

**República de Cuba
Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INRH)**

**Proyecto de Mejoramiento de la
Capacidad de Desarrollo y Manejo
del Agua Subterránea para la
Adaptación al Cambio Climático
en la República de Cuba**

Informe Final

Enero de 2012

**Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA)
KOKUSAI KOGYO CO., LTD.**

República de Cuba



Superficie: 110,000 km²
Poblacion: 11.17 millones (año 2002)
PIB per capita: 2,600 US\$(año 2003)



Cuba

© 2003 MapInfo/Trimble
© 2003 Eures Technology



Camaguey
Las Tunas
Holguin

© 1993-2003 Microsoft Corporation. All rights reserved.

Desarrollo de la Capacidad sobre el Desarrollo y Manejo del Agua Subterránea para la Adaptación al Cambio Climático en la República de Cuba

Mapa de Ubicacion del Area del Proyecto

Fotos del Proyecto (1/8)

Prospección geofísica



Capacitación en aula sobre la prospección eléctrica

Sobre la prospección de resistividad bidimensional, el experto en el estudio de agua subterránea enviado a corto plazo en 2006 dio un asesoramiento técnico y al iniciar esta capacitación los principales técnicos tenían conocimiento teórico en general.



Prácticas de prospección eléctrica

En la localidad modelo (distrito Sola, Provincia de Camagüey), se llevaron a cabo prácticas de prospección bajo el asesoramiento de expertos japoneses, y en ausencia de éstos, los principales técnicos locales dirigieron la prospección en los lugares y líneas de medición establecidos para la prospección.



Inspección de recepción de los equipos de prospección electromagnética y prueba de funcionamiento

Debido a retraso en la adquisición de equipos de prospección electromagnética, la capacitación en prospección electromagnética no pudo iniciarse según calendario programado, y se inició a partir del 3er año.



Curso de capacitación en prospección electromagnética

En agosto de 2010 comenzó el curso de capacitación con el estudio de conceptos de la prospección electromagnética y equipos a utilizar. En septiembre, una vez superadas una serie de prácticas de prospección, se regresó al aula para estudiar la revisión de datos obtenidos y métodos de análisis.



Prácticas de prospección electromagnética

Entre agosto de 2010 y marzo de 2011, incluyendo un período de ausencia de los expertos, se llevó a cabo un estudio y prácticas de prospección electromagnética a fin de captar la estructura hidrogeológica. En marzo de 2011 se amplió la capacitación en aula para abordar el análisis de datos obtenidos.



Prácticas de registro de pozos

Debido a que no había sido posible dar suficiente capacitación sobre registro de pozos aprovechando pozos piloto, se retomó la capacitación en registro de pozos en el 4o año utilizando esta vez los equipos donados.

Fotos del Proyecto (2/8)

Hidrogeología



Exploración de campo

Desde el 1er año hasta la primera mitad del 2o año, los técnicos de EIPH Camagüey continuaron las exploraciones y mediciones de campo, y en febrero de 2010 los participantes de la capacitación sobre el modelo de agua subterránea discutieron en el campo sobre la estructura hidrogeológica en el distrito Sola.



Medición de caudal fluvial

Entre agosto y octubre de 2010, los técnicos de EIPH Camagüey previamente formados por los expertos JICA en la medición del caudal fluvial con medidor electromagnético de velocidad de flujo, hicieron la medición del caudal fluvial en los ríos Máximo y Jigüey.



Estudio de calidad de agua

En el distrito Sola, con el verificador de calidad de agua donado, los técnicos de EIPH Camagüey continúan una sencilla medición de calidad de agua en el campo.



Peforación de pozo

En el distrito Sola, a través de una perforación (JICA_01), se verificó la geología subterránea, y se llevó a cabo una comparación con los resultados de la prospección geofísica.



Pozo exploratorio terminado

Culminada la perforación del pozo exploratorio (JICA_01), se le instaló un medidor automático del nivel de agua. Este pozo exploratorio de 200m de profundidad es el primer pozo de esta profundidad en el distrito de Sola, y es deseable una recolección continua de datos.



Práctica de la prueba de bombeo

En septiembre de 2011, utilizando pozos existentes en el distrito Sola, se llevó a cabo una capacitación sobre pruebas de bombeo, y análisis de datos.

Fotos del Proyecto (3/8)

Modelo de agua subterránea



1ª capacitación sobre modelos de agua subterránea

Como parte de la formación en modelos de agua subterránea, en febrero de 2009 en La Habana se dio a los principales técnicos un curso introductorio de capacitación sobre modelos de agua subterránea.



2ª capacitación sobre el modelo de agua subterránea

En junio de 2009 en CITA, se dieron conferencias y ejercicios sobre la metodología del modelo de agua subterránea. En esta capacitación participaron, además de los principales ingenieros, personal de GEARH y CITA.



3ª capacitación sobre el modelo de agua subterránea

En noviembre de 2009 en CITA, utilizando FEFLOW (programa de análisis de agua subterránea según el método de elementos finitos) se hicieron ejercicios sobre el modelo de agua subterránea y de movimiento de sustancias.



5ª capacitación sobre el modelo de agua subterránea

En junio de 2010 en CITA, utilizando MODFLOW (programa de análisis de agua subterránea según el método de diferencias finitas), se hicieron ejercicios sobre la preparación e ingreso de datos y discusiones sobre la delimitación del modelo, visitando el campo.



6ª capacitación sobre el modelo de agua subterránea

De febrero a marzo de 2011 en CITA, comenzó la elaboración de un modelo detallado del sitio modelo y se llevó a cabo una capacitación sobre la conversión numérica de datos para ingresarlos en el modelo, como parámetros de la estructura geológica subterránea y las características de estratos.



7ª capacitación sobre el modelo de agua subterránea

En junio de 2011 en CITA, se hicieron ejercicios de verificación y cálculo predictivo para el distrito de Sola, completando así la capacitación en modelos de agua subterránea.

Fotos del Proyecto (4/8)

SIG



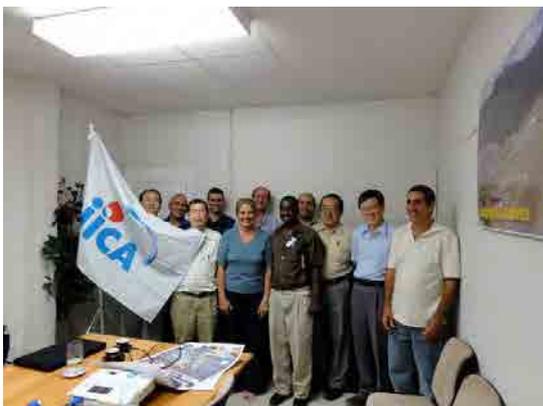
Capacitación sobre SIG en CITA

La capacitación sobre SIG en CITA se realizó en dos ocasiones: en julio de 2009 y entre noviembre y diciembre de 2009.



Capacitación sobre SIG en CITA

En ambas ocasiones, además de los ingenieros principales, 9 técnicos de EIPH/EIPI y CITA participaron en los cursos de capacitación sobre SIG realizados en CITA.



Seminario sobre tecnología general en la Provincia de Holguín

En este seminario realizado el 22 de junio de 2010, los ingenieros principales que habían completado la capacitación del Resultado 3, presentaron la situación del establecimiento de SIG en la Provincia de Holguín.



Seminario sobre tecnología general en la Provincia de Las Tunas

En este seminario realizado el 24 de junio de 2010, los ingenieros principales que habían completado la capacitación del Resultado 3, presentaron la situación del establecimiento de SIG en la Provincia de Las Tunas.



Seminario sobre desarrollo y manejo del agua subterránea en la Provincia de Camagüey

En este seminario realizado el 21 de junio de 2010, los ingenieros principales que habían completado la capacitación del Resultado 3, presentaron la situación del establecimiento de SIG en la Provincia de Camagüey.



Seminario sobre tecnología general de SIG en la Provincia de Camagüey (CITA)

En el seminario sobre SIG realizado entre el 30 de junio y el 2 de julio de 2010 con el técnico de CITA como instructor, participaron también los expertos JICA que aportaron asesoramiento técnico según necesidades.

Fotos del Proyecto (5/8)

Manejo de agua subterránea



Capacitación sobre desarrollo y manejo del agua subterránea

Antes de iniciar la transferencia de tecnología a los ingenieros principales, entre octubre y noviembre de 2010 los expertos JICA impartieron un seminario en forma de conferencia sobre el manejo de los recursos hídricos subterráneos.



Id. a la izquierda (participantes en el seminario de capacitación)

La capacitación descrita a la izquierda tuvo lugar en las Provincias de Camagüey, Holguín, Las Tunas, Ciego de Ávila, Villa Clara y Matanzas, medio día en cada lugar.



Capacitación sobre desarrollo y manejo del agua subterránea en la Provincia de Camagüey

El 21 de junio de 2011 se realizó un seminario sobre el desarrollo y manejo del agua subterránea, con ponencias de los ingenieros principales que habían recibido la capacitación del Resultado 1-3. El seminario cubrió también aspectos generales de tecnología.



Capacitación sobre evaluación y manejo del agua subterránea en la Provincia de Granma

Dos ingenieros principales que habían recibido la capacitación del Resultado 1-3 fueron los ponentes de este seminario, realizado el 16 de septiembre de 2011 con la participación de 11 técnicos.



Capacitación sobre evaluación y manejo del agua subterránea en la Provincia de Santiago de Cuba

Dos ingenieros principales que habían recibido la capacitación del Resultado 1-3 fueron los ponentes de este seminario, realizado el 19 de septiembre de 2011 con la participación de 17 técnicos.



Capacitación sobre evaluación y manejo del agua subterránea en La Habana

En diciembre de 2011 se realizó un seminario sobre la evaluación y manejo del agua subterránea, que sirvió también como presentación de los resultados del proyecto.

Fotos del Proyecto (6/8)

Seminarios de tecnología general

Seminarios abiertos



Seminario sobre tecnología general de SIG en Villa Clara

Una vez realizada la transferencia de tecnología a los ingenieros principales, a partir del 3^{er} año se iniciaron seminarios abiertos para técnicos en general. Entre el 8 y el 10 de marzo de 2011, con los ingenieros principales como ponentes, participaron 24 técnicos de EIPH • GEARH.



Seminario sobre tecnología general de prospección geofísica en la Provincia de Pinar del Río

Los ingenieros principales que habían recibido la capacitación del Resultado 1 fueron los ponentes de este seminario, realizado entre el 12 y el 14 de septiembre de 2011, con 27 participantes entre técnicos y universitarios.



Seminario sobre modelo de agua subterránea en La Habana

Un ingeniero principal que había recibido la capacitación del Resultado 2 fue el ponente de este seminario, realizado el 26 de septiembre de 2011, con la participación de 11 técnicos.



Seminario sobre tecnología general de SIG en la Provincia de Granma

Los ingenieros principales que habían recibido la capacitación del Resultado 3 fueron los ponentes de este seminario, realizado entre el 14 y el 15 de septiembre de 2011, con la participación de 14 técnicos.



Seminario abierto

El 22 de septiembre de 2011 se realizó en la Universidad de Camagüey un seminario abierto dirigido a universitarios interesados en general, en el que los ingenieros de EIPH Camagüey y CITA presentaron los resultados del estudio en el distrito Sola.



Presentación de los resultados del proyecto

En diciembre de 2011 se celebró en La Habana una presentación de los resultados del proyecto.

Fotos del Proyecto (7/8)

Capacitación en el Japón



Capacitación sobre ejemplos de SIG

Cinco ingenieros participaron en la capacitación en el Japón. En Kokusai Kogyo Co., Ltd., empresa a la que pertenecen algunos miembros del grupo de expertos JICA, recibieron explicaciones sobre ejemplos de bases de datos SIG/BD creadas para aguas subterráneas.



Visita al observatorio de subsidencia

Hubo explicaciones sobre las condiciones topográficas y geológicas y de fluctuación del nivel de agua subterránea y situación de subsidencia en Tokio, y se visitó el observatorio de subsidencia, comprobando huellas de la subsidencia.



Visita de cortesía a la Universidad de Fukushima

Visitaron la Universidad de Fukushima, donde trabaja el Prof. Naoaki Shibasaki, experto en modelo de agua subterránea 2. Allí recibieron explicaciones sobre la situación del agua subterránea en la Prefectura de Fukushima, a lo que siguió un intercambio de opiniones con el personal de la universidad.



Visita a la Presa de Nichu

Visitaron la Presa de Nichu, construida sobre el río Oshikiri, municipio de Kitakata, Prefectura de Fukushima, y recibieron explicaciones sobre los datos principales de la Presa y sus instalaciones. En el municipio de Kitakata hubo intercambio de opiniones con los integrantes de la red de ciudadanos que velan por la preservación del agua subterránea.



Visita a la gruta Akiyoshido, Akiyoshidai

Visitaron Akiyoshido, la mayor gruta cárstica de Japón, y se informaron sobre el agua subterránea de las rocas calcáreas de Akiyoshidai. En 2005 el sistema hídrico de Akiyoshidai quedó registrado en la Convención de Ramsar.



Visita al manantial de Kengun, municipio de Kumamoto

Visitaron la Dirección del Servicio de Agua Potable del municipio de Kumamoto, que depende al 100% del agua subterránea, se informaron sobre los métodos de desarrollo y manejo del agua subterránea en el municipio, y visitaron el manantial de Kengun, administrado por el municipio.

Fotos del Proyecto (8/8)

Comité y reuniones



2ª reunión del CCC

La 2a reunión del CCC se realizó el 17 de marzo de 2010 en la sala de reuniones de INRH, La Habana, con explicaciones sobre el Informe de Avance 3, y se deliberó sobre futuras actividades y sobre los resultados de la evaluación intermedia.



3ª reunión del CCC

La 3a reunión del CCC se realizó el 27 de junio de 2011 en la sala de reuniones de GEARH, La Habana, con deliberaciones sobre las actividades del 4o año y los resultados de la evaluación final.



4ª reunión del CCC

La 4ª reunión del CCC se realizó el 16 de diciembre de 2011 en el Hotel Cubanacan Chateau Miramar, La Habana, con deliberaciones sobre el Borrador del Informe Final y actividades a continuar tras la terminación del proyecto.



4ª reunión del CEP

La 4a reunión del CEP se realizó el 27 de octubre de 2009 en la sala de reuniones de INRH, La Habana, y la Parte Cubana solicitó ayuda financiera para la perforación del pozo exploratorio en el sitio modelo.



5ª reunión del CEP

La 5a reunión del CEP se realizó el 6 de julio de 2010 en la sala de reuniones de INRH, La Habana, y se deliberó sobre futuras actividades teniendo en cuenta la demora en la perforación del pozo exploratorio, y sobre la llegada de los equipos de prospección electromagnética.



7ª reunión del CEP

La 7a reunión del CEP se realizó el 15 de marzo de 2011 en la sala de reuniones de INRH, La Habana, y se deliberó sobre el Informe de Actividades del 3er año y el Plan de Actividades para el 4º año.

INDICE

Mapa de Ubicación del Area del Proyecto

Fotos del Proyecto

| | | |
|----------|--|------------|
| 1 | Resumen del Proyecto | 1-1 |
| 1.1 | Antecedentes del Proyecto | 1-1 |
| 1.2 | Objetivos del Proyecto | 1-1 |
| 1.3 | Operación del Proyecto | 1-2 |
| 2 | Resultados del Proyecto | 2-1 |
| 2.1 | Listado de los resultados del Proyecto | 2-1 |
| 2.2 | Resultados de la transferencia de tecnología..... | 2-4 |
| 2.2.1 | Transferencia de tecnología de prospección geofísica..... | 2-4 |
| 2.2.2 | Transferencia de tecnología de modelo de agua subterránea..... | 2-6 |
| 2.2.3 | Transferencia de tecnología de SIG | 2-8 |
| 2.2.4 | Mejoramiento de la capacidad de INRH y GEARH | 2-9 |
| 2.2.5 | Mejoramiento de la capacidad de GEIPI | 2-11 |
| 2.3 | Objetivo del Proyecto | 2-12 |
| 3 | Actividades realizadas | 3-1 |
| 3.1 | Programa de ejecución de actividades..... | 3-1 |
| 3.2 | Contenido de las principales actividades..... | 3-4 |
| 3.2.1 | Transferencia de tecnología de prospección geofísica..... | 3-4 |
| 3.2.2 | Transferencia de tecnología sobre el modelo de agua subterránea | 3-6 |
| 3.2.3 | Transferencia de tecnología de SIG | 3-10 |
| 3.2.4 | Capacitación del Personal Técnico de INRH y GEARH..... | 3-11 |
| 3.2.5 | Mejoramiento de la capacidad de GEIPI | 3-13 |
| 4 | Aportes realizados | 4-1 |
| 4.1 | Envío de expertos | 4-1 |
| 4.2 | Participantes de la capacitación en el Japón..... | 4-4 |
| 4.3 | Equipos adquiridos | 4-4 |
| 4.4 | Trabajos locales..... | 4-7 |
| 4.4.1 | Costo de ejecución del trabajo | 4-7 |
| 4.4.2 | Trabajo de consultor local (contratado) | 4-8 |
| 5 | Ideas y lecciones aprendidas en la ejecución y administración del Proyecto | 5-1 |
| 5.1 | Factores positivos | 5-1 |
| 5.2 | Lecciones aprendidas..... | 5-2 |
| 6 | Evolución de Matriz de Diseño de Proyecto (PDM)..... | 6-1 |
| 7 | Reuniones de CCC, CEP, seminarios y talleres de trabajo | 7-1 |
| 7.1 | Actas de Reuniones de la Comisión de Coordinación Conjunta (CCC) | 7-1 |
| 7.2 | Acta de Reuniones del Comité de Ejecución del Proyecto (CEP) | 7-2 |
| 7.3 | Seminario sobre tecnología general..... | 7-5 |
| 7.4 | Seminario sobre evaluación y manejo del agua subterránea | 7-8 |
| 7.5 | Presentación de los Resultados del Proyecto/ Seminario sobre el Desarrollo y Manejo del Agua Subterránea, en La Habana | 7-11 |
| 7.6 | Seminario de difusión general | 7-12 |

Anexos

1. Resumen de los resultados del Proyecto
 - 1.1 Resumen de la prospección geofísica
 - 1.2 Resumen de los resultados del análisis de modelo de agua subterránea
 - 1.3 Ejemplos de mapas elaborados con SIG
 2. Boletín Informativo (No. 1 - No.6)
 3. Actas
 - 3.1 Acta del Informe Inicial (IC/R o I/I)
 - 3.2 Acta de la 1ª reunión del Comité de Coordinación Conjunta (CCC)
 - 3.3 Acta de la 2ª reunión del Comité de Coordinación Conjunta (CCC)
 - 3.4 Acta de la 3ª reunión del Comité de Coordinación Conjunta (CCC)
 - 3.5 Acta de la 4ª reunión del Comité de Coordinación Conjunta (CCC)
 - 3.6 Acta de la 4ª reunión del Comité de Ejecución del Proyecto (CEP)
 - 3.7 Acta de la 5ª reunión del Comité de Ejecución del Proyecto (CEP)
 - 3.8 Acta de la 6ª reunión del Comité de Ejecución del Proyecto (CEP)
 - 3.9 Acta de la 7ª reunión del Comité de Ejecución del Proyecto (CEP)
 - 3.10 Acta de la 8ª reunión del Comité de Ejecución del Proyecto (CEP)
-

Acrónimos

| | |
|--------------|--|
| CEP (PEC) | Comité de Ejecución del Proyecto (Project Execution Committee) |
| CITA | Centro Integrado de Tecnologías del Agua |
| EIPH | Empresa de Investigaciones, Proyectos Hidráulicos |
| EIPI | Empresa de Investigaciones, Proyectos e Ingeniería |
| GEAAL | Grupo Empresarial de Acueductos y Alcantarillados |
| GEARH | Grupo Empresarial de Aprovechamiento de Recursos Hidráulicos |
| GEILH | Grupo Empresarial de Ingeniería y Logística Hidráulica |
| GEIPI | Grupo Empresarial de Investigaciones, Proyectos e Ingeniería |
| GIS (SIG) | Geographic Information System (Sistema de Información Geográfica) |
| INRH | Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos |
| JCC (CCC) | Joint Coordination Committee (Comité de Coordinación Conjunta) |
| JICA | Japan International Cooperation Agency (Agencia de Cooperación Internacional del Japón) |
| MINCEX | Ministerio de Comercio Exterior e Inversión Extranjera |
| PDM (MDP) | Project Design Matrix (Matriz de Diseño de Proyecto) |
| PO | Plan de Operación |

1 Resumen del Proyecto

1.1 Antecedentes del Proyecto

La República de Cuba cuenta con una población de 11,170,000 habitantes (2002), y consiste de un archipiélago formado por unas 1,600 islas que totalizan una superficie de 110,861 km². Tiene una precipitación media anual de 1,375mm y, como se concentra el 80% de las lluvias en la temporada lluviosa que abarca de mayo a octubre, la precipitación media anual fluctúa bastante, de 400 mm a 4,000 mm según el área. El caudal total disponible en el país es de 24.0km³ anual (agua superficial: 18.0km³, agua subterránea: 6.0km³) y el volumen de agua disponible/persona es de 2,239 m³/persona/año, pero en el año 2000 el volumen realmente consumido fue de 1,295m³/persona/año. El 64% del agua consumida fue el agua superficial.

Recientemente, se han repetido años con una precipitación anual inferior al valor medio, registrándose en el año 2004 el valor mínimo desde que empezó el registro de la precipitación en 1931. Sobre todo, en las Provincias orientales el volumen de agua retenida en los embalses bajó hasta el 36%, lo que empeoró considerablemente las condiciones de suministro de agua, convirtiéndose en rutina el abastecimiento limitado de agua y el servicio por camiones cisternas. Aunque el 2006 fue un año de abundantes lluvias, las serias condiciones de suministro de agua en la Región Oriental todavía continúan. En las Provincias orientales la capa freática de poca profundidad está distribuida en forma limitada, lo que constituye una de las causas de la alta dependencia en el agua superficial, siendo del 90%. Ante tal circunstancia, el Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (en adelante, INRH: 300 funcionarios) señaló el lineamiento de ampliar el uso del agua subterránea profunda para minimizar el control del abastecimiento de agua, como el servicio por horas restringidas, aun en caso de sequías extraordinarias a causa del cambio climático, y presentó al Gobierno de Japón una solicitud para la cooperación técnica sobre la exploración del agua subterránea (envío de expertos, capacitación de técnicos cubanos en Japón, donación de equipos relacionados). En respuesta a la solicitud, la Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA) envió una Misión de Estudio Preliminar entre enero y febrero de 2008, y el 25 de junio del mismo año firmó un R/D con el Ministerio para la Inversión Extranjera y la Colaboración Económica (MINVEC)*, INRH y el Grupo Empresarial de Investigaciones, Proyectos e Ingeniería (GEIPI : un total de 177 técnicos).

* Actualmente, Ministerio de Comercio Exterior e Inversión Extranjera (MINCEX)

1.2 Objetivos del Proyecto

El presente Proyecto busca dar apoyo al INRH, al GEIPI y al Grupo Empresarial de Aprovechamiento Hidráulico (GEARH: un total de 1,147 técnicos) en el mejoramiento de la capacidad de desarrollo y manejo del agua subterránea, con el fin de ampliar el uso del agua subterránea profunda, que es el lineamiento del INRH. Para mejorar la capacidad de desarrollo y manejo del agua subterránea, se planea lograr las siguientes metas para la Región Oriental que se ve afectada fácilmente por los daños de las sequías e inundaciones causadas por el cambio climático.

- ① Formación de técnicos que conformen el núcleo profesional de GEIPI mediante una capacitación in situ: OJT (on-the-job training).
- ② Organización de la información necesaria para el desarrollo y manejo real del agua

subterránea.

- ③ Capacitaciones en INRH impartidas por los técnicos del núcleo profesional formados en ①.

El objetivo superior, el objetivo del Proyecto y los resultados del Proyecto indicados en PDM (Matriz de Diseño del Proyecto) son los siguientes (Véase el PDM₄, Capítulo 6).

- Objetivo superior: Se utiliza el agua subterránea de manera adecuada en el aprovechamiento de los recursos hídricos en la Región Oriental.
- Objetivo del Proyecto: Mejora la capacidad de desarrollo y manejo del agua subterránea de INRH (incluyendo GEIPI y GEARH).

Resultados:

1. Mejora el nivel técnico de la prospección geofísica de los principales técnicos de GEIPI que servirán como instructores.
2. Mejora la capacidad de construir modelos del agua subterránea de los principales técnicos que servirán como instructores en las capacitaciones de GEIPI.
3. Mejora la capacidad de elaborar SIG de los principales técnicos que servirán como instructores en las capacitaciones de GEIPI.
4. Mejora la capacidad de GEARH y las Direcciones de Cuencas Hidrográficas y Obras Hidráulicas de INRH para la evaluación y manejo del agua subterránea aprovechando los resultados de la prospección geofísica, los modelos del agua subterránea y SIG, ejecutados y elaborados por GEIPI.
5. Se transfiere a los técnicos involucrados de GEIPI las técnicas relacionadas con la prospección geofísica, modelos del agua subterránea y SIG.

1.3 Operación del Proyecto

a. Área objeto del Proyecto

- (1) Área objeto: Región Oriental de Cuba (Provincias de Camagüey, Las Tunas y Holguín)
Sitio modelo: Distrito Sola, Provincia de Camagüey
Sitio de establecimiento de SIG: Provincias de Camagüey, Las Tunas y Holguín
- (2) Centro de operaciones: Centro Integrado de Tecnologías del Agua, de GEIPI, Camagüey

b. Sistema de administración del Proyecto

El Proyecto fue administrado conjuntamente por la Parte Cubana y la Parte Japonesa en base a la PDM y el PO (Plan de Operaciones). El sistema de administración presentado en la Figura 1-1 fue estructurado con (1) un Comité de Ejecución del Proyecto (CEP: Project Execution Committee) integrado por el grupo de los ingenieros principales de GEIPI, objetos de la capacitación OJT, así como también el grupo del personal técnico de GEIPI, INRH y GEARH, y (2) un Comité de Coordinación Conjunta (CCC: Joint Coordination Committee) integrado por los representantes de las instituciones de contraparte. Además, a través de dichas estructuras organizacionales se llevaron a cabo otras capacitaciones (taller de trabajo y seminario) donde los ingenieros principales de GEIPI fungieron de instructores.

Como miembros y funciones de los ingenieros principales de GEIPI, CEP y CCC se propuso el contenido indicado en la Tabla 1-1, tomando en consideración el acuerdo de R/D.

Reconociendo la función decisiva del CEP en la ejecución de las actividades del proyecto, se tomaron las medidas necesarias para asegurar su continuidad aun después de la conclusión del proyecto, ya que el CEP se esperaba que continúe funcionando como enlace a nivel práctico para dar el apoyo técnico requerido en la ejecución de los planes de desarrollo y manejo del agua subterránea. Con tal propósito, los miembros fueron seleccionados teniendo en cuenta el acuerdo R/D. El sistema de administración ejecución del proyecto fue propuesto a la Parte Cubana durante la presentación y las deliberaciones del Informe Inicial (Ic/R, o I/I). La Figura 1-1 presenta el sistema de administración y ejecución del proyecto, con referencia al nivel a ser logrado en el desarrollo de la capacidad.

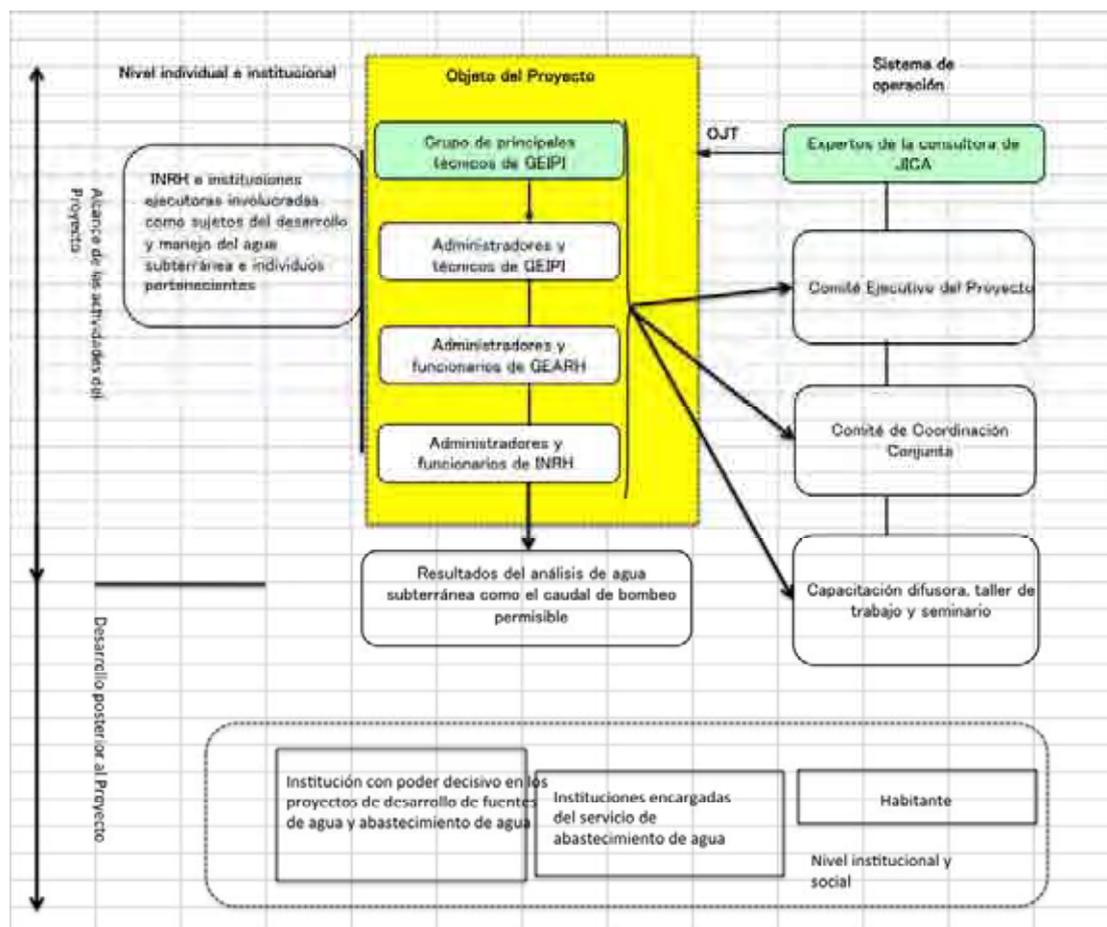


Figura 1-1: Nivel de desarrollo de capacidad y sistema de operación del Proyecto

Tabla 1-1: Funciones y miembros de las organizaciones ejecutoras del Proyecto

| Organización | Miembros | Funciones | Frecuencia de las reuniones |
|---|---|--|--|
| Grupo de los ingenieros principales de GEIPI (objeto de OJT) 15 personas en total | <ul style="list-style-type: none"> Personal técnico de GEIPI y Grupos Empresariales Funcionarios y personal técnico de INRH y GEARH | <ul style="list-style-type: none"> Instructores en la capacitación del personal técnico general sobre la Prospección Geofísica Instructores en la capacitación del personal técnico general sobre el Modelo del Agua Subterránea Instructores en la capacitación del personal técnico general sobre SIG Instructores en la capacitación del personal técnico general sobre el Desarrollo y Manejo del Agua | <ul style="list-style-type: none"> Cuando estén presentes los Expertos JICA |

| | | Subterránea | |
|---|--|--|---|
| | | <ul style="list-style-type: none"> · Enlace y coordinación con CEP y CCC | |
| <p>Comité de Ejecución del Proyecto (CEP)</p> <p>(Organización con miembros permanentes) GEIPI, Dirección de Manejo de Cuencas Hidrográficas de INRH, GEARH</p> <p>(Organización con miembros no permanentes) EIPH/EIPI, GEAAL, GEILH</p> | <p>Presidente (Director General del Proyecto): Director General de GEIPI</p> <p>Vicepresidente: Director Técnico de GEIPI</p> <p>Miembros: Ingenieros Principales de GEIPI, Funcionarios de la Dirección de Manejo de Cuencas Hidrográficas de INRH</p> <p>Miembros no permanentes: Funcionarios de GEAAL y de GEILH</p> | <ul style="list-style-type: none"> · Dar instrucciones sobre el avance de las actividades conforme al Plan de Operación anual · Elaborar un Plan de Operación anual · Intercambiar opiniones técnicas sobre la ejecución del Proyecto y temas relacionados · Tomar decisión sobre los temas necesarios en la ejecución del Proyecto y prestar el acuerdo requerido de los miembros · Deliberar sobre los informes del Proyecto · Realizar en principio una reunión mensual cuando estén presentes los Expertos JICA · Participar los miembros no permanentes en el Comité según el tema específico pertinente | <ul style="list-style-type: none"> · Cuando se presente el Informe Inicial (Ic/R o I/I) y los 5 Informes de Avance (PR o I/A) · Una vez al mes cuando estén presentes los Expertos JICA |
| <p>Miembros del Comité de Coordinación Conjunta (CCC): INRH, GEIPI, GEARH, GEAAL</p> | <p>Presidente (Director General del Proyecto): Director General de GEIPI</p> <p>Vicepresidente (Administrador del Proyecto): Director Técnico de GEIPI</p> <p>Miembros: Representante de la Dirección de Manejo de Cuencas Hidrográficas de INRH, Representante de GEARH, Representante de MINCEX, Representante de GEAAL, Representantes de EIPH de Camagüey, Las Tunas y Holguín, Representante de CITA, Expertos JICA, Representante de la oficina de JICA en México, Experto coordinador de JICA en Cuba</p> <p>Representante de los ingenieros principales de GEIPI</p> | <ul style="list-style-type: none"> · Deliberar sobre los lineamientos importantes que afecten el manejo y coordinación del Proyecto · Examinar y aprobar el Plan de Operación anual · Tomar decisiones sobre el manejo general del Proyecto · Realizar en principio por lo menos una reunión al año, al inicio de cada año fiscal | <p>Una vez por año fiscal</p> |

c. Cronograma

| Año fiscal | 2008 | | | | | 2009 | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------|--------------------------|----|---|---|-----------|--------|---|---|---|---|-----------|----|----|------|---|---|-----------|
| | 1er año | | | | | 2º año | | | | | | | | | | | |
| Año | 2008 | | | | | 2009 | | | | | | | | 2010 | | | |
| Mes | 11 | 12 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 1 | 2 | 3 |
| Trabajo en Japón | <input type="checkbox"/> | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Trabajo en Cuba | ■ | | | | | ■ | | | | | ■ | | | | | | |
| Seminario y Taller de trabajo | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Informes | ▲ IC/R1 | | | | ▲ P/R1 | | | | | | ▲ P/R2 | | | | | | ▲ P/R3 |

| Año fiscal | 2010 | | | | | | | | | | | | 2011 | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------|---------|--------------------------|-----------------------|---|---|-----------|----|----|----|---|---|---|-----------|---|---|---|---|---|------|----|----|-----------|----------|--|--|
| | 3er año | | | | | | | | | | | | 4º año | | | | | | | | | | | | |
| Año | 2010 | | | | | | | | | | | | 2011 | | | | | | 2012 | | | | | | |
| Mes | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 1 | 2 | | |
| Trabajo en Japón | | <input type="checkbox"/> | Capacitación en Japón | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Trabajo en Cuba | | | ■ | | | | | | | | | | ■ | | | | ■ | | | | | | ■ | | |
| Seminario y Taller de trabajo | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Informes | | | | | | ▲ P/R4 | | | | | | | ▲ P/R5 | | | | | | | | | ▲ DF/R | ▲ F/R | | |

d. Sistema de ejecución

d.1 Parte Japonesa

El Grupo de Expertos JICA se compone de los siguientes expertos y coordinadores.

| Cargo | Nombre | Institución a la que pertenece |
|--|------------------|--------------------------------|
| Líder/Modelo de agua subterránea 1 (1 ^{er} a 3 ^{er} año) | Akira Kamata | Kokusai Kogyo Co., Ltd. |
| Líder/Modelo de agua subterránea 1 (4 ^{to} año) | Shigeki Kihara | Kokusai Kogyo Co., Ltd. |
| Modelo de agua subterránea 2 | Naoaki Shibasaki | Universidad de Fukushima |
| Hidrogeología 1 | Yusuke Oshika | Earth System Science Co., Ltd. |
| Hidrogeología 2 (1 ^{er} a 3 ^{er} año) | Shigeki Kihara | Kokusai Kogyo Co., Ltd. |
| Hidrogeología 2 (4 ^{to} año) | Masatoshi Tanaka | Kokusai Kogyo Co., Ltd. |
| Prospección geofísica | Takuya Yabuta | Earth System Science Co., Ltd. |
| SIG | Lei Peifeng | Kokusai Kogyo Co., Ltd. |
| Coordinación del trabajo 1 | Masaru Obara | Kokusai Kogyo Co., Ltd. |
| Coordinación del trabajo 2 | Masaharu Kina | Kokusai Kogyo Co., Ltd. |

d.2 Parte Cubana

| Cargo | Nombre | Institución a la que pertenece (Cargo en la Institución) | Período |
|-----------------------|--------------------------------|---|------------------------------|
| Director General | Wilfredo Leyva Armesto | INRH (Vicepresidente) | Dic. de 2008 - Mayo de 2009 |
| | Aimee Aguirre Hernández | | Junio de 2009 - Feb. de 2012 |
| Director del Proyecto | José Antonio Hernández Álvarez | GEIPI (Director General) | Dic. de 2008- Mayo de 2009 |

| | | | |
|----------------------------|----------------------------|-----------------------------|-------------------------------|
| | Wilfredo Leyva Armesto | | Junio de 2009 - Feb. de 2012 |
| Administrador del Proyecto | Evaristo Baños Guerra | GEIPI (Director Técnico) | Dic. de 2008 - Oct. de 2009 |
| | Julio César Martínez Horta | | Oct. de 2009 - Oct. de 2010 |
| | Yarín Benítez Haza | | Oct. de 2010 - Enero de 2011 |
| | José Luis Blanco García | | Enero de 2011 - Feb. de 2012 |
| Asesor | Arturo González Báez | GEIPI (Asesor) | Dic. de 2008 - Feb. de 2012 |
| Prospección Geofísica | Arturo Lorenzo Ferrás | EIPI Matanzas | Dic. de 2008 - Feb. de 2012 |
| | Rodolfo Bordón | EIPH Holguín | Enero de 2009 - Feb. de 2012 |
| | Rebeca Fernández | EIPH Camagüey | Enero de 2009 - Feb. de 2012 |
| | Leonardo Cantillo Riveri | EIPH Camagüey | Enero de 2009 - Feb. de 2012 |
| | Ernesto Rodríguez | EIPH Villa Clara | Enero de 2009 - Feb. de 2012 |
| | Ernesto Morales | EIPH Pinar del Río | Agosto de 2010 - Feb. de 2012 |
| Modelo de Agua Subterránea | Arturo Lorenzo Ferrás | EIPI Matanzas | Feb. de 2009 - Feb. de 2012 |
| | Manuel A. Burgos Díaz | EIPH Villa Clara | Feb. de 2009 - Feb. de 2012 |
| | Jorge Luis Blanco Blázquez | EIPH Holguín | Feb. de 2009 - Feb. de 2012 |
| | Juan José Almirall Beltrán | UEB Granma, EIPH Holguín | Feb. de 2009 - Feb. de 2012 |
| | Adán Echemendía Martínez | EIPH Camagüey | Feb. de 2009 - Feb. de 2012 |
| | Luis Fidel Miranda | EIPH Ciego de Avila | Feb. de 2009 - Feb. de 2012 |
| SIG | Arturo Lorenzo Ferrás | EIPI Matanzas | Julio de 2009 - Feb. de 2012 |
| | Jorge Luis Blanco Blázquez | EIPH Holguín | Julio de 2009 - Feb. de 2012 |
| | Juan José Almirall Beltrán | UEB Granma, EIPH Holguín | Julio de 2009 - Feb. de 2012 |
| | Adán Echemendía Martínez | EIPH Camagüey | Julio de 2009 - Feb. de 2012 |
| | Carlos Luke Zayas Bazán | EIPH Camagüey | Julio de 2009 - Feb. de 2012 |
| | Marcell Martínez Contreras | UEB Las Tunas, EIPH Holguín | Julio de 2009 - Feb. de 2012 |
| | Javier Acosta Infante | EIPH Villa Clara | Julio de 2009 - Feb. de 2012 |

2 Resultados del Proyecto

2.1 Listado de los resultados del Proyecto

El presente Proyecto tiene por objetivo lograr los 5 siguientes resultados. La Tabla 2-1 resume los resultados, sus indicadores y la situación actual de cada uno de los logros.

- Resultado 1: Mejora el nivel técnico de la prospección geofísica de los principales técnicos de GEIPI que servirán como instructores.
- Resultado 2: Mejora la capacidad de construir modelos del agua subterránea de los principales técnicos que servirán como instructores en las capacitaciones de GEIPI.
- Resultado 3: Mejora la capacidad de elaborar SIG de los principales técnicos que servirán como instructores en las capacitaciones de GEIPI.
- Resultado 4: Mejora la capacidad de GEARH y las Direcciones de Cuencas Hidrográficas y Obras Hidráulicas de INRH para la evaluación y manejo del agua subterránea aprovechando los resultados de la prospección geofísica, los modelos del agua subterránea y SIG, ejecutados y elaborados por GEIPI.
- Resultado 5: Se transfiere a los técnicos involucrados de GEIPI técnicas relacionadas con la prospección geofísica, modelos del agua subterránea y SIG.

Tabla 2-1: Listado de resultados del Proyecto y estado de los logros

| Indicadores | Estado del logro |
|--|---|
| Resultado 1: Mejora el nivel técnico de la prospección geofísica de los principales técnicos de GEIPI que servirán como instructores. | |
| 1-1 Se elabora y revisa el material de capacitación. | <p>El texto para la capacitación elaborado por los Expertos JICA al inicio del curso, se revisó a través de las actividades del Proyecto y la versión final se entregó en diciembre de 2011.</p> <p>El texto de prospección geofísica consta de dos tomos: Prospección de resistividad bidimensional y Prospección electromagnética.</p> <p>El texto de Prospección de resistividad bidimensional comprende; ① Introducción a la prospección geofísica, ② Colocación según el método Pole-Pole (prospección de profundidad), ③ Trazado del plan de prospección, ④ Puntos a revisar antes de la medición, ⑤ Interpretación hidrogeológica de los resultados del análisis de datos y, ⑥ Ejemplos de análisis, etc. ⑦ Puntos a tener en cuenta en el cuidado del equipo de prospección. (Respecto a la prospección de resistividad bidimensional, existe un texto elaborado por un experto japonés en estudios de agua subterránea, enviado a corto plazo en 2006, y a este texto se le agregó un contenido adaptado a las características de la zona de estudio.)</p> <p>El texto de prospección electromagnética contiene; ① Idea básica de la prospección geofísica, ② Principios de TDEM, ③ Métodos de medición TDEM, ④ Métodos de transmisión de datos y, ⑤ Métodos de análisis utilizando el programa de análisis (IXID), etc. ⑥ Puntos a tener en cuenta en el cuidado del equipo de prospección.</p> |
| 1-2 Se forman técnicos (5 personas) capaces de realizar prospección geoelectrica (método de imágenes bidimensionales de resistividad) y | <p>En la capacitación sobre la prospección de resistividad bidimensional realizada en 2 ocasiones, participaron un total de 9 técnicos, 5 de ellos ingenieros principales que asimilaron la tecnología transferida.</p> <p>En la capacitación sobre la prospección electromagnética realizada en 4 ocasiones participaron un total de 18 técnicos (uno de ellos como observador), 5 de ellos ingenieros principales que asimilaron la tecnología transferida. El técnico participante como observador posee un cierto nivel en</p> |

| | |
|---|---|
| <p>prospección electromagnética (se hace un examen escrito y practica sobre manejo del equipo de prospección al final de la capacitación).</p> | <p>la obtención y análisis de datos de campo de prospección electromagnética. En el estudio realizado en el sitio modelo (distrito Sola de la Provincia de Camagüey), los propios ingenieros principales llevaron a cabo la prospección eléctrica (Método de imagen de resistividad bidimensional), con inclusión de análisis integral de la estructura hidrogeológica basado en los resultados de dicho análisis.</p> |
| <p>1-3 Se publican los resultados de la prospección geofísica del sitio modelo.</p> | <p>En el seminario sobre el desarrollo y manejo del agua subterránea realizado en junio de 2011 en la Provincia de Camagüey, se presentaron los resultados de la prospección geofísica en el distrito Sola, y en diciembre de 2011 en la presentación de los resultados del Proyecto organizada en La Habana se presentaron los resultados de la capacitación. El resumen de los resultados de la prospección geofísica se adjunta al presente informe.</p> |
| <p>Resultado 2: Mejora la capacidad de construir modelos del agua subterránea de los principales técnicos que servirán como instructores en las capacitaciones de GEIPI.</p> | |
| <p>2-1 Se elabora el material de capacitación.</p> | <p>El texto para la capacitación elaborado por expertos japoneses al inicio del curso, se revisó a través de las actividades del Proyecto y la versión final se entregó en diciembre de 2011. El texto de modelo de agua subterránea comprende; ① Principios de modelo de agua subterránea, ② Historia de modelos de agua subterránea, ③ Clasificación de modelos de agua subterránea, ④ Elaboración de modelo de cuenca de agua subterránea, ⑤ Ejemplos de aplicación de modelo de agua subterránea, ⑥ Resumen y flujo de la elaboración de modelo, ⑦ Clasificación de elementos hidrogeológicos y condiciones limítrofes, ⑧ Cálculo estimado de constantes hidrogeológicas, ⑨ Recarga y bombeo, ⑩ Interpolación, ⑪ Presentación de resultados, etc. y también contiene un capítulo de ejercicios de cálculo de recarga a partir de la elaboración del modelo de tanque. Además, la versión final del texto sobre pruebas de bombeo se entregó en diciembre de 2011.</p> |
| <p>2-2 Se forman técnicos (5 personas) capaces de establecer modelo del agua subterránea (se hace un examen al final de la capacitación).</p> | <p>En la capacitación sobre la elaboración de modelo de agua subterránea, realizada en 7 ocasiones, participaron un total de 45 técnicos (6 de ellos como observadores) y 6 ingenieros principales obtuvieron el conocimiento básico de modelo de agua subterránea y comprendieron el uso y método de manejo del programa de simulación. Los 5 ingenieros principales que participaron en la 7ª capacitación sobre el modelo de agua subterránea aprendieron una serie de métodos relacionados con; ① Desglose de capas acuíferas del distrito Sola, ② Cálculo del espesor de estratos en cada localidad a partir de la gráfica prismática de columnas, ③ Elaboración de planos de distribución de espesores de estratos de cada capa acuífera en el sitio modelo a partir de los datos de ②, ④ Cuantificación de ③, ⑤ Método de cálculo estimado de una distribución de las concentraciones de sal y conversión de la misma en datos, ⑥ Ingreso de datos de ④ y ⑤ en el modelo de agua subterránea, ⑦ Interpolación del modelo y, ⑧ Pronóstico utilizando el modelo.</p> |
| <p>2-3 Se elaboran modelos del agua subterránea del sitio modelo basándose en el método adquirido en 2-2.</p> | <p>En las capacitaciones 6ª y 7ª sobre el modelo de agua subterránea, realizadas en marzo de 2011 y junio de 2011, se hicieron prácticas de establecimiento de un modelo de agua subterránea utilizando datos hidrogeológicos reales del distrito Sola y se completó un modelo de agua subterránea. Mediante el seminario sobre el desarrollo y manejo del agua subterránea realizado en junio de 2011 en Camagüey, se profundizó la comprensión sobre la necesidad de SIG y Base de Datos (SIG/BD) en un análisis de modelo de agua subterránea. El resumen del estudio hidrogeológico, el establecimiento de un modelo de agua subterránea y los resultados del pronóstico con el uso del modelo se</p> |

| | | |
|--|---|---|
| | | adjuntan al presente informe. |
| 2-4 | Se elabora un mapa hidrogeológico del sitio modelo con mayor precisión que el mapa existente. | <p>Modificación de los mapas hidrogeológicos existentes.</p> <p>Mediante la capacitación se elaboraron mapas de secciones hidrogeológicas. Asimismo se hizo la clasificación de capas acuíferas y se confeccionaron planos de curvas de espesor de estratos de cada capa acuífera y distribución de superficie superior/ inferior.</p> <p>Además, se elaboró la distribución de concentraciones de sal a partir de los resultados de la prospección geofísica, que se aprovecharon como datos en el modelo de agua subterránea.</p> |
| Resultado 3: Mejora la capacidad de elaborar SIG de los principales técnicos que servirán como instructores en las capacitaciones de GEIPI. | | |
| 3-1 | Se elabora el material de capacitación. | <p>El texto para la capacitación elaborado por expertos japoneses al inicio del curso, se revisó a través de actividades del Proyecto y la versión final se entregó en diciembre de 2011.</p> <p>El texto contiene 9 módulos de capacitación; ① Idea básica de SIG, ② Conocimiento básico de Cardcorp SIS, ③ Análisis espacial, ④ Elaboración de mapa temático, ⑤ Coordenadas de datos de tramas, ⑥ Elaboración de datos espaciales, ⑦ Edición de datos espaciales, ⑧ Manipulación de atributos y, ⑨ Impresión de mapas elaborados.</p> |
| 3-2 | Se forman técnicos (5 personas) capaces de elaborar SIG relacionado con los recursos de agua (see examina los mapas elaborados). | <p>En la capacitación general realizada en 2 ocasiones en CITA, se impartieron a los principales técnicos las pertinentes conferencias, y se realizaron sesiones prácticas de los 9 módulos de capacitación indicados en 3-1 anterior.</p> <p>Del nivel de los mapas elaborados por los principales técnicos como tareas de la capacitación, se puede juzgar que dichos técnicos participantes comprendieron el contenido de las 2 capacitaciones y adquirieron la tecnología de SIG.</p> <p>El establecimiento de SIG/BD en las 3 Provincias orientales y los seminarios de tecnología general realizados en las Provincias de Villa Clara y Granma, indicaron que los principales técnicos que fungieron de conferencistas habían adquirido el suficiente nivel tecnológico de SIG.</p> |
| 3-3 | Se elaboran mapas de SIG del área de su elaboración. | <p>En septiembre de 2011, se comprobó el SIG/BD terminado en las 3 Provincias orientales y se deliberó sobre los métodos de futura actualización.</p> <p>Algunos ejemplos de mapas de SIG elaborados en las 3 Provincias orientales se adjuntan al presente informe.</p> |
| Resultado 4: Mejora la capacidad de GEARH y las Direcciones de Cuencas Hidrográficas y Obras Hidráulicas de INRH para la evaluación y manejo del agua subterránea aprovechando los resultados de la prospección geofísica, los modelos del agua subterránea y SIG, ejecutados y elaborados por GEIPI. | | |
| 4-1 | Se ofrece más de dos veces un curso de capacitación dentro del programa de capacitación de INRH, dirigido a los técnicos que se dedican al manejo del agua subterránea en las Direcciones de Cuencas Hidrográficas y Obras Hidráulicas de INRH y GEARH. | <p>Siguiendo lo programado en el presente Proyecto, se realizaron seminarios sobre el manejo del agua subterránea en junio de 2011 en la Provincia de Camagüey y en diciembre en La Habana.</p> <p>Haciéndolo coincidir con el programa de capacitación relacionado con el Resultado 5, en septiembre de 2011 se realizaron seminarios sobre el desarrollo y manejo del agua subterránea en las Provincias de Granma y de Santiago de Cuba.</p> |
| 4-2 | El 90% de los participantes (45 personas) adquieren el conocimiento del contenido de la | <p>A los participantes de la capacitación se les hizo la siguiente pregunta: "¿pueden aprovechar la tecnología de prospección geofísica, modelo de agua subterránea y SIG en el manejo del agua subterránea? Las respuestas de los participantes indicaron que los participantes habían asimilado el contenido de la capacitación.</p> |

| | | |
|--|--|---|
| capacitación (se hace un examen al final de la capacitación). | | |
| Resultado 5: Se transfiere a los técnicos involucrados de GEIPI las técnicas relacionadas con la prospección geofísica, modelos del agua subterránea y SIG. | | |
| 5-1 | Se ofrece más de dos veces el curso de capacitación dentro del programa de capacitación de INRH, dirigido a los técnicos que se dedican al desarrollo y manejo de l agua subterránea en GEIPI. | De acuerdo con el programa de capacitación elaborado por GEIPI y deliberado en la reunión del CCC, en septiembre de 2011 se realizaron con la participación de expertos japoneses los seminarios sobre prospección geofísica (Provincia de Pinar del Río), sobre modelo de agua subterránea (La Habana) y sobre SIG (Provincia de Granma). En el seminario de diciembre de 2011 los técnicos involucrados presentaron los resultados de la tecnología adquirida en la capacitación. |
| 5-2 | El 90% de los participantes (30 personas) adquieren el conocimiento del contenido de la capacitación (se hace un examen al final de la capacitación). | Se evaluó el nivel de comprensión del contenido de la capacitación por parte de los técnicos involucrados, según el siguiente planteamiento. Respecto a la prospección geofísica y el modelo de agua subterránea, debido a las limitaciones de los equipos, materiales y programas informáticos, es difícil que los técnicos generales logren el mismo nivel de dominio de métodos de prospección y análisis adquirido por los ingenieros principales. Los técnicos generales que adquieran el conocimiento del concepto de la prospección geofísica y del modelo de agua subterránea, podrán incorporar dichos métodos en sus trabajos correspondientes. En la práctica, el trabajo de análisis correrá a cargo de los ingenieros principales que han recibido la capacitación (o, equipos de profesionales formados en torno a ellos). Se colige que los técnicos generales, aprovechando los resultados del análisis, podrán elaborar planes de desarrollo y manejo del agua subterránea. Sobre SIG, es necesario dividir los técnicos entre el grupo de los capaces de crear y manejar SIG/BD, y el grupo de los simples usuarios del sistema. Se considera que la transferencia de tecnología a los técnicos que se especialicen en establecer y manejar SIG/BD podrá ser realizada sin problemas por parte de los ingenieros principales que han recibido la capacitación. Por otra parte, los técnicos que sean simples usuarios de SIG/BD, deben comprender el mecanismo de SIG/BD para poder aplicarlo a sus propios trabajos, y para este caso se hace notar la necesidad de organizar seminarios de difusión en forma continua dirigidos a dichos técnicos. Conforme al planteamiento arriba mencionado, a los participantes de la capacitación se les hizo las siguientes preguntas "¿pueden aprovechar estas tecnologías en su especialidad? y ¿pueden aprovecharlas en el manejo del agua subterránea? Las respuestas indicaron el nivel de comprensión, comprobándose que los participantes habían asimilado el contenido de la capacitación. |

2.2 Resultados de la transferencia de tecnología

2.2.1 Transferencia de tecnología de prospección geofísica

Resultado 1: Mejora el nivel técnico de la prospección geofísica de los principales técnicos de GEIPI que servirán como instructores.

Los ingenieros principales habían recibido la capacitación sobre la tecnología de prospección eléctrica por parte de un experto japonés enviado antes del inicio del presente Proyecto (experto en estudios de agua subterránea, enviado a corto plazo en 2006), y por lo general

tenían una buena comprensión de la teoría, pero poca experiencia de prospección en el campo. Por lo tanto, se programaron menos capacitaciones en el aula y más prácticas de campo.

Por otra parte, la tecnología de prospección electromagnética fue una novedad para los técnicos cubanos, razón por la cual se planificaron hasta 4 ocasiones de capacitación, y a partir del 3^{er} año toda la formación estuvo enfocada a dicha tecnología de prospección (sobre todo, prospección TDEM). Los 5 ingenieros principales, que recibieron la capacitación, adquirieron un dominio satisfactorio de los métodos de manejo de los equipos de prospección electromagnética y programas de análisis donados. Además, llegaron a realizar por sí mismos el trabajo de prospección en el campo, el análisis de datos y hasta la elaboración de planos de los resultados, con lo que quedó cumplido el objetivo de la capacitación. Además de estos 5 ingenieros principales, hay un técnico adicional que aprendió a llevar a cabo desde el trabajo de prospección en el campo (obtención de datos) hasta su análisis. Los ingenieros principales, en varios seminarios celebrados en el 4^o año (véase el Capítulo 7) presentaron los resultados de la prospección en el sitio modelo (distrito Sola de la Provincia de Camagüey), incluyendo las interpretaciones hidrogeológicas.

El nivel de comprensión de los participantes de la capacitación fue evaluado por los Expertos JICA por medio de los resultados de los exámenes de prácticas de prospección y exámenes escritos realizados al término de la capacitación.

Se adjunta el resumen de los resultados de la prospección de resistividad bidimensional y la prospección TDEM, realizadas en el distrito Sola, como frutos de la transferencia de tecnología en prospección geofísica.

Tabla 2-2: Listado de participantes de la capacitación sobre prospección geofísica

| Nombre | Institución | 2009 | | 2010 | | | 2011 |
|--------------------------|--------------------|-----------------|-------|------------------------------|-----------|------|-----------|
| | | Enero | Junio | Ago. | Ago.-Sep. | Sep. | Feb.-Mar. |
| | | Pros. eléctrica | | Prospección electromagnética | | | |
| Arturo Lorenzo Ferrás | EIPI Matanzas | ○ | — | ○ | — | ○ | — |
| Rodolfo Bordón | EIPH Holguín | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| Nestor Piñeiro | EIPH La Habana | ○ | — | — | — | — | |
| Rebeca Fernández | EIPH Camagüey | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| Ernesto Rodríguez | EIPH Villa Clara | △ | ○ | — | ○ | — | ○ |
| Leonardo Cantillo Riveri | EIPH Camagüey | — | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| Ernesto Morales* | EIPH Pinar del Río | — | — | — | — | — | ○ |
| Alien Pérez Santos* | CITA Camagüey | — | — | ○ | — | — | — |

* : Participación como Observador, △ : Parcialmente ausente

Tabla 2-3: Nivel de comprensión de los participantes en la capacitación sobre prospección geofísica

| Nombre | Institución | Resistividad bidimensional | | Prospec. electromagnética | |
|-----------------------|---------------|----------------------------|----------|---------------------------|----------|
| | | Obtención de datos | Análisis | Obtención de datos | Análisis |
| Arturo Lorenzo Ferrás | EIPI Matanzas | (◎) | (◎) | (○) | (○) |
| Rodolfo Bordón | EIPH Holguín | ◎ | ◎ | ◎ | ○ |

| | | | | | |
|--------------------------|--------------------|-----|-----|-----|-----|
| Nestor Piñeiro | EIPH La Habana | (○) | (○) | — | — |
| Rebeca Fernández | EIPH Camagüey | ◎ | ◎ | ◎ | ◎ |
| Ernesto Rodríguez | EIPH Villa Clara | ◎ | ◎ | ◎ | ◎ |
| Leonardo Cantillo Riveri | EIPH Camagüey | ○ | ○ | ◎ | ○ |
| Ernesto Morales* | EIPH Pinar del Río | — | — | ○ | ○ |
| Alien Pérez Santos* | CITA Camagüey | — | — | (×) | (×) |

◎ : Comprensión suficiente, ○ : Comprensión media, △ : Comprensión deficiente, × : Requiere asistencia
(*): Debido a que no se presentó al examen final de la capacitación, los Expertos JICA realizaron la evaluación del nivel de comprensión durante el periodo de la capacitación.

2.2.2 Transferencia de tecnología de modelo de agua subterránea

Resultado 2: Mejora la capacidad de construir modelos del agua subterránea de los principales técnicos que servirán como instructores en las capacitaciones de GEIPI.

El modelo de agua subterránea fue una área especializada relativamente novedosa para los ingenieros principales. Por lo tanto, fue necesario realizar una capacitación teórica, y una capacitación que permitiese interpretar correctamente los resultados obtenidos de un modelo que utiliza datos reales. Esto implicaba la necesidad de que los capacitados lograsen una comprensión integral de un modelo de agua subterránea, además de contar con las debidas experiencias en el terreno. En este sentido, los ingenieros principales que participaron en la capacitación incluían los más jóvenes que tenían 10 años de experiencia en el trabajo, mientras que los veteranos tenían una experiencia de 25 años.

Según el plan inicial para el 1^{er} y el 2^o año, se tenía previsto realizar la capacitación sobre la teoría del modelo de agua subterránea, la comprensión del concepto de programas informáticos básicos y el buen conocimiento de su manejo, y al mismo tiempo, sobre la obtención de datos de pruebas de bombeo, registro de pozo y nivel de agua subterránea en el sitio modelo (distrito Sola). Esto sería seguido en el 3^{er} año, por una capacitación sobre la elaboración de un modelo de agua subterránea de alta precisión. Sin embargo, debido a demoras en la adquisición del equipo de prospección electromagnética y en la perforación del pozo exploratorio en el distrito Sola, así como al hecho de que se alargó más de lo previsto el tiempo requerido para la comprensión de los métodos de elaboración de modelo de agua subterránea y aprendizaje del manejo de programas, fue forzoso retrasar el inicio de la capacitación con el uso de datos reales del distrito Sola.

Antes de iniciar el uso de datos reales, se profundizó en la teoría del modelo de agua subterránea y se reforzó la comprensión del concepto de programas básicos de modelo de agua subterránea, cálculo estimado de la recarga de agua subterránea mediante ejercicios utilizando programas de análisis y un modelo de tanque, y la determinación estimada de coeficientes de capa acuífera a partir de la gráfica de columnas geológicas. Al final del 3^{er} año, los ingenieros principales llegaron a dominar la comprensión de la división de capas acuíferas en el distrito Sola, y el cálculo del espesor de los estratos de cada capa acuífera hasta la elaboración de los mapas de distribución de espesor de estratos a partir de gráficas de columnas geológicas. Con el ingreso de estos datos al modelo, prácticamente se completó un modelo teórico de agua subterránea en el distrito Sola. En el 4^o año, los capacitados transformaron dicho modelo a un modelo detallado, e incluso realizaron pronósticos resultantes de escenarios futuros asumidos, como un instrumento en el manejo del agua

subterránea.

En cuanto a mapas hidrogeológicos, los ingenieros principales capacitados modificaron los mapas hidrogeológicos existentes y elaboraron mapas seccionales de hidrogeología. Con el fin de obtener datos a ingresar en el modelo de agua subterránea, los ingenieros principales realizaron la clasificación de capas acuíferas, planos de curvas de espesor de estratos de cada capa acuífera, distribución de superficie superior/inferior, y distribución de concentraciones de sal utilizando los resultados de la prospección geofísica (mapa de distribución de resistividades).

De entre las 7 capacitaciones realizadas, al término de la 2ª, la 5ª y la 6ª se tomaron exámenes para verificar el nivel de logro de los participantes, habiéndose comprobado el nivel de comprensión de los ingenieros principales sobre la teoría, el conocimiento de los programas informáticos y los métodos de ingreso de datos. En la 7ª capacitación, en el proceso de completar un modelo del distrito Sola, los Expertos JICA comprobaron que dos de los ingenieros principales eran no solamente capaces de analizar los recursos de agua subterránea utilizando un modelo establecido, sino también prácticamente habían llegado a un nivel de comprensión que les permitía establecer por sí mismos un modelo de agua subterránea en futuros estudios en nuevas localidades. GEIPI y los ingenieros principales tienen la intención de aplicar en otros distritos la tecnología de modelo de agua subterránea, y en el seminario de diciembre de 2011 presentaron además del modelo de agua subterránea del distrito Sola, un modelo de agua subterránea establecido por los ingenieros principales en Manzanillo de la Provincia de Granma.

Se adjuntan al final del documento un resumen de los estudios hidrogeológicos y del análisis que utiliza el modelo de agua subterránea en el distrito Sola.

Tabla 2-4: Listado de participantes de la capacitación sobre modelo de agua subterránea

| Nombre | Institución | 2009 | | | 2010 | | 2011 | |
|----------------------------|-----------------------|------|-------|------|------|-------|----------------|-------|
| | | Feb. | Junio | Nov. | Feb. | Junio | Feb. -Marzo | Junio |
| | | 1a | 2a | 3a | 4a | 5a | 6a | 7a |
| Arturo Lorenzo Ferrás | EIPI Matanzas | ○ | ○ | △ | △ | ○ | — | — |
| Manuel A. Burgos Díaz | EIPH Villa Clara | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| Jorge Luis Blanco Blázquez | EIPH Holguín | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| Adán Echemendía Martínez | EIPH Camagüey | ○ | △ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| Luis Fidel Miranda | EIPH Ciego de Ávila | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| Juan José Almirall Beltrán | EIPH Holguín - Granma | — | — | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| Oscar R. Sosa Simoneau* | EIPH Santiago de Cuba | — | — | — | — | — | ○ | — |
| Lisset Pérez Gómez* | GEARH Camagüey | — | ○ | — | — | — | — | — |
| Marta Suárez Acuña* | GEARH Camagüey | — | ○ | — | — | — | — | — |
| Nay Robert del Sol Díaz* | CITA Camagüey | — | ○ | — | — | — | — | — |
| Alien Pérez Santos* | CITA Camagüey | — | — | ○ | ○ | ○ | — | — |

* : Participación como Observador, △ : Parcialmente ausente

Tabla 2-5: Nivel de comprensión de los participantes en la capacitación sobre modelo de agua subterránea

| Nombre | Institución | 2a | 5a | 6a | Evaluación general |
|----------------------------|-----------------------|-----|----|----|--------------------|
| Arturo Lorenzo Ferrás | EIPI Matanzas | ◎ | ◎ | — | (○~△) |
| Manuel A. Burgos Díaz | EIPH Villa Clara | ◎ | ◎ | ○ | ◎~○ |
| Jorge Luis Blanco Blázquez | EIPH Holguín | ◎ | ◎ | ○ | ○ |
| Adán Echemendía Martínez | EIPH Camagüey | ◎ | ◎ | ○ | ○ |
| Luis Fidel Miranda | EIPH Ciego de Ávila | ◎~○ | ◎ | ◎ | ◎ |
| Juan José Almirall Beltrán | EIPH Holguín – Granma | — | ◎ | ○ | ○ |
| Oscar R. Sosa Simoneau* | EIPH Santiago de Cuba | — | — | △ | (×~△) |
| Lisset Pérez Gómez* | GEARH Camagüey | ○ | — | — | (×~△) |
| Martha Suárez Acuña* | GEARH Camagüey | ○ | — | — | (×~△) |
| Nay Robert del Sol Díaz* | CITA Camagüey | ◎ | — | — | (×~△) |
| Alien Pérez Santos* | CITA Camagüey | — | ◎ | — | (△~×) |

◎ : Comprensión suficiente, ○ : Comprensión media, △ : Comprensión deficiente, × : Requiere asistencia
(*): Debido a que no se presentó a la 7ª capacitación, los Expertos JICA realizaron la evaluación mediante el nivel de comprensión durante el periodo de la capacitación.

2.2.3 Transferencia de tecnología de SIG

Resultado 3: Mejora la capacidad de elaborar SIG de los principales técnicos que servirán como instructores en las capacitaciones de GEIPI.

En relación a la capacitación en SIG, los ingenieros principales contaban ya con un conocimiento básico acumulado sobre el SIG, por lo que las capacitaciones teóricas impartidas por los Expertos JICA se limitaron a sólo dos ocasiones: julio de 2009 y entre noviembre y diciembre de 2009. El resto de la capacitación consistió de capacitación práctica in situ de los técnicos cubanos que establecieron las SIG/BD de cada Provincia.

Tomando como criterios de evaluación los mapas elaborados por los ingenieros participantes en la capacitación, el comportamiento de los técnicos en el proceso de establecimiento de la Base de Datos (BD), y su habilidad como conferencistas en los seminarios dirigidos a los técnicos generales, se consideró que los 7 ingenieros principales y 1 técnico de CITA que participaron en esta capacitación habían logrado un nivel de comprensión suficiente para establecer la SIG/BD y elaborar diferentes mapas temáticos utilizando esa SIG/BD.

Se adjunta a este informe algunos ejemplos de mapas temáticos de SIG que fueron elaborados en las Provincias orientales como resultado de la transferencia de tecnología sobre SIG.

Tabla 2-6: Listado de participantes de la capacitación sobre SIG

| Nombre | Institución | 2009 | |
|----------------------------|-----------------------|-------------|-------------------|
| | | Julio 1ª | Nov. - Dic. 2ª |
| Jorge Luis Blanco Blázquez | EIPH Holguín | ○ | ○ |
| Juan José Almirall Beltrán | EIPH Holguín - Granma | ○ | ○ |
| Carlos Luke Zayas Bazán | EIPH Camagüey | ○ | ○ |
| Adán Echemendía Martínez* | EIPH Camagüey | ○ | — |

| | | | |
|------------------------------------|--------------------------|---|---|
| Martha de la Caridad Suárez Acuña* | GEARH Camagüey | ○ | — |
| Marcell Martínez Contreras | EIPH Holguín - Las Tunas | ○ | ○ |
| Raúl Pérez Rodríguez* | EIPH Holguín - Las Tunas | ○ | — |
| Arturo Lorenzo Ferrás | EIPH Matanzas | ○ | ○ |
| Javier Acosta Infante | EIPH Villa Clara | ○ | ○ |
| Luis Fidel Miranda | EIPH Ciego de Ávila | — | ○ |
| Alien Pérez Santos* | CITA Camagüey | — | ○ |
| Jorge Aguilar* | CITA Camagüey | — | ○ |

* : Participación como Observador

Tabla 2-7: Nivel de comprensión de los participantes en la capacitación sobre SIG

| Nombre | Institución | 1a | 2a | Evaluación general |
|------------------------------------|--------------------------|----|----|--------------------|
| Jorge Luis Blanco Blázquez | EIPH Holguín | ◎ | ◎ | ◎ |
| Juan José Almirall Beltrán | EIPH Holguín - Granma | ◎ | ◎ | ◎ |
| Carlos Luke Zayas Bazán | EIPH Camagüey | ◎ | ◎ | ◎ |
| Adán Echemendía Martínez* | EIPH Camagüey | ○ | — | (○~△) |
| Martha de la Caridad Suárez Acuña* | GEARH Camagüey | ○ | — | (○~△) |
| Marcell Martínez Contreras | EIPH Holguín - Las Tunas | ◎ | ◎ | ◎ |
| Raúl Pérez Rodríguez* | EIPH Holguín - Las Tunas | ○ | — | (○~△) |
| Arturo Lorenzo Ferrás | EIPH Matanzas | ◎ | ◎ | ◎ |
| Javier Acosta Infante | EIPH Villa Clara | ◎ | ◎ | ◎ |
| Luis Fidel Miranda | EIPH Ciego de Ávila | — | ◎ | ◎ |
| Alien Pérez Santos* | CITA Camagüey | — | ◎ | ◎ |
| Jorge Aguilar* | CITA Camagüey | — | × | × |

◎ : Comprensión suficiente, ○ : Comprensión media, △ : Comprensión deficiente, × : Requiere asistencia

(*) : Debido a que no se presentó en la 2ª capacitación, los Expertos JICA realizaron la evaluación mediante el nivel de comprensión de la 1ª capacitación.

2.2.4 Mejoramiento de la capacidad de INRH y GEARH

Resultado 4: Mejora la capacidad de GEARH y las Direcciones de Cuencas Hidrográficas y Obras Hidráulicas de INRH para la evaluación y manejo del agua subterránea aprovechando los resultados de la prospección geofísica, los modelos del agua subterránea y SIG, ejecutados y elaborados por GEIPI.

Las capacitaciones programadas por GEIPI durante el proyecto tuvieron un contenido general amplio debido a que estaban dirigidas a funcionarios con diferentes niveles de formación. Esto era lógico si se considera que era limitado el número del personal técnico que requería el mismo nivel de capacitación que los ingenieros principales que recibieron la transferencia tecnológica directamente de los Expertos JICA. Por lo tanto, la capacitación con contenido general amplio permitió que los técnicos generales de INRH, GEARH y GEIPI lograsen alcanzar el nivel inicialmente fijado en la adquisición de nuevos conocimientos sobre el desarrollo y manejo del agua subterránea, y la aplicación de estos conocimientos en sus trabajos cotidianos.

Por otra parte, las funciones de EIPH/EIPH, GEARH e INRH son distintos, lo cual implica que son diferentes el nivel y contenido técnico requeridos. Además, entre los técnicos de nivel provincial y los de nivel nacional, son distintos los conocimientos que deben ser adquiridos. Todo lo anterior indica que para adquirir una mejor "capacidad de evaluación y

manejo del agua subterránea" que se requiera en los diferentes cargos de cada institución (niveles nacional y provincial), es necesario que, aún después de la conclusión del proyecto, los ingenieros principales capacitados por los Expertos JICA continúen impartiendo capacitaciones a los técnicos generales de INRH, GEARH y GEIPI acorde con las necesidades.

En la 4ª reunión del CCC realizada en diciembre de 2011 GEIPI presentó un plan de capacitación para después de la conclusión del proyecto, y el CCC refrendó su ejecución.

Tabla 2-8: Respuestas a las preguntas del examen dirigido a los participantes del seminario sobre el manejo del agua subterránea

| | ◎ | ◎~○ | ○ | △ | × | Sin respuesta | Total |
|--|----|-----|---|---|---|---------------|-------|
| Seminario sobre el desarrollo y manejo del agua subterránea en la Prov. de Camagüey (21/06/2011) | | | | | | | |
| GEIPI* | 8 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 10 |
| Principales técnicos de GEIPI** | 2 | 0 | 8 | 0 | 0 | 1 | 11 |
| GEARH | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 7 |
| INRH | 1 | 0 | 2 | 0 | 0 | 2 | 5 |
| Otros | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Seminario sobre la evaluación y manejo del agua subterránea en la Prov. de Granma (16/09/2011) | | | | | | | |
| GEIPI* | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 |
| Principales técnicos de GEIPI | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| GEARH | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 2 | 4 |
| INRH | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 |
| Otros | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Seminario sobre la evaluación y y manejo del agua subterránea en la Prov. de Santiago de Cuba (19/09/2011) | | | | | | | |
| GEIPI* | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 6 |
| Principales técnicos de GEIPI | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| GEARH | 2 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 5 |
| INRH | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 4 |
| Otros | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 |
| Presentación de resultados del Proyecto/Seminario sobre el desarrollo y manejo del agua subterránea en La Habana (14-15/12/2011) | | | | | | | |
| GEIPI* | 11 | 2 | 2 | 0 | 0 | 6 | 21 |
| Principales técnicos de GEIPI | 7 | 6 | 0 | 0 | 0 | 1 | 14 |
| GEARH | 23 | 1 | 1 | 0 | 0 | 4 | 29 |
| INRH | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 4 |
| Otros | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 3 | 4 |

* : Excepto los ingenieros principales

** : Debido a que los ingenieros principales estaban sumamente ocupados en la preparación de sus presentaciones, no tuvieron tiempo para responder preguntas.

◎: Comprensión suficiente, ○: Comprensión media, △: Comprensión algo deficiente, ×: Comprensión deficiente

2.2.5 Mejoramiento de la capacidad de GEIPI

Resultado 5: Se transfiere a los técnicos involucrados de GEIPI técnicas relacionadas con la prospección geofísica, modelos del agua subterránea y SIG.

Al igual que en el caso de Resultado 4, no se trató de una capacitación enfocada a los ingenieros especializados en prospección geofísica, o en modelos de agua subterránea, o en SIG dentro de GEIPI, sino que el objetivo del plan de capacitación de GEIPI fue que el personal técnico de GEIPI comprendiera las generalidades de dichas tecnologías y adquiriera un conocimiento básico. Se logró dicho objetivo por medio de los seminarios dirigidos a los técnicos generales, y por medio de los seminarios orientados al Resultado 4. El objetivo futuro será difundir la tecnología a un mayor número de técnicos generales.

Por otra parte, en cuanto al nivel de comprensión concreta de tecnologías específicas, de los técnicos generales de EIPH/EIPI, afiliadas a GEIPI, se les requiere un nivel distinto del requerido a GEARH, que se encarga de los planes de uso y balance de agua, o a INRH, que administra los recursos de agua en general. Actualmente, en los estudios y análisis de GEIPI se utilizan las 3 tecnologías en las siguientes formas.

- Los técnicos generales tienen una comprensión de la prospección geofísica y modelo de agua subterránea e incorporan estos métodos en sus trabajos correspondientes.
- El análisis en la práctica correrá a cargo de los ingenieros principales (o, un equipo formado en torno a ellos).
- Los técnicos generales elaborarán planes de desarrollo y manejo del agua subterránea utilizando los resultados del análisis.
- Respecto a SIG, la mayoría de los técnicos generales tendrá conocimiento del mecanismo de SIG/BD y lo aprovechará en su propio trabajo. Un grupo reducido de técnicos especializados se encargará de elaborar y administrar la SIG/BD.

El Proyecto ha permitido que muchos técnicos generales adquirieran conocimientos sobre la prospección geofísica, el modelo de agua subterránea y el uso de SIG. Sin embargo, para que vaya aumentando el personal técnico que tenga el mismo nivel que los ingenieros principales, es necesario continuar con capacitaciones más especializadas. Este es un tema pendiente para el futuro. Lo positivo es que aparte de las capacitaciones, algunos de los ingenieros principales realizan ya en la actualidad estudios de agua subterránea en otras Provincias. Y en dichos estudios participan técnicos de la propia Provincia, quienes reciben la capacitación in situ (OJT), ofreciéndose así oportunidades a los técnicos generales de GEIPI de entrar en contacto con las nuevas tecnologías.

Tabla 2-9: Respuestas a las preguntas del examen dirigido a los participantes del seminario sobre tecnología general

| | ◎ | ◎~○ | ○ | △ | × | Sin respuesta | Total |
|--|---|-----|---|---|---|---------------|-------|
| Seminario sobre tecnología general de prospección geofísica en la Prov. de Pinar del Río (12-14/09/2011) | | | | | | | |
| GEIPI* | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 | 9 |
| Principales técnicos de GEIPI | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| GEARH | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 |

| | | | | | | | |
|---|----|---|---|---|---|---|----|
| INRH | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 |
| Otros | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 13 |
| Seminario sobre la tecnología general de SIG en la Prov. de Granma (14-15/09/2011) | | | | | | | |
| GEIPI* | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 4 |
| Principales técnicos de GEIPI | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| GEARH | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 2 | 4 |
| INRH | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 |
| Otros | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Seminario sobre la tecnología general de modelo de agua subterránea en La Habana (26/09/2011) | | | | | | | |
| GEIPI* | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 | 8 |
| Principales técnicos de GEIPI | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| GEARH | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| INRH | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 3 |
| Otros | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

* : Excepto los principales técnicos

⊙: Comprensión suficiente, ○: Comprensión media, △: Comprensión algo deficiente, ×: Comprensión deficiente

2.3 Objetivo del Proyecto

Los indicadores del objetivo del Proyecto, y el estado del logro del objetivo se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 2-10: Indicadores del objetivo del Proyecto y estado del logro

| Indicadores | Estado del logro |
|---|--|
| Objetivo del Proyecto: Mejora la capacidad de desarrollo y manejo del agua subterránea de INRH (incluyendo GEIPI y GEARH). | |
| <ul style="list-style-type: none"> Se resumen y presentan las posibilidades y temas del desarrollo del agua subterránea en el sitio modelo (hidrogeología, distribución del agua subterránea, calidad del agua, pronóstico indicado por el modelo del agua subterránea). | <p>En el seminario sobre el manejo del agua subterránea organizado en junio en Camaguey, se presentó un resumen de las posibilidades y la problemática del desarrollo del agua subterránea en el sitio modelo.</p> <p>La mejora subsiguiente en el modelo de agua subterránea permitió lograr una mejor comprensión del nivel del agua subterránea, el flujo de agua subterránea, el movimientos de sustancias, etc.</p> <p>En la presentación de los resultados del Proyecto/Seminario sobre el desarrollo y manejo del agua subterránea realizado en diciembre en La Habana, se presentaron los resultados de análisis más precisos sobre las posibilidades de desarrollo del agua subterránea y su problemática, y los puntos a tener en cuenta en su desarrollo.</p> |
| <ul style="list-style-type: none"> Se reflejan en el informe anual de GEARH los resultados del análisis y manejo del agua subterránea basados en modelos del agua subterránea y base de datos de SIG. | <p>Está previsto que en el informe anual de GEARH a publicarse en febrero de 2012, aparezca un informe relacionado con planes de análisis y manejo del agua subterránea, basados en los resultados del Proyecto, un modelo de agua subterránea y una base de datos SIG. En diciembre de 2011 se completó un borrador.</p> |
| <ul style="list-style-type: none"> Se reflejan en el informe anual de INRH los resultados del análisis y manejo del agua | <p>Está previsto que en la revista de INRH "VOLUNTAD HIDRAULICA" a publicarse en febrero de 2012, o en el Anuario INRH, conste el caso del distrito Sola como un ejemplo del método de análisis y manejo del agua subterránea, conforme a un modelo de agua subterránea y SIG/BD. En</p> |

| | |
|---|--|
| subterránea basados en modelos del agua subterránea y base de datos de SIG. | diciembre de 2011 se completó un borrador. |
|---|--|

3 Actividades realizadas

3.1 Programa de ejecución de actividades

La Figura 3-1 presenta el flujo de las actividades del Proyecto, y la Tabla 3-1 el Plan de Operación (PO₄).

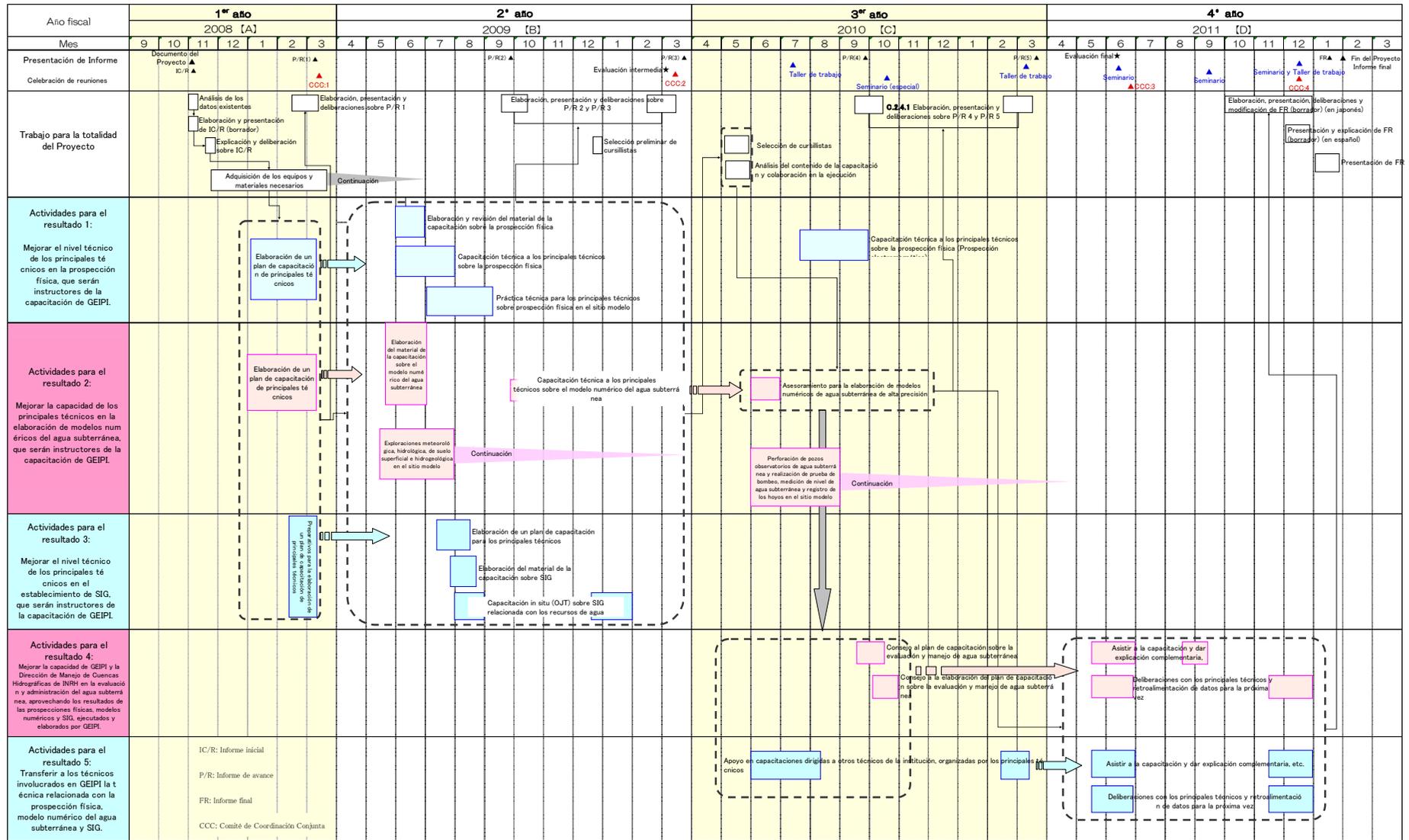


Figura 3-1: Flujo de trabajos del Proyecto

3.2 Contenido de las principales actividades

3.2.1 Transferencia de tecnología de prospección geofísica

a. Actividad 1-1: Elaborar un plan de capacitación para los principales técnicos

Las actividades referidas a esta cláusula se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 3-2: Componentes de la Actividad 1-1

| Periodo de la actividad | Contenido de la actividad |
|---------------------------------------|--|
| 1 ^{er} año (febrero de 2009) | Se elaboró un programa de capacitación sobre prospección geofísica dirigida a los ingenieros principales. Se preparó un plan sobre métodos de capacitación con el uso del equipo de prospección de resistividad bidimensional, propiedad de GEIPI, para realizar una prospección de la estructura geológica en el sitio modelo (distrito Sola de la Provincia de Camagüey) en el primer semestre del 2 ^o año. |
| 1 ^{er} año (marzo de 2009) | En las reuniones de CEP y CCC, tuvieron lugar la explicación, la deliberación y la verificación sobre el programa de capacitación en prospección geofísica, dirigida a los ingenieros principales. |
| 3 ^{er} año (agosto de 2010) | El retraso en la adquisición del equipo de prospección electromagnética no fue un impedimento para la elaboración de un plan de capacitación sobre prospección electromagnética para agosto-septiembre de 2010. Tras las deliberaciones del caso, se determinó el programa de participación de los pertinentes ingenieros principales durante este periodo. |

b. Actividad 1-2: Elaborar y revisar el material de capacitación sobre la prospección geofísica (prospección eléctrica y electromagnética)

Las actividades referidas a esta cláusula se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 3-3: Componentes de la Actividad 1-2

| Periodo de la actividad | Contenido de la actividad |
|--|--|
| 1er año (enero - marzo de 2009) | Se elaboró un borrador del texto para la capacitación sobre prospección de resistividad bidimensional (principalmente suplemento al texto elaborado por un Experto JICA en estudios de agua subterránea, enviado a corto plazo en 2006). |
| 2 ^o año (junio de 2009) | Se revisó el texto para la capacitación sobre prospección de resistividad bidimensional, tras deliberaciones con la contraparte. |
| 3 ^{er} año (agosto de 2010) | Se elaboró un texto para la capacitación sobre prospección electromagnética, en coincidencia con el inicio de la capacitación en el aula y las prácticas de prospección en el campo. |
| 4 ^o año (diciembre de 2011) | El texto para la capacitación fue enriquecido con las modificaciones que fueron indicadas durante las actividades de capacitación. La versión final del texto fue entregada en diciembre de 2011 durante la reunión del CCC. |

c. Actividad 1-3: Dar capacitación técnica a los principales técnicos sobre la prospección geofísica, quienes serán instructores de futuras capacitaciones

Las actividades referidas a esta cláusula se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 3-4: Componentes de la Actividad 1-3

| Periodo de la actividad | Contenido de la actividad |
|--|--|
| 1er año (enero de 2009) | Inicialmente se mantuvieron intercambios de opiniones con el fin de comprender el nivel de los ingenieros principales que participarían en la capacitación, así como también para comprender sus requerimientos de capacitación. Se realizó una práctica de prospección de resistividad bidimensional en el sitio modelo de Sola con el fin de evaluar las condiciones de mantenimiento del equipo de prospección de resistividad bidimensional perteneciente a GEIPI, además de evaluar la capacidad de los ingenieros principales en los trabajos en el terreno. |
| 3 ^{er} año (agosto de 2010) | Después de realizar una inspección y comprobar la recepción de los componentes del equipo de prospección electromagnética, se realizó una capacitación en el aula sobre las generalidades de la prospección electromagnética y el manejo adecuado de los equipos. La práctica de la prospección electromagnética en el sitio modelo de Sola abarcó desde la calibración necesaria antes de tomar los datos de medición, hasta el análisis de los datos recolectados. |
| 3 ^{er} año (septiembre de 2010) | Se imparte la capacitación sobre métodos de revisión y análisis de datos obtenidos de la prospección electromagnética, complementados con prácticas en el terreno. |
| 4 ^o año (junio de 2011) | Se realiza la capacitación sobre la interpretación hidrogeológica de los resultados de la prospección electromagnética. |

d. Actividad 1-4: Dar práctica técnica a los principales técnicos sobre la prospección geofísica en el sitio modelo, quienes serán instructores de futuras capacitaciones

Las actividades referidas a esta cláusula se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 3-5: Componentes de la Actividad 1-4

| Periodo de la actividad | Contenido de la actividad |
|--|--|
| 2 ^o año (junio de 2009) | Se desarrollan prácticas complementarias de prospección de resistividad bidimensional en el sitio modelo, distrito Sola, como ampliación de la transferencia de tecnología realizada por el Experto JICA en estudios de agua subterránea, enviado a corto plazo en 2006. |
| 2 ^o año (noviembre - diciembre de 2009) | De acuerdo con el plan elaborado en junio de 2009, en ausencia de los Expertos JICA, se prosiguió con la prospección de resistividad bidimensional en el distrito Sola a cargo de los ingenieros principales. |
| 3 ^{er} año (agosto - septiembre de 2010) | En el distrito Sola se desarrollaron prácticas de prospección electromagnética con el fin de estudiar la estructura hidrogeológica para establecer un modelo de agua subterránea. |

| | |
|---|---|
| 3 ^{er} año (diciembre de 2010 – febrero de 2011) | La prospección electromagnética en el distrito Sola continuó por parte de los ingenieros principales aun en ausencia de los Expertos JICA. |
| 3 ^{er} año (febrero - marzo de 2011) | Continuaron las prácticas de prospección en el distrito Sola por parte de los ingenieros principales pero incluyendo también a técnicos generales, y completando la capacitación con el análisis de los datos obtenidos en el aula. |
| 4 ^o año (junio de 2011) | Se ordenan los resultados de la prospección geofísica en el distrito Sola para su utilización como datos en el modelo de agua subterránea. En el ordenamiento de los resultados de la prospección geofísica, se definen con claridad las características y la precisión de cada método de prospección, incluyendo las comparaciones de los resultados de la prospección eléctrica y la prospección electromagnética, y se presentan los resultados del análisis integral de la estructura hidrogeológica del distrito Sola. |

3.2.2 Transferencia de tecnología sobre el modelo de agua subterránea

a. Actividad 2-1: Elaborar un plan de capacitación para los principales técnicos

Las actividades referidas a esta cláusula se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 3-6: Componentes de la Actividad 2-1

| Periodo de la actividad | Contenido de la actividad |
|---------------------------|--|
| 1er año (febrero de 2009) | Se elaboró un programa de capacitación sobre el modelo de agua subterránea, dirigido a los ingenieros principales. |
| 1er año (marzo de 2009) | En CEP y CCC, tuvieron lugar la explicación, la deliberación y la verificación del programa de capacitación sobre el modelo de agua subterránea, dirigido a los ingenieros principales, aprobándose en consecuencia el programa de capacitación. |

b. Actividad 2-2: Elaborar el material de capacitación sobre el modelo de agua subterránea

Las actividades referidas a esta cláusula se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 3-7: Componentes de la Actividad 2-2

| Periodo de la actividad | Contenido de la actividad |
|--|--|
| 2 ^o año (junio de 2009) | El libro de texto y materiales para la capacitación preparados para el Proyecto se entregaron a los ingenieros principales. |
| 4 ^o año (diciembre de 2011) | El texto para la capacitación fue enriquecido con las modificaciones que fueron indicadas durante las actividades de capacitación. La versión final del texto fue entregada en diciembre de 2011 durante la reunión del CCC. |

c. Actividad 2-3: Dar capacitación técnica a los principales técnicos sobre el modelo del agua subterránea, quienes serán instructores de futuras capacitaciones

Las actividades referidas a esta cláusula se presentan en la siguiente tabla.

Las capacitaciones 6ª y 7ª sobre modelo de agua subterránea se describen en la Actividad 2-6.

Tabla 3-8: Componentes de la Actividad 2-3

| Periodo de la actividad | Contenido de la actividad |
|----------------------------|---|
| 1er año (febrero de 2009) | Como inicio del programa de capacitaciones sobre modelo de agua subterránea, se realizó en La Habana un seminario de introducción al modelo de agua subterránea, dirigido a los ingenieros principales. (1ª Capacitación sobre modelo de agua subterránea). |
| 2º año (junio de 2009) | La 2ª capacitación sobre modelo de agua subterránea consistió de una sesión de estudio sobre la metodología del modelo de agua subterránea. |
| 2º año (noviembre de 2009) | La 3ª capacitación sobre modelo de agua subterránea consistió de un ejercicio sobre un modelo de movimientos de agua subterránea y sustancias con el uso de FEFLOW (programa informático de análisis de agua subterránea según el método de elementos finitos). |
| 2º año (febrero de 2010) | La 4ª capacitación sobre modelo de agua subterránea incluyó un curso sobre la idea básica del flujo de densidad y un ejercicio de simulación de la intrusión salina con el uso de FEFLOW. Además, la capacitación abarcó el concepto de recarga de agua subterránea que incluyó métodos de cálculo estimado de recarga de agua subterránea utilizando un modelo de tanque. |
| 3er año (junio de 2010) | La 5ª capacitación sobre modelo de agua subterránea consistió de estudios sobre la preparación e ingreso de datos con el uso de PMWIN (programa informático de análisis según el método diferencial). |

d. Actividad 2-4: Llevar a cabo estudios meteorológicos, hidrológicos, y de suelo superficial e hidrogeológicos en el sitio modelo

Las actividades referidas a esta cláusula se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 3-9: Componentes de la Actividad 2-4

| Periodo de la actividad | Contenido de la actividad |
|-----------------------------------|---|
| 1er año (diciembre de 2008) | Los Expertos JICA realizaron estudios exploratorios en el sitio modelo (distrito Sola), recopilaron la información hidrogeológica de EIPH Camagüey, y ordenaron una serie de mapas topográficos y geológicos. |
| 1er año (enero - febrero de 2009) | Los expertos realizaron estudios básicos de la calidad de agua en los pozos accesibles en el distrito Sola. Además, se recibieron de EIPH Camagüey los datos de pozos, así como también los datos hidro-meteorológicos y de calidad de agua. Todos estos datos fueron ordenados con miras a su utilización posterior. |
| 2º año (junio - julio de 2009) | Como continuación de lo iniciado en el 1er año, se realizaron estudios |

| | |
|---------------------------------------|--|
| | hidrogeológicos (incluyendo la medición del nivel de agua subterránea y la determinación de la calidad de agua) en el distrito Sola. Estos datos fueron utilizados para preparar un cuadro general de la hidrogeología del distrito Sola. |
| 2º año (octubre - noviembre de 2009) | En base a los resultados obtenidos hasta el primer semestre del 2º año, se digitalizaron los datos hidrogeológicos para ingresarlos a un modelo de agua subterránea. Los ingenieros principales participantes de la capacitación sobre modelo de agua subterránea realizaron una gira de observación del terreno en el distrito Sola, lo cual dió lugar a deliberaciones referentes a detalles técnicos del modelo. |
| 2º año (noviembre de 2009 – presente) | Al disponerse de los datos necesarios para la formulación de un modelo de agua subterránea, que fueron solicitados a EIPH Camaguey, los ingenieros principales participantes de la capacitación se dedicaron al ordenamiento y la preparación de esos datos para su utilización en el modelo. Se iniciaron los trabajos de campo consistentes en la medición del nivel del agua subterránea, la medición de los parámetros básicos de la calidad de agua, y la medición del caudal de los ríos, las cuales continúan ejecutándose hasta el presente. Los resultados de estas mediciones han sido ordenados y preparados para su utilización en el modelo de agua subterránea. |
| 3º año (junio de 2010) | Con el fin de establecer un apropiado alcance y condiciones límites del modelo, los ingenieros principales participantes de la capacitación en modelo de agua subterránea visitaron el sitio modelo en el distrito Sola, y realizaron las deliberaciones pertinentes en el terreno. |
| 3º año (agosto de 2010) | Los ingenieros de EIPH Camaguey recibieron una capacitación sobre métodos de medición del caudal de ríos, y sobre el ordenamiento de los datos obtenidos. Asimismo, se realizaron prácticas de medición de caudal de ríos utilizando un medidor electromagnético de velocidad de flujo. |
| 3º año (agosto - octubre de 2010) | Los ingenieros de EIPH Camaguey realizaron mediciones del caudal fluvial en 5 puntos del río Máximo y en 11 puntos del río Jigüey. |

e. Actividad 2-5: Perforar pozos observatorios de agua subterránea en el sitio modelo y realizar pruebas de bombeo, monitoreo freático, y, registro de pozos

Las actividades referidas a esta cláusula se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 3-10: Componentes de la Actividad 2-5

| Periodo de la actividad | Contenido de la actividad |
|--------------------------------|---|
| 2º año (27 de octubre de 2009) | En el convenio bilateral sobre el proyecto, firmado entre Cuba y Japón, la perforación de los pozos exploratorios se estableció como de responsabilidad de la Parte Cubana. Sin embargo, en la 4ª reunión del CEP, la Parte Cubana solicitó a la Parte Japonesa asumir la responsabilidad financiera por la perforación de los pozos exploratorios, debido a que las condiciones económicas imposibilitaban a la Parte Cubana disponer de los fondos necesarios para la adquisición de los equipos y materiales, consumibles y combustibles para la perforación de los pozos. |
| 2º año (19 de marzo de 2010) | Aprovechando la disponibilidad en el mercado, la Parte Japonesa adquirió y donó 114 metros de tubos galvanizados de 4" para su utilización como filtro en |

| | |
|--|---|
| | los pozos exploratorios. |
| 3 ^{er} año (14 de agosto de 2010) | Se firma el contrato para la perforación de los pozos exploratorios. La firma del contrato de perforación tuvo un retraso exagerado. Inicialmente, la demora fue causada por las dificultades en la definición de quiénes serían las partes del contrato, es decir, quiénes serían el contratante y el contratista. Además, hubo dificultades en la definición de la forma de pago que se refería a la inclusión o no de ciertos materiales como las planchas de hierro. Esto se debió a que el mecanismo cubano requería que el contratante, o cliente, debía poner los materiales necesarios a disposición del contratista, o la empresa perforadora, para que el contratista comience con los trabajos de perforación. En marzo de 2010, estaba previsto que la única empresa importadora autorizada del ramo en Cuba importaría las planchas de hierro y otros materiales necesarios para el mes de mayo, pero en junio aun no había tenido lugar la importación. Por lo tanto, en julio GEIPI negoció con la empresa perforadora y llegaron a un acuerdo para utilizar las planchas de hierro en poder de la empresa perforadora. |
| 3 ^{er} año (enero de 2011) | Se inicia la perforación de un pozo exploratorio. Debido al retraso en pagos en moneda nacional correspondiente a GEIPI, se produjo un retraso adicional en el inicio de la perforación. |
| 3 ^{er} año (febrero de 2011) | El contrato de perforación firmado el 14 de agosto de 2010 se refería a la perforación de dos pozos exploratorios. Sin embargo, la demora exagerada en iniciar los trabajos de perforación llevó a la conclusión de la Parte Japonesa a finales de enero de que sería prácticamente imposible lograr la perforación de los dos pozos exploratorios para el fin de marzo (fin del año fiscal japonés). Por lo tanto, en base a deliberaciones, en el mes de febrero se llegó a un acuerdo con la Parte Cubana para realizar la perforación de un solo pozo exploratorio, que sería el pozo identificado como JICA01, debido a la alta prioridad para el proyecto en esclarecer la estructura hidrogeológica del sitio modelo. Se concluyó que los resultados de las prospecciones geofísicas podrían suplir las carencias de información. |
| 4 ^o año (septiembre de 2011) | La demora en la perforación del pozo exploratorio hizo imposible realizar una capacitación suficiente sobre pruebas de bombeo utilizando el pozo exploratorio. Por lo tanto, se llevó a cabo una capacitación adicional de prueba de bombeo utilizando un pozo existente en el distrito Sola. Asimismo, para los ingenieros principales que participaron en la capacitación sobre prospección geofísica, se realizó una capacitación sobre registro de pozos utilizando un pozo existente. |

f. Actividad 2-6: Dar asesoramiento sobre la elaboración de modelos del agua subterránea de alta precisión

Las actividades referidas a esta cláusula se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 3-11: Componentes de la Actividad 2-6

| Periodo de la actividad | Contenido de la actividad |
|---|--|
| 3 ^{er} año (febrero - marzo de 2011) | La 6 ^a capacitación sobre el modelo de agua subterránea consistió en preparar un modelo detallado del sitio modelo (distrito Sola), para lo cual se llevó a cabo una capacitación sobre el ingreso en el modelo de datos cuantificados, tales |

| | |
|------------------------|---|
| | como los parámetros de la estructura geológica subterránea y las características de los estratos. Además, se preparó un marco del modelo. |
| 4º año (junio de 2011) | En la 7ª capacitación sobre modelo de agua subterránea se concluyó el modelo detallado mencionado arriba, completándose de esta manera el establecimiento del modelo de agua subterránea del distrito Sola. Utilizando este modelo, se realizaron estimaciones futuras en base a varios escenarios especificados, y los resultados de tales simulaciones pueden ser utilizados en el manejo del agua subterránea. |

3.2.3 Transferencia de tecnología de SIG

a. Resultado 3-1: Elaborar un plan de capacitación para los principales técnicos

Las actividades referidas a esta cláusula se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 3-12: Componentes de la Actividad 3-1

| Periodo de la actividad | Contenido de la actividad |
|---------------------------------|---|
| 1º año (marzo de 2009) | Para elaborar un programa de capacitación, se realizaron visitas a las oficinas de EIPH de las 3 Provincias orientales (Camagüey, Holguín y Las Tunas), en donde se les explicó la idea general de la capacitación sobre SIG. Se efectuaron intercambios de opiniones con cada institución sobre el contenido de la capacitación y la forma de llevarla a cabo. |
| 2º año (julio - agosto de 2009) | Se elaboró un plan de establecimiento de SIG/BD para cada Provincia en forma conjunta con los ingenieros principales de las 3 Provincias orientales. |

b. Resultado 3-2: Elaborar el material de capacitación sobre SIG

Las actividades referidas a esta cláusula se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 3-13: Componentes de la Actividad 3-2

| Periodo de la actividad | Contenido de la actividad |
|----------------------------|--|
| 2º año (julio de 2009) | Se preparó un texto de capacitación que se entregó a los ingenieros principales junto con los datos básicos para iniciar la capacitación de SIG. |
| 4º año (diciembre de 2011) | El texto para la capacitación fue enriquecido con las modificaciones que fueron indicadas durante las actividades de capacitación. La versión final del texto fue entregada en diciembre de 2011 durante la reunión del CCC. |

c. Resultado 3-3: Realizar una capacitación in situ sobre el diseño de SIG para los recursos agua

Las actividades referidas a esta cláusula se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 3-14: Componentes de la Actividad 3-3

| Periodo de la actividad | Contenido de la actividad |
|--|--|
| 2º año (julio de 2009) | La 1ª capacitación sobre SIG se realizó en CITA como una serie de conferencias sobre SIG correspondientes a los módulos 3 al 7 del texto. |
| 2º año (julio - agosto de 2009) | En julio en las Provincias de Camagüey y Holguín, y en agosto en la Provincia de Las Tunas, se elaboró un plan de establecimiento de SIG/BD en forma conjunta con los encargados de cada oficina, y se llevó a cabo una capacitación in situ (OJT) sobre el diseño de SIG. |
| 2º año (noviembre - diciembre de 2009) | La 2ª capacitación sobre SIG se realizó en CITA utilizando programas informáticos de SIG que se disponen gratuitamente, libres de cargos en la red. |
| 2º año (diciembre de 2009) | En las 3 Provincias objeto (Camagüey, Holguín y Las Tunas) se comprobó el avance del plan de establecimiento de SIG/BD, y se llevó a cabo una capacitación in situ (OJT) sobre la preparación de meta-datos, análisis de datos, representación gráfica, etc. |
| 3º año (junio de 2010) | Se comprobó en los seminarios de difusión general realizados en las 3 Provincias orientales que el proceso de establecimiento de SIG/BD estaba dando resultados satisfactorios. |
| 3º año (febrero - marzo de 2011) | Se actualizó la capacitación sobre SIG/BD en las 3 Provincias orientales, se identificaron puntos problemáticos y se mantuvieron deliberaciones con los encargados de cada Provincia. |
| 4º año (septiembre de 2011) | Se comprobó el establecimiento de SIG/BD en las 3 Provincias orientales, y se mantuvieron discusiones sobre los futuros métodos de actualización. |

3.2.4 Capacitación del Personal Técnico de INRH y GEARH

- a. **Actividad 4-1: Los principales técnicos planean la capacitación dirigido a los funcionarios de GEARH y las Direcciones de Cuencas Hidrográficas y Obras Hidráulicas de INRH, bajo asesoramiento de los expertos, sobre la evaluación y manejo del agua subterránea, basados en el conocimiento y datos adquiridos sobre la prospección geofísica, modelo del agua subterránea y SIG.**

Las actividades referidas a esta cláusula se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 3-15: Componentes de la Actividad 4-1

| Periodo de la actividad | Contenido de la actividad |
|--------------------------------------|--|
| 3º año (octubre - noviembre de 2010) | Antes de elaborar un programa de capacitación, y con el fin de mejorar el conocimiento sobre evaluación y manejo del agua subterránea por parte del personal técnico de las instituciones involucradas, se realizó un seminario en forma de conferencia con la participación del personal técnico de EIPH/EIPI, GEARH, Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente, etc. en las Provincias de Camagüey, Holguín, Las Tunas, Ciego de Ávila, Villa Clara y Matanzas (Provincias a que pertenecen los ingenieros principales participantes en las diversas capacitaciones). |
| 3º año (marzo de 2011) | En la reunión del CEP se deliberó sobre la realización de seminarios de evaluación y manejo del agua subterránea en el 4º año, en los meses de junio |

| | |
|--|---|
| | (Provincia de Camagüey) y diciembre (La Habana), en donde los ingenieros principales actuarán como conferencistas. Los Expertos JICA presentaron un borrador del programa del seminario de junio en la Provincia de Camagüey. |
|--|---|

b. Actividad 4-2: Los principales técnicos elaboran y revisan el material de capacitación, bajo asesoramiento de los expertos.

Las actividades referidas a esta cláusula se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 3-16: Componentes de la Actividad 4-2

| Periodo de la actividad | Contenido de la actividad |
|---|--|
| 3 ^{er} año (octubre - noviembre de 2010) | En los seminarios realizados en las Provincias a que pertenecen los ingenieros principales participantes en la capacitación descrita en Actividad 4-1, se entregaron a los participantes el material impreso sobre Introducción al Manejo de Recursos Hídricos Subterráneos (material del Banco Mundial, versión en español). |
| 4 ^o año (junio - septiembre de 2011) | En base a los materiales preparados para el seminario sobre desarrollo y manejo del agua subterránea organizado en junio en la Provincia de Camagüey y los seminarios organizados en septiembre en las Provincias de Granma y Santiago de Cuba, además del documento del Banco Mundial antes mencionado, se elaboró un texto para futuras capacitaciones sobre evaluación y manejo del agua subterránea. |
| 4 ^o año (diciembre de 2011) | El texto para la capacitación fue enriquecido con las modificaciones que fueron indicadas durante las actividades de capacitación. La versión final del texto fue entregada en diciembre de 2011 durante la reunión del CCC. |

c. Actividad 4-3: Los principales técnicos imparten la capacitación y los expertos la complementan oportunamente.

Las actividades referidas a esta cláusula se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 3-17: Componentes de la Actividad 4-3

| Periodo de la actividad | Contenido de la actividad |
|---|--|
| 4 ^o año (junio de 2011) | Se realizó un seminario sobre el desarrollo y manejo del agua subterránea en la Provincia de Camagüey. |
| 4 ^o año (septiembre de 2011) | Se realizaron seminarios sobre evaluación y manejo del agua subterránea en las Provincias de Granma y Santiago de Cuba, actuando de conferencistas los ingenieros principales que habían recibido la capacitación en 3 áreas de especialización. |
| 4 ^o año (diciembre de 2011) | Se realizó un seminario sobre el desarrollo y manejo del agua subterránea en La Habana. |

d. Actividad 4-4: Luego de la capacitación, los principales técnicos y los expertos analizan la capacitación ejecutada para reflejarlo en nuevos cursos.

Las actividades referidas a esta cláusula se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 3-18: Componentes de la Actividad 4-4

| Periodo de la actividad | Contenido de la actividad |
|-------------------------------------|---|
| 4º año (junio y septiembre de 2011) | Después del seminario sobre el desarrollo y manejo del agua subterránea realizado en junio en la Provincia de Camagüey, y de los seminarios sobre evaluación y manejo del agua subterránea realizados en septiembre en las Provincias de Granma y Santiago de Cuba, los ingenieros principales de GEIPI y los expertos JICA debatieron sobre los métodos de difusión de los conocimientos pertinentes al manejo del agua subterránea. |
| 4º año (diciembre de 2011) | En la 4ª reunión del CCC se hizo público el programa de capacitación de INRH (GEIPI) para los años 2012 y 2013. |

3.2.5 Mejoramiento de la capacidad de GEIPI

a. Actividad 5-1: Los principales técnicos realizan la capacitación dirigida a otros técnicos de GEIPI, bajo asesoramiento de los expertos, sobre la prospección geofísica, modelos del agua subterránea y SIG.

Las actividades referidas a esta cláusula se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 3-19: Componentes de la Actividad 5-1

| Periodo de la actividad | Contenido de la actividad |
|-------------------------|--|
| 3º año (junio de 2010) | En las 3 Provincias orientales se realizaron las capacitaciones referidas como seminario de tecnología general, actuando como conferencistas los Expertos JICA y los ingenieros principales, con el propósito de que los técnicos generales de las instituciones involucradas comprendieran el contenido del Proyecto. Además, se debatieron sobre la forma de desarrollo de futuras capacitaciones. |
| 4º año (junio de 2011) | La Parte Cubana presentó un borrador del programa de capacitación dirigido a técnicos generales, a ser ejecutado por parte de los ingenieros principales de GEIPI a partir del 4º año. Para que dicha capacitación mantenga coherencia con las actividades del Proyecto, se modificó el calendario de la misma ateniéndose a las sugerencias de los Expertos JICA. |

b. Actividad 5-2: Los principales técnicos imparten la capacitación y los expertos la complementan oportunamente.

Las actividades referidas a esta cláusula se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 3-20: Componentes de la Actividad 5-2

| Periodo de la actividad | Contenido de la actividad |
|--|--|
| 3 ^{er} año (junio - julio de 2010) | En la Provincia de Camagüey (CITA), se realizó un seminario de difusión de SIG, actuando como conferencista un técnico de CITA que había participado como observador en la capacitación sobre SIG. |
| 3 ^{er} año (febrero - marzo de 2011) | Se llevó a cabo una capacitación sobre prospección electromagnética en el sitio modelo (distrito Sola) dirigida a los ingenieros principales, pero incluyendo también a algunos técnicos generales. Esta fue una de las actividades del Resultado 1, y a través de la capacitación realizada por los ingenieros principales a técnicos generales que participaron por primera vez, se identificaron algunos aspectos del texto de la capacitación que requerían de ciertas modificaciones. |
| 3 ^{er} año (marzo de 2011) | En la Provincia de Villa Clara, los ingenieros principales realizaron un seminario de difusión de SIG dirigido a técnicos generales de EIPH Villa Clara. Un técnico de CITA participó en este seminario, y junto con los expertos JICA, complementaron las explicaciones dadas por los ingenieros principales. |
| 4 ^o año (12-14 de septiembre de 2011) | Con la participación de los Expertos JICA, en la Provincia Pinar del Río se realizó un seminario sobre prospección geofísica dirigido a técnicos generales, actuando de conferencistas los ingenieros principales que habían recibido la capacitación mencionada en el Resultado 1. |
| 4 ^o año (14-15 de septiembre de 2011) | Con la participación de los Expertos JICA, en la Provincia de Granma se realizó un seminario sobre SIG dirigido a técnicos generales, actuando de conferencistas los ingenieros principales que habían recibido la capacitación mencionada en el Resultado 3. |
| 4 ^o año (26 de septiembre de 2011) | Con la participación de los Expertos JICA, en La Habana se realizó un seminario sobre modelo de agua subterránea dirigido a técnicos generales, actuando de conferencista uno de los ingenieros principales que habían recibido la capacitación mencionada en el Resultado 2. |
| 4 ^o año (diciembre de 2011) | En La Habana se desarrolló un taller de trabajo (presentación de los resultados del proyecto/seminario sobre el desarrollo y manejo del agua subterránea), donde los ingenieros principales de GEIPI presentaron los resultados de la capacitación. |

c. Actividad 5-3: Luego de la capacitación, los principales técnicos y los expertos analizan la capacitación ejecutada para reflejarlo en nuevos cursos.

Las actividades referidas a esta cláusula se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 3-21: Componentes de la Actividad 5-3

| Periodo de la actividad | Contenido de la actividad |
|---|---|
| 4 ^o año (septiembre de 2011) | En base a los resultados de los 3 seminarios realizados en septiembre de 2011, descritos en la Actividad 5-2, los ingenieros principales deliberaron con los Expertos JICA sobre la mejor forma de llevar adelante la capacitación en las 3 áreas de especialización, revisando el contenido de futuras capacitaciones. |
| 4 ^o año (diciembre de 2011) | En la 4 ^a reunión del CCC se hizo público el programa de capacitación de INRH (GEIPI) en las tres áreas especializadas para los años 2012 y 2013. |

4 Aportes realizados

4.1 Envío de expertos

Los Expertos JICA enviados a Cuba en el marco del proyecto se presentan en la tabla siguiente (los envíos realizados por cuenta de la propia empresa consultora se indican en forma separada).

Tabla 4-1: Envío de expertos

| Cargo | Nombre | Nombre | Periodo del envío | M/M |
|---|-----------------------------------|----------------------------------|---|------|
| Líder/Modelo de agua subterránea 1 | Akira Kamata | 1 ^{er} año | 16/11/2008 - 09/12/2008 (24 días) | 2,20 |
| | | | 06/02/2009 - 19/03/2009 (42 días) | |
| | | 2 ^o año | 25/05/2009 - 30/06/2009 (37 días) | 4,50 |
| | | | 01/10/2009 - 17/11/ 2009 (48 días) | |
| | | | 30/01/2010 - 20/03/2010 (50 días) | |
| | | 3 ^{er} año | 01/06/2010 - 10/07/2010 (40 días) | 3,33 |
| | 16/10/2010 - 14/11/2010 (30 días) | | | |
| | 19/02/2011 - 20/03/2011 (30 días) | | | |
| | Shigeki Kihara | 4 ^o año | 31/05/2011 - 29/06/2011 (30 días) ¹⁾ | 2,70 |
| | | | 01/09/2011 - 30/09/2011 (30 días) | |
| 2011/11/30 - 2011/12/20 (21 días) ²⁾ | | | | |
| Modelo de agua subterránea 2 | Naoaki Shibazaki | 2 ^o año | 01/06/2009 - 30/06/2009 (30 días) | 1,00 |
| | | 3 ^{er} año | 01/06/2010 - 30/06/2010 (30 días) | 1,00 |
| | | 4 ^o año | 31/05/2011 - 29/06/2011 (30 días) | 1,00 |
| Hidrogeología 1 | Yusuke Oshika | 1 ^{er} año | 10/12/2008 - 13/02/2009 (66 días) | 2,20 |
| | | 2 ^o año | 25/05/2009 - 23/07/2009 (60 días) | 2,00 |
| Hidrogeología 2 | Shigeki Kihara | 2 ^o año | 01/10/2009 - 29/11/2009 (60 días) | 4,00 |
| | | | 25/01/2010 - 25/03/2010 (60 días) | |
| | | 3 ^{er} año | 01/06/2010 - 10/07/2010 (40 días) | 2,97 |
| | | | 02/08/2010 - 26/08/2010 (25 días) | |
| | Masatoshi Tanaka | 4 ^o año ³⁾ | 19/02/2011 - 14/03/2011 (24 días) | 1,70 |
| | | | 31/05/2011 - 29/06/2011 (30 días) | |
| Prospección geofísica | Takuya Yabuta | 1 ^{er} año | 08/01/2009 - 14/03/2009 (66 días) | 2,20 |
| | | 2 ^o año | 01/06/2009 - 30/06/2009 (30 días) | 1,00 |
| | | 3 ^{er} año | 20/07/2010 - 02/10/2010 (75 días) | 3,30 |
| | | | 19/02/2011 - 14/03/2011 (24 días) | |
| | | 4 ^o año | 31/05/2011 - 29/06/2011 (30 días) | 1,70 |
| | | | 01/12/2011 - 21/12/2011 (21 días) | |
| SIG | Lei Peifen | 1 ^{er} año | 24/02/2009 - 19/03/2009 (24 días) | 0,80 |
| | | 2 ^o año | 26/06/2009 - 15/08/2009 (51 días) | 3,20 |
| | | | 16/11/2009 - 30/12/2009 (45 días) | |
| | | 3 ^{er} año | 16/06/2010 - 15/07/2010 (30 días) | 2,00 |
| | | | 19/02/2011 - 20/03/2011 (30 días) | |

| | | | | |
|-----------------------------------|---------------|---|---|------|
| | | 4º año | 06/09/2011 - 29/09/2011 (24 días) | 1,50 |
| | | | 01/12/2011 - 21/12/2011 (21 días) | |
| Coordinación del trabajo | Masaru Obara | 1º año | 16/11/2008 - 30/12/2008 (45 días) | 2,00 |
| | | | 28/02/2009 - 14/03/2009 (15 días) ⁴⁾ | |
| | Masaharu Kina | 2º año | 25/05/2009 - 23/06/2009 (30 días) | 1,77 |
| | Masaru Obara | 2º año | 26/02/2010 - 20/03/2010 (23 días) | |
| | | 3º año ⁵⁾ | 06/06/2010 - 10/07/2010 (30 días) | 2,00 |
| | | | 19/02/2011 - 15/03/2011 (30 días) ⁶⁾ | |
| | 4º año | 31/05/2011 - 19/06/2011 (20 días) ⁷⁾ | 2,00 | |
| | | 01/09/2011 - 20/09/2011 (20 días) ⁸⁾ | | |
| 30/11/2011 - 19/12/2011 (20 días) | | | | |

¹⁾ : 30/06/2011 (1 día) Envío realizado por cuenta de la propia empresa consultora

²⁾ : 21/12/2011 (1 día) Envío realizado por cuenta de la propia empresa consultora

³⁾ : 01/09/2011 – 30/09/2011 (30 días) Envío realizado por cuenta de la propia empresa consultora

⁴⁾ : 15/03/2009 – 19/03/2009 (5 días) Envío realizado por cuenta de la propia empresa consultora

⁵⁾ : 22/10/2010 – 11/11/2010 (21 días) Envío realizado por cuenta de la propia empresa consultora

⁶⁾ : 16/03/2011 – 20/03/2011 (5 días) Envío realizado por cuenta de la propia empresa consultora

⁷⁾ : 20/06/2011 – 29/06/2011 (10 días) Envío realizado por cuenta de la propia empresa consultora

⁸⁾ : 21/09/2011 – 30/09/2011 (10 días) Envío realizado por cuenta de la propia empresa consultora

4.2 Participantes de la capacitación en el Japón

Se invitó a un total de 5 personas entre los ingenieros principales de GEIPI y de GEARH, como parte de la transferencia de tecnología del presente Proyecto, quienes recibieron una capacitación en el Japón sobre el desarrollo y manejo del agua subterránea.

- Periodo de la capacitación: Del 11 al 25 de mayo de 2010
- Lugar de la capacitación: KOKUSAI KOGYO CO., LTD., Universidad de Fukushima, Oficina de Administración de la Presa de Nichu, Red de agua fresca del municipio de Kitakata, Museo científico municipal de Mine de la Prefectura de Yamaguchi, Dirección de servicio de agua potable del municipio de Kumamoto, Aqua Biwa
- Temas de la capacitación: Estudio de ejemplos de SIG, Topografía y geología de Tokio y hundimiento del suelo, Preservación del agua subterránea en el municipio de Kitakata, Agua subterránea en rocas calcáreas de Akiyoshidai, Métodos de desarrollo y del agua subterránea en el municipio de Kumamoto, Proyecto de desarrollo integral del lago Biwa
- Participantes en la capacitación: Los 5 siguientes ingenieros.

| Nombre | Institución | Cargo |
|----------------------------|--|-----------------------|
| Javier Acosta Infante | Empresa de Investigación y Proyectos Hidráulicos de Villa Clara | Especialista Superior |
| Jorge Luis Blanco Blázquez | Empresa de Investigación y Proyectos Hidráulicos de Holguín | Especialista Superior |
| Adán Echemendía Martínez | Empresa de Investigación y Proyectos Hidráulicos de Camagüey | Especialista Superior |
| Arturo Lorenzo Ferrás | Empresa de Investigaciones, Proyectos e Ingeniería de Matanzas | Especialista Superior |
| Ibrahim Plaza Peñalver | Grupo Empresarial de Aprovechamiento de Recursos Hidráulicos (GEARH) | Especialista Superior |

4.3 Equipos adquiridos

Para la capacitación técnica en las 3 áreas especializadas, se adquirieron los equipos indicados en la Tabla 4-3. Estos equipos fueron donados a GEIPI a la conclusión de las actividades del Proyecto. La Tabla 4-4 presenta los lugares de localización de los equipos donados y los responsables de su mantenimiento. En la reunión del CCC realizada en diciembre de 2011 GEIPI se comprometió a informar a la oficina de JICA en Cuba sobre cualquier cambio en la localización de los equipos u otros cambios.

Tabla 4-3: Equipos adquiridos en el Proyecto

| No. | Nombre de equipo y materiales | Especificaciones | Cantidad |
|---|--|---|------------|
| Equipos adquiridos directamente por JICA | | | |
| 1 | Equipo de prospección electromagnética | TEM57-MK2 (GEONICS) (aparato emisor-receptor, generador eléctrico, instrumentos de prospección, incluyendo programas de análisis) | 1 juego |
| 2 | Vehículo | Tracción 4x4, cabina doble y tipo pick up (Mitsubishi) | 1 unidad |
| Equipos adquiridos por los Expertos JICA | | | |
| 1 | Equipo de registro de pozos | Terrameter SAS1000 ABEM | 1 juego |
| 2 | Transmisor-receptor | Alcance de comunicación terrestre: 2km, modelo | 5 unidades |

| No. | Nombre de equipo y materiales | Especificaciones | Cantidad |
|-----|--|--|-------------|
| | | pequeño | |
| 3 | Equipo de chequeo de calidad de agua | WQC-22A portátil, EC, ORP, temperatura, turbiedad | 1 unidad |
| 4 | Instrumento de toma de muestras de agua subterránea | Capacidad: 600ml, diámetro interior: 40mm, producto acrílico transparente | 2 unidades |
| 5 | Cuerda para el instrumento de toma de muestras de agua | 100m, con memoria, producto de fibra de vidrio | 1 unidad |
| 6 | Medidor de nivel de agua de registro automático | Tipo independiente, instrumento de registro secuencial de datos, un juego de accesorios | 1 unidad |
| 7 | Medidor de nivel de agua | 100m, ALFA, medidor de nivel de agua Tipo2 | 5 unidades |
| 8 | Computadora de mesa | Core2Duo, HD500GB, 4GB de memoria, monitor de cristal líquido de 19 pulgadas | 10 unidades |
| 9 | Computadora portátil | Core2Duo, HD200GB, memoria de 2GB, monitor de cristal líquido de 15 pulgadas | 6 unidades |
| 10 | Computadora portátil | Core2Duo, HD320GB, Memoria de 4GB, Monitor de cristal líquido de 14" | 1 unidad |
| 11 | Proyector | XGA aplicable, 4000 Lúmenes, 240V aplicable | 1 unidad |
| 12 | Impresora láser | A4 tamaño aplicable, monocolor, impresión en ambas caras | 1 unidad |
| 13 | Impresora de inyección de tinta | A3 tamaño aplicable, impresión a colores | 1 unidad |
| 14 | Programa de SIG | Cadcorp (SIS) | 6 licencias |
| 15 | Medidor electromagnético de velocidad de flujo | Portátil, EV20, 5m de cable, 2m de vara | 1 unidades |
| 16 | Bomba sumergible | Carga de agua: 60m, Caudal bombeado: 500ℓ/min, 6" | 1 unidad |
| 17 | Generador eléctrico | 25KVA, Diesel, insonorizada | 1 unidad |
| 18 | Equipos y materiales de prueba de bombeo | Cable, panel de control, tubos de bombeo, etc. | 1 juego |
| 19 | Programa de manejo de agua subterránea (1) | MIKE-SHE (Studio) | 1 licencia |
| 20 | Programa de manejo de agua subterránea (2) | FEFLOW (3D FLOW+ Mass Transport) | 6 licencias |
| 21 | Equipos de prospección geofísica (prospección eléctrica) | 6 cables de medición, 1 caja de conexión de cables (connecting box), Teclado de computadora Laptop a utilizar para el análisis de datos, 2 km de cables de electrodos distantes a utilizar en la instalación Pole-Pole, 36 pinzas de contacto, 36 electrodos | 1 juego |
| 22 | Fotocopiadora | Adaptable a A3, blanco y negro, impresión a doble cara | 1 unidad |

Nota sobre los equipos adquiridos por los expertos JICA:

No.5 : Se llevaron dos instrumentos de toma de muestras de agua subterránea, ya que la unidad donada inicialmente se desprendió y cayó al pozo durante el trabajo de campo, lo que obligó a la donación de una nueva unidad.

No.7: El sensor de presión para la medición de nivel de agua que forma parte del sistema automático de registro cayó en el pozo exploratorio JICA01 debido al corte del cable que lo sostenía, razón por la cual se donó una nueva unidad.

No.9 y No.10 : Inicialmente fueron donados 6 computadoras Laptop (item No.9), de las cuales una tuvo constantes averías, juzgándose que era de reparación imposible, razón por la cual se donó una unidad adicional indicada en el item No.10.

Tabla 4-4: Localización de los equipos y personas responsables de su mantenimiento a la conclusión del Proyecto

| No. | Nombre de equipo y materiales | Cantidad total | Cantidad | Localización del equipo | Responsable del mantenimiento |
|-----|-------------------------------|----------------|----------|-------------------------|-------------------------------|
| 1 | Equipo de prospección | 1 juego | 1 juego | EIPH Camagüey | Dirección Técnica GEIPI |

| No. | Nombre de equipo y materiales | Cantidad total | Cantidad | Localización del equipo | Responsable del mantenimiento |
|-----|--|----------------|------------|--|---------------------------------|
| | electromagnética | | | | |
| 2 | Vehículo | 1 unidad | 1 unidad | GEIPI C. Habana | Dirección Técnica GEIPI |
| 3 | Equipo de registro de pozos | 1 juego | 1 juego | EIPH Camagüey | Dirección Técnica GEIPI |
| 4 | Transmisor-receptor | 5 unidades | 5 unidades | EIPH Camagüey | Dirección Técnica GEIPI |
| 5 | Equipo de chequeo de calidad de agua | 1 unidad | 1 unidad | EIPH Camagüey | Ing. A. Echemendía M |
| 6 | Instrumento de toma de muestras de agua subterránea | 1 unidad | 1 unidad | EIPH Camagüey | Ing. A. Echemendía M |
| 7 | Cuerda para el instrumento de toma de muestras de agua | 1 unidad | 1 unidad | EIPH Camagüey | Ing. A. Echemendía M |
| 8 | Medidor de nivel de agua de registro automático | 1 unidad | 1 unidad | EIPH Camagüey (JICA01 pozo exploratorio) | Ing. A. Echemendía M |
| 9 | Medidor de nivel de agua | 5 unidades | 2 unidades | EIPH Camagüey | Ing. A. Echemendía M |
| | | | 1 unidad | UEB Granma EIPH Holguín | Ing. Juan Almirall Beltrán |
| | | | 1 unidad | EIPH Holguín | Ing. Jorge Luis Blanco Blázquez |
| | | | 1 unidad | EIPI Matanzas | Ing. A. Lorenzo Ferrás |
| 10 | Computadora de mesa | 10 unidades | 1 unidad | UEBGranma. EIPH Holguín | Ing. Juan José Almirall Beltrán |
| | | | 1 unidad | EIPH Holguín | Ing. J. L. Blanco Blázquez |
| | | | 1 unidad | EIPH Villa Clara | Ing. J. Acosta Infante |
| | | | 1 unidad | EIPH Villa Clara | Ing. Manuel Burgos |
| | | | 1 unidad | EIPI Matanzas | Ing. A. Lorenzo Ferrás |
| | | | 1 unidad | EIPH Camagüey | Ing. S. Crespo Delgado |
| | | | 1 unidad | EIPH Ciego de Ávila | Ing. Fidel Miranda Castañeda |
| | | | 1 unidad | UEB Las Tunas EIPH Holguín | Ing. M. Martínez Contreras |
| | | | 1 unidad | CITA Camagüey | Lic. Lorenzo S. Valedón |
| | | | 1 unidad | GEIPI C. Habana | Ing. José Luis Blanco |
| 11 | Computadora portátil (1) | 6 unidades | 1 unidad | EIPH Matanzas | Ing. A. Lorenzo Ferrás |
| | | | 1 unidad | EIPH Camagüey | Ing. A. Echemendía M. |
| | | | 1 unidad | GEIPI C. Habana | Dirección Técnica GEIPI |
| | | | 1 unidad | EIPH Villa Clara | Ing. Ernesto R. Cruz |
| | | | 1 unidad | GEIPI C. Habana | Ing. Ileana Montero |
| | | | 1 unidad | GEIPI C. Habana | Ing. A. González Baéz |
| 12 | Computadora portátil (2) | 1 unidad | 1 unidad | EIPH Camagüey | Ing. Rebeca Fernández |
| 13 | Proyector | 1 unidad | 1 unidad | GEIPI C. Habana | Dirección Técnica GEIPI |
| 14 | Impresora laser | 1 unidad | 1 unidad | EIPH Camagüey | Dirección Técnica GEIPI |
| 15 | Impresora de inyección de tinta | 1 unidad | 1 unidad | EIPH Camagüey | Ing. A. Echemendía M. |
| 16 | Programa de SIG | 6 licencias | 1 licencia | GEIPI C. Habana | Dirección Técnica GEIPI |
| | | | 1 licencia | EIPH Matanzas | Ing. A. Lorenzo Ferrás |
| | | | 1 licencia | EIPH Villa Clara | Ing. J. Acosta Infante |
| | | | 1 licencia | EIPH Camagüey | Ing. C. Luque Zayas |
| | | | 1 licencia | EIPH Holguín | Ing. J. L. Blanco Blázquez |
| | | | 1 licencia | UEB Las Tunas. EIPH Holguín | Ing. M. Martínez Contreras |
| 17 | Medidor electromagnético de velocidad de flujo | 1 unidad | 1 unidad | EIPH Camagüey | Dirección Técnica GEIPI |
| 18 | Bomba sumergible | 1 unidad | 1 unidad | EIPH Camagüey | Dirección Técnica GEIPI |
| 19 | Generador eléctrico | 1 unidad | 1 unidad | EIPH Camagüey | Dirección Técnica GEIPI |
| 20 | Equipos y materiales de prueba de bombeo | 1 juego | 1 juego | EIPH Camagüey | Dirección Técnica GEIPI |

| No. | Nombre de equipo y materiales | Cantidad total | Cantidad | Localización del equipo | Responsable del mantenimiento |
|-----|---|----------------|------------|-------------------------|-------------------------------|
| 21 | Programa de manejo de agua subterránea (1) | 1 licencia | 1 licencia | GEIPI C. Habana | Dirección Técnica GEIPI |
| 22 | Programa de manejo de agua subterránea (2) | 6 licencias | 1 licencia | GEIPI C. Habana | Dirección Técnica GEIPI |
| | | | 1 licencia | EIPH Matanzas | Ing. A. Lorenzo Ferrás |
| | | | 1 licencia | EIPH Villa Clara | Ing. Manuel Burgos |
| | | | 1 licencia | EIPH Ciego de Ávila | Ing. Fidel Miranda Castañeda |
| | | | 1 licencia | EIPH Camagüey | Ing. A. Echemendía M. |
| | | | 1 licencia | EIPH Holguín | Ing. J. L. Blanco Blázquez |
| 23 | Equipos de prospección física (prospección eléctrica) | 1 juego | 1 juego | EIPH Camagüey | Dirección Técnica GEIPI |
| 24 | Fotocopiadora | 1 unidad | 1 unidad | GEIPI C. Habana | Dirección Técnica GEIPI |

4.4 Trabajos locales

4.4.1 Costo de ejecución del trabajo

Para realizar las actividades del Proyecto se incurrieron en los siguientes gastos, cuyas partidas y montos se describen en la tabla siguiente.

Tabla 4-5: Costos locales

| Partida | | 1 ^{er} año | 2 ^o año | 3 ^{er} año | 4 ^o año | Total |
|---------|--|---------------------|--------------------|---------------------|--------------------|------------|
| 1 | Gastos Generales | 1.031.084 | 2.104.780 | 2.510.355 | 4,069,477 | 9,715,696 |
| | 1.1 Costo de contratación | 0 | 16.006 | 340,924 | 777,460 | 777,460 |
| | 1.2 Costo de mantenimiento de equipos | 0 | 0 | 67,004 | 73,969 | 73,969 |
| | 1.3 Costo de artículos de consumo | 52.292 | 392.886 | 339,490 | 1,373,390 | 1,373,390 |
| | 1.4 Viático y gastos de viaje | 17.032 | 0 | 0 | 57,245 | 57,245 |
| | 1.5 Costo de comunicación y transporte | 72.879 | 160.080 | 15,531 | 329,721 | 329,721 |
| | 1.6 Costo de elaboración de documentos | 184.274 | 625.407 | 1,613,756 | 2,875,007 | 2,875,007 |
| | 1.7 Arrendamiento y alquiler | 704.607 | 797.107 | 1,670,569 | 3,986,973 | 3,986,973 |
| | 1.8 Electricidad y agua | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 1.9 Costo de formación de recursos humanos | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 1.10 Costo de capacitación local | 0 | 17.957 | 14,252 | 138,643 | 138,643 |
| | 1.11 Gastos diversos | 0 | 95.337 | 7,951 | 103,288 | 103,288 |
| 2a | Costo de adquisición de equipos por los Expertos JICA (Grupo A) (excluye vehículos y equipos de prospección geofísica e incluye costo de transporte) | 11.559.440 | 5.083.186 | 53.500 | 185,651 | 16,821,132 |
| 2b | Costo de adquisición de equipos directamente por JICA (incluye vehículos, equipos de prospección geofísica y costo de transporte) | 2.154.000 | 2.591.000 | 15.937.000 | 0 | 20,682,000 |

| | | | | | | |
|-------|--|------------|------------|------------|-----------|------------|
| 3 | Costo de adquisición de equipos por los Expertos JICA (Grupo B) | 757.950 | 5.312.846 | 1.921.740 | 0 | 7,992,536 |
| 4 | Costo de adquisición de otros equipos | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 5 | Costo de transporte de otros equipos | 0 | 0 | 23.868 | 48,479 | 72,347 |
| 6 | Costo de elaboración de informes (impresión y encuadernación) | 0 | 0 | 0 | 775,000 | 775,000 |
| 7 | Costo de elaboración de informes (excluye costo de impresión y encuadernación) | 175.000 | 6.000 | 24.000 | 24,000 | 229,000 |
| 8 | Contratación de consultor local | 0 | 0 | 2.848.093 | 0 | 2,848,093 |
| 9 | Contratación de ONG locales | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 10 | Capacitación en Japón (costo correspondiente al consultor) | 0 | 0 | 650.314 | 0 | 650,314 |
| Total | | 15.677.474 | 15.097.812 | 23.968.870 | 5,102,607 | 59,846,763 |

Unidad: Yenes

4.4.2 Trabajo de consultor local (contratado)

En el Proyecto se consideró como costo de un consultor local el costo incurrido para realizar la perforación del pozo exploratorio.

Las empresas estatales y corporaciones públicas de Cuba no están permitidas a firmar contratos con empresas extranjeras. Esto significaba que a pesar de que estaba identificada la empresa perforadora Empresa Nacional de Perforaciones y Construcciones (ENPC) como la única capaz de construir un pozo con las especificaciones del proyecto, la Parte Japonesa no estaba habilitada a firmar un contrato con esta empresa. Por otra parte, GEIPI como institución contraparte del proyecto tampoco podía firmar el contrato de perforación debido a que GEIPI, como empresa de servicios, no estaba habilitada a firmar un contrato para obras, como lo es la perforación de un pozo. La solución fue de que el contrato fuese firmado entre ENPC y la Empresa de Servicios Ingenieros Hidráulicos de Camagüey (ESIH Camagüey), que es un organismo dependiente de GEIPI. Los contratos entre las instituciones estatales deben cumplir con ciertas especificaciones, y este proyecto cumplió con tales especificaciones. Sin embargo, las especificaciones técnicas de la perforación fueron indicadas por la Parte Japonesa. Cuando se presentó la necesidad de introducir enmiendas al contrato, se realizó como un acuerdo entre GEIPI y el grupo de Expertos JICA, incluyendo el monto del contrato.

a. Resumen del trabajo contratado (Perforación de pozo exploratorio)

a.1 Contenido del trabajo contratado

a.1.1 Objetivos

El trabajo mencionado se realizó con los siguientes dos objetivos.

- Comprobar directamente la geología subterránea por medio de la observación de las muestras geológicas obtenidas de la perforación, y utilizar el pozo para realizar pruebas de bombeo a fin de determinar el caudal y la calidad del agua subterránea.

- Utilizar el pozo exploratorio para efectuar mediciones continuas del agua subterránea (nivel y calidad de agua).

a.1.2 Contenido del trabajo

(1) Contrato original

El contrato original abarcaba la perforación de dos pozos en dos sitios identificados como JICA_01 y JICA_02, hasta una profundidad de 200 metros en ambos pozos, así como la realización del registro de los dos pozos y las pruebas de bombeo en los dos pozos. El registro físico de los pozos estaba previsto a ser realizado por los ingenieros de GEIPI, con la asistencia de los Expertos JICA en caso necesario. Las pruebas de bombeo que estaban previstas incluía la prueba escalonada (3 fases como mínimo), la prueba continua, y la prueba de recuperación.

(2) La enmienda

El inicio de la perforación se retrasó exageradamente debido a la escasez de recursos, y se hizo evidente que sería imposible completar la perforación de los dos pozos antes de marzo de 2011, como requería la financiación de acuerdo al año fiscal japonés. Por lo tanto, se tomó la difícil decisión de realizar la perforación en un solo sitio, JICA_01, que era considerada de la más alta prioridad para determinar la estructura hidrogeológica de la zona del estudio.

a.1.3 Plazo de cumplimiento del trabajo

El contrato establecía el inicio del trabajo de perforación de los dos pozos dentro de los 30 días contados a partir de la firma del contrato, o a partir de la recepción del anticipo de pago por parte de la empresa perforadora. El plazo de cumplimiento del trabajo de perforación se establecía en 35 días, pero este plazo sería extendido a 45 días en el caso de que las condiciones geológicas no permitiesen el uso de las máquinas de roto-percusión, obligando a realizar la perforación exclusivamente con las máquinas a percusión.

a.1.4 Productos finales

En Cuba, es responsabilidad del contratista completar las instalaciones, mientras que la elaboración del registro de perforación corresponde al contratante.

a.2 Empresas en el contrato

- Empresa Nacional de Perforación y Construcciones (ENPC)
- Como se ha descrito anteriormente, el contratante fue la Empresa de Servicios Ingenieros Hidráulicos Camagüey (ESIH Camagüey), organismo dependiente de GEIPI.

a.3 Monto del contrato

(1) Contrato original

- Monto del contrato: 48.805,44 CUC.
Siguiendo la práctica cubana de hacer constar en el contrato el monto total de la obra, en el contrato entre ESIH Camagüey y ENPC, el monto del contrato fue de 50.551,92 CUC, que incluyó el costo de 114 m de tubos galvanizados donados por la Parte Japonesa en el 2º año.
El monto de 62.296,76 MN, correspondiente a la moneda nacional, especificado en el contrato fue a costa de la Parte Cubana.

(2) La enmienda

- Debido a la suspensión de la perforación del pozo JICA02 y a la no adquisición de 86 m de tubos galvanizados que se había previsto utilizar en el encamisado y filtro del pozo JICA01, se dedujeron del total los 15.802,12 CUC correspondientes a la perforación de JICA02 y el monto de los 1.317,52 CUC correspondientes a la tubería de encamisado y filtro, totalizando el contrato el monto final de 31.685,80 CUC.

a.4 Antecedentes de la selección de la empresa contratada y razones de decisión

Según los antecedentes abajo mencionados, la Empresa Nacional de Perforación y Construcciones (ENPC) fue escogida como contratista de un contrato discrecional.

- La ejecución de la perforación de los pozos exploratorios que forma parte del Proyecto, originalmente correspondía a la Parte Cubana, pero las condiciones económicas del país no permitieron al Estado disponer de divisas, y en el 2º año, GEIPI solicitó a JICA que se hiciera cargo del costo de la perforación (Carta del 29 de octubre de 2009). En dicha carta constaba que la única empresa perforadora en el país era la Empresa Nacional de Perforación y Construcciones (ENPC).
- Considerando la gravedad de estas circunstancias, JICA decidió realizar la perforación de pozos exploratorios en el 3º año por cuenta de la Parte Japonesa. En Cuba existe la práctica comercial de que el contratante suministre los principales materiales necesarios para la perforación, por lo cual la perforación comienza recién cuando tales materiales sean entregados al contratista. Por consiguiente, en el 2º año se adquirieron 114 metros de tubos galvanizados de $\phi 4$ pulgadas, disponibles en el país, y se entregaron a la Parte Cubana como donación.
- En Cuba la empresa Metal Cuba era la única importadora autorizada de planchas de hierro que se necesitaban para el encamisado protectorio en las etapas iniciales de la perforación. La difícil situación económica del país continuó en el 3º año, por lo cual no hubo importación de planchas de hierro ni tubos galvanizados. Ante tal situación, GEIPI negoció con ENPC y acordaron utilizar los materiales de propiedad de ENPC en el presente Proyecto.

- JICA aprobó el contrato discrecional con ENPC teniendo en cuenta que ENPC era la única empresa perforadora en Cuba capaz de perforar pozos a una profundidad prevista de 200 metros, y considerando la imposibilidad de que ninguna empresa perforadora extranjera desarrolle sus actividades en Cuba.

a.5 Evaluación del trabajo contratado (Perforación de pozo exploratorio)

Tal como se ha explicado arriba y en la Sección 3.2.2 - e, la demora en el inicio de la perforación obligó a reducir la perforación de los 2 pozos exploratorios previstos inicialmente a uno solo. Además, aun después de iniciada la perforación, tratándose al parecer de prácticamente la primera experiencia de perforación de un pozo de 200 metros de profundidad en el distrito Sola, la insuficiencia de los equipos y materiales preparados por ENPC provocó interrupciones ocasionales en el trabajo.

A través de este trabajo contratado se pudieron aprender las siguientes lecciones.

- En Cuba, es difícil la adquisición de materiales como las planchas de hierro, por lo cual es necesario trazar con gran esmero un plan de adquisición de materiales, teniendo en cuenta la magnitud de los pozos a construir (número y profundidad de pozos).
- Debido a que en el país existe sólo una máquina perforadora capaz de perforar pozos de 200 metros de profundidad, es necesario trazar un plan de trabajo viable y tratar de realizar la construcción siguiendo en lo posible el plan inicial.
- La forma de contrato es distinta de la de Japón, por lo que es necesario considerar un contrato en base a las condiciones particulares de Cuba, adquiriendo suficientes conocimientos sobre los métodos y contenido del contrato.

5 Ideas y lecciones aprendidas en la ejecución y administración del Proyecto

5.1 Factores positivos

Como factores positivos de la ejecución del proyecto pueden citarse los siguientes.

a. Alto nivel técnico y deseo de los ingenieros principales por aprender nuevas tecnologías

Todos los ingenieros que participaron del proceso de la transferencia de tecnología en el Proyecto tienen una buena base técnica con conocimiento especializado y experiencia de trabajo en las áreas especializadas correspondientes, así como también destreza en el manejo de la computadora. Asimismo, cuentan con la capacidad básica de reconocimiento plano-espacial, como en la conversión de coordenadas, y comprensión de mapas tridimensionales.

Además de esta capacidad básica, era evidente el deseo por absorber nuevos conocimientos e información. Los ingenieros principales tienen edad relativamente avanzada (la mayoría tienen entre 40 y 59 años), y participaron en la capacitación mientras cumplían al mismo tiempo su apretada agenda de trabajo.

b. Transferencia de tecnología aprovechando el sitio modelo

En el Proyecto se adoptaron métodos típicos de un estudio de desarrollo (estudio de factibilidad), ya que se estableció un sitio modelo concreto (distrito Sola, Provincia de Camagüey), en donde, al mismo tiempo que se detallaban con precisión los mapas hidrológicos (plantas y secciones) del sitio modelo, se hizo una simulación del desarrollo efectivo del agua subterránea en el distrito. Poniendo en orden los mapas topográficos, se recopiló la información y los datos necesarios para el análisis de la estructura hidrológica (incluyendo la prospección geofísica), se perforó un pozo exploratorio de unos 200 metros de profundidad, y se modificaron y elaboraron los mapas hidrológicos y otros mapas relacionados. En este trabajo participaron los ingenieros de la Provincia de Camagüey, en donde está ubicado el sitio modelo.

Los ingenieros principales llevaron a cabo todo el procedimiento de estudio y análisis para el desarrollo y manejo del agua subterránea junto con los Expertos JICA, y pudieron experimentar ejemplos reales que serán de mucho valor en futuros estudios similares. Fue muy eficaz tener una oportunidad de capacitación práctica en el trabajo, que les permitiera comprender la metodología a seguir, la información imprescindible con que se debe contar, los puntos a tener en cuenta en el proceso de ejecución, los recursos técnicos y el criterio para adaptar la teoría a la práctica.

Los ingenieros de otras Provincias que no pudieron participar en los estudios hidrológicos de campo, aprovechan también el sitio modelo como lugar de ejercicio en las áreas especializadas correspondientes. No solamente el aprendizaje teórico de una tecnología, sino

también la práctica de ejercicios en un sitio real fue útil para lograr una comprensión eficaz de la tecnología adquirida.

Además, se pudo ofrecer una imagen concreta de cómo aprovechar un modelo de agua subterránea en el campo para el manejo actual y futuro del agua subterránea. De esto se deduce que, no sólo los ingenieros de GEIPI participantes en el proyecto, sino también los ingenieros de INRH y GEARH involucrados en el manejo del agua subterránea, han podido captar una imagen de los métodos de aprovechamiento del agua subterránea a la luz de sus respectivos trabajos.

El mismo beneficio descrito es aplicable también al establecimiento de SIG/BD, ya que los participantes de la capacitación recibieron no solamente la enseñanza de la tecnología de SIG y el manejo de programas informáticos especializados, sino que adquirieron una experiencia real en el establecimiento de SIG/BD para cada Provincia.

c. Suficiente tiempo para adquisiciones

Estaba previsto que la adquisición de los equipos en otros países requeriría de bastante tiempo a causa de algunas restricciones y complicados trámites de importación. Esta previsión permitió comenzar el procedimiento de la adquisición de los equipos con la suficiente antelación. Gracias a los esfuerzos del entonces Director Técnico de GEIPI, muchos de los equipos como computadoras estaban disponibles en Cuba antes del inicio de las actividades de capacitación. Por lo tanto, se pudo comenzar con las actividades de transferencia de tecnología de acuerdo al programa trazado inicialmente.

5.2 Lecciones aprendidas

Las lecciones aprendidas que pueden ser útiles en proyectos similares son las siguientes.

a. Análisis del sistema de ejecución del Proyecto

Este proyecto se había iniciado como resultado de un convenio bilateral de cooperación entre Cuba y Japón, habiéndose establecido la participación activa en el proyecto de instituciones de contraparte tales como GEIPI, INRH, GEARH y otras, además de haberse determinado los ingenieros principales que recibirían la capacitación técnica en 3 diferentes áreas especializadas. Para la ejecución del proyecto se habían definido comités específicos conocidos como CCC y CEP que a través de reuniones periódicas tendrían la responsabilidad de tomar decisiones sobre el proyecto. Sin embargo, no se había definido una Unidad Ejecutora del Proyecto, como responsable de coordinar las actividades entre la oficina central de GEIPI en La Habana y las oficinas provinciales de EIPH/EIPI, por medio de la comunicación oportuna y segura de los cronogramas de actividades en diferentes ciudades, la información adecuada sobre visitas y desplazamientos de los Expertos JICA, y el control de trabajos específicos como la perforación del pozo exploratorio. En ausencia de una Unidad Ejecutora del Proyecto, estos trabajos de coordinación, comunicación y seguimiento recaían en el Administrador del Proyecto (Director Técnico de GEIPI) y en su Asesor. Es válido destacar que estos trabajos de coordinación del proyecto han mejorado en el transcurso del proyecto gracias al esfuerzo consciente realizado por GEIPI para integrar un grupo interno

responsable del proyecto. No obstante, los cambios frecuentes del Administrador del proyecto no han favorecido su ejecución, y puso de manifiesto que la ausencia de una Unidad Ejecutora del Proyecto podría comprometer la sostenibilidad de las actividades de capacitación después de la conclusión del proyecto.

Por consiguiente, en la formulación de un proyecto, es necesario ser conscientes del contenido de los trabajos administrativos y de coordinación correspondientes a la institución contraparte en las actividades del proyecto, que implica la necesidad de designar una Unidad Ejecutora que los lleve a cabo.

b. Formulación del proyecto teniendo en cuenta los resultados en orden cronológico

El proyecto se inició con las capacitaciones, en forma simultánea, en las 3 áreas especializadas de Prospección Geofísica, SIG/BD y Modelo de Agua Subterránea. Pero se considera que el desarrollo del proyecto habría sido más eficiente, si es que se hubiera realizado primero la transferencia tecnológica de SIG/BD, para luego utilizar los resultados de SIG/BD en las actividades de capacitación en las otras áreas especializadas. Por consiguiente, es recomendable formular un proyecto teniendo en cuenta el orden cronológico de los resultados.

c. Prever el tiempo requerido para la adquisición

El proyecto contempló el tiempo para la adquisición de equipos y materiales con un margen mucho más amplio de lo normal. Gracias a esta previsión, la mayoría de los equipos pudieron ser adquiridos y estar disponibles para la capacitación planeada inicialmente. Sin embargo, una parte de los equipos tuvieron demoras en la adquisición, obligando a realizar ajustes en los programas de capacitación y afectando el logro de los resultados.

En las actividades que dependan fuertemente de la adquisición de equipos, es importante preparar un plan con el suficiente margen de tiempo para la adquisición de tales equipos, tomando en consideración el orden cronológico de las capacitaciones, como se describió en el inciso precedente “b”.

d. Adquisición de equipos teniendo en cuenta las condiciones de distribución en el país beneficiario

Si se hace una adquisición de equipos basándose sólo en el precio, se corre el peligro de encontrarse luego con dificultades para adquirir piezas de repuesto y accesorios en el mercado del país beneficiario. Por consiguiente, para la adquisición de equipos, es recomendable establecer las condiciones de adquisición teniendo en cuenta la situación de la distribución y mercado del país beneficiario.

e. Aprovechamiento de programas informáticos gratuitos

En el proyecto, para la capacitación de los ingenieros principales se suministraron programas informáticos altamente funcionales que requieren licencia. El proyecto pudo suministrar estos programas informáticos con licencia en cantidad limitada debido a su alto costo y también debido a las restricciones de su uso en ciertos países. Para subsanar este inconveniente, en la capacitación de los técnicos generales se proporcionaron programas informáticos que pueden disponerse sin costo, pero que tienen funciones similares, brindándose la capacitación necesaria en el uso de estos programas gratuitos. Por lo tanto, en los proyectos que suponen la difusión de ciertas tecnologías, es importante ofrecer a la contraparte los medios que permitan desarrollar sus actividades al menor costo posible.

6 Evolución de Matriz de Diseño de Proyecto (PDM)

La evolución de PDM₁, elaborada en el estudio preliminar, a PDM₄, revisada en la evaluación final, se presenta a partir de la página 6-4.

A continuación se presentan los antecedentes de la revisión.

a. Revisión de PDM₁ a PDM₂

La PDM₁ fue preparada en el Estudio Preliminar, y fue revisada al comienzo del proyecto a la luz de las instrucciones de trabajo de JICA, resultando en la incorporación de nuevas informaciones y de cambios ocurridos después del Estudio Preliminar. Las expresiones se hicieron más claras y comprensibles.

Las partes revisadas para PDM₂ se deliberaron en la presentación del IC/R (I/I) y la 1ª reunión de CCC, descritas en el Capítulo 7, siendo aprobadas en la 1ª reunión de CCC.

b. Revisión de PDM₂ a PDM₃

Teniendo en cuenta los resultados de la evaluación intermedia realizada en febrero y marzo de 2010, los ítems señalados por el equipo de evaluación intermedia se deliberaron en la 2ª reunión de CCC y se revisaron para dar lugar a PDM₃.

El contenido de las principales revisiones se presenta en la siguiente tabla.

Tabla 6-1: Principales ítems revisados de PDM₂ a PDM₃

| PDM ₂ (Antes de la revisión) | PDM ₃ (Después de la revisión) | Razón de la revisión |
|---|--|---|
| Duración del Proyecto | | |
| Noviembre/2008 - febrero/2012 | Noviembre/2008 - abril /2012 | Revisado según lo descrito en RD. |
| Grupo meta [Participantes del curso de capacitación] | | |
| Grupo Empresarial de Investigaciones, Proyectos e Ingeniería (GEIPI) 30 personas, Grupo Empresarial de Aprovechamiento Hidráulico (GEARH) 40 técnicos | Direcciones de Cuencas Hidrográficas y Obras Hidráulicas de INRH 5 técnicos, Grupo Empresarial de Investigaciones, Proyectos e Ingeniería (GEIPI) 30 técnicos, Grupo Empresarial de Aprovechamiento Hidráulico (GEARH) 40 técnicos | Se modificó para subsanar la omisión de "5 técnicos de la Dirección de Cuencas Hidrográficas e Hidrología y de la Dirección de Obras Hidráulicas de INRH". |
| Objetivo superior | | |
| Se utilizan los recursos hídricos de manera adecuada en la Región Oriental. | Se utiliza el agua subterránea de manera adecuada en el aprovechamiento de los recursos hídricos en la Región Oriental. | Para que sea más clara la relación causa - efecto con el objetivo del proyecto: "mejoramiento de la capacidad de desarrollo y gestión de agua subterránea". |
| Resultado4 | | |
| Mejora la capacidad de GEARH y la Dirección de Manejo de Cuencas Hidrográficas de INRH para la evaluación y manejo del agua | Mejora la capacidad de GEARH y las Direcciones de Cuencas Hidrográficas y Obras Hidráulicas de INRH para la evaluación y | Se modificó para subsanar la omisión de " 5 técnicos de la Dirección de Cuencas Hidrográficas e Hidrología y de la |

| | | |
|--|---|---|
| subterránea aprovechando los resultados de las prospecciones geofísicas, los modelos numéricos y SIG, ejecutados y elaborados por GEIPI. | manejo del agua subterránea aprovechando los resultados de la prospección geofísica, los modelos del agua subterránea y SIG, ejecutados y elaborados por GEIPI. | Dirección de Obras Hidráulicas de INRH". |
| Indicadores del objetivo del proyecto | | |
| Se resumen y publican las posibilidades y temas del desarrollo del agua subterránea en el área objeto (hidrogeología, distribución del agua subterránea, calidad de agua, pronóstico según modelos numéricos de agua subterránea). | Se resumen y publican las posibilidades y temas del desarrollo del agua subterránea del sitio modelo (hidrogeología, distribución del agua subterránea, calidad de agua, pronóstico según modelos del agua subterránea). | Aquí consta claramente "sitio modelo" para referirse al sitio modelo dentro del "área objeto". |
| Indicadores de los resultados | | |
| 1-2 Se forman técnicos (5 personas) capaces de realizar prospección eléctrica (método de imágenes bidimensionales de resistividad) y prospecciones electromagnéticas. | 1-2 Se forman técnicos (5 personas) capaces de realizar prospección geoelectrica (método de imágenes bidimensionales de resistividad) y prospección electromagnética (se hace un examen escrito y practica sobre manejo del equipo de prospección al final de la capacitación). | Se especificó el método para verificar el logro de la formación de técnicos. |
| 2-2 Se forman técnicos (5 personas) capaces de establecer modelos numéricos del agua subterránea. | 2-2 Se forman técnicos (5 personas) capaces de establecer modelo del agua subterránea (se hace un examen al final de la capacitación). | Id. |
| 3-2 Se forman técnicos (5 personas) capaces de establecer SIG relacionado con los recursos de agua. | 3-2 Se forman técnicos (5 personas) capaces de elaborar SIG relacionado con los recursos de agua (se examina los mapas elaborados). | Id. |
| 3-3 Se elaboran planos de SIG en el área objeto. | 3-3 Se elaboran mapas de SIG del área de su elaboración. | Aquí consta claramente "sitio objeto del establecimiento de SIG " para referirse al sitio dentro del "área objeto". |
| 4-1 Se ofrece más de dos veces un curso de capacitación dentro del programa de capacitación de INRH a los técnicos que se dedican al manejo del agua subterránea en la Dirección de Manejo de Cuencas Hidráulicas de INRH y GEARH. | 4-1 Se ofrece más de dos veces un curso de capacitación dentro del programa de capacitación de INRH, dirigido a los técnicos que se dedican al manejo del agua subterránea en las Direcciones de Cuencas Hidrográficas y Obras Hidráulicas de INRH y GEARH. | Se agregó la Dirección de Obras Hidráulicas de INRH, para subsanar su omisión. |
| Actividades | | |
| 4-1 Dar consejo a un plan de capacitación dirigido a funcionarios de GEARH y la Dirección de Manejo de Cuencas Hidráulicas de INRH, elaborado por los principales | 4-1 Los principales técnicos planean la capacitación dirigida a los funcionarios de GEARH y las Direcciones de Cuencas Hidrográficas y Obras Hidráulicas de INRH, bajo | Se modificó para expresar con más precisión las actividades de la última mitad del Proyecto. |

| | | |
|---|--|-------------------------------|
| técnicos que servirán de instructores, sobre la evaluación y manejo del agua subterránea basados en el conocimiento y datos adquiridos sobre la prospección física, modelo numérico y SIG, que hayan sido objeto de transferencia tecnológica en el Proyecto. | asesoramiento de los expertos, sobre la evaluación y manejo del agua subterránea basados en el conocimiento y datos adquiridos sobre la prospección geofísica, modelos del agua subterránea y SIG. | |
| 4-2 Dar consejo al material de capacitación elaborado y revisado por los principales técnicos de GEIPI. | 4-2 Los principales técnicos elaboran y revisan el material de capacitación, bajo asesoramiento de los expertos. | Id. |
| 4-3 Asistir a la capacitación realizada por los principales técnicos de GEIPI y dar explicación complementaria según la necesidad. | 4-3 Los principales técnicos imparten la capacitación y los expertos la complementan oportunamente. | Id. |
| 4-4 Luego de la capacitación, tener deliberaciones con los principales técnicos de GEIPI para retroalimentar a la siguiente capacitación. | 4-4 Luego de la capacitación, los principales técnicos y los expertos analizan la capacitación ejecutada para reflejarlo en nuevos cursos. | Id. |
| 5-1 Dar apoyo a la capacitación realizada por los principales técnicos de GEIPI dirigida a otros técnicos de la institución. | 5-1 Los principales técnicos realizan la capacitación dirigida a otros técnicos de GEIP, bajo asesoramiento de los expertos, sobre la prospección geofísica, modelos del agua subterránea y SIG. | Id. |
| 5-2 Asistir a la capacitación realizada por los principales técnicos de GEIPI y dar explicación complementaria según la necesidad. | 5-2 Los principales técnicos imparten la capacitación y los expertos la complementaria oportunamente. | Id. |
| 5-3 Luego de la capacitación, tener deliberaciones con los principales técnicos de GEIPI para retroalimentar a la siguiente capacitación. | 5-3 Luego de la capacitación, los principales técnicos y los expertos analizan la capacitación ejecutada para reflejarlo en nuevos cursos. | Id. |
| Otros (Modificación de términos) | | |
| Uso simultáneo de modelo de agua subterránea, modelo numérico de agua subterránea, modelo numérico, etc. | Unificado en "modelo de agua subterránea" | Para unificar la terminología |

c. Revisión de PDM₃ a PDM₄

Teniendo en cuenta los resultados de la evaluación final realizada en junio de 2011, los ítems señalados por el equipo de evaluación final se deliberaron en la 3ª reunión de CCC y se revisaron para dar lugar a PDM₄.

El ítem revisado fue el periodo del proyecto, modificándose como sigue. Se modifica para evitar incoherencia entre el periodo de actividades de los expertos japoneses y el periodo del

proyecto según PDM.

PDM₃: noviembre de 2008~abril de 2012

PDM₄: noviembre de 2008~febrero de 2012

PDM₁

Duración del Proyecto: 3 años y seis (6) meses

Área objeto: Sitio de Entrenamiento Distrito "Sola" en la Provincia de Camagüey (Núm. de habitantes: 35,700)
Áreas objetos para la elaboración de base de datos: Provincia de Camagüey (790,000), Holguín (1,030,000) y Las Tunas (530,000)
Área objeto para el curso de capacitación dentro del INRH y GEIPI: Todo el país

Grupo meta: Capacitadores que imparten curso de capacitación: Personal técnico del GEIPI (Núm. de Instructores: 15)
Participantes en curso de capacitación: GEIPI (Núm. de participantes: 30), GEARH (40) y INRH (5)
Beneficiarios indirectos: Habitantes de las provincias orientes del país (Núm. de habitantes: 2,350,000)

| Resumen del Proyecto (Plan propuesto por el Equipo de Estudio Preliminar) | Indicadores | Fuentes de información | Condiciones externas |
|--|--|--|---|
| <p><Objetivo superior></p> <p>Se utilizan los recursos hídricos de manera adecuada en las regiones susceptibles de los efectos del cambio climático.</p> | <ul style="list-style-type: none"> Se ejecutan de manera periódica y constante estudios sobre la disponibilidad de agua subterránea en las provincias del este del país (Como mínimo se aplica en las 3 Provincias) Se asegura fuente de agua alternativa frente a la sequía en las provincias de la Región Oriental (como mínimo en 3 Provincias y se disminuye la proporción entre la cobertura de agua potable con pipa y núm. de población para lo cual se tomará como base la cifra del 2007) | <ul style="list-style-type: none"> Registros de GEIPI Registros de GEAAL | |
| <p><Objetivo del Proyecto></p> <p>Mejora la capacidad del INRH para la explotación y manejo de agua subterránea.</p> | <ul style="list-style-type: none"> Se abordan los problemas así como las posibilidades para el desarrollo del agua subterránea en las áreas objeto del Proyecto y se publican. Los resultados del análisis y manejo del agua subterránea por medio de modelos matemáticos y las bases de datos del SIG, salen publicados en el informe anual del GEARH. Los resultados del análisis y manejo del agua subterránea realizados por medio de modelos matemáticos y base de datos del SIG, se reflejan en el informe Anual del INRH. | <ul style="list-style-type: none"> Registros de Proyecto Reporte anual del GEARH Informe anual del INRH | <ul style="list-style-type: none"> Se mantienen de manera adecuada equipos para los estudios de agua subterránea, modelos matemáticos de agua subterránea construidos así como bases de datos del SIG dentro de Proyecto. Se elabora plan de abasto del agua basado en manejo de agua subterránea y se ejecuta. |
| <p><Resultado></p> <p>1. Mejoran las técnicas del GEIPI respecto a la prospección geofísica.</p> <p>2. Mejora la capacidad del GEIPI para la construcción de modelos matemáticos de agua subterránea.</p> <p>3. Mejora la capacidad técnica del GEIPI respecto SIG.</p> <p>4. Mejora la capacidad del GEARH para el manejo de modelo matemático SIG.</p> <p>5. Se realice la transferencia de tecnología relacionada con el desarrollo y manejo de agua subterránea el personal técnico perteneciente al INRH a nivel nacional.</p> | <ul style="list-style-type: none"> Elaborar y modificar los textos de capacitación. Formar al personal técnico que pueda efectuar las prospecciones eléctricas (Tomografía) y la electromagnética (5 personas). Se presentan los resultados de in prospección geofísica en sitio de entrenamiento. Elaborar los textos de capacitación. Fomentar al personal técnico capaz de construir modelos matemáticos de agua subterránea (5 personas). Se construye modelo matemático de agua subterránea en sitio de entrenamiento. Se confecciona mapa hidrogeológico más preciso del que existe en sitio de entrenamiento. Se elaboran los textos de capacitación. Formar al personal técnico capaz de construir el SIG relacionado con los recursos hídricos (5 personas). Se elaboran mapas procesados de salida (<i>output</i>) en sitios donde se construye SIG. Se realiza en más de dos ocasiones curso de capacitación dirigido al personal técnico del GEARH, quienes se dedican al manejo de agua subterránea, dentro del Programa de Capacitación organizado por el INRH. Del total de los participantes en los cursos de capacitación (45 personas aprox.), el 90% de ellos adquieren conocimiento sobre contenido del curso. (se les aplica examen al final del curso). Se realiza en más de dos ocasiones cursos de capacitación dirigido al personal técnico que se dedica al desarrollo y manejo de agua subterránea dentro del programa de capacitación organizado por el INRH. Del número total de participantes en cursos de capacitación (30 personas aprox.), el 90% de ellos adquieren conocimientos sobre contenido del curso. (se les aplica examen al final de curso). | <ul style="list-style-type: none"> Registros de Proyecto Registros de Proyecto Registros del Proyecto Registros de capacitación del INRH Registros del Proyecto Registros de capacitación del INRH Registros del Proyecto | <ul style="list-style-type: none"> Se mantiene un estrecho vínculo entre las empresas del INRH. |

| | | |
|--|--|---|
| <p><Actividades></p> <p>Resultado 1 1-1 Elaborar plan de adiestramiento a los capacitadores. 1-2 Elaborar y modificar los textos de capacitación sobre la prospección geofísica. 1-3 Efectuar capacitación técnica sobre la prospección geofísica a los capacitadores. 1-4 Realizar prácticas técnicas sobre la prospección geofísica en sitio de entrenamiento.</p> <p>Resultado 2 2-1 Elaborar plan de adiestramiento a los capacitadores. 2-2 Elaborar plan de capacitación con el fin de preparar los textos de capacitación sobre la modelación matemática del agua subterránea 2-3 Efectuar la capacitación técnica sobre modelación matemática del agua subterránea, dirigida a los capacitadores. 2-4 Realizar las investigaciones en sitio de entrenamiento tales como perforación de pozos de observación, pruebas de bombeo, estudios climatológicos, hidráulicos e hidrológicos y reunir los datos necesarios. 2-5 Construir modelo matemático del agua subterránea en sitio de entrenamiento. 2-6 Definir los diversos escenarios hidrogeológicos y realizar simulación. 2-7 Realizar calibraciones del modelo.</p> <p>Resultado 3 3-1 Elaborar plan de adiestramiento a los capacitadores. 3-2 Diseñar el GIS concierne a los recursos hídricos. 3-3 Elaborar los textos de capacitación para la construcción del GIS. 3-4 Ordenar base de datos e ingresar los datos. 3-3 Actualizar bases de datos del GIS de manera periódica.</p> <p>Resultado 4 4-1 Elaborar plan de capacitación. 4-2 Elaborar los textos de capacitación que se utilizan para la evaluación y manejo del agua subterránea. 4-3 Efectuar la capacitación para la evaluación y manejo del agua subterránea, basándose en modelos matemáticos y bases de datos del GIS.</p> <p>Resultado 5 5-1 Elaborar plan de capacitación. 5-2 Elaborar los textos de capacitación para la prospección geofísica, modelación matemática del agua subterránea y GIS. 5-3 Efectuar la capacitación respecto a la prospección geofísica, modelación matemática del agua subterránea y GIS.</p> | <p><Inversión></p> <p>Inversión por la parte japonesa: 1. Expertos en geofísica, modelación matemática y SIG 2. Equipos y materiales: Equipos geofísicos, Equipamiento de hidrogeología, Ordenadores y Software para el SIG y modelación matemática 3. Adiestramiento en Japón 4. Aportación de gastos en parte</p> <p>Inversión por la parte cubana: 1. Personal contraparte 2. Encargado administrativo 3. Instalaciones necesarias para la implementación del Proyecto (Oficinas de expertos, muebles de oficinas entre otros) 4. Gastos locales de operación</p> <ul style="list-style-type: none"> • Gastos de perforación de pozos de observación que puedan ser usados posteriormente como pozos de producción • Gastos de adiestramiento • Salarios y otros gastos para el personal contraparte cubano • Gastos de electricidad y gas • Gastos de aduanas, transportación doméstica entre otros • Gastos de mantenimiento de equipamiento | <ul style="list-style-type: none"> • Se adquiere sin retraso equipos y materiales necesarios para la ejecución del entrenamiento. • Se obtiene sin retraso La información necesaria para las actividades del Proyecto. • Se prepare la logística (medio de transportación, instalaciones de hospedaje) para facilitar la participación en curso de capacitación. • Entre los participantes en curso de capacitación, se tienen conocimientos básicos y generales sobre estudio de la disponibilidad de la agua subterránea. <p><Precondiciones></p> <ul style="list-style-type: none"> • Se pueden importar a Cuba equipamiento, y software necesario y adecuado para la ejecución del Proyecto. • Se asigna el personal de contraparte cubano de manera adecuada. |
|--|--|---|

PDM₂

Duración del Proyecto : de noviembre de 2008 a febrero de 2012

Área objeto : Sitio modelo: Distrito Sola, Provincia de Camagüey (35,700 habitantes)
Sitio de establecimiento de SIG: Provincia de Holguín (1,030 mil habitantes), Provincia de Las Tunas (530mil habitantes), Provincia de Camagüey (790 mil habitantes)
Sitios a que pertenecen los participantes de las capacitaciones: Todas las Provincias de Cuba

Grupo meta : Instructores de capacitación: Grupo Empresarial de Investigaciones, Proyectos e Ingeniería (GEIPI) 15 personas
Participantes de la capacitación: Grupo Empresarial de Investigaciones, Proyectos e Ingeniería (GEIPI) 30 personas, Grupo Empresarial de Aprovechamiento Hidráulico (GEARH) 40 técnicos
Beneficiario indirecto: Habitantes de la región oriental (2.35 millones de personas)

| Resumen del Proyecto | Indicadores | Fuentes de información | Condiciones externas |
|--|---|---|---|
| <p><Objetivo superior></p> <ul style="list-style-type: none"> Se utilizan los recursos hídricos de manera adecuada en la Región Oriental. | <ul style="list-style-type: none"> Se ejecutan de manera periódica y constante estudios de disponibilidad de agua subterránea en la Región Oriental (como mínimo en 3 Provincias) Se asegura fuente de agua alternativa frente a la sequía en las provincias de la Región Oriental (como mínimo en 3 Provincias, y disminuye la población abastecida de camiones cisternas con relación a 2007) | <ul style="list-style-type: none"> Registros de GEIPI Registros de GEAAL | |
| <p><Objetivo del Proyecto></p> <ul style="list-style-type: none"> Mejora la capacidad de desarrollo y manejo del agua subterránea de INRH (incluyendo GEIPI y GEARH) | <ul style="list-style-type: none"> Se resumen y publican las posibilidades y temas del desarrollo del agua subterránea en el área objeto (hidrogeología, distribución del agua subterránea, calidad de agua, pronóstico según modelos numéricos de agua subterránea). Se reflejan en el informe anual de GEARH los resultados del análisis y manejo del agua subterránea basados en modelos numéricos de agua subterránea y base de datos de SIG. Se reflejan en el informe anual de INRH los resultados del análisis y manejo del agua subterránea basados en modelos numéricos de agua subterránea y base de datos de SIG. | <ul style="list-style-type: none"> Informe de Avance del Proyecto Informe anual de GEARH Informe anual de INRH | <ul style="list-style-type: none"> Administración y mantenimiento apropiado de los equipos y materiales de estudio del agua subterránea, los modelos numéricos establecidos y la base de datos de SIG. Se elabora y ejecuta un plan de abastecimiento de agua basado en el manejo del agua subterránea. |
| <p><Resultados></p> <ol style="list-style-type: none"> Mejora el nivel técnico de la prospección física de los principales técnicos de GEIPI que servirán como instructores. Mejora la capacidad de construir modelos numéricos de agua subterránea de los principales técnicos que servirán como instructores en las capacitaciones de GEIPI. Mejora la capacidad de establecer SIG de los principales técnicos que servirán como instructores en las capacitaciones de GEIPI. Mejora la capacidad de GEARH y la dirección de manejo de cuencas hidráulicas de INRH para la evaluación y manejo del agua subterránea aprovechando los resultados de las prospecciones físicas, los modelos numéricos y SIG, ejecutados y elaborados por GEIPI. Se transfiere a los técnicos involucrados de GEIPI técnicas relacionadas con la prospección física, modelos numéricos de agua subterránea y SIG. | <ol style="list-style-type: none"> 1-1 Se elabora y revisa el material de capacitación. 1-2 Se forman técnicos (5 personas) capaces de realizar prospección eléctrica (método de imágenes bidimensionales de resistividad) y prospecciones electromagnéticas. 1-3 Se publican los resultados de la prospección física del sitio modelo. 2-1 Se elabora el material de capacitación. 2-2 Se forman técnicos (5 personas) capaces de establecer modelos numéricos del agua subterránea. 2-3 Se establecen modelos numéricos del agua subterránea del sitio modelo basándose en el método adquirido en 2-2. 2-4 Se elabora un plano hidrogeológico del sitio modelo con mayor precisión que el plano existente. 3-1 Se elabora el material de capacitación. 3-2 Se forman técnicos (5 personas) capaces de establecer SIG relacionado con los recursos de agua. 3-3 Se elaboran planos de SIG en el área objeto. 4-1 Se ofrece más de dos veces un curso de capacitación dentro del programa de capacitación de INRH a los técnicos que se dedican al manejo del agua subterránea en la Dirección de Manejo de Cuencas Hidráulicas de INRH y GEARH. 4-2 El 90% de los participantes (45 personas) adquieren el conocimiento del contenido de la capacitación (se hace un examen al final de la capacitación). 5-1 Se ofrece más de dos veces un curso de capacitación dentro del programa de capacitación de INRH a los técnicos que se dedican al desarrollo y manejo de l agua subterránea en GEIPI. 5-2 El 90% de los participantes (30 personas) adquieren el conocimiento del contenido de la capacitación (se hace un examen al final de la capacitación). | <ol style="list-style-type: none"> 1 Informe de Avance del Proyecto 2 Informe de Avance del Proyecto 3-1 Informe de Avance del Proyecto 3-2 Planos impresos 4-1 Registro de la capacitación de INRH 4-2 Informe de Avance del Proyecto 5-1 Registro de la capacitación de INRH 5-2 Informe de Avance del Proyecto | <ul style="list-style-type: none"> Se mantiene la coordinación entre los grupos de INRH. |

| <Actividades> | <Insumo> | |
|--|--|--|
| <p>1-1 Elaborar un plan de capacitación para los principales técnicos</p> <p>1-2 Elaborar y revisar el material de capacitación sobre la prospección física (prospección eléctrica y electromagnética).</p> <p>1-3 Dar capacitación técnica a los principales técnicos sobre la prospección física, quienes serán instructores de futuras capacitaciones.</p> <p>1-4 Dar práctica técnica a los principales técnicos sobre la prospección física en el sitio modelo, quienes serán instructores de futuras capacitaciones.</p> <p>2-1 Elaborar un plan de capacitación para los principales técnicos</p> <p>2-2 Elaborar el material de capacitación sobre el modelo numérico del agua subterránea</p> <p>2-3 Dar capacitación técnica a los principales técnicos sobre el modelo numérico del agua subterránea, quienes serán instructores de futuras capacitaciones.</p> <p>2-4 Llevar a cabo estudios meteorológicos, hidrológicos, de suelo superficial e hidrogeológicos en el sitio modelo.</p> <p>2-5 Perforar pozos observatorios de agua subterránea en el sitio modelo y realizar pruebas de bombeo, medición de nivel de agua subterránea, registro de los hoyos.</p> <p>2-6 Dar asesoramiento sobre la elaboración de modelos numéricos del agua subterránea de alta precisión.</p> <p>3-1 Elaborar un plan de capacitación para los principales técnicos</p> <p>3-2 Elaborar el material de capacitación sobre SIG.</p> <p>3-3 Realizar una capacitación in situ sobre el diseño de SIG para los recursos agua.</p> <p>4-1 Dar consejo a un plan de capacitación dirigido a funcionarios de GEARH y la Dirección de Manejo de Cuencas Hidráulicas de INRH, elaborado por los principales técnicos que servirán de instructores, sobre la evaluación y manejo del agua subterránea basados en el conocimiento y datos adquiridos sobre la prospección física, modelo numérico y SIG, que hayan sido objeto de transferencia tecnológica en el Proyecto.</p> <p>4-2 Dar consejo al material de capacitación elaborado y revisado por los principales técnicos de GEIPI.</p> <p>4-3 Asistir a la capacitación realizada por los principales técnicos de GEIPI y dar explicación complementaria según la necesidad.</p> <p>4-4 Luego de la capacitación, tener deliberaciones con los principales técnicos de GEIPI para retroalimentar a la siguiente capacitación.</p> <p>5-1 Dar apoyo a la capacitación realizada por los principales técnicos de GEIPI dirigida a otros técnicos de la institución.</p> <p>5-2 Asistir a la capacitación realizada por los principales técnicos de GEIPI y dar explicación complementaria según la necesidad.</p> <p>5-3 Luego de la capacitación, tener deliberaciones con los principales técnicos de GEIPI para retroalimentar a la siguiente capacitación.</p> | <p>Parte japonesa</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Expertos: Líder/ modelo de agua subterránea 1, modelo de agua subterránea 2, hidrogeología 1, hidrogeología 2, prospección física, SIG 2. Equipos y materiales 3. Capacitación en Japón <p>Parte cubana</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Asignación de personal de contraparte 2. Empleado administrativo 3. Instalaciones necesarias para la ejecución del Proyecto (Oficinas de los expertos y mobiliario necesario para su trabajo) 4. Costo local asignado <ul style="list-style-type: none"> • Costo de perforación de los pozos observatorios • Costo de entrenamiento • Salarios y jornales del personal de la parte cubana • Gastos de luz y gas • Derechos aduaneros y costo de transporte interno • Costo de mantenimiento y administración de los equipos y materiales <p>Los demás costos locales necesarios para la ejecución del Proyecto</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Se pueden obtener sin demora los equipos y materiales necesarios para realizar la capacitación. • Se puede obtener sin demora la información necesaria para las actividades del Proyecto. • Se dispone la logística (medios de transporte, alojamientos) para participar en la capacitación. • Los participantes en la capacitación tienen conocimiento básico y general sobre el estudio de disponibilidad del agua subterránea. <p><Condiciones previas></p> <ul style="list-style-type: none"> • Se pueden importar los equipos, materiales y programas a Cuba. • Se asigna adecuadamente el personal de contraparte. |

PDM₃

Nombre del Proyecto de Mejoramiento de la Capacidad de Desarrollo y Manejo del Agua Subterránea para la Adaptación al Climático en la República de Cuba

Duración del Proyecto : de noviembre de 2008 a abril de 2012

Área objeto : Sitio modelo: Distrito Sola, Provincia de Camagüey (35,700 habitantes)

Sitio de establecimiento de SIG: Provincia de Holguín (1,030 mil habitantes), Provincia de Las Tunas (530mil habitantes), Provincia de Camagüey (790 mil habitantes)

Procedencia de los participantes de las capacitaciones: Todas las Provincias de Cuba

Grupo meta : Instructores de capacitación: Grupo Empresarial de Investigaciones, Proyectos e Ingeniería (GEIPI) 15 técnicos (principales técnicos)

Participantes de la capacitación: Direcciones de Cuencas Hidrográficas y Obras Hidráulicas de INRH 5 técnicos, Grupo Empresarial de Investigaciones, Proyectos e

Ingeniería (GEIPI) 30 técnicos, Grupo Empresarial de Aprovechamiento Hidráulico (GEARH) 40 técnicos

Beneficiario indirecto: Habitantes de la región oriental (2.35 millones de personas)

Fecha de elaboración: 17 de marzo de 2010

| Resumen del Proyecto | Indicadores | Fuentes de información | Condiciones externas |
|--|---|--|---|
| <p><Objetivo superior></p> <ul style="list-style-type: none"> Se utilizan el agua subterránea de manera adecuada en el aprovechamiento de los recursos hídricos en la Región Oriental. | <ul style="list-style-type: none"> Se ejecutan de manera periódica y constante estudios de disponibilidad de agua subterránea en la Región Oriental (como mínimo en 3 Provincias). Se asegura fuente de agua alternativa frente a la sequía en la Región Oriental (como mínimo en 3 Provincias, y disminuye la población abastecida de camiones cisterna con relación a 2007). | <ul style="list-style-type: none"> Registros de GEIPI Registros de GEAL | |
| <p><Objetivo del Proyecto></p> <ul style="list-style-type: none"> Mejora la capacidad de desarrollo y manejo del agua subterránea de INRH (incluyendo GEIPI y GEARH). | <ul style="list-style-type: none"> Se resumen y publican las posibilidades y temas del desarrollo del agua subterránea del sitio modelo (hidrogeología, distribución del agua subterránea, calidad de agua, pronóstico según modelos del agua subterránea). Se reflejan en el informe anual de GEARH los resultados del análisis y manejo del agua subterránea basados en modelos del agua subterránea y base de datos de SIG. Se reflejan en el informe anual de INRH los resultados del análisis y manejo del agua subterránea basados en modelos del agua subterránea y base de datos de SIG. | <ul style="list-style-type: none"> Informe de Avance del Proyecto Informe anual de GEARH Informe anual de INRH | <ul style="list-style-type: none"> Administración y mantenimiento apropiado de los equipos y materiales de estudio del agua subterránea, los modelos numéricos establecidos y la base de datos de SIG. Se elabora y ejecuta un plan de abastecimiento de agua basado en el manejo del agua subterránea. |
| <p><Resultados></p> <ol style="list-style-type: none"> Mejora el nivel técnico de la prospección geofísica de los principales técnicos de GEIPI que servirán como instructores. Mejora la capacidad de construir modelos del agua subterránea de los principales técnicos que servirán como instructores en las capacitaciones de GEIPI. Mejora la capacidad de elaborar SIG de los principales técnicos que servirán como instructores en las capacitaciones de GEIPI. Mejora la capacidad de GEARH y las Direcciones de Cuencas Hidrográficas y Obras Hidráulicas de INRH para la evaluación y manejo del agua subterránea aprovechando los resultados de la prospección geofísica, los modelos del agua subterránea y SIG, ejecutados y elaborados por GEIPI. Se transfiere a los técnicos involucrados de GEIPI técnicas relacionadas con la prospección geofísica, modelos del agua subterránea y SIG. | <ol style="list-style-type: none"> 1-1 Se elabora y revisa el material de capacitación. 1-2 Se forman técnicos (5 personas) capaces de realizar prospección geoelectrica (método de imágenes bidimensionales de resistividad) y prospección electromagnética (se hace un examen escrito y practica sobre manejo del equipo de prospección al final de la capacitación). 1-3 Se publican los resultados de la prospección geofísica del sitio modelo. 2-1 Se elabora el material de capacitación. 2-2 Se forman técnicos (5 personas) capaces de establecer modelo del agua subterránea (se hace un examen al final de la capacitación). 2-3 Se elaboran modelos del agua subterránea del sitio modelo basándose en el método adquirido en 2-2. 2-4 Se elabora un mapa hidrogeológico del sitio modelo con mayor precisión que el mapa existente. 3-1 Se elabora el material de capacitación. 3-2 Se forman técnicos (5 personas) capaces de elaborar SIG relacionado con los recursos de agua (see examina los mapas elaborados). 3-3 Se elaboran mapas de SIG del área de su elaboración. 4-1 Se ofrece más de dos veces un curso de capacitación dentro del programa de capacitación de INRH, dirigido a los técnicos que se dedican al manejo del agua subterránea en las Direcciones de Cuencas Hidrográficas y Obras Hidráulicas de INRH y GEARH. 4-2 El 90% de los participantes (45 personas) adquieren el conocimiento del contenido de la capacitación (se hace un examen al final de la capacitación). 5-1 Se ofrece más de dos veces el curso de capacitación dentro del programa de capacitación de INRH, dirigido a los técnicos que se dedican al desarrollo y manejo de l agua subterránea en GEIPI. 5-2 El 90% de los participantes (30 personas) adquieren el conocimiento del contenido de la capacitación (se hace un examen al final de la capacitación). | <ol style="list-style-type: none"> 1 Informe de Avance del Proyecto 2 Informe de Avance del Proyecto 3-1 Informe de Avance del Proyecto 3-2 Mapas impresos 3-3 Mapas impresos 4-1 Registro de la capacitación de INRH 4-2 Informe de Avance del Proyecto 5-1 Registro de la capacitación de INRH 5-2 Informe de Avance del Proyecto | <ul style="list-style-type: none"> Se mantiene la coordinación entre los grupos de INRH. |

| <Actividades> | <Insumo> | |
|---|---|--|
| <p>1-1 Elaborar un plan de capacitación para los principales técnicos. 1-2 Elaborar y revisar el material de capacitación sobre la prospección geofísica (prospección eléctrica y electromagnética). 1-3 Dar capacitación técnica a los principales técnicos sobre la prospección geofísica, quienes serán instructores de futuras capacitaciones. 1-4 Dar práctica técnica a los principales técnicos sobre la prospección geofísica en el sitio modelo, quienes serán instructores de futuras capacitaciones. 2-1 Elaborar un plan de capacitación para los principales técnicos. 2-2 Elaborar el material de capacitación sobre el modelos del agua subterránea. 2-3 Dar capacitación técnica a los principales técnicos sobre el modelo del agua subterránea, quienes serán instructores de futuras capacitaciones. 2-4 Llevar a cabo estudios meteorológicos, hidrológicos, de suelo superficial e hidrogeológicos en l sitio modelo. 2-5 Perforar pozos observatorios de agua subterránea en el sitio modelo y realizar pruebas de bombeo, monitoreo freático, y, registro de pozos. 2-6 Dar asesoramiento sobre la elaboración de modelos del agua subterránea de alta precisión. 3-1 Elaborar un plan de capacitación para los principales técnicos. 3-2 Elaborar el material de capacitación sobre SIG. 3-3 Realizar una capacitación in situ sobre el diseño de SIG para los recursos agua. 4-1 Los principales técnicos planean la capacitación dirigido a los funcionarios de GEARH y las Direcciones de Cuencas Hidrográficas y Obras Hidráulica de INRH, bajo asesoramiento de los expertos, sobre la evaluación y manejo del agua subterránea basados en el conocimiento y datos adquiridos sobre la prospección geofísica, modelos del agua subterránea y SIG. 4-2 Los principales técnicos elaboran y revisan el material de capacitación, bajo asesoramiento de los expertos. 4-3 Los principales técnicos imparten la capacitación y los expertos la complementan oportunamente. 4-4 Luego de la capacitación, los principales técnicos y los expertos analizan la capacitación ejecutada para reflejarto en nuevos cursos. 5-1 Los principales técnicos la capacitación dirigida a otros tecnicos de GEIP, bajo asesoramiento de los expertos, sobre la prospección geofísica, modelos del agua subterránea y SIG. 5-2 Los principales técnicos imparten la capacitación y los expertos la complementaria oportunamente. 5-3 Luego de la capacitación, los principales técnicos y los expertos analizan la capacitación ejecutada para reflejarto en nuevos cursos.</p> | <p>Parte japonesa</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Expertos: Líder/ modelo de agua subterránea 1, modelo de agua subterránea 2, hidrogeología 1, hidrogeología 2, prospección geofísica, SIG 2. Equipos y materiales 3. Capacitación en Japón 4. Aportación de gastos locales en parte <p>Parte cubana</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Asignación de personal de contraparte 2. Empleado administrativo 3. Instalaciones necesarias para la ejecución del Proyecto (Oficinas de los expertos y mobiliario necesario para su trabajo) 4. Costo local asignado <ul style="list-style-type: none"> • Costo de perforación de los pozos observatorios • Costo de entrenamiento • Salarios y jornales del personal de la parte cubana • Gastos de luz y gas • Derechos aduaneros y costo de transporte interno • Costo de mantenimiento y administración de los equipos y materiales <p>Los demás costos locales necesarios para la ejecución del Proyecto</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Se pueden obtener sin demora los equipos y materiales necesarios para realizar la capacitación. • Se puede obtener sin demora la información necesaria para las actividades del Proyecto. • Se dispone la logística (medios de transporte, alojamientos) para participar en la capacitación. • Los participantes en la capacitación tienen conocimiento básico y general sobre el estudio de disponibilidad del agua subterránea. <p><Condiciones previas></p> <ul style="list-style-type: none"> • Se pueden importar los equipos, materiales y programas a Cuba. • Se asigna adecuadamente el personal de contraparte. |

PDM₄

Nombre del Proyecto de Mejoramiento de la Capacidad de Desarrollo y Manejo del Agua Subterránea para la Adaptación al Climático en la República de Cuba

Duración del Proyecto : de noviembre de 2008 a abril de 2012

Área objeto : Sitio modelo: Distrito Sola, Provincia de Camagüey (35,700 habitantes)

Sitio de establecimiento de SIG: Provincia de Holguín (1,030 mil habitantes), Provincia de Las Tunas (530mil habitantes), Provincia de Camagüey (790 mil habitantes)

Procedencia de los participantes de las capacitaciones: Todas las Provincias de Cuba

Grupo meta : Instructores de capacitación: Grupo Empresarial de Investigaciones, Proyectos e Ingeniería (GEIPI) 15 técnicos (principales técnicos)

Participantes de la capacitación: Direcciones de Cuencas Hidrográficas y Obras Hidráulicas de INRH 5 técnicos, Grupo Empresarial de Investigaciones, Proyectos e

Ingeniería (GEIPI) 30 técnicos, Grupo Empresarial de Aprovechamiento Hidráulico (GEARH) 40 técnicos

Beneficiario indirecto: Habitantes de la región oriental (2.35 millones de personas)

Fecha de elaboración: 27 de junio de 2011

| Resumen del Proyecto | Indicadores | Fuentes de información | Condiciones externas |
|--|---|--|---|
| <p><Objetivo superior></p> <ul style="list-style-type: none"> Se utilizan el agua subterránea de manera adecuada en el aprovechamiento de los recursos hídricos en la Región Oriental. | <ul style="list-style-type: none"> Se ejecutan de manera periódica y constante estudios de disponibilidad de agua subterránea en la Región Oriental (como mínimo en 3 Provincias). Se asegura fuente de agua alternativa frente a la sequía en la Región Oriental (como mínimo en 3 Provincias, y disminuye la población abastecida de camiones cisterna con relación a 2007). | <ul style="list-style-type: none"> Registros de GEIPI Registros de GEAL | |
| <p><Objetivo del Proyecto></p> <ul style="list-style-type: none"> Mejora la capacidad de desarrollo y manejo del agua subterránea de INRH (incluyendo GEIPI y GEARH). | <ul style="list-style-type: none"> Se resumen y publican las posibilidades y temas del desarrollo del agua subterránea del sitio modelo (hidrogeología, distribución del agua subterránea, calidad de agua, pronóstico según modelos del agua subterránea). Se reflejan en el informe anual de GEARH los resultados del análisis y manejo del agua subterránea basados en modelos del agua subterránea y base de datos de SIG. Se reflejan en el informe anual de INRH los resultados del análisis y manejo del agua subterránea basados en modelos del agua subterránea y base de datos de SIG. | <ul style="list-style-type: none"> Informe de Avance del Proyecto Informe anual de GEARH Informe anual de INRH | <ul style="list-style-type: none"> Administración y mantenimiento apropiado de los equipos y materiales de estudio del agua subterránea, los modelos numéricos establecidos y la base de datos de SIG. Se elabora y ejecuta un plan de abastecimiento de agua basado en el manejo del agua subterránea. |
| <p><Resultados></p> <ol style="list-style-type: none"> Mejora el nivel técnico de la prospección geofísica de los principales técnicos de GEIPI que servirán como instructores. Mejora la capacidad de construir modelos del agua subterránea de los principales técnicos que servirán como instructores en las capacitaciones de GEIPI. Mejora la capacidad de elaborar SIG de los principales técnicos que servirán como instructores en las capacitaciones de GEIPI. Mejora la capacidad de GEARH y las Direcciones de Cuencas Hidrográficas y Obras Hidráulicas de INRH para la evaluación y manejo del agua subterránea aprovechando los resultados de la prospección geofísica, los modelos del agua subterránea y SIG, ejecutados y elaborados por GEIPI. Se transfiere a los técnicos involucrados de GEIPI técnicas relacionadas con la prospección geofísica, modelos del agua subterránea y SIG. | <ol style="list-style-type: none"> 1-1 Se elabora y revisa el material de capacitación. 1-2 Se forman técnicos (5 personas) capaces de realizar prospección geoelectrica (método de imágenes bidimensionales de resistividad) y prospección electromagnética (se hace un examen escrito y practica sobre manejo del equipo de prospección al final de la capacitación). 1-3 Se publican los resultados de la prospección geofísica del sitio modelo. 2-1 Se elabora el material de capacitación. 2-2 Se forman técnicos (5 personas) capaces de establecer modelo del agua subterránea (se hace un examen al final de la capacitación). 2-3 Se elaboran modelos del agua subterránea del sitio modelo basándose en el método adquirido en 2-2. 2-4 Se elabora un mapa hidrogeológico del sitio modelo con mayor precisión que el mapa existente. 3-1 Se elabora el material de capacitación. 3-2 Se forman técnicos (5 personas) capaces de elaborar SIG relacionado con los recursos de agua (see examina los mapas elaborados). 3-3 Se elaboran mapas de SIG del área de su elaboración. 4-1 Se ofrece más de dos veces un curso de capacitación dentro del programa de capacitación de INRH, dirigido a los técnicos que se dedican al manejo del agua subterránea en las Direcciones de Cuencas Hidrográficas y Obras Hidráulicas de INRH y GEARH. 4-2 El 90% de los participantes (45 personas) adquieren el conocimiento del contenido de la capacitación (se hace un examen al final de la capacitación). 5-1 Se ofrece más de dos veces el curso de capacitación dentro del programa de capacitación de INRH, dirigido a los técnicos que se dedican al desarrollo y manejo de l agua subterránea en GEIPI. 5-2 El 90% de los participantes (30 personas) adquieren el conocimiento del contenido de la capacitación (se hace un examen al final de la capacitación). | <ol style="list-style-type: none"> 1 Informe de Avance del Proyecto 2 Informe de Avance del Proyecto 3-1 Informe de Avance del Proyecto 3-2 Mapas impresos 3-3 Mapas impresos 4-1 Registro de la capacitación de INRH 4-2 Informe de Avance del Proyecto 5-1 Registro de la capacitación de INRH 5-2 Informe de Avance del Proyecto | <ul style="list-style-type: none"> Se mantiene la coordinación entre los grupos de INRH. |

| <Actividades> | <Insumo> | |
|---|--|--|
| <p>1-1 Elaborar un plan de capacitación para los principales técnicos. 1-2 Elaborar y revisar el material de capacitación sobre la prospección geofísica (prospección eléctrica y electromagnética). 1-3 Dar capacitación técnica a los principales técnicos sobre la prospección geofísica, quienes serán instructores de futuras capacitaciones. 1-4 Dar práctica técnica a los principales técnicos sobre la prospección geofísica en el sitio modelo, quienes serán instructores de futuras capacitaciones. 2-1 Elaborar un plan de capacitación para los principales técnicos. 2-2 Elaborar el material de capacitación sobre el modelos del agua subterránea. 2-3 Dar capacitación técnica a los principales técnicos sobre el modelo del agua subterránea, quienes serán instructores de futuras capacitaciones. 2-4 Llevar a cabo estudios meteorológicos, hidrológicos, de suelo superficial e hidrogeológicos en l sitio modelo. 2-5 Perforar pozos observatorios de agua subterránea en el sitio modelo y realizar pruebas de bombeo, monitoreo freático, y, registro de pozos. 2-6 Dar asesoramiento sobre la elaboración de modelos del agua subterránea de alta precisión. 3-1 Elaborar un plan de capacitación para los principales técnicos. 3-2 Elaborar el material de capacitación sobre SIG. 3-3 Realizar una capacitación in situ sobre el diseño de SIG para los recursos agua. 4-1 Los principales técnicos planean la capacitación dirigido a los funcionarios de GEARH y las Direcciones de Cuencas Hidrográficas y Obras Hidráulica de INRH, bajo asesoramiento de los expertos, sobre la evaluación y manejo del agua subterránea basados en el conocimiento y datos adquiridos sobre la prospección geofísica, modelos del agua subterránea y SIG. 4-2 Los principales técnicos elaboran y revisan el material de capacitación, bajo asesoramiento de los expertos. 4-3 Los principales técnicos imparten la capacitación y los expertos la complementan oportunamente. 4-4 Luego de la capacitación, los principales técnicos y los expertos analizan la capacitación ejecutada para reflejarto en nuevos cursos. 5-1 Los principales técnicos la capacitación dirigida a otros tecnicos de GEIP, bajo asesoramiento de los expertos, sobre la prospección geofísica, modelos del agua subterránea y SIG. 5-2 Los principales técnicos imparten la capacitación y los expertos la complementaria oportunamente. 5-3 Luego de la capacitación, los principales técnicos y los expertos analizan la capacitación ejecutada para reflejarto en nuevos cursos.</p> | <p style="text-align: center;"><Insumo></p> <p>Parte japonesa</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Expertos: Líder/ modelo de agua subterránea 1, modelo de agua subterránea 2, hidrogeología 1, hidrogeología 2, prospección geofísica, SIG 2. Equipos y materiales 3. Capacitación en Japón 4. Aportación de gastos locales en parte <p>Parte cubana</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Asignación de personal de contraparte 2. Empleado administrativo 3. Instalaciones necesarias para la ejecución del Proyecto (Oficinas de los expertos y mobiliario necesario para su trabajo) 4. Costo local asignado <ul style="list-style-type: none"> • Costo de perforación de los pozos observatorios • Costo de entrenamiento • Salarios y jornales del personal de la parte cubana • Gastos de luz y gas • Derechos aduaneros y costo de transporte interno • Costo de mantenimiento y administración de los equipos y materiales <p>Los demás costos locales necesarios para la ejecución del Proyecto</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Se pueden obtener sin demora los equipos y materiales necesarios para realizar la capacitación. • Se puede obtener sin demora la información necesaria para las actividades del Proyecto. • Se dispone la logística (medios de transporte, alojamientos) para participar en la capacitación. • Los participantes en la capacitación tienen conocimiento básico y general sobre el estudio de disponibilidad del agua subterránea. <p style="text-align: center;"><Condiciones previas></p> <ul style="list-style-type: none"> • Se pueden importar los equipos, materiales y programas a Cuba. • Se asigna adecuadamente el personal de contraparte. |

7 Reuniones de CCC, CEP, seminarios y talleres de trabajo

En el proyecto se realizaron reuniones de la Comisión de Coordinación Conjunta (CCC), el Comité de Ejecución del Proyecto (CEP) y para la explicación de IC/R (I/I), según la siguiente tabla.

Tabla 7-1: Reuniones de Comité y otras en el proyecto

| Comité | Fecha | Lugar | Acta de la Reunión |
|-----------------------|------------|------------------------------------|--------------------|
| Reunión de IC/R (I/I) | 19/11/2008 | La Habana/Sala de reunión de GEIPI | Sí |
| 1ª reunión CEP | 03/12/2008 | La Habana/Sala de reunión de GEIPI | No |
| 2ª reunión CEP | 09/03/2009 | La Habana/Sala de reunión de GEIPI | No |
| 1ª reunión CCC | 12/03/2009 | La Habana/Sala de reunión de GEIPI | Sí |
| 3ª reunión CEP | 24/06/2009 | La Habana/Sala de reunión de /INRH | No |
| 4ª reunión CEP | 27/10/009 | La Habana/Sala de reunión de /INRH | Sí |
| 2ª reunión CCC | 17/03/2010 | La Habana/Sala de reunión de /INRH | Sí |
| 5ª reunión CEP | 06/072010 | La Habana/Sala de reunión de /INRH | Sí |
| 6ª reunión CEP | 21/10/2010 | La Habana/Sala de reunión de /INRH | Sí |
| 7ª reunión CEP | 15/03/2011 | La Habana/Sala de reunión de /INRH | Sí |
| 3ª reunión CCC | 27/06/2011 | La Habana/Sala de reunión de GEARH | Sí |
| 8ª reunión CEP | 27/09/2011 | La Habana/Sala de reunión de /INRH | Sí |
| 4ª reunión CCC | 16/12/2011 | La Habana/Hotel Chateau Miramar | Sí |

7.1 Actas de Reuniones de la Comisión de Coordinación Conjunta (CCC)

a. 1ª Reunión de la Comisión de Coordinación Conjunta (12 de marzo de 2009)

La 1ª reunión de CCC tuvo lugar el 12 de marzo de 2009 en la sala de reuniones de GEIPI, La Habana, con los siguientes temas.

- Informe de actividades del 1^{er} año
- Plan de actividades del 2º año
- Problemas en actividades del proyecto y medidas a tomar

b. 2ª Reunión de la Comisión de Coordinación Conjunta (17 de marzo de 2010)

La 2ª reunión de CCC tuvo lugar el 17 de marzo de 2010 en la sala de reuniones de INRH, La Habana, con los siguientes temas.

- Se dieron explicaciones sobre el Informe de Avance 3 y se deliberó sobre las actividades subsiguientes del proyecto. La Parte Cubana ofreció comentarios sobre el avance general del proyecto y presentó explicaciones sobre los estudios hidrogeológicos realizados en el distrito Sola. Se deliberó sobre los futuros estudios (prospección electromagnética y perforación de pozo exploratorio).

- Se deliberó sobre el Informe de Evaluación Intermedia elaborado por el Equipo de Evaluación Intermedia, resultando en la aprobación de dicho informe.

c. 3ª Reunión de la Comisión de Coordinación Conjunta (27 de junio de 2011)

La 3ª reunión del CCC tuvo lugar el 27 de junio de 2011 en la sala de reuniones de GEARH, La Habana, con los siguientes temas.

- La Parte Japonesa presentó explicaciones sobre las actividades realizadas en junio de 2011, y el pedido de actividades a la Parte Cubana durante los meses de julio y agosto en que estarían ausentes los Expertos JICA. Asimismo, la Parte Japonesa presentó el plan de actividades para el mes de septiembre, el cual fue aprobado por la Parte Cubana.
- Se aprobó la modificación de PDM (modificación del periodo del proyecto) propuesta por el Equipo de Evaluación Final.

d. 4ª Reunión de la Comisión de Coordinación Conjunta (16 de diciembre de 2011)

La 4ª reunión del CCC tuvo lugar el 16 de diciembre de 2011 en el Hotel Cubanacan Chateau Miramar, La Habana, con los siguientes temas.

- El Grupo de Expertos JICA presentó las explicaciones sobre el Borrador del Informe Final, con énfasis en el logro de los resultados, y las acciones tendientes al logro del objetivo del proyecto. La Parte Cubana se comprometió a llevar a cabo las publicaciones de los resultados del proyecto en los Anuarios de INRH y GEARH, en cumplimiento de los indicadores del logro del objetivo del proyecto.
- Como un resultado del proyecto, la Parte Japonesa hizo entrega de los 5 textos que se utilizaron en las capacitaciones de Prospección Geofísica, Prueba de Bombeo, Modelo de Agua Subterránea, SIG, y Manejo del Agua Subterránea. Asimismo, se hizo la entrega oficial de los equipos y materiales que la Parte Japonesa introdujo al país como parte del proyecto. La Parte Cubana se comprometió al cuidado de los equipos, contando con el apoyo de INRH en el mantenimiento de los equipos.
- La Parte Cubana presentó las explicaciones sobre sus acciones con respecto a las recomendaciones del Equipo de Evaluación Final, comprometiéndose a cumplir con las recomendaciones para después de la conclusión del proyecto.
- La Parte Cubana presentó las explicaciones sobre las capacitaciones programadas con el objetivo de lograr la meta superior, asegurándose las participaciones de INRH y GEARH tanto en los programas de capacitación como en el apoyo presupuestario.

7.2 Acta de Reuniones del Comité de Ejecución del Proyecto(CEP)

a. 1ª Reunión del Comité de Ejecución del Proyecto (3 de diciembre de 2008)

La 1ª reunión de CEP tuvo lugar el 3 de diciembre de 2008 en la sala de reuniones de GEIPI,

La Habana, con el siguiente contenido.

- Explicación y deliberaciones sobre el Informe Inicial Ic/R (I/I)

b. 2ª Reunión del Comité de Ejecución del Proyecto (10 de marzo de 2009)

La 2ª reunión de CEP tuvo lugar el 10 de marzo de 2009 en la sala de reuniones de GEIPI, La Habana, con los siguientes temas.

- Explicación sobre el Informe de Avance 1 (I/A 1)
- Informe sobre equipos a ser adquiridos
- Plan de actividades para el 2º año
- Ambiente de trabajo en CITA

c. 3ª Reunión del Comité de Ejecución del Proyecto (24 de junio de 2009)

La 3ª reunión de CEP tuvo lugar el 24 de junio de 2009 en la sala de reuniones de INRH, La Habana, con los siguientes temas.

- Se informó de las actividades en el principio del 2º año (entre mayo y junio de 2009) y se deliberó sobre las actividades previstas de los Expertos JICA a partir de julio.
- Se solicitó la ejecución continua de la prospección geofísica (método de imagen de resistividad bidimensional) por los ingenieros principales en el sitio modelo (distrito Sola, Provincia de Camagüey).

d. 4ª Reunión del Comité de Ejecución del Proyecto (27 de octubre de 2009)

La 4ª reunión de CEP tuvo lugar el 27 de octubre de 2009 en la sala de reuniones de INRH, La Habana, con los siguientes temas.

- Se dieron explicaciones sobre el Informe de Avance 2 (I/A 2) y se deliberó sobre las actividades subsiguientes del proyecto.
- La Parte Cubana solicitó ayuda financiera para la perforación de pozos exploratorios en el distrito Sola, que originalmente era de responsabilidad de la Parte Cubana.

e. 5ª Reunión del Comité de Ejecución del Proyecto (6 de julio de 2010)

La 5ª reunión de CEP tuvo lugar el 6 de julio de 2010 en la sala de reuniones de INRH, La Habana, con los siguientes temas.

- Se deliberó sobre las actividades del proyecto en el 3º y el 4º año, en especial el gran retraso en la perforación del pozo exploratorio.

- Se comprobó que el equipo de prospección electromagnética había llegado a Cuba en abril de 2010 y estaba resguardado en CITA de la Provincia de Camagüey. Se decidió comenzar en agosto la capacitación en Prospección Geofísica utilizando el equipo de prospección electromagnética.
- Se informó que la transferencia tecnológica sobre SIG y la prospección electromagnética concluirían antes del fin de septiembre de 2010.
- Se decidió que la transferencia tecnológica en Modelo de Agua Subterránea concluiría recién en junio de 2011, a fin de permitir el tiempo necesario para reflejar en el modelo los resultados de la prospección electromagnética y de la perforación del pozo exploratorio.
- Se acordó que los ingenieros principales de GEIPI realizarían seminarios de difusión sobre SIG, Prospección Geofísica, y Modelo de Agua Subterránea durante la segunda mitad del del 3^{er} año y durante todo el 4^o año.

f. 6^a Reunión del Comité de Ejecución del Proyecto (21 de octubre de 2010)

La 6^a reunión de CEP tuvo lugar el 21 de octubre de 2010 en la sala de reuniones de INRH, La Habana, con los siguientes temas.

- Actividades del proyecto: Se presentó y explicó el Informe de Avance 4 (I/A 4), y se deliberó sobre las actividades subsiguientes del proyecto.
- Se dieron explicaciones sobre los resultados de la capacitación en Prospección Electromagnética (capacitación in situ - OJT) y la interpretación de la intrusión salina en el distrito Sola. Asimismo, se deliberó sobre futuros seminarios de difusión.
- Los Expertos JICA explicaron que para un Modelo de Agua Subterránea, era necesario disponer de datos ordenados del distrito Sola antes de marzo de 2010. La Parte Cubana manifestó que tomarían las medidas necesarias para apresurar la perforación del pozo exploratorio en el sitio modelo (distrito Sola, Provincia de Camagüey).

g. 7^a Reunión del Comité de Ejecución del Proyecto (15 de marzo de 2011)

La 7^a reunión de CEP tuvo lugar el 15 de marzo de 2011 en la sala de reuniones de INRH, La Habana, con los temas siguientes.

- Actividades entre octubre de 2010 y marzo de 2011
- Informe del 6^o seminario sobre Modelo de Agua Subterránea
- Informe del seminario sobre difusión de SIG
- Plan de actividades para el 4^o año
- Informe de conclusión de la perforación del pozo exploratorio JICA01

h. 8^a Reunión del Comité de Ejecución del Proyecto (27 de septiembre de 2011)

La 8^a reunión de CEP tuvo lugar el 27 de septiembre de 2011 en la sala de reuniones de INRH, La Habana, con los siguientes temas.

- La Parte Japonesa presentó explicaciones sobre las actividades realizadas en septiembre de 2011, y el pedido de actividades a la Parte Cubana durante los meses de octubre y noviembre en que estarían ausentes los Expertos JICA. Asimismo, la Parte Japonesa presentó el plan de actividades para el mes de diciembre, el cual fue aprobado por la Parte Cubana.

7.3 Seminario sobre tecnología general

Actuando de conferencistas los ingenieros principales de GEIPI y los Expertos JICA, se realizaron seminarios sobre tecnología general dirigidos a técnicos generales de GEIPI, GEARH e INRH, según la siguiente tabla. En el 3^{er} año fueron mayoritarios los seminarios en que actuaron de conferencistas los Expertos JICA, pero en el 4^o año fueron predominantes los seminarios dirigidos por los ingenieros principales de GEIPI.

Tabla 7-2: Listado de seminarios sobre tecnología general

| Fecha | Lugar | Temas de capacitación | Conferencista | Participantes |
|--------------------|----------------------------|--|---|-------------------------------------|
| 22/06/2010 | Provincia de Holguín | Resumen del proyecto, hidrogeología, modelo de agua subterránea, prospección geofísica y SIG/BD en la Provincia de Holguín | Expertos japoneses, Principales técnicos (EIPH Holguín) | 9 técnicos de EIPH Holguín |
| 24/06/2010 | Provincia de Las Tunas | Resumen del proyecto y SIG/BD en la Provincia de Las Tunas | Expertos JICA, Ingenieros principales (EIPH Las Tunas) | 12 técnicos de EIPH UEBPI Las Tunas |
| 28/06/2010 | Provincia de Camagüey | Resumen del proyecto y prospección geofísica en el distrito Sola | Expertos JICA, Ingenieros principales (EIPH Camagüey) | 4 técnicos de EIPH Camagüey |
| 30/06 - 02/07/2010 | Provincia de Camagüey | Resumen de SIG | Expertos JICA, Ingenieros principales | 12 técnicos de EIPH |
| 08/03 - 10/03/2011 | Provincia de Villa Clara | Concepto y funciones de SIG | Expertos JICA, Ingenieros principales | 24 técnicos de EIPH · GEARH |
| 12/09 - 14/09/2011 | Provincia de Pinar del Río | Prospección geofísica | Ingenieros principales | 27 técnicos de EIPH EARH y otros |
| 14/09 - 15/09/2011 | Provincia de Granma | SIG | Ingenieros principales | 14 técnicos de EAH · DPRH |
| 26/09/2011 | La Habana | Modelo de agua subterránea | Ingenieros principales | 11 técnicos de EIPH ENPC |

a. Seminario sobre tecnología general en la Provincia de Holguín

Se describe a continuación el resumen del seminario sobre tecnología general realizado el 22 de junio de 2010 en la Provincia de Holguín.

- Participantes : 9 técnicos de EIPI Holguín
- Temas de la capacitación y conferencistas
 - Actividades del proyecto en los últimos 2 años:
Akira Kamata (Líder/Modelo de agua subterránea 1)
 - Resumen del establecimiento de modelo de agua subterránea:
Naoaki Shibazaki (Modelo de agua subterránea 2)
 - Resumen de SIG: Lei Peifen (SIG)
 - Estudio hidrogeológico de la Provincia de Holguín y aprovechamiento de modelo de agua subterránea:
Jorge Luis Blanco Blázquez (Especialista Superior)
 - Estado de la ejecución de prospección geofísica en la Provincia de Holguín:
Rodolfo Bordón (Especialista Superior)
 - Establecimiento de base de datos y SIG en la Provincia de Holguín:
Juan José Almirall Beltrán (Especialista Superior)

b. Seminario sobre tecnología general en la Provincia de Las Tunas

Se describe a continuación el resumen del seminario sobre tecnología general realizado el 24 de junio de 2010 en la Provincia de Las Tunas.

- Participantes : 9 técnicos de USBPI Las Tunas
- Temas de la capacitación y conferencistas
 - Actividades del proyecto en los últimos 2 años:
Akira Kamata (Líder/Modelo de agua subterránea 1)
 - Resumen del establecimiento de modelo de agua subterránea:
Naoaki Shibazaki (Modelo de agua subterránea 2)
 - Resumen de SIG: Lei Peifen (SIG)
 - Establecimiento de base de datos y SIG en la Provincia de Las Tunas:
Marcell Martínez Contreras (Especialista)

c. Seminario sobre tecnología general en la Provincia de Camagüey

Se describe a continuación el resumen del seminario sobre tecnología general realizado el 28 de junio de 2010 en la Provincia de Camagüey.

- Participantes : 4 técnicos de EIPI Camagüey
- Temas de la capacitación y conferencistas
 - Actividades del proyecto en los últimos 2 años:
Akira Kamata (Líder/Modelo de agua subterránea 1)
 - Resumen del establecimiento de modelo de agua subterránea:
Akira Kamata (Líder/Modelo de agua subterránea 1)

- Resumen de SIG: Lei Peifen (SIG)
- Estado de la prospección geofísica en el distrito Sola (método de imagen de resistividad bidimensional):
Rebeca Fernández (Especialista Superior)

d. Seminario sobre tecnología general de SIG en la Provincia de Camagüey

Se describe a continuación el resumen del seminario sobre SIG realizado entre el 30 de junio y el 2 de julio de 2010 en la Provincia de Camagüey.

- Participantes : EIPH (Pinar del Río, Santiago de Cuba, Ciego de Ávila, Holguín y Camagüey), EIPI Matanzas, GEARH Cienfuegos
- Conferencistas : Alien Pérez Santos (CITA Camagüey), Lei Peifen (SIG)
- Temas de la capacitación : Presentación de ejemplos reales de desarrollo y manejo de recursos de agua utilizando SIG, composición básica de SIG y datos fundamentales, función analítica de SIG, función de representación gráfica, etc.

e. Seminario sobre tecnología general de SIG en la Provincia de Villa Clara

Se describe a continuación el resumen del seminario sobre SIG realizado entre el 8 y el 10 de marzo de 2011 en la Provincia de Villa Clara.

- Participantes : 24 técnicos de EIPH Villa Clara
- Conferencistas : Javier Acosta Infante (EIPI Villa Clara), Lei Peifen (SIG)
- Temas de la capacitación : Presentación de ejemplos reales de desarrollo y manejo de recursos de agua utilizando SIG, composición básica de SIG y datos fundamentales, función analítica de SIG, función de representación gráfica, etc.

f. Seminario sobre tecnología general de Prospección Geofísica en la Provincia de Pinar del Río

Se describe a continuación el resumen del seminario sobre prospección geofísica realizado entre el 12 y el 14 de septiembre de 2011 en la Provincia de Pinar del Río.

- Participantes : 9 técnicos de EIPH Pinar del Río , 2 técnicos de EAH Pinar del Río, 3 técnicos de DPRH Pinar del Río y 13 estudiantes de la Universidad de Pinar del Río (especialidad: Geología), con un total de 27 personas
- Conferencista : Arturo Lorenzo Ferrás (EIPI Matanzas, UEB Colón)
- Temas de la capacitación : Conocimiento básico, historia, principios y tipo de prospección geofísica, prospección geofísica e hidrogeología, prospección geofísica y calidad de agua, ejemplos de estudios, etc.

g. Seminario sobre tecnología general de SIG en la Provincia de Granma

Se describe a continuación el resumen del seminario sobre tecnología general realizado los días 14 y 15 de septiembre de 2011 en la Provincia de Granma.

- Participantes : 10 técnicos de EAH (Granma, Holguín y Santiago de Cuba) y 4 técnicos de DPRH Granma , con un total de 14 técnicos
- Conferencista : Juan José Almirall Beltrán (UEB Granma)
- Temas de la capacitación : Presentación de ejemplos reales de desarrollo y manejo de recursos de agua utilizando SIG, composición básica de SIG y datos fundamentales, función analítica de SIG, función de representación gráfica, etc.

h. Seminario sobre tecnología general de Modelo de Agua Subterránea en La Habana

Se describe a continuación el resumen del seminario sobre modelo de agua subterránea realizado el 26 de septiembre de 2011 en La Habana.

- Participantes : 8 técnicos de EIPH La Habana y 3 técnicos de ENPC, con un total de 11 técnicos
- Conferencista : Manuel A. Burgos Díaz (EIPi Villa Clara)
- Temas de la capacitación : Resumen e historia de modelo de agua subterránea, establecimiento de modelo de cuenca subterránea, etc.

7.4 Seminario sobre evaluación y manejo del agua subterránea

Actuando de conferencistas los ingenieros principales de GEIPI y los Expertos JICA, se realizaron seminarios sobre evaluación y manejo del agua subterránea dirigidos a técnicos generales de GEIPI, GEARH e INRH, según la siguiente tabla. En el 3^{er} año los Expertos JICA fueron los conferencistas en los seminarios, pero en el 4^o año fueron predominantes los seminarios dirigidos por los ingenieros principales de GEIPI.

Tabla 7-3: Listado de seminarios sobre evaluación y manejo del agua subterránea

| Fecha | Lugar | Temas de capacitación | Conferencista | Participantes |
|------------|-----------------------------|--|---------------|------------------------------------|
| 25/10/2010 | Provincia de Camagüey | Introducción al manejo de agua subterránea | Expertos JICA | 15 técnicos de EIPH • EARH y otros |
| 27/10/2010 | Provincia de Holguín | Introducción al manejo de agua subterránea | Expertos JICA | 7 técnicos de EIPH • EARH y otros |
| 28/10/2010 | Provincia de Las Tunas | Introducción al manejo de agua subterránea | Expertos JICA | 10 técnicos de EIPH • EARH y otros |
| 02/11/2010 | Provincia de Ciego de Ávila | Introducción al manejo de agua subterránea | Expertos JICA | 22 técnicos de EIPH • EARH y otros |

| | | | | |
|------------|-------------------------------|---|--|------------------------------------|
| | | | | otros |
| 03/11/2010 | Provincia de Villa Clara | Introducción al manejo de agua subterránea | Expertos JICA | 10 técnicos de EIPH · EARH y otros |
| 04/11/2010 | Provincia de Matanzas | Introducción al manejo de agua subterránea | Expertos JICA | 30 técnicos de EIPH · EARH y otros |
| 21/06/2011 | Provincia de Camagüey | Seminario sobre la evaluación y manejo del agua subterránea | Ingenieros principales y Expertos JICA | 34 técnicos de EIPH · EARH y otros |
| 16/09/2011 | Provincia de Granma | Nociones generales de la evaluación y manejo del agua subterránea | Ingenieros principales | 11 técnicos de EIPH · EARH y otros |
| 19/09/2011 | Provincia de Santiago de Cuba | Nociones generales de la evaluación y manejo del agua subterránea | Ingenieros principales | 17 técnicos de EIPH · EARH y otros |

a. Capacitación sobre el Desarrollo y Manejo del Agua Subterránea

En EIPH/EIPI de las Provincias de Camagüey (25/10/2010), Holguín (27/10), Las Tunas (28/10), Ciego de Ávila (02/11), Villa Clara (03/11) y Matanzas (04/11) se realizaron seminarios en forma de conferencia con la participación de los técnicos de las instituciones involucradas. El resumen de los seminarios es el siguiente.

- Participantes : Funcionarios de EIPH/EIPI, GEARH, Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente, etc., 15 técnicos de Camagüey , 7 de Holguín, 10 de Las Tunas, 22 de Ciego de Ávila, 10 de Villa Clara y 30 de Matanzas.
- Conferencista: Akira Kamata (Líder/Modelo de agua subterránea 1)
- Temas de la capacitación: Introducción al manejo de recursos de agua subterránea, conferencia sobre nociones generales del manejo de agua subterránea, estudio de casos prácticos

b. Seminario sobre el Desarrollo y Manejo del Agua Subterránea en la Provincia de Camagüey

El 21 de junio de 2011 se realizó en la Provincia de Camagüey un seminario sobre el Desarrollo y Manejo del Agua Subterránea, en base a presentaciones hechas por los ingenieros principales de GEIPI que habían recibido capacitaciones relacionadas con los Resultados 1 al 3. El resumen del seminario se indica a continuación.

- Participantes : 34 personas de la Parte Cubana y 12 personas de la Parte Japonesa (incluyendo el Equipo de Evaluación Final)
- El programa del seminario se presenta en la tabla siguiente. Durante las deliberaciones libres, los ingenieros de GEARH tuvieron una participación activa y discutieron sobre varios temas, incluyendo la forma de la futura colaboración entre GEIPI y GEARH.

Tabla 7-4: Programa del seminario sobre Desarrollo y Manejo del Agua Subterránea en la Provincia de Camagüey

| Hora | Tema | Expositor |
|---------------|---|--|
| 09:00 - 09:10 | Palabras de Apertura | Ing. Armando Millet Montejo, Director Adjunto EIPH Camagüey |
| 09:10 - 09:30 | Antecedentes del Proyecto | Ing. Arturo González Báez, Especialista Superior GEIPI |
| 09:30 - 10:00 | Presentación Principal | Ing. KIHARA Shigeki (Líder de Expertos JICA) |
| 10:00 - 10:40 | Descanso | |
| 10:40 - 11:10 | Desarrollo y Manejo del Agua Subterránea en Holguín: Utilización Prevista de Modelo de Agua Subterránea en Holguín | M.Sc. Ing. Jorge Luis Blanco Blázquez, EIPH Holguín |
| 11:10 - 11:40 | Desarrollo y Manejo del Agua Subterránea en Ciego de Ávila: Utilización Prevista de Modelo de Agua Subterránea en Ciego de Ávila | M.Sc. Ing. Luis Fidel Miranda, EIPH Ciego de Ávila |
| 11:40 - 12:20 | Desarrollo y Manejo del Agua Subterránea en Villa Clara: Aplicación Actual y Utilización Prevista del Sistema de Información Geográfica en Villa Clara | M.Sc. Ing. Javier Acosta Infante, EIPH Villa Clara |
| 12:20 - 13:30 | Almuerzo | |
| 13:30 - 14:00 | Desarrollo y Manejo del Agua Subterránea en Las Tunas: Aplicación Actual y Utilización Prevista del Sistema de Información Geográfica en Las Tunas | Ing. Marcell Martínez Contreras, EIPH Holguín-Las Tunas |
| 14:00 - 15:30 | Desarrollo y Manejo del Agua Subterránea en el Área de Sola: Estudio Geofísico, Estructura Geológica Estimada y Modelo de Agua Subterránea del Área de Sola | M.Sc. Ing. Adán Echemendía Martínez, Ing. Rebeca Fernández, Lic. Carlos Luke Zayas Bazán EIPH Camagüey |
| 15:30 - 16:00 | Estudio de Caso del Desarrollo y Manejo del Agua Subterránea en el Japón | Dr. SHIBASAKI Naoaki (Modelo de Agua Subterránea 2) |
| 16:00 - 16:30 | Descanso | |
| 16:30 - 17:00 | Deliberaciones | Ing. Arturo González Báez, Especialista Superior GEIPI |
| 17:00 - 17:15 | Conclusiones y Palabras de Clausura | M.Sc. Ing. José Luis Blanco García, Director Técnico GEIPI |

c. Seminario sobre evaluación y manejo del agua subterránea en la Provincia de Granma

El resumen del seminario sobre evaluación y manejo del agua subterránea en la Provincia de Granma realizado el 16 de septiembre de 2011 es el siguiente.

- Participantes : 4 técnicos de EIPH (UEB Granma), 4 técnicos de EAH (Granma, Holguín y Las Tunas) y 3 técnicos de DPRH Granma, con un total de 11 participantes.
- Conferencistas : Jorge Luis Blanco Blázquez y Rodolfo Bordón (Ambos de EIPH Holguín)
- Temas de la capacitación : Resumen de la Evaluación y Manejo del Agua Subterránea; uso del modelo de agua subterránea y de la prospección geofísica en la evaluación y manejo del agua subterránea

d. Seminario sobre evaluación y manejo del agua subterránea en la Provincia de Santiago de Cuba

El resumen del seminario sobre evaluación y manejo del agua subterránea en la Provincia de Santiago de Cuba, realizado el 19 de septiembre de 2011 es el siguiente.

- Participantes : 6 técnicos de EIPH (Santiago de Cuba, UEB Guantánamo, otros), 5 técnicos de GEARH (Santiago de Cuba y Guantánamo,), 2 técnicos de EAAL Guantánamo y 4 técnicos de DPRH Santiago de Cuba, con un total de 17 participantes.
- Conferencistas : Jorge Luis Blanco Blázquez y Rodolfo Bordón (Ambos de EIPH Holguín)
- Temas de la capacitación : Resumen de la tecnología de SIG para la evaluación y manejo del agua subterránea; uso del modelo de agua subterránea y prospección geofísica en la evaluación y manejo del agua subterránea

7.5 Presentación de los Resultados del Proyecto/ Seminario sobre el Desarrollo y Manejo del Agua Subterránea, en La Habana

Se realizó en La Habana los días 14 y 15 de diciembre de 2011 la presentación de los resultados 1 al 3 del proyecto por parte de los ingenieros principales de GEIPI que recibieron las capacitaciones correspondientes, durante un Seminario sobre el Desarrollo y Manejo del Agua Subterránea. El resumen del seminario es el siguiente.

- Participantes: Parte Cubana 72 personas (GEIPI: 35, GEARH: 29, INRH: 4, otras instituciones: 4) y Parte Japonesa 9 personas
- El programa del seminario se presenta a continuación. La apertura del seminario fue transmitida por CUBAVISION, y se recibieron entrevistas de revistas y agencias noticiosas.

Tabla 7-5: Programa del Seminario sobre el Desarrollo y Manejo del Agua Subterránea y Presentación de los Resultados del Proyecto

| Hora | Tema/Ponencia | Autor/Expositor |
|---|---|---|
| Diciembre 14 | | |
| 09:00 - 09:10 | Palabras de apertura y bienvenida | Director Técnico: Jose Luis Blanco García |
| 09:10 - 09:25 | Palabras de JICA | Representantes de JICA |
| 09:25 - 09:40 | Introducción al proyecto | Líder del Proyecto: Shigeki Kihara |
| 09:40 - 10:10 | Coffee Break | |
| Bloque I : Hidrogeología, Geofísica y Actividades Auxiliares | | |
| 10:10 - 10:25 | Informe de actividades de los Expertos JICA | Masatoshi Tanaka, Takuya Yabuta |
| 10:25 - 11:00 | Resultado de los estudios hidrogeológicos en el Distrito Sola | Adán Echemendía Martínez |
| 11:00 - 11:30 | Aplicación de novedosas tecnología de Geofísica de Superficie y Pozos en el Distrito Sola | Arturo Lorenzo Ferras, Rebeca Fernández, Rodolfo Bordón |
| 11:30 - 11:50 | Discusión abierta sobre Bloque I (Preguntas y Respuestas) | Moderador: Adán Echemendía Martínez |

| Bloque II : Modelación Matemática de Agua Subterránea | | |
|--|---|--|
| 11:50 - 12:05 | Informe de actividades del Experto JICA | Líder del Proyecto: Shigeki Kihara |
| 12:05 - 12:30 | Fundamentos de la modelación matemática de acuíferos | Luis Fidel Miranda Castañeda, Manuel A. Burgos García |
| 12:30 - 13:15 | Propuesta de aplicación de la modelación matemática a una investigación hidrogeológica: ejemplo de Manzanillo | Jorge Luis Blanco Blázquez, Juan Jose Almiral Beltrán |
| 13:15 - 13:45 | Discusión abierta sobre Bloque II (Preguntas y Respuestas) | Moderador: Arturo Lorenzo Ferras |
| 13:45 - 15:00 | Almuerzo | |
| Bloque III : SIG | | |
| 15:00 - 15:15 | Informe de actividades del Experto JICA | Lei Peifen |
| 15:15 - 15:45 | Introducción al Sistema de Información Geográfica | Javier Acosta Infante |
| 15:45 - 16:30 | Aplicación de los Sistemas de Información Geográfica en las 3 Provincias | Marcel Martínez Carménate, Carlos Luque Zayas Bazán, Jorge Luis Blanco |
| 16:30 - 16:45 | Coffee Break | |
| 16:45 - 17:15 | Discusión abierta sobre Bloque III (Preguntas y Respuestas) | Moderador: Javier Acosta Infante |
| Diciembre 15 | | |
| Bloque IV : Manejo del Agua Subterránea | | |
| 09:00 - 09:30 | Manejo del agua subterránea | Líder del Proyecto: Shigeki Kihara |
| 09:30 - 10:30 | Manejo del agua subterránea en Cuba apoyado por la experiencia japonesa: el caso de Sola | Adán Echemendía Martínez, y Especialistas de EIPH Camagüey, |
| 10:30 - 10:45 | Coffee Break | |
| 10:45 - 11:45 | Manejo del agua subterránea en Cuba apoyado por la experiencia japonesa: el caso de Manzanillo | Claudio Pérez, y Especialistas EIPH Holguín - Granma |
| 11:45 - 13:15 | Discusión abierta sobre Bloque IV (Preguntas y Respuestas) | Directivos y Especialistas de GEARH: Fermín Sarduy e Ibrahim Plaza |
| 13:15 - 13:30 | Palabras de clausura | Director General de GEPI: Wilfredo Leyva Armesto |
| 13:45 - 15:00 | Almuerzo | |

7.6 Seminario de difusión general

El 22 de septiembre de 2011, en la Universidad de Camagüey se realizó un seminario de difusión general, conjuntamente con la Universidad bajo la coordinación de CITA.

Hicieron presentaciones los ingenieros de EIPH Camagüey: Adán Echemendía Martínez (Modelo de agua subterránea), Rebeca Fernández (Prospección geofísica) Carlos Luke Zayas Bazán (SIG), y Alien Pérez Santos de CITA. Se presentaron los resultados del estudio en el sitio modelo (distrito Sola), y tuvo lugar una activa discusión e intercambio de opiniones entre un total de 20 participantes, consistentes en docentes y estudiantes universitarios.

Anexos

1. Resumen de los resultados del Proyecto

1.1 Resumen de la prospección geofísica

1 Resumen de la prospección física

1.1 Antecedentes del Proyecto

En el distrito Sola de la Provincia de Camagüey, localidad modelo del presente proyecto, bajo el asesoramiento de expertos japoneses, el equipo de personal de la contraparte cubana compuesto de técnicos de EIPH Camagüey especializados en la prospección física realizó prospecciones físicas (prospección eléctrica: prospección de resistividad bidimensional y prospección electromagnética: prospección TDEM). Fig.1-1 muestra los sitios estudiados.

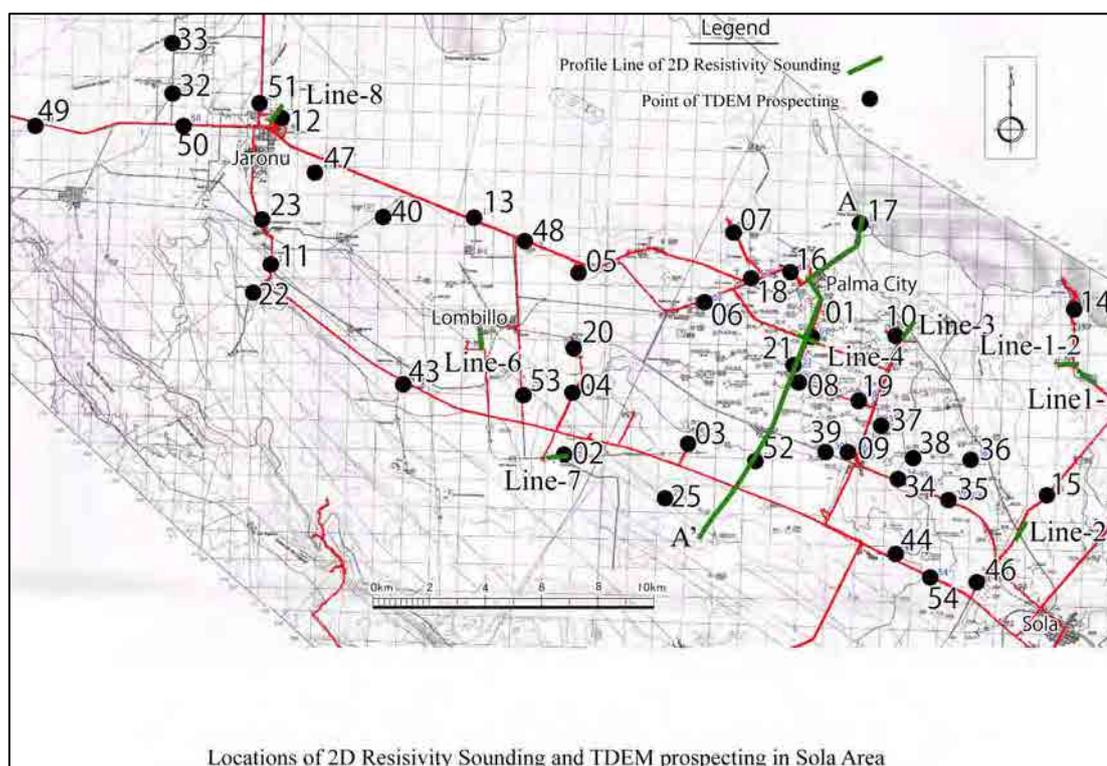


Figura 1-1: Ubicación de sitios del estudio de prospección física

1.2 Características de métodos de prospección identificadas en el distrito Sola

Respecto a la prospección eléctrica (prospección de resistividad bidimensional) y la prospección electromagnética (prospección TDEM) realizadas en el distrito Sola, las características de cada método se indican a continuación.

a. Prospección de resistividad bidimensional

La prospección de resistividad bidimensional dispone de varias formas de colocación de electrodos y se puede escoger la más adecuada conforme a los objetivos, uso y entorno del estudio.

Al tener el presente proyecto como objeto de la prospección una capa acuífera relativamente profunda, se consideró adecuado el método Pole-Pole que permite obtener una mayor profundidad de prospección dentro de los métodos de prospección bidimensional. Además, las entrevistas realizadas al inicio del proyecto revelaron que los técnicos de la parte cubana tienen poca experiencia en la práctica del método Pole-Pole, por lo que la transferencia de

tecnología a la parte cubana se centró en el entrenamiento en dicho método.

- En una prospección eléctrica que requiere el uso de electrodos, cuando la resistencia de la puesta a tierra entre el electrodo y el suelo es alta, dificulta el flujo de la corriente eléctrica y puede perturbar la medición. Sin embargo, en el distrito Sola, localidad objeto, la superficie del suelo está cubierta mayormente por tierra arcillosa con baja resistividad, y por ser relativamente pequeña la resistencia de la puesta a tierra, no surgieron problemas.
- Todo depende del entorno de la medición, longitud de las líneas de medición que se puedan instalar y capacidad de los equipos a utilizar, pero en la práctica, para una prospección de resistividad bidimensional, se puede decir que una profundidad máxima de unos 400m entra dentro de lo viable. En comparación con prospecciones electromagnéticas cuya profundidad puede sobrepasar los 1000m, es un método adecuado a una profundidad relativamente somera.
- Permite comprender la estructura bidimensional del subsuelo. Es apto para la prospección de zonas con fallas geológicas y con estructuras geológicas complejas.

b. Prospección TDEM (Time Domain Electromagnetic prospecting: Prospección electromagnética espaciotemporal)

- La profundidad de la prospección es mayor que la de la prospección eléctrica. Es apta para una prospección cuyo objeto es una capa acuífera profunda como en el presente proyecto.
- Puesto que no es necesario colocar electrodos, en comparación con una prospección eléctrica, en caso de realizar una prospección a una misma profundidad, se puede hacer la medición en menor tiempo.
- Una prospección de resistividad bidimensional depende de la topografía del punto de medición, que puede causar distorsión en los valores medidos, por tanto, en caso de una topografía muy accidentada o con declive abrupto, es necesario realizar un levantamiento topográfico y una corrección topográfica par cada análisis. Una prospección electromagnética no se ve afectada por las condiciones topográficas y no requiere correcciones topográficas.
- En zonas que presentan alta resistividad, el decaimiento de la onda electromagnética es muy notable. Por lo tanto, en caso de hallar estratos consecutivos con alta resistividad desde la superficie del suelo, tanto la intensidad de la señal de los datos medidos como también la precisión de la medición tienden a disminuir.
- En el distrito Sola es notoria la presencia de rocas calcáreas con resistividad relativamente alta, y sobre todo, en aquellas zonas donde afloran rocas calcáreas, en comparación con otras zonas donde domina la presencia de tierra arcillosa cerca de la superficie del suelo, se observó una tendencia a presentar datos menos estables.
- Puesto que es una prospección vertical monodimensional, no es posible lograr una medición correcta en una estructura muy variable en forma bidimensional.
- Por ejemplo, no permite tener idea bidimensional de la ubicación y magnitud de fallas. No obstante, en la zona objeto del proyecto, que es una zona básicamente plana fuera de raras excepciones, no se presentan grandes problemas.

2 Resumen de los resultados del análisis de principal línea de medición (Línea de medición A—A')

a. Ubicación de la línea de medición

De la prospección de resistividad bidimensional y la prospección TDEM realizadas en el distrito Sola, se presenta a continuación el resumen de los resultados del análisis de las prospecciones en la principal línea de medición A-A'.

Figura 2-1 indica la ubicación de los puntos de prospección. La línea de medición A-A' en que se realizó la prospección de resistividad bidimensional, atraviesa casi el centro del distrito modelo en dirección SSW - NNE. El sitio de sondeo (JICA_01) donde se efectuó la prospección TDEM se encuentra sobre esta línea de medición A-A'.

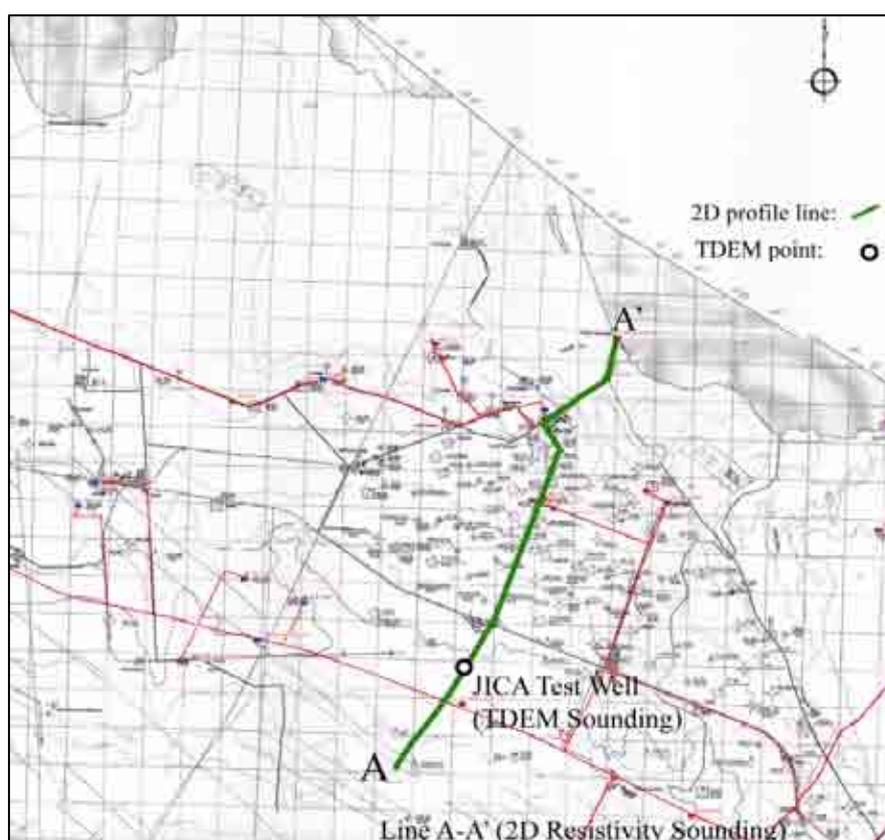


Figura 2-1: Ubicación de puntos de prospección

b. Resultados del análisis

b.1 Resultados de la prospección de resistividad bidimensional

Figuras 2-2 a 2-4 presentan los resultados de la prospección de resistividad bidimensional realizada en la línea de medición A-A'. Según los resultados del análisis de la prospección, la sección debajo de la línea de medición A-A' está formada de un estrato de sedimentos (valor de la resistividad: menos de $100\Omega\text{-m}$) compuestos principalmente de capa de arcilla desde la superficie del suelo hasta a una profundidad de decenas de metros y subyace un estrato de roca calcárea (de $100\sim 200\Omega\text{-m}$ aprox.). A partir de una profundidad de 200m, se

encuentra un área con $10\Omega\text{-m}$ de resistividad. Dicha área se vuelve más marcada sobre todo a medida que se acerca a la costa, por lo que se puede suponer alta posibilidad de la penetración de agua del mar.

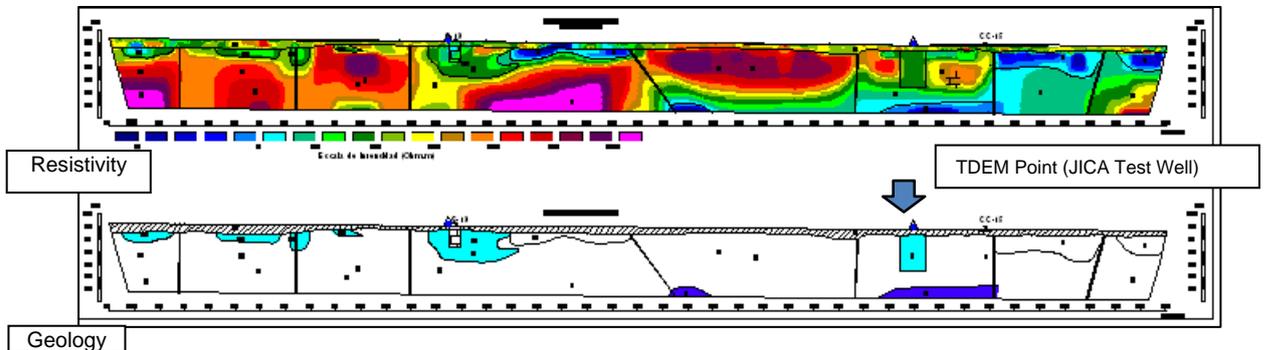


Figura 2-2: Resultados de la prospección de resistividad bidimensional sobre la línea de medición A-A' (1/3)

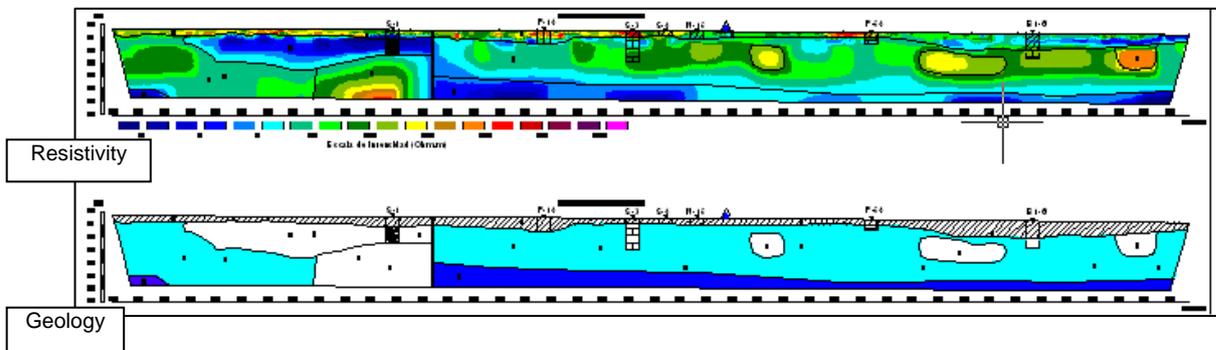


Figura 2-3: Resultados de la prospección de resistividad bidimensional sobre la línea de medición A-A' (2/3)

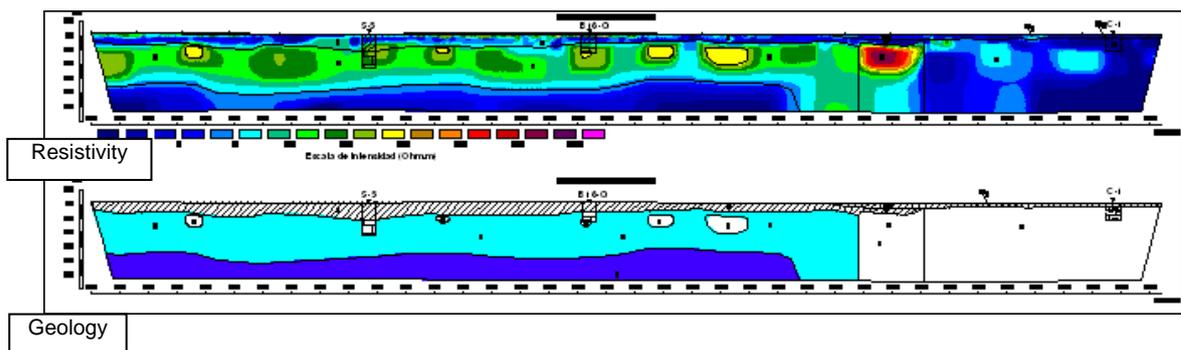


Figura 2-4: Resultados de la prospección de resistividad bidimensional sobre la línea de medición A-A' (3/3)

b.2 Resultados de la prospección TDEM

Figura 2-5 presenta los resultados de la prospección TDEM realizada cerca del punto de sondeo de JICA sobre la línea de medición A-A' y los resultados de su análisis. De estos resultados se determina la presencia de un estrato arcilloso desde la superficie del suelo hasta

una profundidad de unos 50m, sobre un estrato de roca calcárea, y a partir de una profundidad mayor de 200m se observa un área con $10\Omega\text{-m}$ aprox. de resistividad, posiblemente afectada por la penetración de agua salina, y esto coincide con los resultados de la prospección de resistividad bidimensional arriba mencionados.

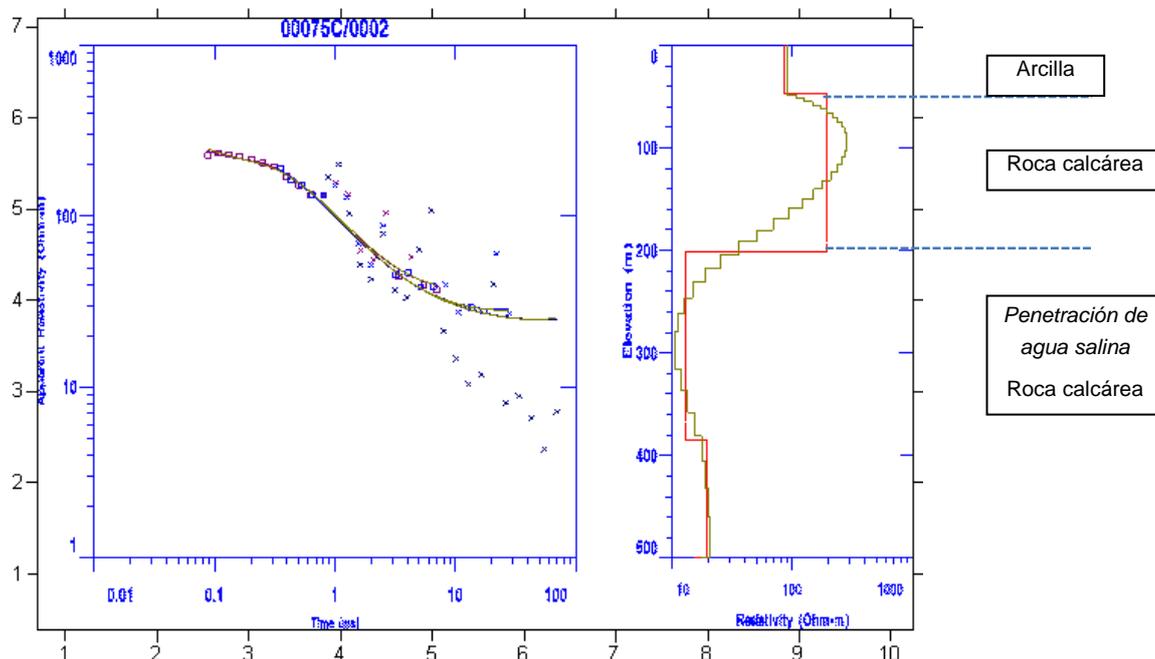


Figura 2-5: Resultados de la prospección TDEM (Pozo piloto de JICA)

3 Resultados del análisis de otras líneas principales de medición

3.1 Resultados de la prospección de resistividad bidimensional

La presente cláusula presenta los planos de los resultados del análisis de las siguientes 4 líneas principales de medición, excepto línea A-A´ descrita en el capítulo anterior.

- Línea de medición V-V´ y Zonas 3 y 88
- Línea de medición VII-VII´ y Zona 2
- Línea de medición XI-XI´
- Línea de medición XII-XII´

Los signos de (2) a (5), indicados en los planos seccionales, se presentan en Tabla 3-1.

Tabla 3-1: Valores de resistividad y geología presunta

| Valor de resistividad (Ω -m) | Presunto estado geológico | Signo en los planos seccionales |
|--------------------------------------|---|---------------------------------|
| < 50 | Arcilla, limo, penetración de agua salina, estrato Nuevitas | (3) |
| > -5 | Arcilla y arcilla ferrífera (Contiene Laterita y hierro en forma de pellet) | |
| 50 – 200 | Roca calcárea que constituye la capa acuífera | (2) |
| 200 - 400 | Roca calcárea que no contiene agua | (4) |
| > 400 | Roca calcárea porosa, cueva de Roca calcárea (gruta de estalactitas) | (5) |

Los signos : vir, nv, em y re representan los siguientes estratos.

- vir : Estrato Villarroja de origen cuaternario, constituido de arcilla (arenosa - barrosa y arenisca (arcillosa - arenosa de cuarzo - sustancias granulares).
- nv : Estrato Nuevitas de origen eoceno - oligoceno, constituido de marga (calcárea - detrítica - masiva).
- em : Estrato El Embarcadero de origen eoceno, constituido de conglomerado calcáreo (roca calcárea y dolomita) y aglomerado volcánico.
- re : Formación Remedios de origen mesozoico, constituido de dolomía, roca calcárea, conglomerado calcáreo, etc.

3.1.1 Línea de medición V-V'



Figura 3-1: Ubicación de Línea de medición V-V' y Zonas 3 y 8

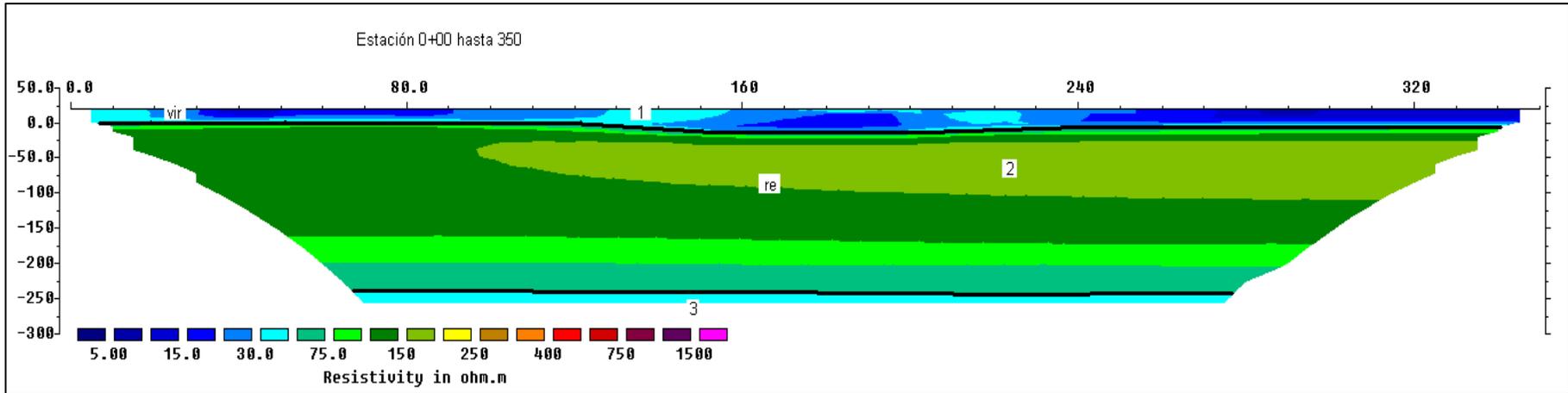


Figura 3-2: Análisis de Línea de medición V-V' (1/11)

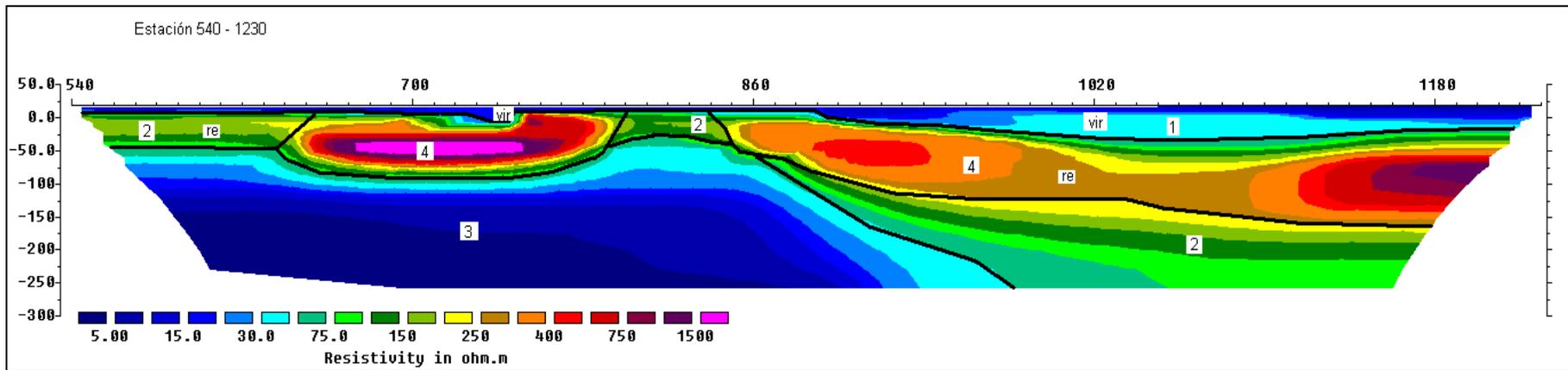


Figura 3-3: Análisis de Línea de medición V-V' (2/11)

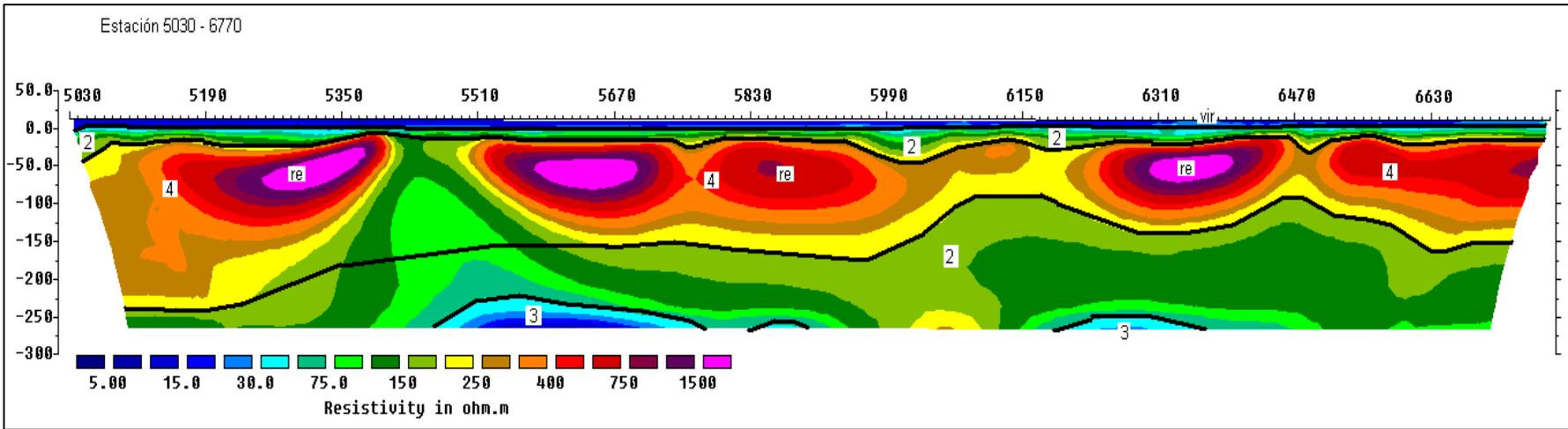


Figura 3-4: Análisis de Línea de medición V-V' (3/11)

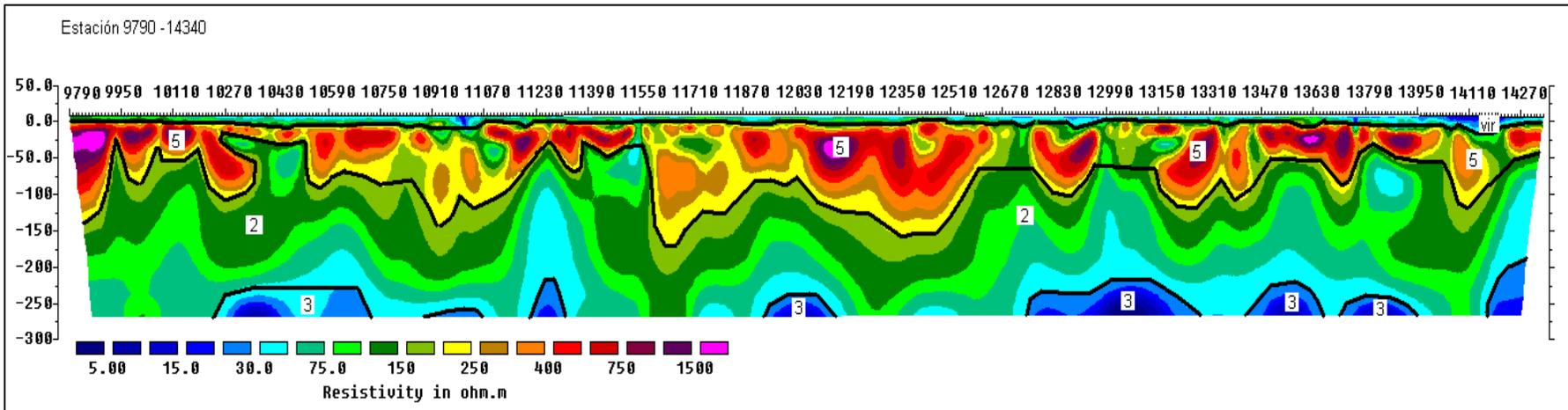


Figura 3-5: Análisis de Línea de medición V-V' (4/11)

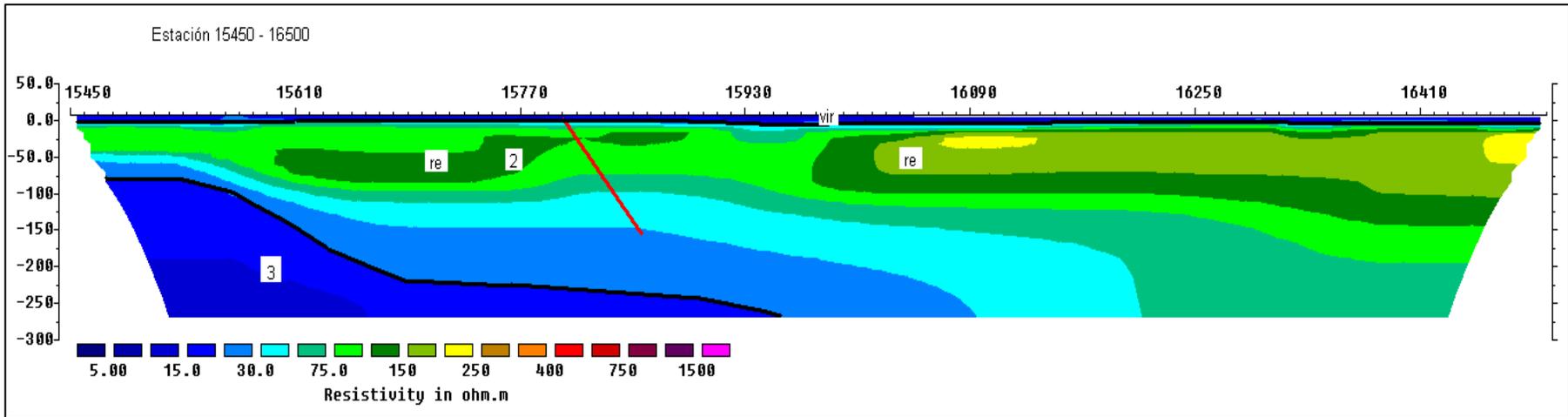


Figura 3-6: Análisis de Línea de medición V-V' (5/11)

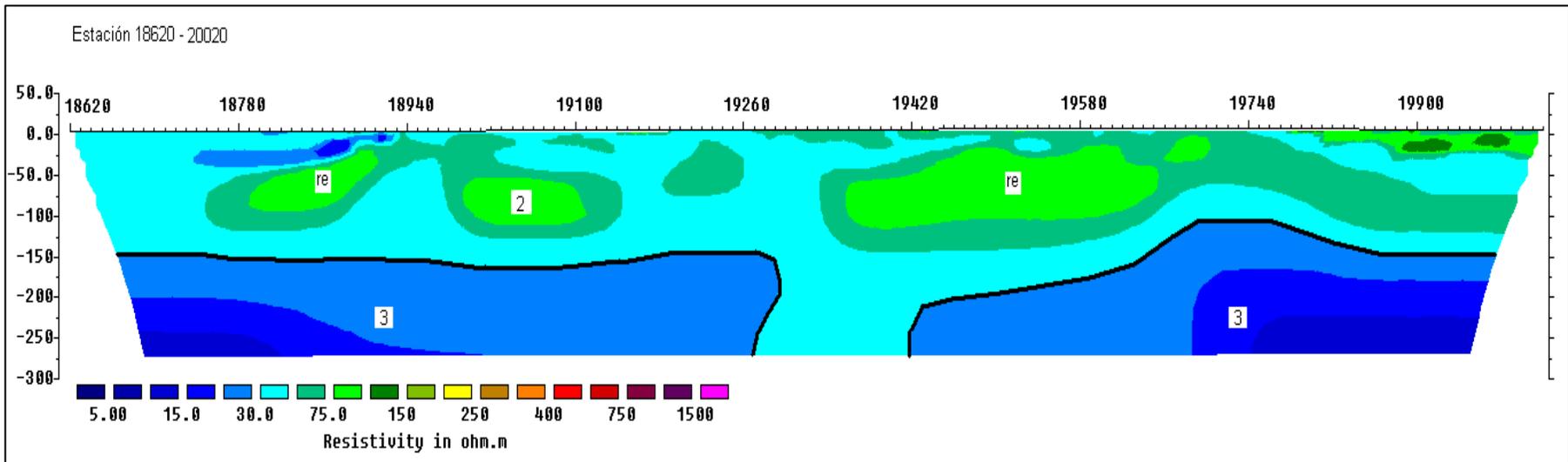


Figura 3-7: Análisis de Línea de medición V-V' (6/11)

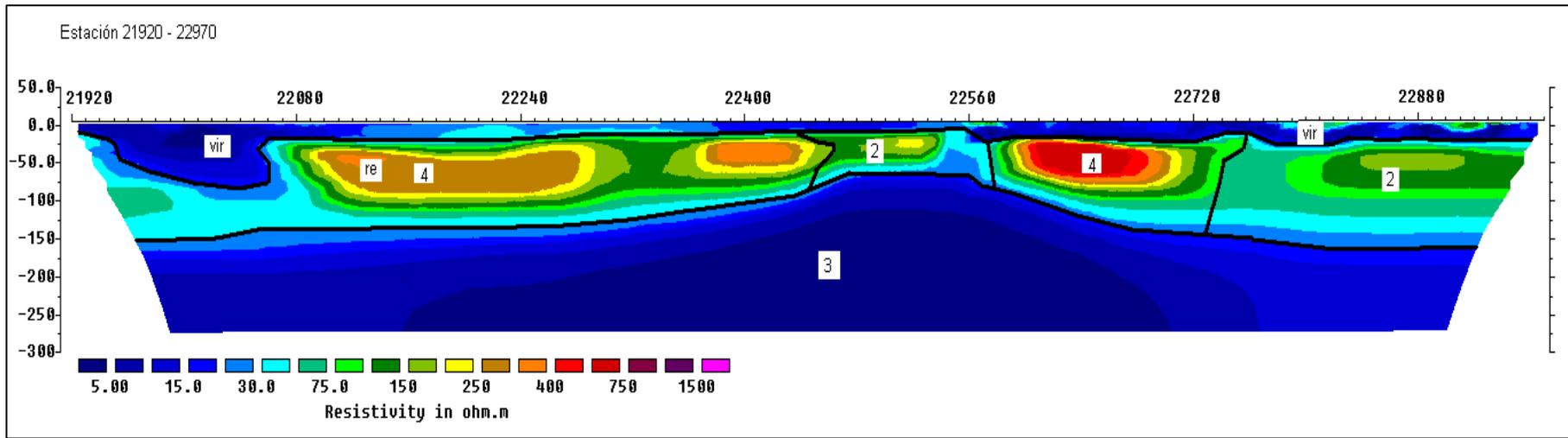


Figura 3-8: Análisis de Línea de medición V-V' (7/11)

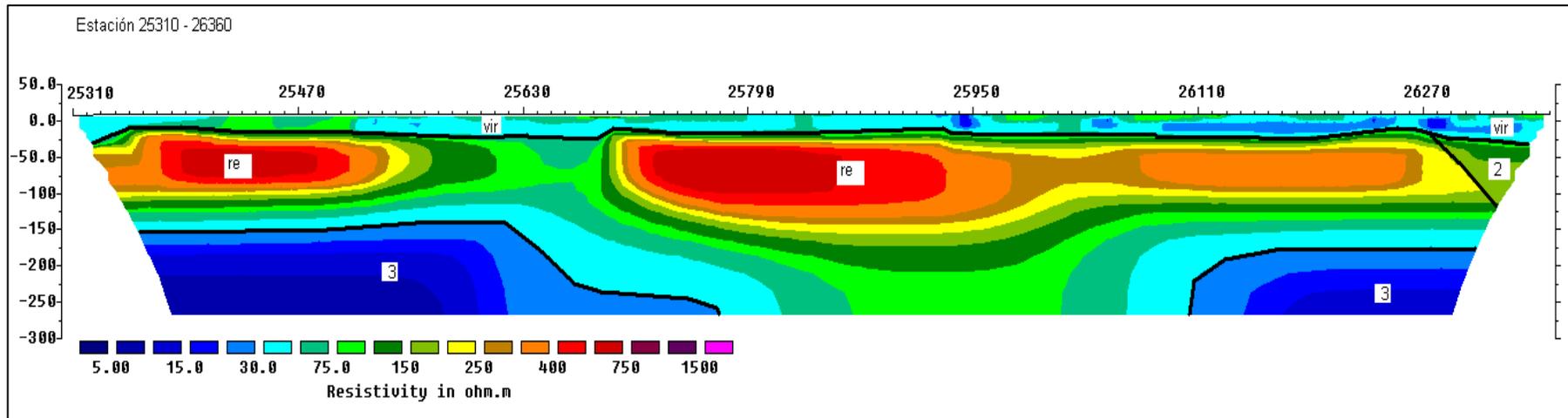


Figura 3-9: Análisis de Línea de medición V-V' (8/11)

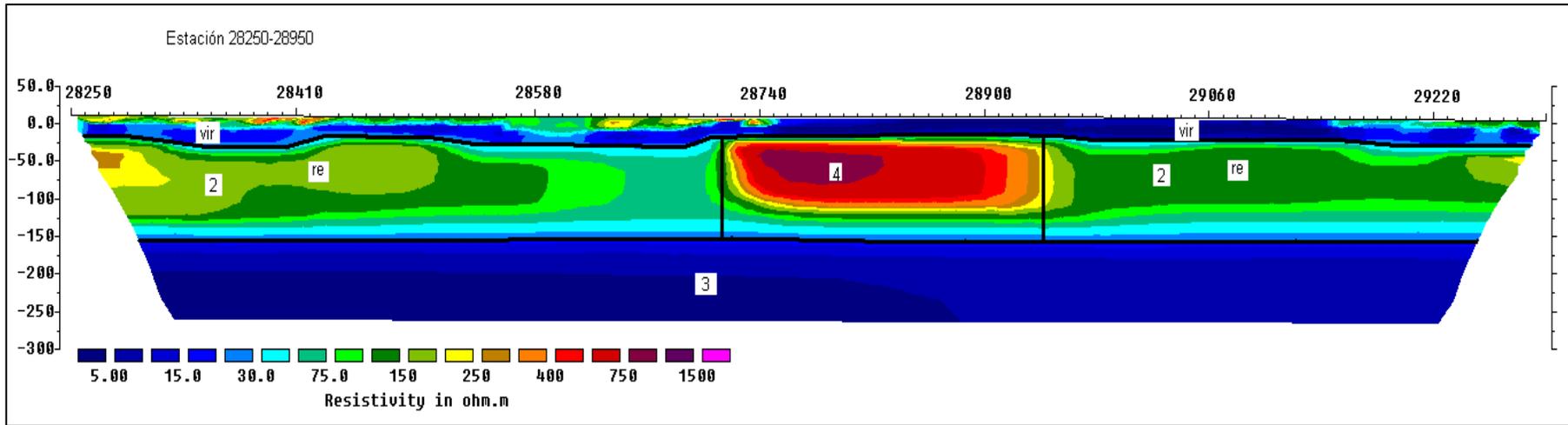


Figura 3-10: Análisis de Línea de medición V-V' (9/11)

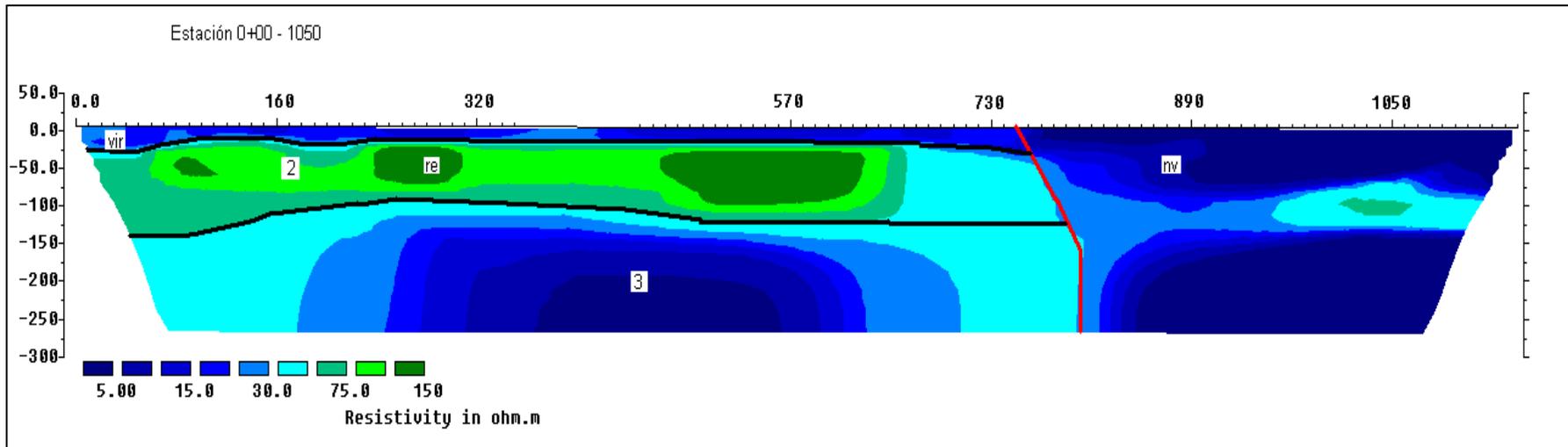


Figura 3-11: Análisis de Zona 3

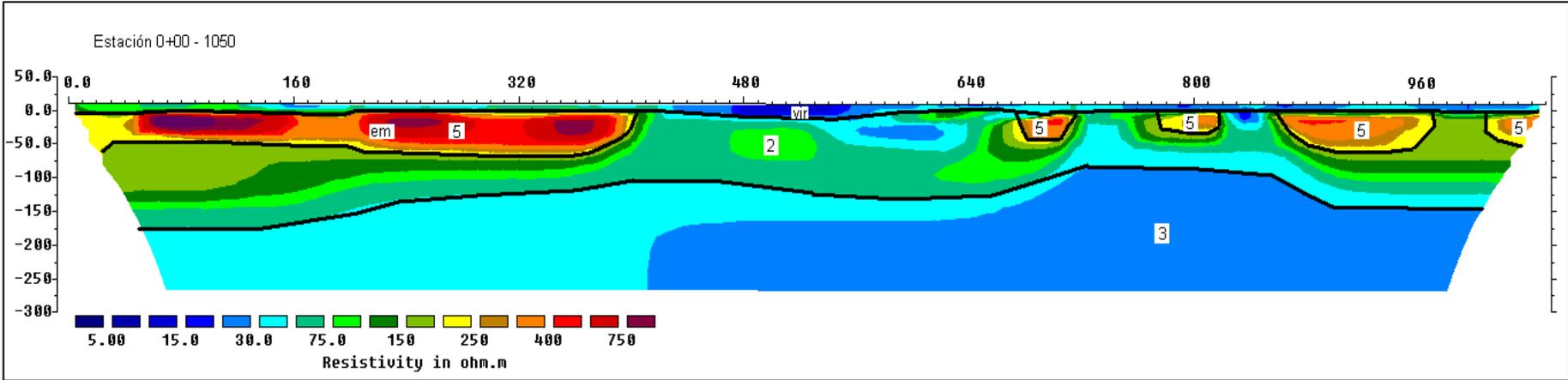


Figura 3-12: Análisis de Zona 8

3.1.2 Línea de medición VIII-VIII'

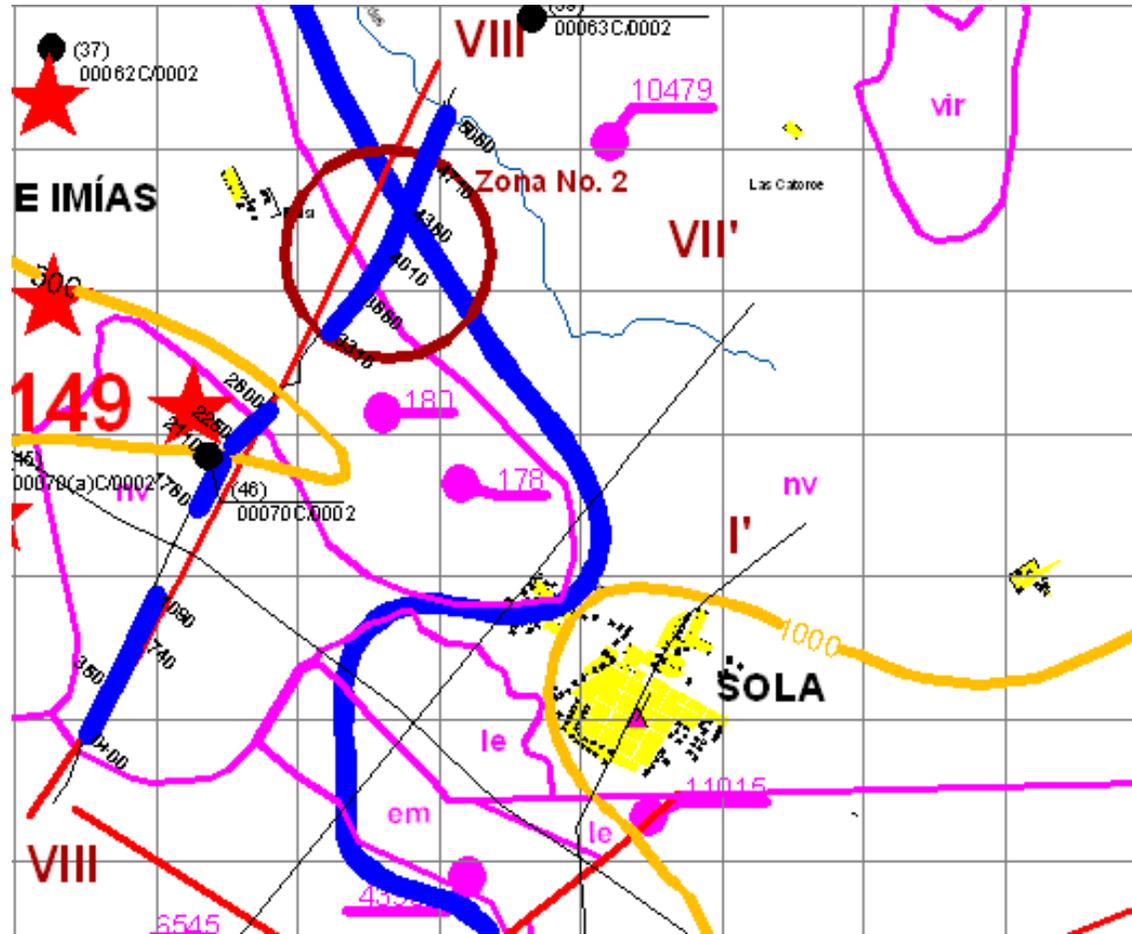


Figura 3-13: Ubicación de Línea de medición VIII-VIII'

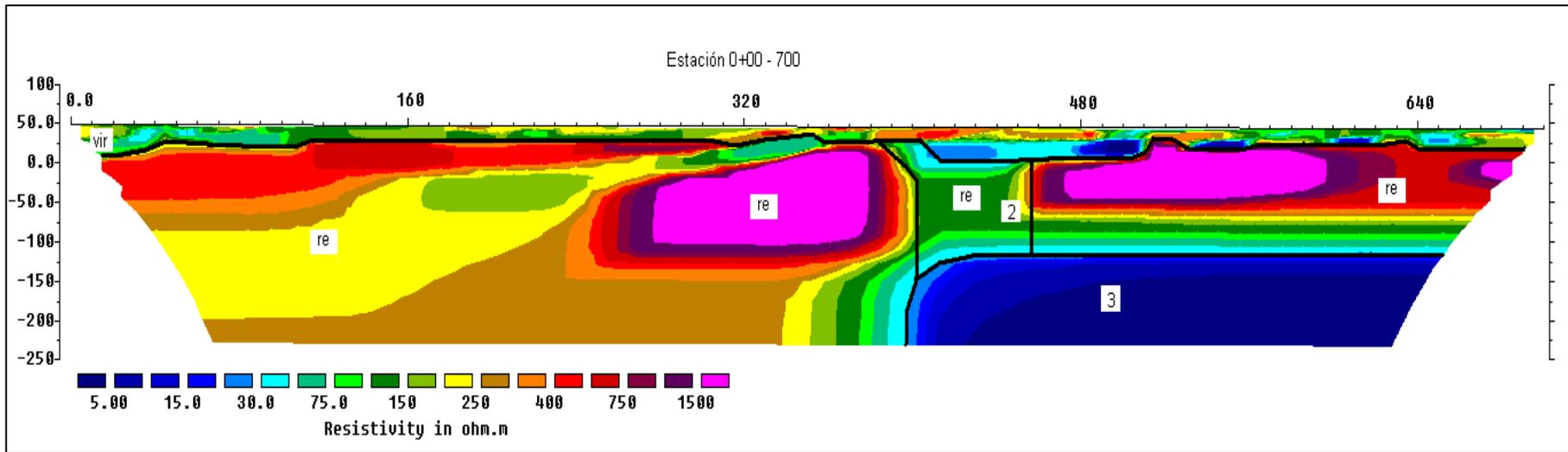


Figura 3-14: Análisis de Línea de medición VIII-VIII' (1/4)

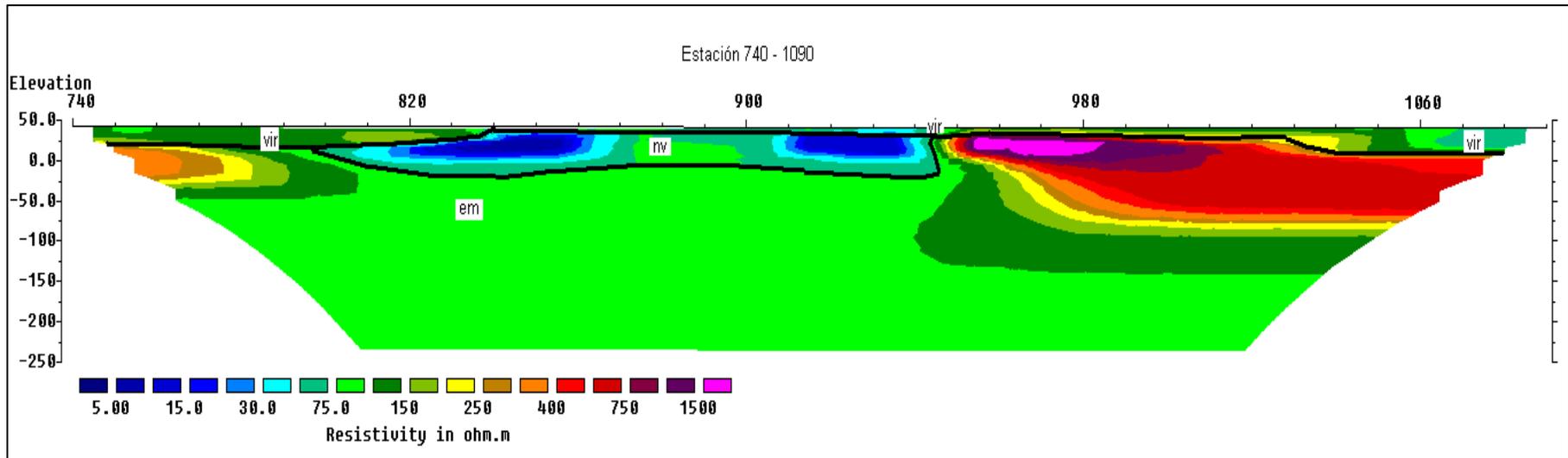


Figura 3-15: Análisis de Línea de medición VIII-VIII' (2/4)

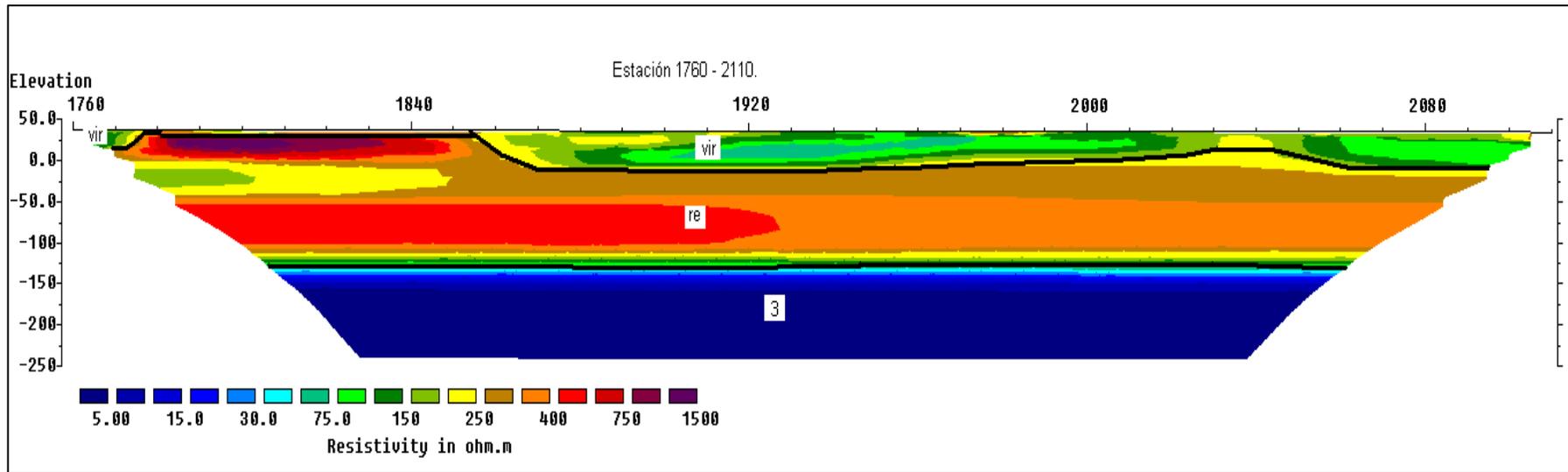


Figura 3-16: Análisis de Línea de medición VIII-VIII' (3/4)

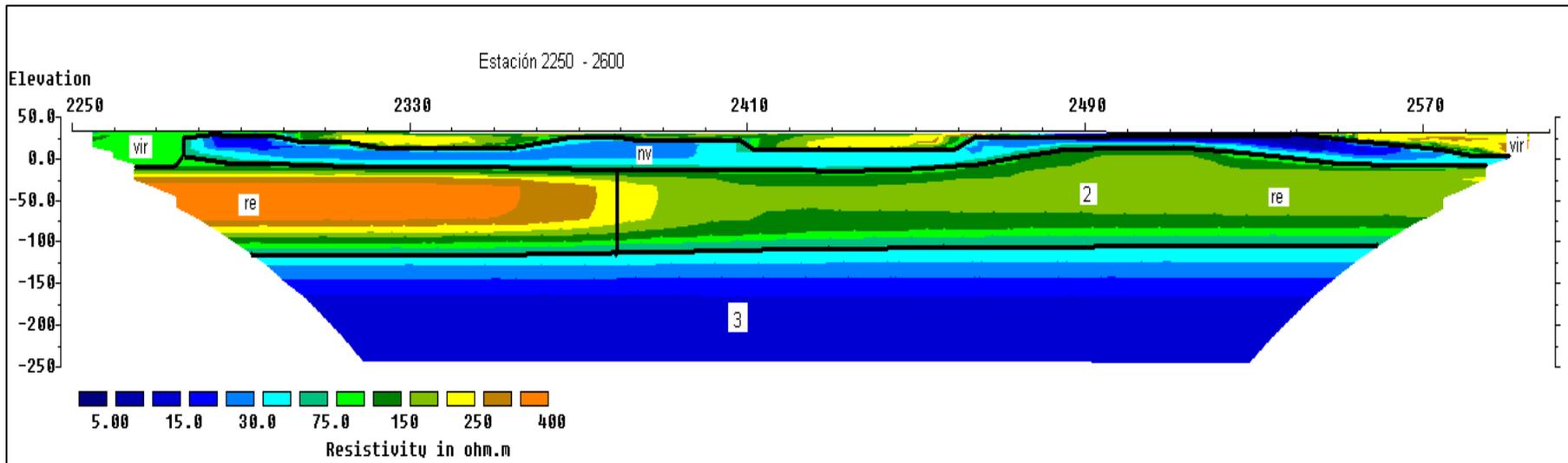


Figura 3-17: Análisis de Línea de medición VIII-VIII' (4/4)

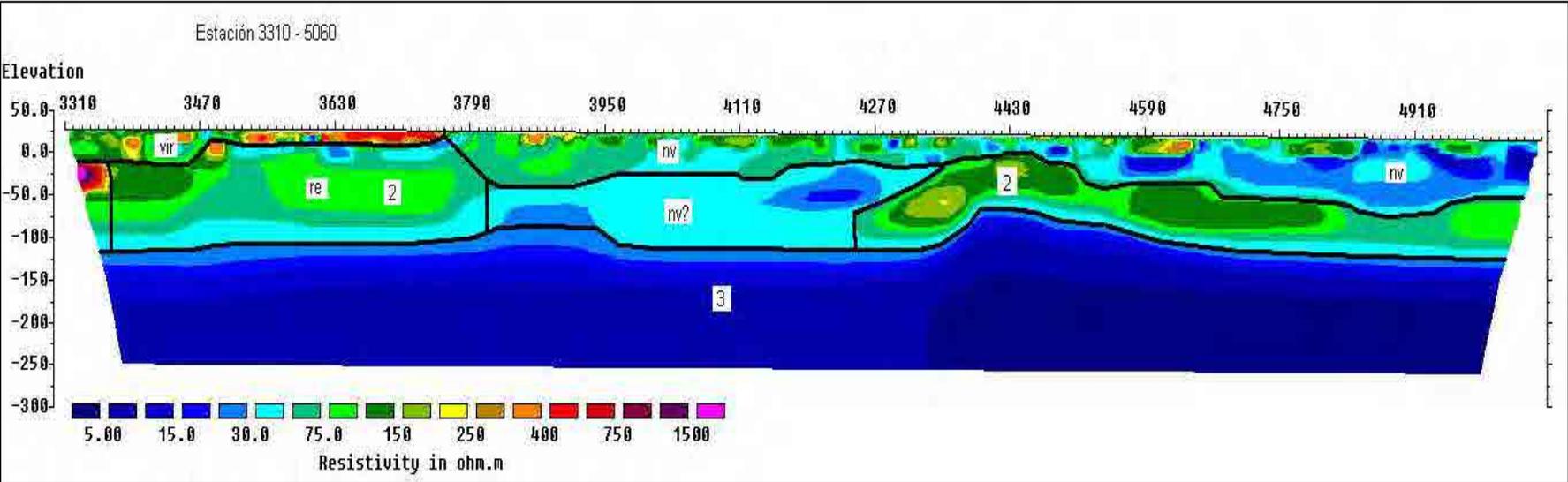


Figura 3-18: Análisis de Zona 2

3.1.3 Línea de medición XI-XI'

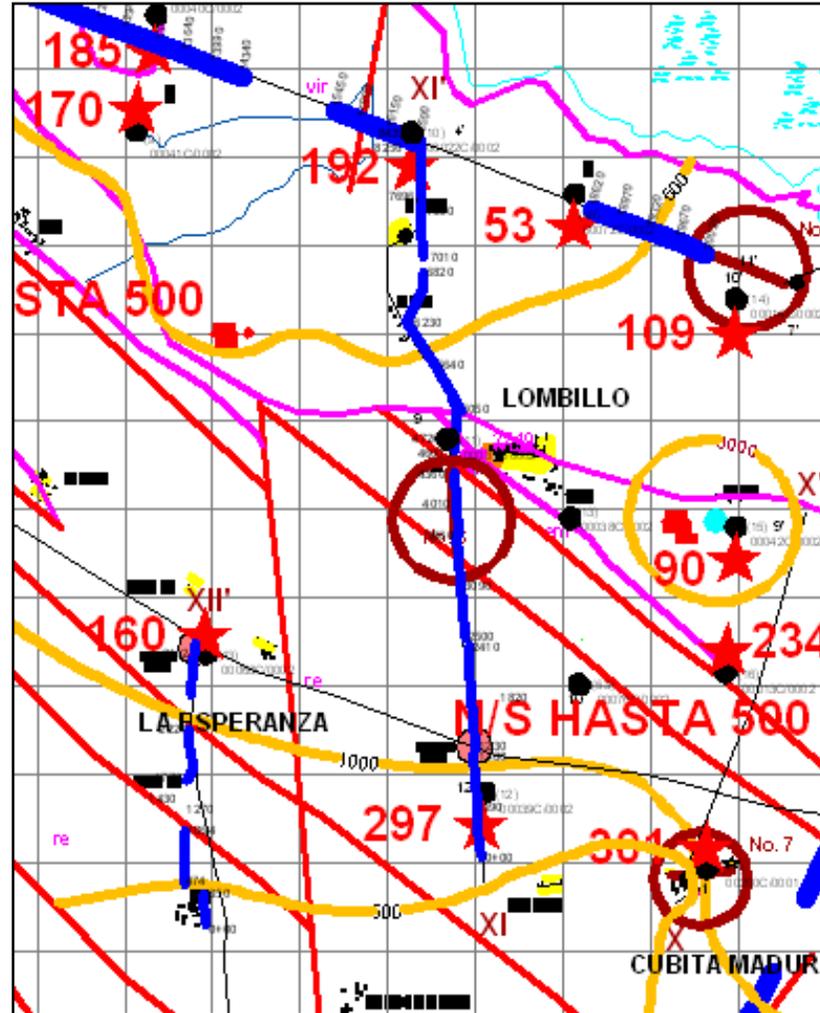


Figura 3-19: Ubicación de Línea de medición XI-XI'

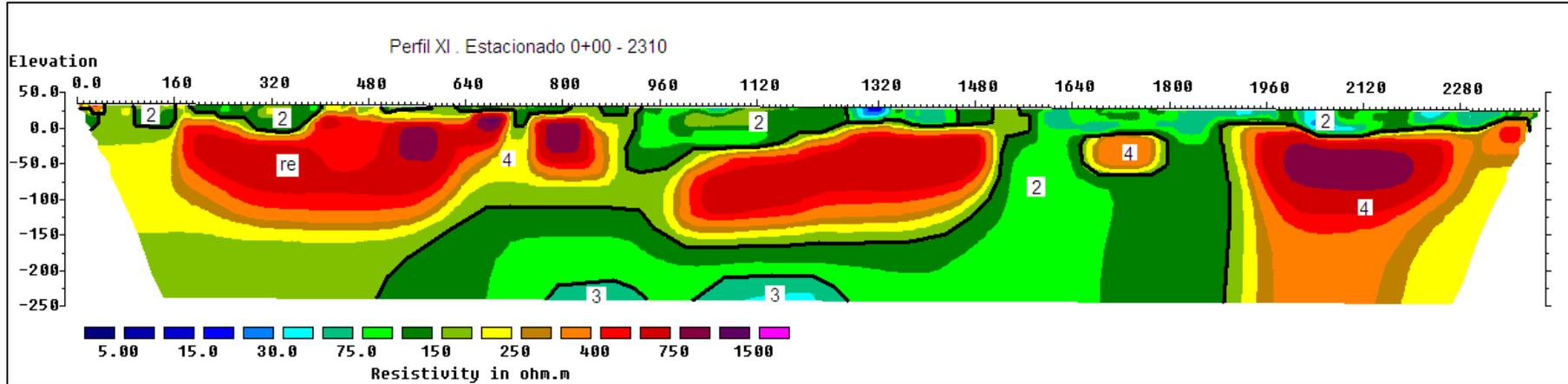


Figura 3-20: Análisis de Línea de medición XI-XI' (1/4)

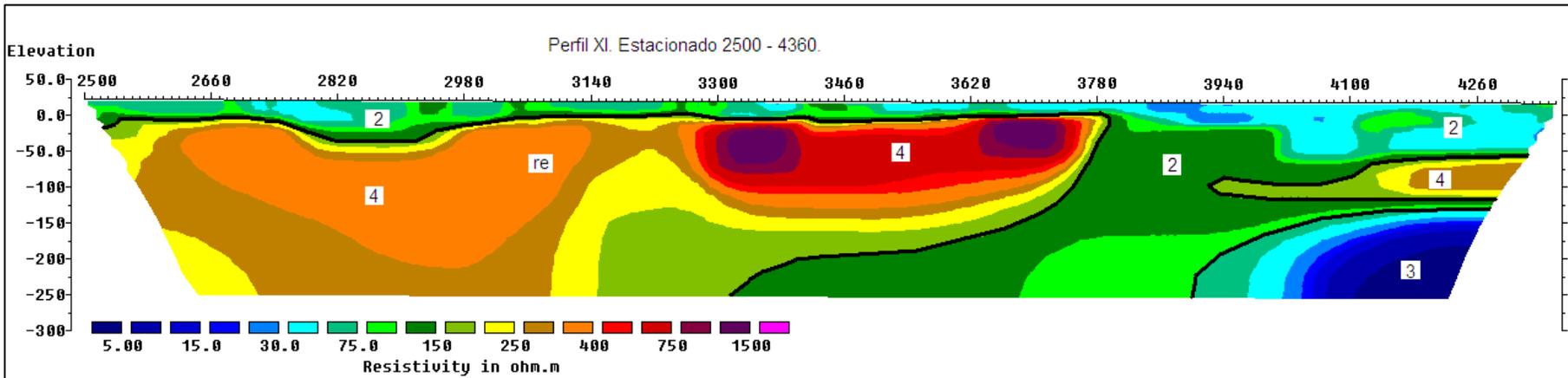


Figura 3-21: Análisis de Línea de medición XI-XI' (2/4)

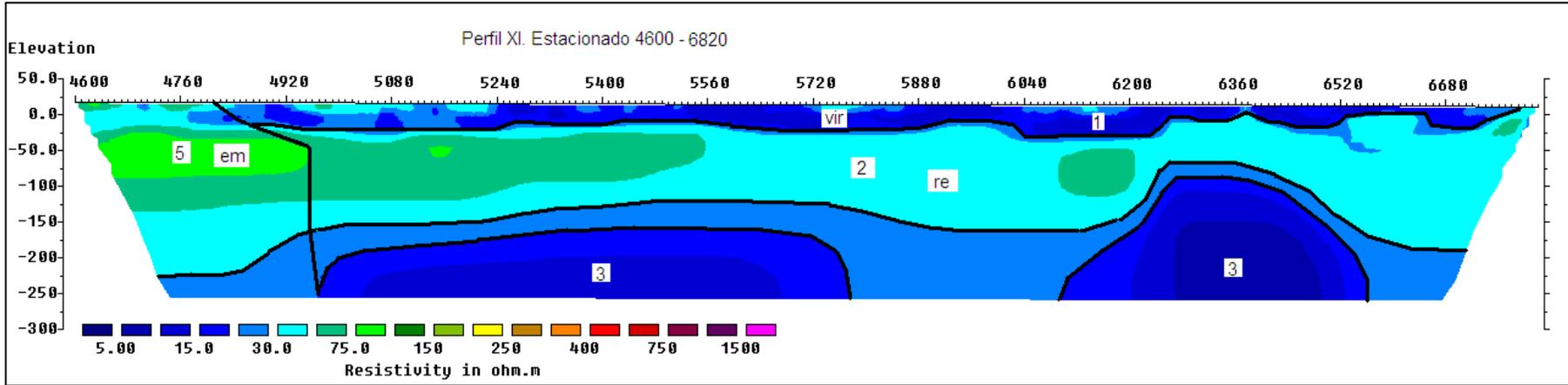


Figura 3-22: Análisis de Línea de medición XI-XI' (3/4)

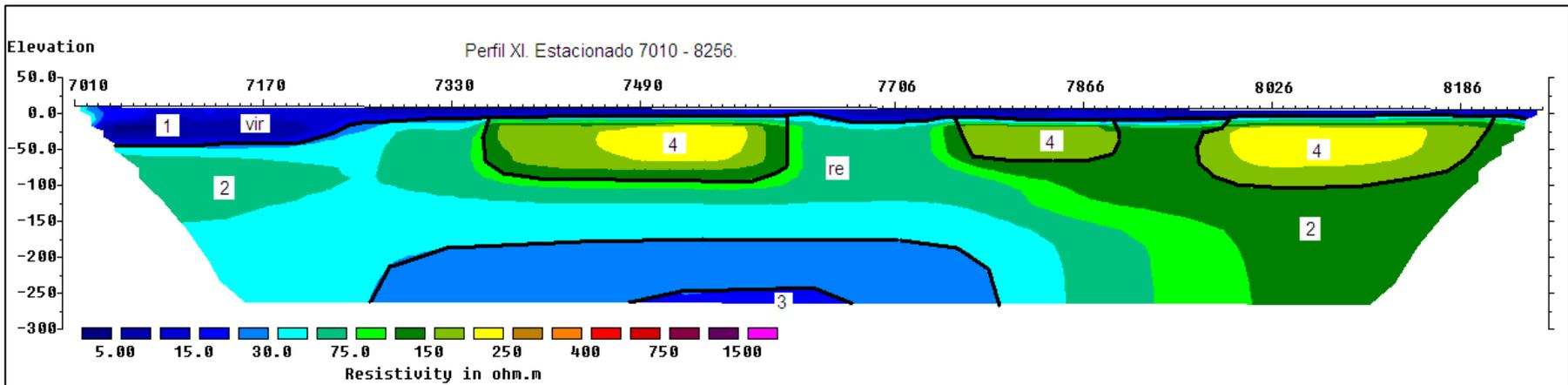


Figura 3-23: Análisis de Línea de medición XI-XI' (4/4)

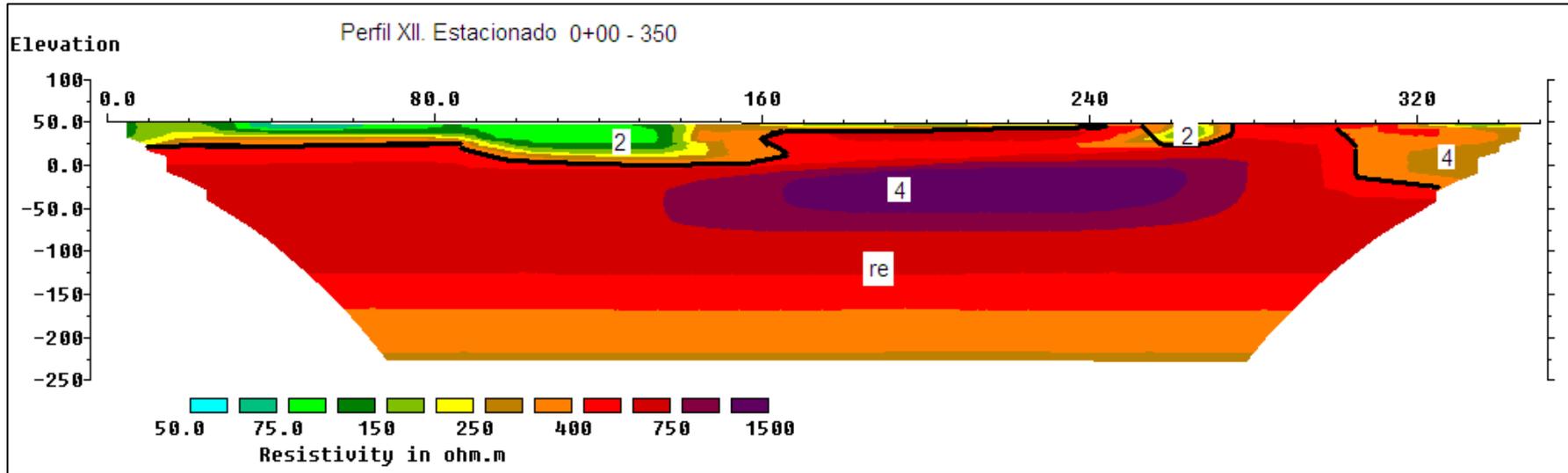


Figura 3-25: Análisis de Línea de medición XII-XII' (1/3)

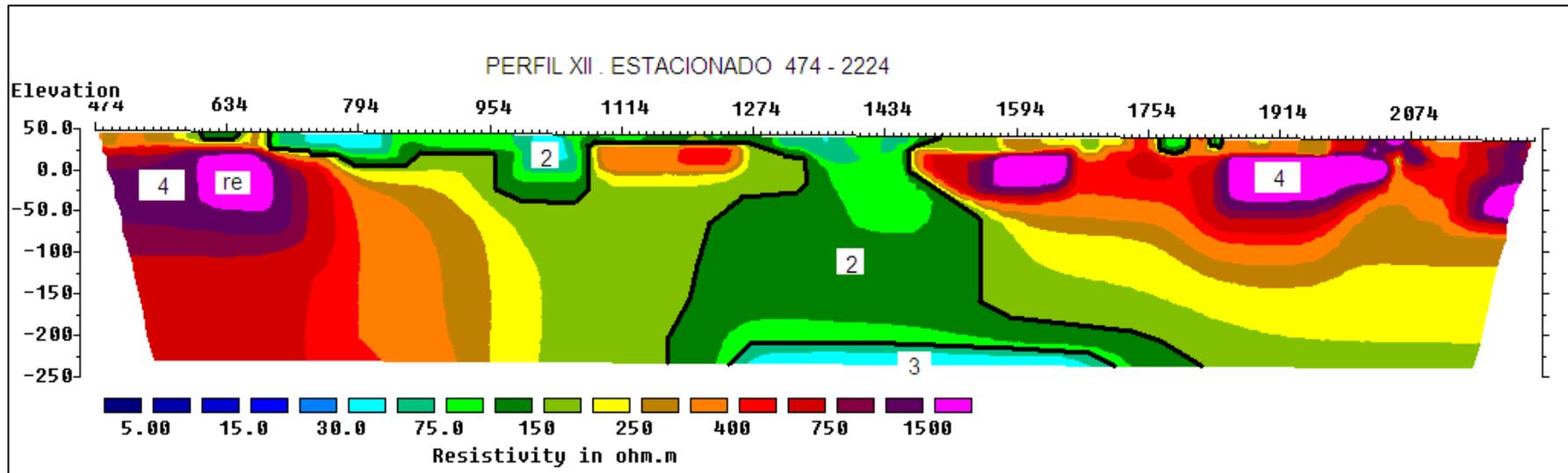


Figura 3-26: Análisis de Línea de medición XII-XII' (2/3)

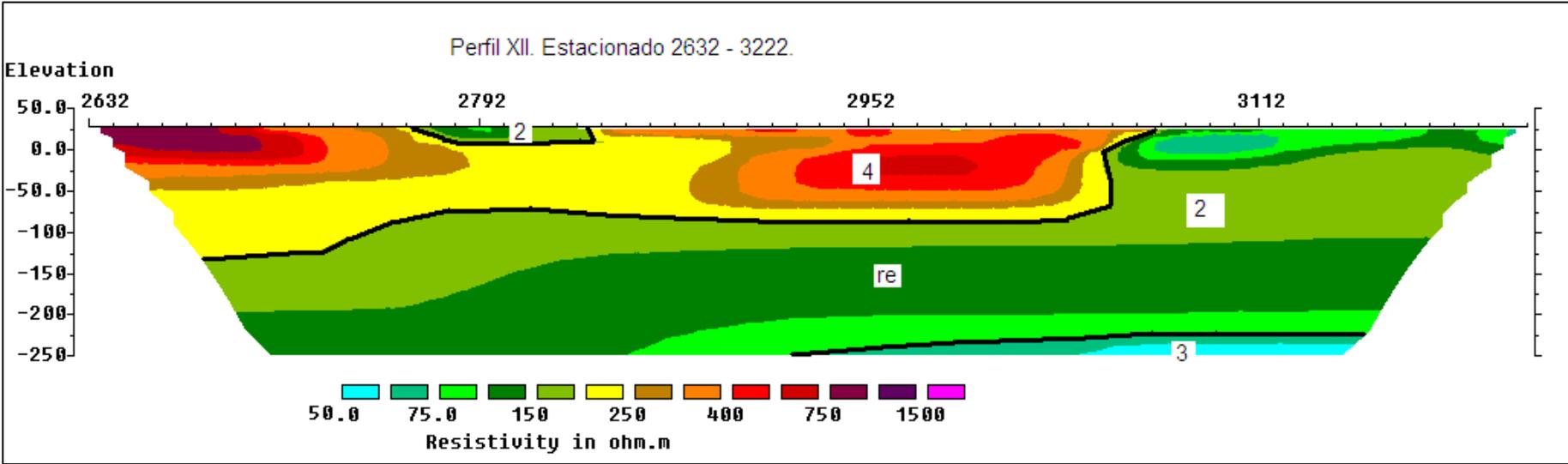


Figura 3-27: Análisis de Línea de medición XII-XII' (3/3)

3.2 Resultados de la prospección TDEM

Se presentan a continuación ejemplos (Perfil-1 - Perfil-6) de planos seccionales de resistividad elaborados a partir de los datos obtenidos en el distrito Sola a través de la prospección TDEM.

La ubicación de las líneas seccionales se indica en Figura 3-28.

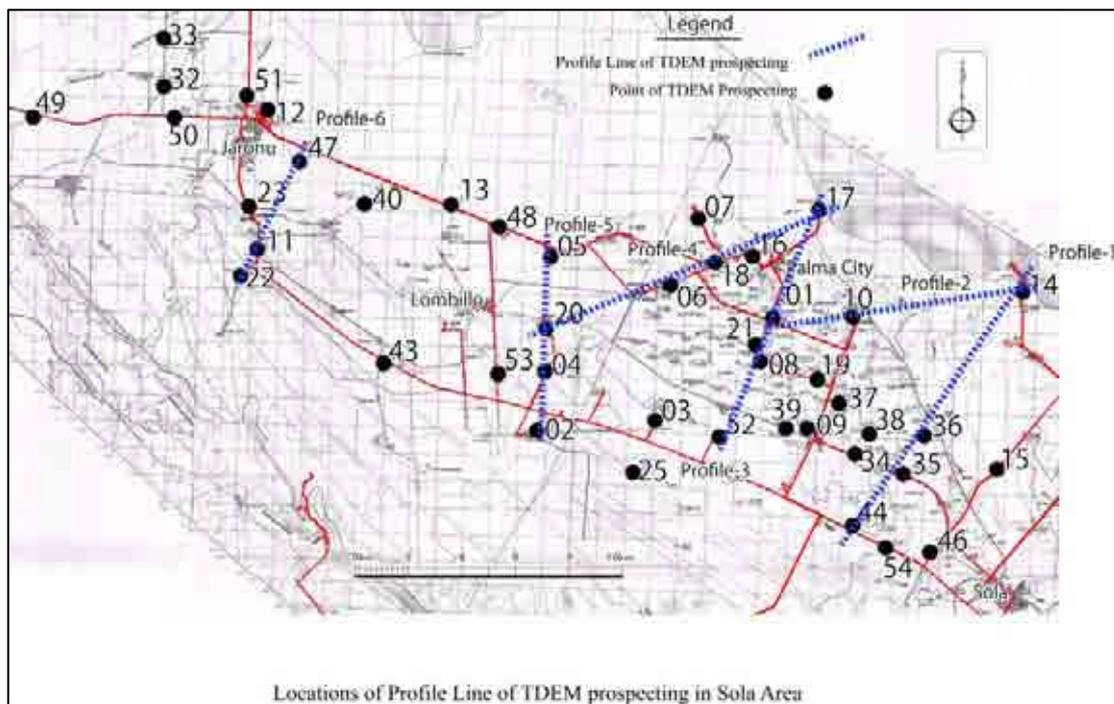
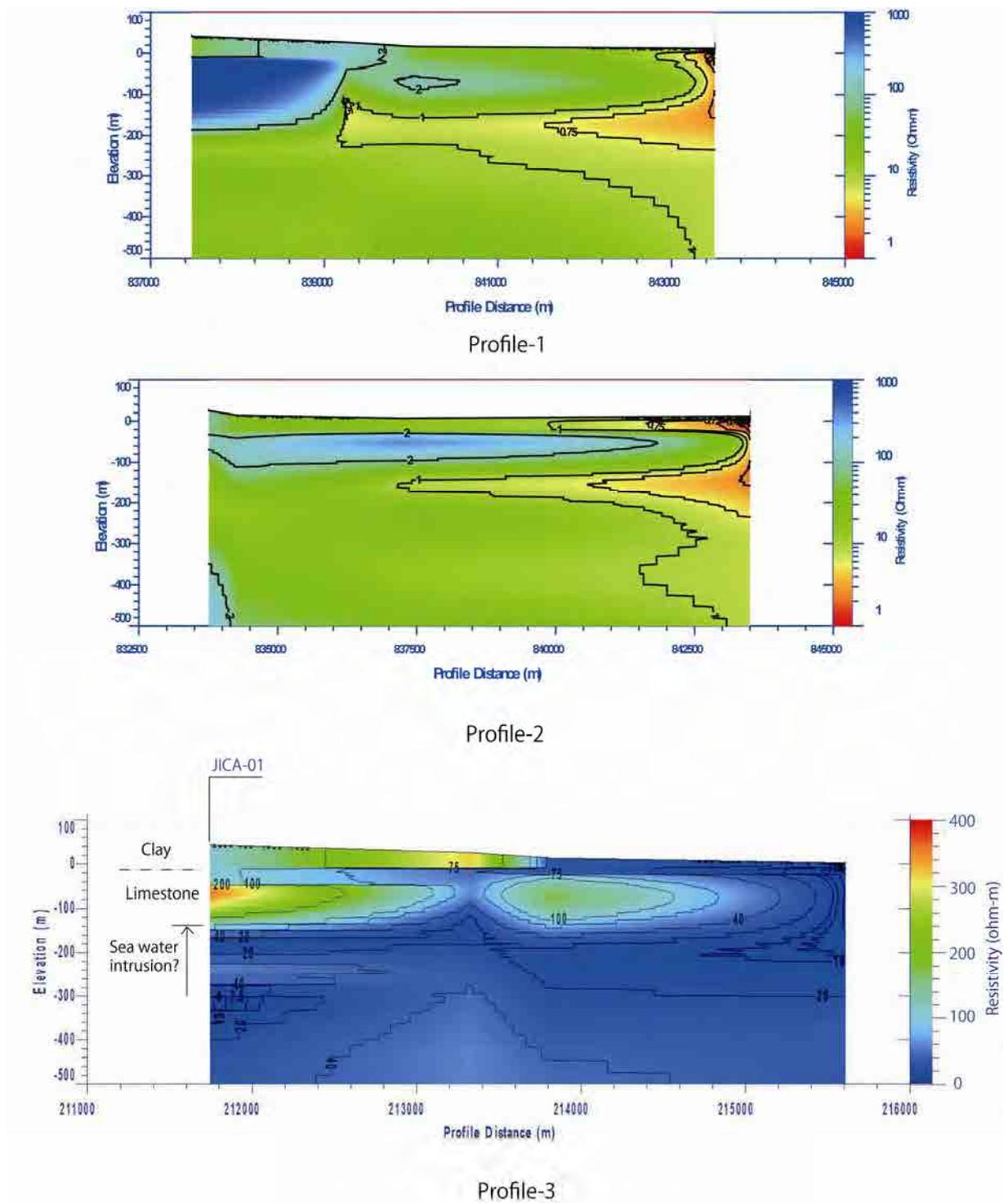
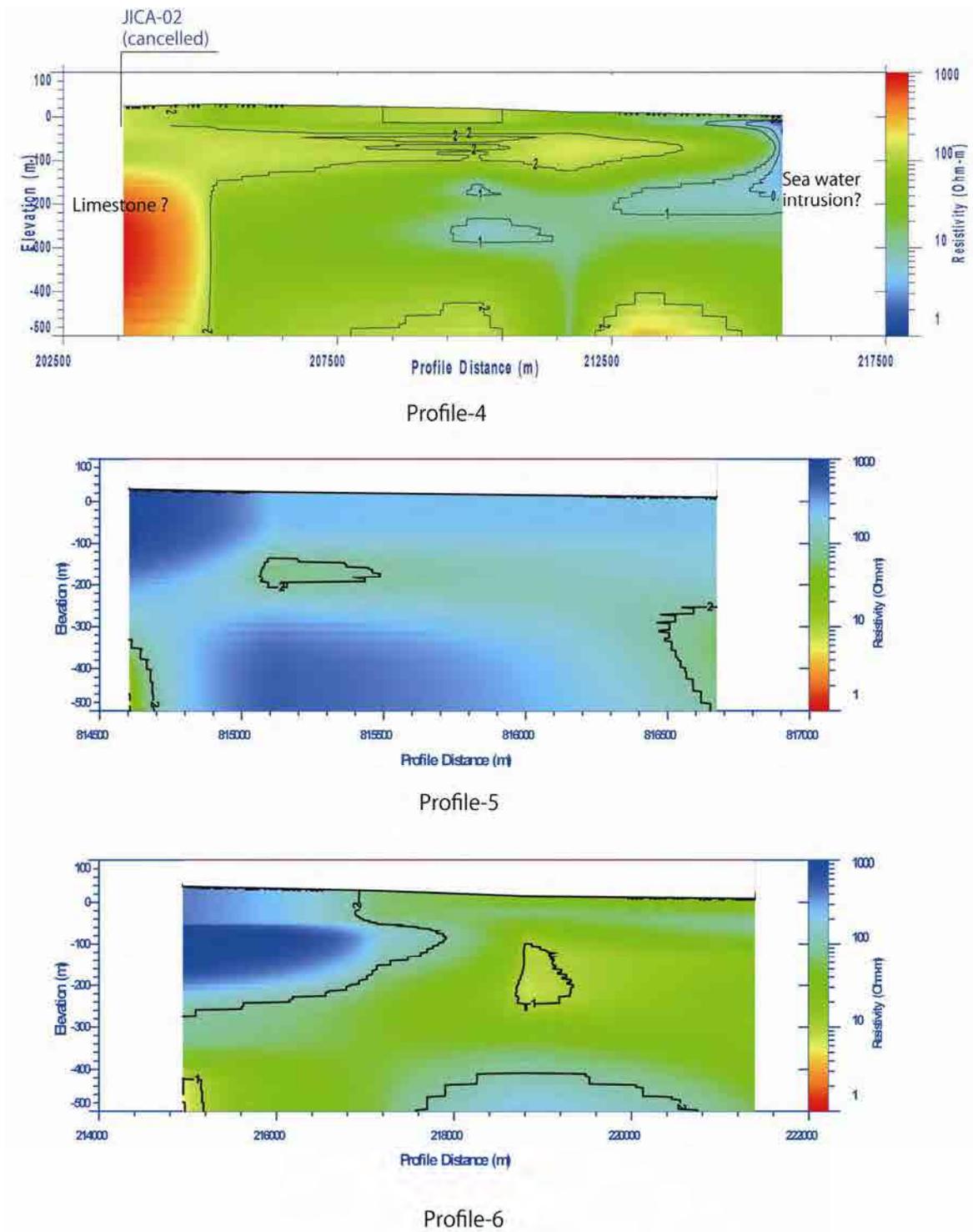


Figura 3-28: Ubicación de líneas seccionales de ejemplos de secciones de resistividad en la prospección TDEM



Result of TDEM Prospecting (1/2)

Figura 3-29: Ejemplo de análisis de la prospección TDEM (1)



Result of TDEM Prospecting (2/2)

Figura 3-30: Ejemplo de análisis de la prospección TDEM (2)

1.2 Resumen de los resultados del análisis de modelo de agua subterránea

INDICE

| | | |
|----------|---|------------|
| 1 | Estudio hidrogeológico - Metodología del análisis de modelo de agua subterránea | 1-1 |
| 2 | Análisis de datos existentes y resultados del estudio de campo..... | 2-1 |
| 2.1 | Recopilación de datos existentes | 2-1 |
| 2.2 | Análisis topográfico | 2-1 |
| 2.3 | Análisis geológico e hidrogeológico | 2-2 |
| 2.3.1 | Resumen geológico..... | 2-2 |
| 2.3.2 | Falla de Cubitas | 2-4 |
| 2.3.3 | Gráfica prismática de columnas geológicas..... | 2-4 |
| 2.3.4 | Resultados de la prospección geofísica..... | 2-6 |
| 2.3.5 | Resultados de sondeo..... | 2-8 |
| 2.4 | Nivel de agua subterránea | 2-10 |
| 2.4.1 | Fluctuación del nivel de agua subterránea a largo plazo | 2-10 |
| 2.4.2 | Variación estacional de nivel de agua subterránea | 2-12 |
| 2.5 | Calidad de agua subterránea..... | 2-13 |
| 2.5.1 | Conductividad eléctrica (CE)..... | 2-13 |
| 2.5.2 | Tendencia de variación de valores CE a largo plazo | 2-16 |
| 2.6 | Análisis hidrológico | 2-17 |
| 2.6.1 | Datos meteorológicos | 2-17 |
| 2.6.2 | Observación de caudal fluvial..... | 2-17 |
| 3 | Modelo de agua subterránea | 3-1 |
| 3.1 | Resumen del modelo de agua subterránea..... | 3-1 |
| 3.2 | Estructura de modelo | 3-2 |
| 3.3 | Parámetros del modelo | 3-4 |
| 3.4 | Cálculo estimado de volumen de recarga de agua subterránea | 3-6 |
| 3.5 | Cálculo estimado de volumen de agua subterránea bombeado | 3-8 |
| 3.6 | Carga hidráulica inicial..... | 3-9 |
| 3.7 | Distribución de concentraciones de sal | 3-9 |
| 3.8 | Examen de interpolación | 3-11 |
| 4 | Análisis y predicción..... | 4-1 |
| 4.1 | Escenario de análisis y predicción..... | 4-1 |
| 4.1.1 | Análisis y predicción según MODFLOW-96 | 4-1 |
| 4.1.2 | Análisis y predicción según SEAWAT..... | 4-4 |
| 4.2 | Escenario con un desarrollo de nuevas fuentes de agua..... | 4-12 |
| 4.2.2 | Análisis y predicción según MODFLOW-96 | 4-13 |
| 4.2.3 | Análisis y predicción según SEAWAT..... | 4-15 |
| 4.3 | Recomendaciones para el desarrollo y manejo de agua subterránea basadas en el análisis y predicción | 4-19 |

1 Estudio hidrogeológico - Metodología del análisis de modelo de agua subterránea

Este estudio hidrogeológico - análisis de modelo de agua subterránea fue realizado siguiendo el flujo indicado en Figura 1-1.

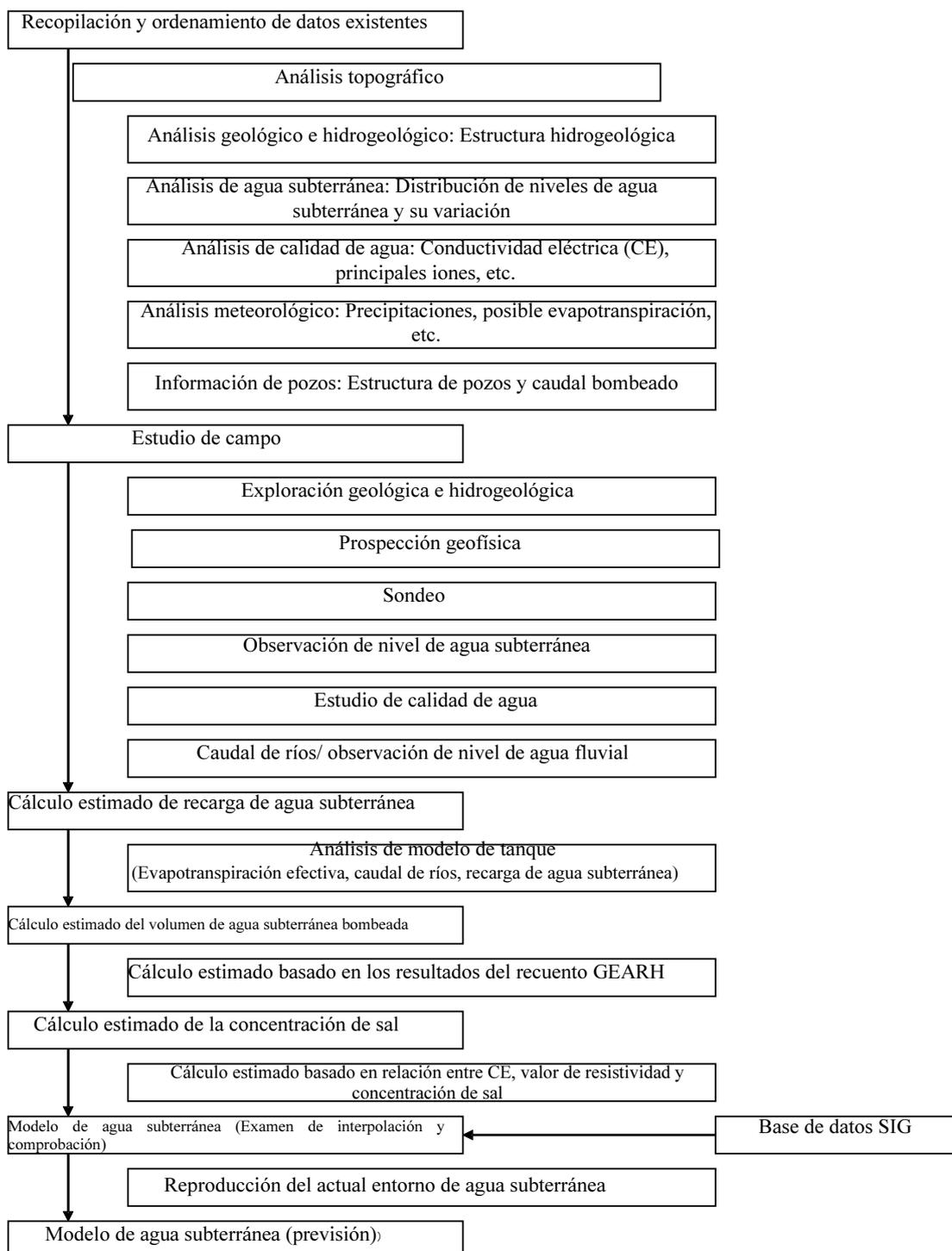


Figura 1-1: Flujo del estudio

2 Análisis de datos existentes y resultados del estudio de campo

2.1 Recopilación de datos existentes

Los tipos de principales datos existentes recopilados, ordenados y analizados en el presente Proyecto se detallan a continuación. Estos datos se utilizaron como material básico para el análisis de agua subterránea.

- Datos topográficos (incluyendo datos numéricos de altitud)
- Planos geológicos e hidrogeológicos, etc.
- Informes existentes relacionados con la geología, hidrogeología y agua subterránea
- Datos de sondeo y perforación de pozos
- Datos de calidad de agua
- Datos de prospección geofísica
- Datos meteorológicos

2.2 Análisis topográfico

A partir de los datos numéricos de altitud de SRTM-90, se elaboró un “In-yo-zu” (plano bipolar, plano de relieve microtopográfico en formato tridimensional) (Figura 2-1), útil para alcanzar una mejor comprensión de las características regionales de la zona objeto.

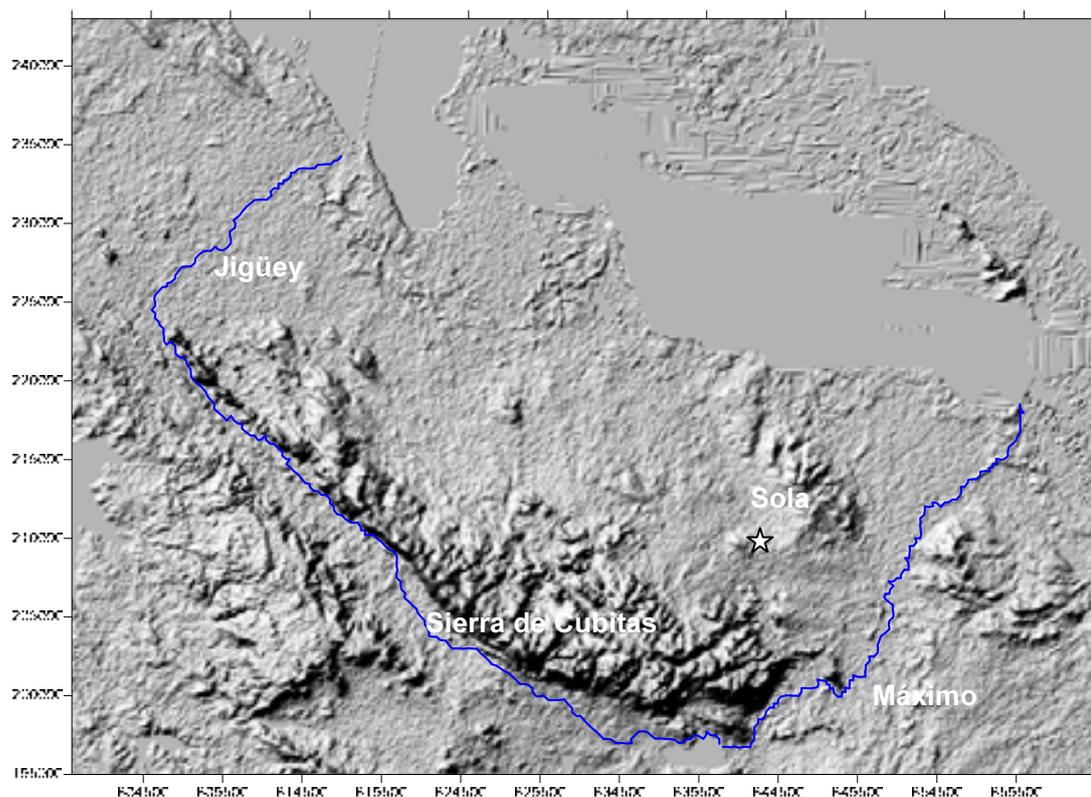


Figura 2-1: Plano de relieve microtopográfico en formato tridimensional

- La zona objeto del estudio y análisis se encuentra en el lado norte de la Sierra de Cubitas (200m de altitud) ubicada al norte de la Provincia de Camagüey, desde la ladera hasta la costa. La principal capa acuífera está distribuida al oeste del centro urbano de Sola.
- La parte norte de la zona objeto del estudio y análisis es un llano que se extiende desde una altitud de 40m hasta la costa.
- El centro urbano de Sola está situado a 40m de altitud y al extremo oriental de la principal cuenca subterránea de la región. Toda el área oriental, incluyendo el centro urbano de Sola, es una zona de colinas de 20 a 40 m de altitud y presenta una estructura geológica distinta a la de la zona occidental donde se extiende la principal cuenca subterránea.
- La parte sur de la zona objeto del estudio y análisis presenta un declive moderado en la falda de la Sierra de Cubitas, a partir de altitudes de entre 40 y 100m. Fluyen dos ríos, Jigüey y Máximo, que bordean el sur de la Sierra de Cubitas.

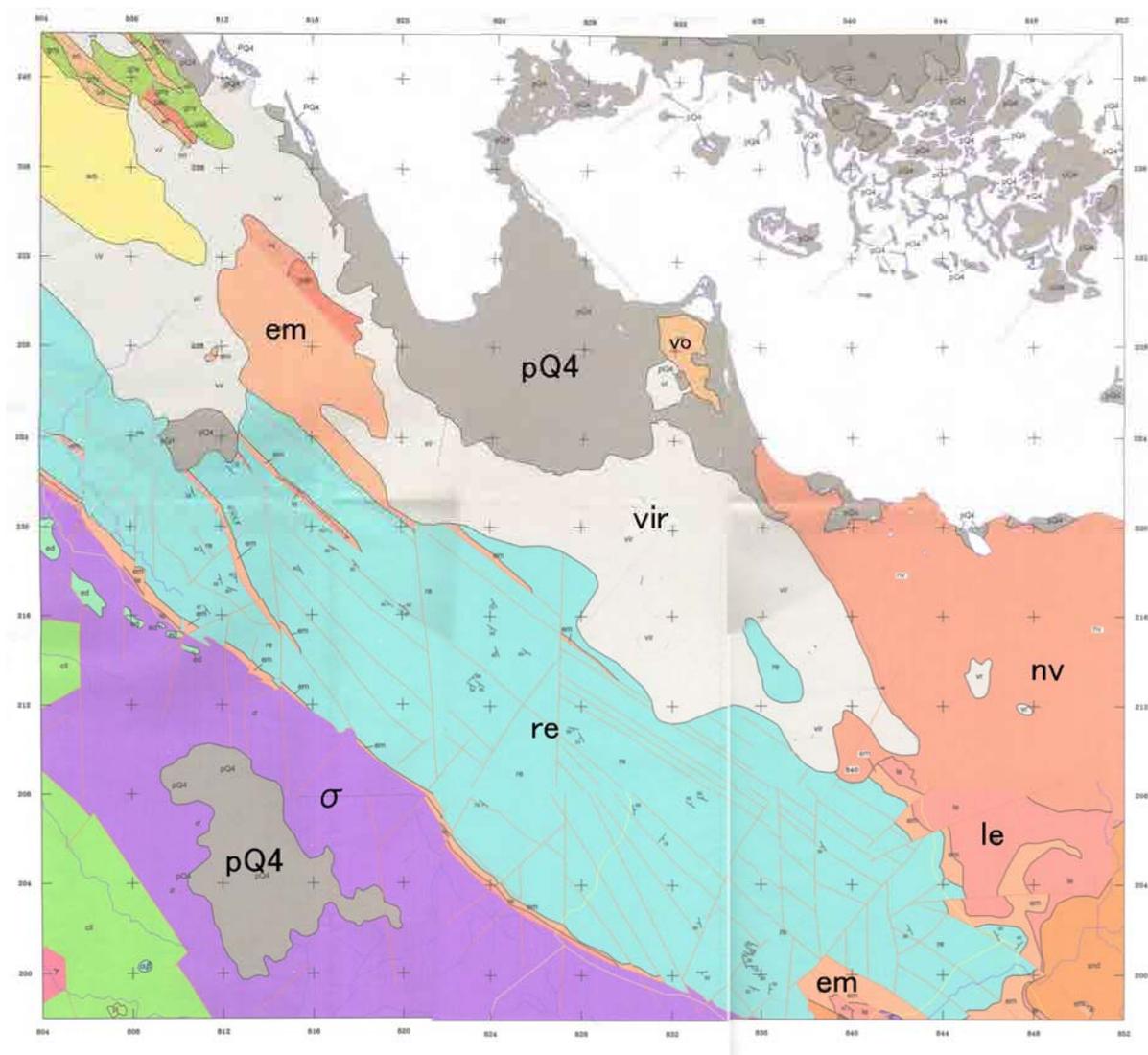
2.3 Análisis geológico e hidrogeológico

2.3.1 Resumen geológico

La principal geología distribuida en el distrito Sola está formada de rocas carbonatadas marginales de la placa tectónica norteamericana, sedimentadas entre Jurásico y Cretáceo y distribuidas en las colinas de Cubitas y Guaney, el estrato Chanel (colina Güaney) y los sedimentos de la plataforma continental cuya dispersión se intuye en las profundidades del subsuelo. Las rocas carbonatadas que componen la Sierra de Cubitas, son sedimentos del mar poco profundo y se encuentran fuertemente plegadas por movimientos tectónicos ocurridos con posterioridad a la sedimentación.

Un plano geológico y una sección de maqueta se presentan en Figuras 2-2 y 2-3 respectivamente. Las características de esta zona se resumen a continuación.

- La Sierra de Cubitas está formada de calizas. Estas calizas forman parte de estratos de calcáreo llamado el Grupo Remedios, sedimentado entre el Jurásico y el Cretáceo y están distribuidos ampliamente en la zona de la falda norte.
- Los estratos de calcáreo, en ciertas zonas, presentan grietas desarrolladas, convirtiéndose en bloques. En la Sierra de Cubitas ya no hay corriente de agua, pero se observa una topografía cárstica con grutas de estalactitas en algunos lugares.
- En el área objeto, es objeto de la explotación de agua subterránea la capa acuífera desarrollada en los estratos de calcáreo arriba mencionados.



| | | |
|-----------------------|----------------------------|-----------------------------|
| <i>pQ4</i> | <i>Depositos palustres</i> | 湖沼堆積物: 泥、粘土 |
| <i>Q2 vir</i> | <i>Fm. Villarroja</i> | 粘土(砂質-泥質)、砂岩(粘土質-石英砂質-粒狀物質) |
| <i>P2-3 nv</i> | <i>Fm. Nuevitas</i> | 泥灰岩(石灰質-碎屑-塊) |
| <i>P2-2 vo</i> | <i>Fm. Venero</i> | 石灰質角礫岩?、珪石及び石灰岩礫岩、碎屑石灰岩 |
| <i>P2-2 le</i> | <i>Fm. Lesca</i> | 石灰岩(碎屑-粘土質、砂岩-硅岩) |
| <i>P1-2 - P2-1 em</i> | <i>Fm. El Embarcadero</i> | 石灰質礫岩?(石灰岩、ドロマイト)、火山岩集塊岩? |
| <i>J3-K2 re</i> | <i>Grupo Remedios</i> | 苦灰岩、石灰岩、石灰質礫岩 |
| <i>α β</i> | | 玄武岩質安山岩 |
| <i>γ</i> | | 花崗岩 |
| <i>σ</i> | <i>J2-3?</i> | 蛇紋岩 |

Figura 2-2: Resumen geológico del distrito Sola

(Fuente: Estudio Hidrogeológico de la Cuenca Guanaja, 2008)

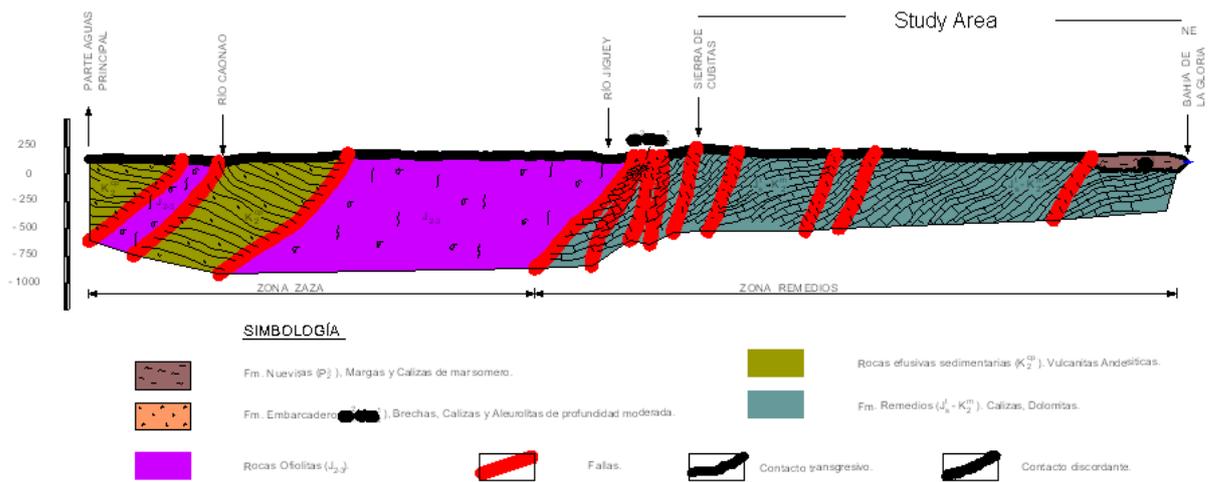


Figura 2-3: Sección de maqueta de cercanías del distrito Sola

(Fuente: Cuenca Guanaja.ppt, de Ing. Adán Echemendia Martínez)

2.3.2 Falla de Cubitas

Según la hipótesis comúnmente aceptada, la falla de Cubitas distribuida en el distrito Sola fue el antiguo límite de la placa. La falla de Cubitas pasa en dirección noroeste - sudeste por el extremo sur de la Sierra de Cubitas (unos 68km desde el centro urbano de Senado hasta el centro urbano de Esmeralda) y es un cabalgamiento que tiene en su límite ofiolita (lado sur) y rocas carbonatadas (lado norte). La superficie de la falla está inclinada a entre 30° al sudeste y 45° al sur-sudeste, y según los resultados de la prospección magnética y de gravedad, se supone la existencia de una superficie de la falla a unos 5 km de profundidad en el centro urbano de Camagüey.

El extremo oriental de la falla de Cubitas se encuentra cortado por la falla de Camagüey, que atraviesa en dirección norte-sur y nordeste-suroeste.

2.3.3 Gráfica prismática de columnas geológicas

Los registros de cada pozo se han ordenado como gráfica prismática de columnas geológicas (Figura 2-4). A través de este trabajo, las capas acuíferas de cada zona objeto han sido clasificadas en las siguientes 6 capas por orden de arriba a abajo.

- Capa acuífera A: Arcilla y arena
- Capa acuífera B: Arena y grava
- Capa acuífera C: Marga (marga y arcilla)
- Capa acuífera D: Roca calcárea y arcilla
- Capa acuífera E: Roca calcárea (tipo detrítico, fragmentario)
- Capa acuífera F: Roca calcárea (básicamente masiva)

Una vez realizada la clasificación de capas acuíferas arriba mencionada para cada una de las gráficas prismáticas de columnas geológicas, se han ordenado los resultados de la clasificación de las gráficas y se ha elaborado un plano de distribución de espesores de

estratos de cada capa acuífera (Figura 2-5) y una distribución de profundidades del fondo base.

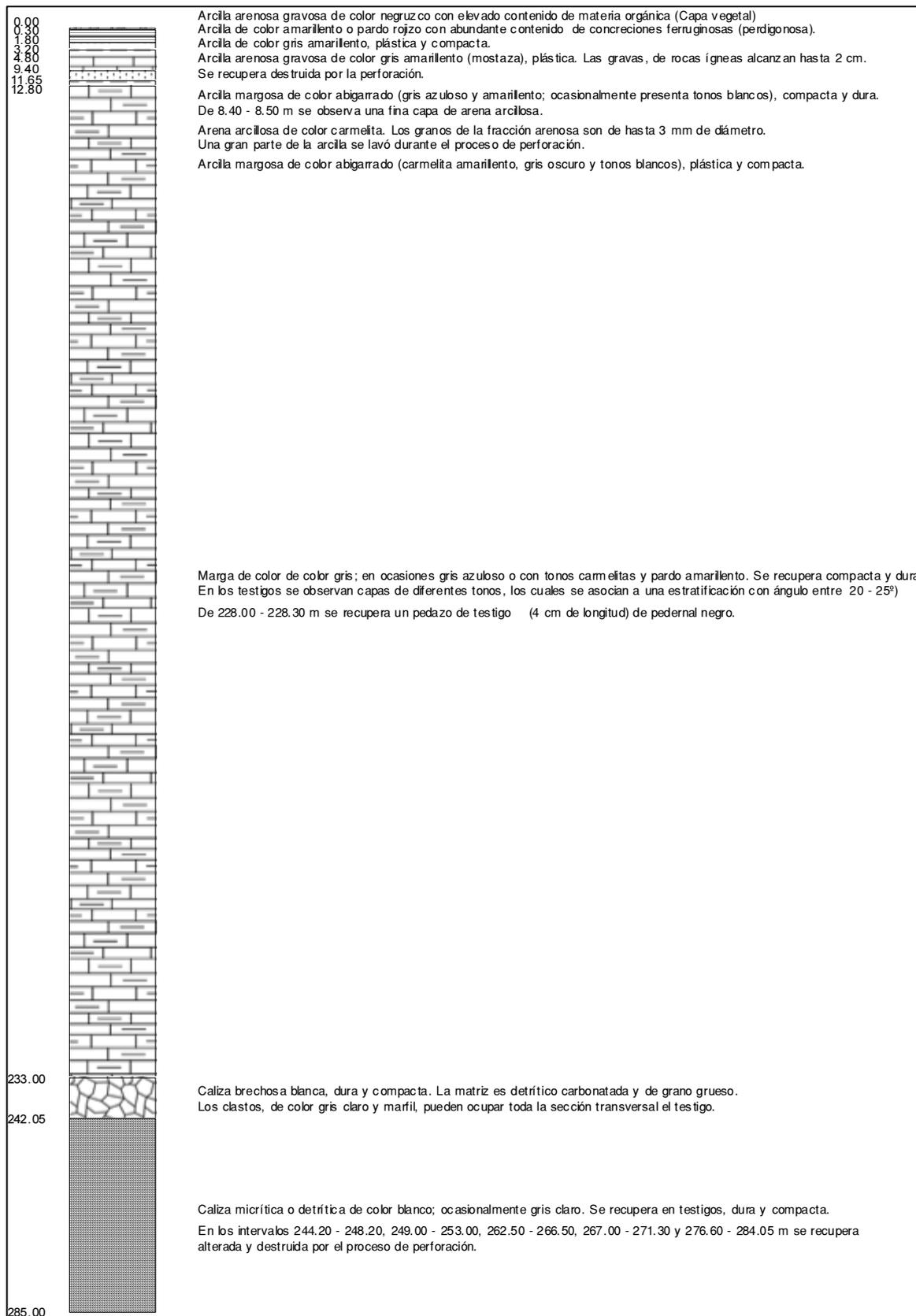


Figura 2-4: Ejemplo de gráfica prismática de columnas geológicas (Pozo S-7)

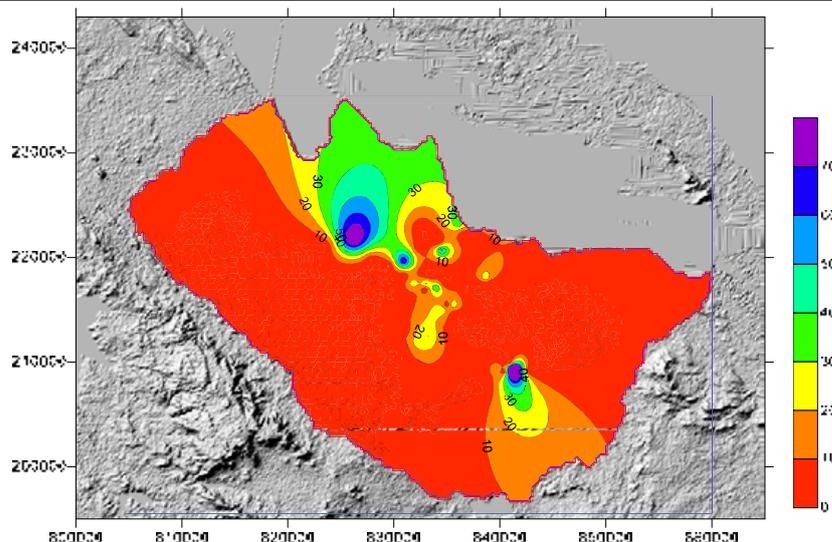


Figura 2-5: Ejemplo de plano de distribución de espesores de estratos (Capa acuífera D: Roca calcárea y arcilla) (Unidad: m)

2.3.4 Resultados de la prospección geofísica

El resumen de los resultados de la prospección geofísica realizada en el distrito Sola se presenta en Anexo 1.1. Dichos resultados se utilizaron en el análisis de modelo de agua subterránea principalmente en los siguientes dos puntos.

- Análisis de estructura hidrogeológica
- Suposición de una distribución de concentraciones de sal basada en la distribución de valores de resistividad.

a. Estructura hidrogeológica

Para las zonas que no cuentan con gráficas prismáticas de columnas geológicas como las antes mencionadas, se elaboró la sección hidrogeológica que se presenta a continuación, según una distribución geológica deducida de los resultados de la prospección geofísica, con lo que a grandes rasgos pudo obtenerse una idea sobre la estructura hidrogeológica.

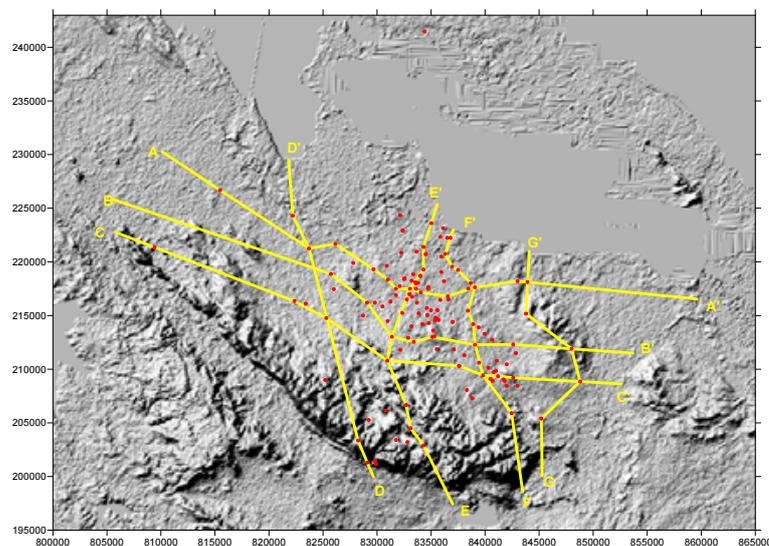


Figura 2-6: Ubicación de la sección hidrogeológica

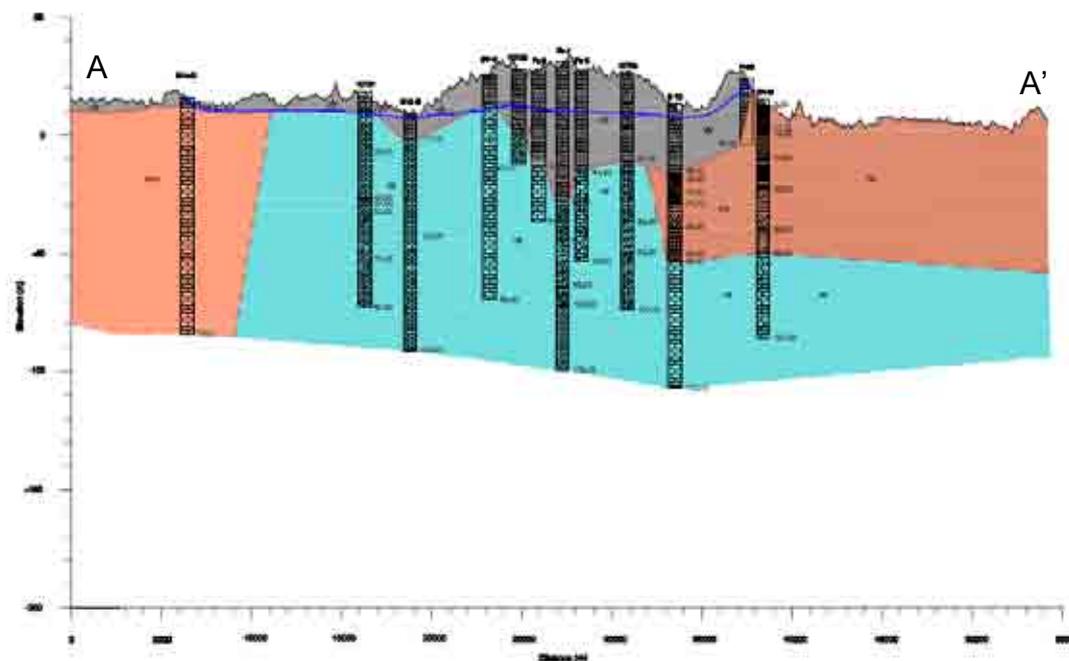


Figura 2-7: Ejemplo de una sección hidrogeológica (en dirección este-oeste: A-A')

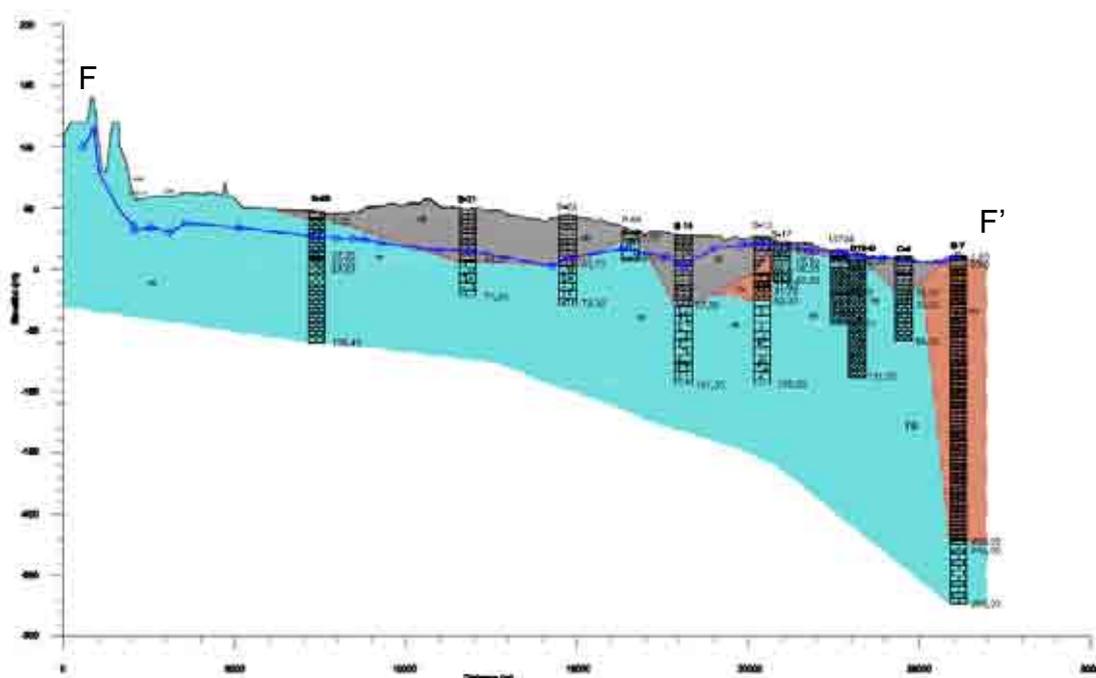


Figura 2-8: Ejemplo de una sección hidrogeológica (en dirección sur-norte: F-F')

b. Distribución de valores de resistividad

Sobre la base de los resultados de la prospección electromagnética en 44 lugares, se elaboró un plano de distribución de resistividad a cada 20m de profundidad (en altitudes de entre 30m y 290m) y sus resultados se utilizaron como base para deducir una distribución de concentración de sal, tal como se describe en el siguiente capítulo. Figura 2-9 presenta un

ejemplo de distribución de resistividad a -10m de altitud.

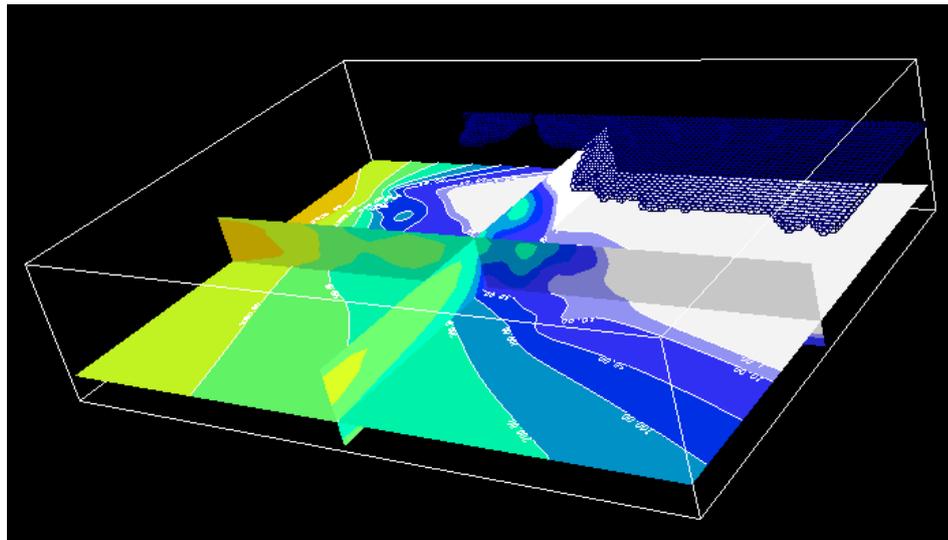


Figura 2-9: Ejemplo de distribución de resistividad (a -10m de altitud)

2.3.5 Resultados de sondeo

En el estudio de sondeo se llevó a cabo una perforación de 200m aprox. en el lugar indicado en Figura 2-10 (JICA_01: X832302, Y214970).

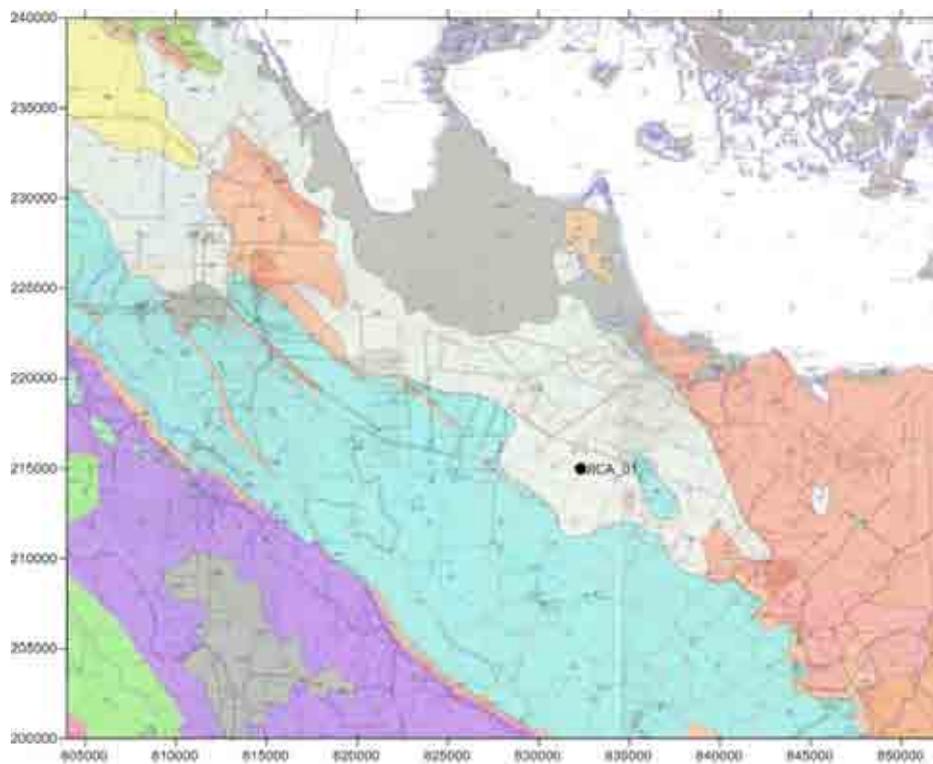


Figura 2-10: Ubicación del lugar de sondeo

Los resultados del sondeo se resumen en Figura 2-11 en forma de gráfica prismática integral de columnas.

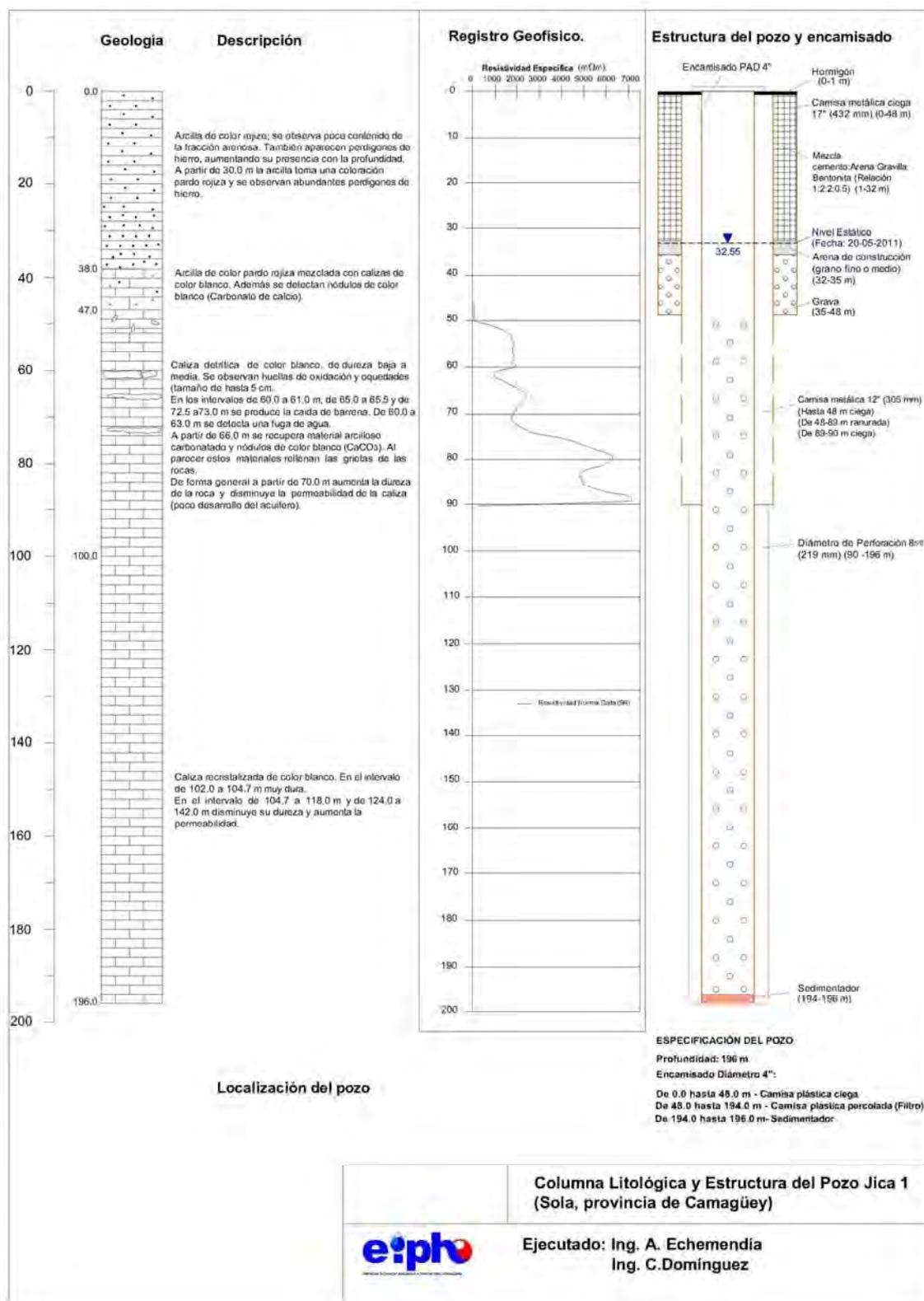


Figura 2-11: Gráfica prismática integral de columnas geológicas de JICA_01

2.4 Nivel de agua subterránea

2.4.1 Fluctuación del nivel de agua subterránea a largo plazo

En junio de 2009, en colaboración con el personal técnico de EIPH Camagüey, se practicaron mediciones del nivel de agua en 30 pozos piloto. En el informe de 1988 se elaboró un plano de líneas isopiécicas de agua subterránea basado en el nivel de agua subterránea de pozos piloto medido en noviembre de 1988. El registro de dicho nivel de agua subterránea se resume en Tabla 2-1, indicando en la columna derecha la diferencia de niveles de agua subterránea entre 1988 y 2009. Teniendo en cuenta que noviembre es el final de la estación de lluvias y junio, en que se realizó el presente estudio, corresponde al comienzo de la estación de lluvias, las diferencias que aparecen en los niveles de agua no deberían considerarse en principio significativas. No obstante, sobre 3 pozos piloto (No. 11587, B1-G y B13-G) se observa una diferencia algo significativa. Los pozos No. 11587 y B13-G están ubicados en la zona oriental de colinas y B1-G es un pozo perforado en zona de riego al norte de la parte central del área del estudio.

Tabla 2-1: Nivel de agua subterránea de pozos piloto (1988 y 2009)

| No. de pozo | X | Y | Altitud (m) | Profundidad del pozo (m) | Nivel de agua estática en noviembre de 1988 (m sobre nivel del mar) | Nivel de agua estática en junio de 2009 (m sobre nivel del mar) | Diferencia entre 2009 y 1988 |
|--------------------------------|--------|--------|-------------|--------------------------|---|---|------------------------------|
| 1050 | 819050 | 223350 | 12,45 | 25,00 | 10,75 | 9,85 | -0,90 |
| 1053 | 820400 | 221000 | 13,91 | 13,05 | 13,11 | 12,84 | -0,27 |
| 1242 | 814920 | 222570 | 17,78 | 4,8 (4,65) | 17,56 | 17,40 | -0,16 |
| 2001 | 811950 | 226350 | 13,81 | Sellado | 12,68 | 12,98 | 0,30 |
| 4680 | 830020 | 207960 | 96,36 | 82,00 | - | 41,42 | - |
| 8394 | 840500 | 215850 | 11,90 | 9,00 | - | 4,32 | - |
| 11587 | 846060 | 209850 | 48,60 | 28,80 | 46,78 | 42,01 | -4,77 |
| 10713-2 | 836614 | 216881 | 21,00 | 50,65 | - | 3,35 | - |
| B 1-G | 834260 | 219270 | 14,73 | 87,05 | 7,93 | 4,00 | -3,93 |
| B 2-G | 843770 | 215200 | 39,97 | 67,00 | 31,20 | 32,80 | 1,60 |
| B 4-G | 843910 | 218140 | 10,00 | 69,00 | 9,28 | 9,50 | 0,22 |
| B 7-G | 825400 | 214800 | 36,98 | 100,35 | 45,5? | 22,28 | - |
| B 9-G | 829680 | 219320 | 22,18 | 92,76 | 4,28 | 5,00 | 0,72 |
| B10-G | 826660 | 221570 | 5,80 | 61,15 | 5,08 | 4,34 | -0,74 |
| B11-G | 827850 | 222140 | 5,27 | 79,32 | 4,32 | 3,83 | -0,49 |
| B13-G | 843520 | 219920 | 10,09 | 95,00 | 8,70 | 4,50 | -4,20 |
| B14-G | 815450 | 226390 | 11,84 | 85,00 | 11,79 | 11,84 | 0,05 |
| B15-G | 831370 | 223280 | 6,98 | 88,83 | 2,13 | 2,70 | 0,57 |
| B16-G | 834280 | 221370 | 10,40 | 56,66 | 0,20 | 1,82 | 1,62 |
| B19-G | 836990 | 219680 | 6,06 | 88,50 | 5,34 | 4,25 | -1,09 |
| B21-G | 830700 | 217890 | 27,00 | 140,00 | - | 4,11 | - |
| NG-81 | 834000 | 221195 | 10,41 | - | - | 4,53 | - |
| Pozo perforado cerca de So-10G | 819787 | 216799 | 35,00 | 28,25 | - | 19,60 | - |
| So2-G | 841170 | 209340 | 39,00 | 107,9 | - | 4,96 | - |
| So5-G | 841110 | 210900 | 33,50 | 39,60 | - | 5,17 | - |
| So6-G | 834370 | 215500 | 31,70 | 37,00 | - | 4,70 | - |
| So7-G | 836770 | 216250 | 25,00 | 41,00 | - | 1,73 | - |
| So-8G | 845700 | 217150 | 5,72 | 8,60 | - | 1,70 | - |

| | | | | | | | |
|-------|--------|--------|------|------|---|------|---|
| So9-G | 847440 | 215830 | 4,23 | 4,00 | - | 4,12 | - |
|-------|--------|--------|------|------|---|------|---|

Figura 2-12 representa un plano de curvas del nivel de agua subterránea elaborado en base a los datos del informe de 1988, y Figura 2-13 es un plano de curvas del nivel de agua subterránea elaborado sobre la base de los resultados de la medición de junio de 2009. Aun tratándose de un limitado número de datos, nos permite conocer una aproximada tendencia.

Al comparar estos dos planos de curvas de nivel de agua subterránea, se observa que la línea de nivel de 10m ha retrocedido desde la parte central hasta el centro urbano de Sola hacia el sudeste entre 1988 y 2009. La zona del retroceso presenta una variación estacional relativamente grande. En la zona oriental de colinas y la zona occidental no se observa notable variación en el nivel de agua subterránea.

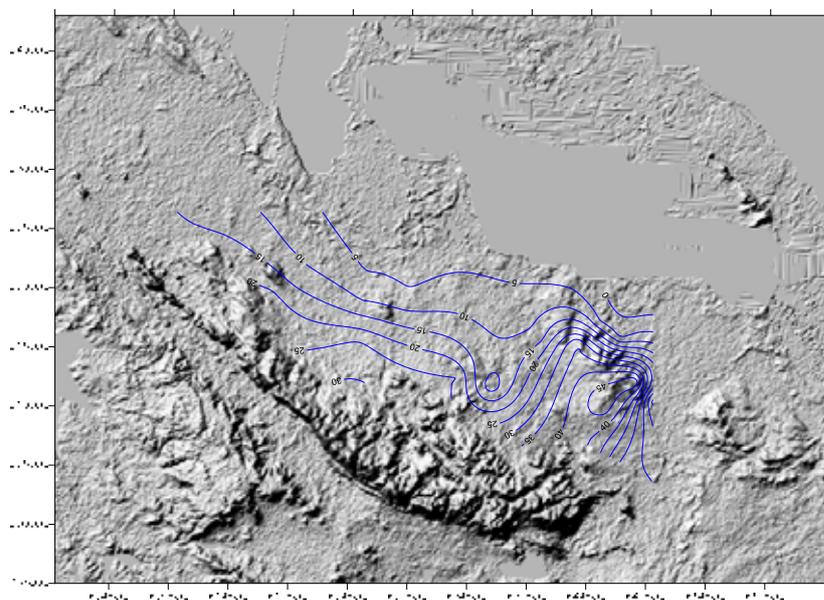


Figura 2-12: Distribución de nivel de agua subterránea en noviembre de 1988 (Final de la estación de lluvias)

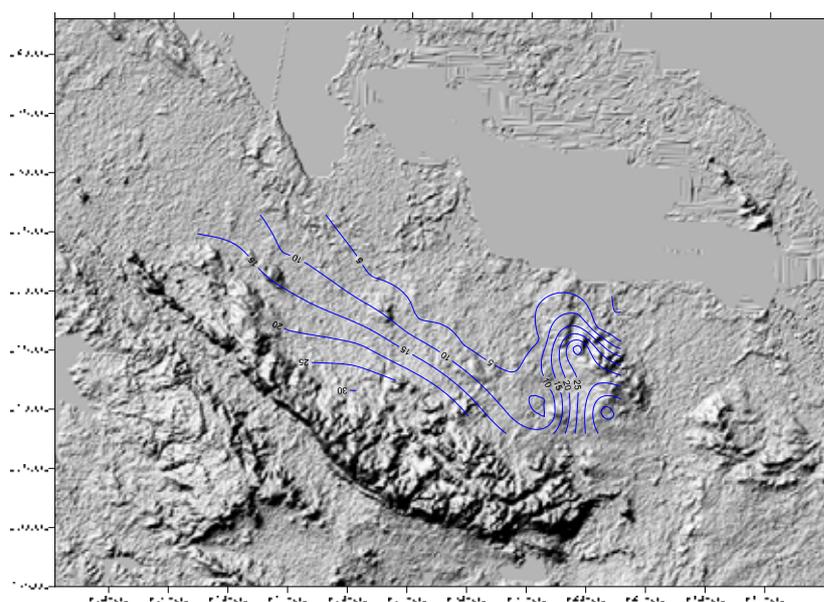


Figura 2-13: Distribución de nivel de agua subterránea en junio de 2009 (Final de la estación seca)

2.4.2 Variación estacional de nivel de agua subterránea

En los estudios de agua subterránea realizados entre 2007 y 2008, se hizo la medición de nivel de agua subterránea de pozos de esta área en dos ocasiones: noviembre de 2007 y mayo de 2008. La primera medición (noviembre) corresponde al final de la estación de lluvias y la segunda (mayo) al final de la estación seca. De acuerdo con los resultados de las respectivas mediciones de nivel de agua subterránea, se elaboraron Figuras 2-14 y 2-15.

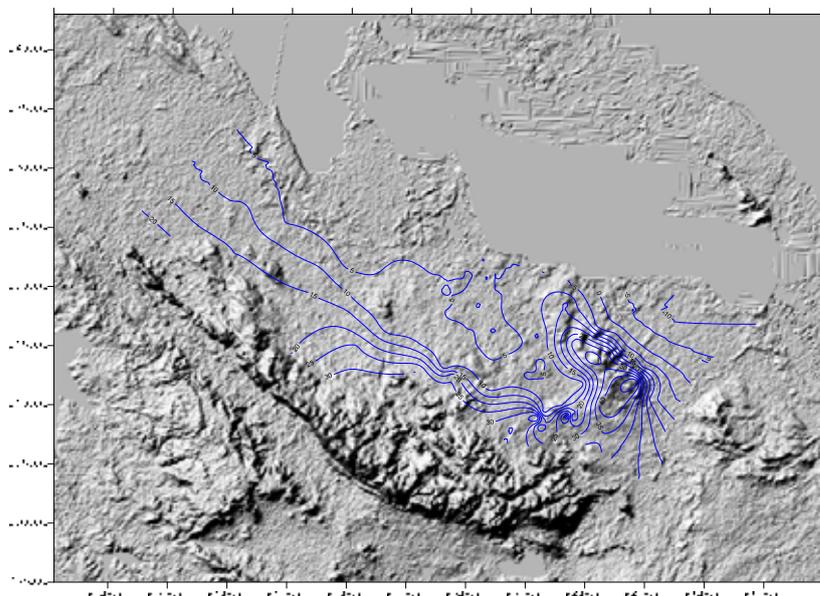


Figura 2-14: Distribución de nivel de agua subterránea en noviembre de 2007 (final de la estación de lluvias)

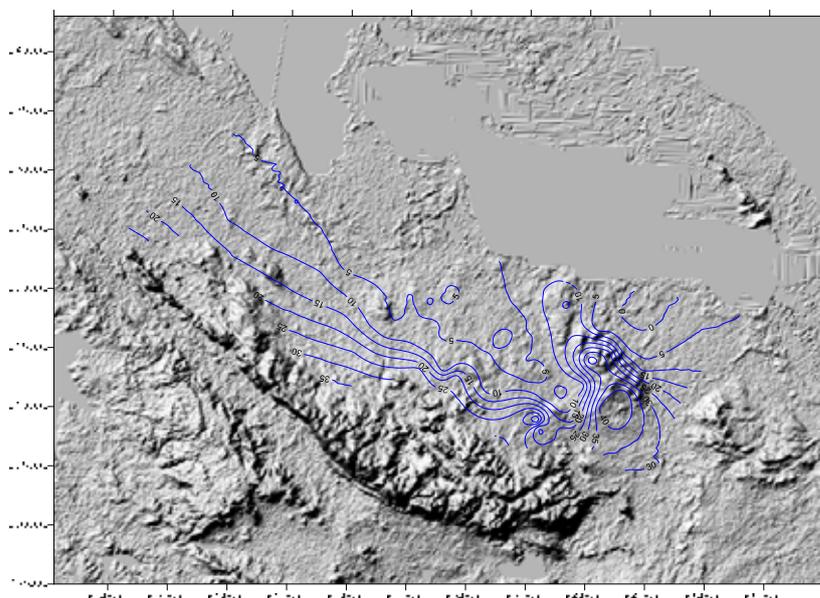


Figura 2-15: Distribución de nivel de agua subterránea en mayo de 2008 (final de la estación seca)

- La superficie del agua subterránea se varía generalmente en función de la topografía. El área oriental con alto nivel de agua subterránea es una zona de colinas un poco

alta con una geología distinta de la de otras áreas. En el medio de esta área oriental y el área central está el límite geológico.

- Comparando los dos periodos, podemos alegar dos lugares donde se observa una variación relativamente grande en el nivel de agua subterránea.
- Uno de ellos es una zona agrícola situada al norte del área donde abundan pozos de riego. En noviembre de 2007 (final de la estación de lluvias) se observa que la línea de 5m de la altitud del nivel de agua subterránea está saliendo hacia la parte central, pero en mayo de 2008 (final de la estación seca) la misma línea está retrocediendo hacia el lado sur. En esta área se comprueba que el nivel de agua subterránea baja en la estación seca.
- El otro lugar es la zona alrededor del centro ciudad de Sola. En el lado sur del centro ciudad de Sola, la línea de 30m de la altitud del nivel de agua subterránea retrocede al final de la estación seca.

2.5 Calidad de agua subterránea

En el estudio de 2007-08 se analizó la calidad del agua subterránea. Los parámetros del análisis son la conductividad eléctrica (CE), pH, Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , CO_3^{2-} , HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , NO_2^- y NH_3^- . En el estudio de junio de 2009 también se midieron en el campo CE, pH y temperatura del agua en 30 pozos con el uso de un sencillo equipo de medición de calidad del agua.

2.5.1 Conductividad eléctrica (CE)

Tabla 2-12 presenta el resumen de las conductividades eléctricas medidas en los pozos piloto conjuntamente por el personal técnico de EIPH Camagüey y expertos japoneses. Asimismo, Figuras 2-16 y 2-17 representan la distribución de valores de CE, medidos en noviembre de 2007 y mayo de 2008 respectivamente.

Tabla 2-2: Conductividad eléctrica en los pozos piloto

| No. de pozo | Altitud | Profundidad del pozo | Nov.88 (estimated**) | nov. - dic., 2007 | mayo - junio, 2009 | | enero - febrero, 2009 | junio, 2009 | julio, 2009 | |
|-------------|---------|----------------------|-------------------------|----------------------|--------------------|-------|---------------------------------------|----------------|-------------|----------|
| | (m) | | (m) | μS/cm | μS/cm | μS/cm | Profundidad de la toma de agua *** | μS/cm | μS/cm | μS/cm |
| 1050 | 12,45 | 25,00 | | | 1.265 | | | 2.508 | | |
| 1053 | 13,91 | 13,05 | 1.306 | | 1.186 | | | 3.300 | | |
| 1242 | 17,78 | 4,80 (4,65) | 1.070 | | 783 | | | 981 | | |
| 2001 | 13,81 | Sellado | | | 1.367 | | 1.542 | 1.856 | | |
| 4680 | 96,36 | 82,00 | | 651 | 675 | | | 652 | | |
| 8394 | 11,90 | 9,00 | | | | | | 1.412 | | |
| 10713 | 21 | - | | 2.203 | 2.203 | | | 1.245 | | |
| 11098 | 52,10 | 30,00 | | | | | | 652 | | |
| 11587 | 48,60 | 28,80 | | | 1.215 | | | 1.110 | | |
| B 1-G | 14,73 | 87,05 | 742 | 436 | 900 | | | 824 | 534 | (-10,97) |
| | | | | | 920 | (-85) | | | 910 | (-36) |
| | | | | | | | | | 929 | (-61) |

| | | | | | | | | | | |
|----------------------------------|-------|------------|-------|--------|--------|-------|--------|--------|------|----------|
| | | | 1.203 | 346 | 427 | | 393 | 1.122 | | |
| B 2-G | 39,97 | 67,00 | | | 1.533 | (-12) | | | | |
| | | | | | 2.096 | (-15) | | | | |
| | | | | | 5.770 | (-60) | | | | |
| B 4-G | 10 | 69,00 | 4.816 | 13.480 | 20.170 | | 28.400 | 10.100 | | |
| | | | | | 34.326 | (-65) | | | | |
| B 7-G | 36,98 | 100,35 | 165 | | 183 | | 429 | 140 | | |
| | | | | | 381 | (-15) | | | | |
| B 9-G | 22,18 | 92,76 | 818 | | 300 | | | 295 | 255 | (-17,45) |
| | | | | | 1.677 | (-30) | | | 833 | (-42,5) |
| | | | | | 3.199 | (-90) | | | 2466 | (-67,5) |
| B10-G | 5,8 | 61,15 | 818 | | 4.062 | | 4.200 | 1.744 | 2562 | (-2) |
| | | | | | 8.323 | (-5) | | | 4500 | (-27) |
| | | | | | 9.639 | (-59) | | | 4200 | (-52) |
| B11-G | 5,27 | 79,32 | 1.573 | | 1.491 | | 1.197 | 1.623 | 1655 | (-2) |
| | | | | | 1.268 | (-10) | | | 2158 | (-27) |
| | | | | | 1.355 | (-15) | | | 2242 | (-52) |
| | | | | | 3.954 | (-78) | | | | |
| B13-G | 10,09 | 95,00 | 1.037 | 1.936 | 1.725 | | 2.914 | 2.701 | | |
| | | | | | 9.354 | (-93) | | | | |
| B14-G | 11,84 | 85? (39)* | 1.384 | | 934 | | 1.038 | 656 | 698 | (-1) |
| | | | | | 1.928 | (-40) | | | 1667 | (-25) |
| | | | | | | | | | 2099 | (-39,4) |
| B15-G | 6,98 | 88,83 | 584 | | 1.634 | | 1.683 | 1.500 | 1497 | (-5) |
| | | | | | 1.635 | (-90) | | | 1407 | (-30) |
| | | | | | | | | | 1509 | (-55) |
| B16-G | 10,40 | 56,66 | 539 | | 1.185 | | 1.051 | 989 | 942 | (-8,78) |
| | | | | | 1.354 | (-50) | | | 1086 | (-33,8) |
| | | | | | | | | | 1075 | (-51) |
| B19-G | 6,06 | 88,50 | | 240 | 1.120 | | 78 | 71 | 61 | (-2,05) |
| | | | | | 1.188 | (-50) | | | 879 | (-27) |
| | | | | | 1.277 | (-90) | | | 1017 | (-52) |
| B21-G | 27 | 140? (24)* | | | 465 | | | 184 | 201 | (-23,17) |
| | | | | | 415 | (-25) | | | - | (-24) |
| NG-81 | 10,41 | - | | 1.387 | 1.302 | | | 1.331 | | |
| NG-98 | 35,90 | - | | 2.050 | 2.639 | | 2.681 | 2.922 | | |
| Pozo perforado o cerca de So-10G | 35 | 28,25 | | | | | | 1,380 | | |
| So2-G | 39 | 107,9 | | 310 | 688 | | | 346 | | |
| So5-G | 33,50 | 39,60 | | | 245 | | | 137 | | |
| So6-G | 31,70 | 37,00 | | 548 | 300 | | | 345 | | |
| So-8G | 5,72 | 8,60 | | 1,044 | 1,044 | | | 1,436 | | |
| So9-G | 4,23 | 4,00 | | 600 | 518 | | | 527 | | |

Relleno **) Cálculo estimado a partir de TDS *** Profundidad desde la boca del pozo

Figura 2-16: Distribución de conductividad eléctrica al final de la estación de lluvias (noviembre de 2007, unidad: $\mu\text{S}/\text{cm}$)

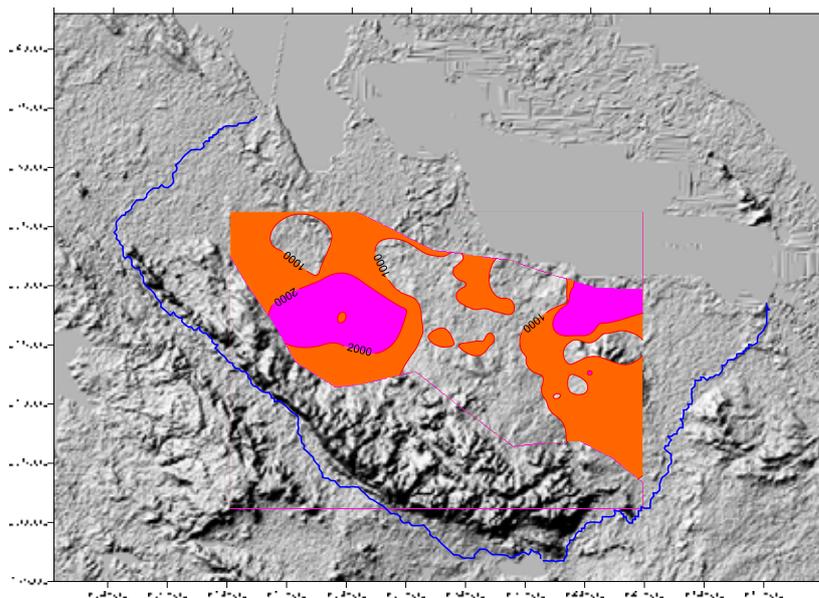


Figura 2-16: Distribución de conductividad eléctrica al final de la estación de lluvias (noviembre de 2007, unidad: $\mu\text{S}/\text{cm}$)

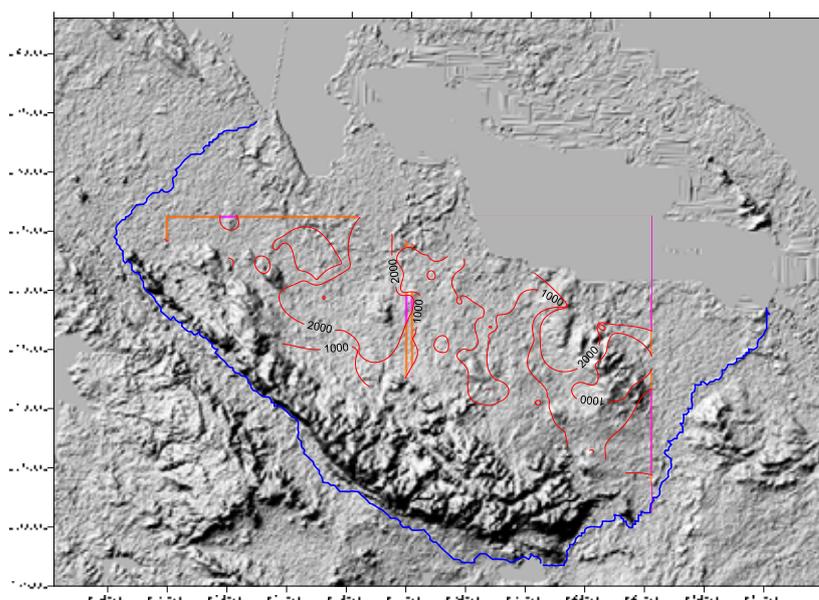


Figura 2-17: Distribución de conductividad eléctrica al final de la estación seca (mayo de 2008, unidad: $\mu\text{S}/\text{cm}$)

- B4-G, ubicado en el lado sur de Playa Piloto, al norte del centro urbano de Sola, presentó valores muy altos de CE: $13480\mu\text{S}/\text{cm}$ en 2007 y $20170\mu\text{S}/\text{cm}$ en 2008. Cuando el personal técnico de EIPH Camagüey y expertos japoneses hicieron juntos la medición en enero y junio de 2009 en el mismo lugar, se dieron 28400 y $10100\mu\text{S}/\text{cm}$ respectivamente, y aun siendo bastante fluctuantes, son valores altos en relación con otros pozos piloto. En el estudio ejecutado en 1988, se registró un valor de $14664\mu\text{S}/\text{cm}$ a una profundidad de 20m de la boca del pozo. El valor CE del pozo piloto B13-G, ubicado a 1.7km de B4-G, fue de $1725\mu\text{S}/\text{cm}$ en 2008 y $2914\mu\text{S}/\text{cm}$ en 2009.
- La zona alrededor de Lombillo, ubicada en el noroeste del área del estudio, presenta un valor CE de $2000\mu\text{S}/\text{cm}$, algo más alto que las demás zonas.

- La parte central norte, donde se concentran pozos piloto, presenta un bajo valor CE de $1000\mu\text{S}/\text{cm}$ aprox.
- De acuerdo con la distribución de valores CE, el área del estudio puede dividirse en 3 grandes zonas, a saber, zona oriental de colinas extendida de norte a este del centro urbano de Sola, zona central donde se concentran pozos de riego, y zona occidental alrededor de Lombillo.

2.5.2 Tendencia de variación de valores CE a largo plazo

Utilizando los valores CE estimados a partir de los valores TDS del estudio de 1988, se elaboró Figura 2-18, que indica la distribución de valores CE en noviembre de 1988. Aun con un limitado número de datos, se indica una tendencia aproximada del área del estudio que presenta para zonas oriental y occidental valores CE algo mayores que en la zona central.

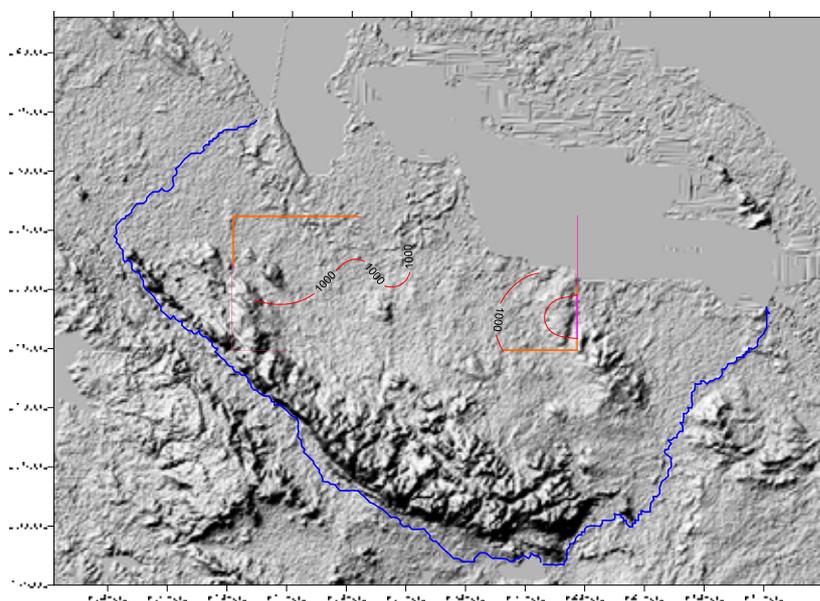


Figura 2-18: Distribución de conductividad eléctrica en noviembre de 1988 (unidad: $\mu\text{S}/\text{cm}$)

A partir de los valores CE medidos conjuntamente por el personal técnico de EIPH Camagüey y expertos japoneses entre junio y julio de 2009, se elaboró Figura 2-19. Aunque la tendencia regional es casi la misma que en 1988, al observarlos detalladamente se puede identificar alguna diferencia. Por lo general aparecen valores más altos, y sobre todo, el alcance de altos valores CE de la zona occidental parece extenderse en dirección sudeste. En la zona oriental de colinas el valor CE de 4816 estimado para B4-G en 1988 aumentó a $10100\mu\text{S}/\text{cm}$ en 2009. Esto nos hace suponer que la salinización del agua subterránea ha avanzado en los últimos 20 años.

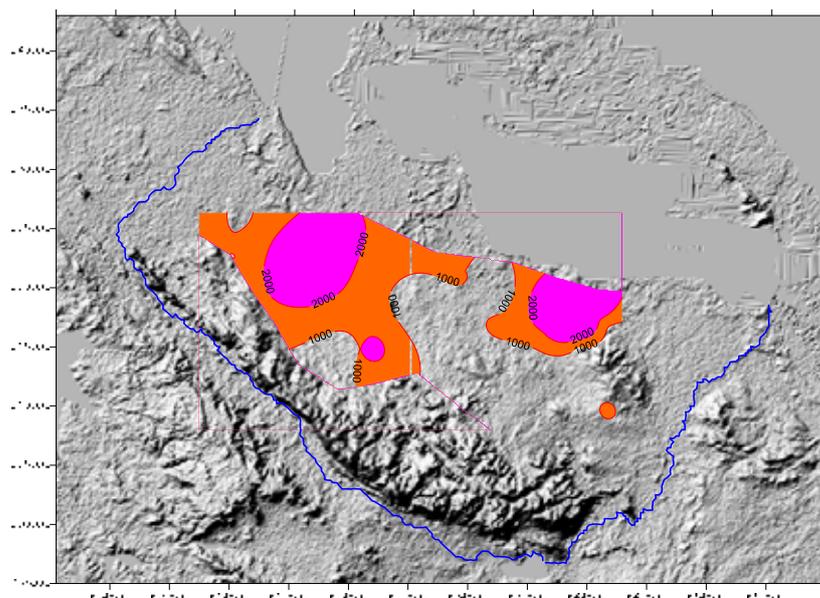


Figura 2-19: Distribución de conductividad eléctrica en junio de 2009 (unidad: $\mu\text{S}/\text{cm}$)

2.6 Análisis hidrológico

2.6.1 Datos meteorológicos

En el presente estudio y análisis se han ordenado los datos de precipitaciones y temperatura utilizando datos meteorológicos proporcionados por EIPH Camagüey y datos oficiales de WMO.

Los datos ordenados se aprovecharon para el cálculo estimado de volumen de recarga de agua subterránea con el uso de modelo de tanque, descrito en el siguiente capítulo.

2.6.2 Observación de caudal fluvial

La ubicación de los puntos de observación de caudal fluvial ejecutada por EIPH Camagüey en el presente proyecto se indica en Figura 2-20 y sus resultados en Tabla 2-3.

Tabla 2-3: Resultados de la observación de caudal fluvial

| No. de punto de observación | No. de línea de medición | Río | Coordenadas | | Resultados del cálculo | | | |
|-----------------------------|--------------------------|--------|-------------|--------|---|--|---------------------------------|-------------|
| | | | X | Y | Superficie de la sección total (m^2) | Caudal total (m^3/s) | Velocidad del flujo medio (m/s) | Año/mes/día |
| 1 | 1M | Máximo | 843040 | 197348 | 3,283 | 0,988 | 0,301 | 2010/09/03 |
| 2 | 2M | | 843798 | 198407 | 10,043 | 2,161 | 0,215 | 2010/09/03 |
| 3 | 3M | | 846621 | 200056 | 4,182 | 0,628 | 0,15 | 2010/08/31 |
| 4 | 4M | | 851400 | 203683 | 7,139 | 2,025 | 0,284 | - |
| 5 | 5M | | 854077 | 211556 | 4,234 | 0,996 | 0,235 | - |
| 6 | 1J | Jigüey | 818022 | 210560 | 3,581 | 0,255 | 0,071 | 2010/08/24 |

| | | | | | | | | |
|----|-----|--|--------|--------|-------|-------|-------|------------|
| 7 | 2J | | 817557 | 210658 | 2,488 | 0,104 | 0,042 | 2010/09/09 |
| 8 | 3J | | 815356 | 212614 | 1,706 | 0,056 | 0,033 | 2010/09/16 |
| 9 | 4J | | 815263 | 212557 | 1,317 | 0,127 | 0,096 | 2010/09/16 |
| 10 | 5J | | 814278 | 213451 | 5,533 | 0,163 | 0,029 | 2010/10/24 |
| 11 | 6J | | 813088 | 214973 | 0,783 | 0,144 | 0,184 | 2010/09/06 |
| 12 | 7J | | 807539 | 219289 | 0,667 | 0,107 | 0,160 | 2010/09/06 |
| 13 | 8J | | 804999 | 223906 | 2,347 | 0,232 | 0,099 | 2010/09/07 |
| 14 | 9J | | 806499 | 226317 | 1,981 | 0,265 | 0,134 | 2010/08/25 |
| 15 | 10J | | 808024 | 227681 | 1,834 | 0,358 | 0,195 | 2010/09/07 |
| 16 | 11J | | 814699 | 231667 | 4,536 | 0,305 | 0,067 | 2010/08/25 |

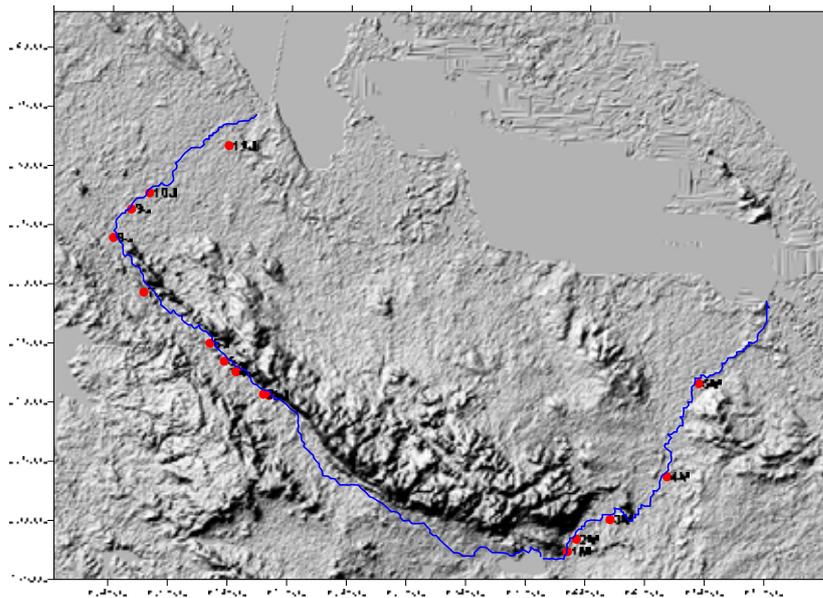


Figura 2-20: Ubicación de los puntos de observación de caudal fluvial

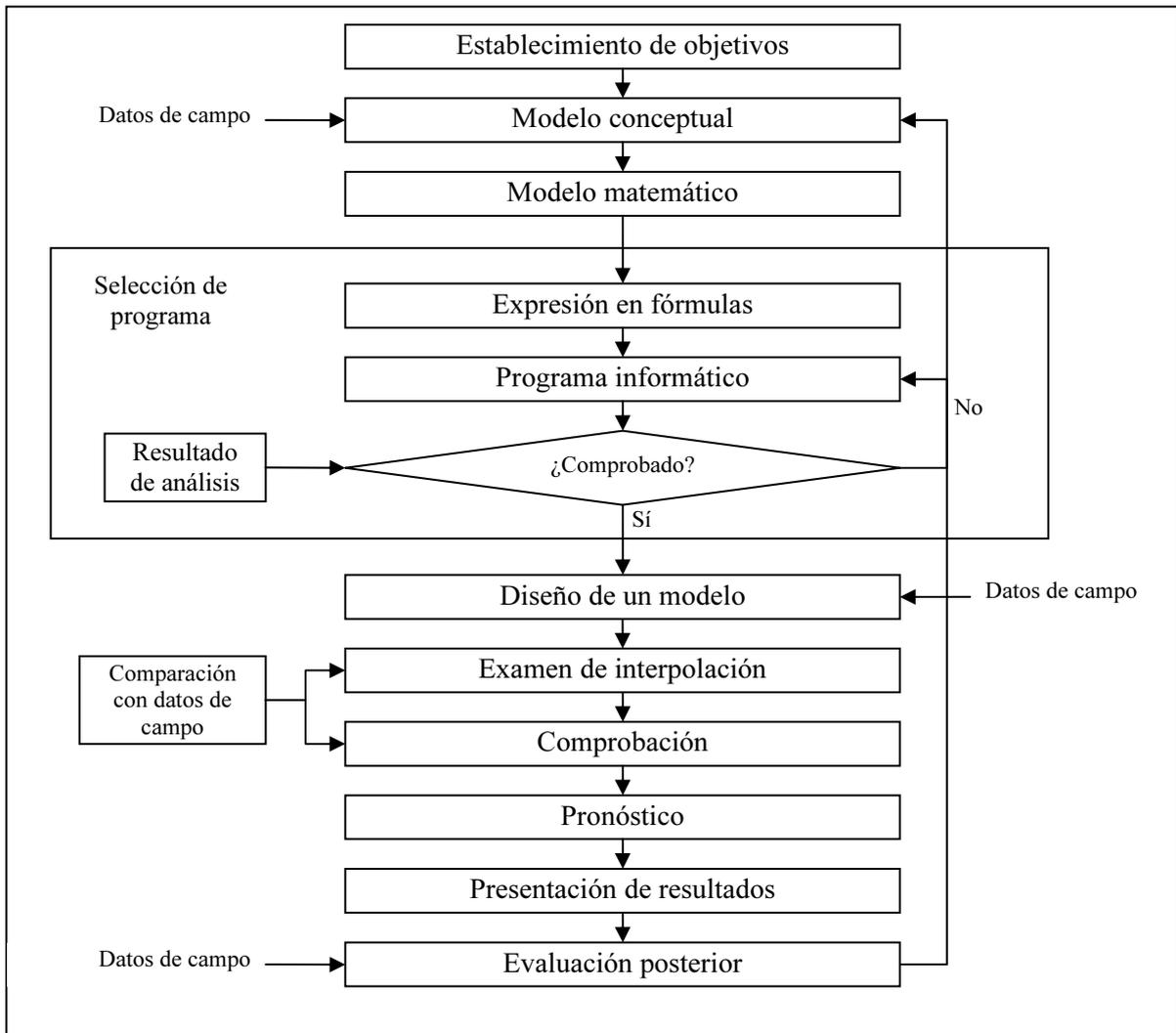
3 Modelo de agua subterránea

3.1 Resumen del modelo de agua subterránea

a. Proceso de elaboración de modelo y códigos utilizados

El modelo de agua subterránea se elaboró según el proceso indicado en Figura 3-1.

En el presente estudio y análisis se seleccionaron códigos de MODFLOW y de SEAWAT para el análisis de movimiento de agua subterránea y traslado de sustancias y se llevó a cabo una capacitación sobre análisis de EFM con códigos FEFLOW.



(Fuente: Modelo de agua subterránea, p.6, traducción supervisada por Katsuyuki Fujinawa)

Figura 3-1: Proceso de elaboración de modelo de agua subterránea

b. Datos utilizados

La siguiente tabla presenta los ítems necesarios para establecer un modelo de agua subterránea y los datos utilizados en el presente proyecto.

Tabla 3-1: Datos utilizados en el modelo de agua subterránea

| Ítem | Datos utilizados |
|--|--|
| Estructura hidrogeológica | Al tiempo que se ordenaban los datos de gráficas prismáticas de columnas proporcionados por GEIPI, se analizó la estructura hidrogeológica utilizando datos geológicos e hidrogeológicos y de prospección geofísica existentes. Posteriormente se corrigió este modelo ajustándolo a los resultados de prospección geofísica y sondeo. |
| Constantes hidrogeológicas | Para los valores iniciales de las constantes hidrogeológicas (coeficiente de permeabilidad y coeficiente de almacenamiento) se adoptaron valores generales estimados de las características de estratos de cada capa acuífera. |
| Volumen de recarga de agua subterránea | Según el análisis del modelo de tanque, se estimaron estimados volúmenes de recarga de agua subterránea en los 36 años desde 1973 hasta 2008. Los datos utilizados en el modelo de tanque son los siguientes: |
| Meteorología (precipitaciones y temperatura) | Precipitaciones: Se adoptaron como datos a ingresar las precipitaciones medias mensuales de 1973 a 2008 en 23 puntos de observación pluvial ubicados en el distrito Sola. Temperatura: Se adoptaron como datos a ingresar las temperaturas medias mensuales de 1973 a 2008 en "CAMAGÜEY AEROPUERTO". |
| Datos de comprobación | Se adoptaron como datos de comprobación los datos de la observación de nivel de agua subterránea de pozos no confinados. |
| Volumen de agua subterránea bombeado | Una vez ordenados los datos de GEARH, se prepararon los datos a ingresar para el modelo. |
| Carga hidráulica inicial | Se hizo un cálculo cuasi-estacionario basado en los niveles de agua subterránea medidos, se comprobó el valor de una distribución estable de niveles de agua y se adoptó como carga hidráulica inicial en el comienzo de cálculo no estacionario. |
| Concentración de sal | Se estimó una distribución de concentraciones de sal a partir de relaciones entre CE y valores de resistividad. |
| Datos de comprobación del modelo | Se adoptaron como datos de comprobación los datos de observación de agua subterránea proporcionados por GEIPI. |

3.2 Estructura de modelo

a. Alcance del análisis y tamaño de la retícula (conjunto de cuadrículas)

Las cuadrículas planas del modelo tridimensional, tal como se indica en Figura 3-2, se definieron de manera que cubrieran el río Máximo que baja por el lado oriental del área objeto, el río Jigüey que desciende por el lado occidental, y la zona de colinas al norte (Dirección X: 804.500 – 860.000, Dirección Y: 195.500 – 235.500). Cada cuadrícula tiene tamaño plano de 500m x 500m (Dirección X: 111 cuadrículas, y Dirección Y: 80 cuadrículas).

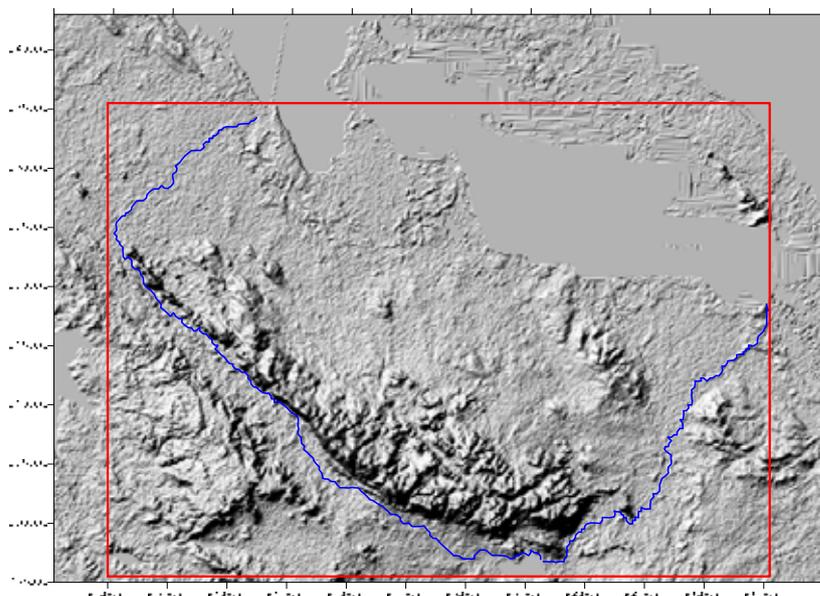


Figura 3-2: Alcance del análisis de modelo de agua subterránea

b. Estructura seccional

La estructura seccional del modelo tridimensional se desglosa en 25 estratos para que pueda plasmarse en relieve la penetración del agua salina en dirección hacia las zonas más profundas, para lo cual se ha dado a cada estrato un espesor de 200m. La altitud de la parte más alta del modelo es de 200m y la más baja, -300m (Figura 3-3).

| LAYER | Elev.(m) |
|-------|----------|
| 1 | 200 |
| 2 | 180 |
| 3 | 160 |
| 4 | 140 |
| 5 | 120 |
| 6 | 100 |
| 7 | 80 |
| 8 | 60 |
| 9 | 40 |
| 10 | 20 |
| 11 | 0 |
| 12 | -20 |
| 13 | -40 |
| 14 | -60 |
| 15 | -80 |
| 16 | -100 |
| 17 | -120 |
| 18 | -140 |
| 19 | -160 |
| 20 | -180 |
| 21 | -200 |
| 22 | -220 |
| 23 | -240 |
| 24 | -260 |
| 25 | -280 |
| | -300 |

Figura 3-3: Estructura seccional del modelo tridimensional

c. Estructura de relieve del modelo tridimensional

De acuerdo con la constitución del modelo tridimensional arriba mencionado, se estableció una estructura de relieve tridimensional del modelo teniendo en cuenta las altitudes topográficas y la distribución de elementos hidrogeológicos (elementos de capa acuífera) en el área de modelo (Figura 3-4).

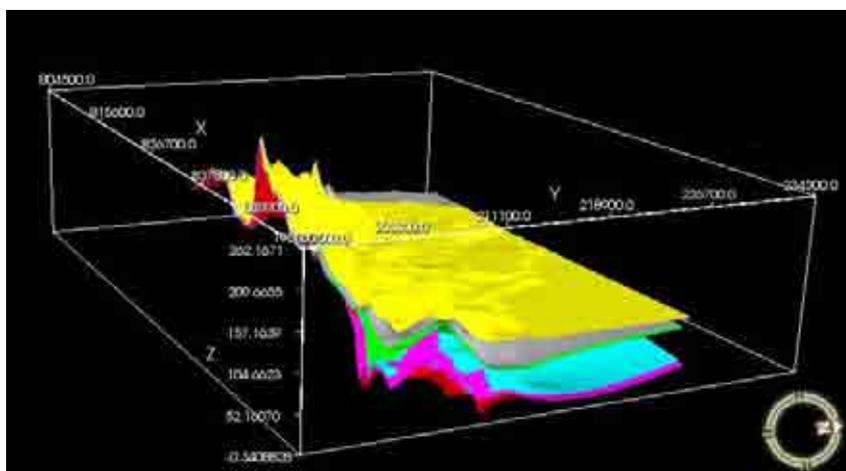


Figura 3-4: Distribución de elementos de capas acuíferas (Capa acuífera A - F)

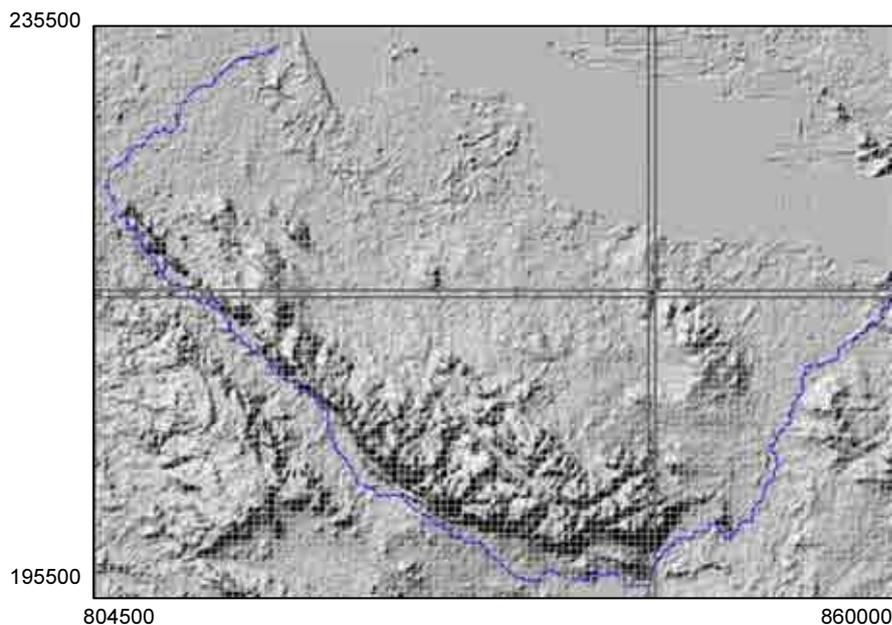


Figura 3-5: Cuadrículas planas del modelo de agua subterránea



Figura 3-6: Ejemplo de estructura de modelo vertical en dirección X (Filas =38)



Figura 3-7: Ejemplo de estructura de modelo vertical en dirección Y (Columnas =78)

3.3 Parámetros del modelo

Para los valores iniciales de las constantes hidrogeológicas del modelo se adoptaron valores generales estimados de las características de estratos de cada capa acuífera, indicadas en Tabla 3-2. Seguidamente se calcularon las constantes hidrogeológicas de cada cuadrícula según la estructura hidrogeológica y se ingresaron en el modelo. Además, se modificaron parámetros para que pudieran reproducir niveles de agua subterránea reales en el cálculo de comprobación.

Tabla 3-2: Valores iniciales de constantes hidrogeológicas por elemento de capa acuífera

| Elemento de capa acuífera | A | B | C | D | E | F |
|---|-----------------|---------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------------|------------------------------------|
| No. de capa acuífera | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Características de estrato | Arcilla y arena | Arena y grava | Marga (Marga y arcilla) | Roca calcárea y arcilla | Roca calcárea (tipo detrítico) | Roca calcárea (básicamente masiva) |
| Coefficiente de permeabilidad en dirección horizontal (HHC) (m/día) | 0,1 | 1000 | 0,001 | 0,005 | 100 | 10 |
| Coefficiente de permeabilidad en dirección vertical (HVC) (m/día) | 0,05 | 500 | 0,0005 | 0,0025 | 50 | 5 |
| Tasa de almacenamiento (S) | 0,01 | 0,0005 | 0,0005 | 0,0005 | 0,0005 | 0,0005 |
| Tasa de almacenamiento específico (SS) | 0,001 | 0,00005 | 0,00001 | 0,00001 | 0,000005 | 0,00001 |
| Tasa de productividad específica (Sy) | 0,15 | 0,3 | 0,1 | 0,1 | 0,2 | 0,14 |
| Tasa de porosidad efectiva (EP) | 0,15 | 0,3 | 0,1 | 0,1 | 0,2 | 0,14 |

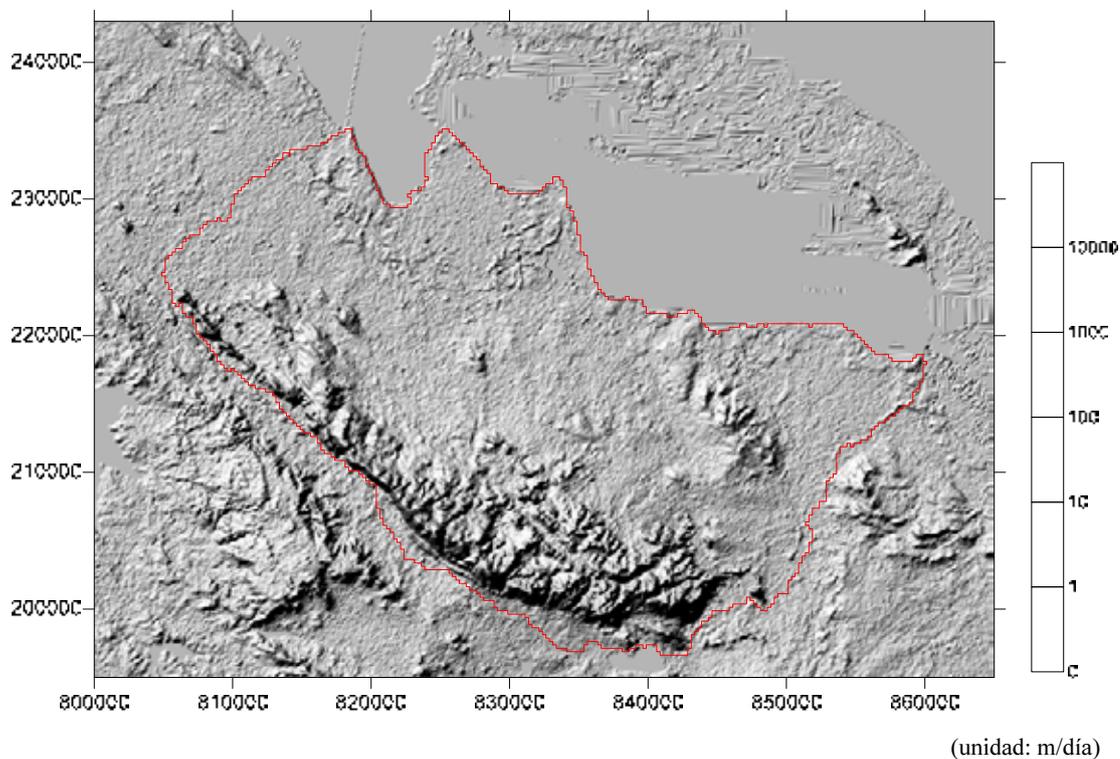


Figura 3-8: Ejemplo de distribución de coeficientes de permeabilidad en dirección horizontal (Estrato no.11)

3.4 Cálculo estimado de volumen de recarga de agua subterránea

Como método de cálculo estimado de volumen de recarga de agua subterránea, que es uno de los datos necesarios para calcular un modelo de agua subterránea, se adoptó el método de análisis de escurrimiento con el modelo de tanque. Como datos a ingresar en el modelo de tanque, son necesarios los datos de precipitaciones y evapotranspiraciones. .

a. Datos de precipitaciones y temperatura

Los datos utilizados en el análisis de modelo de tanque son los siguientes.

- Precipitaciones: Precipitaciones medias mensuales de 1973 a 2008 en 23 puntos de observación pluvial ubicados en el distrito Sola
- Temperatura: Temperaturas medias mensuales de 1973 a 2008 en "CAMAGÜEY AEROPUERTO"

b. Cálculo estimado de posible volumen de evapotranspiración

En el presente proyecto se estimó un posible volumen de evapotranspiración con el uso del método Thornthwaite. Este método se aplica ampliamente en los sectores de meteorología e hidrología y es una fórmula empírica que tiene como variables la temperatura y las horas de sol. Tabla 3-3 presenta los resultados del cálculo estimado.

Tabla 3-3: Ejemplo del cálculo estimado de posible volumen de evapotranspiración (1999 - 2008)

| | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 |
|------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Enero | 7,4 | 6,1 | 5,8 | 7,4 | 6,3 | 7,5 | 6,9 | 7,2 | 8,7 | 7,7 |
| Febrero | 6,1 | 6,9 | 8,5 | 7,3 | 9,0 | 9,3 | 6,4 | 7,0 | 8,1 | 8,7 |
| Marzo | 9,0 | 8,9 | 9,6 | 9,8 | 12,3 | 10,3 | 12,0 | 9,7 | 9,6 | 10,5 |
| Abril | 12,7 | 10,9 | 11,3 | 11,4 | 10,5 | 11,9 | 12,3 | 12,0 | 11,8 | 10,8 |
| Mayo | 12,2 | 12,8 | 11,9 | 13,7 | 14,9 | 15,4 | 15,6 | 14,7 | 13,2 | 14,9 |
| Junio | 13,9 | 14,2 | 13,7 | 15,0 | 14,6 | 16,0 | 15,8 | 15,0 | 15,4 | 15,3 |
| Julio | 15,4 | 15,9 | 14,9 | 16,0 | 16,1 | 16,4 | 16,8 | 16,1 | 16,6 | 16,2 |
| Agosto | 15,0 | 14,7 | 15,6 | 15,4 | 15,4 | 16,2 | 16,2 | 15,7 | 16,0 | 15,9 |
| Septiembre | 13,8 | 14,4 | 13,4 | 12,6 | 14,0 | 14,5 | 14,7 | 14,5 | 13,6 | 14,0 |
| Octubre | 11,9 | 9,9 | 12,0 | 13,4 | 13,2 | 12,6 | 12,1 | 13,5 | 12,7 | 11,9 |
| Noviembre | 7,8 | 9,2 | 7,5 | 10,0 | 9,6 | 9,0 | 9,6 | 9,4 | 9,0 | 7,9 |
| Diciembre | 6,2 | 7,9 | 8,3 | 9,0 | 7,7 | 8,1 | 8,1 | 9,8 | 8,7 | 7,2 |
| Promedio | 10,9 | 11,0 | 11,0 | 11,7 | 12,0 | 12,3 | 12,2 | 12,0 | 12,0 | 11,8 |

(unidad: cm/mes)

c. Resultados del cálculo estimado de volumen de recarga de agua subterránea

Los parámetros del modelo de tanque fueron identificados comparando la fluctuación del nivel de agua subterránea con la del nivel de agua calculado en el pozo piloto, No.1053,

(Figura 3-9). Las especificaciones del pozo No.1053 se presentan en Tabla 3-4. Este pozo tiene poca profundidad, por lo que aparentemente se está midiendo el nivel de agua subterránea no confinada, y existe para ello relativamente buena cantidad de datos de observación. Con el uso del modelo cuyos parámetros están identificados, se hizo el cálculo estimado de la evapotranspiración real y del volumen de recarga de agua subterránea (Tablas 3-5 y 3-6). Debido a que para el cálculo de modelo de agua subterránea se utiliza una unidad mensual, el volumen de evapotranspiración se calcula también mensualmente.

Tabla 3-4: Especificaciones del pozo No.1053

| No. | No. del pozo | Coordenadas | | Profundidad del pozo (m) | Longitud de las instalaciones del pozo (m) |
|-----|--------------|-------------|-----------|--------------------------|--|
| | | X | Y | | |
| 32 | 1053 | 832302,36 | 214970,09 | 13,05 | 13,91 |

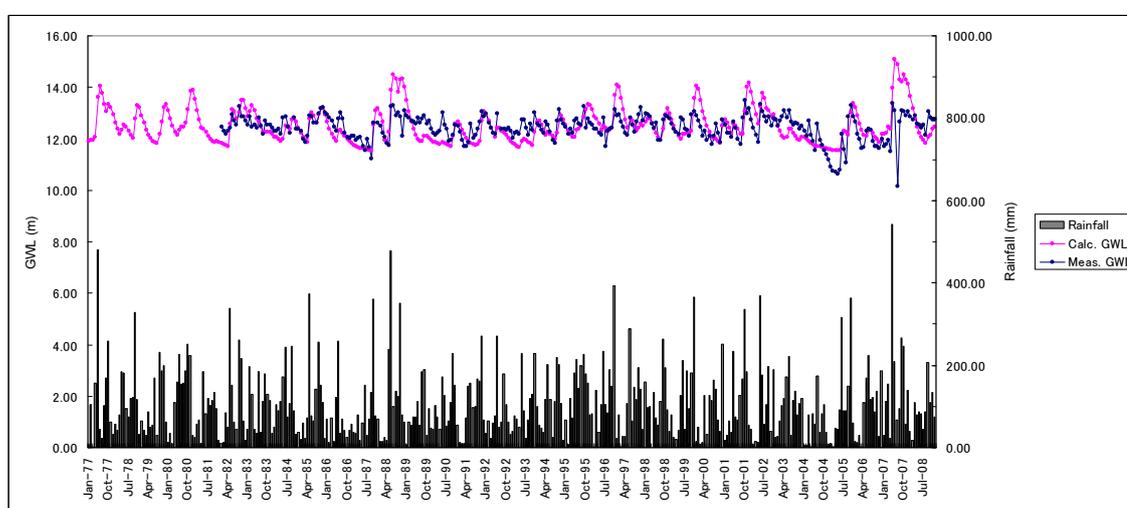


Figura 3-9: Resultados de la comprobación del análisis de modelo de tanque

Tabla 3-4: Ejemplo del cálculo estimado del volumen real de evapotranspiración (1999-2008)

| | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 |
|------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|
| Enero | 74,30 | 61,29 | 57,51 | 74,24 | 28,25 | 27,67 | 9,95 | 13,08 | 71,39 | 0,00 |
| Febrero | 26,79 | 22,86 | 48,29 | 8,55 | 65,81 | 5,63 | 1,29 | 31,05 | 81,38 | 0,00 |
| Marzo | 20,78 | 13,64 | 63,55 | 14,04 | 102,28 | 79,25 | 47,42 | 3,11 | 95,80 | 3,44 |
| Abril | 42,81 | 109,16 | 36,46 | 12,93 | 105,07 | 1,76 | 44,46 | 109,55 | 55,61 | 0,00 |
| Mayo | 122,34 | 41,74 | 118,81 | 136,52 | 148,89 | 82,90 | 91,91 | 146,86 | 132,44 | 0,00 |
| Junio | 138,86 | 127,64 | 126,96 | 149,85 | 146,26 | 56,73 | 157,64 | 149,85 | 153,85 | 0,00 |
| Julio | 78,11 | 113,55 | 66,37 | 118,06 | 71,40 | 163,82 | 161,30 | 157,38 | 165,69 | 0,00 |
| Agosto | 149,85 | 147,10 | 126,39 | 103,49 | 114,42 | 41,73 | 88,69 | 121,69 | 100,25 | 0,00 |
| Septiembre | 111,02 | 144,00 | 133,56 | 126,40 | 136,90 | 82,03 | 147,41 | 86,86 | 135,98 | 67,13 |
| Octubre | 119,31 | 70,60 | 120,45 | 72,91 | 78,37 | 105,69 | 121,44 | 135,00 | 126,70 | 20,81 |
| Noviembre | 77,85 | 40,09 | 75,12 | 99,98 | 95,63 | 37,47 | 95,99 | 26,51 | 90,21 | 65,63 |
| Diciembre | 62,06 | 79,30 | 83,48 | 66,32 | 77,24 | 8,58 | 48,16 | 97,65 | 87,43 | 33,07 |

(unidad: mm/mes)

Tabla 3-5: Ejemplo del cálculo estimado del volumen de recarga de agua subterránea
 (1999 -2008)

| | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|--------|------|
| Enero | 10,24 | 37,92 | 29,79 | 26,28 | 6,69 | 6,98 | 0,04 | 10,71 | 10,99 | 1,28 |
| Febrero | 5,12 | 17,81 | 14,16 | 12,58 | 3,34 | 3,49 | 0,02 | 5,35 | 13,08 | 0,70 |
| Marzo | 2,56 | 8,77 | 7,08 | 6,29 | 1,67 | 1,74 | 0,01 | 2,68 | 24,65 | 0,46 |
| Abril | 1,28 | 8,85 | 3,54 | 3,14 | 4,28 | 0,87 | 0,00 | 1,34 | 11,84 | 0,28 |
| Mayo | 1,66 | 4,43 | 30,78 | 59,68 | 9,71 | 0,44 | 0,00 | 6,32 | 108,28 | 0,13 |
| Junio | 19,30 | 2,21 | 14,60 | 60,34 | 26,94 | 0,22 | 39,46 | 24,69 | 109,81 | 0,03 |
| Julio | 9,43 | 1,11 | 7,30 | 27,90 | 12,87 | 2,48 | 18,51 | 11,86 | 52,81 | 0,00 |
| Agosto | 13,95 | 4,98 | 3,65 | 13,31 | 6,44 | 1,24 | 9,08 | 5,93 | 24,51 | 0,00 |
| Septiembre | 6,97 | 4,17 | 10,20 | 24,00 | 3,22 | 0,62 | 4,99 | 2,96 | 44,17 | 2,82 |
| Octubre | 19,19 | 2,08 | 63,13 | 11,55 | 1,61 | 0,31 | 63,18 | 1,66 | 65,52 | 0,37 |
| Noviembre | 88,41 | 1,04 | 82,75 | 28,06 | 3,63 | 0,15 | 47,51 | 0,83 | 42,33 | 3,57 |
| Diciembre | 64,34 | 43,76 | 55,41 | 13,38 | 13,95 | 0,08 | 22,13 | 22,75 | 38,34 | 1,62 |

(unidad: mm/mes)

3.5 Cálculo estimado de volumen de agua subterránea bombeado

El volumen de agua subterránea bombeado en el distrito Sola se estimó sumando y ordenando por mes y por cuadrícula los datos del volumen bombeado de cada instalación de bombeo de enero de 2002 a agosto de 2010, proporcionados por GEARH.

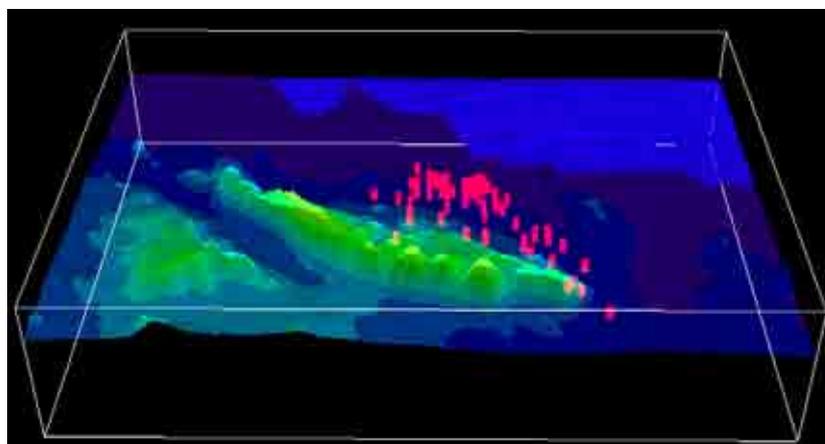


Figura 3-10: Distribución de pozos productores en el distrito Sola

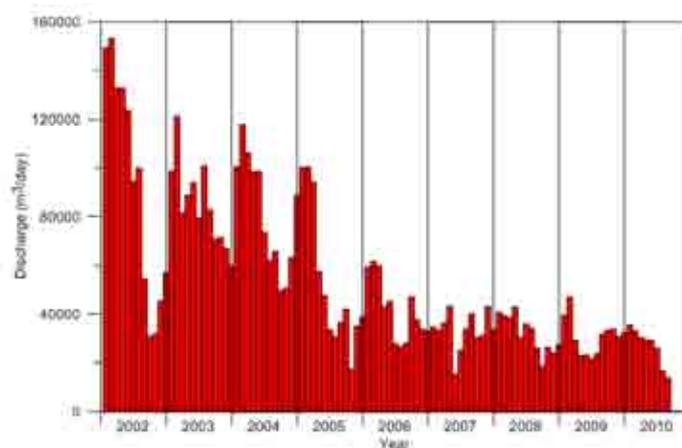


Figura 3-11: Volumen mensual de bombeo de agua subterránea en el área analizada (distrito Sola) (2002-2010)

3.6 Carga hidráulica inicial

Para el nivel de agua inicial ingresado en el modelo se hizo un cálculo cuasi-estacionario basado en los niveles de agua subterránea medidos, mencionados en el capítulo anterior, se comprobó el valor de una distribución estable de niveles de agua, y se adoptó como carga hidráulica inicial en el comienzo de cálculo no estacionario.

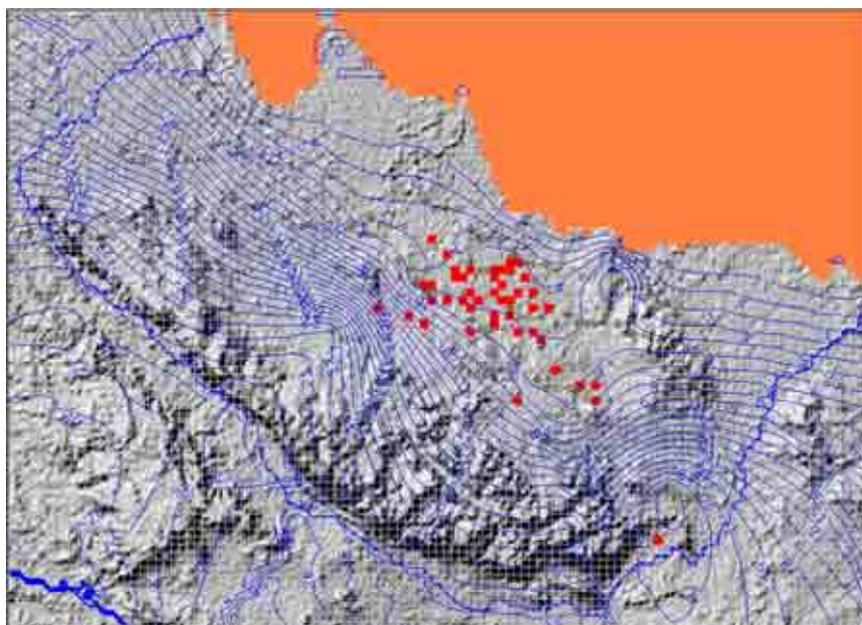


Figura 3-12: Ejemplo de carga hidráulica inicial (Estrato No.11)

3.7 Distribución de concentraciones de sal

Se hizo cálculo estimado de una distribución inicial de concentraciones de sal a ingresar en el modelo de agua subterránea, según el siguiente procedimiento.

- Paso 1: Cuantificación de la distribución de resistividades basada en los resultados de la prospección electromagnética mencionada en el capítulo anterior.
- Paso 2: Por lo general, existe la siguiente relación entre la conductividad eléctrica (CE) y la concentración de sal.
 - ◆ 4.000 mS/m = 35.000 ppm (mg/kg)
 - ◆ 1 mS/m = 10 µS/cm = 8,75 mg/kg = 0,00875 g/kg
- Paso 3: Entre la conductividad eléctrica (CE) y la resistividad medidas en el distrito Sola se observa la siguiente relación.
 - ◆ $CE = \text{pow}(\text{Resis}, -0,5922685154) * 2339,419888$ (CE: mS/m, Resistividad: ohm-m)

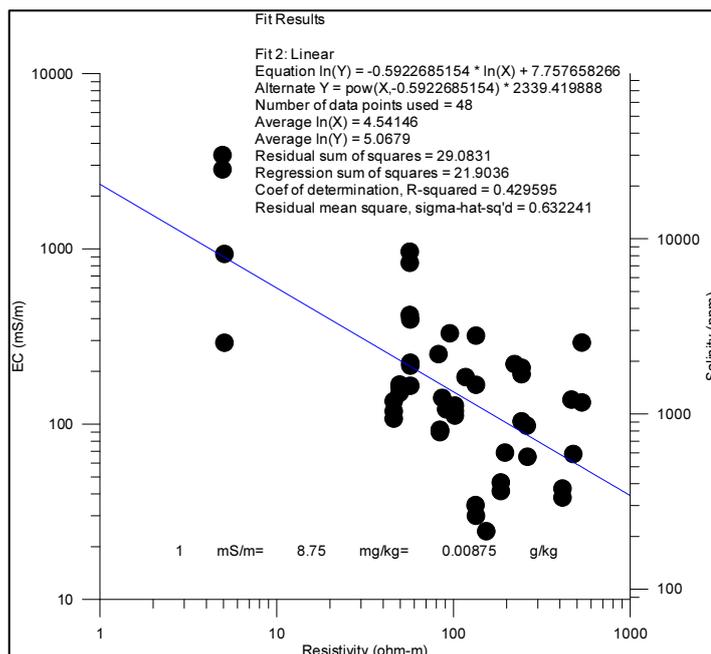


Figura 3-13: Relación entre la conductividad eléctrica (CE) y la resistividad

- Paso 4: A partir de los pasos 2 y 3, se establece la siguiente relación.
 - ◆ Salinidad: $\text{pow}(\text{Resistividad} - 0,5922685154) * 2339,419888 * 8,75$
(Salinidad: ppm, Resistividad: ohm-m)
- Paso 5: A partir de la distribución de resistividades cuantificada en paso 1 y la fórmula de paso 4, se estima la concentración de sal a ingresar en el modelo de agua subterránea.

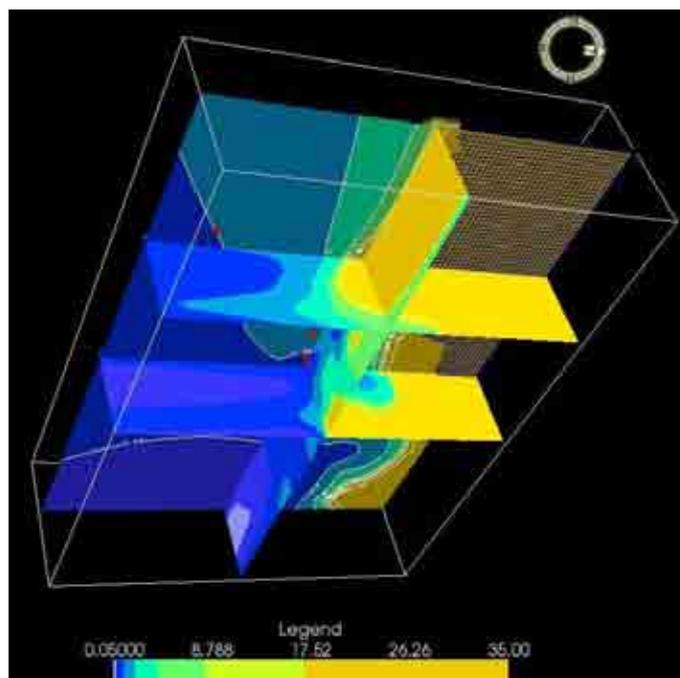


Figura 3-14: Ejemplo de cálculo estimado de distribución inicial de concentraciones de sal

3.8 Examen de interpolación

Una vez ingresadas en cada una de las cuadrículas la carga hidráulica inicial y la concentración de sal inicial arriba mencionadas, junto con el volumen de recarga de agua subterránea y el volumen bombeado entre enero de 2002 y agosto de 2010 (104 meses), se hizo un cálculo de comprobación utilizando MODFLOW-96. La unidad del cálculo es mensual (104 pasos) y el modelo fue comprobado comparando la variación del nivel de agua subterránea observado en pozos piloto y la variación del nivel de agua calculado. Figura 3-15 presenta un ejemplo de comprobación.

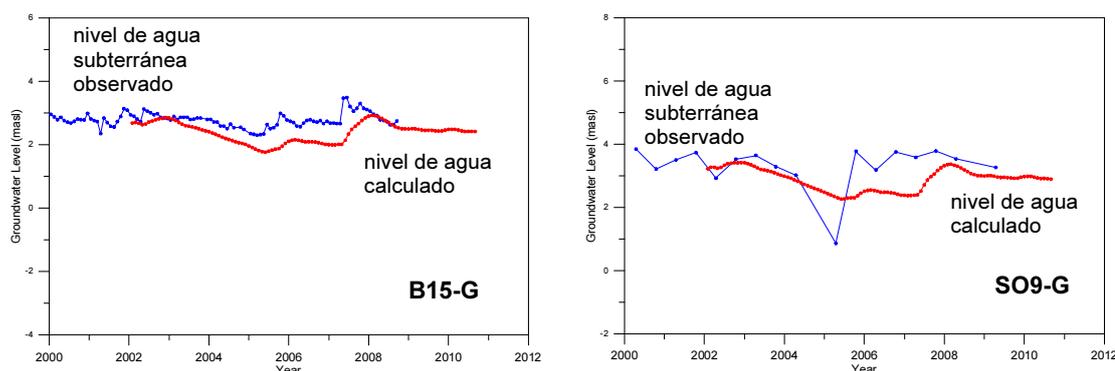


Figura 3-15: Ejemplo de comparación de la variación del nivel de agua subterránea medido con la variación de la carga hidráulica calculada (Cálculo según MODFLOW-96)

En el cálculo comprobante arriba mencionado, una vez que la carga hidráulica calculada haya reproducido el nivel de agua subterránea medido, se hizo un análisis del flujo de densidad utilizando SEAWAT bajo las mismas condiciones y fue reproducida la distribución de

concentraciones de sal.

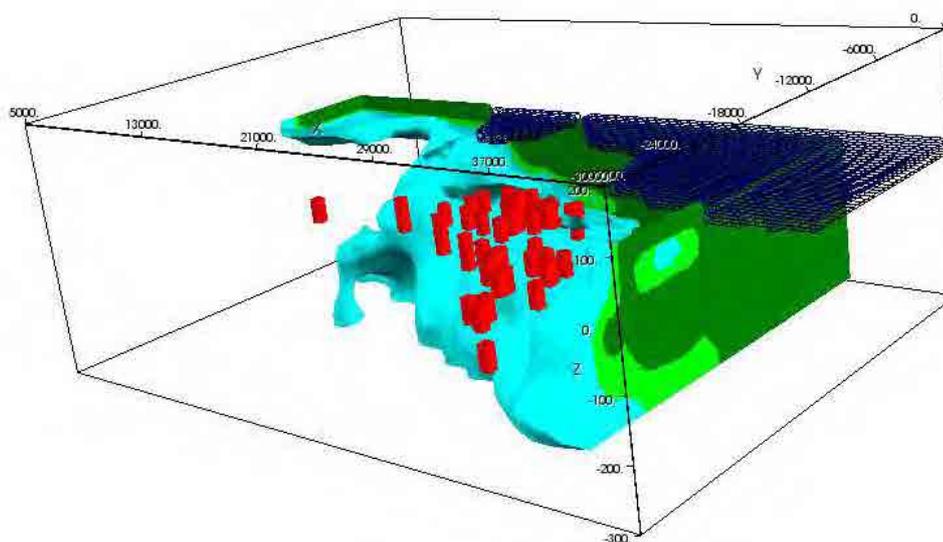


Figura 3-16: Ejemplo de distribución de concentraciones de sal reproducida con un examen de interpolación

4 Análisis y predicción

4.1 Escenario de análisis y predicción

En el análisis y predicción, tomando el volumen de recarga de agua subterránea y el volumen bombeado como factores variables, se hicieron cálculos para 6 casos con combinaciones de ambos factores, tal como se indica en Tabla 4-1. El periodo de la predicción es de 100 meses (100 pasos) entre septiembre de 2010 y diciembre de 2018. Los factores indicados en Tabla 4-1 se definen a continuación.

- Promedio del volumen de recarga de agua subterránea: El valor medio mensual de 8 años entre 2002 y 2009 se repite durante el periodo de predicción.
- Disminución del volumen de recarga de agua subterránea: Se establece que el volumen de recarga mensual de agua subterránea sea un 80% del valor medio arriba mencionado.
- Aumento del volumen de recarga de agua subterránea: Se establece que el volumen de recarga mensual de agua subterránea sea un 120% del valor medio arriba mencionado.
- Mantenimiento del actual volumen bombeado: El valor mensual del último año del periodo entre septiembre de 2009 y agosto de 2010 se repite durante el periodo de predicción
- Recuperación del volumen bombeado: Aunque el volumen bombeado va disminuyendo año tras año desde 2002 hasta 2009, dentro del periodo de predicción el escenario contempla que el volumen bombeado en 2018, último año del periodo de predicción, recuperará el nivel de 2002. Concretamente, se establece que volumen bombeado en 2011 = volumen bombeado en 2009, volumen bombeado en 2012 = volumen bombeado en 2008, volumen bombeado en 2013 = volumen bombeado en 2007, ... , volumen bombeado en 2018 = volumen bombeado en 2002.

Tabla 4-1: Escenario de análisis y predicción

| | Mantenimiento del actual volumen bombeado | Recuperación del volumen bombeado |
|------------------------------------|---|-----------------------------------|
| Promedio del volumen de recarga | Caso 1 | Caso 2 |
| Disminución del volumen de recarga | Caso 3 | Caso 4 |
| Aumento del volumen de recarga | Caso 5 | Caso 6 |

4.1.1 Análisis y predicción según MODFLOW-96

Los resultados del cálculo de predicción de la variación de nivel de agua subterránea con un análisis de escorrentía de agua subterránea utilizando MODFLOW-96 se presentan a continuación.

La Figura 4-1 indica un ejemplo de cálculo de la variación de la distribución de nivel de agua subterránea del estrato No.11 (principal estrato de toma de agua para pozos productores). Esta variación de nivel de agua subterránea representa la diferencia entre el nivel de agua subterránea en diciembre de 2018, última etapa del análisis y predicción, y el nivel de agua subterránea en diciembre de 2009, en pleno periodo de cálculo de comprobación. La Figura

4-2 presenta la variación de la distribución de nivel de agua subterránea del estrato No.17 (a -120 - -140m de altitud), donde se teme la entrada de agua salina hacia la parte interior si se vuelve excesivo el volumen bombeado.

Figura 4-3 presenta la variación de nivel de agua subterránea en B15-G y SO9-G, dados como ejemplos de resultados de comprobación en la cláusula de examen de interpolación, bajo las condiciones de predicción de Tabla 4-1.

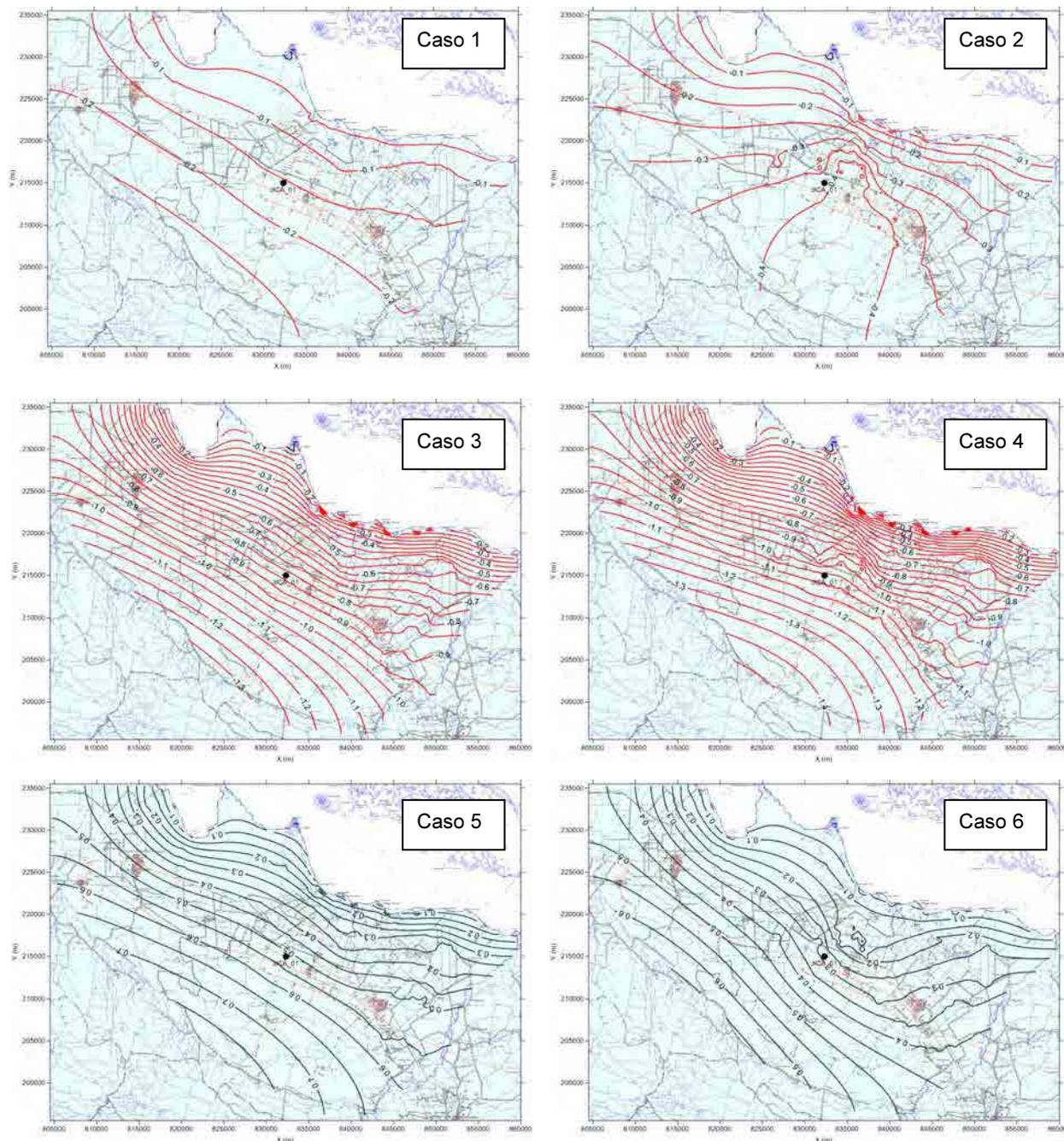


Figura 4-1: Ejemplo de la variación de la distribución de nivel de agua subterránea según el cálculo hecho utilizando MODFLOW-96 (Estrato No.11, comparación entre diciembre de 2018 y diciembre de 2009)

(unidad: m, Línea roja: bajada del nivel de agua subterránea, Línea negra: subida del nivel de agua subterránea)

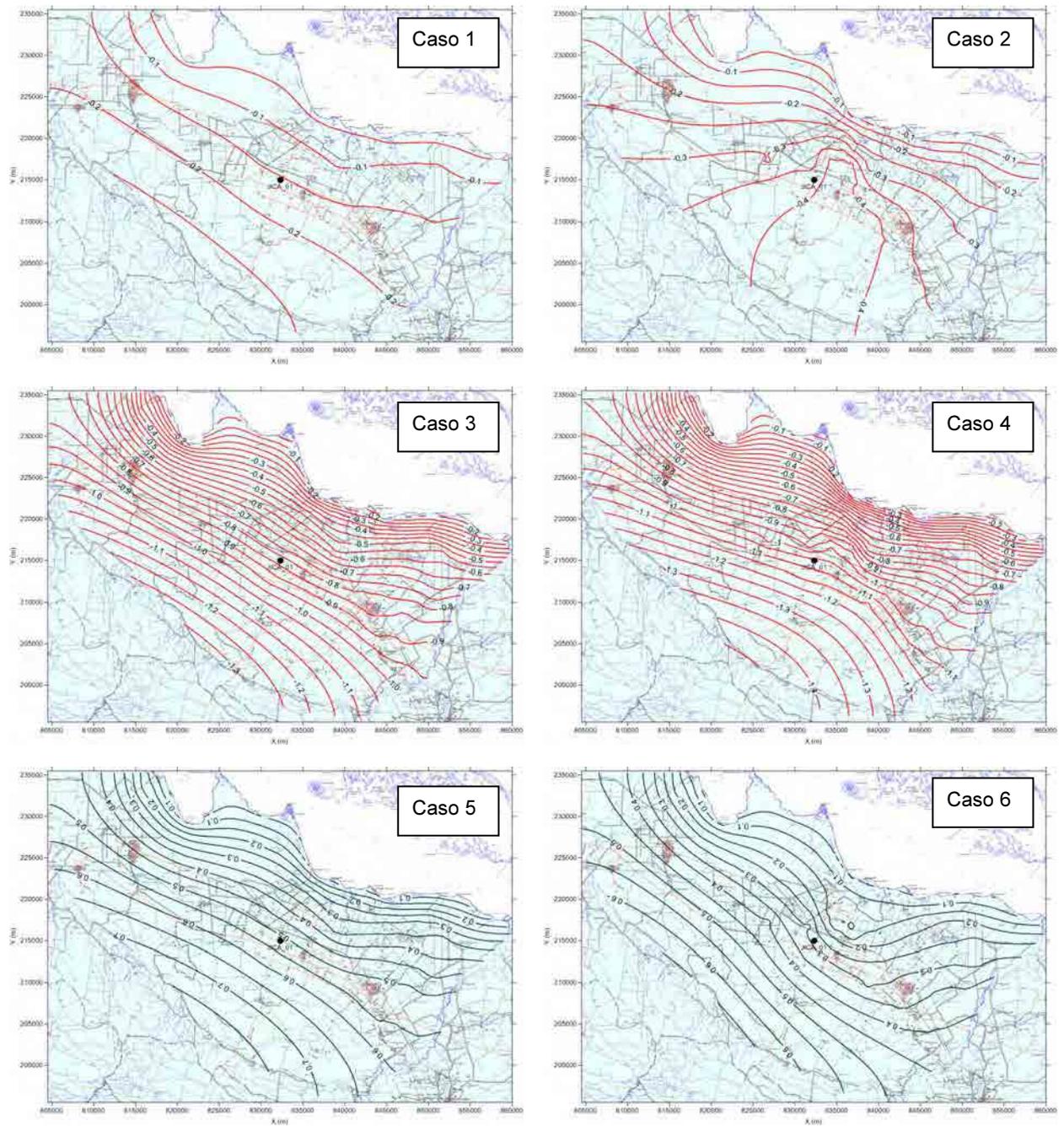


Figura 4-2: Ejemplo de la variación de la distribución de nivel de agua subterránea según el cálculo hecho utilizando MODFLOW-96 (Estrato No.17, comparación entre diciembre de 2018 y diciembre de 2009)

(unidad: m, Línea roja: bajada del nivel de agua subterránea, Línea negra: subida del nivel de agua subterránea)

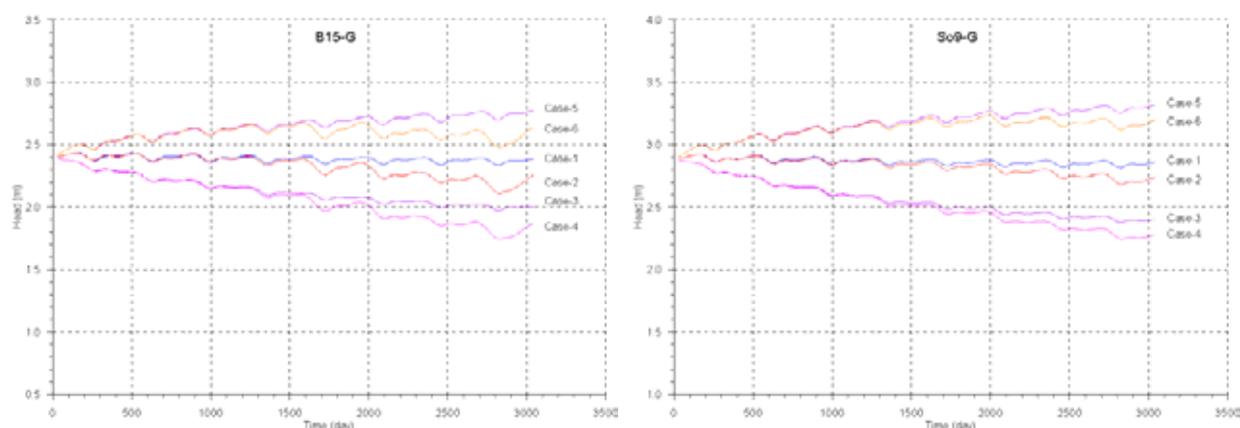


Figura 4-3: Ejemplo de la predicción de la variación del nivel de agua subterránea, basado en un escenario de predicción (Resultados del cálculo hecho utilizando MODFLOW-96)

4.1.2 Análisis y predicción según SEAWAT

a. Nivel de agua subterránea

SEAWAT es un acoplamiento de modelo de movimiento de agua subterránea (MODFLOW) y modelo de transporte (MT3DMS). Mientras que MODFLOW, que es la base, hace cálculos de movimiento del flujo con una determinada densidad fija, SEAWAT los hace con una densidad variable, por lo que presenta niveles de agua subterránea distintos a los calculados con el mencionado MODFLOW-96. Según la experiencia hasta la fecha, el cálculo hecho con SEAWAT suele presentar mayor variación de nivel de agua subterránea en comparación con el de MODFLOW.

Las Figuras 4-4 y 4-5 presentan la distribución de nivel de agua subterránea del estrato No.11 y el No.17 en la última etapa del análisis y predicción (diciembre de 2018) de cada caso de predicción, indicado en la tabla 4-1. Asimismo, las Figuras 4-6 y 4-7 indican el nivel de agua subterránea en diciembre de 2018, última etapa del análisis y predicción, y la diferencia con el nivel de agua subterránea en diciembre de 2009, que corresponde al periodo del cálculo comprobante.

b. Distribución de agua salina

Al igual que la distribución del nivel de agua subterránea medido arriba mencionada, la distribución de concentración de sal en el estrato No.11 y el No.17 en la última etapa (diciembre de 2018) de cada caso de predicción, calculado con SEAWAT se presentan en las Figuras 5-8 y 5-9.

Las Figuras 5-10 y 5-11 muestran la concentración de sal en diciembre de 2018 y la diferencia con la concentración de sal en diciembre de 2009.

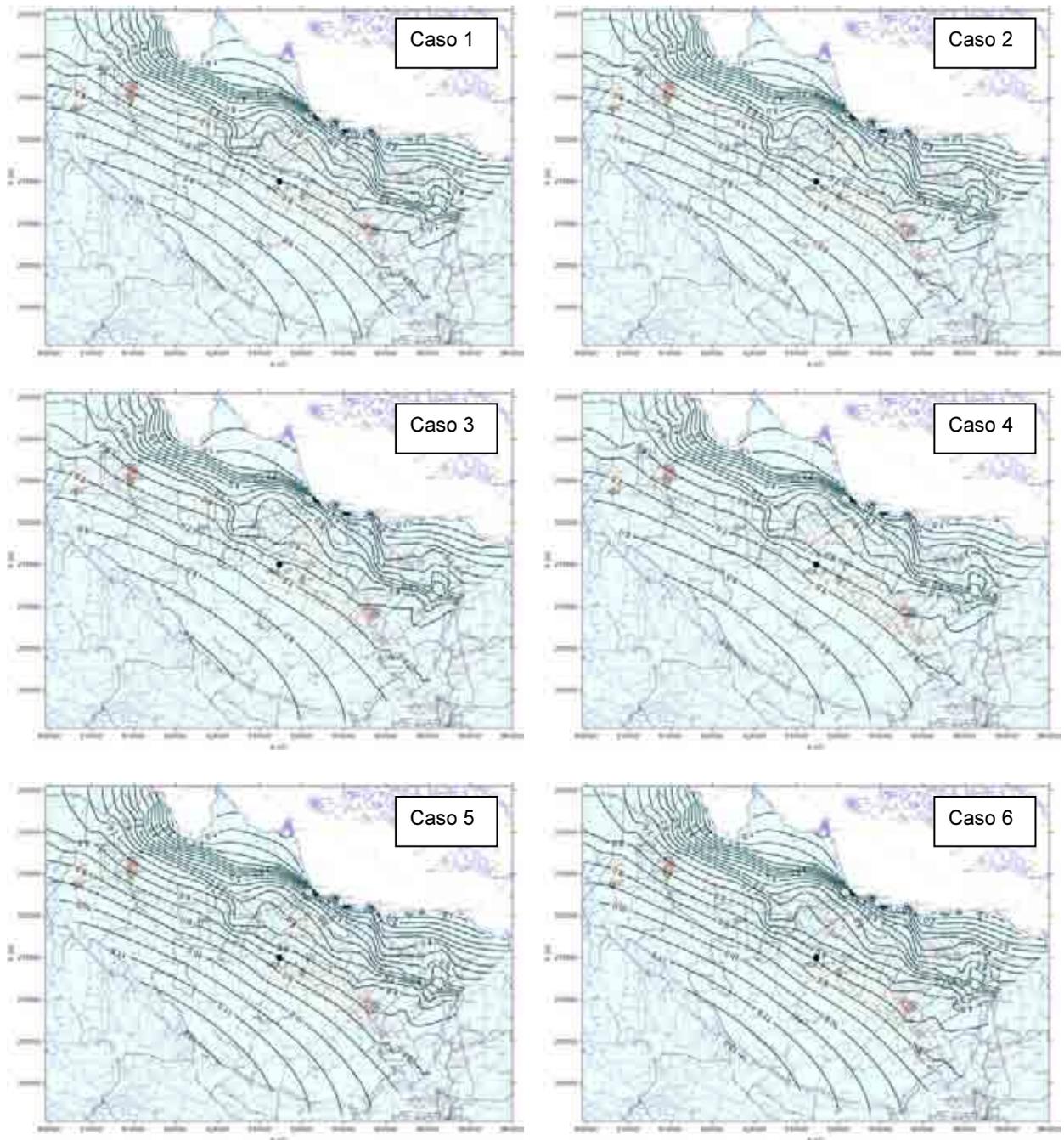


Figura 4-4: Ejemplo de la distribución de nivel de agua subterránea según el cálculo
hecho utilizando SEAWAT

(Unidad: m de altitud)

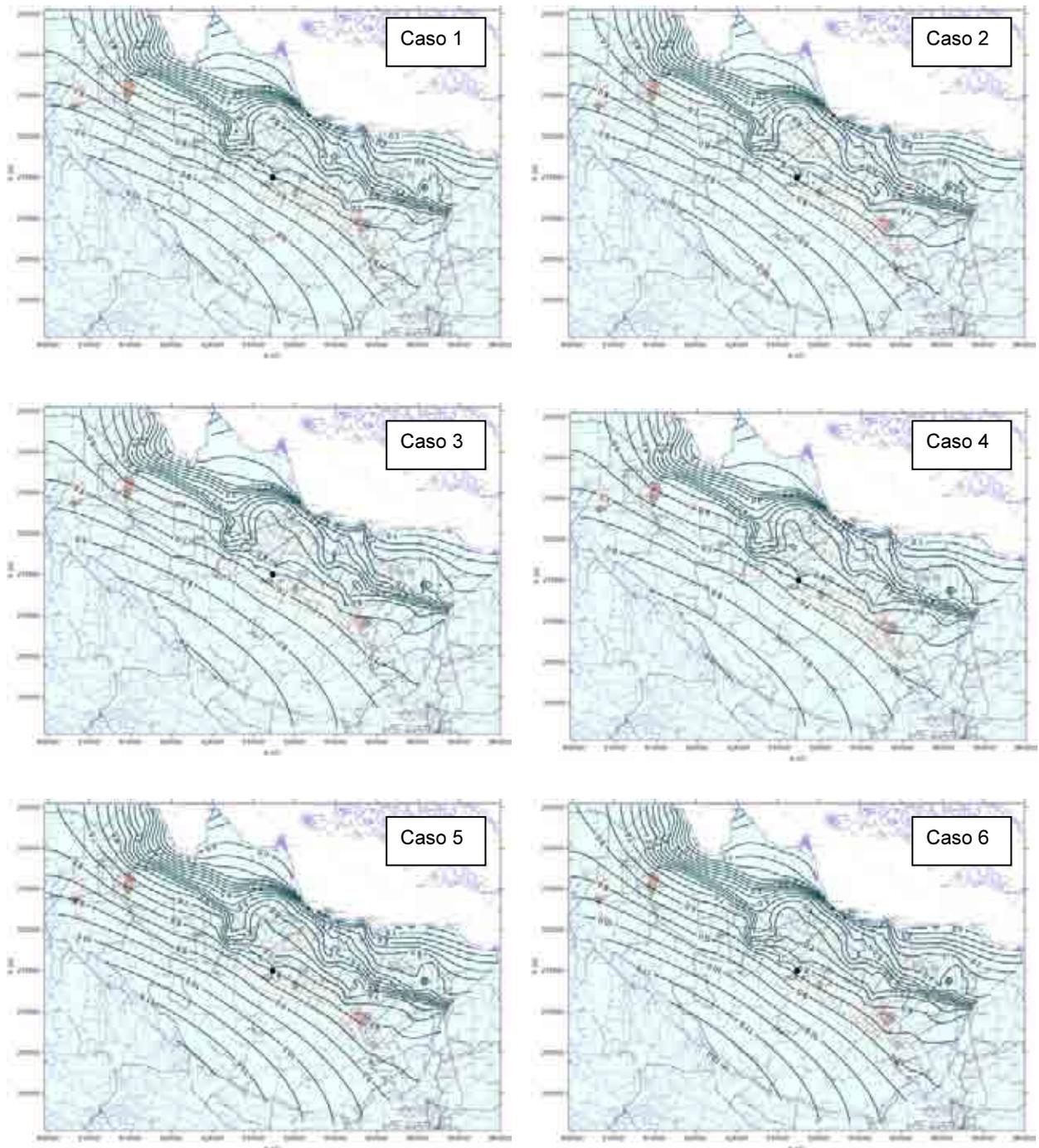


Figura 4-5: Ejemplo de la distribución de nivel de agua subterránea según el cálculo hecho utilizando SEAWAT (Estrato No.17, diciembre de 2018)

(Unidad: m de altitud)

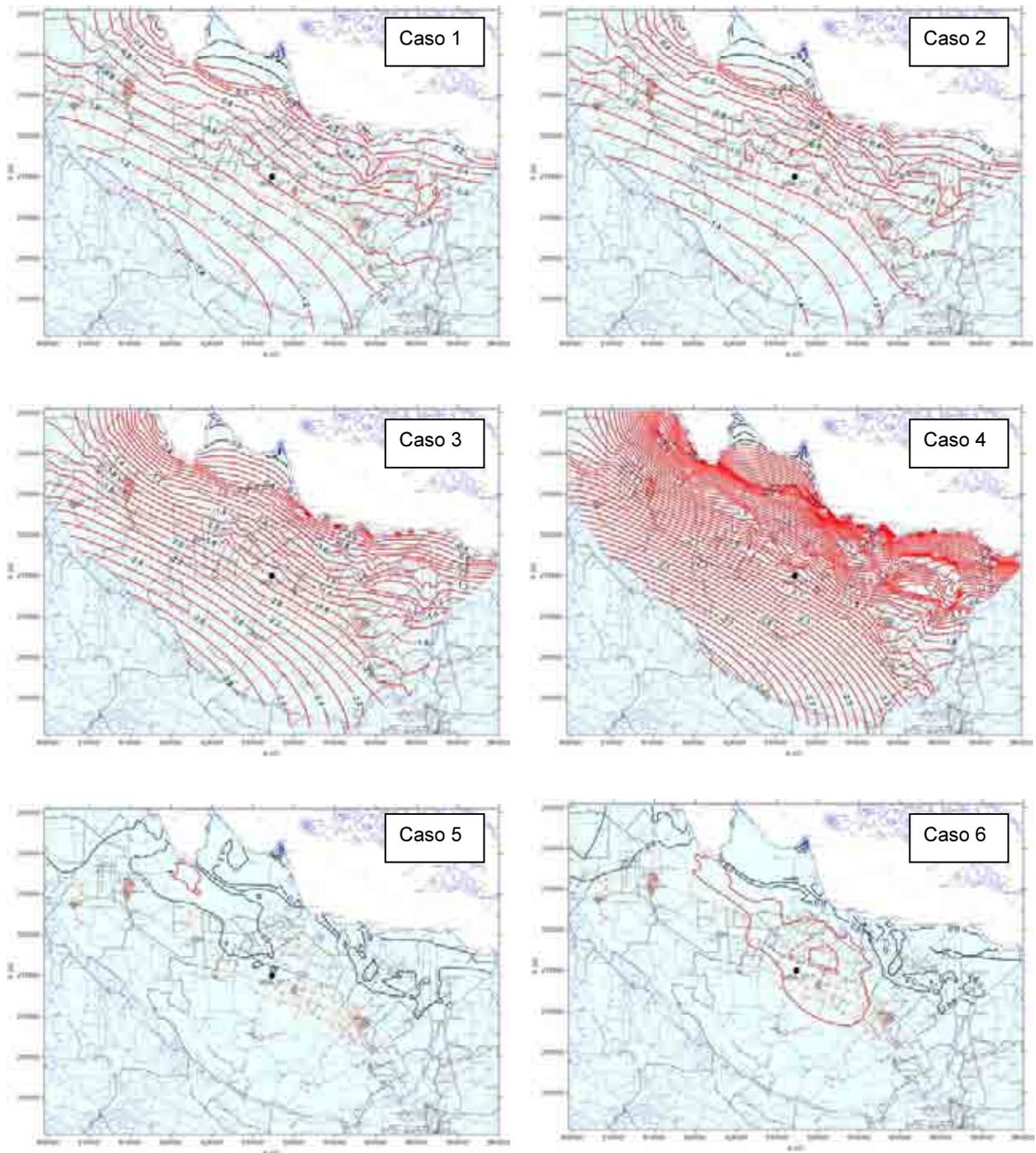


Figura 4-6: Ejemplo de la variación de la distribución de nivel de agua subterránea según el cálculo hecho utilizando SEAWAT (Estrato No.11: Comparación de diciembre de 2018 y diciembre de 2009)

(unidad: m, Línea roja: bajada del nivel de agua subterránea, Línea negra: subida del nivel de agua subterránea)

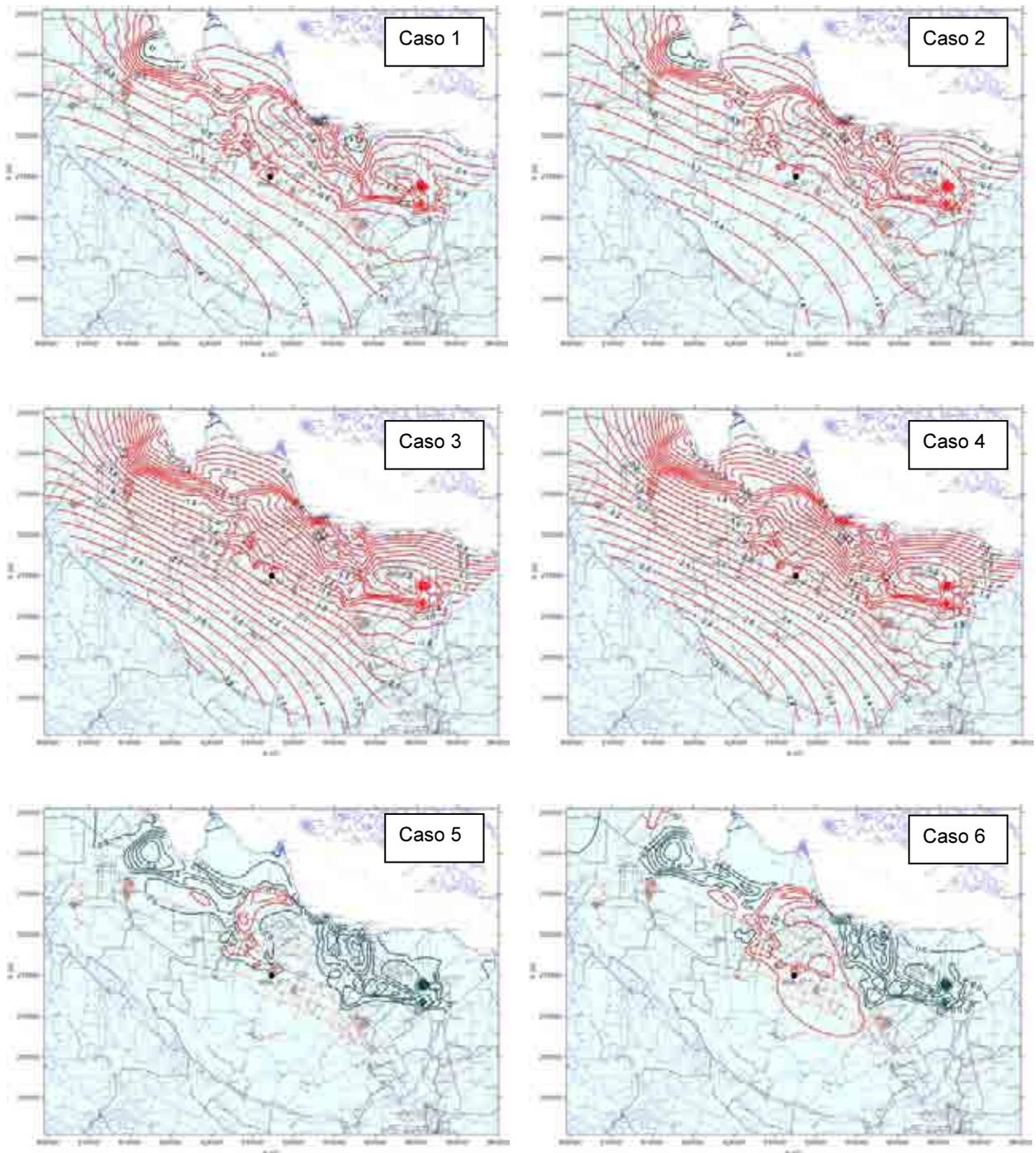


Figura 4-7: Ejemplo de la variación de la distribución de nivel de agua subterránea según el cálculo hecho utilizando SEAWAT (Estrato No.17: Comparación de diciembre de 2018 y diciembre de 2009)

(unidad: m, Línea roja: bajada del nivel de agua subterránea, Línea negra: subida del nivel de agua subterránea)

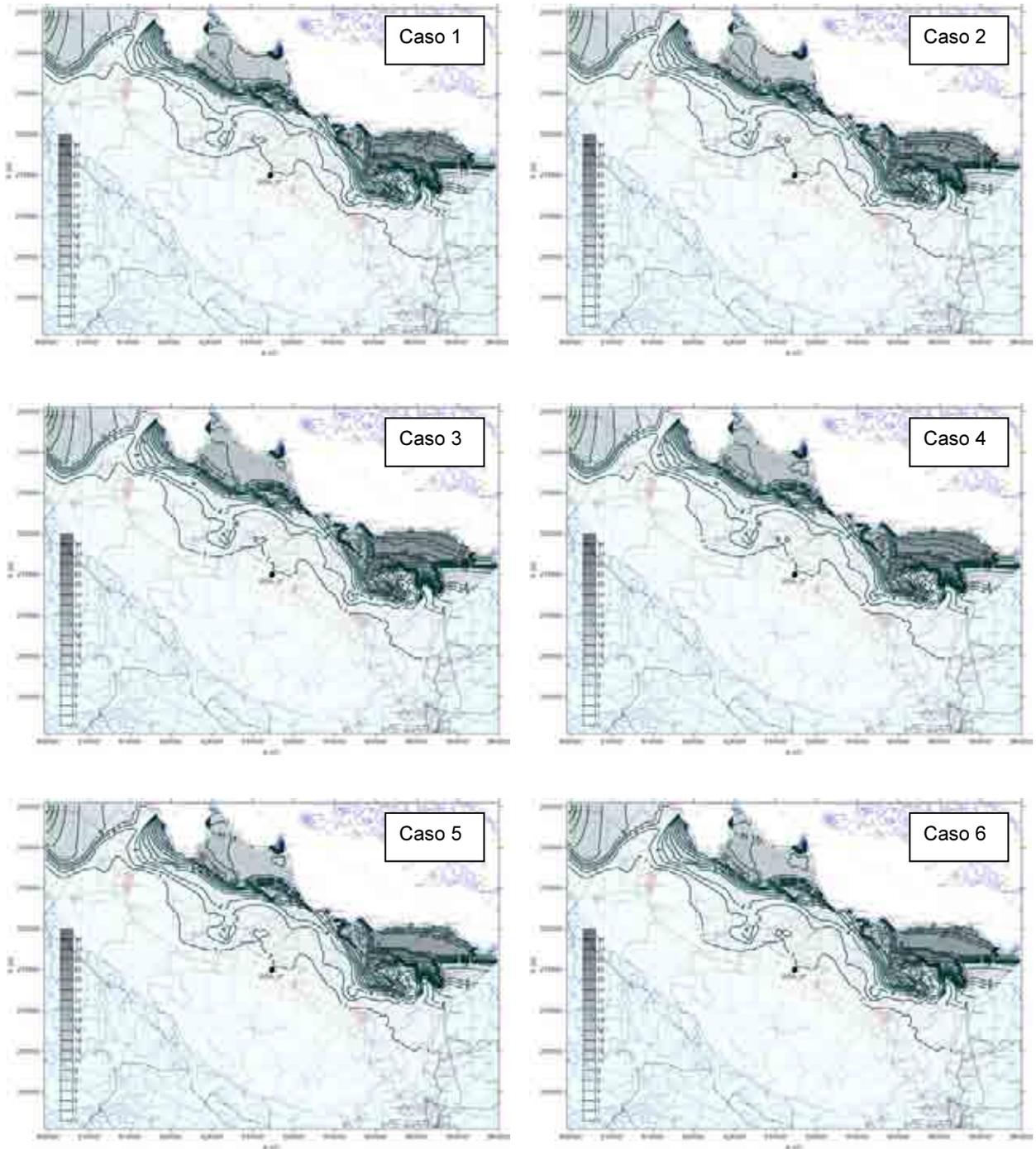


Figura 4-8: Ejemplo de la distribución de concentración de sal según el cálculo hecho utilizando SEAWAT (Estrato No.11: diciembre de 2018)

(Unidad: kg/m^3)

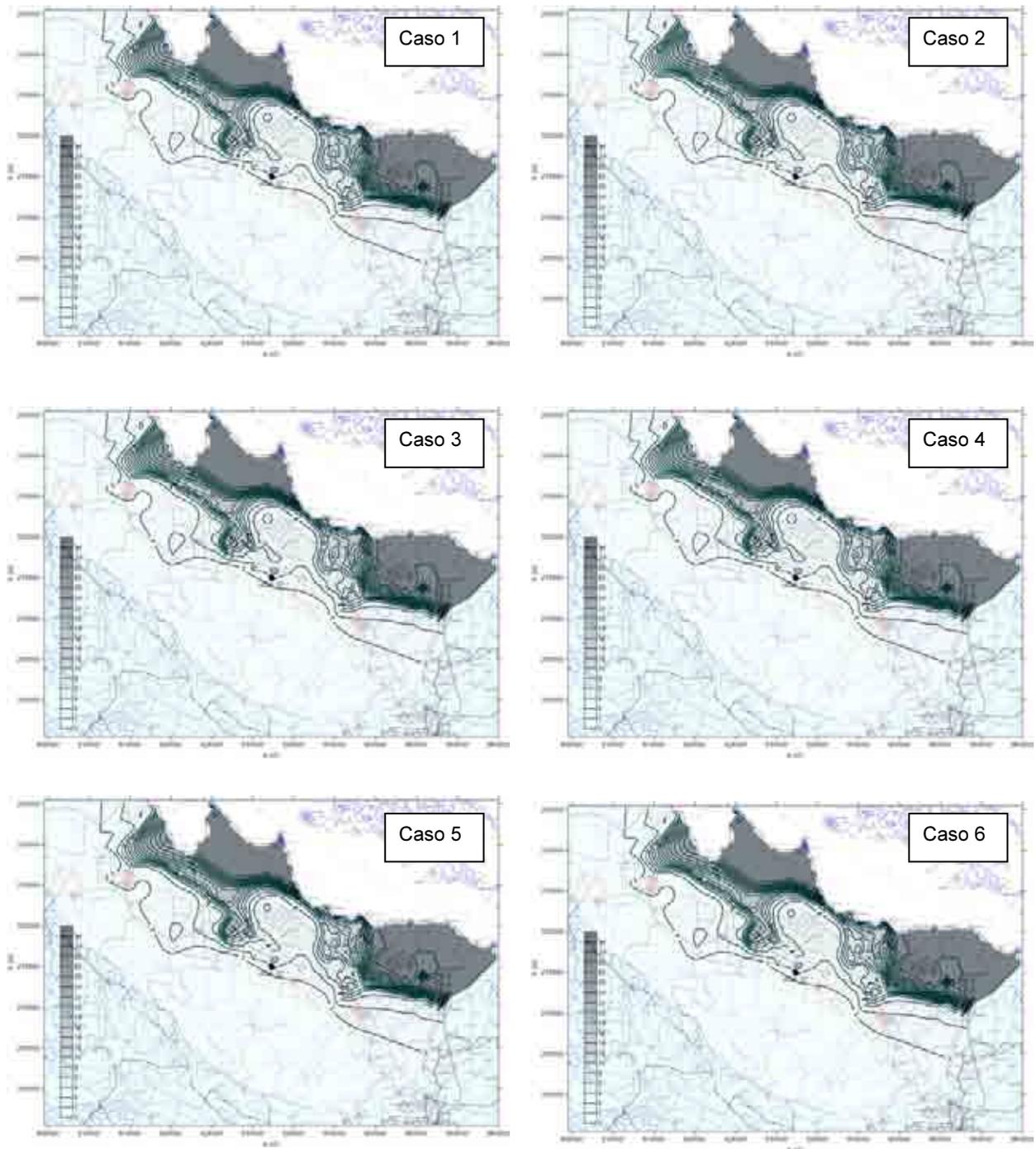


Figura 4-9: Ejemplo de la distribución de concentración de sal según el cálculo hecho utilizando SEAWAT (Estrato No.17: diciembre de 2018)

(Unidad: kg/m^3)

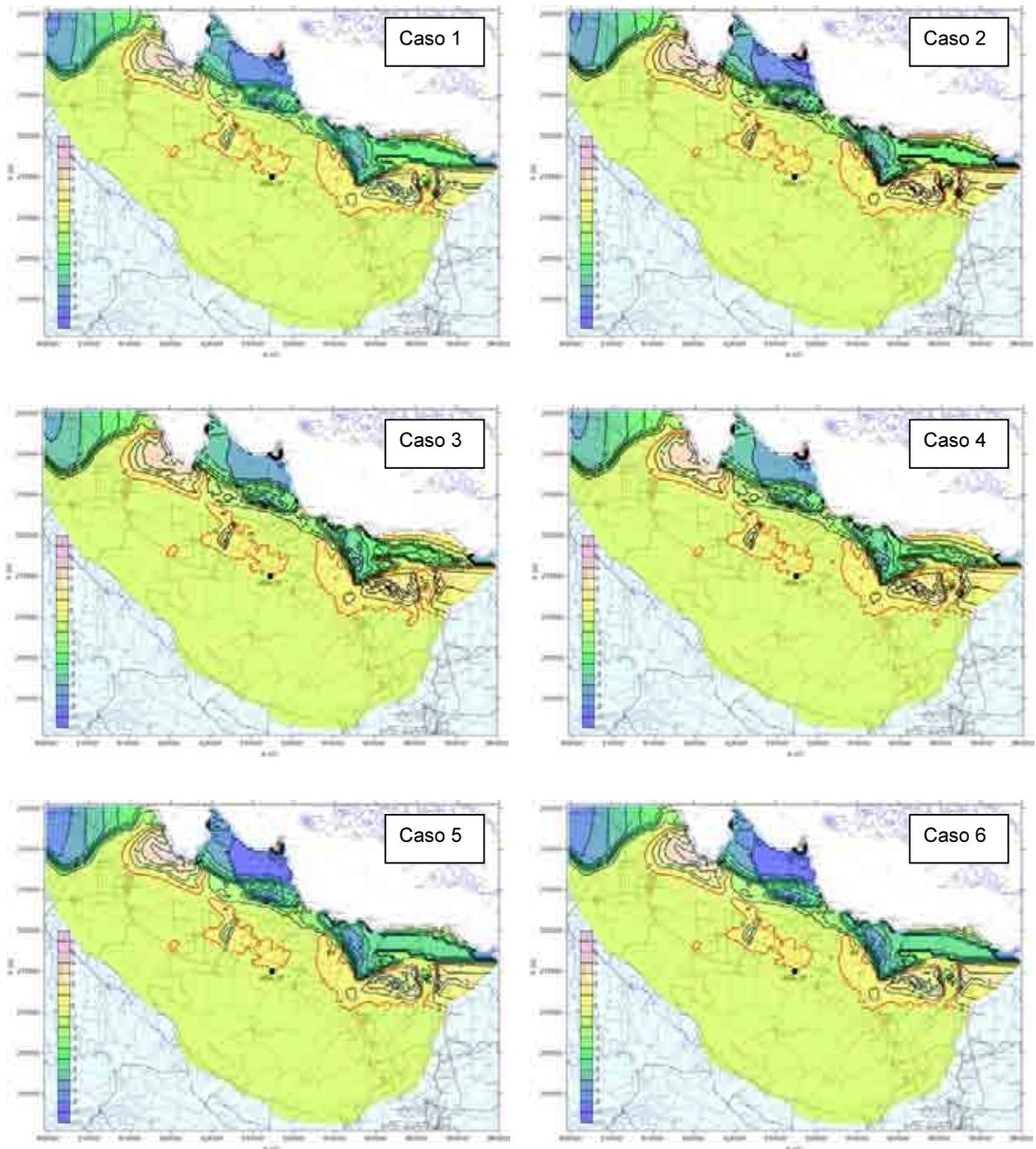


Figura 4-10: Ejemplo de la variación de la distribución de concentración de sal según el cálculo hecho utilizando SEAWAT (Estrato No.11: Comparación de diciembre de 2018 y diciembre de 2009)

(Unidad: kg/m^3)

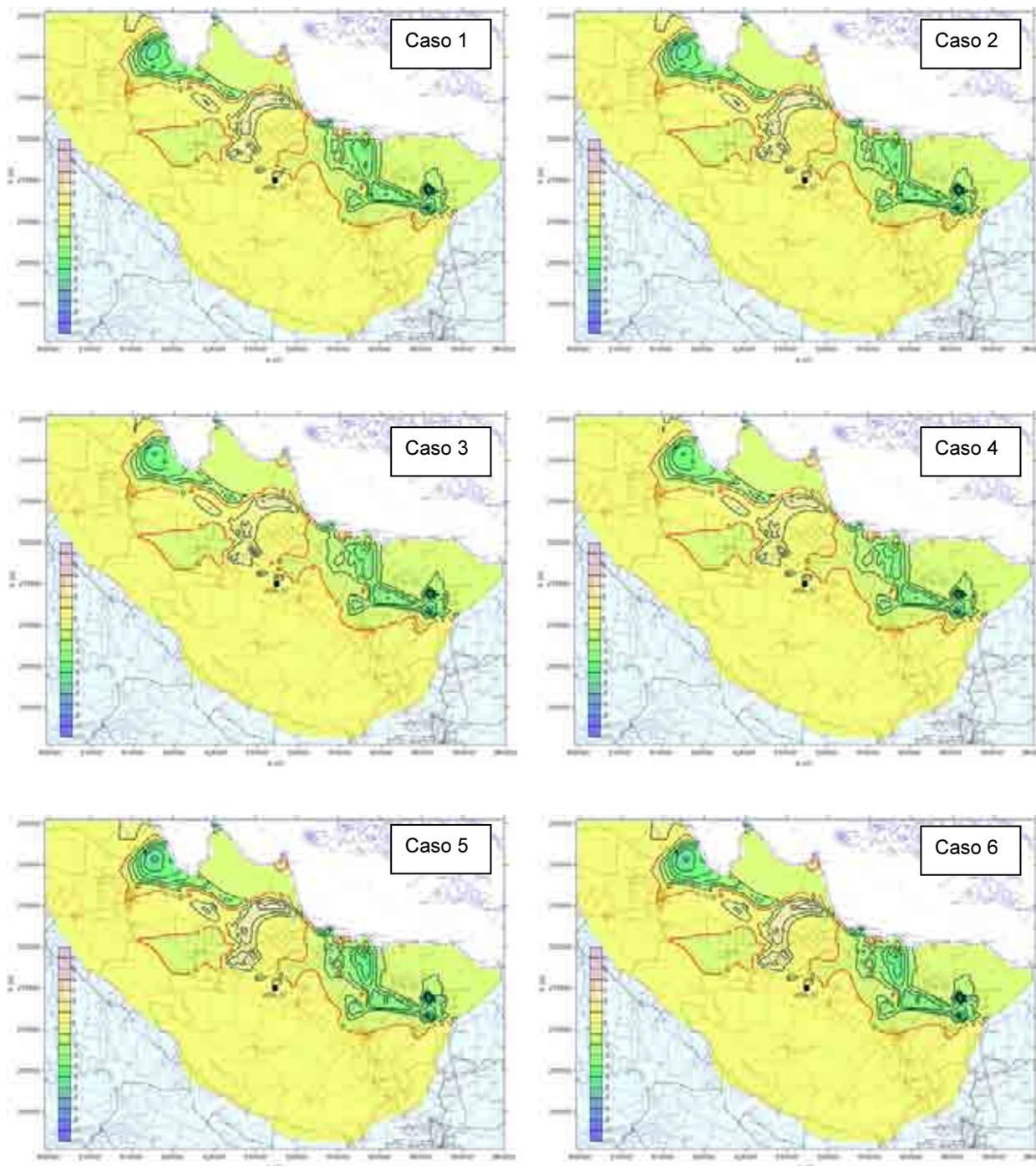


Figura 4-11: Ejemplo de la variación de la distribución de concentración de sal según el cálculo hecho utilizando SEAWAT (Estrato No.17: Comparación de diciembre de 2018 y diciembre de 2009)

(Unidad: kg/m^3)

4.2 Escenario con un desarrollo de nuevas fuentes de agua

Actualmente el distrito Sola no cuenta con ningún plan concreto relacionado con el desarrollo de nuevas fuentes de agua (pozos).

En esta cláusula, suponiendo que se haga un bombeo en el lugar de la perforación de JICA_01, se indica un ejemplo de análisis y predicción en caso de desarrollarse nueva fuente de agua.

a. Escenario de desarrollo de nueva fuente de agua 1

JICA_01 está ubicado a X: 832302.36 e Y: 214970.09, con una altitud del suelo de 44m aprox. Como se muestra en Figura 2-11, existe una capa acuífera principal a una profundidad de 60 a 75m. Por tanto, se supone que se extrae agua del estrato No.11 (altitud 0- -20m), y que el volumen bombeado serían $200 \text{ m}^3/\text{hora} \times 7 \text{ horas} (=1400 \text{ m}^3/\text{día})$ de acuerdo con los resultados de la prueba de bombeo.

Se mantienen sin variaciones el resto de condiciones del caso 1 de la cláusula anterior. Es decir, se trata de un escenario en que el volumen bombeado de JICA_01 se agrega al actual volumen bombeado sobre un volumen de recarga medio, y se ha hecho un cálculo de predicción en 100 meses (100 pasos) de septiembre de 2010 a diciembre de 2018.

b. Escenario de desarrollo de nueva fuente de agua 2

En la perforación de JICA_01 no se identificó la entrada de agua salina, pero según los resultados de la prospección geofísica, se supone una entrada de agua salina inmediatamente abajo. Por eso, se hace una predicción de la variación del nivel de agua y agua salina en caso de bombeo en el estrato No.17, el más inferior de JICA_01.

En este escenario se varía sólo la profundidad de bombeo y las demás condiciones son las mismas que las del Escenario de desarrollo de nueva fuente de agua 1.

4.2.2 Análisis y predicción según MODFLOW-96

La Figura 4-12 presenta la variación del nivel de agua subterránea en el estrato No.11 (estrato de toma de agua para JICA_01), y (a) indica la diferencia del nivel de agua subterránea entre la última etapa del Escenario de desarrollo de nueva fuente de agua 1 (diciembre de 2018) y el de diciembre de 2009, en medio del periodo del cálculo comprobante, y (b) indica la diferencia del nivel de agua subterránea entre el Escenario de desarrollo de nueva fuente de agua 1 y el caso mencionado en la cláusula anterior en diciembre de 2018. Asimismo la Figura 4-13 presenta la variación del nivel de agua subterránea en el estrato No.17.

La variación de nivel de agua subterránea en el Escenario de desarrollo de nueva fuente de agua 2, se muestra en las Figuras 4-14 y 4-15.

La diferencia del nivel de agua subterránea (valor máximo de la bajada del nivel de agua subterránea) entre el Escenario de desarrollo de nueva fuente de agua 1, el 2 y el caso de la cláusula anterior, se presenta en la siguiente tabla y se prevé que dichos escenarios no afectarían casi nada el nivel de agua subterránea de alrededor.

Tabla 4-2: Diferencia del nivel de agua subterránea (valor máximo de la bajada del nivel de agua subterránea) entre los Escenarios de desarrollo de nueva fuente de agua y el caso de la cláusula anterior

| | Estrato No.11 | Estrato No.17 |
|---|---------------|---------------|
| Escenario de desarrollo de nueva fuente de agua 1 | -4,2cm | -3,2cm |
| Escenario de desarrollo de nueva fuente de agua 2 | -3,2cm | -4,4cm |

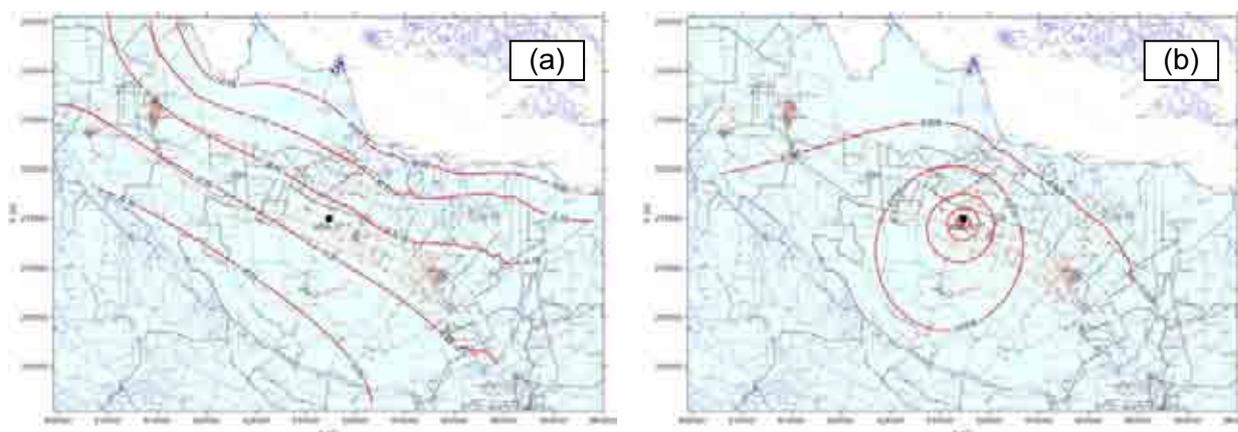


Figura 4-12: Ejemplo de análisis y predicción según MODFLOW-96 de la bajada del nivel de agua subterránea con el desarrollo de nueva fuente de agua (pozo) (Escenario de desarrollo de nueva fuente de agua 1, estrato No.11)

(unidad: m, Línea roja: bajada del nivel de agua subterránea, Línea negra: subida del nivel de agua subterránea)

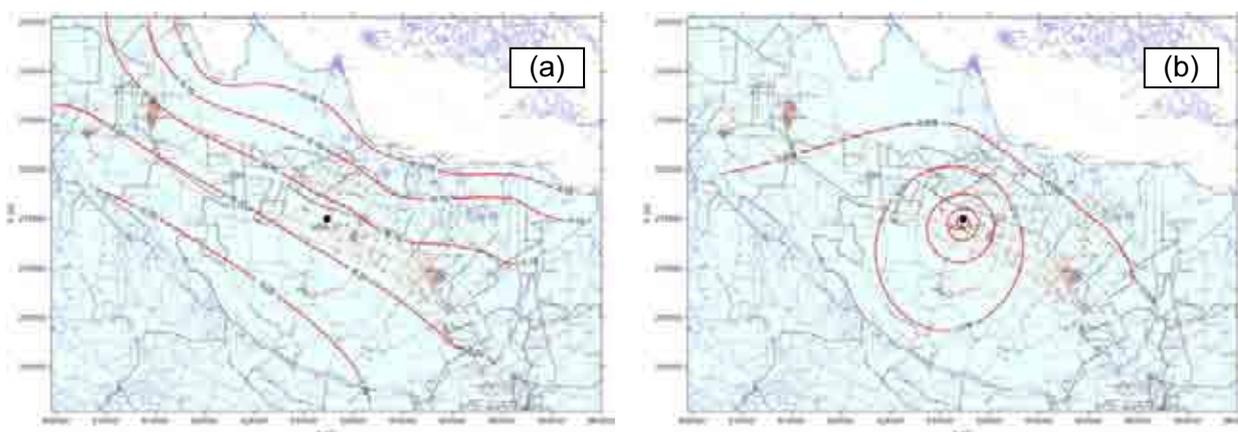


Figura 4-13: Ejemplo de análisis y predicción según MODFLOW-96 de la bajada del nivel de agua subterránea con el desarrollo de nueva fuente de agua (pozo) (Escenario de desarrollo de nueva fuente de agua 1, estrato No.17)

(unidad: m, Línea roja: bajada del nivel de agua subterránea, Línea negra: subida del nivel de agua subterránea)

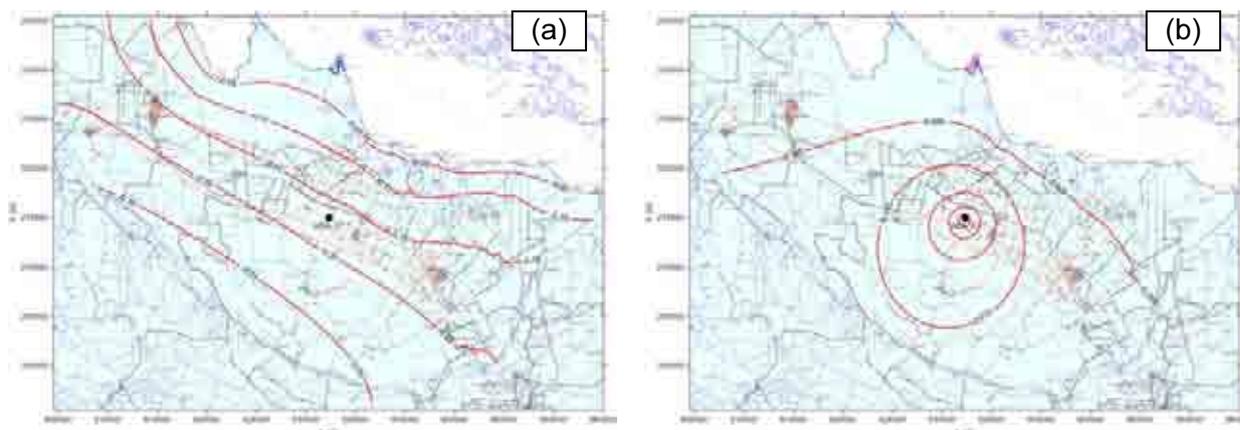


Figura 4-14: Ejemplo de análisis y predicción según MODFLOW-96 de la bajada del nivel de agua subterránea con el desarrollo de nueva fuente de agua (Escenario de desarrollo de nueva fuente de agua 2, estrato No.11)

(unidad: m, Línea roja: bajada del nivel de agua subterránea, Línea negra: subida del nivel de agua subterránea)

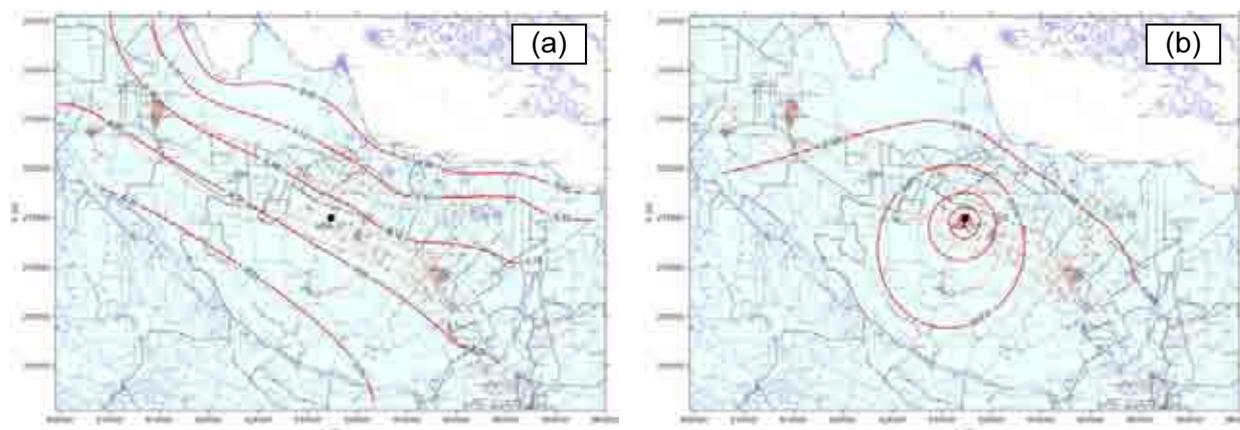


Figura 4-15: Ejemplo de análisis y predicción según MODFLOW-96 de la bajada del nivel de agua subterránea con el desarrollo de nueva fuente de agua (Escenario de desarrollo de nueva fuente de agua 2, estrato No.17)

(unidad: m, Línea roja: bajada del nivel de agua subterránea, Línea negra: subida del nivel de agua subterránea)

4.2.3 Análisis y predicción según SEAWAT

Los resultados del análisis y predicción según SEAWAT de la variación del nivel de agua subterránea se presentan en la misma forma que los de MODFLOW-96 arriba mencionados (Figura de 4-16 a 4-19). También se muestra la variación de la concentración de sal en las figuras similares (Figura de 4-20 a 4-23).

La diferencia del nivel de agua subterránea (valor máximo de la bajada del nivel de agua subterránea) entre el Escenario de desarrollo de nueva fuente de agua 1, el 2 y el caso de la cláusula anterior, según una predicción hecha con SEAWAT, se presenta en la siguiente tabla y son casi mismos valores que los del análisis con MODFLOW-96.

Tabla 4-3: Diferencia del nivel de agua subterránea (valor máximo de la bajada del nivel de agua subterránea) entre los Escenarios de desarrollo de nueva fuente de agua y el caso de la cláusula anterior, según un cálculo pronóstico hecho con SEAWAT

| | Estrato No.11 | Estrato No.17 |
|---|---------------|---------------|
| Escenario de desarrollo de nueva fuente de agua 1 | -4,5cm | -3,4cm |
| Escenario de desarrollo de nueva fuente de agua 2 | -3,4cm | -4,2cm |

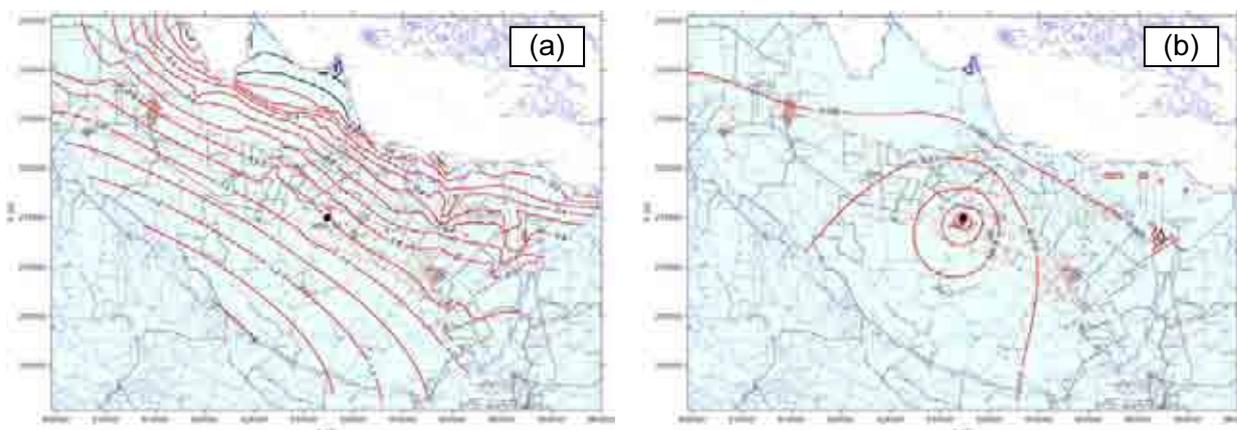


Figura 4-16: Ejemplo de análisis y predicción según SEAWAT de la bajada del nivel de agua subterránea con el desarrollo de nueva fuente de agua (pozo) (Escenario de desarrollo de nueva fuente de agua 1, estrato No.11)

(unidad: m, Línea roja: bajada del nivel de agua subterránea, Línea negra: subida del nivel de agua subterránea)

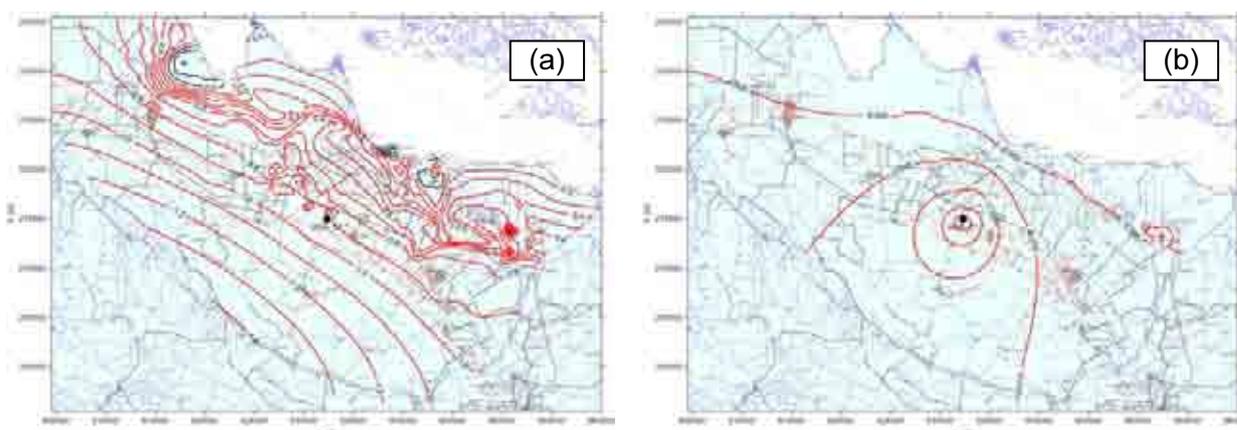


Figura 4-17: Ejemplo de análisis y predicción según SEAWAT de la bajada del nivel de agua subterránea con el desarrollo de nueva fuente de agua (pozo) (Escenario de desarrollo de nueva fuente de agua 1, estrato No.17)

(unidad: m, Línea roja: bajada del nivel de agua subterránea, Línea negra: subida del nivel de agua subterránea)

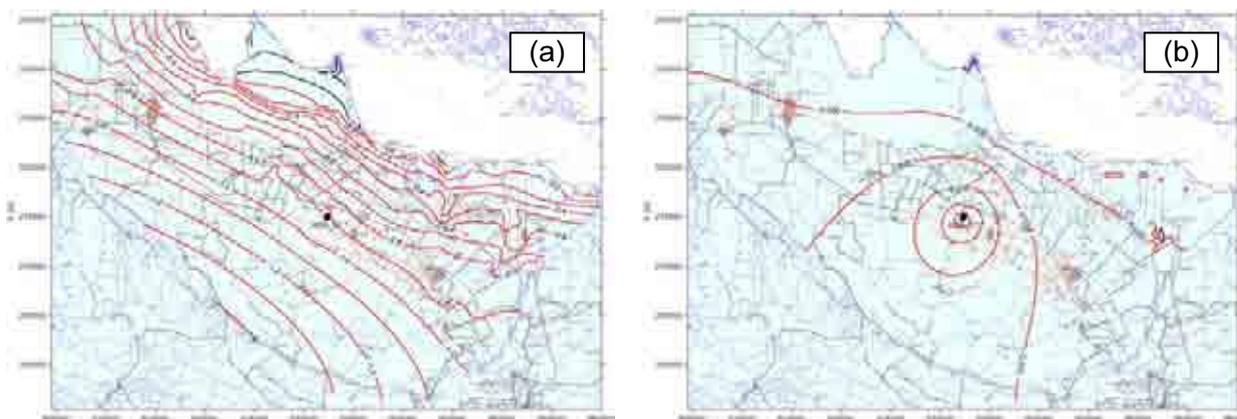


Figura 4-18: Ejemplo de análisis y predicción según SEAWAT de la bajada del nivel de agua subterránea con el desarrollo de nueva fuente de agua (pozo) (Escenario de desarrollo de nueva fuente de agua 2, estrato No.11)

(unidad: m, Línea roja: bajada del nivel de agua subterránea, Línea negra: subida del nivel de agua subterránea)

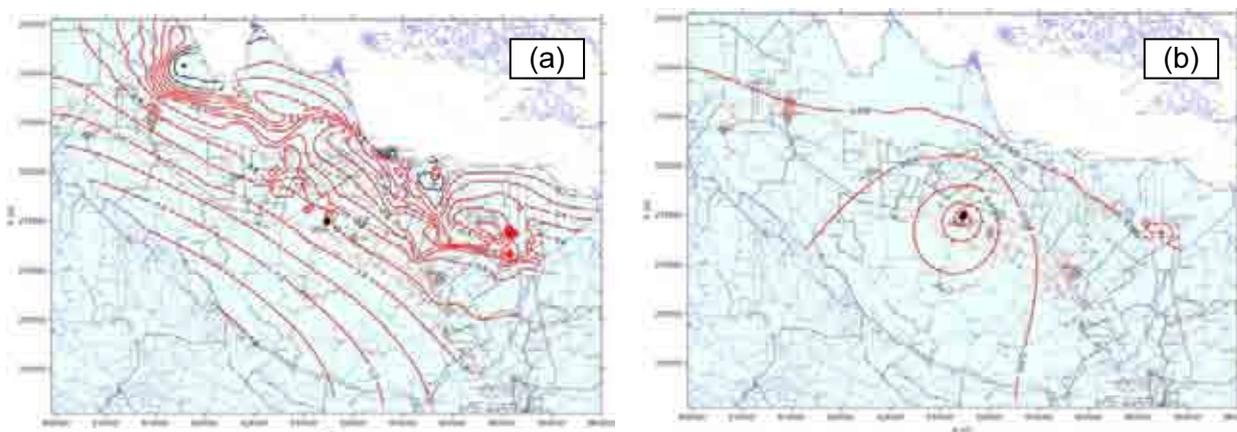


Figura 4-19: Ejemplo de análisis y predicción según MODFLOW-96 de la bajada del nivel de agua subterránea con el desarrollo de nueva fuente de agua (pozo) (Escenario de desarrollo de nueva fuente de agua 2, estrato No.17)

(unidad: m, Línea roja: bajada del nivel de agua subterránea, Línea negra: subida del nivel de agua subterránea)

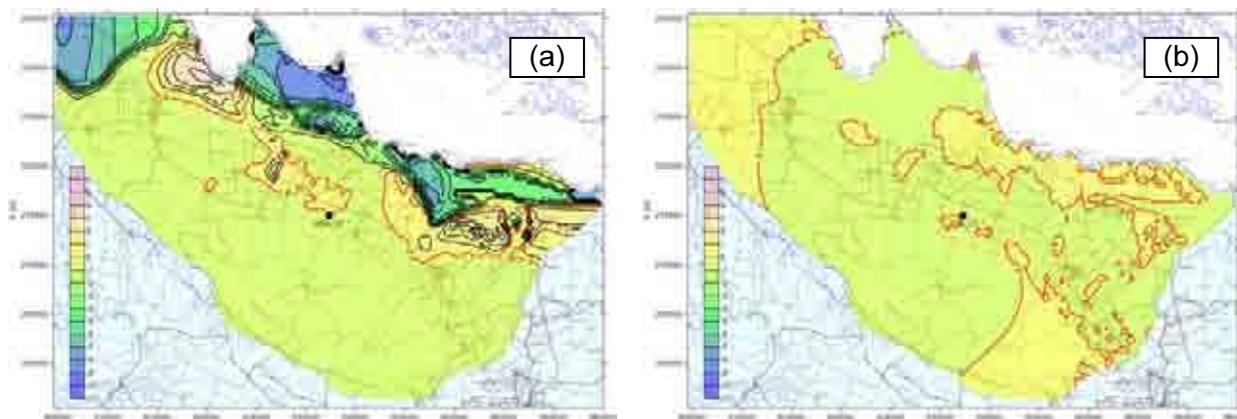


Figura 4-20: Ejemplo de análisis y predicción según SEAWAT de la variación de la concentración de sal con el desarrollo de nueva fuente de agua (pozo) (Escenario de desarrollo de nueva fuente de agua 1, estrato No.11)

(Unidad: kg/m^3)

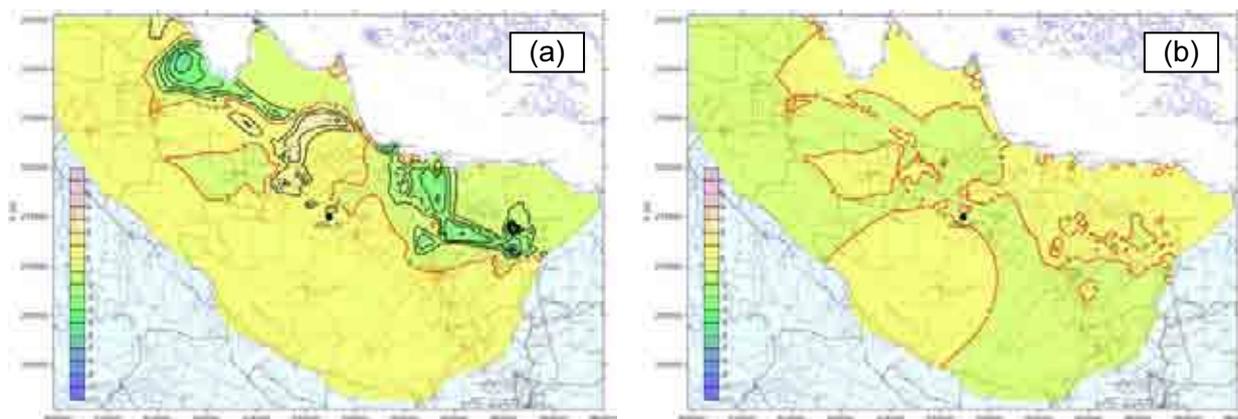


Figura 4-21: Ejemplo de análisis y predicción según SEAWAT de la variación de la concentración de sal con el desarrollo de nueva fuente de agua (pozo) (Escenario de desarrollo de nueva fuente de agua 1, estrato No.17)

(Unidad: kg/m^3)

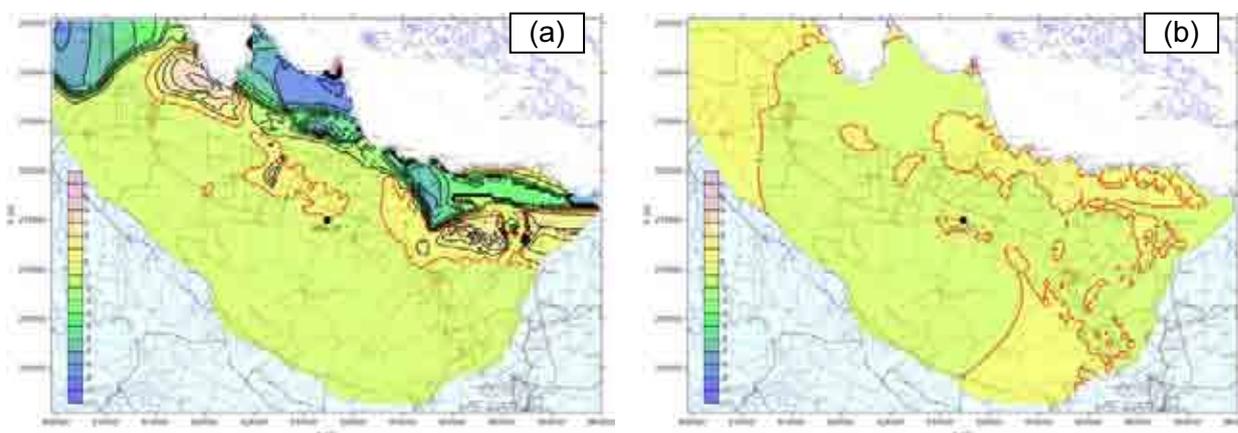


Figura 4-22: Ejemplo de análisis y predicción según SEAWAT de la variación de la concentración de sal con el desarrollo de nueva fuente de agua (pozo) (Escenario de desarrollo de nueva fuente de agua 2, estrato No.11)

(Unidad: kg/m^3)

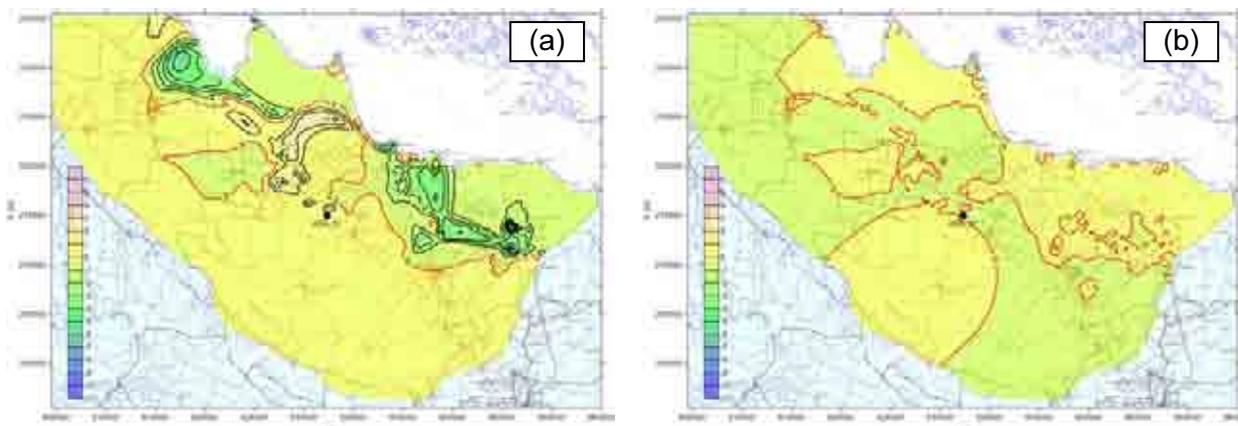


Figura 4-23: Ejemplo de análisis y predicción según SEAWAT de la variación de la concentración de sal con el desarrollo de nueva fuente de agua (pozo) (Escenario de desarrollo de nueva fuente de agua 2, estrato No.17)

(Unidad: kg/m^3)

4.3 Recomendaciones para el desarrollo y manejo de agua subterránea basadas en el análisis y predicción

Se resumen a continuación las recomendaciones para el desarrollo y manejo del agua subterránea en el distrito Sola, obtenidas de los resultados de los casos 1 al 6 de la cláusula 4.1 y los Escenarios de desarrollo de la nueva fuente de agua 1 y 2 de la cláusula 2.

- (1) En caso de que se vuelvan a realizar las pruebas de bombeo suspendidas y se recupere el volumen de bombeo de 2002, en el lado Este - Nordeste de la perforación JICA_01 se presentará una mayor bajada del nivel de agua subterránea. Por esta razón, es recomendable prestar la suficiente atención a la variación del volumen de bombeo y el nivel de agua subterránea en esta zona en comparación con otras zonas, y tener establecido un sistema de monitoreo.
- (2) En el lado Noroeste de JICA_01 se encuentra una zona con bajo nivel de agua subterránea (en la distribución del nivel de agua subterránea, presenta una forma de depresión). Sobre todo, en el estrato No.17, los resultados del análisis y predicción indican una alta concentración de sal y una avanzada entrada de agua salina en la zona, por lo que es recomendable llevar a cabo suficiente estudio y análisis antes de un desarrollo de agua subterránea en profundidad.
- (3) En los alrededores de JICA_01, excepto la zona correspondiente al (2) anterior, un desarrollo de agua subterránea del orden de 1.400 m³/día tendrá poco impacto en la zona.
- (4) El área donde se encuentra distribuida el estrato Nuevitas y ubicada entre el Este y el Nordeste del centro de la ciudad de Sola, estaba considerada hasta ahora como no apta para el desarrollo del agua subterránea. El presente análisis reveló que existe en él un área en que el nivel del agua subterránea y la concentración de sal son susceptibles a la variación de la recarga de agua subterránea y el volumen de bombeo. Al igual que el área del (2), para realizar un desarrollo de agua subterránea en esta área, es recomendable llevar a cabo suficiente estudio y análisis.