

Modelo preliminar para la difusión de aditivos en alimentos

Jimena Dima¹ Mariano Ferrari² Martina Fiedorowicz Kowal²
Iván Mandelman¹

¹BIOMAR, FI-UNPSJB, UTNFRCH, Puerto Madryn, Argentina,

²CESIMAR, FI-UNPSJB, Puerto Madryn, Argentina.

22/09/2022

Un poco de contexto

El langostino patagónico (*P. muelleri*) es uno de los recursos pesqueros más importantes de nuestro país. Durante su procesamiento, los langostinos son sumergidos en una solución metabisulfito de sodio (MB), para prevenir la aparición de manchas negras (melanosis).

Un poco de contexto

El langostino patagónico (*P. muelleri*) es uno de los recursos pesqueros más importantes de nuestro país. Durante su procesamiento, los langostinos son sumergidos en una solución metabisulfito de sodio (MB), para prevenir la aparición de manchas negras (melanosis).

Este aditivo presenta grados de toxicidad con consecuencias en la salud humana, por lo que su uso en exceso limita las exportaciones.

Un poco de contexto

El langostino patagónico (*P. muelleri*) es uno de los recursos pesqueros más importantes de nuestro país. Durante su procesamiento, los langostinos son sumergidos en una solución metabisulfito de sodio (MB), para prevenir la aparición de manchas negras (melanosis).

Este aditivo presenta grados de toxicidad con consecuencias en la salud humana, por lo que su uso en exceso limita las exportaciones.

Biopolímeros naturales no tóxicos, como el quitosano (QS), poseen propiedades antibacterianas y antipardeantes y se podrían aprovechar como soluciones soporte y disminuir parcialmente los aditivos sintéticos.

Determinar la factibilidad del uso de diferentes soluciones conteniendo MB presenta el desafío de estudiar un fenómeno de transferencia de materia, ya que implica el estudio de la difusión que se produce del soporte conteniendo el aditivo (MB disuelto en QS o agua) hacia el alimento que recubre.

Determinar la factibilidad del uso de diferentes soluciones conteniendo MB presenta el desafío de estudiar un fenómeno de transferencia de materia, ya que implica el estudio de la difusión que se produce del soporte conteniendo el aditivo (MB disuelto en QS o agua) hacia el alimento que recubre.

Objetivo

El objetivo de este trabajo es modelar matemáticamente el proceso de difusión de un aditivo disuelto en una solución hacia el langostino.

Reducción de dimensiones

Para simplificar el problema lo reducimos a sólo una dimensión en el espacio de la siguiente manera, asumiremos:

- ▶ El langostino tiene forma cilíndrica (Figura 1) y en las bases de este cilindro no hay flujo.
- ▶ El langostino es homogéneo en el sentido de que el flujo lo atraviesa de la misma manera en cada punto.



Figura: Claramente un langostino.

De coordenadas cartesianas al radio

Si suponemos que la sumersión se realiza instantáneamente, el flujo será equivalente al pasar por toda una capa de un mismo radio, es decir, que con sólo determinar el radio alcanza para conocer la evolución en todo el langostino. Por lo tanto consideraremos encontrar una función $c = c(r, t)$ que representa la concentración del aditivo, donde r representa el radio desde el centro del langostino.

El modelo más simple

Asumimos que sólo se está llevando a cabo un proceso simple de difusión, por lo que utilizamos la ecuación de difusión (o calor):

$$\begin{cases} \frac{\partial c}{\partial t} = D \frac{\partial^2 c}{\partial r^2}, & r \in (0, R], \\ c(r, 0) = c_0, \\ c(R, t) = c_B(t). \end{cases}$$

donde D es el coeficiente de difusión, R el radio del langostino, c_0 es la concentración de aditivo inicial y c_B es la concentración de aditivo en la frontera (que vendrá dada por la concentración en la solución).

El modelo más simple

Asumimos que sólo se está llevando a cabo un proceso simple de difusión, por lo que utilizamos la ecuación de difusión (o calor):

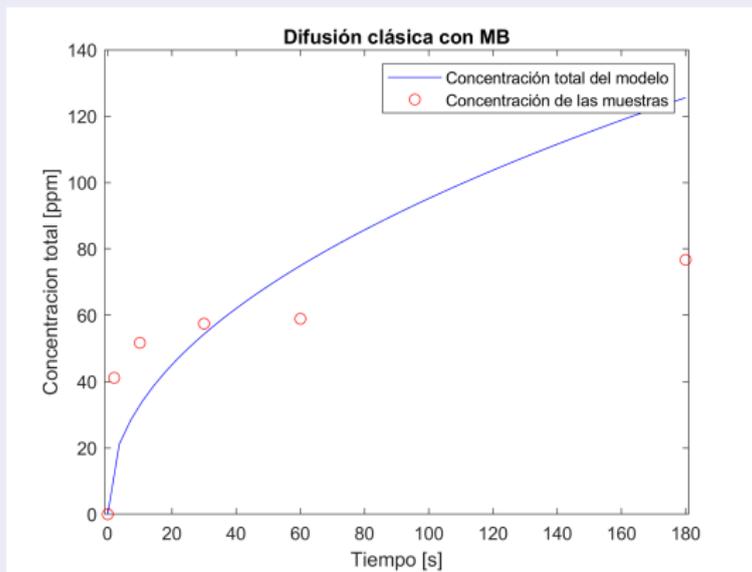
$$\begin{cases} \frac{\partial c}{\partial t} = D \frac{\partial^2 c}{\partial r^2}, & r \in (0, R], \\ c(r, 0) = c_0, \\ c(R, t) = c_B(t). \end{cases}$$

donde D es el coeficiente de difusión, R el radio del langostino, c_0 es la concentración de aditivo inicial y c_B es la concentración de aditivo en la frontera (que vendrá dada por la concentración en la solución).

Tristeza não tem fim

El modelo no logra validarse con datos experimentales, como puede observarse en la siguiente figura.

Gráfico de la concentración total del modelo y las muestras en función del tiempo



¿En qué falla el modelo?

El modelo básico de difusión no toma en cuenta que la difusión se realiza desde un líquido hacia un sólido, ni que de alguna manera el máximo de concentración que puede alcanzar es menor que el valor de concentración de la solución (en la frontera).

¿En qué falla el modelo?

El modelo básico de difusión no toma en cuenta que la difusión se realiza desde un líquido hacia un sólido, ni que de alguna manera el máximo de concentración que puede alcanzar es menor que el valor de concentración de la solución (en la frontera).

Es necesario plantear un nuevo modelo que tenga en cuenta las consideraciones previas.

Interfase

Consideremos la frontera del langostino como una interfase, donde una vez atravesada, ocurre un proceso común de difusión como el del primer modelo.

En esta interfase consideramos los procesos de convección y difusión dados por [1]:

Interfase

Consideremos la frontera del langostino como una interfase, donde una vez atravesada, ocurre un proceso común de difusión como el del primer modelo.

En esta interfase consideramos los procesos de convección y difusión dados por [1]:

Convección

$$k_c \left(\frac{c_l}{K} - c \right),$$

donde c es la concentración de aditivo en el langostino y c_l es la concentración de aditivo en el medio (tomada constante), k_c es el coeficiente convectivo de transferencia de masa y K el coeficiente de equilibrio (relacionado con la máxima de concentración de aditivo en el langostino).

Difusión

$$-D \frac{\partial c}{\partial r},$$

donde D es la constante de difusión efectiva del aditivo en el langostino.

Difusión

$$-D \frac{\partial c}{\partial r},$$

donde D es la constante de difusión efectiva del aditivo en el langostino.

Ecuación final

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial c}{\partial t} = k_c \left(\frac{c_l}{K} - c \right) - D \frac{\partial c}{\partial r}, \quad r = R, t \in (0, \infty), \\ \frac{\partial c}{\partial t} = D \frac{\partial^2 c}{\partial r^2}, \quad r \in (0, R), t \in (0, \infty), \\ c = c_0, \quad r \in (0, R), t = 0. \end{array} \right. \quad (1)$$

Discretización y diferencias finitas

Discretizaremos el tiempo en T pasos equiespaciados a distancia Δt , y el radio lo discretizaremos en N anillos también “equiespaciados” a distancia h .

Resolvemos las ecuaciones utilizando diferencias finitas y un esquema implícito para el tiempo.

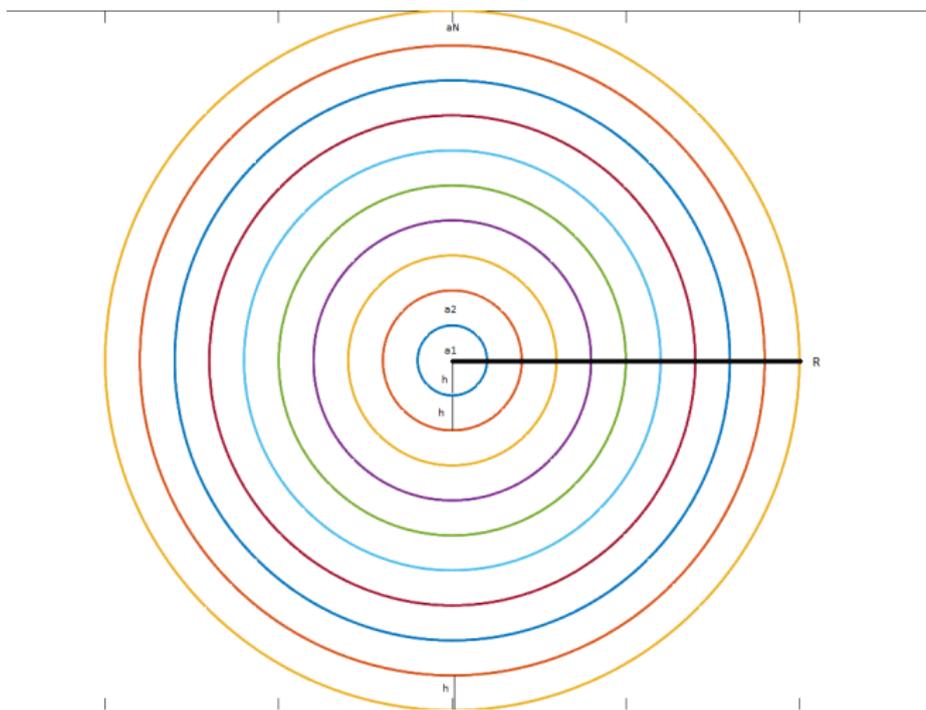


Figura: Discretización de una capa transversal del langostino por anillos.

Parámetros numéricos

- ▶ $N = 500$,
- ▶ $T = 180 \text{ s}$ (tiempo necesario para cubrir los datos experimentales),
- ▶ $\Delta t = 0,36 \text{ s}$,
- ▶ $h = \Delta r = 0,0015 \text{ cm}$,
- ▶ $k_c = 10 \text{ cm/s}$.

Datos experimentales

- ▶ $R = 0,75 \text{ cm}$,
- ▶ $c(r, 0) = 0 \text{ ppm}$,
- ▶ Concentración del fluido: $2500 \text{ ppm}(mg/L)$ para todo tiempo.

Gráfico de la concentración total del modelo y las muestras en función del tiempo

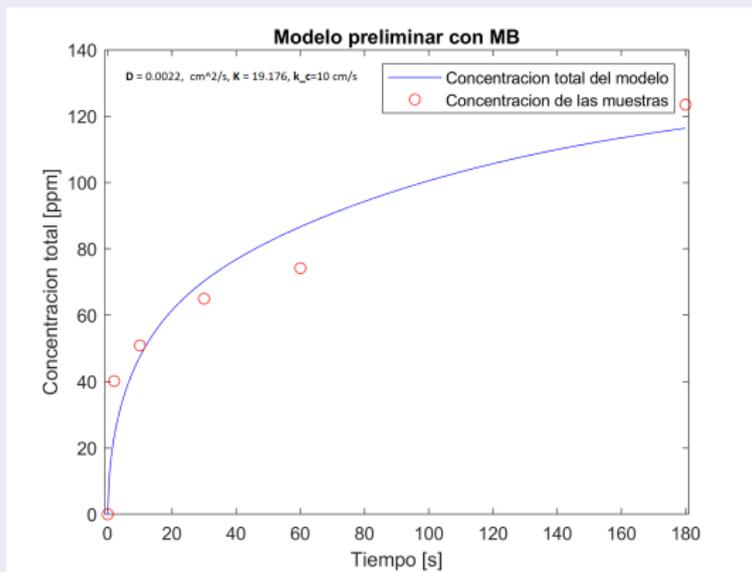
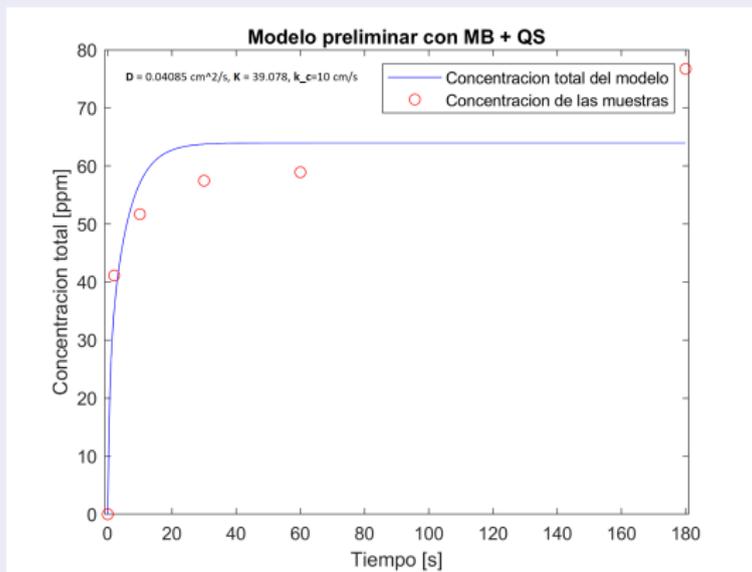
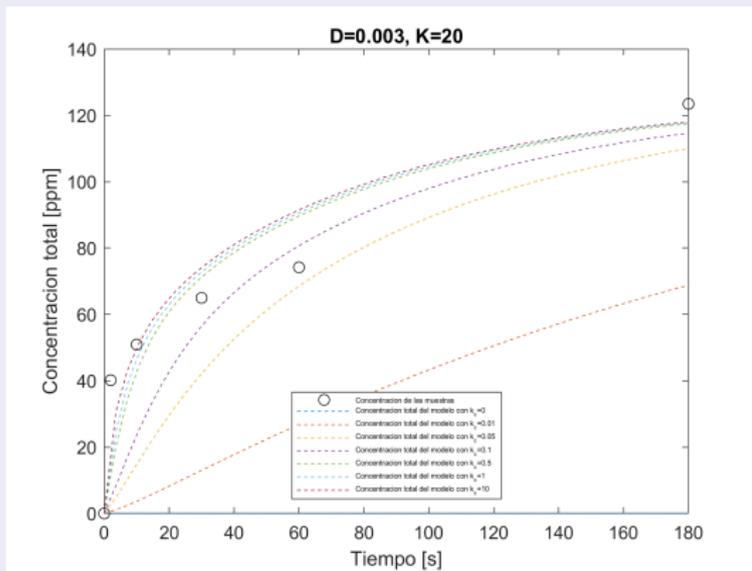
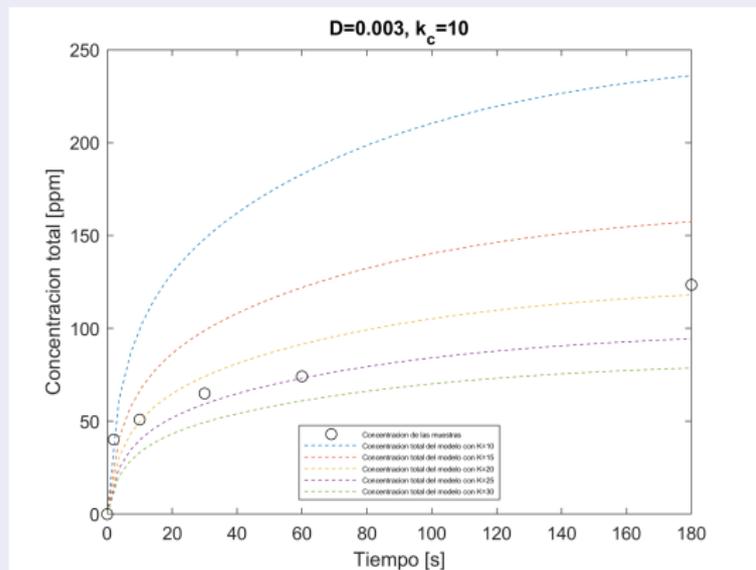


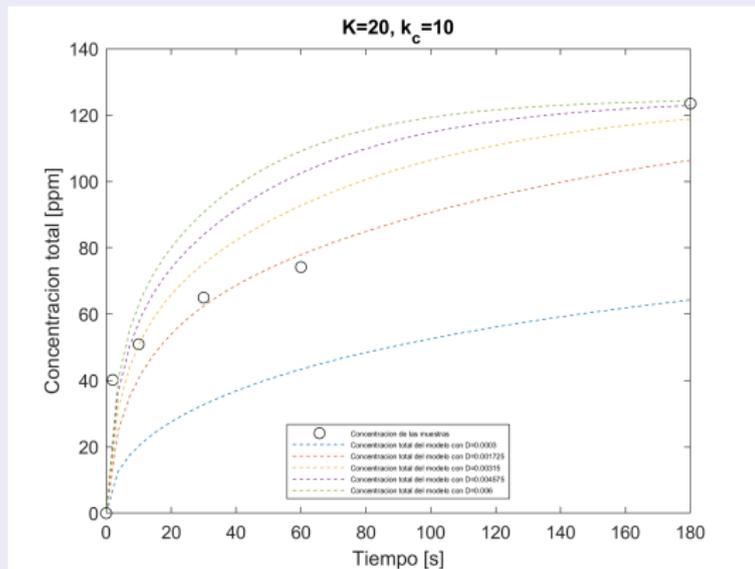
Gráfico de la concentración total del modelo y las muestras en función del tiempo



Variando k_c



Variando K 

Variando D 

Tristeza tem fim

El modelo preliminar resulta una buena aproximación de los experimentos.

Tristeza tem fim

El modelo preliminar resulta una buena aproximación de los experimentos.

Trabajo futuro

- ▶ Mejorar el ajuste de los parámetros D y K con datos de nuevos experimentos.
- ▶ Testear el modelo con langostinos con cáscara y observar el comportamiento del coeficiente convectivo k_c .

Referencias



Geankoplis, Christie John. *Procesos de transporte y principios de procesos de separación*. México, Editorial Continental, 2006.

Muchas gracias!!!