



**SIMPOSIO INTERNACIONAL DE CONSTRUCCIONES DE LA
CONVENCIÓN CCI-UCLV 2021**

Título

**Evaluación de los parámetros hidráulicos en un sector de la cuenca
Vento.**

Title

Evaluation of hydraulic parameters in a sector of the Vento basin.

Odalys Méndez Valdés¹, Marlon Lázaro Duvergel Pardo², Rolando Verdés Sánchez³

1-Odalys Méndez Valdés. Aguas de La Habana, Cuba. E-mail:omendez@ahabana.co.cu

2- Marlon Lázaro Duvergel Pardo. Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría", Cujae. La Habana. Cuba.

3- Rolando Verdés Sánchez. Empresa de Investigaciones y Proyectos Hidráulicos de la Habana. Cuba. E-mail: rolando@eiphh.hidro.cu

Resumen:

El estudio del comportamiento de los acuíferos y su relación con el régimen de explotación de las captaciones enclavados en los mismos resulta fundamental para definir los planes de extracción y realizar análisis de previsión de la satisfacción de la demanda en diferentes escenarios.

La calibración del modelo se realiza atendiendo al comportamiento de las cargas en los nodos y la evaluación del mismo, tomando como parámetro de comparación los aportes conocidos de los manantiales, elemento que se considera por los expertos el parámetro de referencia, obteniéndose un rango de error de correlación de 0.895, lo que se considera un resultado satisfactorio para este estudio. El ejercicio constituye una guía con vista a perfeccionar el tratamiento de los parámetros hidrogeológicos en la zona de análisis hasta lograr un modelo que describa las respuestas el acuífero ante las interacciones de la disponibilidad de agua y la gestión de la demanda en la misma.



Título Convención 2021
Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas
Evaluación de los parámetros hidráulicos en un sector de la cuenca Vento.

Abstract:

The study of the behavior of the aquifers and their relationship with the exploitation regime of catchments is fundamental to define the extraction plans and perform forecast analysis of the satisfaction of the demand in different scenarios.

The calibration of the model is done according to the behavior of the loads in the nodes. Its evaluation takes as a parameter of comparison the known contributions of the springs, an element that is considered by the experts as the reference parameter. A model with a correlation error range of 0.895 was obtained, which is considered a satisfactory result for this study. The exercise is a guide with a view to improving the treatment of hydrogeological parameters in the area of analysis, until finding a model that describes the responses of the aquifer to the interactions of water availability and demand management.

Palabras Clave: Acuífero; Modelo, Calibración, Disponibilidad, Demanda

Keywords: Aquifer, Model, Calibration, Availability, Demand

1. Introducción

La cuenca Vento es una de las principales fuentes de abasto a la capital, resultando imprescindible su estudio y comprensión del funcionamiento del acuífero en su interrelación con el régimen de explotación de las principales captaciones enclavadas en la misma, especialmente por las afectaciones que la misma viene presentados problemas de disponibilidad de agua, por lo que se precisa de su modelación para una mejor comprensión.

En la cuenca se han realizado diferentes estudios, según refiere (Molerio León, Pin González y Guerra Oliva, 2007), se conocen:

En el siglo XIX:

- Monografía descriptiva del río Almendares y su cuenca hidrográfica por Dr. Fernández de Castro (1843),



Título Convención 2021
Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas
Evaluación de los parámetros hidráulicos en un sector de la cuenca Vento.

- Investigaciones hidrogeológicas para la ubicación del Acueducto Taza de Vento realizadas por Francisco Albear y Fernández de Lara (1855 y 1863,

En el siglo XX:

- Estudios realizados Cosculluela (1937, 1953).
- Estudios para la construcción y operación del Conjunto Hidráulico Ejército Rebelde
- Optimización de la Red de Monitoreo de las Aguas Subterráneas de la Cuenca de Vento en 1995, s

En el siglo XXI:

- •Estudio de la interrelación entre el embalse "Ejército Rebelde" y el acuífero, utilizando el Software AQUIPE (Llanusa Ruíz y Martínez Rodríguez (2002),
- Estudio de "Uso de técnicas nucleares en la evaluación de la cuenca Almendares-Vento para la gestión sostenible de sus recursos hídricos", (Peralta et al., 2005
- Actualización de la información hidrometeorológica de 1986-2006, revisión de; volumen de infiltración del embalse Ejército Rebelde, y actualización de hidroisopias para período seco y húmedo de la cuenca Vento (Rivera Jiménez, 2009)
- Modelación de sección de la cuenca con límites impermeables. Cabrera Castillo, 2014)
- Modelo de sección de la cuenca en la margen izquierda del río, con descarga lateral desde Ariguanabo. El modelo conceptual creado en esta investigación logra un mejor acercamiento al comportamiento hidrodinámico del acuífero de Vento. (Chirinos Zabaneh, 2015):
- Modelo Conceptual simplificado de la Cuenca Subterránea Vento.(Oferta-Demanda), en WEAP (Sánchez, Méndez y Hernández, 2018
- Estudio de vulnerabilidad intrínseca de la cuenca Vento,

El modelo conceptual se realiza con un sector de la cuenca Vento, modelando el nivel de respuesta del acuífero ante una condición conocida en un período que comprende dos años hidrológicos del 2014 al 2016, períodos en los que en la gestión de abastecimiento



Título Convención 2021
Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas
Evaluación de los parámetros hidráulicos en un sector de la cuenca Vento.

se reconoce la existencia de efectos de la sequía en la gestión de abastecimiento de agua, específicamente en el año 2015. (Méndez Valdés et al., 2018)

Objetivo general

Evaluar la respuesta del modelo de una sección de la cuenca Vento empleando la herramienta META-AQÜIMPE, para una calibración por cargas y validación por el caudal de descarga del acuífero a través de los manantiales.

El estudio realiza la modelación con la herramienta META-AQÜIMPE, y resulta novedoso la calibración por cargas y validación por caudales, ya que los estudios anteriores se limitaban al análisis de cargas observadas vs cargas obtenidas en el modelo, sin llegar a evaluar para esa condición el comportamiento de los volúmenes aportados, por lo que tomarlos como base garantizan un avance y enriquecimiento del modelo.

Una vez que el modelo calibrado y validado, logre reproducir el comportamiento del periodo de estudio se podrá evaluar la respuesta del sistema ante diferentes escenarios de disponibilidad de agua para poder en función de ello establecer el régimen de explotación del acuífero y su recuperación.

Todos estos aspectos tienen una dimensión social importante, ya que el estudio se enfoca a la búsqueda de interrelaciones que permitan una mayor comprensión del funcionamiento del acuífero, y especialmente se enfoca a profundizar en los estudios de las interacciones disponibilidad-demanda, con vista fundamentalmente a garantizar la preservación de los manantiales de Vento, ya que su agotamiento pone en peligro el funcionamiento del Canal de Albear, una de las Siete Maravillas de la Ingeniería en Cuba, y Monumento Nacional, que exhibe un diseño altamente integrador, al decir de María Victoria Zardoya "...solución genial que integró en forma excelente aspectos técnicos, económicos y estéticos, con una impresionante precisión técnica, lo que permitió cumplir con su principal cometido, dotar a La Habana de agua de excelente calidad y en cantidad suficiente para la población de entonces", con el gran mérito de



Título Convención 2021
Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas
Evaluación de los parámetros hidráulicos en un sector de la cuenca Vento.

mantenerse en servicio abasteciendo a Centro Habana, Habana Vieja y su Casco Histórico, incluso es de destacar la dimensión medio ambiental exquisita, al trasportar sus aguas hasta la ciudad totalmente por gravedad. (Zardoya Loureda, 2013)

2. Metodología

La cuenca de Vento es una de las cuatro cuencas que abastecen a La Habana, y la que suministra el mayor volumen de agua para todos los usos, que consume y utiliza en la ciudad. Es un acuífero cársico no confinado extendido sobre una superficie de 370 km², sus recursos hidráulicos subterráneos se estiman en 278 Hm³/año, con una alta vulnerabilidad a la contaminación (Molerio León, Pin González y Guerra Oliva, 2007).

La cuenca Vento dispone de una red de monitoreo de los parámetros hidrometeorológicos, conformada fundamentalmente por pluviómetros, pozos de observaciones y estaciones climáticas. Figura 1

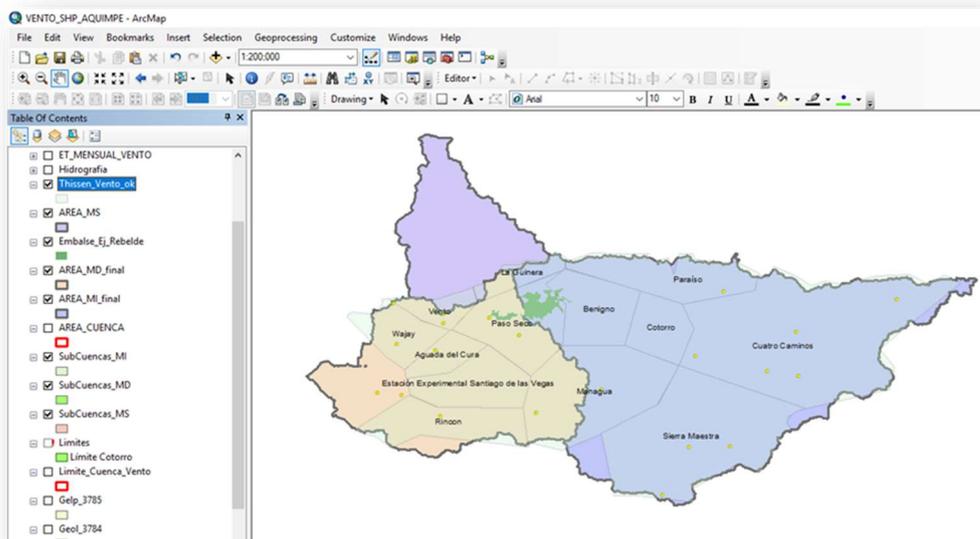


Figura 1: Red de Monitoreo existente en la cuenca. Fuente: Elaboración propia

El estudio del sector en la margen izquierda del río, se realizará tomando como criterio los estudios anteriores, acorde con Figura 2.



Título Convención 2021
Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas
Evaluación de los parámetros hidráulicos en un sector de la cuenca Vento.

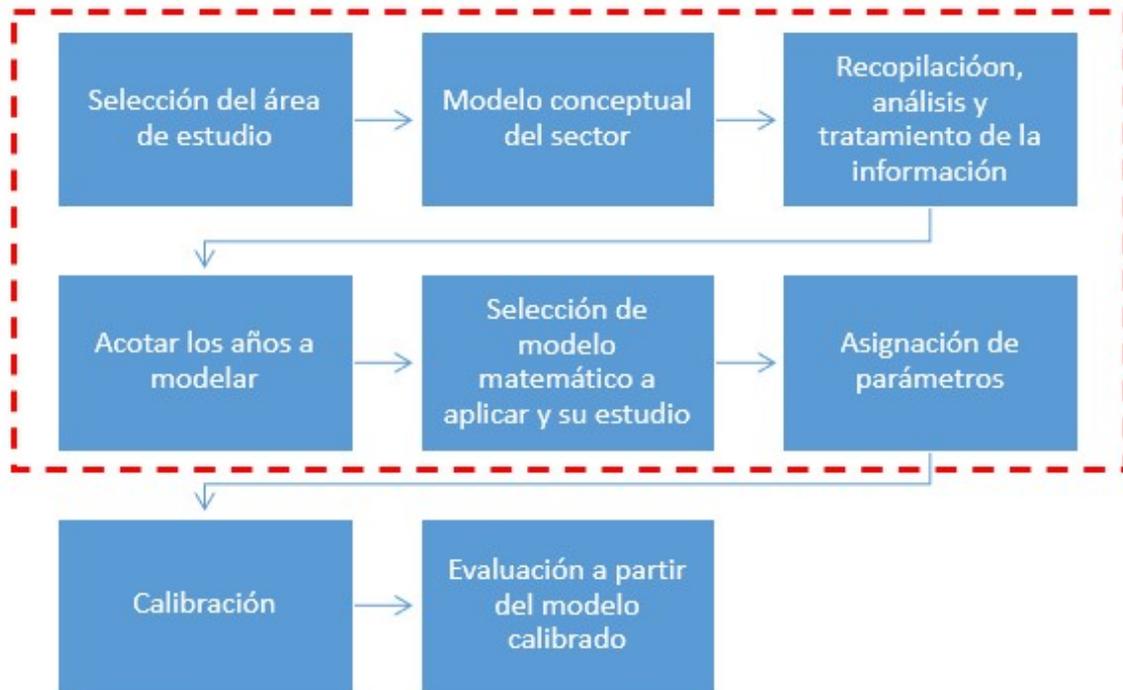


Figura 2: Procedimiento de trabajo. Elaboración propia

Los pasos a seguir en el procedimiento de trabajo van desde la selección del área de estudio hasta la evaluación del modelo calibrado, los que serán descritos en este capítulo, excepto los dos últimos que forman parte de los resultados expuestos en el capítulo 4.

2.1 Selección del área de estudio

Se tomó como área de estudio un sector de la cuenca ubicado en la margen izquierda del río, el mismo que se viene estudiando en trabajos anteriores, con el objetivo de implementar nuevas calibraciones, además ya que este es el sector dónde se encuentran enclavadas las principales extracciones para abasto que se hacen en la cuenca e igualmente se encuentran la descarga de la cuenca a través de los manantiales.

2.2 Modelo conceptual del sector: En el modelo conceptual del sistema acuífero se define el contorno del área a modelar o sea la extensión del modelo, las fronteras, escala



Título Convención 2021
Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas
Evaluación de los parámetros hidráulicos en un sector de la cuenca Vento.

de trabajo y la base de datos disponibles, aspectos que se tendrán en consideración en la selección del software que se utilizará, aunque en cierta medida este ha sido considerado a la hora de definir el modelo conceptual.

2.3 Condiciones de frontera: Para el estudio se tomó un sector representativo de la cuenca, ubicado fundamentalmente en la margen izquierda del río Almendares y con una sección en la margen derecha, entre el río y el cierre de la presa Ejército Rebelde.

Figura 3.

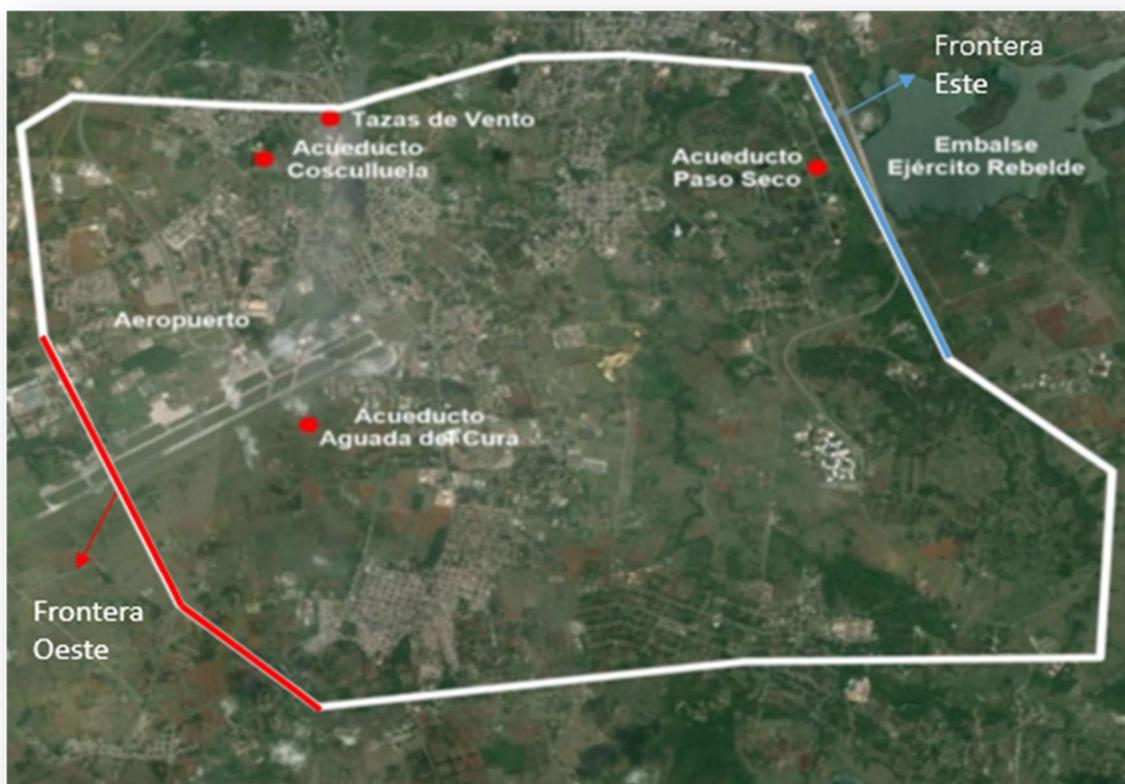


Figura 3: Sector de estudio según el Modelo Conceptual desarrollado.

Los límites del modelo conceptual son los siguientes:

- Frontera Norte: Los manantiales de Vento
- Frontera Sur: se considera una formación geológica impermeable
- Frontera Este: se considera una frontera impermeable con un contorno de carga conocida variable en el tiempo, en el límite con el embalse.



Título Convención 2021
Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas
Evaluación de los parámetros hidráulicos en un sector de la cuenca Vento.

- Frontera Oeste: el contorno con la cuenca Ariguanabo se modela con carga lateral de entrada (fija), dado por la relación que se existe entre el acuífero Ariguanabo-Vento.

Un esquema de Oeste a Este el Modelo Conceptual quedaría representado como se muestra en a figura 4.

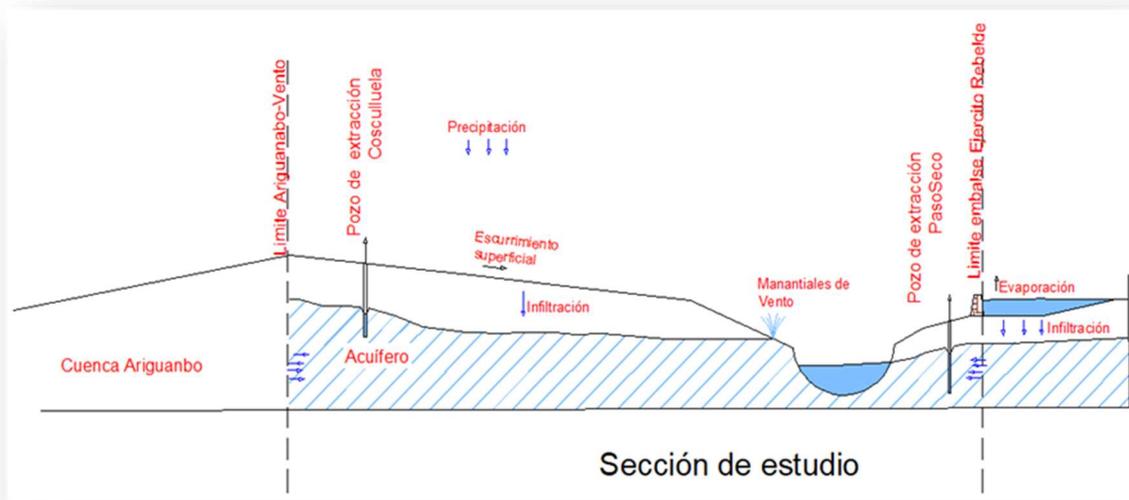


Figura 4: Esquema del sector de estudio en un perfil de Oeste a Este.

2.4 Recopilación, análisis y tratamiento de la información

Primeramente, se definieron los datos de interés como son: niveles de los pozos de observación en la cuenca Vento, volúmenes extraídos mensualmente en los pozos de explotación, nivel del canal y volumen aportados por los manantiales de Vento al Canal de Albear.

El período seleccionado fue del 2008 al 2018, completándose y actualizándose la serie de datos que existe del 1986 al 2007, que es con la que se había trabajado en los 4 estudios precedentes, lo que permite disponer de una base de datos para estudios posteriores de 30 años, período requerido en estudios hidrológicos e hidrogeológicos.



Título Convención 2021
Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas
Evaluación de los parámetros hidráulicos en un sector de la cuenca Vento.

Dentro de este período se seleccionaron dos años hidrológicos de con tendencia descendente para el estudio de comportamiento, con enfoque básicamente en las condiciones de escasez y/o sequía., específicamente los años hidrológico 2014-2015 y 2015-2016.

2.5 Selección del modelo matemático

Para el estudio se selecciona como herramienta de modelación AQÜIMPE y MATLAB, y la herramienta META–AQÜIMPE que resuelve problemas de optimización de los parámetros hidrogeológicos de modelos de acuíferos a escala regional, desarrollada en el año 2017 por M.Sc. Lemuel Carlos Ramos Arzola (Arrieta Zequeira, 2018).

2.6 Asignación de parámetros

Con la información recopilada se organizaron los datos obtenidos en una interrelación AQÜIMPE-EXCEL-MATLAB, para la vinculación entre el modelo de simulación y el modelo de optimización.

La información existente en el Modelo de AQÜIMPE, desarrollado por Fernando Chirino, se toma como base, y se exporta a Excel, agregándose a esta información, los datos correspondientes al período de estudio seleccionado, ya que se parte que los resultados obtenidos por este autor resultan un modelo calibrado en AQÜIMPE, con el que se va a trabajar en su optimización, en este caso para el nuevo período de estudio definido.

Los archivos creados en Excel son utilizados por el MATLAB, a través de META-AQÜIMPE en una interrelación simulación-optimización. Figura 5.



Título Convención 2021
Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas
Evaluación de los parámetros hidráulicos en un sector de la cuenca Vento.

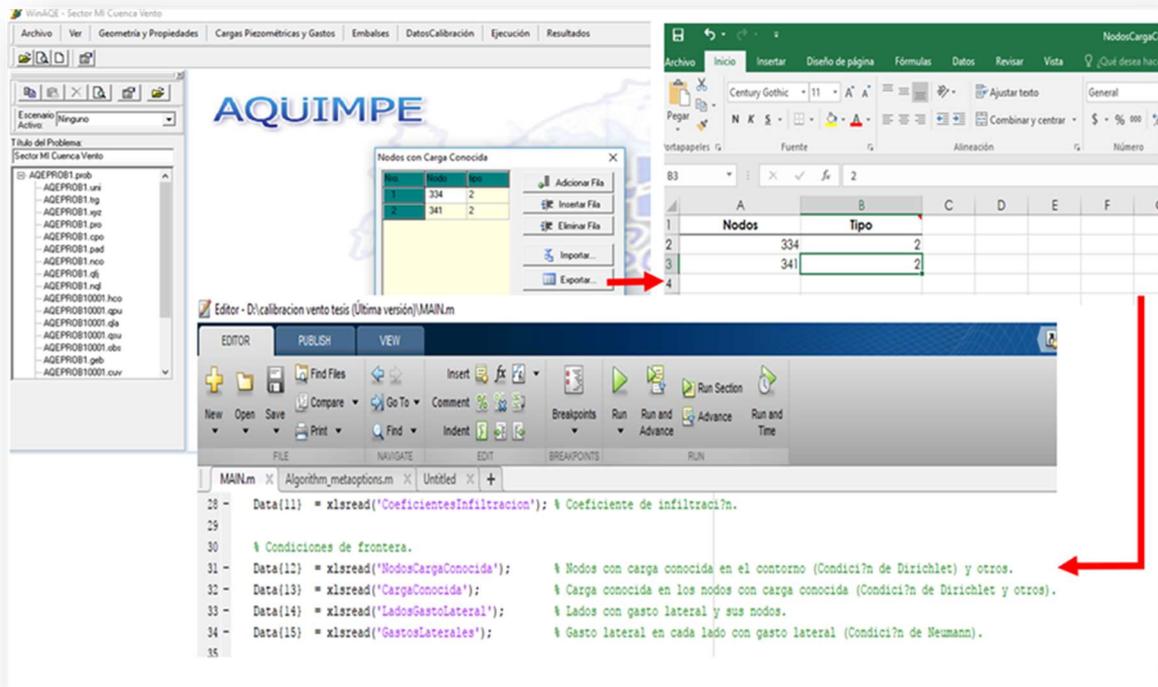


Figura 5: Procedimiento de preparación de la información para el modelo partiendo del Modelo en AQUIMPE.

3. Resultados y discusión

El periodo de trabajo estuvo comprendido entre los años 2014-2016, fue un periodo de déficit hidráulico, además se toma este periodo a calibrar por ser un periodo de sequía hidrológica. Para la discretización en el tiempo, queda entonces un tiempo final de simulación 2 años hidráulicos, 24 subintervalos de tiempo de 30 días cada uno.

Se trabajó con 18 nodos de carga conocida, 8 de ellos se encontraban alrededor de la taza, construyéndose un modelo numérico a partir de la aplicación del Método de los Elementos Finitos, se plantea la función objetivo como elemento importante de la formulación del problema inverso referente a la estimación de las propiedades del acuífero.



Título Convención 2021
Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas
Evaluación de los parámetros hidráulicos en un sector de la cuenca Vento.

4.1 Calibración

Con la información recopilada y actualizada en el software AQÜIMPE, se comienza el proceso de calibración de prueba y error en MatLab, acorde con la Función Objetivo (FO), atendiendo a:

- Asignar valores obtenidos en la modelación con AQÜIMPE para el grupo de propiedades (conductividad hidráulica y coeficiente de almacenamiento).
- Resolución del problema numérico con los datos conocidos de parámetros, condiciones de fronteras y valores observados.
- Fijar un número de iteraciones para la comparación, hasta obtener el dato estimado (1000).
- Se analizaron dos variantes con las siguientes características:

Variante 1: Evaluación del grupo de propiedades con 18 nodos de carga variable

Variante 2. Evaluación del grupo de propiedades con 8 nodos de carga variable

En la calibración del modelo para cada una de las variantes, los parámetros ajustados fueron la conductividad hidráulica (K_d) y el coeficiente de almacenamiento (s), que en el acuífero Vento presenta una variación significativa. Se realizaron varias calibraciones de 1000 iteraciones para los nodos de cada una de las variantes.

En la primera calibración de las propiedades (Variante 1), los nodos asociados a la taza de Vento (129-130-131 140-134) no se observaba convergencia en las cargas, lo cual resultó una limitación en la calibración, sin embargo, en la práctica las variaciones de nivel que se producen en la taza oscilan en ± 1 metro, por lo que, con la tendencia de las cargas simuladas, no habían posibilidades de lograr una adecuada calibración a partir de las cargas.

Para esta condición de la FO, en los nodos más alejados de la taza, se obtuvo una buena correlación entre las cargas simuladas y las observadas, este comportamiento, donde en los nodos más alejados de la taza existe una tendencia a la calibración permite tomarlo en cuenta en un nuevo análisis para definir nuevas condiciones en el modelo conceptual, decidiéndose pasar los nodos pertenecientes a la taza como nodos de carga fija, y a



Título Convención 2021
Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas
Evaluación de los parámetros hidráulicos en un sector de la cuenca Vento.

partir de ahí realizar las nuevas calibraciones, evaluando los nodos cercanos a la misma, lo que constituye la variante 2.

Variante 2:

En esta variante, se tomaron los nodos asociados a la Taza de Vento, y se designaron como nodos de carga fija, con el objetivo de mejorar las calibraciones, obtener un mejor comportamiento del grupo de propiedades, así como de la evaluación de la FO.

Teniendo esto en cuenta, se realizaron 16 nuevas calibraciones, las cuales tuvieron una mejor aceptación, mejorando el modelo, obteniéndose errores relativos de +/- 5% u seleccionándose a su vez el mejor valor de la función objetivo. Figura 6.

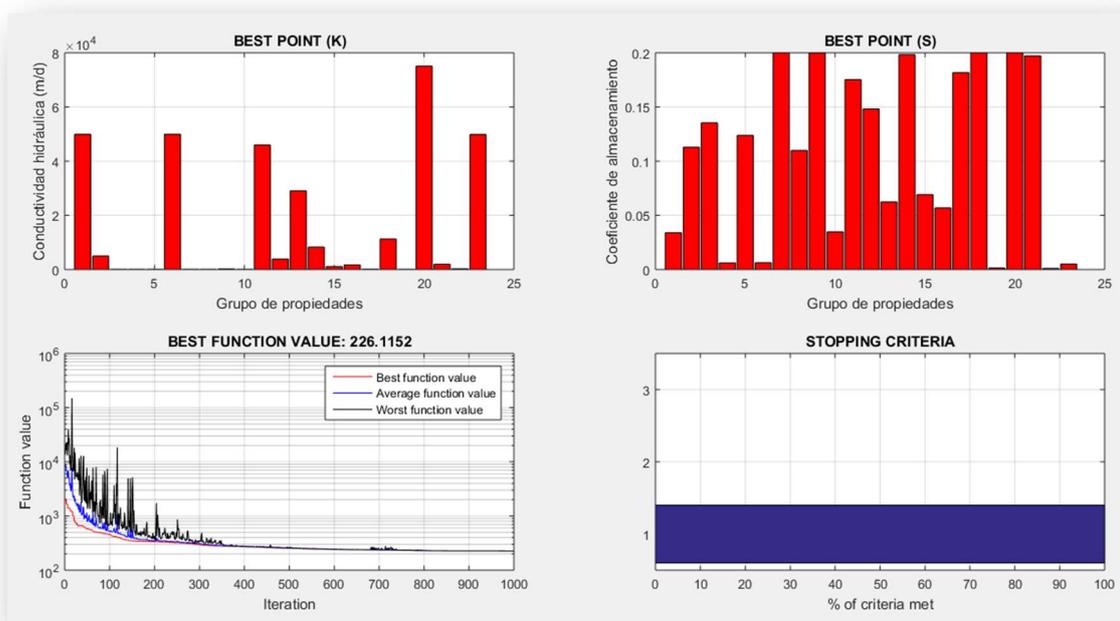


Figura 6: Evaluación de la FO. Variante 2

Esta variante, muestra un mejor ajuste del grupo de propiedades y por tanto de la FO y de las cargas simuladas en los nodos, obteniéndose un rango de error aceptable, acorde con el problema de estudio. Estas propiedades (kd y s), son dos de los coeficientes o parámetros de los que depende la ecuación diferencial 2D que simula el movimiento del agua subterránea en un acuífero.



Título Convención 2021
Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas
Evaluación de los parámetros hidráulicos en un sector de la cuenca Vento.

Igualmente se aprecia en la Figura 7, el comportamiento de las cargas en el Nodo 22, con un mejor ajuste que el de la variante 1, pero con tendencias similares lo que corrobora que los nodos más alejados de la taza tenían un comportamiento adecuado en la Variante 1, y el paso a modelación como carga fija de los nodos vinculados a la taza, resultó una mejor aproximación del modelo conceptual para los resultados obtenidos en todos los nodos.

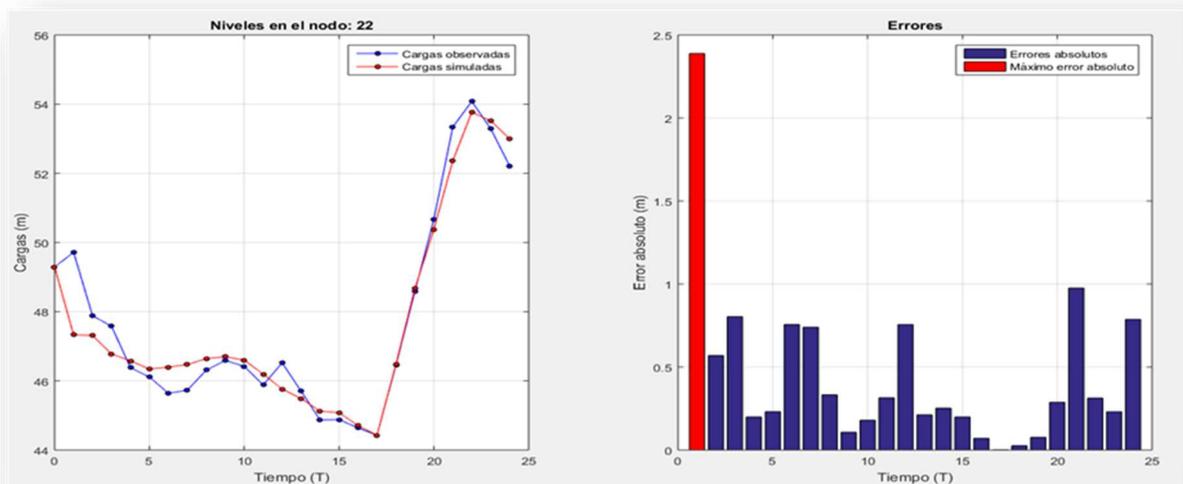


Figura 7: Variante 2. Nodo 22

4.2 Evaluación a partir del modelo calibrado

El modelo calibrado toma como criterio el comportamiento de las cargas en los distintos nodos. Para evaluar la validez de los resultados se propone tener en cuenta la comparación de los caudales, específicamente en los obtenidos en el nodo correspondiente a la Taza de Vento, que representa a los manantiales de descarga del acuífero, que alimentan al Canal de Albear, captación de referencia para los operadores del sistema de abasto. Este nodo cuenta con información diaria, y las interacciones que se dan en la cuenca, condicionadas por las actividades de disponibilidad - demanda, se han de reflejar de manera directa en este parámetro.

Específicamente a partir del modelo calibrado, se seleccionan los caudales obtenidos en la Taza de Vento, producto de la modelación y se comparan con los caudales registrados



Título Convención 2021
Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas
Evaluación de los parámetros hidráulicos en un sector de la cuenca Vento.

en el período de estudio. Los caudales están expresados en hectómetros cúbicos por mes. Figura 8.

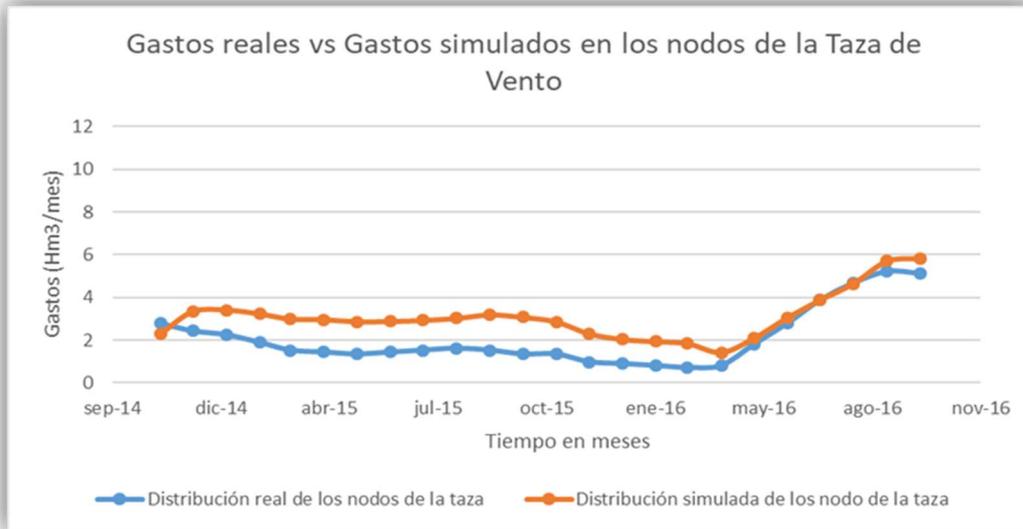


Figura 8: Evaluación del caudal en los nodos de la Taza de Vento.

Con los resultados de los caudales observados y los simulados se hace un análisis de correlación. Dicha correlación da un valor de 0.89, resultado que se considera aceptable en este tipo de problema, en el que intervienen muchas variables, y no siempre la información base goza de la adecuada calidad.

Resulta importante destacar que, aunque se tiene una correlación considerada aceptable entre los caudales reales y los simulados, se hace necesario realizar una interpretación de los valores obtenidos y su implicación en la práctica, ya que existen meses en los que la diferencia se hace notable, siendo muy significativo para los trabajos de predicción, por lo que resulta necesario lograr convergencia no solamente en las cargas, sino también en los caudales, solamente bajo esas condiciones será válido la simulación de escenarios que puedan recrear la respuesta del acuífero ante condiciones extremas climáticas y/o de explotación.

Entre los principales factores que pueden estar tributando a las limitaciones del modelo para reproducir la realidad pudieran considerarse:



Título Convención 2021
Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas
Evaluación de los parámetros hidráulicos en un sector de la cuenca Vento.

- Limitaciones del modelo conceptual para aproximarse a la realidad, dado fundamentalmente por acciones antrópicas que inciden en el comportamiento del acuífero pero no quedan claramente reflejadas para su adecuada representación en el modelo.
- Necesidad de nuevas adecuaciones al modelo sobre la base de los resultados obtenidos en este estudio, fundamentalmente atendiendo al tratamiento de las aportaciones por las fronteras.
- Limitaciones de representación en el modelo matemático seleccionado una componente de flujo tridimensional.

Una opción para realizar una buena estimación entre los caudales que realmente están sucediendo en la zona y los simulados sería utilizar un modelo tridimensional para tener estimación más certera entre los mismos y además tener un mejor acercamiento a las propiedades hidrogeológicas de la zona.

4. Conclusiones

En el estudio de un sector de la cuenca Vento, que contempla las principales captaciones enclavadas en la misma y la salida del acuífero se concluye que:

1. El uso de la herramienta META-AQUIMPE, permitió obtener una calibración más ajustada del sector de estudio, con una Función Objetivo evaluada en 226.12 para la Variante 2, lo que representa a su vez un mejor ajuste del grupo de propiedades.
2. El modelo reproduce en forma adecuada la tendencia de la piezometría en el acuífero para la mayoría de los nodos en la Variante 2, obteniéndose un error de hasta +/-5%, por lo que podría ser empleado para estudios de comportamiento de niveles en distintas condiciones de disponibilidad de agua en las principales captaciones por pozo, por ejemplo: Cosculluela y Paso Seco
3. La evaluación de los caudales para la calibración seleccionada, da una correlación de 0.89, lo cual se podría considerar aceptable, sin embargo, se puede afirmar que existen desviaciones puntuales de los caudales de descarga



Título Convención 2021
Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas
Evaluación de los parámetros hidráulicos en un sector de la cuenca Vento.

del acuífero evaluadas por el modelo cuyo resultado no permite una adecuada proyección en la práctica.

4. Para la evaluación de la disponibilidad de agua en los manantiales ante ocurrencia de eventos extremos y/o variaciones de la demanda, el modelo deberá estar calibrado tanto por cargas como por caudales.
5. Los resultados obtenidos permiten acercarse de una forma progresiva a la construcción del modelo conceptual que mejor represente el comportamiento del acuífero en su relación con el medio.

5. Referencias bibliográficas

1. CABRERA CASTILLO, E.H (2014). "MODELACIÓN MATEMÁTICA DEL ACUÍFERO DE VENTO, CUBA". Tesis en opción al grado de (inédita), Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría La Habana. Cuba.
2. CHIRINOS ZABANEH, F.D. (2015) "Modelación matemática de un sector del acuífero "Vento"". Tesis en opción al grado de (inédita), Instituto Superior Politécnico "José A. Echeverría", La Habana, Cuba.
3. HERNÁNDEZ VALDÉS, A.O., MARTÍNEZ RODRÍGUEZ, JB; DILLA SALVADOR, F y LLANUSA RUIZ, H. (2001). Manual Modelación de Acuíferos. CUJAE. La Habana. Cuba.
4. MOLERO LEÓN, L.F., P. MALOSZEWSKI, M. GUERRA OLIVA, D. ARELLANO ACOSTA y K. DEL ROSARIO RODRIQUEZ. (2002) Hidrodinámica isotópica de los sistemas acuíferos Jaruco y Aguacate, Cuba Ingeniería Hidráulica y Ambiental. 2002, vol. 23, no. 2.
5. MOLERO LEÓN, L.F., PIN GONZÁLEZ, M y GUERRA OLIVA, MG (2007) Diseño De La Red De Monitoreo De Tritio En Las Aguas Subterráneas De La Cuenca De Vento, Habana, Cuba. Revista Internacional de Ciencias de la Tierra.
6. PERALTA, J.L., R. GIL, LEYVA, D; MOLEIRO, L y PIN, M. (2005). Uso de técnicas nucleares en la evaluación de la cuenca Almendares-Vento para la gestión sostenible de sus recursos hídricos [en línea], 2005. Disponible en: <https://docplayer.es/77828512-Uso-de-tecnicas-nucleares-en-la-evaluacion-de->



Título Convención 2021
Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas
Evaluación de los parámetros hidráulicos en un sector de la cuenca Vento.

la-cuenca-almendares-vento-para-la-gestion-sostenible-de-sus-recursos-hidricos.html

7. RIVERA JIMÉNEZ, V. (2009) "Interrelación Canal de Albear, Presa Ejército Rebelde y parámetros de control en la cuenca Almendares-Vento". Tesis en opción al grado de (inédita), Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, La Habana, Cuba.
8. SÁNCHEZ, Y., O. MÉNDEZ y A.O. HERNÁNDEZ. (2018) Evaluación de la Cuenca subterránea Vento con el modelo Water Evaluation and Planning system (WEAP) REVISTA HIDROLATINOAMERICANA. 2018, Vol. 2 (2018), pp. 29-32
9. SUÁREZ GONZÁLEZ, O.A., D.R. FUENTES RODRÍGUEZ, R.M. VALCARCE ORTEGA, M. VEGA CARREÑO y W. RODRÍGUEZ MIRANDA. (2019) Evaluación de la vulnerabilidad natural de la cuenca Almendares - Vento aplicando la metodología RISK. Universidad Tecnológica de La Habana, Cuba.
10. VERDÉS SÁNCHEZ, R. (2018) "Solución del problema inverso de la hidrogeología mediante el algoritmo de evolución diferencial ". Tesis en opción al grado de (inédita), Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría" La Habana, Cuba.
11. ZARDOYA LOUREDA, M.V. (2013) El Acueducto de Albear, obra maestra de la ingeniería cubana. Arquitectura y Urbanismo. Versión On-line ISSN 1815-5898. Vol.34 no.3 La Habana sep.-dic.