

MODELO DE MEDIO EFECTIVO DE MECÁNICA DE FLUIDOS EN HIFAS FÚNGICAS

Jessica Sánchez-Vargas¹, Francisco J. Valdés-Parada², Mauricio A. Trujillo-Roldán¹

¹Departamento de Biología Molecular y Biotecnología, Instituto de Investigaciones Biomédicas, Universidad Nacional Autónoma de México, CDMX, 04510, Mexico. ²División de Ciencias Básicas e Ingeniería, Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, CDMX, 09340, Mexico.

jessica.sanchezvarg@gmail.com, maurotru@ibiomedicas.unam.mx

Palabras clave: modelado matemático, Darcy, hifas

Introducción. En la literatura existen pocos acercamientos de modelado sobre el transporte que tiene lugar durante el cultivo de hifas. Los reportes en la literatura se han centrado en describir el crecimiento y ramificación de hifas por múltiples enfoques (1,2). Sin embargo, poco se ha reportado en cuestión de mecánica de fluidos. A pesar de que con métodos como el promedio volumétrico u homogenización (con los cuales se deducen modelos de medio efectivo donde el sistema se ve como un pseudo-continuo) existen numerosos trabajos acerca del modelado de mecánica de fluidos en sistemas biológicos, no se ha deducido alguno para el transporte en hifas. Esto es importante porque la mecánica de fluidos funge como base para describir el transporte de especies químicas de interés industrial o en investigación. El objetivo del trabajo es deducir modelos matemáticos de mecánica de fluidos capaces de predecir la velocidad del fluido intra y extracelular de hifas creciendo en medio de cultivo líquido.

Metodología. Para la deducción del modelo matemático se partió de ecuaciones en la microescala para mecánica de fluidos tanto en las hifas como en el medio de cultivo y en la frontera entre ambos. Estas ecuaciones se escalaron mediante el método del promedio volumétrico (3) a fin de obtener ecuaciones promedio capaces de describir el transporte en una región representativa de un pellet que contuviera hifas y medio de cultivo. Se utilizó microscopía óptica, de fluorescencia y electrónica para producir una geometría 3D de las hifas creciendo en medio líquido. Finalmente, se resolvieron los modelos promedio en la geometría 3D en el software Comsol Multiphysics y se validaron con simulaciones numéricas directas.

Resultados. El modelo de medio efectivo para mecánica de fluidos puede expresarse como sigue:

$$\langle \nabla \alpha \rangle_\alpha = -\frac{H_{\alpha\alpha}}{\mu_{ref\alpha}} \cdot (\nabla \langle p_\alpha \rangle^\alpha - \rho_\alpha \mathbf{b}_\alpha) - \frac{H_{\alpha\kappa}}{\mu_{ref\kappa}} \cdot (\nabla \langle p_\kappa \rangle^\kappa - \rho_\kappa \mathbf{b}_\kappa) + \frac{1}{\mu_{ref\alpha} V} \int_{\partial\beta\gamma} (2\gamma H \mathbf{n}_{\beta\gamma} + \nabla_s \gamma) \cdot \mathbf{D}_{\alpha\alpha} dA + \frac{\rho_\gamma - \rho_\beta}{\mu_{ref\alpha} V} \int_{\partial\beta\gamma} \mathbf{n}_{\beta\gamma} \cdot \mathbf{w} \mathbf{w} \cdot \mathbf{D}_{\alpha\alpha} dA$$

donde el subíndice alfa representa ya sea a la hifa o al medio de cultivo. Este modelo cuenta con dos términos

de tipo Darcy que representan la resistencia viscosa en la fase en cuestión y debido al acoplamiento entre las dos fases fluidas. También está presente una contribución de los efectos interfaciales, que se explica por los dos últimos términos.

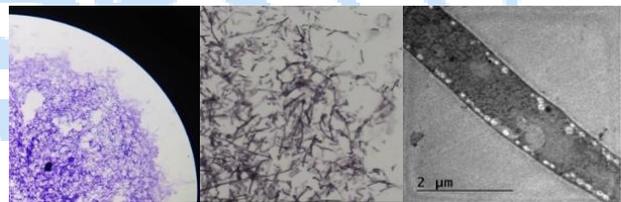


Fig. 1. Caracterización, por medio de microscopía de la estructura de las hifas a partir de un cultivo en medio líquido de *L. trichodermophora*.

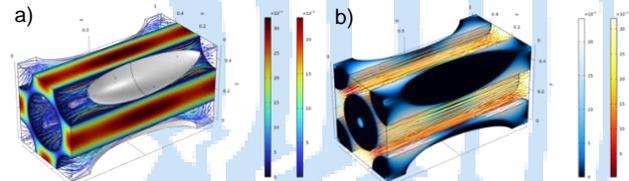


Fig. 2. Simulaciones numéricas para la velocidad del fluido a) dentro y b) fuera de las hifas en una región representativa de un pellet.

El modelo matemático presentó excelente grado de concordancia con las simulaciones numéricas directas, quedando así validado. Se evaluó la influencia de la fracción volumétrica de hifas y la reología de los fluidos implicados sobre la predicción de la velocidad dentro y fuera de las hifas en zonas homogéneas de un pellet.

Conclusiones. Los modelos matemáticos deducidos permitieron predecir el flujo de los fluidos en hifas y medio de cultivo, haciendo posible la evaluación de distintos grados de libertad de interés.

Agradecimiento. CONACyT beca No. 802319. Posgrado en Ciencias Bioquímicas, UNAM. DGAPA-PAPIIT CV201220 y IN211422. **Bibliografía.**

1. Yang, H., Reichl, U., King, R., Gilles, E.D. (1992b). Measurement and simulation of the morphological development of filamentous microorganisms. *Biotechnology and Bioengineering* 39, 44–48.
2. King, R. (2015). A framework for an organelle-based mathematical modeling of hyphae. *Fungal Biology and Biotechnology* 2.
3. Whitaker, S. (1999). *The Method of Volume Averaging*. Springer Netherlands, Dordrecht.