
SISTEMATIZACIÓN DE PROCESOS PARA ESTUDIOS DE AFORO DE POZOS DE AGUA SUBTERRÁNEA EN ÁREAS SUJETAS A LA ADQUISICIÓN DE DATOS SÍSMICOS

NEIDA PINEDA, EDGAR JAIMES, JESÚS MEJÍAS y JOSÉ MENDOZA

Los estudios de aforo de pozos de agua subterránea tienen por finalidad conocer el caudal de explotación de un pozo y las características hidráulicas de los acuíferos, entre las cuales están la transmisividad y el coeficiente de almacenamiento de los mismos (Custodio y Llamas, 1976; Arocha, 1980). Canter (1998) señaló que la importancia de los ensayos de aforo radica en que a través de ellos se puede determinar la disponibilidad del agua del subsuelo, la calidad del agua subterránea, las características y eficiencia de funcionamiento de los elementos del pozo, la utilidad y eficiencia de uso del agua extraída, entre otros atributos hidrogeológicos. A través de estos ensayos es fácil y práctico determinar si un acuífero es sobreexplotado o no, toda vez que si el agua subterránea es extraída a una velocidad mayor que su velocidad de recarga natural, aumentará la profundidad del nivel freático o piezométrico, lo cual indica sobreexplotación del recurso. Además,

el uso excesivo del agua subterránea en las zonas costeras puede provocar la aparición de intrusiones salinas, problema que también puede manifestarse en áreas continentales, donde zonas con agua dulce suprayacen a acuíferos salinos (Linsley *et al.*, 1982).

La metodología para realizar estudios de aforo, basada en volumetría o en la trayectoria de la descarga en tuberías horizontales, inclinadas y verticales, está ampliamente documentada en Arocha (1980), Custodio y Llamas (1976), Factor (1971), FUSAGRI (1984), Guidi (1978) y Llamas *et al.*, (2000). Sin embargo, aún no se ha diseñado un procedimiento que sistematice las actividades y procesos principales implícitos en cualquier estudio de aforo de pozos de agua subterránea y facilite así la evaluación periódica de los pozos, sobre todo cuando en las zonas donde se ubican puedan ser objeto de adquisición de datos sísmicos, a través de los cuales se busca determinar la geometría de los cuerpos geológicos en el

subsuelo que puedan contener hidrocarburos (lagunas petrolíferas), frecuentemente ubicadas por debajo de los confinamientos de agua subterránea.

La adquisición de datos sísmicos, también conocida como prospección geosísmica, puede implicar la utilización de dos técnicas, una basada en el diseño, ubicación, instalación y control remoto de explosiones subterráneas, siguiendo normas nacionales e internacionales, y otra usando camiones vibradores en superficie para generar las ondas de energía que migran a través de las rocas del subsuelo. Independientemente de la técnica de adquisición de datos sísmicos empleada, las vibraciones producidas podrían afectar negativamente algunos atributos físico-químicos y bacteriológicos de las aguas subterráneas, así como la estructura de los pozos construidos para extraerla.

El objetivo de este trabajo es presentar un procedimiento que permita realizar el reconocimiento, descripción y medición de las variables cualitativas y cuantitativas del agua

PALABRAS CLAVE / Aforo de Pozos / Aguas Subterráneas / Data Sísmica / Diagrama de Flujo de Datos / Modelo /

Recibido: 07/07/2003. Modificado: 18/12/2003. Aceptado: 22/12/2003.

Neida Pineda. Ingeniero Agrícola, Universidad de Los Andes (ULA), Venezuela. M.Sc. en Ciencia del Suelo, Universidad Central de Venezuela (UCV). Investigadora, Grupo de Investigación de Suelos y Aguas (GISA). Profesora, Departamento de Ciencias Agrarias, Núcleo Universitario Rafael Rangel (NURR-ULA). Dirección: Av. Isaías Medina Angarita, Sector Carmona. Trujillo, Estado Trujillo, Venezuela. Apartado Postal N°177. e-mail: pineida@cantv.net

Edgar Jaimes. Ingeniero Agrónomo, La Universidad del Zulia (LUZ) Venezuela. Agrólogo, CIDIAT-ULA. M.Sc. y Doctor en Ciencia del Suelo, UCV. Coordinador, GISA. Profesor, Departamento de Ciencias Agrarias, NURR-ULA. e-mail: edgarja@cantv.net

Jesús Mejías. Ingeniero Agrícola, ULA. Cursante de Maestría en Recursos Hidráulicos (CIDIAT-ULA). Investigador, GISA. Profesor, Departamento de Ingeniería, NURR-ULA. e-mail: jesusandrea@cantv.net

José Mendoza. Ingeniero Agrícola, ULA. Agrólogo, CIDIAT-ULA. M.Sc. en Manejo de Cuenas Hidrográficas, ULA. Investigador, GISA. Instructor, Departamento de Ciencias Agrarias, NURR-ULA. e-mail: josegmm@hotmail.com

subterránea, del acuífero y de la infraestructura del pozo construido para extraerla mediante bombeo, aplicando la metodología de los Diagramas de Flujo de Datos (DFD) propuesta por Eckols (1987). A partir de dicho procedimiento será posible ordenar un conjunto de actividades de campo y de gabinete requeridas para la realización de los estudios de aforo de pozos de agua subterránea, haciendo énfasis en aquellas áreas que han sido sometidas o pueden ser objeto de exploración petrolífera o que estén ya en producción de hidrocarburos. El fin último de este trabajo es que los propietarios o comunidades que se benefician con la utilización de los pozos de agua subterránea y las empresas que realizan la adquisición de los datos sísmicos a través de las técnicas antes mencionadas, puedan contar con un procedimiento expedito que permita una evaluación rápida y sencilla del impacto negativo que pueda ocasionar sobre las variables antes indicadas, las vibraciones producidas durante dicha adquisición.

Como antecedentes para diseñar este procedimiento se consideraron dos modelos elaborados para realizar estudios de suelos. El primero fue elaborado por Fuentes (1992) para evaluar los suelos de pequeñas unidades de producción sin información básica de suelos y de otras disciplinas con suficiente detalle para conocer el potencial agrícola de las tierras. Dicho modelo fue parcialmente aplicado por su autor en la localidad de "Los Cañizos", en el estado Yaracuy, Venezuela, logrando generar información básica del área con la cual realizó una clasificación de suelos. El otro modelo fue elaborado por Pineda (1998) para definir tipos (clases) de suelos, en forma sencilla, de manera que sean identificables por agrotécnicos o agricultores avanzados, en lapsos más breves y a costos inferiores a los esperados con estudios de suelos convencionales. Este modelo se fundamenta en la descripción de atributos relevantes, fáciles de identificar por un usuario común no especializado en suelos, con el objeto de describir los tipos de suelos que puedan presentarse en un área dada. Fue validado por Pineda *et al.* (2000a) en un sector de 30365ha de la planicie aluvial del río Motatán, en el estado Trujillo, Venezuela, logrando definir y caracterizar tres tipos de suelos. Adicionalmente se elaboró una clave que permite identificarlos en campo. Además, la validación realizada por Pineda *et al.* (2000b) permitió comprobar que con la aplicación de este procedimiento

TABLA I
CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS POZOS DE AGUA SUBTERRÁNEA SELECCIONADOS PARA LOS ENSAYOS DE AFORO

Proyecto Geosísmico	Pozo N°	Coordenadas UTM		Tipo de pozo	Condición
		Este	Norte		
3D-98 (Dación-Ganso) ¹	1	419968	976889	Artesano	Inactivo
	4	419198	978170	Normal	Activo
	9	418392	977351	Artesano	Activo
	13	417924	981020	Normal	Activo
	20	413780	989934	Normal	Activo
	30	411867	979469	Artesano	Activo
	31	411935	979699	Artesano	Inactivo
	36	408037	982984	Artesano	Inactivo
	44	412708	977309	Artesano	Inactivo
	46	402593	983264	Normal	Activo
	49	402185	982952	Normal	Activo
	50	403440	982440	Normal	Activo
	55	408284	977963	Artesano	Inactivo
	71	401133	988228	Normal	Activo
	74	399541	988034	Normal	Activo
	82	397728	991354	Normal	Activo
	100	390823	980809	Artesano	Inactivo
	107	385776	980653	Artesano	Inactivo
	114	384499	981982	Artesano	Activo
127	379641	983759	Normal	Activo	
130	386902	985725	Artesano	Activo	
424-15-97-3D (La Ceiba) ²	23	276603	1044253	Normal	Activo
	47	275437	1044926	Saltante	Activo
	103	278043	1053722	Normal	Activo
	121	277780	1053964	Normal	Activo
	145	277552	1055211	Normal	Activo
	164	279005	1037856	Saltante	Activo
	333	275765	1032026	Normal	Activo
	340	276815	1032498	Saltante	Activo
	384	276755	1033315	Saltante	Activo
	427	281909	1046422	Normal	Activo
	578	282711	1048638	Normal	Activo
	689	284733	1046030	Normal	Activo
	776	276399	1032803	Normal	Inactivo
	986	282674	1038355	Saltante	Activo
	1028	287488	1038621	Normal	Activo
	1034	282311	1037945	Saltante	Activo
	1041	281936	1037622	Saltante	Activo
1044	280277	1037733	Saltante	Activo	
1060	281600	1036800	Saltante	Activo	
1069	281397	1039485	Normal	Activo	
1074	281747	1038973	Saltante	Activo	

¹ Ubicado en el Municipio Freites, Estado Anzoátegui, Venezuela.

² Ubicado en los Municipios La Ceiba y Sucre, Estado Trujillo, Venezuela

Fuente: EXGEO, C.A. (1997) y EXGEO, C.A. (1999)

to los estudios de suelos pueden ser realizados en menor tiempo y a un costo menor en comparación con los levantamientos agrológicos convencionales.

Materiales y Métodos

El modelo diseñado a fin de sistematizar las actividades y procesos implícitos en la realización de los estudios de aforo de pozos de agua subterránea, fue desarrollado a partir de los fundamentos básicos de la

teoría de sistemas, usando el procedimiento para el desarrollo de sistemas de información formulado por Eckols (1987). Este modelo considera los pasos necesarios para crear un diagrama de flujo de datos, define los requerimientos del sistema y diseña la base de datos. El modelo consta de Diagramas de Flujo de Datos (DFD), los cuales muestran la información que entra a un sistema, la información que sale de él y dónde es transformada (Eckols, 1987). Estos diagramas son de tres tipos, que van de lo más sencillo a

lo más complejo, de acuerdo al siguiente orden:

- 1- DFD de contexto, que sirve para definir al sistema con relación a su entorno.
- 2- DFD de análisis, que sirve para definir los procesos de conexión entre el sistema y su entorno, indicando el camino que sigue la información y los sitios donde será almacenada o transferida.
- 3- Diagramas expandidos, que se utilizan para identificar los subprocesos implícitos en cada uno de los procesos y otras interconexiones entre ellos. Estos diagramas se expanden hasta que el interesado comprende a cabalidad los procesos del sistema en elaboración.

Estos tres tipos de DFD se van elaborando en pasos sucesivos, interactivos y dialécticos, de tal manera que el sistema a crear va adquiriendo su forma definitiva paulatinamente.

Para una mejor comprensión de los DFD, a continuación se definen las partes que lo constituyen, de acuerdo a Eckols (1987):

Terminadores o receptores. Es una unidad situada fuera de un sistema; constituye una fuente o destino de la información, y gráficamente se representa como un rectángulo. Cada elemento de información que entra a un sistema o sale de él debe venir o llegar a un terminador-receptor, respectivamente.

Proceso. Es el sitio donde un elemento de información es transformado. En el DFD está representado por un círculo.

Flujo de datos. Es una representación conceptual de un enlace de información. Se señala en un diagrama por una línea con una flecha que indica la dirección del flujo.

Almacenamiento de datos. Es un archivo que constituye un área de retención de la información requerida por más de un proceso. Se representa, al final del flujo de datos, con dos líneas paralelas horizontales.

Para elaborar el modelo sistematizado, objeto de esta investigación, se seleccionaron aleatoriamente 42 pozos de agua subterránea de un total de 1000 que fueron previamente ubicados y caracterizados por el Grupo de Inves-

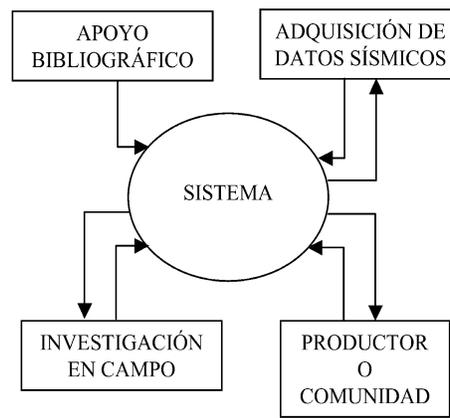


Figura 1. Diagrama de Flujo de Datos de Contexto.

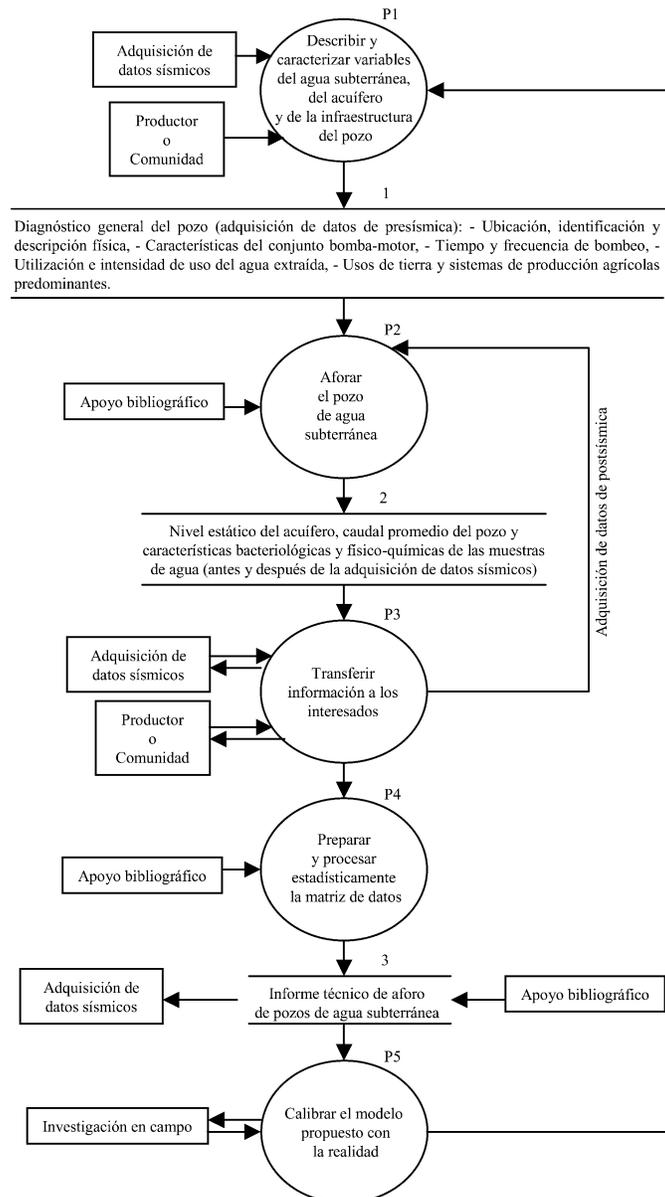


Figura 2. Diagrama de Flujo de Datos de Análisis.

tigación de Suelos y Aguas (GISA), adscrito al Núcleo Universitario "Rafael Rancel" de la Universidad de Los Andes (ULA), para la empresa Exploraciones Geosísmicas, C.A. (EXGEO, C.A.), durante la adquisición de datos sísmicos en el área del Bloque de La Ceiba y en los campos Dación y Ganso, localizados en los estados venezolanos Trujillo y Anzoátegui, respectivamente. En la Tabla I se indican las características generales de los pozos de agua subterránea seleccionados y su ubicación. Para la compilación de la información obtenida de los estudios de aforo de los pozos seleccionados se utilizaron los modelos actualizados de planilla elaborados por el GISA en el período de adquisición de los datos sísmicos ejecutados por EXGEO, C.A. en las áreas antes mencionadas.

Resultados y Discusión

Construcción del DFD de contexto

La Figura 1 muestra el DFD de contexto elaborado, que consta de

a- **Fuentes de información** (insumos o ingresos al sistema).

- **Adquisición de datos sísmicos.** La empresa encargada de la adquisición de datos sísmicos determina los requerimientos de información y los objetivos del estudio (sistema). El objetivo general del sistema siempre consistirá en realizar estudios de aforo de pozos de agua subterránea en áreas que estén o no sujetas a exploraciones geosísmicas. Las diferencias entre un estudio y otro radicarán en los objetivos específicos y localización.

- **Apoyo bibliográfico.** Suministra al sistema las referencias bibliográficas para definir las metodologías a utilizar en el aforo de los pozos, en el análisis de las muestras de agua y para el procesamiento estadístico de la matriz de datos. También proporciona información básica referente al área sometida a exploración geosísmica.

- **Productor.** Proporciona datos importantes sobre el pozo de agua subterránea y su utilización.

- *Investigación en campo.* Aporta la información básica recolectada en campo para calibrar los resultados, permitiendo el ajuste del modelo a una situación real.

b- *Terminadores o receptores de información*

- *Adquisición de datos sísmicos.* Recibe la información básica del pozo (adquisición de datos previos a la sísmica), del aforo en sí y del procesamiento estadístico de la matriz de datos (adquisición de datos durante los ensayos de presísmica y postsísmica), que conforman el informe técnico de aforo de pozos de agua subterránea.

- *Productor.* Recibe, bajo el formato de planillas los resultados obtenidos del aforo, antes y después de la adquisición de datos sísmicos.

- *Investigación en campo.* La información recibida permite definir líneas de investigación.

Construcción del DFD de análisis

Este diagrama se muestra en la Figura 2. Los procesos, representados por círculos, están identificados como P1 a P5 y los archivos, representados por doble línea, están señalados sólo con un número arábigo. El diagrama consta de 5 procesos, 3 archivos de almacenamiento de información y una serie de flujo de datos (flechas) que transitan dentro del sistema o entre éste y su entorno.

P1. Se activa al iniciar el estudio de aforo de pozos de agua subterránea, a solicitud de los interesados (empresas que realizan ensayos para la adquisición de los datos sísmicos, productores o comunidades). Requiere de la información aportada por el productor sobre cada uno de los pozos que se van a aforar. El técnico encargado del aforo describe y caracteriza, en campo, todas las variables previas al aforo del pozo (adquisición de datos de presísmica). Cuando la información satisface completamente los requerimientos del sistema se almacena en el archivo 1, que incluye las características del pozo, del conjunto bomba-motor del pozo, de intensidad de uso del acuífero y datos generales de uso.

P2. Consiste en el aforo en sí del pozo de agua subterránea, antes y después de realizar la adquisición de datos sísmicos. Requiere de la fuente de 'Apoyo bibliográfico' para determinar el método de aforo a utilizar. El técnico encargado del aforo recaba la información generada por el aforo del pozo, previo y posterior-

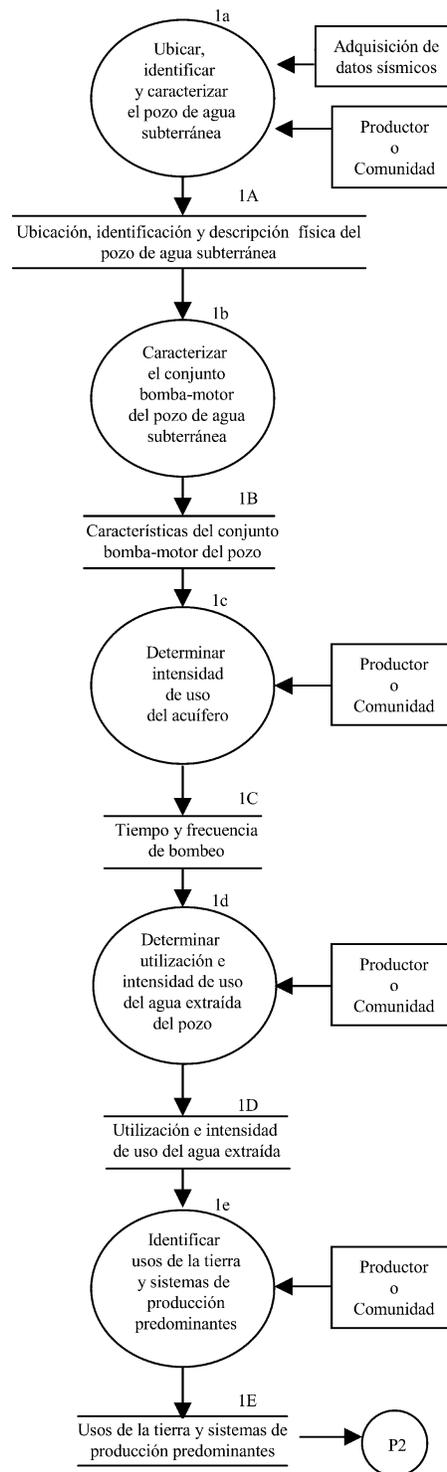


Figura 3. Expansión del proceso P1: Describir y Caracterizar Variables del Agua Subterránea, del Acuífero y de la Infraestructura del Pozo.

mente a la adquisición de datos sísmicos, y la información generada es almacenada en el archivo 2, que comprende datos del aforo y características de las aguas.

P3. La información almacenada en los archivos 1 y 2 (presísmica), es verificada y aprobada por el productor o persona autorizada por él y pasa a la empresa encargada de la adquisición de datos sísmicos para que sean tomadas decisiones sobre la ubicación de los puntos de tiro (PT) con respecto a los pozos de agua subterránea o cualquier infraestructura de interés o uso comunitario o industrial (pozos sépticos, rellenos sanitarios, cementerios, lagunas de oxidación, confinamiento de lodos o ripios derivados de la actividad industrial, estaciones distribuidoras de gasolina, entre otros), cuyo deterioro o daño pudieran contaminar dichas aguas. Una vez ejecutadas las explosiones, se activa nuevamente P2; es decir se realiza el segundo aforo (posterior a la adquisición de datos sísmicos), se almacena la información y se activa P3 de nuevo.

P4. Consiste en recabar, preparar y tabular en una matriz base todos los datos generados por el aforo de cada uno de los pozos de agua subterránea, antes y después de la adquisición de los datos sísmicos, seleccionar las variables cuantitativas a ser utilizadas para el procesamiento estadístico y determinar los métodos o paquetes estadísticos que servirán para procesar dicha matriz base, utilizando la fuente de 'Apoyo bibliográfico'. La información generada por P4 más los antecedentes de otros estudios de aforo en el área de estudio, información sobre ubicación geográfica y político-administrativa del área, clima, hidrología, geología, usos agrícolas, entre otros, es almacenada en el archivo 3 que constituye el Informe Técnico de Aforo de pozos de agua subterránea, el cual es entregado a la empresa encargada de la adquisición de los datos sísmicos como resultado final del estudio de aforo de pozos de agua subterránea.

P5. Este proceso comprueba la aplicabilidad del modelo, es decir ejecutar o validar en campo el modelo propuesto para la sistematización de los estudios de aforo de pozos de agua subterránea. Requiere del terminador receptor Investigación en campo.

Construcción de los diagramas expandidos

En ellos los subprocesos, representados por círculos, están identificados con el número arábigo correspondiente a cada proceso, seguido por una letra minúscula. Los archivos están señalados con un número arábigo

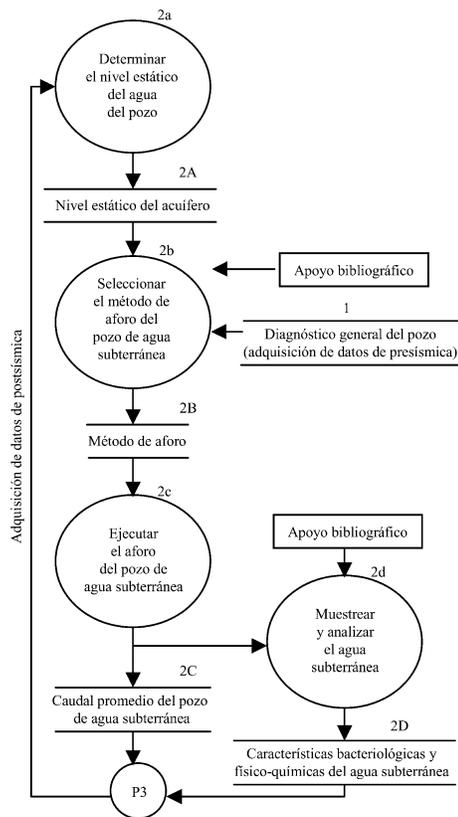


Figura 4. Expansión del Proceso P2: Aforar el Pozo de Agua Subterránea.

seguido por una letra mayúscula. Estos diagramas permiten comprender a nivel funcional cada uno de los procesos. En las diferentes expansiones se conservan los mismos flujos de información que en los DFD iniciales, expresados con mayor detalle.

La Figura 3 muestra la expansión del proceso P1, constituido por 5 subprocesos:

Subproceso 1a, en el que se recaba la información sobre el pozo y se hace la descripción física. Requiere de la fuente 'Adquisición de datos sísmicos', ya que el departamento de permisos de la empresa encargada de realizar los estudios aportará información obtenida en la fase del levantamiento catastral, referente al número de permiso, mapa donde se ubica la finca, número de línea y de estaca más cercana al pozo, distancia de éste al punto de tiro (PT); y también requiere de la fuente 'Productor o Comunidad', que suministrará su nombre, el de la finca y el del sector más cercano a ella, así como información referente a fecha de perforación, tiempo de servicio, diámetro y profundidad de entubado y fecha de rehabilitación del pozo (si es el caso). Toda la información recabada conformará el archivo 1A.

Subproceso 1b, donde se recopila toda la información referente al conjunto bomba-motor del pozo (marca, potencia, posición, tipo, diámetros de succión y salida, profundidad de succión y tiempo de funcionamiento). La información recopilada es almacenada en el archivo 1B.

Subproceso 1c, cuya función es determinar el tiempo y la frecuencia de bombeo del acuífero, según información del productor o la comunidad, que se guarda en el archivo 1C.

Subproceso 1d, donde se determina el uso al que se destina el agua extraída del pozo (humano, animal, agrícola, industrial u otro) y se especifica la intensidad de uso (para riego, uso humano, animal o industrial), por lo que requiere de la fuente 'Productor o Comunidad'. La información aportada es almacenada en el archivo 1D.

Subproceso 1e, cuya función es identificar los sistemas de producción para los cuales se destina el agua extraída del pozo (agrícola-vegetal, agrícola-animal, agrícola-forestal, forestal, recreacional-ecológico, conservacionista y protección animal) y la información recabada es almacenada en el archivo 1E.

La Figura 4 muestra la expansión del proceso P2, constituido por 4 subprocesos:

Subproceso 2a. El técnico encargado del aforo mide en campo la distancia vertical entre la superficie del terreno y el nivel del agua subterránea en el pozo. La información es almacenada en el archivo 2A.

Subproceso 2b. Su función es seleccionar el método que se utilizará para medir en campo el caudal promedio del pozo de acuerdo a sus características, por lo que requiere de la información almacenada en el archivo 1 y de la fuente 'Apoyo bibliográfico'. La información sobre el método de aforo conformará el archivo 2B.

Subproceso 2c. Se procede a realizar el aforo del pozo y la información generada es almacenada en el archivo 2C.

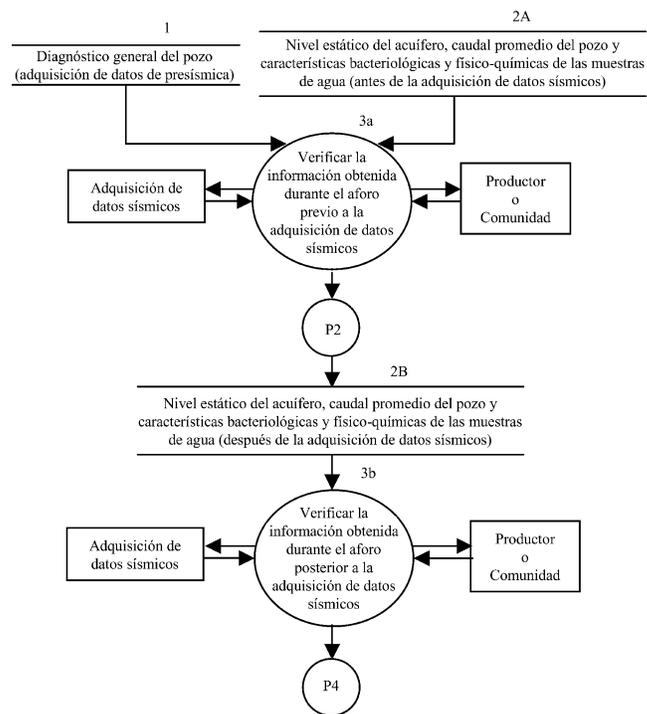


Figura 5. Expansión del proceso P3: Transferir Información a los Interesados.

Subproceso 2d. Parte de este subproceso se realiza simultáneamente con 2c, cuando se toman las muestras de agua para su posterior análisis físico-químico y bacteriológico. De la fuente 'Apoyo bibliográfico' se seleccionan los procedimientos y técnicas a utilizar, tanto para el muestreo como para el análisis de la calidad del agua subterránea. La información originada es almacenada en el archivo 2D.

La información obtenida hasta el momento pasa al proceso P3. Luego de ejecutada la adquisición de datos sísmicos se activa nuevamente P2, es decir se realiza el segundo aforo (posterior a dicha adquisición).

La Figura 5 ilustra la expansión del proceso P3, constituido por 2 subprocesos:

Subproceso 3a. Su propósito es comprobar la veracidad de toda la información recabada en los procesos 1 y 2, por parte del productor o de la comunidad y de la empresa encargada de la adquisición de datos sísmicos, antes de realizar los estudios exploratorios (presísmica). Requiere de la información almacenada en los archivos 1 y 2A, e interactúa con la fuente 'Adquisición de datos sísmicos' a cargo de la empresa que, además de aprobar la información recabada, se encargará de tomar las medidas pertinentes con respecto a la ubicación de los puntos de tiro (PT) que es-

tén cercanos a la infraestructura de los pozos de agua subterránea. Además interactúa con la fuente 'Productor o Comunidad', ya que éstos deben dar la aprobación a la información recabada durante la etapa de adquisición de datos de presísmica. Al finalizar este subproceso y luego de la adquisición de datos de presísmica es que se activa P2 nuevamente.

Subproceso 3b. Consiste en la comprobación y aprobación de toda la información recabada en P2, después de realizar los estudios exploratorios (postsísmica), por parte del productor o de la comunidad y de la empresa encargada de la adquisición de datos sísmicos. Requiere de la información, obtenida durante la adquisición de datos de postsísmica, almacenada en el archivo 2B. Interactúa con las fuentes receptoras 'Adquisición de datos sísmicos' y 'Productor o Comunidad', quienes deben verificar y aprobar la información almacenada en 2B.

Si existe alguna inconformidad con respecto a la información recabada (archivos 1 y 2) ya sea por parte del Productor, de la Comunidad o de la empresa encargada de la adquisición de datos sísmicos, el técnico encargado del aforo junto con la parte interesada procede a verificar, en campo, la información sobre la cual existe duda o inconformidad.

La Figura 6 ilustra la expansión del proceso P4, constituido por 4 subprocesos:

Subproceso 4a. Consiste en la recopilación de la información obtenida, tanto en la adquisición de datos de presísmica como de postsísmica, y su clasificación de acuerdo a variables de identificación, descripción y caracterización del pozo, variables de uso e intensidad de uso del agua subterránea y variables de aforo del pozo. En este subproceso es necesario codificar en forma numérica las variables cualitativas, antes de ingresar la información a la matriz base, para que puedan ser procesadas estadísticamente; así por ejemplo la variable condición actual del pozo puede ser codificada como activo (1), dañado (2) o inactivo (3). Este subproceso requiere de la información proveniente de los archivos 1 y 2, y

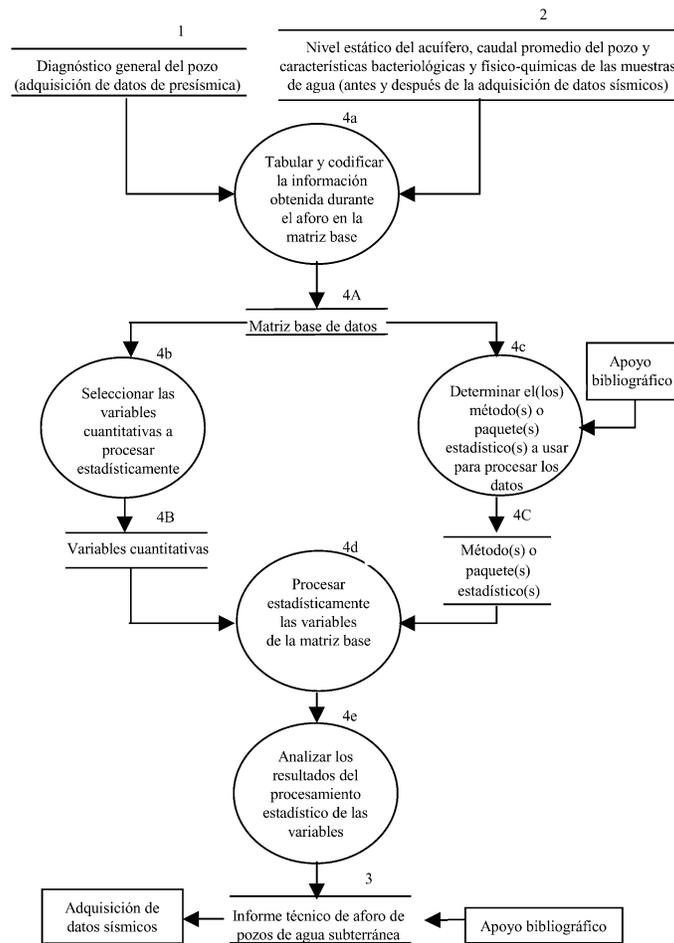


Figura 6. Expansión del proceso P4: Preparar y Procesar Estadísticamente la Matriz de Datos.

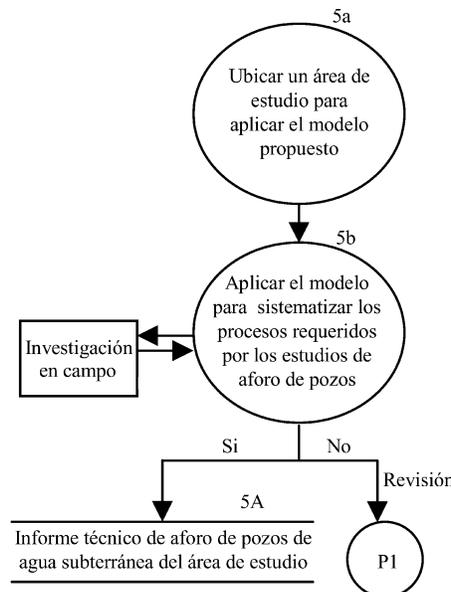


Figura 7. Expansión del proceso P5: Calibrar el Modelo Propuesto con la Realidad.

la información generada es almacenada como un matriz en el archivo 4A.

Subproceso 4b. Selecciona las variables cuantitativas que serán utilizadas en el procesamiento estadístico, tales como tipo de pozo, condición y profundidad del pozo, tipo y potencia de la bomba, diámetro y profundidad de succión, diámetro de salida, tiempo y frecuencia de bombeo, tipo de uso, lámina, frecuencia y tiempo de riego, superficie sembrada, número de personas beneficiadas, cantidad utilizada, nivel estático del agua subterránea, caudal y características bacteriológicas y físico-químicas del agua subterránea. Las variables seleccionadas constituyen el archivo 4B.

Subproceso 4c. Su función es seleccionar el(los) método(s) estadístico(s) que se utilizará(n) para realizar la estadística descriptiva de las variables cuantitativas que conforman la matriz base. Requiere, de la fuente 'Apoyo bibliográfico' y la información generada conformará el archivo 4C.

Subproceso 4d. Para el procesamiento estadístico de las variables de la matriz base se requiere de los archivos 4B y 4C.

Subproceso 4e. Una vez procesada cada una de las variables se procede a analizar los resultados obtenidos, análisis que constituye parte del archivo 3. La fuente 'Apoyo bibliográfico' aportará información referente a ubicación geográfica y político-administrativa del área de estudio, antecedentes de otros estudios de aforo realizados, información sobre clima, hidrología, geología, usos agrícolas, y toda aquella otra información que se considere relevante. Toda esta información formará parte del archivo 3, el cual es entregado a la empresa encargada de los estudios de geosísmica como resultado final del estudio de aforo de pozos de agua subterránea en un área determinada.

En la Figura 7 se presenta la expansión de P5, constituido por 2 subprocesos:

Subproceso 5a, a través del cual se selecciona un área de estudio donde se estén realizando estudio de geosísmica con fines de exploración petrolífera,

para aplicar el modelo propuesto que permite realizar estudios de aforo, a los fines de comprobar y mejorar su aplicabilidad.

Subproceso 5b, que consiste en aplicar el modelo propuesto en el área de estudio seleccionada en 5a para comprobar su aplicabilidad, por lo tanto interactúa con la fuente terminador 'Investigación en campo'. Si el modelo propuesto es aplicable, la información se almacena en 5A, y en caso de no ser aplicable se activa *PI* para que el sistema sea revisado y realizarle los cambios o correcciones que sean pertinentes.

Conclusiones y Recomendaciones

La sistematización del modelo elaborado para realizar estudios de aforo de pozos de agua subterránea diseñado por medio de los DFD (de contexto, de análisis y expandidos) posibilita la utilización de información existente y la generación de información adicional facilitando, en primer lugar, la descripción y caracterización general de los pozos (adquisición de datos de presísmica), y en segundo lugar permitiendo la realización del aforo de los pozos y la determinación de las características físicas, químicas y bacteriológicas del agua extraída. En tercer lugar; facilita la redacción del informe técnico de aforo de pozos de agua subterránea de un área sometida a exploraciones geotécnicas.

Se recomienda a Petróleos de Venezuela, S.A. (PDVSA) y a otras instituciones o empresas nacionales e internacionales la adopción del modelo sistematizado propuesto para la evaluación de los impactos producidos por los estudios de adquisición de datos sísmicos sobre los componentes de los pozos de agua subterránea o de cualquier infraestructura de interés o de uso comunitario o industrial, entre las que

se incluyen pozos sépticos, lagunas de oxidación, rellenos sanitarios, lagunas o represamientos de aguas superficiales, depósitos a cielo abierto de lodos o rípios provenientes de la actividad industrial, estaciones distribuidoras de gasolina, entre otros, cuyo deterioro o daño pudieran contaminar las aguas subterráneas.

El modelo sistematizado debería ser aplicado en otras regiones del país para comprobar su aplicabilidad y, en caso necesario, realizar los ajustes que sean pertinentes.

Para pruebas de validación subsiguientes es aconsejable que el modelo sistematizado propuesto en este trabajo sea objeto de una calibración de acuerdo con las normas de calidad ISO 9001 y 14000, con el propósito de verificar el comportamiento del modelo propuesto y contribuir a su mejoramiento continuo.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento al Consejo de Desarrollo Científico, Humanístico y Tecnológico (CDCHT) de la Universidad de Los Andes (ULA), Venezuela, por el financiamiento de este trabajo en el proyecto NURR-C-323-02-01-B, y a la empresa Exploraciones Geosísmicas, C.A. (EXGEO, CA) por la colaboración prestada para la realización de este trabajo.

REFERENCIAS

- Arocha R (1980) *Abastecimiento de agua (Teoría y Diseño)*. Editorial Vegas. Caracas, Venezuela. 284 pp.
- Canter L (1998) *Manual de evaluación de impacto ambiental. Técnicas para la elaboración de estudios de impacto*. 2ª ed. McGraw-Hill. Madrid, España. 540 pp.
- Custodio E, Llamas R (1976) *Hidrología subterránea*. Tomos I y II. Omega. Barcelona, España. 2100 pp.
- Eckols S (1987) *Cómo diseñar y desarrollar sistemas de información. Un enfoque práctico al análisis, diseño e implementación de sistemas computarizados*. 2ª ed. Lito-Jet. Caracas, Venezuela. 358 pp.
- EXGEO, C.A. (1997) *Aforamiento de pozos. Proyecto 3D-La Ceiba. Informe final*. Caracas, Venezuela. 89 pp.
- EXGEO, C.A. (1999) *Aforamiento de pozos. Proyecto sísmico campos Dación-Ganso. 3D-98. Informe técnico final*. Caracas, Venezuela. 62 pp.
- Factor A (1971) *Notas generales sobre aguas subterráneas: pruebas de bombeo y aforos*. CIDIAT-ULA. Mérida, Venezuela. 21 pp.
- Fuentes O (1992) *Una metodología para evaluar el potencial agrícola de las tierras en pequeñas unidades de producción. Lugar de aplicación: Los Cañizos, estado Yaracuy*. Tesis. Facultad de Agronomía. Universidad Central de Venezuela. Maracay, Venezuela. 205 pp.
- FUSAGRI (1984) *Riego en las fincas*. Serie Petróleo y Agricultura. N° 4. 2ª ed. FUSAGRI. Maracay, Venezuela. 137 pp.
- Guidi R (1978) *El Agua. Curso para la Formación de Coordinadores de Educación Ambiental*. Vol. 4. Dirección de Planificación de los Recursos Hidráulicos. MAR-NR. Caracas, Venezuela. 56 pp.
- Linsley R, Kohler M, Paulus J (1982) *Hydrology for engineers*. 3ª ed. McGraw Hill. New York, EEUU. 386 pp.
- Llamas M, Hernández-Mora N, Fornés J, Martínez L (2000) *Aguas subterráneas: retos y oportunidades*. Fundación M. Botín. Mundiprensa. España. 420 pp.
- Pineda N (1998) *Definición de tipologías de suelos para la evaluación de tierras de la planicie aluvial del río Motatán, estado Trujillo*. Tesis. Facultad de Agronomía. Universidad Central de Venezuela. Maracay, Venezuela. 109 pp.
- Pineda N, Elizalde G, Jaimes E, Ochoa G (2000a) Validación de una metodología para definir tipos de suelos en forma sencilla. Parte I. *Agronomía Tropical* 50: 201-228.
- Pineda N, Elizalde G, Jaimes E, Ochoa G (2000b) Validación de una metodología para definir tipos de suelos en forma sencilla. Parte II. *Agronomía Tropical* 50: 477-498.