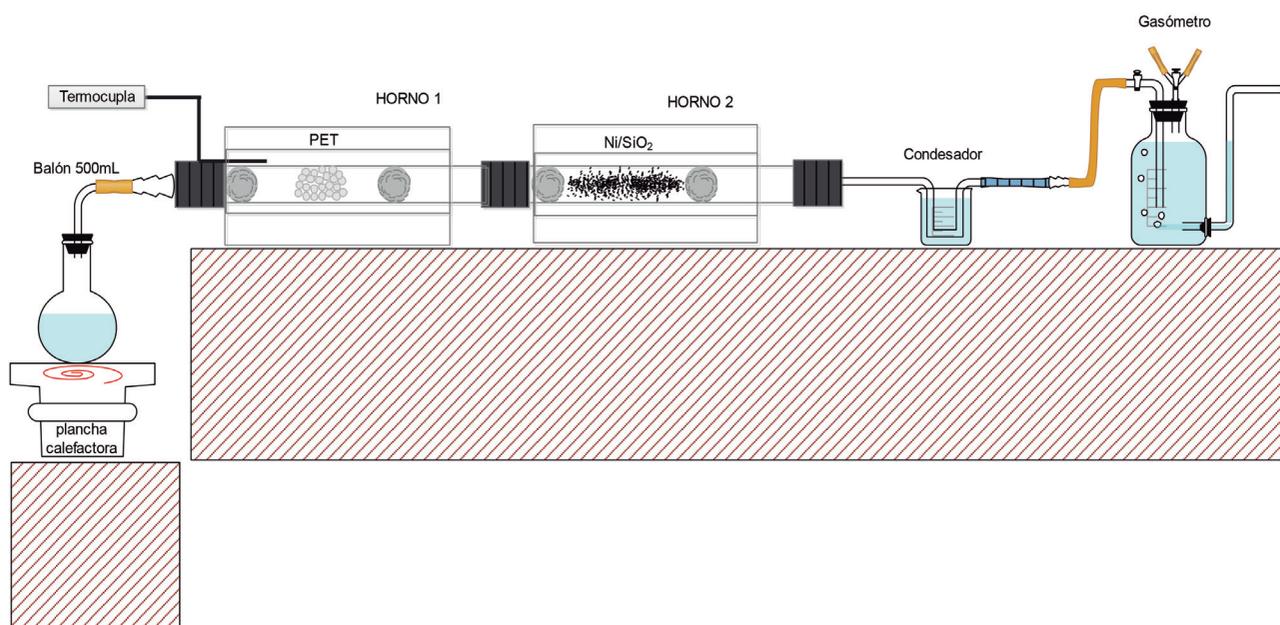
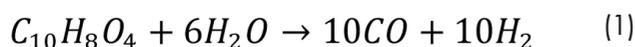


Figura 1. Diagrama del reactor tubular

El rendimiento de producción de hidrógeno y monóxido de carbono fue calculado en base a la siguiente ecuación.



Rendimiento teórico para el hidrógeno:

$$1,0489 \text{ g } H_2/\text{g PET.}$$

Rendimiento teórico para el monóxido de carbono:

$$1,4576 \text{ g CO/g PET}$$

3. Resultados y discusión

3.1 Contenido de hidrógeno y monóxido de carbono

La influencia de la temperatura y el uso de Ni/SiO₂ en el contenido de hidrógeno y monóxido de carbono en el gas obtenido se expresan en la tabla 1. Los resultados muestran que el aumento de temperatura favorece la producción de H₂ y CO, además la presencia de Ni/SiO₂ aumenta drásticamente el contenido de hidrógeno y monóxido de carbono en el gas obtenido. De esta forma el uso del catalizador de Ni/SiO₂ y el aumento de temperatura permitieron obtener hasta un 75% de "syngas" de todo el gas que produce la reacción de gasificación del PET con vapor de agua. Esto sucede cuando la temperatura de reacción es de 1000°C.

Tabla 1. Contenido porcentual de H₂ y CO en el gas obtenido

Temperatura (°C)	Catalizador Ni/SiO ₂	H ₂ (%V/V)	CO (%V/V)	H ₂ + CO (%V/V)	H ₂ /CO Relación molar
600	No	3,69	2,93	6,62	1,26
800	No	15,64	12,39	28,03	1,26
1000	No	32,85	15,19	48,04	2,18
600	Si	31,73	9,04	40,77	3,53
800	Si	42,14	20,18	62,32	2,09
1000	Si	49,30	24,26	73,56	2,05

Las tendencias observadas en la tabla 1 y en las figuras 2 y 3 son consistentes con las reportadas previamente para otros catalizadores de níquel en la gasificación de polipropileno [10], poliestireno, polietileno de alta densidad y sus mezclas [14]. Por otra parte, la relación máxima de hidrógeno y monóxido de carbono que se produce al usar el catalizador de níquel en la reacción a 600°C, muestra que las reacciones de WGS son cinéticamente más

favorables que las reacciones de decarbonilación a bajas temperaturas [15].

3.2 Rendimiento de los productos

El porcentaje de rendimiento en la producción de hidrógeno y monóxido de carbono en cada experimento se obtuvo en base a la ecuación 1. Los resultados se muestran en la figura 2, y en la figura 3, respectivamente.

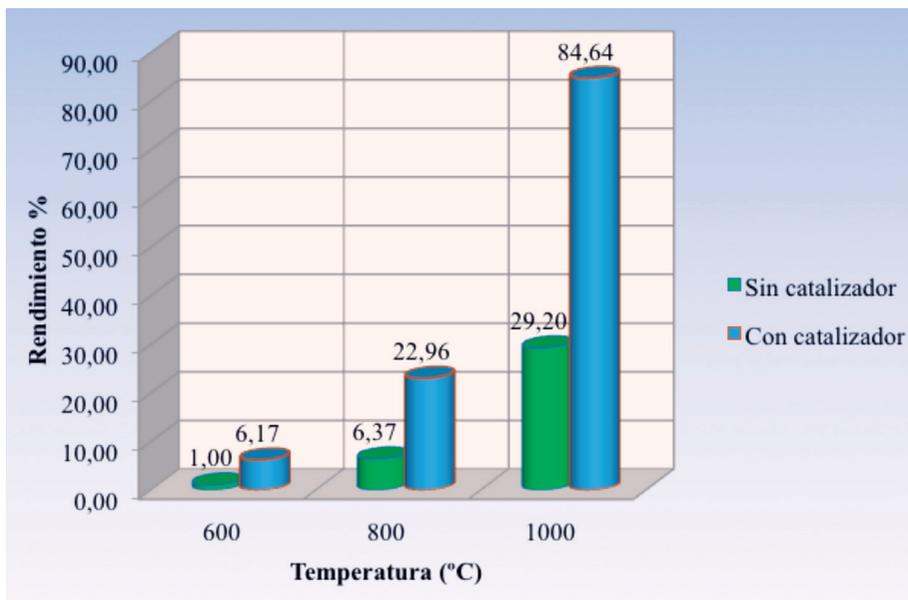


Figura 2. Rendimiento de hidrógeno en la gasificación del PET

El catalizador de Ni/SiO₂ fomenta la producción de hidrógeno con mayor predominio en altas temperaturas de gasificación, obteniendo un rendimiento máximo de 85% a 1000°C.

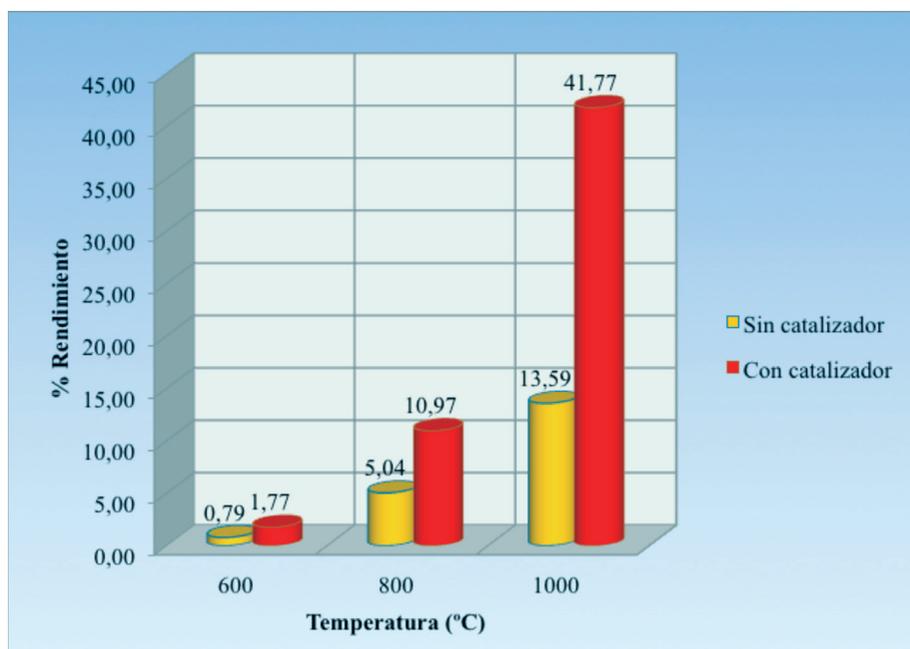


Figura 3. Rendimiento de monóxido de carbono en la gasificación del PET

El catalizador de Ni/SiO₂ fomenta la producción de monóxido de carbono en menor selectividad en comparación al hidrógeno.

El rendimiento del CO al aumentar la temperatura y usar Ni/SiO₂ sigue la misma tendencia reportada para hidrógeno, no obstante en la reacción catalizada

a 1000°C el rendimiento de CO no es tan alto como en el caso del H₂, este comportamiento es consistente con la actividad catalítica del níquel reportada frente a la reacción de WGS [10] [14].

4. Conclusiones

El catalizador de Ni/SiO₂ presenta mayor actividad a temperaturas bajas (600°C) frente a la reacción de WGS, es eficiente a temperaturas altas de trabajo de 1000°C y permite obtener hidrógeno con un rendimiento del 85%, este valor es mayor al reportado por French en 2006 [12] en la gasificación de PET con vapor de agua usando el catalizador comercial C11. NK en un reactor tubular, el máximo rendimiento de

hidrógeno alcanzado por Czernik & French fue 78%. En lo mejor de nuestro conocimiento este valor es el más alto reportado hasta la fecha en procesos de pirólisis y gasificación de PET usando catalizadores de níquel. En síntesis, se ha desarrollado un proceso que permite producir gas de síntesis con un alto contenido de hidrógeno a partir de residuos sólidos de PET.

Agradecimientos

Agradecemos al Laboratorio Químico de la Empresa Biox, a la Presidencia de la República del Ecuador por crear el Programa Prometeo "Viejos Sabios", a la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Central del Ecuador.

Referencias

- [1] P. Mondal, G. S. Dang y M. O. Garg, Syngas production through gasification and cleanup for downstream applications — Recent developments, *Fuel Processing Technology*, vol. 92, n° 8, pp. 1395-1410, 2011.
- [2] S. S. Hla, G. J. Duffy, L. D. Morpeth, A. Cousins, D. G. Roberts, J. H. Edwards y D. Park, «Catalysts for water-gas shift processing of coal-derived syngases», *Asia-Pacific Journal of Chemical Engineering*, vol. 5, n° 4, pp. 585-592, 2010.
- [3] M. Lancaster, «The Syngas Economy», de *Green Chemistry*, Cambridge, The Royal Society of Chemistry, 2002, p. 205 – 206.
- [4] K. Weissermel y H.-J. Arpe, *Industrial Organic Chemistry*, Weinheim: John Wiley & Sons, 2003, pp. 15-26.
- [5] T. Kaneko, F. Derbyshire, E. Makino, D. Gray y M. Tamura, «Coal Licuefaction», de *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*, 4. Auflage ed., vol. 20, Weinheim, Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2011, pp. 1-83.
- [6] P. Kuchonthara, B. Puttasawat, P. Piumsomboon, L. Mekasut y T. Vitidsant, «Catalytic steam reforming of biomass-derived tar for hydrogen production with K₂CO₃/NiO/γ-Al₂O₃ catalyst», *Korean Journal of Chemical Engineering*, vol. 29, n° 11, pp. 1525-1530, 2012.
- [7] S. S. Bharadwaj y L. D. Schmidt, «Catalytic partial oxidation of natural gas to syngas», *Fuel Processing Technology*, vol. 42, n° 2-3, pp. 109-127, 1995.
- [8] M. M. Yung, W. S. Jablonski y K. A. Magrini-Bair, «Review of Catalytic Conditioning of Biomass-Derived Syngas», *Energy & Fuels*, vol. 23, n° 4, pp. 1874-1887, 2009.
- [9] F. Pinto, C. Franco, R. N. André, C. Tavares, M. Dias, I. Gulyurtlu y I. Cabrita, «Effect of experimental conditions on co-gasification of coal, biomass and plastics wastes with air/steam mixtures in a fluidized bed system», *Fuel*, vol. 82, n° 15-17, pp. 1967-1976, 2003.
- [10] C. Wu y P. Williams, «Hydrogen production by steam gasification of polypropylene with various nickel catalysts», *Applied Catalysis B: Environmental*, vol. 87, n° 3-4, pp. 152-161, 2009.
- [11] G. Grause, A. Buekens y Y. Sakata, «Feedstock recycling of waste polymeric material», *Journal of Material Cycles and Waste Management*, vol. 13, n° 4, pp. 265-282, 2011.
- [12] S. Czernik y R. J. French, «Production of Hydrogen from Plastics by Pyrolysis and Catalytic Steam Reform», *Energy & Fuels*, vol. 20, n° 2, pp. 754-758, 2006.
- [13] R. E. Dodd y P. L. Robinson, *Química Inorgánica Experimental: Una guía de trabajo de laboratorio*, Barcelona: Reverté s.a., 1965, pp. 152-173.
- [14] P. Williams y C. Wu, «Pyrolysis-gasification of plastics, mixed plastics and real-world plastic waste with and without Ni-Mg-Al catalyst», *Fuel*, vol. 89, n° 10, pp. 3022-3032, 2010.
- [15] M. L. Ang, U. Oemar, E. T. Saw, L. Mo, Y. Kathiraser, B. H. Chia y S. Kawi, «Highly Active Ni/xNa/CeO₂ Catalyst for the Water-Gas Shift Reaction: Effect of Sodium on Methane Suppression», *ACS Catalysis*, vol. 4, n° 9, pp. 3237-3248, 2014. [15] M. L. Ang, U. Oemar, E. T. Saw, L. Mo, Y. Kathiraser, B. H. Chia y S. Kawi, «Highly Active Ni/xNa/CeO₂ Catalyst for the Water-Gas Shift Reaction: Effect of Sodium on Methane Suppression», *ACS Catalysis*, vol. 4, n° 9, pp. 3237-3248, 2014.

Instrucciones para los autores

La revista **QUÍMICA CENTRAL** publica artículos originales en todos los campos de la química que contengan resultados de investigaciones experimentales, teóricas o aplicadas, que no hayan sido publicados anteriormente ni que estén bajo consideración en otras revistas.

Recepción de manuscritos

Los manuscritos se recibirán solamente por vía electrónica, en formato de Microsoft Office Word u Open Office Writer para Windows, al correo del Consejo Editorial (revista.fcq@uce.edu.ec) con un máximo de 5 MB por archivo. Los manuscritos para ser evaluados no deben haber sido anteriormente publicados en ningún medio físico o electrónico. El manuscrito debe ir acompañado de una carta o un texto de correo electrónico solicitando al Consejo Editorial su publicación e indicando que el mismo no ha sido publicado previamente, ni está siendo evaluado para su publicación en otra revista y que todos los autores que aparecen en el manuscrito conocen y aceptan el contenido del mismo.

Revisión y publicación

Cada manuscrito recibido será sometido a un proceso de evaluación por revisores calificados. La identidad de los revisores es confidencial y sus nombres no serán revelados al autor. La decisión sobre la publicación del manuscrito se notificará por correo electrónico a la persona de contacto junto con el informe de los revisores.

Formato del manuscrito

El manuscrito debe ser redactado en tamaño de papel A4 (21x29.7 cm), márgenes derecho, izquierdo, superior e inferior de 2.0 cm. Todo el texto debe estar escrito a doble espacio y alineado a la izquierda. El tamaño de letra debe ser 12 Times, estilo de fuente normal, usar cursiva para los nombres en latín de organismos vivos. No sangrar la primera línea de cada párrafo luego de punto aparte o de un título. No van espacios en blanco entre los párrafos. Deberá emplearse el Sistema Internacional de Unidades (SI), tanto en el texto, cuanto en las figuras y tablas. No utilizar división automática de palabras para separar sílabas. En lo posible no emplear notas al pie de página. Los subtítulos van numerados en negrita Times 12, alineados a la izquierda. Después del número va punto y espacio, la primera letra con mayúscula. El límite del manuscrito es de 5000 palabras.

Organización del manuscrito

Las secciones del manuscrito son:

- Título
- Nombre(s) del autor(es) y afiliación(es)
- Resumen y palabras claves
- Title
- Abstract y key words
- 1. Introducción
- 2. Parte experimental.
- 3. Resultados y Discusión
- 4. Conclusiones
- Agradecimientos (opcional)
- Referencias

Título

El título debe ser claro, conciso y escogido cuidadosamente para reflejar el contenido del trabajo reportado. No utilizar abreviaturas.

Nombre(s) del autor(es) y afiliación(es)

Para listar los autores del trabajo, poner el primer nombre y el/los apellido(s) de todos los investigadores que han hecho una sus-

tancial contribución al trabajo. El nombre del autor principal irá en primer lugar y al final el nombre del tutor, jefe de laboratorio o director de proyecto. Deben omitirse todos los títulos, ocupaciones y grados académicos como: Prof., Coord., Dr., Lcdo., MSc, PhD. Después de los autores poner la afiliación (nombre y dirección de la institución) de cada uno y con letras superíndices relacionar la afiliación con los autores. Señalar el contacto o a quien va dirigida la correspondencia con un asterisco (*) sobre el apellido y agregar el correo electrónico. Si el autor a quien va dirigida la correspondencia ya no está en la institución donde el trabajo fue realizado, colocar la dirección actual como una nota al pie de página marcada con un asterisco (*).

Resumen

Todos los manuscritos deben tener un resumen del trabajo realizado. Contiene una clara indicación del objetivo, los resultados más importantes y las conclusiones para que los lectores puedan determinar si el texto completo será de su interés. Debe estructurarse en un sólo párrafo, no debe exceder las 200 palabras y no debe incluir ecuaciones ni referencias.

Palabras Claves: Colocar de tres a cinco palabras claves.

Title

Poner el título del manuscrito en inglés.

A continuación colocar la palabra "Abstract." y escribir el contenido del resumen en inglés. Después, escribir "Key words:" y poner las palabras claves en inglés.

Introducción

En la introducción debe indicarse claramente el propósito y los objetivos de la investigación. No debe incluirse una revisión extensa de trabajos previos, solamente una revisión bibliográfica relevante. La introducción no debe extenderse más de dos páginas a doble espacio.

Parte Experimental

El reporte del trabajo experimental debe incluirse en la sección experimental. Esta sección debe presentar una descripción clara y sin ambigüedades de los materiales, métodos y equipos utilizados con suficiente detalle que permita la reproducción del trabajo por otros investigadores. Debe evitarse descripciones repetitivas de un procedimiento general. La sección debe estar dividida en subsecciones. Debe indicarse explícitamente las precauciones de manejo de material peligroso o de procedimientos peligrosos y, en caso de uso de animales, la aprobación correspondiente por el comité ético local.

Resultados y discusión

La función de esta sección es presentar objetivamente los principales resultados y su interpretación en una secuencia lógica. No debe incluirse detalles experimentales y debe redactarse en tiempo pasado. Se recomienda utilizar material ilustrado como tablas y figuras para mostrar los resultados. No debe presentarse el mismo resultado en tablas y en figuras. Debe indicarse el procedimiento estadístico empleado para analizar los resultados y reportar el nivel de significancia utilizado. Debe relacionarse los resultados del artículo con lo encontrado en otros estudios similares.

Conclusiones

Esta sección resume brevemente las principales conclusiones del trabajo y no debe ser un duplicado de la información del resumen (abstract) ni repetir puntos de la discusión. La conclusión debe estar basada en la evidencia presentada.

Agradecimientos (opcional)

Esta sección puede usarse para agradecer discusiones de otros investigadores o asistencia técnica de personas que no son coautores del trabajo. También, puede agradecerse la asistencia económica o donación de reactivos.

Referencias

Deben listarse y enumerarse todas las referencias bibliográficas en el orden que aparecen en el manuscrito. En el texto del manuscrito, la referencia se cita usando números arábigos entre corchetes [1]. No deberá incluirse en la referencia material bibliográfico que no haya sido señalado explícitamente con un número en el texto. Los nombres de revistas deben ir completos y no abreviados. Para el formato de las referencias utilizar el Administrador Automático de Fuentes de Microsoft Office Word, versión 2007 o superior. En el administrador de fuentes seleccionar el estilo APA (American Psychological Association).

Ecuaciones

Las ecuaciones deben estar enumeradas consecutivamente, con el número entre paréntesis (1) y alineado a la derecha.

Estructuras Químicas

Las estructuras químicas deben dibujarse usando cualquier programa para el efecto como: ChemDraw, ISIS/Draw, ChemSketch u otros. Deben utilizarse los parámetros establecidos para publicaciones ACS.

Caracterización de compuestos

Para todos los compuestos nuevos, debe proveerse evidencia que permita establecer su identidad y grado de pureza. La evidencia de la identidad de compuestos nuevos debe incluir espectros de ¹H-RMN, ¹³C-RMN, HRMS o datos de análisis elemental. Para compuestos sintetizados y que han sido previamente reportados en la literatura, debe citarse el método de preparación y los datos de la bibliografía usados para confirmar la identidad del compuesto y debe indicarse las técnicas empleadas para determinar su pureza.

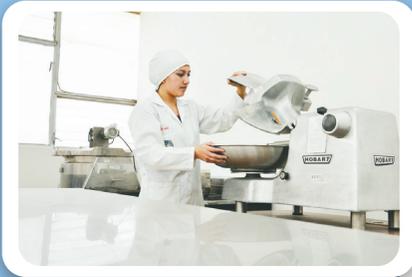
Figuras, esquemas y tablas

Todas las figuras, esquemas y tablas deben mencionarse en el texto en orden consecutivo y numeradas independientemente con números arábigos. Los títulos van en negrita y con mayúscula la primera letra, después del número va punto (Tabla 1.). Luego, sin negrita, la descripción de la figura, esquema o tabla. Las descripciones deben ir justificadas, por debajo de las figuras y esquemas y por encima de las tablas. Los títulos y descripciones deben ser auto-comprensibles, es decir, que expliquen adecuadamente lo que representan. Las figuras, esquemas y tablas se intercalarán en el texto después de su primera mención. Las figuras pueden ser gráficos realizados en Microsoft Office Word, Excel o similares o fotografías en blanco y negro o a color digitalizadas en alta resolución (300 dpi). Los esquemas son las secuencias de una reacción y se realizarán usando cualquier programa para dibujar estructuras químicas (ver Estructuras Químicas). Las Tablas estarán en formato de Word o similar y no insertadas como imagen. Para las Tablas utilizar sólo bordes horizontales (superior, inferior y títulos). Diseñar las tablas, esquemas y figuras para que se ajusten al ancho de una (aprox. 8 cm) o dos (aprox. 17 cm) columnas de la revista y comprobar que las leyendas sean legibles.

Bibliografía Recomendada:

- Anderson, G. (2004). How to write a paper in scientific journal style and format. Recuperado el 15 de enero de 2010, de sitio Web de Bates College: <http://abacus.bates.edu/~ganderso/biology/resources/writing/HTWtoc.html>
- Coghill, A. M., & Garson, L. R. (Edits.). (2006). The ACS Style Guide: Effective Communication of Scientific Information (Third ed.). New York: Oxford University Press.
- Day, R. A. (2005). Cómo escribir y publicar trabajos científicos (Tercera ed., Vol. 598). (M. Sáenz, Trad.) Washington, DC: Organización Panamericana de la Salud.

CARRERAS



Química de Alimentos



Química



Química Farmacéutica



Bioquímica Clínica



SERVICIOS



Laboratorio de Alimentos OSP



Laboratorio de Química Ambiental OSP



Laboratorio Clínico y Bacteriológico



Laboratorio Microbiológico OSP



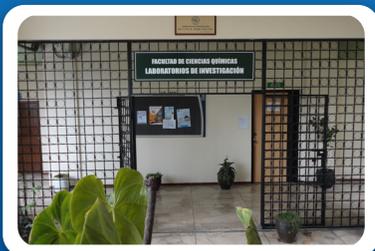
**CENTRO DE INFORMACIÓN DE
MEDICAMENTOS Y TÓXICOS**



Museo de Historia Natural



Instituto de Investigación y Postgrado



*Laboratorios de Investigación
Luis Romo Salto*