

Introducción

En esta contribución han sido abordados diferentes modelos agregados para el estudio de descargas de acuíferos, incluyendo un modelo de tipo no lineal propuesto por el autor. Con el objetivo de estimar los parámetros involucrados, cada modelo ha sido acoplado con el algoritmo de búsqueda global Cuckoo Search (CS), el cual genera la aproximación inicial el algoritmo de búsqueda local FMINCON de MatLab.

Modelos abordados

■ Iglesias $Q_{i+1} = (m P_{u_i}^n - W_i) \alpha + Q_i e^{-\alpha \Delta t_i}$

Nota: Esta formulación es la base conceptual del modelo MEDA del IGME, España

■ Tisson, Werner y Dunsquilt $Q_{i+1} = (m P_{u_i}^n - W_i) \alpha + \frac{Q_i}{(1 + \alpha \Delta t_i)^2}$

■ Forkasiewicz y Paloc $Q_{i+1} = \frac{Q_i}{\sqrt{1 + \beta Q_i^2 \Delta t_i - (m P_{u_i}^n - W_i) \frac{\Delta t_i}{Q_i}}}$

Nota: Desarrollada por el autor sobre la base de la curva de agotamiento de estos autores para acuíferos kársticos. $\beta = \frac{\alpha^{2m} \tau - 1}{Q_0^2 \tau}$

■ Formulación no lineal (autor)

$$Q_{i+1} = \left\{ (m P_{u_i}^n - W_i) \kappa (2 - \eta) + \left[Q_i^{(1-\eta)} - \kappa (1 - \eta) \Delta t_i \right]^{\frac{1}{2-\eta}} \right\}^{\frac{1}{1-\eta}}$$

Planteamiento del problema inverso

En los modelos abordados, es posible estimar simultáneamente los parámetros que son desconocidos. Su identificación se basa en la resolución de un problema inverso, tratado como la minimización de cierta función objetivo en un espacio de búsqueda de dimensión finita

$$F(\theta) = w_1 \left(\frac{V_0 - V(\theta)}{V_0} \right)^2 + w_2 \left(\frac{Q_0^{\max} - Q(\theta)^{\max}}{Q_0^{\max}} \right)^2 + w_3 \sum_{i=1}^p \left(\frac{Q_0 - Q(\theta)}{Q_0} \right)_i^2$$

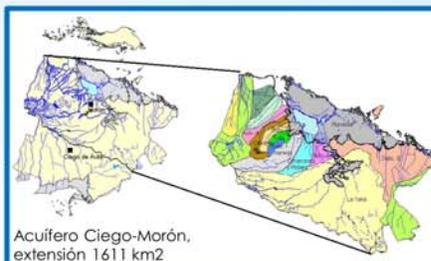
sujeta $\theta_i \leq \theta \leq \theta_u, \forall V =$ volumen total de flujo descargado por el acuífero; $Q^{\max} =$ caudal máximo de descarga mensual; $Q =$ descarga mensual; el subíndice i denota el i -ésimo valor de la serie de caudales observados, mientras que el subíndice i denota la i -ésima simulación del caudal de descarga. Los parámetros w_1, w_2 y w_3 representan factores de ponderación (o peso) de cada uno de los términos de la función objetivo.

El algoritmo Cuckoo Search (CS)

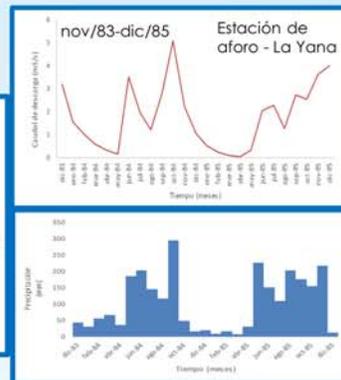


Función objetivo: $f(x), x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$;
Generar una población inicial de nidos;
While ($t < \text{MaxGeneration}$) or (criterio de parada)
Obtener un cuco aleatoriamente (por ejemplo, i) y reemplazemos esta solución introduciendo los vuelos de Lévy;
Evaluar su calidad/ajuste F_i
Escoger un nido entre n (por ejemplo, j) aleatoriamente;
if ($F_i > F_j$)
Reemplazar j por la nueva solución;
end if
Una fracción (α) de los peores nidos son abandonados y nuevos son construidos;
Mantener las mejores soluciones/nidos;
Clasificar las soluciones/nidos y encontrar las mejores;
Pasas las mejores soluciones a la próxima generación;
end while

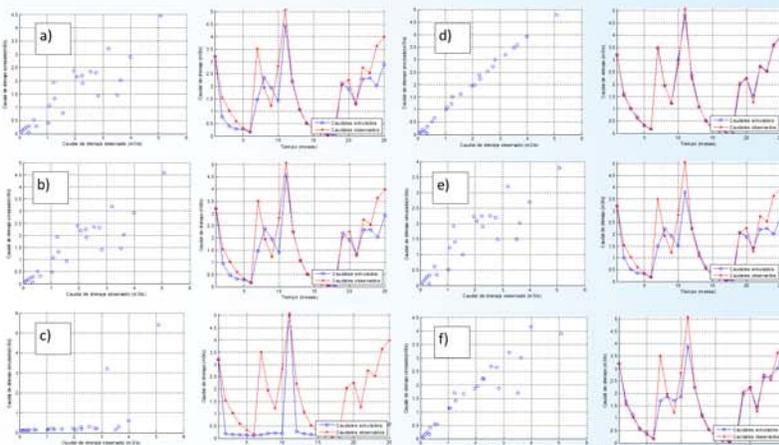
Estudio de Caso



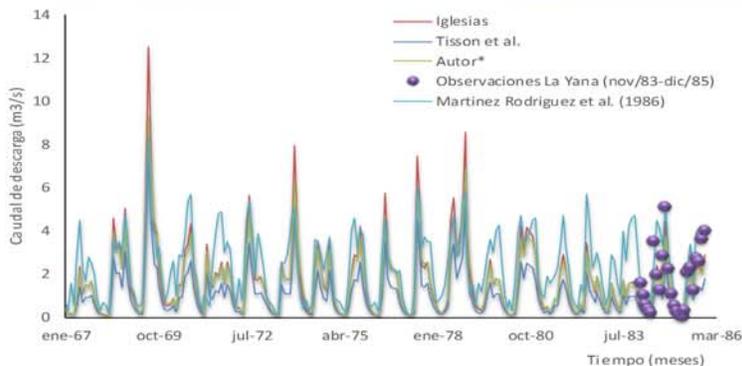
Acuífero Ciego-Morón, extensión 1611 km²



Resultados



Comparación de los caudales simulados y observados. a) Iglesias, b) Tisson et al., c) Forkasiewicz y Paloc con parámetro de decrecimiento β constante, d) Forkasiewicz y Paloc con parámetro de decrecimiento β variable, e) modelo no lineal propuesto por el autor con parámetro de agotamiento κ constante, f) modelo no lineal propuesto por el autor con parámetro de agotamiento κ variable.



Conclusiones

En la presente contribución, diferentes modelos agregados para estimar las descargas de acuíferos, fueron implementados en el asistente matemático MatLab y acoplados al algoritmo CS-FMIN, demostrándose la robustez de la estrategia abordada para reproducir series de caudales de descarga en acuíferos.

Referencias

Arenillas, A.; Castillo, A.; Elorza, F. J.; Garrido, L.; Iglesias, A.; Izaguirre, E.; Medina, R.; de Mera, A.; Pérez, M. P.; del Río, J.C. (s/a), "Paquete de apoyo informático a la hidrogeología", Tomo No. 2. Convenio para el desarrollo de métodos numéricos y programas aplicables a la hidrogeología. Instituto Tecnológico GeoMinero de España.

Martínez Rodríguez, J. B.; Hernández Valdés, A.; Llanusa Ruiz, H.; Dilla Salvador, F. (1986). "Modelo Matemático del acuífero Ciego-Morón. (Etapa de Calibración)". ISPJAE. CIH: La Habana, Cuba

Yang, X.; Deb, S. (2009), "Cuckoo search via levy flights". World congress on nature and biologically inspired computing 'NABIC-2009, vol 4. Coimbatore, pp 210-214