

## VI. METODOLOGÍA

### VI.1. Descripción General del Trabajo

Para el presente trabajo de tesis, se siguieron los siguientes pasos, apegados a la metodología propuesta para el manejo de este tipo de programas.

1. Establecer el propósito del modelo, en este caso: la simulación del acuífero en condiciones de estado estacionario.
2. Desarrollo de un modelo conceptual, definiendo las condiciones iniciales y de frontera del acuífero, y determinando sus propiedades hidrogeológicas. Primeramente, se realizó una recopilación y análisis de la información técnica existente del acuífero. Además, se generó información actual, para obtener una caracterización de las condiciones hidrogeológicas del sitio de estudio. Esta información actual podría ser utilizada para darle continuidad a este trabajo, a través de la ejecución de corridas de simulación en estado transitorio.
3. Familiarización con el manejo del programa MODFLOW, así como cada uno de los conceptos computacionales y hidrogeológicos necesarios para un mejor entendimiento de los datos de entrada y resultados del modelo.
4. Definición de la discretización del modelo. Es decir, la determinación de una malla que describirá, en espacio, el área de estudio.
5. Realizar un análisis de sensibilidad. Es decir, la determinación de los efectos de incertidumbre obtenidos en los resultados del modelo a través de la ejecución de corridas preliminares en las que se varía los parámetros de entrada individualmente dentro de un rango de posibles valores.
6. Ejecución y calibración del programa para simular el acuífero en condiciones de estado estacionario.

## VI.2. Monitoreo de Agua Subterránea y Superficial

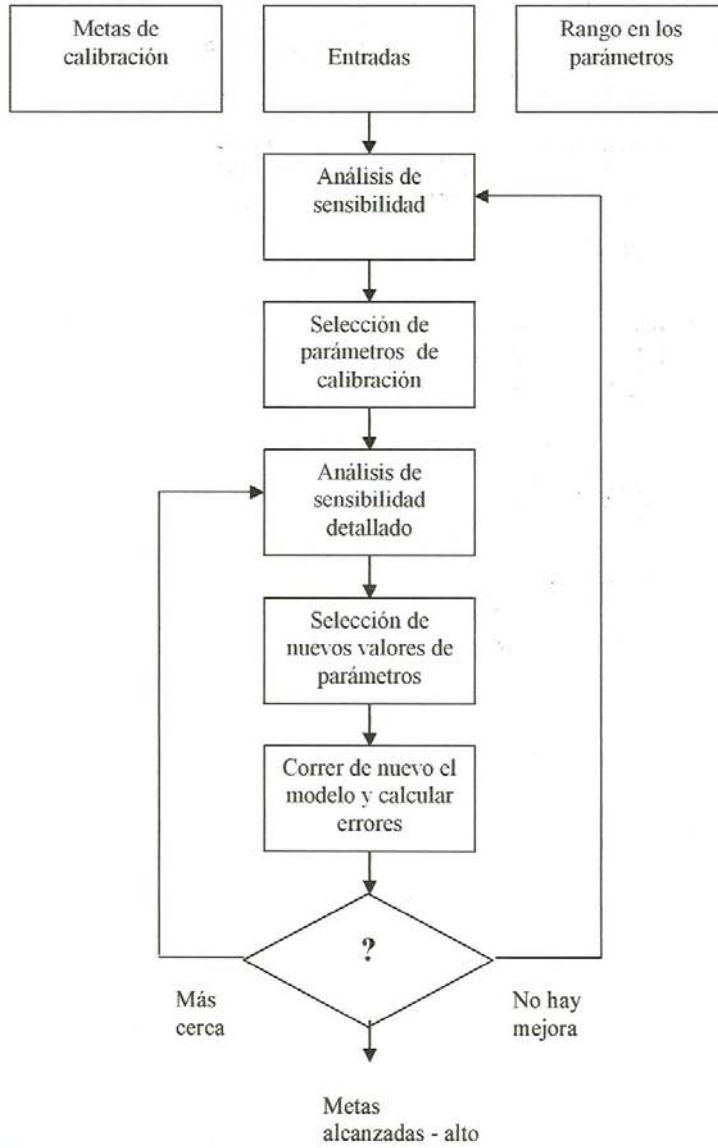
Se midieron los niveles de agua subterránea en once puntos correspondientes a los puntos G14 a G24 de la Tabla 7, antes mostrada. Estas mediciones se hicieron mediante un indicador de nivel del agua Slope Indicator Mod. 15298. Las localizaciones de los pozos de monitoreo se seleccionaron basándose en su proximidad a los sitios de medición de agua superficial, la mayoría se localizó lejos de las fuentes de interferencia debidas al bombeo cercano.

Cada tres meses, se midieron la velocidad del flujo del agua superficial en el cauce del Río Santa Cruz, México. Estas mediciones se realizaron con un Global Flow Probe Mod. FP101, en seis puntos de medición (puntos S12 a S17 de la Tabla 8, antes mostrada). La medición del flujo de agua superficial requiere de la determinación de un número suficiente de velocidades puntuales para permitir calcular una velocidad promedio en la corriente. El área transversal multiplicada por la velocidad promedio dará el caudal total. El número de puntos, en los cuales se debe medir la velocidad, debe limitarse a aquellos que se puedan realizar dentro de un tiempo razonable, especialmente si el nivel está cambiando rápidamente. En la práctica, el procedimiento consiste en dividir la corriente en un número de secciones verticales, de tal manera que ninguna sección tenga más del 10% de la descarga total. Mediante muchos ensayos de campo se estableció que la velocidad media vertical es igual a la velocidad encontrada a 20% y 80% de la profundidad con respecto a la superficie del agua y que también se aproxima bastante a la velocidad a 60% por debajo de la superficie del agua. Así, las mediciones de aguas poco profundas, o cerca de la orilla, se usa la determinación de la velocidad a un punto único a 0.6 de la profundidad. Anteriormente, en aguas profundas se tomaba una medición de velocidad a 0.8 de la profundidad y después se levantaba el medidor para tomar otra medición a 0.2 de profundidad. Sin embargo, con los adelantos tecnológicos esto ya no es necesario. El medidor da un dato de velocidad puntual y otra promedio, así que lo que se hace es sumergir el medidor y moverlo lentamente hacia arriba para que tome varias lecturas y obtenga un promedio de velocidad vertical (Linsléy y col., 1975).

### VI.3. Procedimiento para la Interpretación de Resultados

Un modelo de flujo se utiliza para calcular una velocidad promedio de la dirección del movimiento del agua subterránea a través del acuífero y sus unidades confinantes en la superficie. Para realizar una simulación se requiere del entendimiento de las características hidrológicas del sitio, que incluyen el marco hidrogeológico (espesor y extensión del acuífero), las fronteras hidrológicas que controlan la velocidad y dirección del movimiento del agua subterránea, las propiedades hidráulicas del acuífero (distribución de cargas hidráulicas iniciales a través del área modelada, para condiciones iniciales y condiciones transientes, es decir que pueden variar con el tiempo), la distribución y magnitud de la recarga, bombeo o inyección de agua subterránea, filtración que proviene de, o va hacia, los cuerpos de agua superficial, otras fuentes o sumideros que pueden ser constantes o variar con el tiempo. La salida de una simulación del modelo son las cargas hidráulicas y las velocidades de flujo de agua subterránea, que están en equilibrio con las condiciones hidrogeológicas del sitio. El modelo también puede simular posibles cambios futuros de carga hidráulica o velocidades de flujo subterráneo, a consecuencia de cambios futuros en el sistema de acuífero.

La interpretación de los datos se realizó través del uso del software de simulación denominado Visual MODFLOW Pro, versión 3.0.0.180, desarrollado por Waterloo Hydrogeologic, Inc., el cual retoma el modelo MODFLOW descrito anteriormente, acoplado herramientas gráficas de análisis al sistema de diseño de modelos. Visual MODFLOW Pro posee una poderosa herramienta de calibración, ya que da soporte al uso del software de calibración PEST y posee análisis de sensibilidad automática. El protocolo de calibración del modelo se establece mediante el diagrama mostrado en la Fig. 13.



**Figura 13. Protocolo de calibración del modelo**

Fuente: Environmental Simulations Inc., (1999)