

# MODELIZACIÓN DE LA BIOCONCENTRACIÓN DE PLAGUICIDA EN FRUTALES

LOURIVAL COSTA PARAÍBA<sup>1</sup>  
BEATRIZ RICARTE<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Matemático, Pesquisador Dr., Embrapa Meio Ambiente, Cx. 69, 13820-000, Jaguariúna - SP, Brasil. E-mail: lourival@cnpma.embrapa.br  
<sup>2</sup>Agrónomo, Profesora Dra, Instituto de Matemática Multidisciplinar, E.T.S.I. Agrónomos, Universidad Politécnica de Valencia, España.

Apresentado no  
XXXVI Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola  
30 de julho a 02 de agosto de 2007 – Bonito - MS

**RESUMEN:** El modelo que se presenta permite simular la evolución de la concentración de un plaguicida en árboles frutales así como estimar su factor de bioconcentración (BCF) en los frutos, su absorción por las plantas a través de la corriente transpiratoria y el tiempo en que su concentración en los frutos será máxima. La robustez del modelo se evaluó mediante un análisis de sensibilidad de los valores BCF del plaguicida en los frutos con respecto a la variabilidad de los datos.

**PALABRAS-CLAVE:** pesticida, *Mangifera indica*, paclobutrazol, PBZ, modelo matemático

**ABSTRACT:** The model presented allows simulating the pesticide concentration evolution in fruit trees and estimating the pesticide bioconcentration. The model allows estimating the pesticide uptake by plants through the water transpiration stream and also the time in which maximum pesticide concentration occur in the fruits. The model fitness was evaluated through the sensitivity analysis of the pesticide BCF values in fruits with respect to the model entry data variability.

**KEYWORDS:** pesticide, *Mangifera indica*, paclobutrazol, PBZ, mathematical model

**INTRODUCCIÓN:** En general, el cultivo de árboles frutales incluye el uso de plaguicidas. Estos compuestos pueden ser absorbidos por las plantas desde la solución del suelo a través de la corriente transpiratoria. Los modelos matemáticos podrían ayudar a prevenir la acumulación de estas sustancias en los frutos. En la literatura encontramos varios modelos diseñados para simular la absorción de sustancias por las plantas (FUJISAWA et al., 2002; TRAPP & MATTHIES, 1998; TRAPP et al., 1995; TRAPP et al., 2003; PARAÍBA et al., 2006; PARAÍBA, 2007). Se define la bioconcentración de una sustancia como el aumento de su concentración dentro y/o en la superficie de un organismo (o en tejidos específicos) en relación a la concentración en el medio exterior. En este trabajo se modeliza la bioconcentración de un plaguicida en árboles frutales, estimando el valor de su factor de bioconcentración (BCF). Los plaguicidas considerados en este estudio son compuestos orgánicos no iónicos degradables en el suelo.

**MATERIAL Y METODOS: Modelo matemático:** El modelo parte del denominado Fruit Tree Model (FTM) (TRAPP et al., 2003) añadiendo la hipótesis de que el plaguicida se degrada en el suelo siguiendo una ecuación cinética de primer orden (FTM-p). El modelo FTM se desarrolló para estimar el BCF en frutos de compuestos orgánicos no iónicos suponiendo constantes sus concentraciones en el suelo. En ellos se considera que el transporte del compuesto desde el suelo al fruto se produce vía xilema/floema de la planta, mientras que el intercambio aire/plaguicida por difusión vía xilema/floema, corteza y frutos se considera despreciable. Se trata por tanto de un transporte pasivo que depende de la corriente transpiratoria. El modelo FTM-p supone que los procesos de dilución del plaguicida debido al crecimiento de la planta, metabolismo en la planta y degradación en el suelo se describen con ecuaciones cinéticas de primer orden. Los dos modelos se aplican para árboles frutales perennes. Bajo estas condiciones, el BCF del plaguicida en los frutos ( $l\ kg^{-1}$ ) se estima, suponiendo un estado de equilibrio estable del cociente entre su concentración en los frutos ( $C_f(t)$ ) y su concentración en la solución del suelo ( $C_w(t)$ ), por:

$$BCF = \lim_{t \rightarrow \infty} \frac{C_F(t)}{C_W(t)} \quad (1)$$

La evolución de la concentración del plaguicida en el fruto ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) se puede obtener mediante:

$$C_F(t) = \frac{AQ_{Ph}C_W^0}{K_{TW}(B - k_S)} [\exp(-k_S t) - \exp(-Bt)] \quad (2)$$

siendo  $Q_{Ph}$  ( $\text{l kg}^{-1}$ ) el volumen de flujo de agua en el floema necesario para producir 1,0 kg de fruto fresco (TRAPP et al., 2003),  $C_W^0$  la concentración inicial de plaguicida en la solución del suelo ( $\text{mg l}^{-1}$ ),  $K_{TW}$  ( $\text{l kg}^{-1}$ ) el coeficiente de reparto tronco-agua del plaguicida,  $k_S$  ( $\text{día}^{-1}$ ) la tasa de disipación diaria del plaguicida en el suelo y donde las constantes  $A$  (tasa de absorción del plaguicida por la planta,  $\text{mg}^{-1} \text{ día}^{-1}$ ) y  $B$  (tasa de disipación del plaguicida en la planta,  $\text{día}^{-1}$ ) vienen dadas por:  $A = \frac{Q \text{ TSCF}}{M}$  y  $B = (k_E + k_G) + \frac{Q}{MK_{TW}}$ , con  $Q$  ( $\text{l día}^{-1}$ ) el volumen de agua transpirado por la

planta,  $\text{TSCF}$  el factor de concentración del plaguicida en la corriente transpiratoria,  $M$  ( $\text{kg}^{-1}$ ) la biomasa seca del tronco,  $k_E$  ( $\text{día}^{-1}$ ) la tasa de transformación del plaguicida en el tronco y  $k_G$  ( $\text{día}^{-1}$ ) la tasa de crecimiento diario de la planta. La concentración de plaguicida en la solución del suelo ( $\text{mg l}^{-1}$ ) viene dada por:

$$C_W(t) = C_W^0 \exp(-k_S t) \quad (3)$$

Para calcular el límite (1) se supone que  $k_S < B$ , y se obtiene:

$$BCF = \frac{AQ_{Ph}}{K_{TW}(B - k_S)} = \frac{QQ_{Ph} \text{ TSCF}}{Q + k_{EGS} K_{TW} M} \quad (4)$$

donde  $k_{EGS} = k_E + k_G - k_S$  ( $\text{día}^{-1}$ ) es la tasa de disipación del plaguicida en el sistema suelo-planta. Permite estimar la vida media de la disipación como  $t_{1/2} = \ln(2,0)/k_{EGS}$  (día). Por otro lado, maximizando (2) se calcula el tiempo necesario para que la concentración de plaguicida en el fruto sea

máxima así como su valor:  $t_F^{\text{Max}} = \frac{\ln(B) - \ln(k_S)}{B - k_S}$  y  $C_F^{\text{Max}} = C_F(t_F^{\text{Max}})$ .

**RESULTADOS Y DISCURSIÓN: Simulación numérica:** Para ilustrar la utilidad del modelo FTM-p se ha seleccionado el plaguicida paclobutrazol (PBZ) en un cultivo hipotético de mango. En la FIGURA 1 se muestra la evolución de la concentración de PBZ dada por el modelo. Inicialmente, la concentración en el fruto es nula, aumentando hasta alcanzar un máximo para luego disminuir con el tiempo. Esta tendencia es consecuencia del modelo cinético de primer orden supuesto para la degradación del plaguicida en el suelo, a su tasa de absorción por la planta y a su tasa de disipación en la planta. Pasados 27 días de la aplicación de PBZ al suelo, su concentración en los frutos es máxima con un valor de  $0,11 \text{ mg kg}^{-1}$ . La evolución del BCF en el fruto se muestra en la FIGURA 2. Se observa que este cociente inicialmente es cero aumentando siguiendo una curva exponencial limitada en la parte superior por una asíntota paralela al eje tiempo de valor  $1,87 \text{ l kg}^{-1}$ . Este estado de equilibrio es el valor BCF que se considera para el PBZ en mango. Este patrón de evolución es debido a que el modelo FTM-p ignora los procesos de transformación del plaguicida en el fruto.

**Análisis de sensibilidad del modelo FTM-p:** Este análisis se llevó a cabo con los datos del PBZ en mango. El diagrama de barras de la Figura 3 muestra la variabilidad en el valor BCF en los frutos de mango en función del análisis de sensibilidad conjunto de la biomasa seca ( $M$ ) y la tasa de transpiración ( $Q$ ) del mango. Se observa que la variabilidad conjunta de estas variables no influye significativamente en el cálculo del valor BCF en el intervalo de tasa de transpiración que normalmente se tiene en plantaciones adultas de mango, unos  $22.000,00 \text{ l día}^{-1}$ , así como en los valores de biomasa seca, unos  $6.000,00 \text{ kg}$ , ambos en uno hectárea de pomar. El coeficiente de reparto octanol-agua ( $k_{OW}$ ) influye en varios parámetros del plaguicida como  $\text{TSCF}$  y  $K_{TW}$ . El diagrama de barras de la FIGURA 4 muestra la variabilidad en el valor en los frutos de mango en función del análisis de sensibilidad conjunto del coeficiente de reparto octanol-agua ( $\log(k_{OW})$ ) y la tasa de disipación en el sistema suelo-planta del plaguicida. No se observa una influencia significativa para plaguicidas con  $\log(k_{OW}) < 1,0$  y  $\log(k_{OW}) > 3,5$ . Sin embargo, la variabilidad de  $k_{EGS}$  sí influye

significativamente en el BCF para plaguicidas con  $1,0 \leq \log(k_{ow}) \leq 3,5$ . El transporte de plaguicida óptimo desde el suelo a los frutos tiene lugar con  $\log(k_{ow}) \approx 2,2$ .

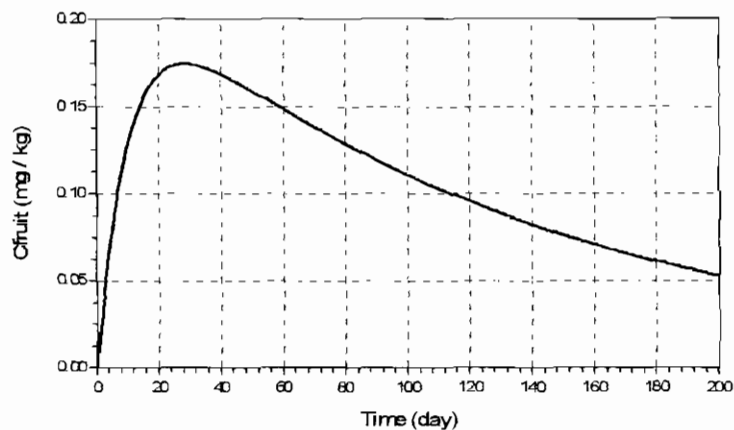


FIGURA 1. Simulación con el modelo FTM-p de la concentración de paclobutrazol en plantas de mangos.

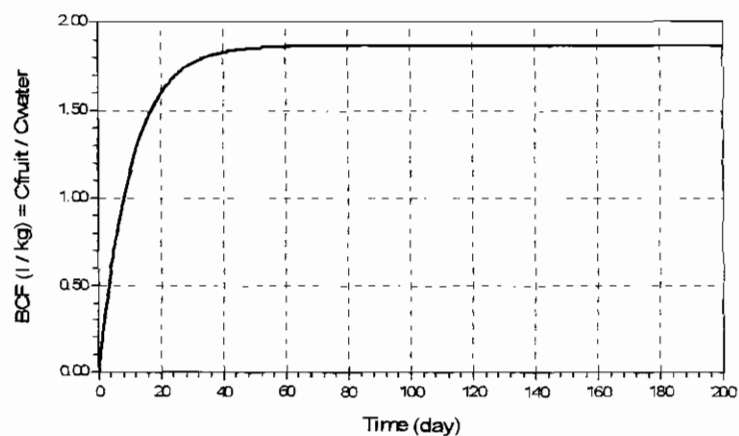


FIGURA 2. Simulación con el modelo FTM-p del BCF de paclobutrazol en plantas de mangos.

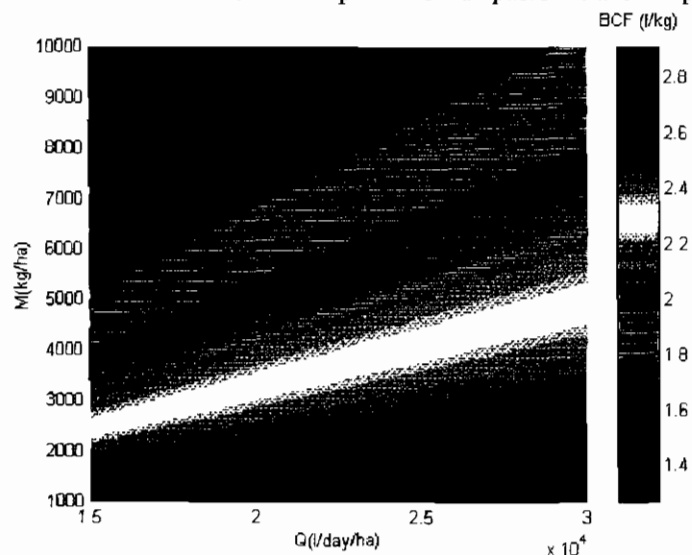


FIGURA 3. Influencia de M y Q de plantas de mangos en el cálculo del BCF de paclobutrazol simulado por el modelo FTM-p.

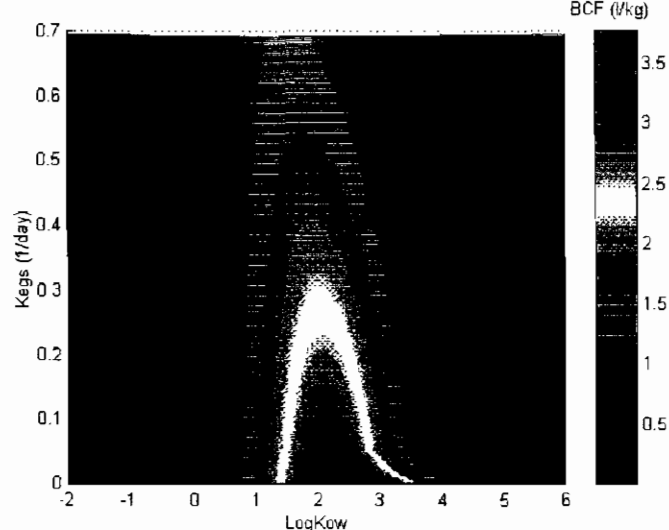


FIGURA 4. Influencia de  $\log K_{OW}$  y  $k_{EGS}$  en el claculo del BCF de paclobutrazol simulado por el modelo FTM-p.

**CONCLUSIONES:** El modelo FTM-p permite estimar el valor BCF de un plaguicida en frutos de árboles frutales perennes, mostrando que no depende de la concentración del plaguicida en el suelo ni en el fruto fresco sino de sus características fisico-químicas ( $k_{OW}$ ,  $k_{EGS}$ ) y de los parámetros fisiológicos de la planta ( $M$ ,  $Q$ ).

**AGRADECIMIENTOS:** Trabajo financiado por el proyecto brasileño EMBRAPA/PRODETAB y los españoles DGI AGL2004-03263/AGR y el proyecto de incentivación de la investigación de la Universidad Politécnica de Valencia. Agradecimientos para el Prof. Dr. J M. Carrasco del Departamento de Biotecnología de la Universidad Politécnica de Valencia por su colaboración.

#### REFERENCIAS

- FUJISAWA, T.; ICHISE, K.; FUKUSHIMA, M.; KATAGI, T.; TAKIMOTO, Y. Improved uptake models of nonionized pesticides to foliage and seed of crops. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v.50, n.3, p.532-537, 2002.
- PARAÍBA, L.C. Pesticide bioconcentration modelling for fruit trees. *Chemosphere*, v.66, p.1468-1475, 2007.
- PARAÍBA, L.C.; BOEIRA, R.C.; JONSSON, C.M.; CARRASCO, J.M. Fator de bioconcentração de poluentes orgânicos de lodos em frutas de laranjeiras. *Pesticidas: Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente*, v.16, p.125-134, 2006.
- TRAPP, S.; MATTHIES, M. *Chemodynamics and environmental modelling*. Heidelberg: Springer, 1998.
- TRAPP, S.; MCFARLANE, J.C. *Plant contamination: modelling and simulation of organic chemical processes*. Boca Raton: CRC Press, 1995.
- TRAPP, S.; RASMUSSEN, D.; SAMSØE-PETERSEN, L. Fruit tree model for uptake of organic compounds from soil. *Sar and Qsar in Environmental Research*, v.14, n.1, p.17-26, 2003.