

Figura 2-72: Mapa de diferencia en el nivel del agua de 15 a 20 años

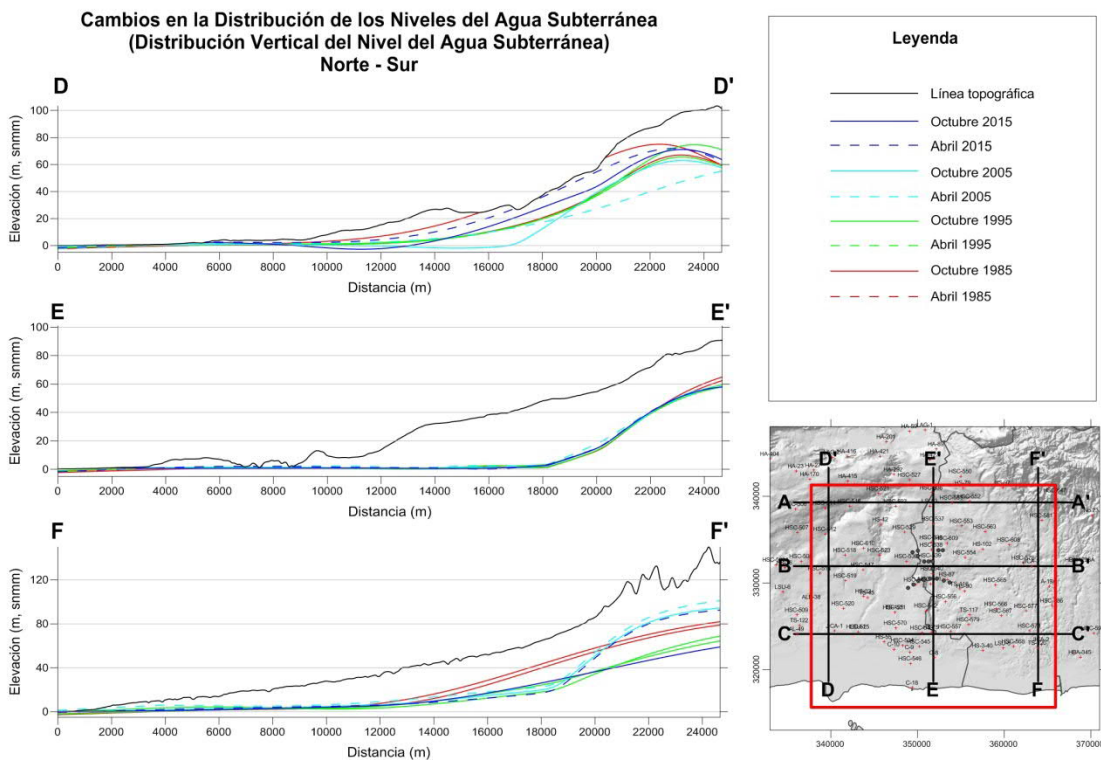


Figura 2-73: Cambios en la distribución de los niveles del agua subterránea (Distribución vertical del nivel del agua subterránea) Norte-Sur

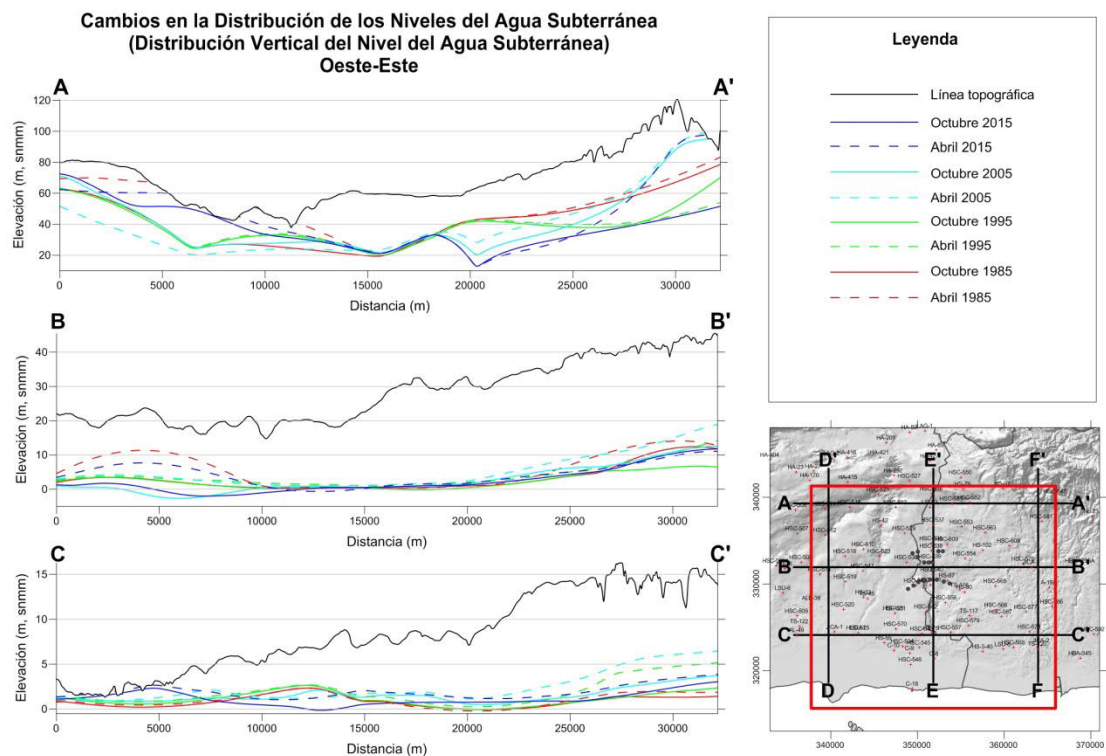


Figura 2-74: Cambios en la distribución de los niveles del agua subterránea (Distribución vertical del nivel del agua subterránea) Oeste-Este

2.5 Calidad del Agua Subterránea

La calidad del agua subterránea en las fuentes estudiadas de las provincias Artemisa y Mayabeque se ha analizado por el siguiente esquema:



La calidad del agua se encuentra influenciada por:

- La disolución de las rocas en el área de captación del acuífero.
- La influencia del mar es primordial porque de ella dependerá el nivel de sales presentes fundamentalmente sodio (Na) y cloro (Cl).

La calidad del agua está influenciada por la acción antrópica, interviniendo:

- La actividad agrícola, la cual se manifiesta en las concentraciones de fertilizantes que se disponen en el suelo para lograr los cultivos, sus excedentes se infiltran a través de los diferentes estratos y además son partes fundamentales en las aguas de escorrentía que fluyen hacia las aguas superficiales y que también recargan el manto a través de ríos y arroyos subterráneos.
- Las actividades domésticas, en las que el aporte diario de hombre se basa en materia orgánica, detergentes (aportes de nitrógeno (N) y fósforo (P)) y otros elementos que en altos volúmenes y concentraciones influyen de forma negativa en la calidad del agua.
- Las actividades industriales, en este caso el aporte se concentra en materia orgánica en altos volúmenes y concentraciones, así como se incrementan los niveles de metales pesados que perjudican la salud.

El acueducto Cuenca Sur fue construido en la década de los años 50 del pasado siglo y está constituido por 20 pozos de explotación, de una profundidad entre 25 y 90 m, con un gasto total de extracción de 3.02 m³/s. En este acueducto se obtuvo información a partir del año 1976 de los controles periódicos de mineralización, explotación y niveles dinámicos, donde se observa que más de la mitad bombean por debajo del nivel medio del mar (2 a 6 m) y solamente 4 presentan una elevación de los cloruros de 50 a 100 mg/l a partir del año 1985. El resto de los pozos bombean con niveles dinámicos por encima del nivel medio del mar y la mitad de estos presentan elevación de los cloruros a partir del año 1985.

Las Empresas Agropecuarias de Güira de Melena, Quivicán, Alquizar, Batabanó y San Antonio de los Baños son los consumidores del agua subterránea para riego, la extracción total es de 2 m³/s.

El resto de los usuarios, entre los que se encuentran los pequeños acueductos, tienen un gasto de extracción de 1.9 m³/s.

a. Intrusión salina

Las condiciones hidroquímicas, en la mayor parte del área, son homogéneas en general. Por su composición química predominan las aguas bicarbonatada-cálcicas con mineralización de 0.5 a 0.7 g L⁻¹. De una forma brusca existen cambios del medio hidroquímico hacia la parte litoral del territorio.

En toda la zona costera las aguas subterráneas, con mineralización total de hasta 1 g L⁻¹, yacen sobre las aguas salinizadas de composición cloruro-sódicas con residuo seco hasta 40 g L⁻¹.

Las aguas dulces en el área se encuentran estrechamente relacionadas con las aguas altamente mineralizadas. El carácter de esta relación se ha estudiado, a grandes rasgos, de acuerdo con los resultados del monitoreo sistemático de la salinidad en los pozos de la red de observación. Según las observaciones obtenidas en los pozos, con una serie hiperanual en las mediciones de salinidad, fueron construidos los gráficos de dependencia de la profundidad de yacencia de

la mineralización total de las aguas subterráneas y su variación en el tiempo.

Por el análisis de estas observaciones es posible señalar las siguientes particularidades en el comportamiento de la frontera entre las aguas dulces y saladas:

- Existencia de una zona donde, prácticamente, no se observa la presencia de aguas dulces, que coincide con la zona pantanosa y se extiende como una franja paralela a la costa, con un ancho máximo de 7 km y un área de 83 km². El límite de la zona está determinado por la isohipsa con valor de salinidad igual a 1 g L⁻¹ con la elevación igual a cero.
- La superficie de contacto entre las aguas dulces y saladas ha sido establecida por la mineralización de 1 g L⁻¹, la superficie se profundiza hacia el norte de la cuenca con una pendiente suave.
- Las observaciones hiperanuales del período comprendido del año 1973 al 2015 nos muestran el equilibrio existente en la zona con mineralización desde 20 hasta 30 g L⁻¹, independientemente de la magnitud de las precipitaciones y del volumen de la extracción.
- El espesor de la zona de difusión o transición, con una mineralización de 1 a 30 g L⁻¹, varía de 10 a 15 m.
- De manera cualitativa puede observarse la elevación de la zona de difusión, solamente en la región donde se encuentra ubicada la fuente de abasto Cuenca Sur. Sin embargo, esta elevación tiene un carácter local y solamente ha sido determinada en los pozos HSC-542 y HSC-541.
- En general, no se observa una variación regional de la zona de difusión en el tiempo. Se supone que, en algunos casos, la presencia de conductos cárnicos verticales facilita el surgimiento de flujos ascendentes que, conjuntamente con la extracción, produce la succión local de las aguas saladas sin alterar el equilibrio de la interfaz en el área de influencia de la fuente. Para mantener constante el volumen total de extracción en esos casos, es posible el sellado de los pozos en los que se observa un aumento de la mineralización o su sustitución por nuevos.

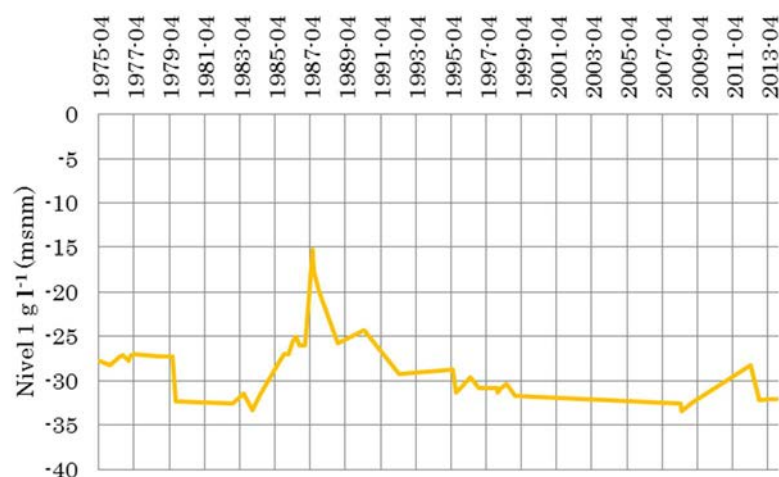


Figura 2-75: Comportamiento temporal de la salinidad (1 g L⁻¹) en el pozo HSC-542.

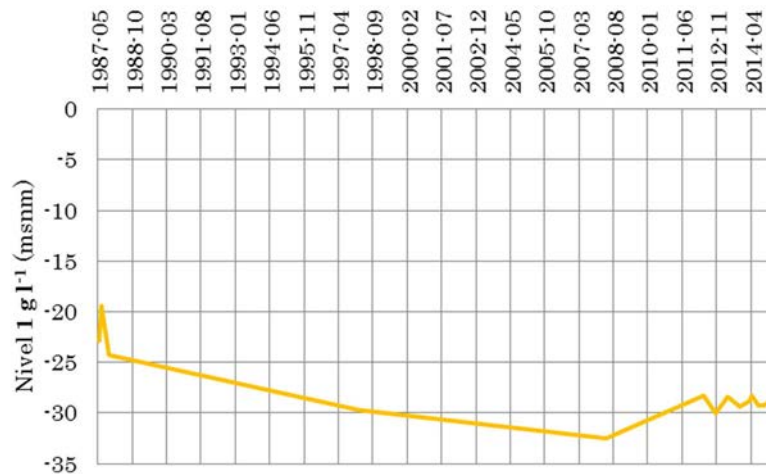


Figura 2-76: Comportamiento temporal de la salinidad (1 g L^{-1}) en el pozo HSC-541

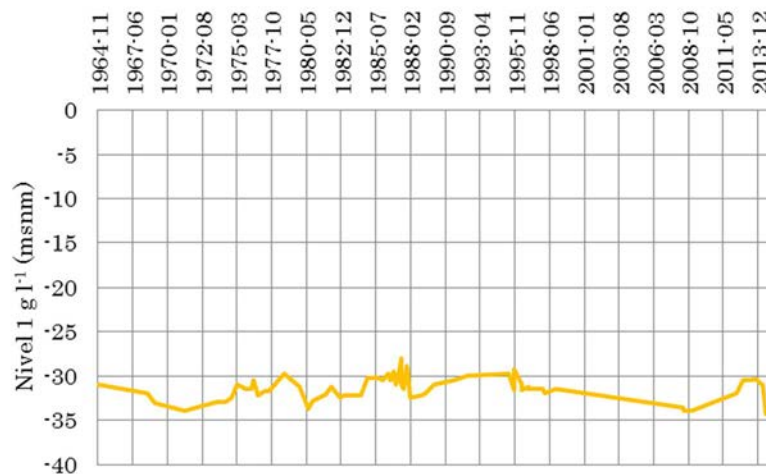


Figura 2-77: Comportamiento temporal de la salinidad (1 g L^{-1}) en el pozo HSC-540

- Donde la zona de difusión tiene un espesor de algunas decenas de metros y la mineralización varía de 1 a 3 g L^{-1} , el equilibrio dinámico es menos estable y es posible su desplazamiento bajo la influencia de la alimentación y la descarga.
- La superficie de la zona de difusión se extiende desde la elevación 0 , cerca de la franja costera, hasta las elevaciones absolutas de -30 a -40 msnm en la parte central, en forma de una anomalía que penetra 14 km dentro del área. Hacia los extremos la zona de difusión puede sobrepasar la altitud -140 msnm como, por ejemplo, cerca del límite hidrodinámico con el tramo Batabanó.

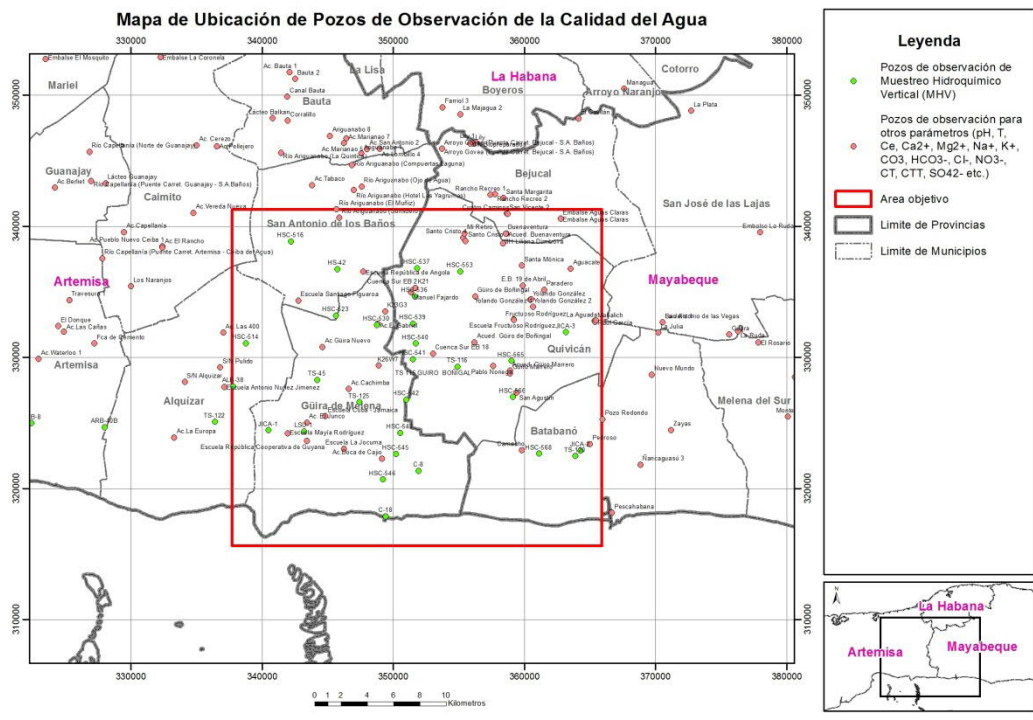


Figura 2-78: Mapa de ubicación de pozos de observación de la calidad del agua

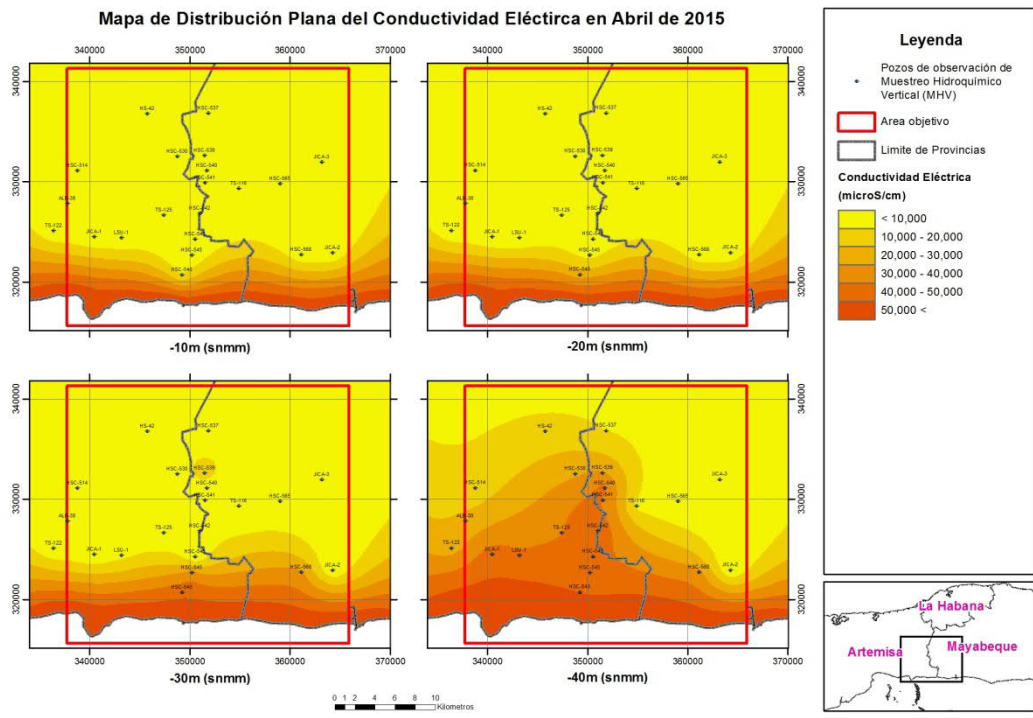


Figura 2-79: Mapa de distribución plana del conductividad eléctrica en Abril de 2015

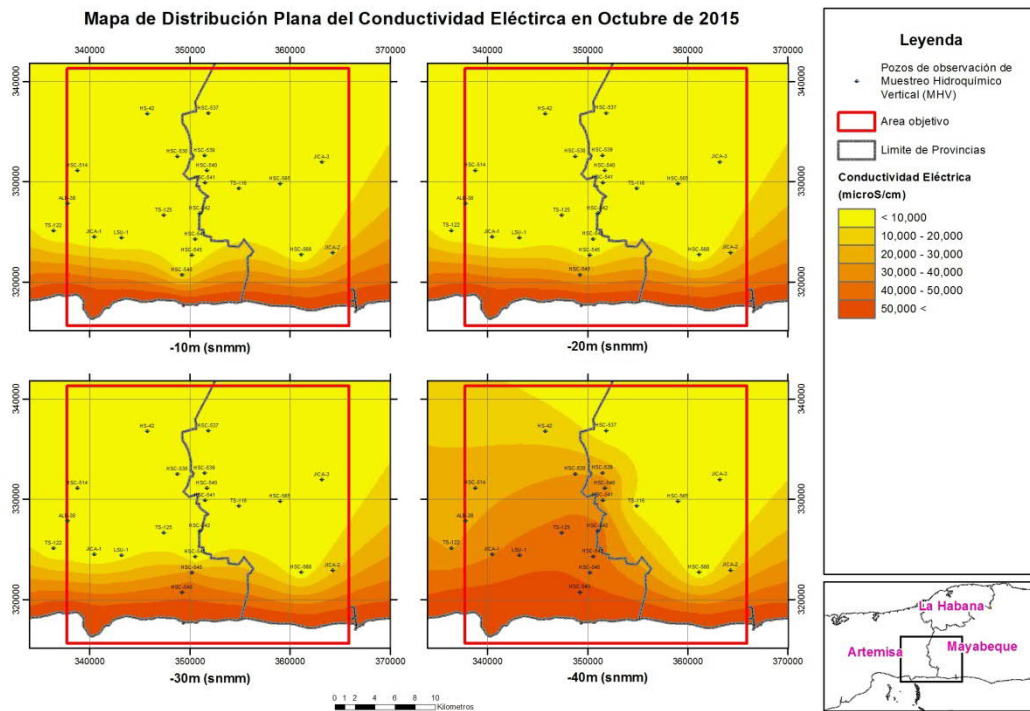


Figura 2-80: Mapa de distribución plana de la conductividad eléctrica en Octubre de 2015

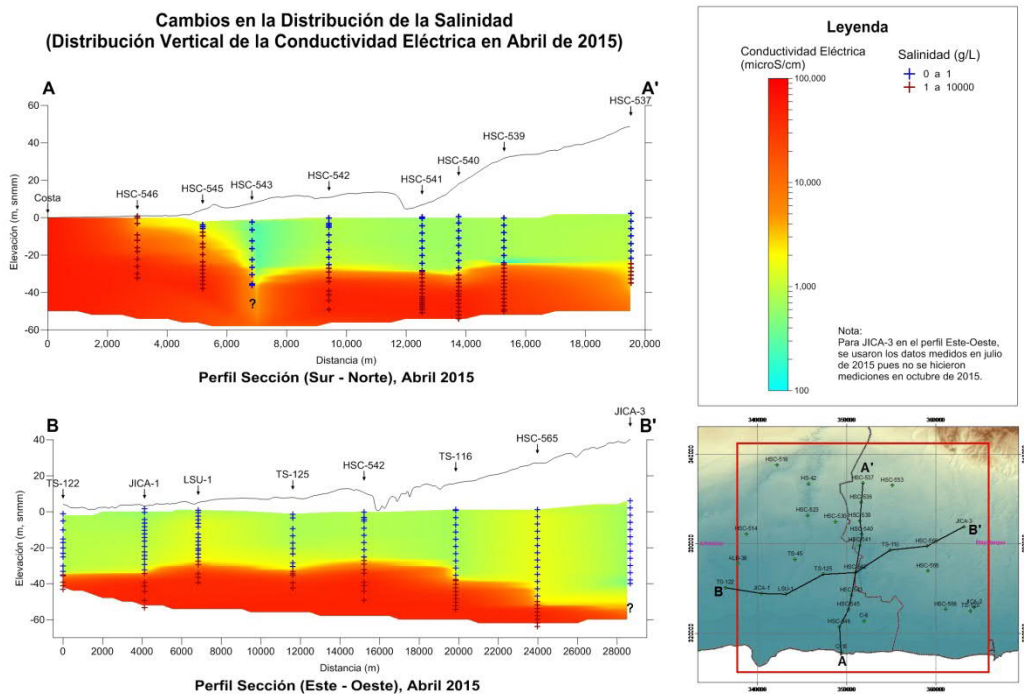


Figura 2-81: Cambios en la distribución de la salinidad (Distribución vertical de la conductividad eléctrica en Abril de 2015)

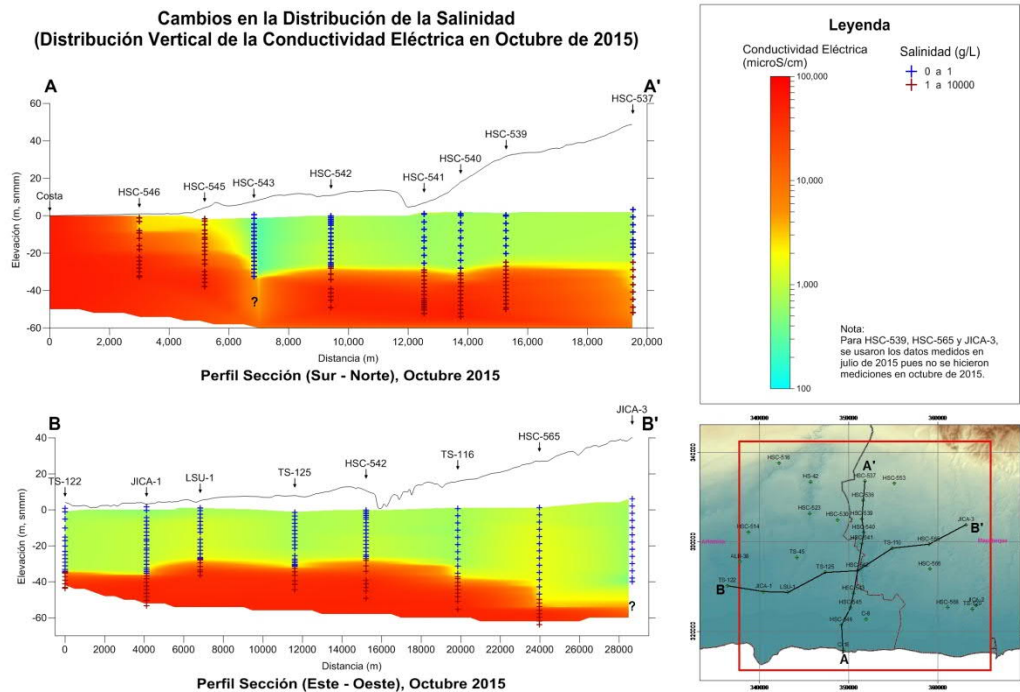


Figura 2-82: Cambios en la distribución de la salinidad (Distribución vertical de la conductividad eléctrica en Octubre de 2015)

b. REDCAL

b.1 Elementos encontrados en estudios anteriores de calidad del agua subterránea

Según la Norma Cubana, se han medido en el agua subterránea la temperatura del agua, pH, nitrato de iónico (NO_3^-), cloro de iónico (Cl^-), sulfuro de iónico (SO_4^{2-}), calcio de iónico (Ca^{2+}), magnesio de iónico (Mg^{2+}), sodio de iónico (Na^+), potasio de iónico (K^+), disueltos totales de de sólido (SDT), totales de los coliformes (CT), termotolerantes de Coliformes (CTT). Además, también se han observado la conductividad eléctrica (CE) y el ión carbónico (HCO_3^-) como parámetros importantes reflejados en la salinidad y las condiciones geológicas. Igualmente, se monitorean la demanda de oxígeno químico (DQO) y la demanda de oxígeno biológico (DBO) como indicadores de contaminantes industriales.

b.2 Condición actual estimada del agua subterránea en el área

Las provincias involucradas en el Proyecto JICA son Artemisa y Mayabeque, en las cuales fueron seleccionadas varias fuentes subterráneas que permitieran desarrollar los estudios y análisis propuestos por los expertos japoneses, cada provincia realizó su selección de las cuales se muestran los principales parámetros obtenidos para el trabajo realizado (Tabla 2-11 y Tabla 2-12 para Artemisa y Mayabeque respectivamente).

Tabla 2-10: Pozos de la red hidrogeológica a monitorear en el área del proyecto JICA.

| Cuenca | Sigla | Sigla | Nombre | x | y | Cota | Red Mensual | Red Semestral | Red MHV | Diámetro | Profundidad | Estado |
|--------|---------|--------|----------------|--------|--------|-------|-------------|---------------|---------|----------|-------------|--------|
| HS-3 | A-19A | | La Sonora | 365200 | 329600 | 32,69 | Sí | No | No | 2 | 33 | Bueno |
| HS-3 | HS-102 | | Rosario | 357900 | 334150 | 44,81 | No | Sí | No | 1,5 | 55 | Bueno |
| HS-3 | HS-87 | | San José | 353450 | 330400 | 18,93 | No | Sí | No | 1,5 | 19 | Bueno |
| HS-3 | HS-90 | | La Caridad | 355450 | 329050 | 17,51 | No | Sí | No | 1,5 | 17 | Bueno |
| HS-3 | HSC-536 | TS-13 | Soria | 351700 | 335100 | 39,72 | No | Sí | Sí | 0,4 | 70 | Bueno |
| HS-3 | HSC-537 | TS-6 | Albertina | 351850 | 336800 | 49,58 | No | Sí | Sí | 0,4 | 94 | Bueno |
| HS-3 | HSC-538 | TS-14 | Resecadora | 351700 | 333850 | 35,26 | No | Sí | No | 0,3 | 70 | Malo |
| HS-3 | HSC-539 | TS-3 | Fajardo | 351600 | 332750 | 32,18 | No | Sí | Sí | 0,3 | 86 | Bueno |
| HS-3 | HSC-540 | TS-E2 | El Punto | 351800 | 331100 | 18,09 | No | Sí | Sí | 0,2 | 89 | Bueno |
| HS-3 | HSC-541 | TS-7 | Buffón | 351500 | 329800 | 7,01 | Sí | No | Sí | 0,3 | 51 | Bueno |
| HS-3 | HSC-551 | | La Salud | 353650 | 339250 | 58,04 | No | Sí | No | 0,3 | 38 | Bueno |
| HS-3 | HSC-552 | | El Cafetal | 356025 | 339400 | 63,23 | No | Sí | No | 0,3 | 70 | Bueno |
| HS-3 | HSC-553 | | San Pantaleón | 354900 | 336750 | 57,54 | No | Sí | No | 0,3 | 65 | Bueno |
| HS-3 | HSC-554 | | Güiro Boñingal | 355550 | 332750 | 35,72 | No | Sí | No | 0,3 | 65 | Bueno |
| HS-3 | HSC-556 | | Rosario | 353250 | 327850 | 14,90 | No | Sí | No | 0,3 | 22 | Bueno |
| HS-3 | HSC-557 | | Las Nieves | 353750 | 324500 | 9,65 | No | Sí | No | 0,3 | 20 | Bueno |
| HS-3 | HSC-563 | | 19 de Abril | 357800 | 335800 | 51,99 | Sí | No | No | 0,3 | 61 | Bueno |
| HS-3 | HSC-565 | TS-42 | Güiro Marrero | 359000 | 329700 | 27,57 | No | Sí | Sí | 0,3 | 100 | Bueno |
| HS-3 | HSC-566 | TS-43 | San Agustín | 359400 | 327350 | 23,25 | No | Sí | Sí | 0,3 | 43 | Malo |
| HS-3 | HSC-567 | | Mortuorio | 359650 | 326200 | 20,23 | No | Sí | No | 0,3 | 24 | Bueno |
| HS-3 | HSC-568 | TS-44 | Camacho | 361160 | 322740 | 9,46 | No | Sí | Sí | 0,4 | 63 | Malo |
| HS-3 | HSC-576 | | La María | 362150 | 332350 | 42,45 | No | Sí | No | 0,3 | 49 | Bueno |
| HS-3 | HSC-577 | | Covarrubias | 362550 | 326750 | 21,28 | No | Sí | No | 0,3 | 20 | Bueno |
| HS-3 | HSC-578 | | Santa Lucía | 363060 | 334350 | 16,49 | No | Sí | No | 0,3 | 0 | Bueno |
| HS-3 | HSC-579 | | Cuba 9 | 355900 | 325200 | 8,69 | No | Sí | No | 0,3 | 22 | Malo |
| HS-3 | HSC-581 | | Penal Quivicán | 364350 | 337200 | 70,20 | No | Sí | No | 0,3 | 56 | Bueno |
| HS-4 | HSC-586 | | Apeadero | 365750 | 326800 | 26,47 | Sí | No | No | 0,3 | 31 | Bueno |
| HS-3 | HSC-608 | | Los Dátiles | 360600 | 334400 | 51,55 | No | Sí | No | 0,3 | 50 | Bueno |
| HS-3 | HSC-609 | | La Capa | 353600 | 334700 | 42,81 | No | Sí | No | 0,3 | 51 | Bueno |
| HS-3 | LSU-3 | | La Salud | 351480 | 338890 | 56,66 | Sí | No | No | 0,5 | 46 | Malo |
| HS-3 | LSU-8 | | Camacho | 359900 | 322550 | 8,55 | Sí | No | No | 0,5 | 21 | Bueno |
| HS-3 | TS-116 | TS-116 | Güiro Boñingal | 354900 | 329300 | 16,52 | No | Sí | Sí | 0,4 | 72 | Bueno |
| HS-3 | TS-117 | TS-117 | Pablo Noriega | 356000 | 326300 | 15,64 | No | Sí | Sí | 0,3 | 0 | Malo |
| HS-4 | TS-120 | TS-120 | Pedroso | 363800 | 322200 | 9,76 | No | Sí | Sí | 0,11 | 8 | Malo |

Tabla 2-11: Fuentes subterráneas que intervienen directamente en el Proyecto JICA, provincia Artemisa

| Listados de estaciones del Proyecto JICA de la REDCAL - ARTEMISA | | | | | | | | | | | |
|--|-----------|--------------------|-----------------------|-----------|--------|--------|--------------|------------------|------------------------|----------------------------|--|
| No. | Provincia | Cuenca Subterránea | Nombre de la estación | Municipio | X | Y | Tipo de agua | Tipo de estación | Frecuencia de muestreo | Uso | Determinaciones |
| 1 | Artemisa | HS-3 | Ac. Waterio 1 | Artemisa | 322950 | 329900 | Subterránea | Básica | Semestral | Fuente para consumo humano | pH, T, Ca, Mg, Na, K, CO ₃ , HCO ₃ , Cl, NO ₃ , CT, CTT, SO ₄ |
| 2 | Artemisa | HS-3 | Ac. Las 400 | Alquizar | 337050 | 331900 | Subterránea | Vigilancia | Semestral | Fuente para riego agrícola | pH, T, Ca, Mg, Na, K, CO ₃ , HCO ₃ , Cl, NO ₃ , CT, CTT, SO ₄ , DBO ₅ , DQO |
| 3 | Artemisa | HS-3 | Ac. La Europa | Alquizar | 333300 | 323900 | Subterránea | Básica | Semestral | Fuente para consumo humano | pH, T, Ca, Mg, Na, K, CO ₃ , HCO ₃ , Cl, NO ₃ , CT, CTT, SO ₄ |

PROYECTO PARA EL FORTALECIMIENTO DE LAS CAPACIDADES DEL MANEJO DEL AGUA SUBTERRÁNEA Y EL CONTROL DE LA INTRUSIÓN SALINA EN LA REPÚBLICA DE CUBA

| | | | | | | | | | | | |
|----|----------|------|--------------------------|-----------------|--------|--------|-------------|------------|-----------|-------------------------------|---|
| 4 | Artemisa | HS-3 | S/N Pulido | Alquizar | 336800 | 329250 | Subterránea | Básica | Semestral | Fuente para consumo humano | pH, T, Ca, Mg, Na, K, CO ₃ , HCO ₃ , Cl, NO ₃ , CT, CTT, SO ₄ |
| 5 | Artemisa | HS-2 | Ac. El pilar | Artemisa | 320170 | 334250 | Subterránea | Básica | Semestral | Fuente para abasto industrial | pH, T, Ca, Mg, Na, K, CO ₃ , HCO ₃ , Cl, NO ₃ , CT, CTT, SO ₄ |
| 6 | Artemisa | HS-2 | Ac. La Matilde | Artemisa | 319380 | 332110 | Subterránea | Básica | Semestral | Fuente para consumo humano | pH, T, Ca, Mg, Na, K, CO ₃ , HCO ₃ , Cl, NO ₃ , CT, CTT, SO ₄ |
| 7 | Artemisa | HS-3 | Ac. El Favorito | Artemisa | 321900 | 332900 | Subterránea | Básica | Semestral | Fuente para consumo humano | pH, T, Ca, Mg, Na, K, CO ₃ , HCO ₃ , Cl, NO ₃ , CT, CTT, SO ₄ |
| 8 | Artemisa | HS-3 | Ac. Güira Nuevo | Güira de Melena | 344600 | 330800 | Subterránea | Básica | Semestral | Fuente para consumo humano | pH, T, Ca, Mg, Na, K, CO ₃ , HCO ₃ , Cl, NO ₃ , CT, CTT, SO ₄ |
| 9 | Artemisa | HS-3 | Ac. Cachimba | Güira de Melena | 346600 | 327600 | Subterránea | Vigilancia | Semestral | Fuente para consumo humano | pH, T, Ca, Mg, Na, K, CO ₃ , HCO ₃ , Cl, NO ₃ , CT, CTT, SO ₄ |
| 10 | Artemisa | HS-3 | Ac. Boca de Cajío | Güira de Melena | 349150 | 322300 | Subterránea | Básica | Semestral | Fuente para consumo humano | pH, T, Ca, Mg, Na, K, CO ₃ , HCO ₃ , Cl, NO ₃ , CT, CTT, SO ₄ |
| 11 | Artemisa | HS-3 | Ac. Vereda Nueva | Caimito | 334770 | 341050 | Subterránea | Básica | Semestral | Fuente para consumo humano | pH, T, Ca, Mg, Na, K, CO ₃ , HCO ₃ , Cl, NO ₃ , CT, CTT, SO ₄ |
| 12 | Artemisa | HS-3 | Ac. Pueblo Nuevo Ceiba 1 | Caimito | 332400 | 338500 | Subterránea | Básica | Semestral | Fuente para riego agrícola | pH, T, CE, Na, Ca, Mg, CO ₃ , HCO ₃ |
| 13 | Artemisa | HS-3 | K26W7 | Güira de Melena | 348900 | 329400 | Subterránea | Básica | Semestral | Fuente para consumo humano | pH, T, Ca, Mg, Na, K, CO ₃ , HCO ₃ , Cl, NO ₃ , CT, CTT, SO ₄ |
| 14 | Artemisa | HS-3 | K23G3 | Güira de Melena | 349375 | 333525 | Subterránea | Básica | Semestral | Fuente para consumo humano | pH, T, Ca, Mg, Na, K, CO ₃ , HCO ₃ , Cl, NO ₃ , CT, CTT, SO ₄ |
| 15 | Artemisa | HS-3 | Ac. El Gabriel | Güira de Melena | 348800 | 332600 | Subterránea | Básica | Semestral | Fuente para consumo humano | pH, T, Ca, Mg, Na, K, CO ₃ , HCO ₃ , Cl, NO ₃ , CT, CTT, SO ₄ |
| 16 | Artemisa | HS-3 | Escuela La Jocuma | Güira de Melena | 346250 | 323050 | Subterránea | Básica | Semestral | Fuente para consumo humano | pH, T, Ca, Mg, Na, K, CO ₃ , HCO ₃ , Cl, NO ₃ , CT, CTT, SO ₄ |
| 17 | Artemisa | HS-3 | El Donque | Artemisa | 324450 | 332400 | Subterránea | Básica | Semestral | Fuente para consumo humano | pH, T, Ca, Mg, Na, K, CO ₃ , HCO ₃ , Cl, NO ₃ , CT, CTT, SO ₄ |

Tabla 2-12: Fuentes subterráneas que intervienen directamente en el Proyecto JICA, provincia Mayabeque. (Monitoreo-Horizontal)

| Listados de estaciones del Proyecto JICA de la REDCAL - MAYABEQUE | | | | | | | | | | | |
|---|-----------|--------------------|---|-----------|--------|--------|--------------|------------------|------------------------|-------------------------------|--|
| No. | Provincia | Cuenca Subterránea | Nombre de la estación | Municipio | X | Y | Tipo de agua | Tipo de estación | Frecuencia de muestreo | Uso | Determinaciones |
| 1 | Mayabeque | HS-3 | Aguate | Quivicán | 363530 | 336780 | Subterránea | Básica | Semestral | Fuente para consumo humano | pH, T, Ca, Mg, Na, K, CO ₃ , HCO ₃ , Cl, NO ₃ , CT, CTT, SO ₄ |
| 2 | Mayabeque | HAV-1 | Arroyo Govea (Puente Carret, Bejucal -S.A. Baños) | Bejucal | 353700 | 345925 | Subterránea | Vigilancia | Semestral | Fuente para riego agrícola | pH, T, Ca, Mg, Na, K, CO ₃ , HCO ₃ , Cl, NO ₃ , CT, CTT, SO ₄ , DBO ₅ , DQO |
| 3 | Mayabeque | HS-3 | Buenaventura | Bejucal | 358568 | 339470 | Subterránea | Básica | Semestral | Fuente para consumo humano | pH, T, Ca, Mg, Na, K, CO ₃ , HCO ₃ , Cl, NO ₃ , CT, CTT, SO ₄ |
| 4 | Mayabeque | HS-3 | Camacho | Batabanó | 359800 | 322940 | Subterránea | Básica | Semestral | Fuente para consumo humano | pH, T, Ca, Mg, Na, K, CO ₃ , HCO ₃ , Cl, NO ₃ , CT, CTT, SO ₄ |
| 5 | Mayabeque | HAV-1 | CN Biopreparados | Bejucal | 355854 | 346322 | Subterránea | Básica | Semestral | Fuente para abasto industrial | pH, T, Ca, Mg, Na, K, CO ₃ , HCO ₃ , Cl, NO ₃ , CT, CTT, SO ₄ |
| 6 | Mayabeque | HS-3 | Cuatro Caminos | Quivicán | 358724 | 340972 | Subterránea | Básica | Semestral | Fuente para consumo humano | pH, T, Ca, Mg, Na, K, CO ₃ , HCO ₃ , Cl, NO ₃ , CT, CTT, SO ₄ |
| 7 | Mayabeque | HS-3 | Cuenca Sur EB 18 | Quivicán | 353039 | 330307 | Subterránea | Básica | Semestral | Fuente para consumo humano | pH, T, Ca, Mg, Na, K, CO ₃ , HCO ₃ , Cl, NO ₃ , CT, CTT, SO ₄ |
| 8 | Mayabeque | HS-3 | Cuenca Sur EB 2 | Quivicán | 351670 | 335320 | Subterránea | Básica | Semestral | Fuente para consumo humano | pH, T, Ca, Mg, Na, K, CO ₃ , HCO ₃ , Cl, NO ₃ , CT, CTT, SO ₄ |
| 9 | Mayabeque | HS-3 | Fructuoso Rodríguez | Quivicán | 359187 | 332863 | Subterránea | Vigilancia | Semestral | Fuente para consumo humano | pH, T, Ca, Mg, Na, K, CO ₃ , HCO ₃ , Cl, NO ₃ , CT, CTT, SO ₄ |
| 10 | Mayabeque | HS-3 | Güiro de Boñingal | Quivicán | 356243 | 334688 | Subterránea | Básica | Semestral | Fuente para consumo humano | pH, T, Ca, Mg, Na, K, CO ₃ , HCO ₃ , Cl, NO ₃ , CT, CTT, SO ₄ |

PROYECTO PARA EL FORTALECIMIENTO DE LAS CAPACIDADES DEL MANEJO DEL AGUA SUBTERRÁNEA Y EL CONTROL DE LA INTRUSIÓN SALINA EN LA REPÚBLICA DE CUBA

| | | | | | | | | | | | |
|----|-----------|-------|-----------------------|----------|--------|--------|-------------|--------|-----------|-------------------------------|---|
| 11 | Mayabeque | HS-3 | Güiro Marrero | Quivicán | 358912 | 328813 | Subterránea | Básica | Semestral | Fuente para consumo humano | pH, T, Ca, Mg, Na, K, CO ₃ , HCO ₃ , Cl, NO ₃ , CT, CTT, SO ₄ |
| 12 | Mayabeque | HS-3 | IIH Liliana Dimitrova | Quivicán | 358368 | 338721 | Subterránea | Básica | Semestral | Fuente para riego agrícola | pH, T, CE, Na, Ca, Mg, CO ₃ , HCO ₃ |
| 13 | Mayabeque | HAV-1 | Lily | Bejucal | 356058 | 346322 | Subterránea | Básica | Semestral | Fuente para consumo humano | pH, T, Ca, Mg, Na, K, CO ₃ , HCO ₃ , Cl, NO ₃ , CT, CTT, SO ₄ |
| 14 | Mayabeque | HS-3 | Manuel Fajardo | Quivicán | 351355 | 334976 | Subterránea | Básica | Semestral | Fuente para consumo humano | pH, T, Ca, Mg, Na, K, CO ₃ , HCO ₃ , Cl, NO ₃ , CT, CTT, SO ₄ |
| 15 | Mayabeque | HS-3 | Mi Retiro | Quivicán | 355440 | 339466 | Subterránea | Básica | Semestral | Fuente para consumo humano | pH, T, Ca, Mg, Na, K, CO ₃ , HCO ₃ , Cl, NO ₃ , CT, CTT, SO ₄ |
| 16 | Mayabeque | HS-3 | Ñancaguasú 3 | Batabanó | 368850 | 321830 | Subterránea | Básica | Semestral | Fuente para consumo humano | pH, T, Ca, Mg, Na, K, CO ₃ , HCO ₃ , Cl, NO ₃ , CT, CTT, SO ₄ |
| 17 | Mayabeque | HS-3 | Pablo Noriega | Quivicán | 357618 | 329362 | Subterránea | Básica | Semestral | Fuente para consumo humano | pH, T, Ca, Mg, Na, K, CO ₃ , HCO ₃ , Cl, NO ₃ , CT, CTT, SO ₄ |
| 18 | Mayabeque | HS-3 | Paradero | Quivicán | 361506 | 335170 | Subterránea | Básica | Semestral | Fuente para consumo humano | pH, T, Ca, Mg, Na, K, CO ₃ , HCO ₃ , Cl, NO ₃ , CT, CTT, SO ₄ |
| 19 | Mayabeque | HS-4 | Pedroso | Batabanó | 365000 | 323400 | Subterránea | Básica | Semestral | Fuente para consumo humano | pH, T, Ca, Mg, Na, K, CO ₃ , HCO ₃ , Cl, NO ₃ , CT, CTT, SO ₄ |
| 20 | Mayabeque | HS-4 | Pescabana | Batabanó | 366650 | 318160 | Subterránea | Básica | Semestral | Fuente para abasto industrial | pH, T, Ca, Mg, Na, K, CO ₃ , HCO ₃ , Cl, NO ₃ , CT, CTT, SO ₄ |
| 21 | Mayabeque | HS-4 | Pozo Redondo | Batabanó | 365950 | 325300 | Subterránea | Básica | Semestral | Fuente para consumo humano | pH, T, Ca, Mg, Na, K, CO ₃ , HCO ₃ , Cl, NO ₃ , CT, CTT, SO ₄ |
| 22 | Mayabeque | HS-3 | Rancho Recreo 1 | Bejucal | 357413 | 342425 | Subterránea | Básica | Semestral | Fuente para consumo humano | pH, T, Ca, Mg, Na, K, CO ₃ , HCO ₃ , Cl, NO ₃ , CT, CTT, SO ₄ |
| 23 | Mayabeque | HAV-1 | Rancho Recreo 2 | Bejucal | 357751 | 342465 | Subterránea | Básica | Semestral | Fuente para consumo humano | pH, T, Ca, Mg, Na, K, CO ₃ , HCO ₃ , Cl, NO ₃ , CT, CTT, SO ₄ |
| 24 | Mayabeque | HS-3 | Raúl Garcia | Quivicán | 365436 | 332855 | Subterránea | Básica | Semestral | Fuente para consumo humano | pH, T, Ca, Mg, Na, K, CO ₃ , HCO ₃ , Cl, NO ₃ , CT, CTT, SO ₄ |
| 25 | Mayabeque | HS-3 | San Agustin | Quivicán | 359418 | 327325 | Subterránea | Básica | Semestral | Fuente para consumo humano | pH, T, Ca, Mg, Na, K, CO ₃ , HCO ₃ , Cl, NO ₃ , CT, CTT, SO ₄ |
| 26 | Mayabeque | HS-4 | San Vicente 2 | Batabanó | 358655 | 340985 | Subterránea | Básica | Semestral | Fuente para consumo humano | pH, T, Ca, Mg, Na, K, CO ₃ , HCO ₃ , Cl, NO ₃ , CT, CTT, SO ₄ |
| 27 | Mayabeque | HS-3 | Santa Margarita | Bejucal | 358408 | 342172 | Subterránea | Básica | Semestral | Fuente para consumo humano | pH, T, Ca, Mg, Na, K, CO ₃ , HCO ₃ , Cl, NO ₃ , CT, CTT, SO ₄ |
| 28 | Mayabeque | HS-3 | Santa Mónica | Quivicán | 359786 | 337012 | Subterránea | Básica | Semestral | Fuente para consumo humano | pH, T, Ca, Mg, Na, K, CO ₃ , HCO ₃ , Cl, NO ₃ , CT, CTT, SO ₄ |
| 29 | Mayabeque | HS-3 | Santa Cristo | Quivicán | 355497 | 338893 | Subterránea | Básica | Semestral | Fuente para consumo humano | pH, T, Ca, Mg, Na, K, CO ₃ , HCO ₃ , Cl, NO ₃ , CT, CTT, SO ₄ |
| 30 | Mayabeque | HS-3 | Yolando González 1 | Quivicán | 360640 | 333874 | Subterránea | Básica | Semestral | Fuente para consumo humano | pH, T, Ca, Mg, Na, K, CO ₃ , HCO ₃ , Cl, NO ₃ , CT, CTT, SO ₄ |
| 31 | Mayabeque | HS-3 | Yolando González | Quivicán | 360521 | 334467 | Subterránea | Básica | Semestral | Fuente para consumo humano | pH, T, Ca, Mg, Na, K, CO ₃ , HCO ₃ , Cl, NO ₃ , CT, CTT, SO ₄ |
| 32 | Mayabeque | HS-4 | Zayas | Batabanó | 371177 | 324473 | Subterránea | Básica | Semestral | Fuente para consumo humano | pH, T, Ca, Mg, Na, K, CO ₃ , HCO ₃ , Cl, NO ₃ , CT, CTT, SO ₄ |

b.3 Características de la calidad del agua subterránea en el área de estudio

En la información obtenida de las estaciones de la RED-CAL que son parte del Proyecto JICA se analizaron los datos de laboratorio de las muestras pertenecientes a los años anteriores al desarrollo del Proyecto y se incluyeron los resultados de los años 2013 al 2015, con los resultados se analizaron los estadígrafos más significativos, Media, Desviación Estándar, Mediana, Valor Mínimo y Valor Máximo, de ellos en cada estación pueden considerarse como valores objetivos de conservación aquellos obtenidos mediante el valor de la mediana.

Determinando por ejemplo: con los valores máximos registrados en los elementos cloro (Cl) y sodio (Na) donde se encuentra la alerta de intrusión salina, pudiendo estar involucrado el cambio climático con su avance en el tiempo y/o una sobre-explotación de los pozos involucrados en un acuífero determinado. También es importante incluir en este tipo de análisis los valores extremos de la conductividad eléctrica (mS/m).

b.4 Distribución de la concentración de cada elemento estudiado en la calidad del agua (horizontal).

Artemisa

En la distribución de los elementos analizados se ha observado que en la mayoría de las estaciones correspondiendo con la naturaleza cársica de la zona los aniones y cationes se comportan en el siguiente orden: bicarbonato (HCO_3) como elemento prioritario, compartido con el calcio (Ca), aunque hay estaciones como es el caso de la Escuela Jocuma que muestra incremento en el cloruro (Cl) y sulfato (SO_4) al parecer en épocas del año donde los huracanes se han manifestado con mayor intensidad elevando por ende la intrusión marina en la zona costera o sus cercanías.

Mayabeque

Al igual que en Artemisa la naturaleza cársica se impone denotando la prevalencia del bicarbonato (HCO_3) y el calcio (Ca) con menor alteración producto de los iones cloro (Cl) y sodio (Na), y las estaciones involucradas son: Camacho, Cuenca Sur UB-18, Fructuoso Rodríguez, Güiro Boñigal, Güiro Marrero, Pesca Habana, Pozo Redondo y San Agustín. En el caso de esta provincia y los pozos utilizados para el Proyecto JICA se ha observado que existe una mayor cantidad de estos pozos que están afectados en alguna medida en determinada épocas del año, que pudieran coincidir con periodos de huracanes y/o aumento de las concentraciones producto de sobre-explotaciones de las aguas de los acuíferos y haber rebasado el nivel crítico donde la intrusión salina se hace más evidente y provoca mayor afectación en la calidad del agua.

Tabla 2-13: Distribución de la concentración de los elementos en las estaciones subterráneas estudiadas, provincia Artemisa, Calidad del Agua (Monitoreo-Horizontal)

| Estaciones | Estadígrafo | Periodo Años | T (°C) | CE ms/m | pH U | NO_3^{-1} mgL ⁻¹ | CO_3^{2-} mgL ⁻¹ | HCO_3^{-1} mgL ⁻¹ | Cl^{-1} mgL ⁻¹ | SO_4^{-1} mgL ⁻¹ | Ca^{+2} mgL ⁻¹ | Mg^{+2} mgL ⁻¹ | Na^{+1} mgL ⁻¹ | K^{+1} mgL ⁻¹ | SDT mgL ⁻¹ |
|----------------------|-------------|--------------|--------|---------|------|--------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------|
| Waterloo-1 | Media | 2006-2015 | 23,3 | 75,3 | 7,37 | 12 | 0 | 343 | 52 | 24 | 116 | 10 | 34 | 2,0 | 590 |
| | Desv-Est | | 1,3 | 3,7 | 0,32 | 6 | 0 | 17 | 9 | 6 | 4 | 2 | 6 | 0,2 | 15 |
| | Mediana | | 23,2 | 76,0 | 7,29 | 13 | 0 | 342 | 53 | 25 | 116 | 10 | 34 | 2,0 | 593 |
| | Mínimo | | 20,8 | 66,0 | 7,08 | 1 | 0 | 305 | 32 | 12 | 110 | 5 | 28 | 1,8 | 560 |
| | Máximo | | 26,1 | 80,2 | 8,40 | 19 | 0 | 366 | 69 | 31 | 124 | 13 | 43 | 2,4 | 609 |
| Ac. Las 400 (HS-3) | Media | 2006-2014 | 23,3 | 66,1 | 7,25 | 30 | 0 | 305 | 31 | 22 | 108 | 8 | 18 | 2,8 | 520 |
| | Desv-Est | | 2,1 | 2,0 | 0,15 | 8 | 0 | 10 | 7 | 3 | 6 | 2 | 2 | 0,3 | 24 |
| | Mediana | | 23,1 | 66,0 | 7,23 | 30 | 0 | 304 | 34 | 22 | 108 | 8 | 19 | 2,9 | 521 |
| | Mínimo | | 20,5 | 63,6 | 7,05 | 21 | 0 | 293 | 21 | 18 | 100 | 6 | 15 | 2,4 | 470 |
| | Máximo | | 26,0 | 69,0 | 7,55 | 42 | 0 | 323 | 39 | 25 | 120 | 12 | 20 | 3,0 | 554 |
| Ac. La Europa (HS-3) | Media | 2006-2015 | 22,5 | 67,0 | 7,35 | 27 | 0 | 0 | 97 | 0 | 0 | 0 | 63 | 0,0 | |
| | Desv-Est | | 0,7 | 0,16 | 11 | 0 | 0 | 31 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,0 | |
| | Mediana | | 22,5 | 67,0 | 7,35 | 27 | 0 | 0 | 113 | 0 | 0 | 0 | 63 | 0,0 | |
| | Mínimo | | 22,0 | 67,0 | 7,23 | 19 | 0 | 0 | 61 | 0 | 0 | 0 | 63 | 0,0 | |
| | Máximo | | 23,0 | 67,0 | 7,46 | 35 | 0 | 0 | 117 | 0 | 0 | 0 | 63 | 0,0 | |
| S/N Pulido (HS-3) | Media | 2015 | 23,9 | 65,7 | 7,52 | 35 | 0 | 226 | 36 | 0 | 98 | 8 | 18 | 2,4 | 431 |
| | Desv-Est | | 0,1 | 3,3 | 0,10 | 1 | 0 | 0 | 15 | 0 | 0 | 0 | 4 | 0,0 | 1 |
| | Mediana | | 23,9 | 65,7 | 7,52 | 35 | 0 | 226 | 36 | 0 | 98 | 8 | 18 | 2,4 | 431 |
| | Mínimo | | 23,8 | 63,3 | 7,45 | 34 | 0 | 226 | 25 | 0 | 98 | 8 | 15 | 2,4 | 431 |
| | Máximo | | 24,0 | 68,0 | 7,59 | 36 | 0 | 226 | 46 | 0 | 98 | 8 | 21 | 2,4 | 431 |
| Ac. El Pilar (HS-2) | Media | 2006-2015 | 24,5 | 66,8 | 7,31 | 41 | 0 | 0 | 30 | 32 | 0 | 0 | 0 | 0,0 | |
| | Desv-Est | | 1,3 | 2,8 | 0,28 | 4 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,0 | |
| | Mediana | | 24,5 | 66,5 | 7,24 | 41 | 0 | 0 | 32 | 32 | 0 | 0 | 0 | 0,0 | |
| | Mínimo | | 23,6 | 64,0 | 7,02 | 35 | 0 | 0 | 28 | 32 | 0 | 0 | 0 | 0,0 | |
| | Máximo | | 25,4 | 70,0 | 7,71 | 45 | 0 | 0 | 32 | 32 | 0 | 0 | 0 | 0,0 | |

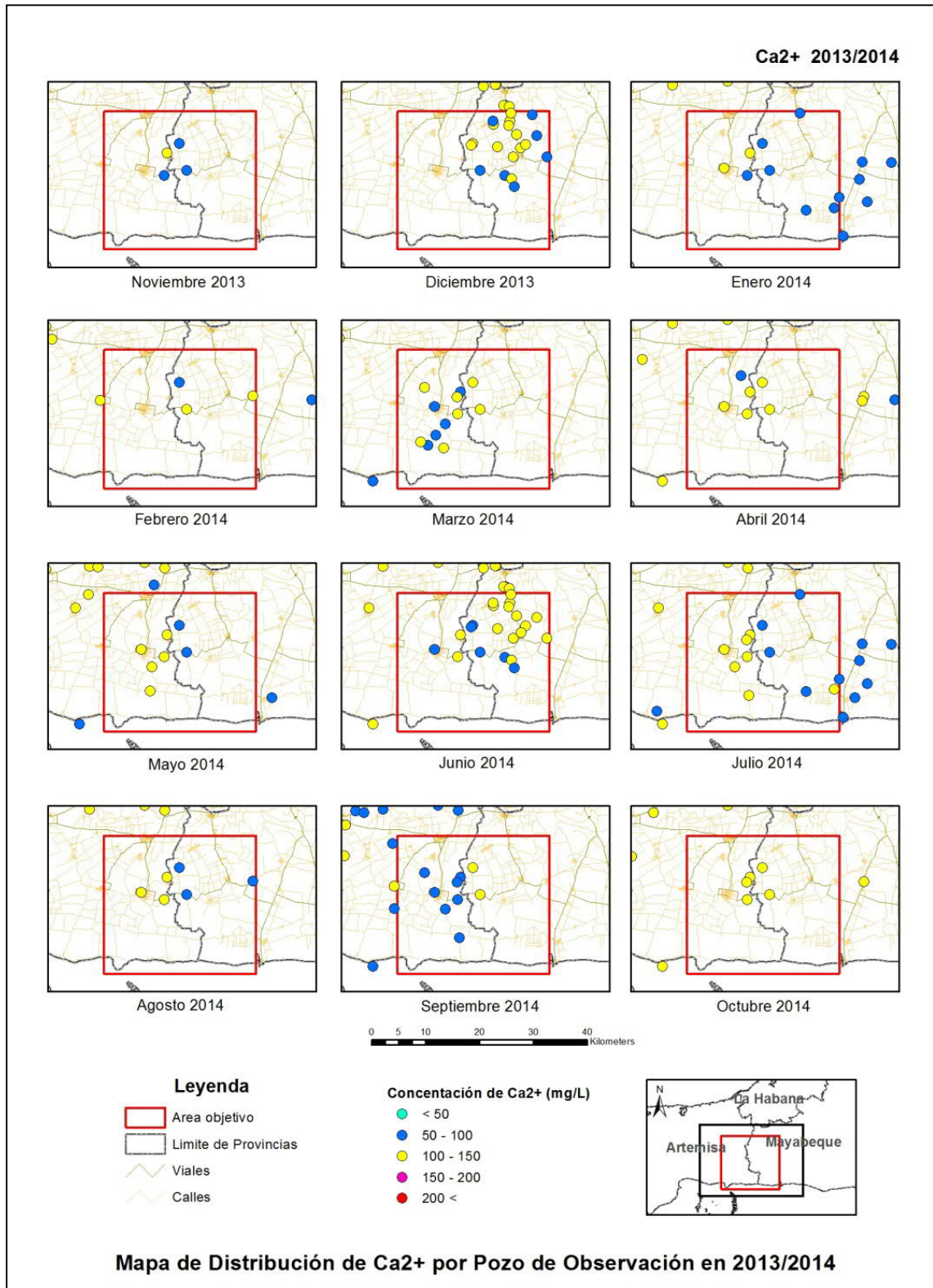


Figura 2-83: Mapa de distribución de Ca²⁺ por pozo de observación en 2013/2014

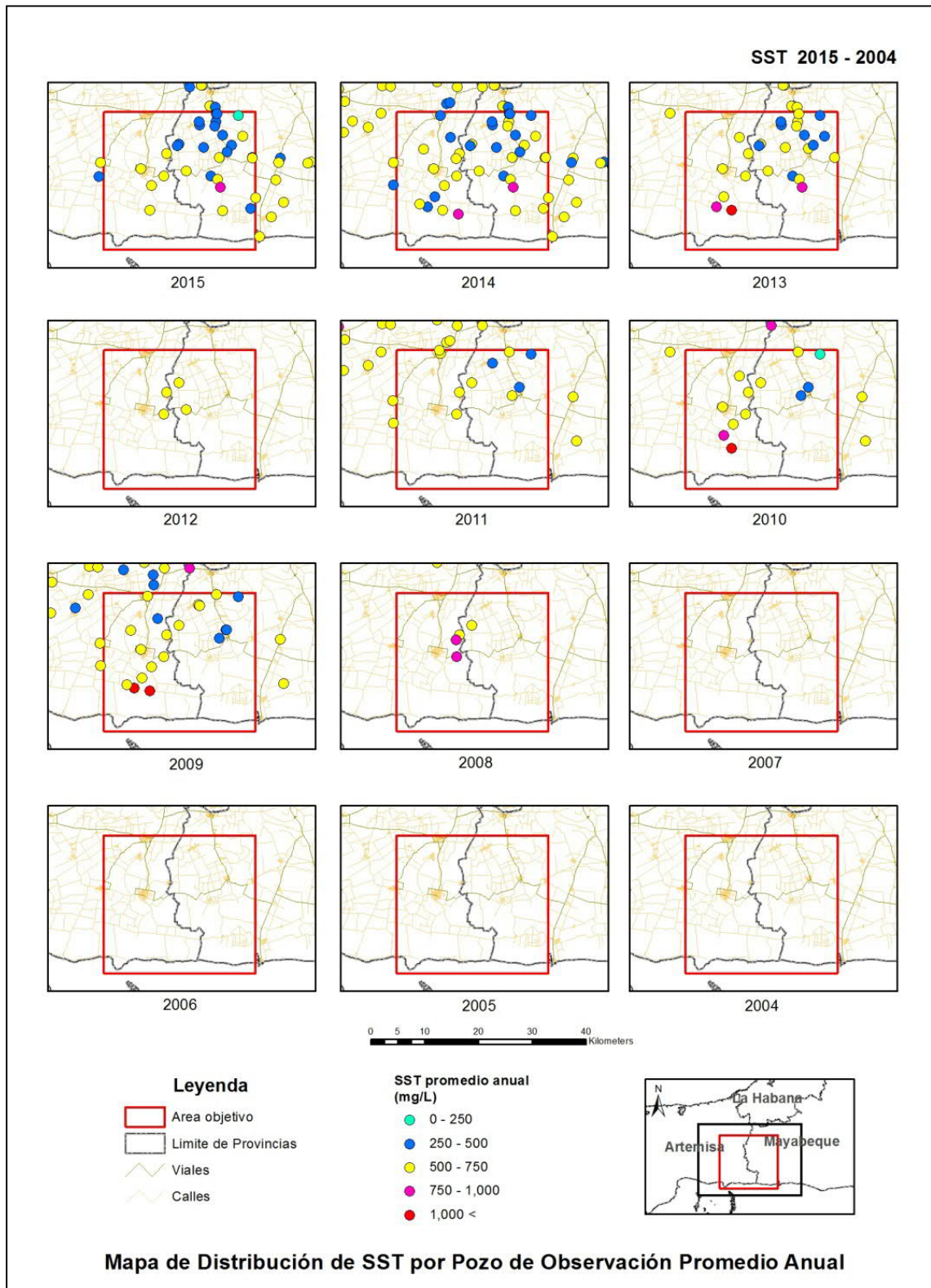


Figura 2-84: Mapa de distribución de SST por pozo de observación promedio anual

2.6 Balance del Agua Subterránea

El Balance de Agua, proceso que conduce y dirige el sistema INRH, es el principal instrumento para materializar la gestión integrada del agua en Cuba, en función de satisfacer las necesidades de la economía, sociedad y de la protección del medio ambiente. En el proceso de elaboración se manifiestan rasgos importantes de obligatorio reconocimiento tanto por la autoridad del agua, como por los usuarios respectivos. Entre ellas:

1. Que es un recurso natural renovable, a diferencia de muchos otros recursos que se planifican anualmente que son insumos del Plan de la Economía.
2. Que la única fuente renovable de agua en el país es la lluvia y que esta se distribuye de manera no uniforme en el espacio geográfico y el tiempo, existiendo 2 períodos bien diferenciados: el lluvioso y el menos lluviosos o seco.
3. Que la autoridad del agua ejerce su propia función reguladora dada por los instrumentos legales en el mismo momento de su elaboración, habida cuenta de las puntualizaciones que realiza sobre las disponibilidades anuales de agua en las cuencas superficiales y subterráneas.
4. Que el balance de agua, como expresión de la relación disponibilidad – demanda, transita en ambos componentes por elementos tales como usos, racionalidad en su empleo, tecnologías a emplear, normas y regulaciones y otros también importantes

Su ejecución está regida por el Calendario que emite el Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos anualmente con el fin de que su confección quede comprendida en el período de la elaboración de los planes anuales de las entidades económicas y sociales.

El Balance de Agua como instrumento de planificación mediante el cual se mida la eficiencia en el consumo estatal y privado, respecto a la disponibilidad del recurso, es un proceso de conciliación de intereses de todas las ramas de la economía y de la sociedad para acceder a las distintas fuentes de agua a las cuales están vinculadas.

Es un proceso de demandas, análisis de las disponibilidades y estado técnico de las fuentes suministradoras, discusión, fundamentación y asignación de volúmenes de agua para satisfacer las necesidades planteadas, sin violar las condiciones y restricciones de explotación de las fuentes. Estas disponibilidades dependen del comportamiento de las lluvias.

Las cuencas subterráneas Artemisa Quivicán (HS-3) y la (HS-4) son las principales fuentes de alimentación para el desarrollo en esta zona.

La formación de las aguas subterráneas se produce, fundamentalmente, por las precipitaciones atmosféricas y por las siguientes fuentes complementarias de alimentación:

- Pérdidas por filtración del Canal Pedroso-Güira.
- Infiltración del escurrimiento fluvial.
- Restituciones de las aguas de riego.

La infiltración de las aguas para el riego es un factor importante en el balance general de las aguas subterráneas. El volumen mayor de extracción para el riego, de acuerdo con los datos históricos fue en el año 1987 con una cifra de $250 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{año}$. Con los métodos de riego existentes y el estado técnico de las obras las restituciones de las aguas de riego constituyen de un 35% del volumen de explotación teniendo en cuenta el tipo de rica existente.

La infiltración del escurrimiento fluvial es un elemento a considerar para la evaluación de los recursos de las aguas subterráneas. En la parte de las Alturas, donde se encuentran

propagadas las rocas anteriores al Neógeno, se produce la formación del escurrimiento superficial. En esta área la infiltración al acuífero es muy pequeña, descargándose un volumen del escurrimiento superficial en la llanura cársica del Neógeno.

En la cuenca la mayoría de los ríos y arroyos no llegan a la costa, el escurrimiento superficial se infiltra en la llanura cársica del Neógeno, alimentando las aguas subterráneas y una parte se evapora. En la zona prealturas parte del escurrimiento está regulado por la presa (Aguas Claras) y las micropresas (Vaquería 15, Reyner, Seibabo, San Juan y Añil) y la alimentación se produce por las pérdidas de filtración del embalse.

En la llanura la infiltración directa de las precipitaciones depende de la composición y espesor de los sedimentos de cobertura. En las zonas donde hay un amplio desarrollo del carso y no existen los depósitos de cobertura la infiltración puede ser del 80 al 90% del volumen de las precipitaciones.

En estas áreas, en general, está desarrollado un microrelieve, el que tiene la particularidad de que cada cuenca superficial finaliza en una dolina cársica, donde llega una parte del escurrimiento fluvial. Por esta razón, el espesor de la cobertura no influye en la magnitud de la alimentación.

Las pérdidas por los canales magistrales contribuyen a la alimentación del acuífero. Desde la toma de agua de la presa Derivadora Pedroso, hasta Güira de Melena, está construido un canal (Pedroso-Güira) de aproximadamente 61 km de longitud (60,833 Km). Las pérdidas totales varían según los volúmenes entregados estando en el orden del 40 %.

La descarga de las aguas subterráneas se produce en forma de escurrimiento, a través de las zonas intensamente carsificadas y fracturadas, por el flujo superficial de los canales que se encuentran en la zona cenagosa, por la evaporación de las aguas embalsadas por el dique sur y por la explotación de los pozos.

La extracción de las aguas subterráneas es de considerable magnitud, tanto por el gasto de las fuentes como por la concentración de la explotación. Los principales usuarios son los acueductos con un gasto de 3.2 m³/s y los sistemas de riego con un gasto de 3.5 m³/s.

El acueducto Cuenca Sur fue construido en la década de los años 50 del pasado siglo y está constituido por 20 pozos de explotación, de una profundidad entre 25 y 90 m, con un gasto total de extracción de 3.02 m³/s. Las Empresas Agropecuarias de Güira de Melena, 19 de Abril en Quivicán, Alquizar, Batabanó y San Antonio de los Baños son también grandes consumidores del agua subterránea para riego.

a. Diagrama conceptual del ciclo hidrológico

En el caso del área de estudio que abarca el Proyecto JICA (incluyendo su ampliación según el dominio del Modelo Matemático) se han tomado en cuenta todas las dos variables de la Ecuación de Continuidad, con un enfoque espacio temporal de la ocurrencia del ciclo hidrológico del agua en la zona, evaluando sus componentes a nivel de la cuenca subterránea ya que la llamada Cuenca JICA constituye el 52 % del área total de la cuenca HS-3 y el 80 % de la misma tomando el área del dominio del Modelo.

Se hará el balance superficial y subterráneo integrando ambos finalmente con un intervalo de tiempo mensual ya que la formación de las aguas subterráneas se produce, fundamentalmente por las precipitaciones atmosféricas.

Ecuación de Continuidad

$$\Delta V = E - S = dV/dt$$

b. Balance hídrico superficial

Según el escenario de nuestra área la Ecuación queda expresada de la siguiente forma:

$$\Delta V = (Esc) - (Et + In + Inter)$$

Donde

ΔV Cambio de almacenamiento.

V_{ll} Escurrimiento.

Et Evapotranspiración.

In Infiltración de la lluvia hacia las capas profundas del suelo.

$Inter$ Intercepción de lluvia por la vegetación.

c. Componentes

V_{ll} (Escurrimiento de la lluvia): Se tomaron los valores de la precipitación media distribuida por meses

Tabla 2-15: Precipitación media distribuida por meses

| Concepto | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic | Total |
|--------------------|------|------|-----|------|-------|-----|-------|-------|-------|-------|------|------|--------|
| Precipitación (mm) | 45.9 | 45.5 | 47 | 65.2 | 138.4 | 227 | 172.1 | 190.4 | 221.8 | 131.4 | 55.6 | 34.3 | 1374.6 |

In (Infiltración de la lluvia hacia las capas profundas del suelo): Fueron determinados por el balance hídrico de suelos tomando en cuenta la capacidad de campo, el punto de marchitez, la humedad del suelo y la densidad aparente del mismo.

La infiltración del escurrimiento fluvial es un elemento a considerar para la evaluación de los recursos de las aguas subterráneas. En la parte de las Alturas, donde se encuentran propagadas las rocas anteriores al Neógeno, se produce la formación del escurrimiento superficial. En esta área la infiltración al acuífero es muy pequeña, descargándose un volumen del escurrimiento superficial en la llanura cársica del Neógeno.

En la llanura la infiltración directa de las precipitaciones depende de la composición y espesor de los sedimentos de cobertura. En las zonas donde hay un amplio desarrollo del carso y no existen los depósitos de cobertura la infiltración puede ser del 80 al 90% del volumen de las precipitaciones.

En estas áreas, en general, está desarrollado un microrelieve, el que tiene la particularidad de que cada cuenca superficial finaliza en una dolina cársica, donde llega una parte del escurrimiento fluvial. Por esta razón, el espesor de la cobertura no influye en la magnitud de la alimentación.

Inter (Intercepción de lluvia por la vegetación): Se tomaron los valores de determinados por el Balance anterior empleando los coeficientes de la metodología.

d. Metodología

En el caso de las componentes de Escurrimiento, Infiltración Evapotranspiración real y Recarga natural, fueron determinadas por la Metodología Schosinsky, 2006 el que utiliza el Balance Hídrico de suelos apoyado por la zonificación de Polígonos Biofísicos (Rodríguez, Álvarez, 2014). El procedimiento es el siguiente:

- Determine el valor de la evapotranspiración real
- Determine el valor de la relación entre la infiltración del agua en el suelo y la intensidad de la lluvia (factor Kfc)
- Determine el valor de la pendiente (factor Kp)
- Determine el valor de la cobertura vegetal (factor Kv)
- Determine el valor de retención de coberturas (techos, etc)
- Calcule el valor del coeficiente de infiltración $Ci=Kfc+Kp+Kv$
- Determine el valor de la precipitación efectiva Pef
- Calcula el balance hídrico de suelos

Según la pendiente, textura de suelo, cobertura vegetal se zonificaron 3 polígonos en los que se aplicaron las variables climáticas de precipitación, temperatura y radiación solar y otros parámetros como la capacidad de campo, el punto de marchitez, la humedad del suelo y la densidad aparente del mismo, obteniéndose el Balance Hídrico de suelos.

| | | | | | | | | | | | | | |
|---|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|--------------|
| fc [mm/d] | 600.00 | | | | | | | | | | | | |
| Kp [0.01%] | 0.15 | | | | | | | | | | | | |
| Kv [0.01%] | 0.20 | | | | | | | | | | | | |
| Kfc [0.01%] | 0.89258 | | | | | | | | | | | | |
| I [0.01%] | 1 | | | | | | | | | | | | |
| DS (g/cm ³): | 1.10 | | | | | | | | | | | | |
| PR (mm) | 800.00 | | | | | | | | | | | | |
| HSi (mm) | 325.60 | | | | | | | | | | | | |
| Nº de mes con que inicia HSi:1,2,3...12? | 11 | | | | | | | | | | | | |
| Lluvia retenida [0.01%] : Bosques=0.2, otros=0.12 | 0.12 | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | por peso |
| | | | | | | | | | | | | | (%) |
| | | | | | | | | | | | | | (mm) |
| | | | | | | | | | | | | | CC |
| | | | | | | | | | | | | | PM |
| | | | | | | | | | | | | | (CC-PM) |
| | | | | | | | | | | | | | 325,60 |
| | | | | | | | | | | | | | 264,00 |
| | | | | | | | | | | | | | 7,00 61,60 |
| Concepto | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic | Total |
| P (mm) | 45.90 | 45.50 | 47.00 | 65.20 | 138.40 | 227.00 | 172.10 | 190.40 | 221.80 | 131.40 | 55.60 | 34.30 | 1374.60 |
| Ret [mm] | 5.51 | 5.46 | 5.64 | 7.82 | 16.61 | 27.24 | 20.65 | 22.85 | 26.62 | 15.77 | 6.67 | 5.00 | 165.84 |
| Pi (mm) | 40.39 | 40.04 | 41.36 | 57.38 | 121.79 | 199.76 | 151.45 | 167.55 | 195.18 | 115.63 | 48.93 | 29.30 | 1208.76 |
| ESC (mm) | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| ETP (mm) | 54.90 | 42.40 | 50.10 | 65.20 | 70.50 | 93.60 | 140.40 | 149.10 | 95.80 | 99.50 | 90.10 | 40.80 | 992.40 |
| HSi (mm) | 310.51 | 309.19 | 313.29 | 313.11 | 316.04 | 325.60 | 325.60 | 325.60 | 325.60 | 325.60 | 325.60 | 314.54 | |
| C1 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | |
| C2 | 0.52 | 0.70 | 0.66 | 0.67 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 0.33 | 0.63 | |
| HD (mm) | 86.90 | 85.23 | 90.65 | 106.49 | 173.83 | 261.36 | 213.05 | 229.15 | 256.78 | 177.23 | 110.53 | 79.84 | |
| ETR (mm) | 41.71 | 35.94 | 41.54 | 54.45 | 70.50 | 93.60 | 140.40 | 149.10 | 95.80 | 99.50 | 59.99 | 33.33 | 915.86 |
| HSf (mm) | 309.19 | 313.29 | 313.11 | 316.04 | 325.60 | 325.60 | 325.60 | 325.60 | 325.60 | 325.60 | 314.54 | 310.51 | |
| DCC (mm) | 16.41 | 12.31 | 12.49 | 9.56 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 11.06 | 15.09 | |
| Rp (mm) | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 41.73 | 106.16 | 11.05 | 18.45 | 99.38 | 16.13 | 0.00 | 0.00 | 292.90 |
| NR (mm) | 29.60 | 18.77 | 21.05 | 20.31 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 41.17 | 22.56 | 153.46 |

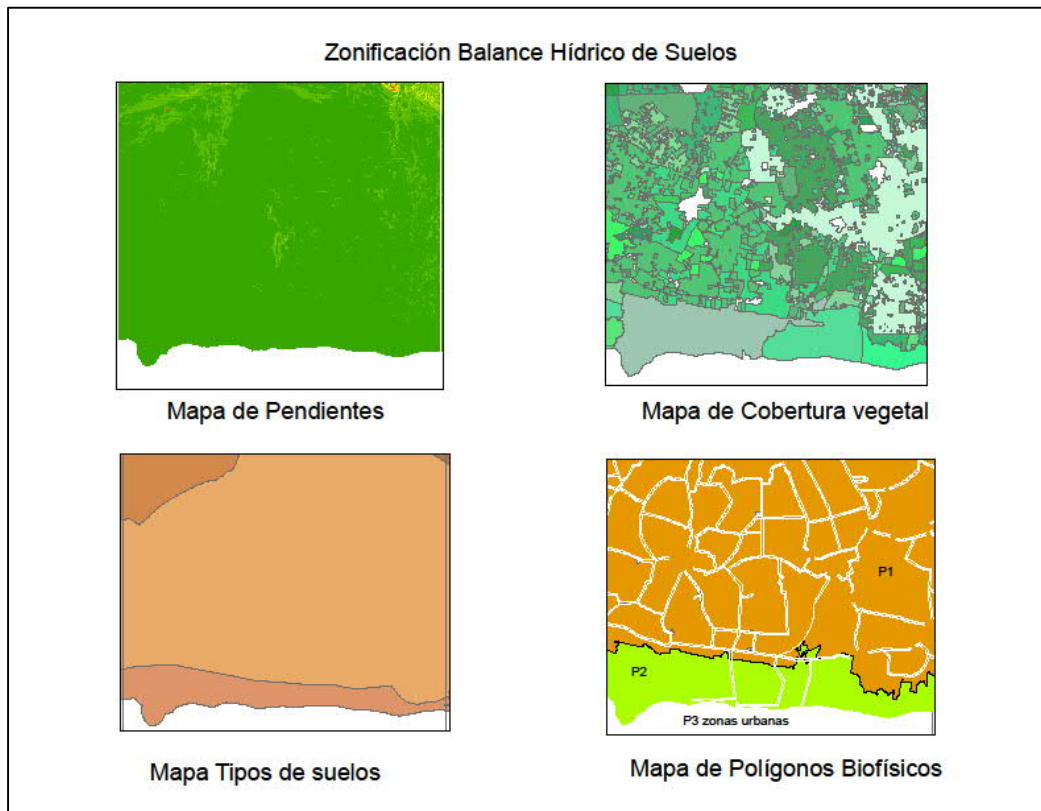


Figura 2-85: Zonificación para el balance hídrico de suelos

Tabla 2-16: Coeficientes por pendiente

| Coeficiente por pendiente Cuenca Guara | | |
|--|-----------|------|
| Clasificación | Pendiente | Kp |
| Muy plana | 0.002 | 0.30 |
| Plana | 0.004 | 0.20 |
| Algo plana | 0.014 | 0.15 |

Tabla 2-17: Coeficientes por cobertura vegetal

| No. | Cobertura vegetal | Kv |
|-----|---------------------------------|------|
| 1 | Cultivos varios | 0,10 |
| 2 | Pastos | 0,18 |
| 3 | Bosques secundarios, matorrales | 0,20 |
| 4 | Manglares | 0.20 |
| 5 | Herbazales de ciénaga | 0.20 |

Tabla 2-18: Coeficientes en otras zonas

| Otras zonas | Coef. Kfc | Coef. Kv | Lluvia promedio anual | Coef. Kp |
|-------------|-----------|----------|-----------------------|---------------|
| Embalses | 0.10 | 0 | según el área | según el área |
| Urbanas | 0.10 | 0.18 | según el área | 0,20 |
| Viales | 0.10 | 0.18 | según el área | 0.20 |

Tabla 2-19: Profundidad de las raíces

| Cultivo | Profundidad de las raíces (m). Modificado de Schosinsky |
|---------------------|---|
| Pastos | Entre 1.40 y 1.60 |
| Herbazal de ciénaga | 1.00 |
| Cultivos varios | Entre 0.70 y 0.50 |
| Manglares | 1.70 |
| Bosques | 2.00 |

Tabla 2-20: Coeficientes por tipo de suelo

| No | Clasificación genética | Porcentaje por peso de suelo seco | | | |
|----|------------------------|---|---|----------------------------|----------------|
| | | PM (cm ³ /cm ³) | CC (cm ³ /cm ³) | DA (g/cm ³) | fc (mm/día) |
| 1 | Pardo sialítico | 34 | 42 | 1.31 | 700 |
| 2 | Fersialítico | 28 | 34 | 1.04 | 800 |
| 3 | Fluvisol | 30 | 37 | 1.11 | 1400 |
| 4 | Ferrálico | 30 | 37 | 1.11 | 1900 |
| 5 | Hidromórfico | 35 | 44 | 1.06 | 1800 |
| 6 | Húmico | 30 | 40 | 1.19 | 600 |
| 7 | Hidromórfico -histosol | 35 | 44 | 1.06 | 1800 |
| 8 | Ferralítico | 30 | 37 | 1.11 | 600 |

Tabla 2-21: Balance hídrico de suelos (2015)

| Variables | E | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D | Anual |
|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|--------|--------|--------|---------|
| P (m3) | 316710 | 313950 | 324300 | 449880 | 954960 | 1566300 | 1187490 | 1313760 | 1530420 | 906660 | 383640 | 236670 | 9484740 |
| Ret (m3) | 41657 | 41282 | 42643 | 59132 | 125582 | 205956 | 156134 | 172761 | 201262 | 119231 | 50434 | 36344 | 1252417 |
| Pi (m3) | 265683 | 263376 | 272062 | 377433 | 801121 | 1313996 | 996217 | 1102122 | 1283870 | 760600 | 321851 | 193526 | 7951863 |
| ESC (m3) | 9370 | 9292 | 9595 | 13311 | 28261 | 46348 | 35139 | 38877 | 45288 | 26829 | 11351 | 6800 | 280460 |
| ETR (m3) | 277487 | 236646 | 274435 | 360305 | 473867 | 629134 | 941717 | 1002083 | 643922 | 668791 | 411095 | 219638 | 6139122 |
| Rp (m3) | 0 | 0 | 0 | 0 | 242078 | 676609 | 61337 | 104922 | 632685 | 95133 | 0 | 0 | 1812737 |

Tabla 2-22: Componentes del balance hídrico

| Precipitación | Infiltración | Escurrimiento | Evapotranspiración | Retención follaje | Recarga |
|---------------------|--------------|---------------|--------------------|-------------------|---------|
| m ³ /año | | | | | |
| 9.484 | 7.952 | 0.280 | 6.139 | 1.252 | 1.812 |

Con estos valores se realiza el diagrama del ciclo hidrológico.

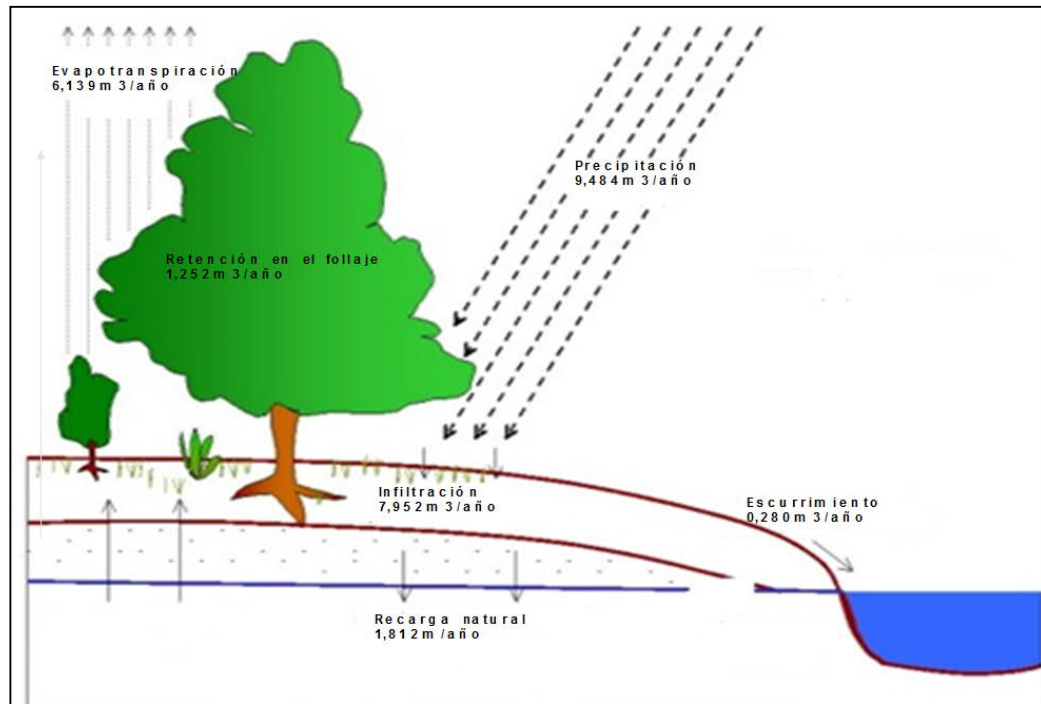


Figura 2-86: Diagrama del ciclo hidrológico

Como se observa de la lluvia caída el 66% infiltra llegando el 16% a convertirse en recarga natural y el 82 % es utilizado por las plantas, esto se evidencia ya que en el área abundan los cultivos varios y en la costa se extiende un ecosistema de manglar. El otro 19 % escurre fundamentalmente en los viales y áreas urbanas y el 15 % de la lluvia es interceptada por el follaje.

Evaluación de los Recursos

Para el cálculo del Recurso disponible, que está en dependencia del período hidrológico, período seco (noviembre-abril) y período húmedo (mayo-octubre), se utilizó la siguiente expresión:

$$R_{dis} = \Delta H \mu \cdot F$$

Donde:

μ . Es el coeficiente de almacenamiento (adimensional)

ΔH .- Es la recarga efectiva del acuífero en m.

F.- Es el área de la subcuenca en km².

La recarga efectiva se calcula mediante el gráfico de Control de Balance de las aguas subterráneas, GCBAS, para el cual se van introduciendo mensualmente los datos de lluvia (mm), niveles de las aguas (m) y explotación de las aguas subterráneas por los acueductos, en un software desarrollado al efecto (Pons, 1980) Este programa también permite resolver la recarga neta y el coeficiente de alimentación, entre otras variables.

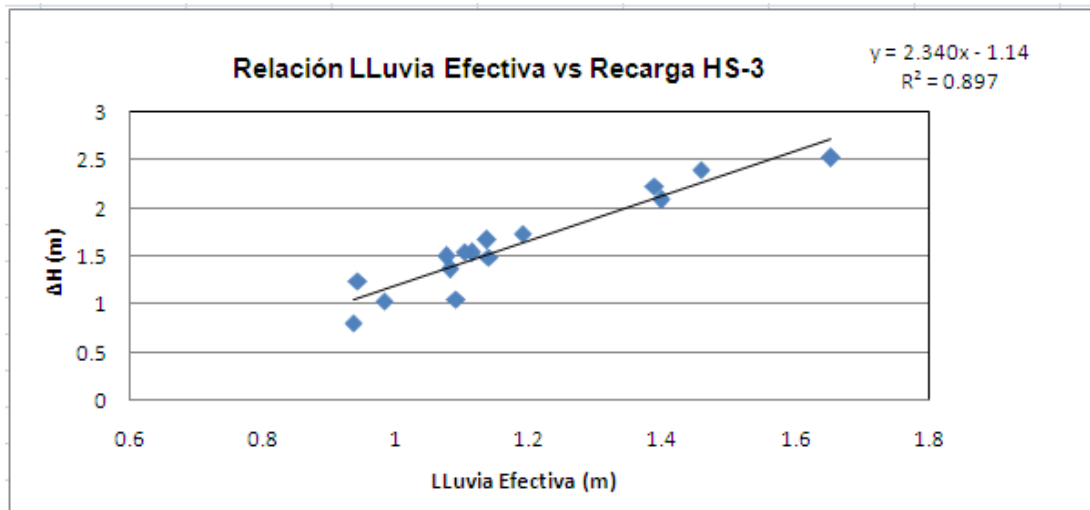


Figura 2-87: Estimación de la recarga total efectiva partiendo de la lluvia efectiva

$$\Delta H = 2.340 * LLe - 1.14$$

$$R^2 = 0.897 \text{ (Coeficiente de Correlación)}$$

Donde:

ΔH Recarga total Efectiva (m)

Lluvia Efectiva (m). Lluvia Acumulada periodo Húmedo. (Mayo – Octubre)

- Probabilidades de recarga con relación a la lluvia efectiva.

Se realizó el análisis estadístico a la serie de la lluvia efectiva del 1986-2014 aplicando pruebas de bondad de ajuste a distribuciones teóricas de probabilidades por el método de Smirnov-Kolmogorov, resultado que se utilizará para evaluar los recursos disponibles a diferentes probabilidades.

Procedimiento Para Evaluar los Recursos Disponibles al cierre del Periodo Húmedo

- A partir de la lluvia efectiva obtenida a diferentes probabilidades con auxilio del gráfico de ΔH vs LLe y con su ecuación de regresión se determina el valor de ΔH a esa probabilidad.
- El volumen recargado (V_r) para la probabilidad media se calcula por la ecuación de balance Binderman (1) con el ΔH medio, a partir de los ΔH calculados anteriormente por regresión a las diferentes probabilidades, se sustituyen según las ecuaciones 2, 3 y 4:

$$V_r = \mu \cdot \overline{\Delta H} F \quad (1)$$

$$V_r = \mu \cdot \Delta H_{25\%} F \quad (2)$$

$$V_r = \mu \cdot \Delta H_{75\%} F \quad (3)$$

$$V_r = \mu \cdot \Delta H_{95\%} F \quad (4)$$

- El valor de la alimentación del horizonte acuífero a diferentes probabilidades se determina usando el valor calculado del ΔH a diferentes probabilidades por la ecuación (7), que para ΔH medio, nos da W media

$$W = \mu \cdot \Delta H_{25\%} \quad (5)$$

$$W = \mu \cdot \Delta H_{75\%} \quad (6)$$

$$W = \mu \cdot \Delta H_{95\%} \quad (7)$$

$$W = \overline{\mu \cdot \Delta H} \text{ media} \quad (8)$$

- Los valores del coeficiente de alimentación (α) a diferentes probabilidades se obtienen por las siguientes relaciones:

$$\alpha = \frac{W_{25\%}}{Lle_{25\%}} \text{ al } 25 \% \text{ de probabilidad}$$

$$\alpha = \frac{W_{75\%}}{Lle_{75\%}} \text{ al } 75 \% \text{ de probabilidad}$$

$$\alpha = \frac{W_{95\%}}{Lle_{95\%}} \text{ al } 95 \% \text{ de probabilidad}$$

$$\alpha = \frac{\overline{W}}{\overline{Lle}} \text{ para la probabilidad media.}$$

Tabla 2-23: Recurso disponible a diferentes probabilidades.

| Probabilidades. | LLe (mm) | ΔH (m) | W (m) | Vr Recurso Disponible (H ³ /Año) | α (%) |
|-----------------|----------|----------------|-------|---|--------------|
| 25% | 1259.1 | 1.81 | 0.307 | 297.24 | 0.244 |
| 75% | 1013.9 | 1.23 | 0.210 | 202.82 | 0.207 |
| 95% | 867.4 | 0.89 | 0.151 | 146.41 | 0.174 |
| Media | 1046.8 | 1.31 | 0.22 | 215.493 | 0.208 |

El procedimiento descrito se realiza al cierre de cada periodo húmedo, evaluándose el recurso disponible, que será el volumen recomendado de explotación para el próximo año hidrológico.

Tabla 2-24: Balance Interno del acuífero obtenido por la metodología del gráfico de control de balance

| N | Año | $\Delta h(m)$ | $\Delta zh(m)$ | $\Delta zs(m)$ | $\Delta H(m)$ | $\Delta Z(m)$ | Lle(mm) | α | W(m) | u | Mo | Vr (hm3) | Vexp(hm3) |
|----|------|---------------|----------------|----------------|---------------|---------------|---------|----------|------|------|-------|----------|-----------|
| 1 | 1986 | 1.18 | 1.64 | 1.11 | 2.82 | 2.75 | 962 | 0.499 | 0.48 | 0.17 | 15.22 | 464.64 | 453.11 |
| 2 | 1987 | 0.87 | 0.17 | 1 | 1.04 | 1.17 | 981 | 0.1835 | 0.18 | 0.17 | 5.71 | 174.24 | 196.02 |
| 3 | 1988 | 1.23 | 0.14 | 1.11 | 1.37 | 1.25 | 1080 | 0.2222 | 0.24 | 0.18 | 7.61 | 232.32 | 211.97 |
| 4 | 1989 | 1.25 | -0.19 | 1.24 | 1.06 | 1.05 | 1090 | 0.1651 | 0.18 | 0.17 | 5.71 | 174.24 | 172.60 |
| 5 | 1990 | 1.07 | -0.11 | 0.99 | 0.96 | 0.88 | 1103 | 0.1451 | 0.16 | 0.17 | 5.07 | 154.88 | 141.97 |
| 6 | 1991 | 1.47 | 0.62 | 1.16 | 2.09 | 1.78 | 1397 | 0.2577 | 0.36 | 0.17 | 11.41 | 348.48 | 296.79 |
| 7 | 1992 | 2.05 | 0.72 | 1.1 | 2.77 | 1.82 | 1318 | 0.3642 | 0.48 | 0.17 | 15.22 | 464.64 | 305.29 |
| 8 | 1993 | 0.68 | 0.1 | 1 | 0.78 | 1.1 | 1163 | 0.1118 | 0.13 | 0.17 | 4.12 | 125.84 | 177.47 |
| 9 | 1994 | 1.01 | -0.2 | 1.58 | 0.81 | 1.38 | 935 | 0.1497 | 0.14 | 0.17 | 4.44 | 135.52 | 230.89 |
| 10 | 1995 | 1.04 | 0.7 | 0.71 | 1.74 | 1.41 | 1189 | 0.2523 | 0.3 | 0.17 | 9.51 | 290.4 | 235.32 |
| 11 | 1996 | 1.11 | 0.43 | 1.17 | 1.54 | 1.6 | 1113 | 0.2336 | 0.26 | 0.17 | 8.24 | 251.68 | 261.49 |
| 12 | 1997 | 0.84 | 0.71 | 0.71 | 1.55 | 1.42 | 1102 | 0.245 | 0.27 | 0.17 | 8.56 | 261.36 | 239.44 |
| 13 | 1998 | 0.99 | 0.5 | 1.32 | 1.49 | 1.82 | 1139 | 0.2283 | 0.26 | 0.17 | 8.24 | 251.68 | 307.42 |
| 14 | 1999 | 2.05 | 1.19 | 1.67 | 3.24 | 2.86 | 1174 | 0.4685 | 0.55 | 0.17 | 17.44 | 532.4 | 469.96 |
| 15 | 2000 | 0.73 | 2.02 | 0.92 | 2.75 | 2.94 | 923 | 0.5092 | 0.47 | 0.17 | 14.90 | 454.96 | 486.39 |
| 16 | 2001 | 1.09 | 1.03 | 0.92 | 2.12 | 1.95 | 1087 | 0.3312 | 0.36 | 0.17 | 11.41 | 348.48 | 320.54 |
| 17 | 2002 | 1.59 | 0.64 | 0.69 | 2.23 | 1.33 | 1388 | 0.2738 | 0.38 | 0.17 | 12.05 | 367.84 | 219.38 |
| 18 | 2003 | 0.63 | 0.62 | 1.09 | 1.25 | 1.71 | 942 | 0.2229 | 0.21 | 0.17 | 6.66 | 203.28 | 278.09 |
| 19 | 2004 | 0.6 | 0.87 | 0.83 | 1.47 | 1.7 | 1117 | 0.2238 | 0.25 | 0.17 | 7.93 | 242 | 279.86 |
| 20 | 2005 | 1.84 | 0.69 | 1.39 | 2.53 | 2.08 | 1653 | 0.2601 | 0.43 | 0.17 | 13.63 | 416.24 | 342.21 |
| 21 | 2006 | 0.82 | 0.85 | 1.1 | 1.67 | 1.95 | 1136 | 0.2553 | 0.29 | 0.17 | 9.19 | 280.72 | 327.79 |
| 22 | 2007 | 0.68 | 0.79 | 0.87 | 1.47 | 1.66 | 1237 | 0.2021 | 0.25 | 0.17 | 7.93 | 242 | 273.28 |
| 23 | 2008 | 1.35 | 1.06 | 1.42 | 2.41 | 2.48 | 1458 | 0.2812 | 0.41 | 0.17 | 13.00 | 396.88 | 408.41 |
| 24 | 2009 | 0.27 | 1.28 | 0.51 | 1.55 | 1.79 | 916 | 0.2948 | 0.27 | 0.17 | 8.56 | 261.36 | 301.83 |
| 25 | 2010 | 0.44 | 0.3 | 0.63 | 0.74 | 0.93 | 1058 | 0.1229 | 0.13 | 0.18 | 4.12 | 125.84 | 158.15 |
| 26 | 2011 | 1.05 | 0.45 | 1.05 | 1.5 | 1.5 | 1074 | 0.2421 | 0.26 | 0.17 | 8.24 | 251.68 | 251.68 |
| 27 | 2012 | 1.51 | 1.29 | 1.51 | 2.8 | 2.8 | 1487 | 0.3228 | 0.48 | 0.17 | 15.22 | 464.64 | 464.64 |
| 28 | 2013 | 1.07 | 0.82 | 1.07 | 1.89 | 1.89 | 1141 | 0.2805 | 0.32 | 0.17 | 10.14 | 309.76 | 309.76 |
| 29 | 2014 | 0.29 | 1.18 | 0.29 | 1.47 | 1.47 | 823 | 0.3038 | 0.25 | 0.17 | 7.93 | 242 | 242.00 |

- Δh : Recarga Neta (m) (Ascensos del nivel) para este cálculo se procede de la siguiente forma, se identifica dentro del año el menor valor del nivel (pico) y se le resta al mayor que le precede (depresión), si existe un solo pico; si existen 2 picos se calculan ambos de la misma manera y se suman; cuando la elevación del nivel trasciende (pico) en forma ascendente de un año a otro este valor se suma al año anterior.
- ΔZh : Descarga en el período húmedo (m) se determina calculando la tendencia al descenso en el período seco y multiplicando por los meses que transcurren para la recarga neta correspondiente a ese ΔZh o sea $= \frac{\Delta Zs}{t_{seco}} * t_{humedo}$. También puede calcularse aplicando las propiedades de los triángulos internos.
- ΔZs , Descarga Neta (m) (Descensos del nivel) para este cálculo se procede de la siguiente forma, se identifica dentro del año el mayor valor del nivel (depresión) y se le resta el menor que le antecede, siempre que la tendencia sea a descender, si existe una sola depresión; si existen 2 se calculan ambas de igual forma y se suman. Este valor se incluirá siempre al año que corresponda el Δh que le antecede.

- ΔH : Altura Total Aparente de la alimentación (m), se obtiene a partir de la suma de Δh y ΔZ_h , ubicándose en el año correspondiente. $\Delta H = \Delta h + \Delta Z_h$

1.

- ΔZ : Altura Total Aparente de la descarga (m); se obtiene a partir de la suma de ΔZ_s y ΔZ_h , ubicándose en el año correspondiente. $\Delta Z = \Delta Z_s + \Delta Z_h$.
- L_e : Lluvia efectiva (mm) es la suma de todas las lluvias mensuales que dentro del año provoquen variación en la tendencia al descenso de los niveles.
- μ : Porosidad efectiva o Coeficiente de almacenamiento (Adim) se puede calcular por la ecuación siguiente: $\mu = 0.17$.
- W : Alimentación del acuífero (m); es el producto de μ y ΔH . O sea $W = \mu * \Delta H$
- α : Coeficiente de aprovechamiento del escurrimiento medio anual es la magnitud que se obtiene a partir de la división de la alimentación del acuífero (W) y la lluvia efectiva L_e , o sea $\alpha = \frac{W}{L_e}$

2.

- V_r : Volumen de Recarga (hm^3) se obtiene por $V_r = \mu * \Delta H * F$
- V_{exp} : Volumen de Explotación (hm^3) se obtiene por: $V_{exp} = \mu * \Delta Z * F$

3.

Donde F es el área de la Cuenca $F = 968Km^2$

Obtención de los niveles de Aviso

- N_{alerta} : Nivel de Alerta (m), $N_{alerta} = NM Re g - \overline{\Delta h}$
- N_{alarma} : Nivel de Alarma (m) $N_{alarma} = NM Re g - \frac{\overline{\Delta h}}{2}$

e. Balance hídrico subterráneo

Adaptando la ecuación de continuidad al escenario hidrogeológico en el área

$$\Delta V = (In + R_t + V_{man} + f + \Delta h) - (Uc + A_b + E_x)$$

Donde

| | |
|------------|--|
| ΔV | Cambio de almacenamiento |
| R_t | Retornos de agua desde los diversos usos (35% según tipo de roca) |
| V_{man} | Aportes de otras cuencas |
| In | Infiltración de la lluvia hacia las capas profundas del suelo |
| Uc | Usos (consuntivos o no) del agua, equivalente a la demanda |
| f | Pérdidas por fugas, en los sistemas municipales. (20% según NC 973/2013) |
| A_b | Volumen de escurrimiento a la salida de la cuenca ($Q = L + T$) |
| E_x | Exportaciones hacia cuencas vecinas |

f. Componentes

Rt (Retornos de agua desde los diversos usos): Fueron determinadas las aportadas por los sistemas de riego y la de los canales magistrales

Restituciones de las aguas de riego

La infiltración de las aguas para el riego es un factor importante en el balance general de las aguas subterráneas. En los últimos 5 años estos valores han disminuido considerablemente ya que los volúmenes entregados a los usuarios no sobrepasan los 80 Hm³/año, pues además que la agricultura ha ganado veracidad en los volúmenes de agua que demanda, se han introducido técnicas de riego con mayor eficiencia como el sistema de Enrolladores cuya eficiencia es de un 85 % lo que hace que las restituciones de las aguas de riego estén entre un 15 y un 20 % del volumen de explotación en el período húmedo. No obstante se aplicó el 35 % del volumen consumido según el tipo de roca en la zona.

Pérdidas por filtración del Canal Pedroso-Güira

Las pérdidas por los canales magistrales contribuyen a la alimentación del acuífero. Desde la obra de toma de agua de la Derivadora Pedroso, hasta Güira de Melena, está construido un canal (Pedroso-Güira) de aproximadamente 61 km de longitud en el que las pérdidas por conducción constituyen recarga al acuífero. Los canales magistrales en el área de estudio alcanzan 26,575 km de ellos 23,885 km pertenecen al canal Pedroso-Güira (específicamente el Tramo III), el que atraviesa toda el área de estudio desde el río San Felipe hasta el Embalse Regulador Güira I en el poblado de El Gabriel ya en la provincia de Artemisa y 2,69 km al canal Aguas Claras el que da continuidad a un sifón que sale de la presa Aguas Claras hasta el Embalse Regulador Buenaventura en el poblado del mismo nombre.

Ambas obras hidráulicas están revestidas con losas de hormigón, y aportan volúmenes que constituyen recarga a las aguas subterráneas durante los 9 meses de explotación, el canal Pedroso Güira por su extensa longitud (desde la Derivadora Pedroso hasta Güira de Melena 60,883 km) fue dividido en 3 tramos para el estudio de las pérdidas por conducción y precisamente en el área del proyecto coincide con el Tramo III el que por las condiciones inadecuadas que poseen las juntas de unión entre losas tiene un 60% de eficiencia, en el caso del canal Aguas Claras el recubrimiento que tiene el filtro bajo las losas con polietileno posee una eficiencia mayor aunque disminuida en los últimos años a un 85 % por conflictos por el agua, este canal aunque mantiene menor longitud se ubica en la zona de recarga al acuífero.

A partir de las propiedades hidrofísicas de los suelos cubanos de (Hernández, et al, 1999) y el Mapa de Agrupamientos de suelos (ENPA, 2010) se observa que el tipo de suelo predominante es el ferralítico rojo típico y ferralítico rojo húmico, cuyos coeficientes de infiltración básica están en el orden de 1900 mm/día y 600 mm/día (Cid. et al, 2011).

IMTA, 2006 plantea que un método adicional para determinar los retornos agrícolas es considerar la diferencia de los volúmenes reales abastecidos desde la fuente y lo que consumió el cliente estimando los % de agua infiltrada según el tipo de suelo y la porosidad efectiva de la roca. En nuestro caso se toma la recarga efectiva del Gráfico de Control de Balance de las Aguas Subterráneas (GCBAS) 26% de la lluvia caída.



Figura 2-88: Recarga por pérdidas en canales

V_{man} (Aportes de otras cuencas): Al área llegan anualmente volúmenes de agua superficial de la cuenca vecina Mayabeque y volúmenes de agua subterráneo de la cuenca Ariguanabo además en el III Trimestre del año aporta también el gasto ecológico el río Quivicán a través del embalse Aguas Claras.

I_n (Infiltración de la lluvia hacia las capas profundas del suelo): Se tomaron los valores de recarga natural determinados por el Balance anterior.

Infiltración del escurrimiento fluvial

En la cuenca la mayoría de los ríos y arroyos no llegan a la costa, el escurrimiento superficial se infiltra en la llanura cársica del Neógeno, alimentando las aguas subterráneas y una parte se evapora. En la zona prealturas parte del escurrimiento está regulado por presa (Aguas Claras) y micropresas (Vaquería 15, Reyner, Seibabo, San Juan y Añil) y la alimentación se produce por las pérdidas de filtración del embalse.

Los coeficientes de infiltración, determinados en investigaciones anteriores, varían en un amplio rango, desde el 30% hasta el 70% lo que está acorde con el resultado obtenido.

La descarga de las aguas subterráneas se produce en forma de escurrimiento, a través de las zonas intensamente carsificadas y fracturadas, por el flujo superficial de los canales que se encuentran en la zona cenagosa, por la evaporación de las aguas embalsadas por el dique sur y por la explotación de los pozos.

U_c Usos (consuntivos o no) del agua, equivalente a la demanda: Tomados los valores de extracción de los usuarios del 2015.

La extracción de las aguas subterráneas es de considerable magnitud, tanto por el gasto de las fuentes como por la concentración de la explotación. El acueducto Cuenca Sur fue construido en la década de los años 50 del pasado siglo y está constituido por 20 pozos de explotación, de una profundidad entre 25 y 90 m, con un gasto total de extracción de 3.02 m³/s. En este acueducto se obtuvo información a partir del año 1976 de los controles periódicos de mineralización, explotación y niveles dinámicos, donde se observa que más de la mitad bombean por debajo del nivel medio del mar (2 a 6 m) y solamente 4 presentan una elevación de los cloruros de 50 a 100 mg/l a partir del año 1985. El resto de los pozos bombean con niveles dinámicos por encima del nivel medio del mar y la mitad de estos presentan elevación

de los cloruros a partir del año 1985.

***f* (Pérdidas por fugas, en los sistemas municipales):** La norma NC 973/2013 expresa que en aquellos sistemas con instalaciones sanitarias con deterioro se toma un estimado del 20% de pérdidas.

***Δh* (Volumen de recarga neta sondeado):** Se introducen los valores de recarga obtenidos por el Gráfico de Control de Balance de las Aguas Subterráneas ya que en esta componente se recogen los volúmenes de recarga artificial.

***Ex* (Exportaciones hacia cuencas vecinas):** Por ser el mayor consumidor se tomaron los consumos del Acueducto Cuenca Sur los que son exportados hacia la cuenca Vento.

***A_b* (Volumen de escurrimiento a la salida de la cuenca):** Se propone ejecutar un sistema de control hidrométrico en los aliviaderos del Dique Sur los que constituyen sección de control para conocer el volumen e descarga del acuífero.

g. Balance hídrico integrado (superficial y subterráneo)

Una vez seleccionadas todas las variables se unifican para la ejecución del balance en el área de estudio con una distribución mensual, estas diferencias de volumen nos permitirán conocer si existe déficit en los consumos demandados por los clientes para los diferentes usos.

Se tuvo en cuenta además todo el recurso potencial de la cuenca HS-3 para el análisis y la explotación de todos los clientes tanto de la provincia Artemisa como de Mayabeque.

Con estas cifras se corre el software HIDROGES dándose a conocer los resultados de la disponibilidad hídrica a los usuarios.

El Libro de Balance se incluye como apéndice y contiene:

Tablas 1: Resumen por Organismos

Tablas 2: Resumen por tipos de agua

Tablas 4: Resumen por fuente y tipos de agua

Tablas 6: Resumen por Organismos y tipos de agua

Tablas 7: Resumen por cultivos

DH2: Control del Balance de Agua

Tabla 2-25: Balance de agua cuenca JICA (2015)

| MESES | E | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D | ANUAL |
|---|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|------------------|
| <i>ΔV Cambio de almacenamiento</i> | -13121577 | -13095508 | -13126330 | -13220486 | 8468619 | 54279705 | 7389623 | 20990644 | 8075929 | 3540275 | -110056 | -13068213 | 37002625 |
| <i>V_{ii} Volumen inicial del acuífero HS-3</i> | 316444000 | 303322423 | 290226915 | 277100584 | 263880098 | 272348717 | 326628422 | 334018046 | 355008690 | 363084619 | 366624894 | 366514838 | 353446625 |
| <i>Escurrencimiento</i> | 9372 | 9290 | 9597 | 13313 | 28259 | 46349 | 35140 | 38876 | 45288 | 26830 | 11353 | 6798 | 280464 |
| <i>Im Importaciones desde cuencas vecinas</i> | 2451468 | 2451468 | 2451468 | 2451468 | 2461663 | 2461663 | 2797330 | 2797330 | 2797330 | 2452591 | 2452591 | 2452591 | 30478961 |
| - <i>Cuenca Ariguanabo caudal río</i> | 5357 | 5357 | 5357 | 5357 | 15552 | 15552 | 15552 | 15552 | 15552 | 6480 | 6480 | 6480 | 118628 |
| - <i>Cuenca Mayabeque</i> | 2446111 | 2446111 | 2446111 | 2446111 | 2446111 | 2446111 | 2446111 | 2446111 | 2446111 | 2446111 | 2446111 | 2446111 | 29353332 |
| - <i>Cuenca Quivicán</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 335667 | 335667 | 335667 | 0 | 0 | 0 | 1007001 |
| <i>Rt Retornos de agua riego y canal</i> | 13167088 | 13167088 | 13167088 | 13167088 | 13167088 | 13167088 | 12980310 | 12980310 | 12980310 | 13167088 | 13167088 | 13167088 | 157444722 |
| - <i>Retornos por canales magistrales</i> | 186778 | 186778 | 186778 | 186778 | 186778 | 186778 | 0 | 0 | 0 | 186778 | 186778 | 186778 | 1681002 |
| - <i>Retornos de agua sistemas de riego s</i> | 12980310 | 12980310 | 12980310 | 12980310 | 12980310 | 12980310 | 12980310 | 12980310 | 12980310 | 12980310 | 12980310 | 12980310 | 155763720 |
| <i>In (Infiltración natural)</i> | 47193 | 39561 | 43160 | 44753 | 231671 | 589382 | 64033 | 102442 | 551763 | 89562 | 45219 | 37108 | 1885848 |
| <i>Δh Recarga neta según GCBAS</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 21669000 | 66820000 | 11294000 | 12779000 | 0 | 17050000 | 13130000 | 0 | 142742000 |
| <i>f Pérdidas por fugas (20% Uso)</i> | 800000 | 800000 | 800000 | 800000 | 800000 | 800000 | 800000 | 800000 | 800000 | 800000 | 800000 | 800000 | 9600000 |
| <i>Uc Usos MAY y ART</i> | 21048000 | 21048000 | 21048000 | 21048000 | 21048000 | 21048000 | 0 | 0 | 0 | 21048000 | 21048000 | 21048000 | 189432000 |
| <i>Ex Exportaciones hacia cuencas vecinas (Ac Cuenca Sur)</i> | 8250000 | 8250000 | 8250000 | 8250000 | 8250000 | 8250000 | 8250000 | 8250000 | 8250000 | 8250000 | 8250000 | 8250000 | 99000000 |
| <i>Et Evapotranspiración</i> | 236667 | 203425 | 236125 | 310993 | 404022 | 536404 | 804606 | 854368 | 549012 | 570216 | 343166 | 187128 | 5236132 |
| <i>Inter Intercepción de lluvia por la vegetación</i> | 62031 | 61491 | 63518 | 88114 | 187040 | 306778 | 232583 | 257315 | 299750 | 177580 | 75140 | 46670 | 1858009 |
| <i>A_b Escurrencimiento aguas abajo</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>V_{if} Volumen final del acuífero HS-3</i> | 303322423 | 290226915 | 277100584 | 263880098 | 272348717 | 326628422 | 334018046 | 355008690 | 363084619 | 366624894 | 366514838 | 353446625 | |
| <i>Situación</i> | <i>Descenso</i> | <i>Descenso</i> | <i>Descenso</i> | <i>Descenso</i> | <i>Ascenso</i> | <i>Ascenso</i> | <i>Ascenso</i> | <i>Ascenso</i> | <i>Ascenso</i> | <i>Ascenso</i> | <i>Descenso</i> | <i>Descenso</i> | <i>Ascenso</i> |

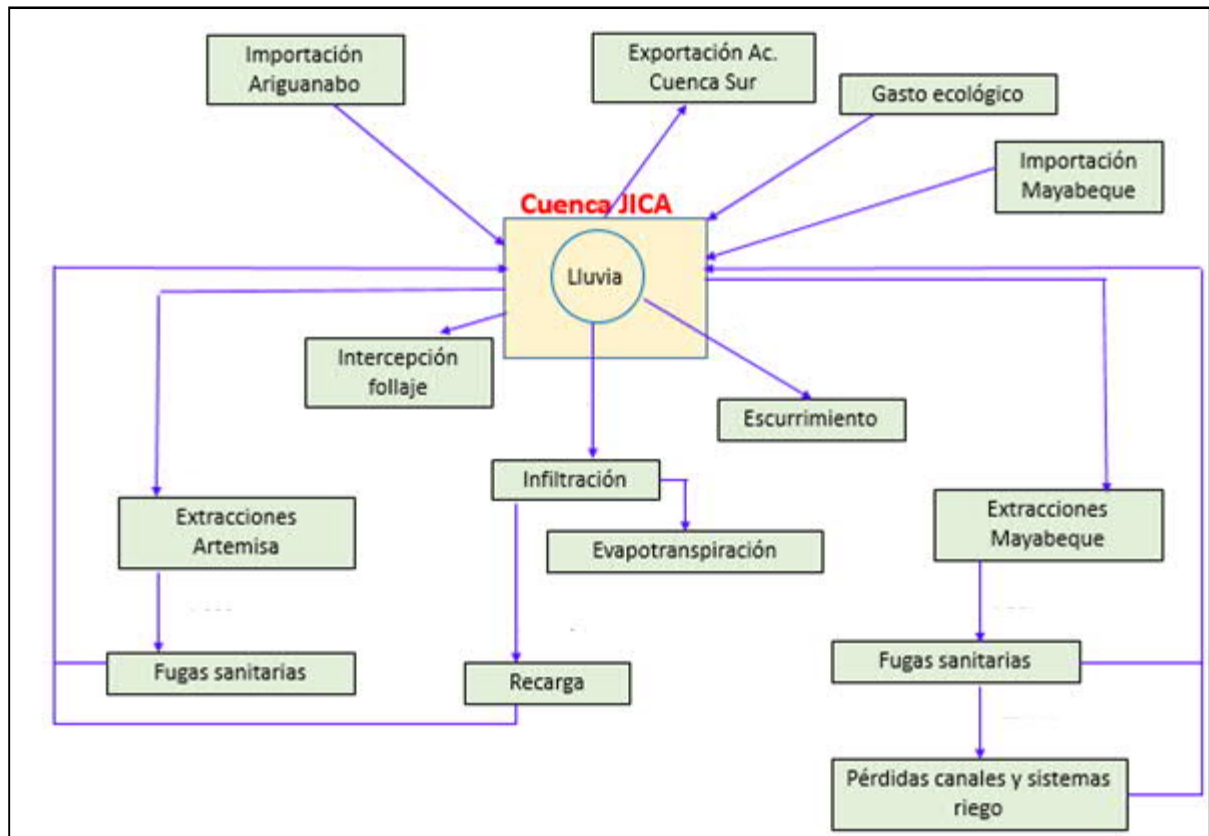


Figura 2-89: Diagrama del balance de agua superficial y subterráneo

2.7 Problemas del Agua Subterránea

a. Niveles del agua subterránea

No es posible realizar el análisis de la calidad del agua del agua subterránea sin hacer una incursión en el nivel de agua de los acuíferos involucrados en el estudio es por esto que hemos decidido adentrarnos en el tema.

Cuando una cuenca es explotada, esta es susceptible de afectarse principalmente por dos efectos negativos secundarios, como los referentes a descensos de niveles y los referentes a cambios de la composición hidroquímica y/o calidad del agua. Estos tendrán las siguientes manifestaciones propias:

- Descenso progresivo de los niveles subterráneos, lo que a su vez, ocasiona problemas secundarios en el bombeo (bombeo de aire, necesidad de aumentar la profundidad de los pozos, mayor abatimiento, agravamiento del costo, etc.).
- Pérdida parcial de las reservas hídricas almacenadas.
- Alteración de la calidad y/o composición hidroquímica de las aguas subterráneas por arrastres de sustancias contaminantes.
- En cuencas abiertas, aumento progresivo de la salinidad (por intrusión marina) cuando el bombeo excede las posibilidades de utilización de la cuenca.

Desde el punto de vista del aprovechamiento, se han presentado las siguientes situaciones en el área objeto de estudio:

- Disminución de los volúmenes almacenados de las reservas renovables y permanentes de la cuenca.
- Descenso significativo de los niveles históricos promedios del acuífero.
- Excesos de salinidad en el suelo.
- Excesos de salinidad para los cultivos.
- Empleo directo de fuentes contaminadas por alta mineralización.
- Acción sobre la salud del hombre y los animales.
- Incremento de la intrusión marina por extracción excesiva de los recursos aprovechables.
- Arrastres orgánicos por vertimientos directos e indirectos en el acuífero.
- Aparición de grandes conos de bombeo por alta concentración de las extracciones.
- Efectos negativos producidos por la irrigación y el drenaje cuando estos no han sido correctamente diseñados y/o operados.

Se ha comprobado que el contorno freático de elevación 1.0 m se encuentra más alejado de la costa en la parte central que en los extremos, aproximadamente a 15 km de distancia.

b. Calidad del agua subterránea

Debido a la situación tan crítica en la cuenca Artemisa-Quivicán de la Costera Sur de La Habana, donde la intrusión penetró durante años debido a la intensa explotación agrícola y de abasto a la capital (Acueducto Cuenca Sur), al bajo % o déficit de las lluvias y también al efecto desestabilizador del régimen subterráneo, provocado por los canales que drenaban el acuífero, los valores de salinidad en las aguas de los pozos de bombeo aumentaron notablemente, peligrando la entrega garantizada de los volúmenes comprometidos, y lo que es peor, el deterioro irreversible de la calidad de los recursos hídricos subterráneos de esta cuenca.

Desde hace más de 50 años, se construyeron canales de drenaje en las zonas costeras, los que se realizaron sin estudios hidrogeológicos y con varios objetivos: de extraer maderas y carbón por los mismos, para mejoramiento de suelos y recuperación de algunas zonas, para obras marítimas de costa y como vías rápidas de traslado del personal que laboraba en esas áreas tan apartadas.

Al drenar el acuífero de esta forma, se alteró las condiciones naturales del mismo, (disminuyó la carga hidráulica y se aumentó el drenaje libre al mar), lo que propició o aceleró la mezcla de aguas dulces y saladas con la consiguiente penetración del agua de mar.

La inadecuada construcción de los pozos del acueducto Cuenca Sur e instalación de las bombas que, conjuntamente con la extracción y las características hidrogeológicas específicas del territorio, han influido en la parte superior de la zona de difusión, creándose problemas de salinidad que pueden ser considerados como locales y no de carácter regional.

b.1 Intrusión salina

En esta Llanura Sur Habana-Matanzas en la cual se encuentran involucradas las provincias Mayabeque y Artemisa fundamentalmente también influye la provincia La Habana con algunos de sus municipios limítrofes.

En el área de referencia prácticamente desde la fundación de la Republica posterior a la colonización por España, se procedió al desarrollo del incremento productivo de las tierras ricas en todos los elementos necesarios para los cultivos conocidos como menores tan

necesarios para el consumo del hombre.

Esto posibilita que algunos grandes y pequeños productores desarrollaran drenajes en la zona con el objetivo de obtener tierras fértiles para los cultivos de época sin considerar que estos canales posibilitarían el incremento de la salinidad en las aguas subterráneas que eran utilizadas para el riego. Con el triunfo revolucionario se incrementan los niveles productivos, por lo que se elevan los consumos de agua de los diferentes acuíferos hasta que finalmente se observan niveles de salinidad no esperados que ocasionan un desarrollo de estudios necesarios para conocer el estado del manto freático y se producen un conjunto de medidas que permiten atenuar el incremento de la salinidad.

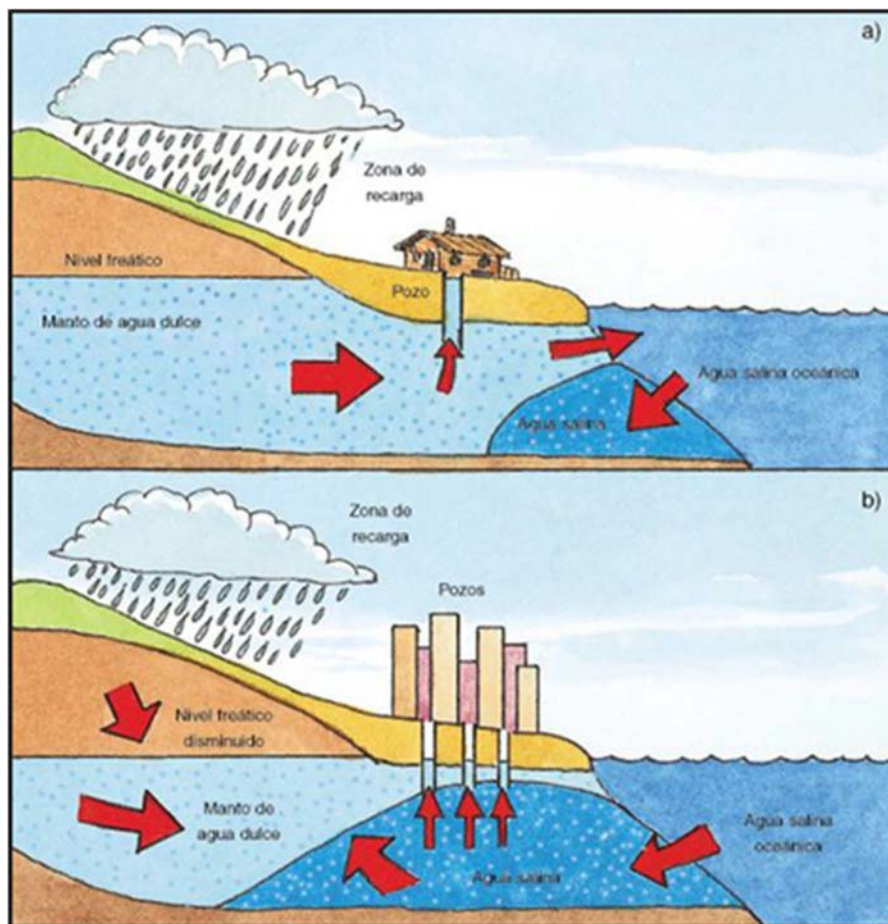


Figura 2-90: Esquema de intrusión salina

b.2 Efectos negativos de la intrusión salina

Los efectos negativos principales de la Intrusión salina son afectaciones sobre la calidad del agua, la cual no podría consumirse para los diferentes usos, el abasto y la agricultura debido a:

a)- El incremento de la intrusión salina por agudización del cambio climático, o sea, con la elevación del nivel del mar pronosticado y/o en determinados acuíferos cercanos a la costa por sobre-explotación incontrolada, ocasionaría que se eleven los niveles de elementos como el cloro y el sodio, los sulfatos posibilitando que:

- Se haga insostenible en el tiempo el uso de las aguas para el abasto por daños a la salud debido al incremento de sales disueltas en el agua, incrementándose las enfermedades cardíacas, así como problemas con los riñones por retenciones de sales.
- Existirá una saturación de sales sobre el suelo, provocando la salinización de éstos e impidiendo su uso para los cultivos previstos, debiendo buscar alternativas productivas que permitan producciones sostenibles y necesarias para los consumos de las poblaciones.
- Los suelos en general que se encuentren cultivados no podrán producir y habrá grandes pérdidas económicas impredecibles.

b)- Aspectos a tener en cuenta en el proceso de salinización de las aguas subterráneas producto de la intrusión salina en los acuíferos más cercanos a la costa:

- Es importante mantener un registro sobre los niveles de las precipitaciones en las áreas de influencia de cada acuífero.
- Mantener un control estricto sobre las entregas y usos de las aguas aprobadas en el balance de agua, evitando de esta manera la sobre-explotación, que todavía persiste y asegurando que exista exigencia sobre la productividad del agua entregada para la agricultura, ya que son ellos los mayores consumidores.
- En el caso del uso del agua para abasto sea poblacional o industrial, es importante prever la existencia de pozos de reserva que permitan una mezcla de aguas que disminuyan las concentraciones de sales y de esta forma garanticen su uso y aseguren la salud de la población y las producciones industriales.
- Cada vez es más importante la participación de todos los actores, comenzando por aquellos responsabilizados con las entregas de aguas, para los diferentes usos y así evitar salideros y derroches del líquido vital.
- Mantener un control adecuado de los monitoreos de la calidad de las aguas en tiempo y espacio se hace cada vez más necesario e importante y los especialistas, técnicos y directivos deben exigir y lograr que se realicen y analicen con prontitud y calidad, ya que de estos resultados dependerá un futuro para otras generaciones.

b.3 Muestreo hidroquímico vertical en las provincias Artemisa y Mayabeque

En el periodo se muestrearon un total de 13 estaciones utilizando el equipo multi-paramétrico WQC-24 proveniente de Japón, para determinar los parámetros Temperatura, pH, Conductividad Eléctrica, Turbiedad, Salinidad y Oxígeno Disuelto.

Estas mediciones se realizaron después de la llegada de los equipos hasta abril de 2016, aunque en este caso solo aparecen los últimos valores registrados por ambas provincias.

En las páginas siguientes se muestran los resultados de las mediciones efectuadas en forma de tablas para cada uno de los pozos y los gráficos correspondientes destacando los niveles en los cuales el agua comienza a incrementar su salinidad, producto del contacto con el agua salada proveniente de la costa.

Por cada pozo existen dos gráficas, en la primera se muestra cómo se comporta la salinidad con respecto a la cota de monitoreo por debajo del nivel medio del mar. En la segunda se muestran las relaciones existentes entre la Conductividad Eléctrica (mS/m) y la Salinidad (%), obteniendo que en la mayoría existe una relación significativa entre ambas variables, excepto en el HSC-543 y en el se muestra que no se encuentra afectado por intrusión salina, lo cual permite una explotación mas controlada y eficiente para el uso de sus aguas.

Orientación de los Perfiles. Muestreo Hidroquímico Vertical

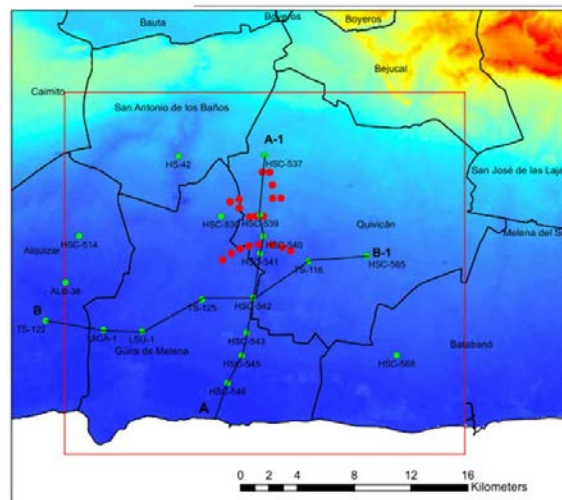


Figura 2-91: Orientación de los perfiles, muestreo hidroquímico vertical

En la mayoría de los pozos estudiados se presentan valores entre 20 y 40 m por debajo del nivel medio del mar, cota en la cual estos pozos inician el aumento de la salinidad por contacto con el mar, o sea, se alcanza el g/L y más. A continuación se detallan los pozos que fueron medidos:

Tabla 2-26: Coordinaciones de los pozos

| Name | X | Y |
|---------|--------|--------|
| JICA-1 | 340468 | 324456 |
| LSU-1 | 343180 | 324370 |
| HSC-545 | 350197 | 322645 |
| HSC-546 | 349200 | 320700 |
| TS-125 | 347400 | 326610 |
| HSC-543 | 350541 | 324258 |
| HSC-542 | 350997 | 326746 |
| TS-116 | 354900 | 329300 |
| HSC-565 | 359000 | 329700 |
| HSC-568 | 361107 | 322665 |
| HSC-541 | 351489 | 329864 |
| HSC-537 | 351822 | 336804 |
| HSC-540 | 351706 | 331069 |

Tabla 2-27: Resultados de la medición en JICA 1

| Descripcion | X | Y | FECHA | Prof. | Nivel | CE (mS/m) | Sal (%) |
|-------------|--------|--------|------------|-------|-------|-----------|---------|
| JICA-1 | 340468 | 324456 | 28/04/2016 | 4,0 | 1,7 | 55,6 | 0,2 |
| JICA-1 | 340468 | 324456 | 28/04/2016 | 6,0 | -0,3 | 53,4 | 0,2 |
| JICA-1 | 340468 | 324456 | 28/04/2016 | 10,0 | -4,3 | 74,6 | 0,3 |
| JICA-1 | 340468 | 324456 | 28/04/2016 | 12,0 | -6,3 | 104 | 0,5 |
| JICA-1 | 340468 | 324456 | 28/04/2016 | 14,0 | -8,3 | 115 | 0,5 |
| JICA-1 | 340468 | 324456 | 28/04/2016 | 16,0 | -10,3 | 115 | 0,5 |
| JICA-1 | 340468 | 324456 | 28/04/2016 | 18,0 | -12,3 | 116 | 0,5 |
| JICA-1 | 340468 | 324456 | 28/04/2016 | 20,0 | -14,3 | 116 | 0,5 |
| JICA-1 | 340468 | 324456 | 28/04/2016 | 22,0 | -16,3 | 116 | 0,5 |
| JICA-1 | 340468 | 324456 | 28/04/2016 | 25,0 | -19,3 | 1116 | 0,5 |
| JICA-1 | 340468 | 324456 | 28/04/2016 | 28,0 | -22,3 | 116 | 0,5 |
| JICA-1 | 340468 | 324456 | 28/04/2016 | 30,0 | -24,3 | 116 | 0,5 |
| JICA-1 | 340468 | 324456 | 28/04/2016 | 32,0 | -26,3 | 116 | 0,5 |
| JICA-1 | 340468 | 324456 | 28/04/2016 | 35,0 | -29,3 | 117 | 0,5 |
| JICA-1 | 340468 | 324456 | 28/04/2016 | 38,0 | -32,3 | 117 | 0,5 |
| JICA-1 | 340468 | 324456 | 28/04/2016 | 40,0 | -34,3 | 130 | 0,6 |
| JICA-1 | 340468 | 324456 | 28/04/2016 | 40,5 | -34,8 | 215 | 1,1 |
| JICA-1 | 340468 | 324456 | 28/04/2016 | 43,0 | -37,3 | 2120 | 13,3 |
| JICA-1 | 340468 | 324456 | 28/04/2016 | 45,0 | -39,3 | 4250 | 27,6 |
| JICA-1 | 340468 | 324456 | 28/04/2016 | 50,0 | -44,3 | 4880 | 32,3 |
| JICA-1 | 340468 | 324456 | 28/04/2016 | 52,0 | -46,3 | 4920 | 32,4 |
| JICA-1 | 340468 | 324456 | 28/04/2016 | 55,0 | -49,3 | 4920 | 32,4 |
| JICA-1 | 340468 | 324456 | 28/04/2016 | 59,0 | -53,3 | 4940 | 32,8 |

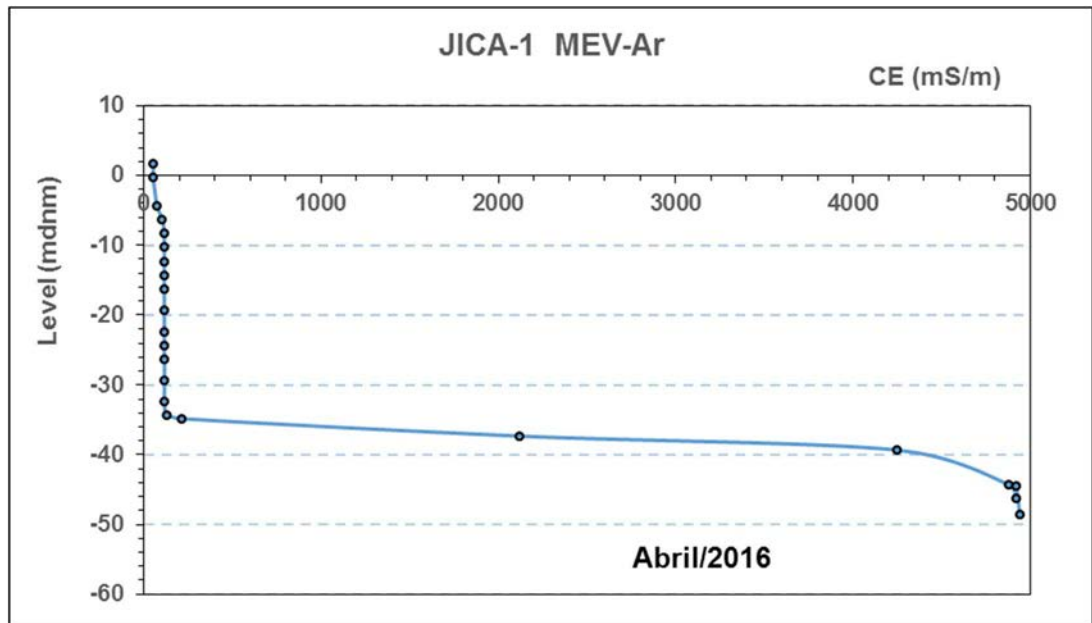


Figura 2-92: Relación entre la conductividad eléctrica (mS/m) y el nivel del pozo JICA-1

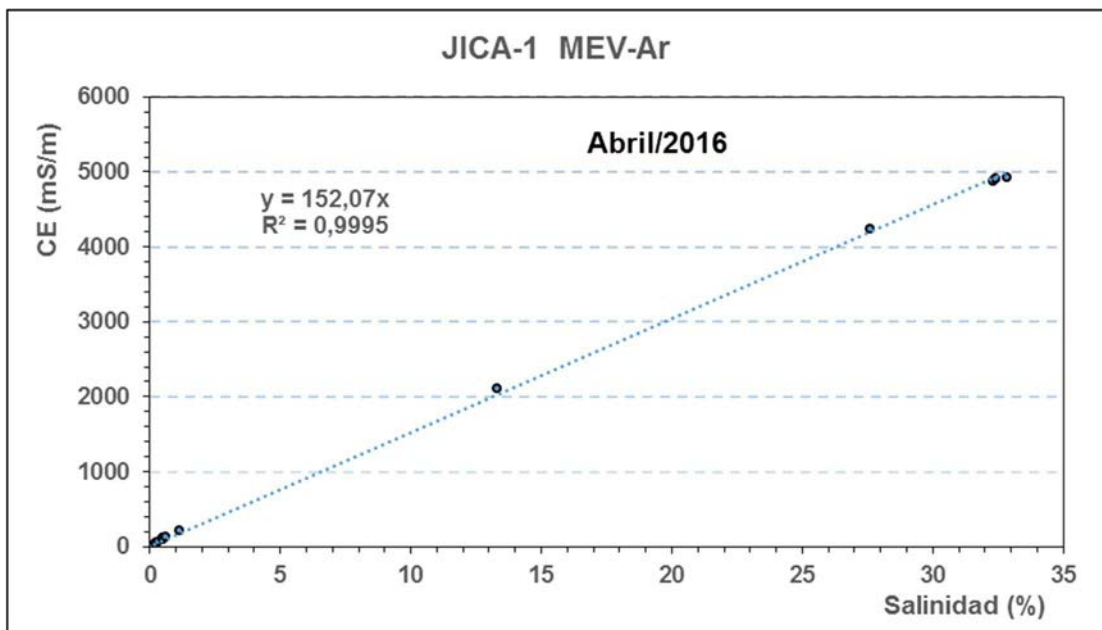


Figura 2-93: Relación entre la conductividad eléctrica (mS/m) y la salinidad (%) JICA-1

Tabla 2-28: Resultados de la medición en LSU-1

| Descripcion | X | Y | FECHA | Prof. | Nivel | CE (mS/m) | Sal (%) |
|-------------|--------|--------|------------|-------|-------|-----------|---------|
| LSU-1 | 343180 | 324370 | 28/04/2016 | 4,5 | 1,0 | 85 | 0,4 |
| LSU-1 | 343180 | 324370 | 28/04/2016 | 8,0 | -2,5 | 85 | 0,4 |
| LSU-1 | 343180 | 324370 | 28/04/2016 | 9,0 | -3,5 | 89,8 | 0,4 |
| LSU-1 | 343180 | 324370 | 28/04/2016 | 10,0 | -4,5 | 92,1 | 0,4 |
| LSU-1 | 343180 | 324370 | 28/04/2016 | 12,0 | -6,5 | 128 | 0,6 |
| LSU-1 | 343180 | 324370 | 28/04/2016 | 14,0 | -8,5 | 135 | 0,6 |
| LSU-1 | 343180 | 324370 | 28/04/2016 | 16,0 | -10,5 | 135 | 0,6 |
| LSU-1 | 343180 | 324370 | 28/04/2016 | 18,0 | -12,5 | 135 | 0,6 |
| LSU-1 | 343180 | 324370 | 28/04/2016 | 20,0 | -14,5 | 135 | 0,6 |
| LSU-1 | 343180 | 324370 | 28/04/2016 | 22,0 | -16,5 | 135 | 0,6 |
| LSU-1 | 343180 | 324370 | 28/04/2016 | 24,0 | -18,5 | 135 | 0,6 |
| LSU-1 | 343180 | 324370 | 28/04/2016 | 26,0 | -20,5 | 145 | 0,7 |
| LSU-1 | 343180 | 324370 | 28/04/2016 | 27,0 | -21,5 | 151 | 0,7 |
| LSU-1 | 343180 | 324370 | 28/04/2016 | 29,0 | -23,5 | 157 | 0,7 |
| LSU-1 | 343180 | 324370 | 28/04/2016 | 29,5 | -24,0 | 163 | 0,8 |
| LSU-1 | 343180 | 324370 | 28/04/2016 | 30,0 | -24,5 | 164 | 0,8 |
| LSU-1 | 343180 | 324370 | 28/04/2016 | 32,0 | -26,5 | 167 | 0,8 |
| LSU-1 | 343180 | 324370 | 28/04/2016 | 33,0 | -27,5 | 200 | 1 |
| LSU-1 | 343180 | 324370 | 28/04/2016 | 35,0 | -29,5 | 676 | 3,4 |
| LSU-1 | 343180 | 324370 | 28/04/2016 | 38,0 | -32,5 | 2180 | 13,3 |
| LSU-1 | 343180 | 324370 | 28/04/2016 | 40,0 | -34,5 | 3460 | 21,7 |
| LSU-1 | 343180 | 324370 | 28/04/2016 | 42,0 | -36,5 | 4240 | 27,4 |

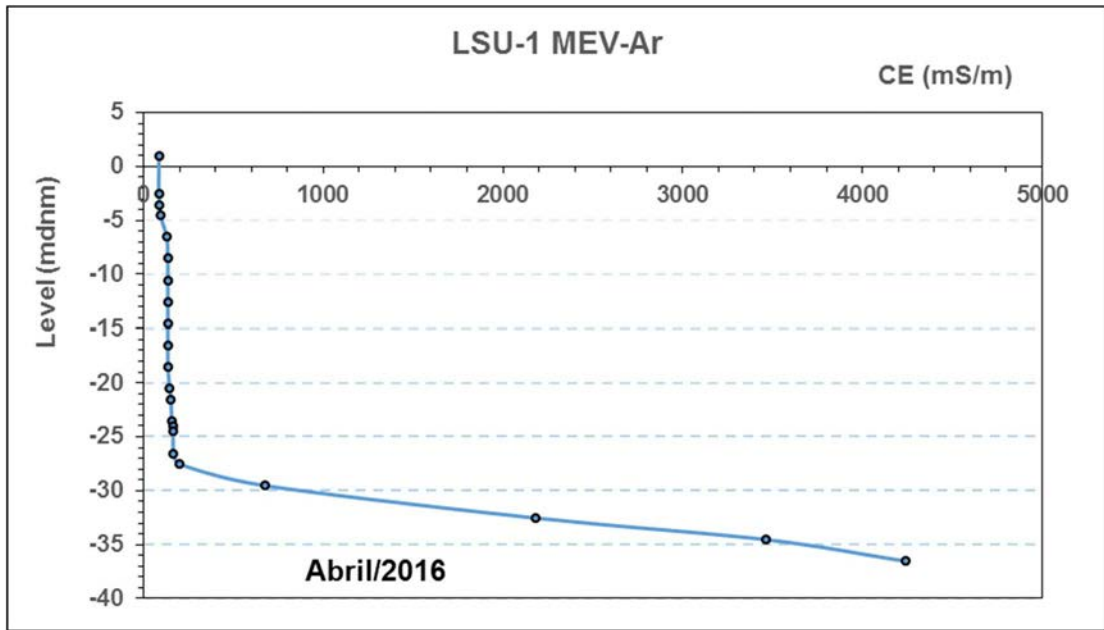


Figura 2-94: Relación entre la conductividad eléctrica (mS/m) y el nivel del pozo LSU-1

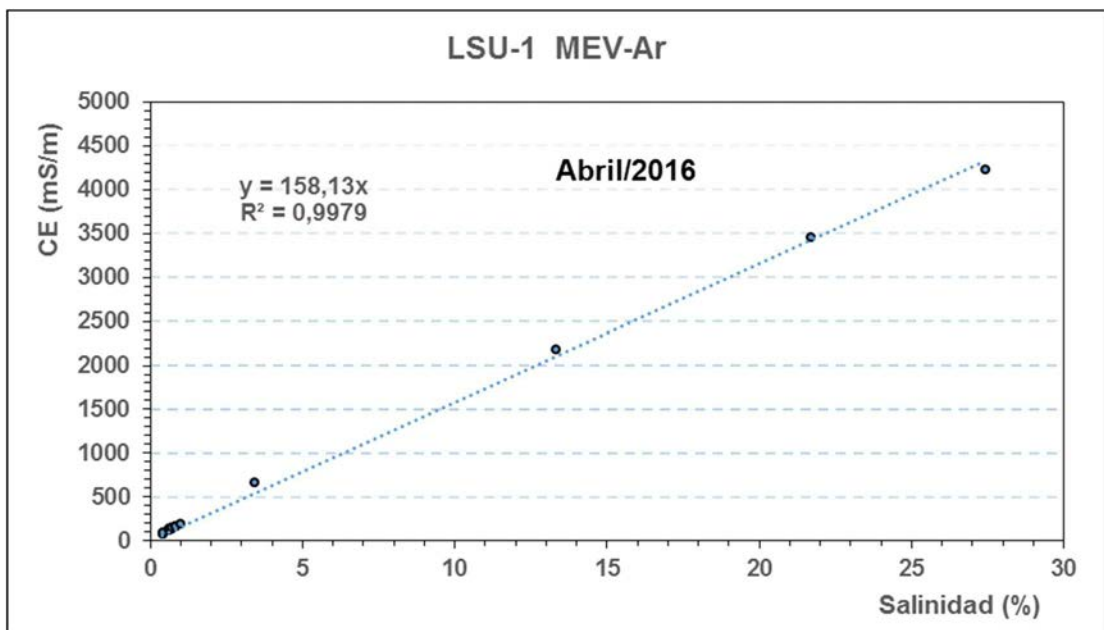


Figura 2-95: Relación entre la conductividad eléctrica (mS/m) y la salinidad (%) LSU-1

Tabla 2-29: Resultados de la medición en HSC-545

| Descripcion | X | Y | FECHA | Prof. | Nivel | CE (mS/m) | Sal (%) |
|-------------|--------|--------|------------|-------|-------|-----------|---------|
| HSC-545 | 350917 | 322645 | 28/04/2016 | 6,0 | -1,8 | 193 | 0,9 |
| HSC-545 | 350917 | 322645 | 28/04/2016 | 7,0 | -2,8 | 192 | 0,9 |
| HSC-545 | 350917 | 322645 | 28/04/2016 | 9,0 | -4,8 | 192 | 0,9 |
| HSC-545 | 350917 | 322645 | 28/04/2016 | 12,0 | -7,8 | 233 | 1,2 |
| HSC-545 | 350917 | 322645 | 28/04/2016 | 14,0 | -9,8 | 296 | 1,4 |
| HSC-545 | 350917 | 322645 | 28/04/2016 | 16,0 | -11,8 | 309 | 1,6 |
| HSC-545 | 350917 | 322645 | 28/04/2016 | 17,0 | -12,8 | 309 | 1,6 |
| HSC-545 | 350917 | 322645 | 28/04/2016 | 19,0 | -14,8 | 459 | 2,4 |
| HSC-545 | 350917 | 322645 | 28/04/2016 | 20,0 | -15,8 | 486 | 2,6 |
| HSC-545 | 350917 | 322645 | 28/04/2016 | 22,0 | -17,8 | 666 | 3,6 |
| HSC-545 | 350917 | 322645 | 28/04/2016 | 25,0 | -20,8 | 950 | 5,3 |
| HSC-545 | 350917 | 322645 | 28/04/2016 | 27,0 | -22,8 | 1190 | 6,9 |
| HSC-545 | 350917 | 322645 | 28/04/2016 | 29,0 | -24,8 | 1520 | 8,9 |
| HSC-545 | 350917 | 322645 | 28/04/2016 | 32,0 | -27,8 | 3000 | 18,7 |
| HSC-545 | 350917 | 322645 | 28/04/2016 | 34,0 | -29,8 | 3490 | 22,2 |
| HSC-545 | 350917 | 322645 | 28/04/2016 | 36,0 | -31,8 | 4000 | 25,7 |
| HSC-545 | 350917 | 322645 | 28/04/2016 | 38,0 | -33,8 | 4450 | 28,9 |
| HSC-545 | 350917 | 322645 | 28/04/2016 | 40,0 | -35,8 | 4690 | 30,6 |
| HSC-545 | 350917 | 322645 | 28/04/2016 | 42,0 | -37,8 | 4830 | 31,7 |

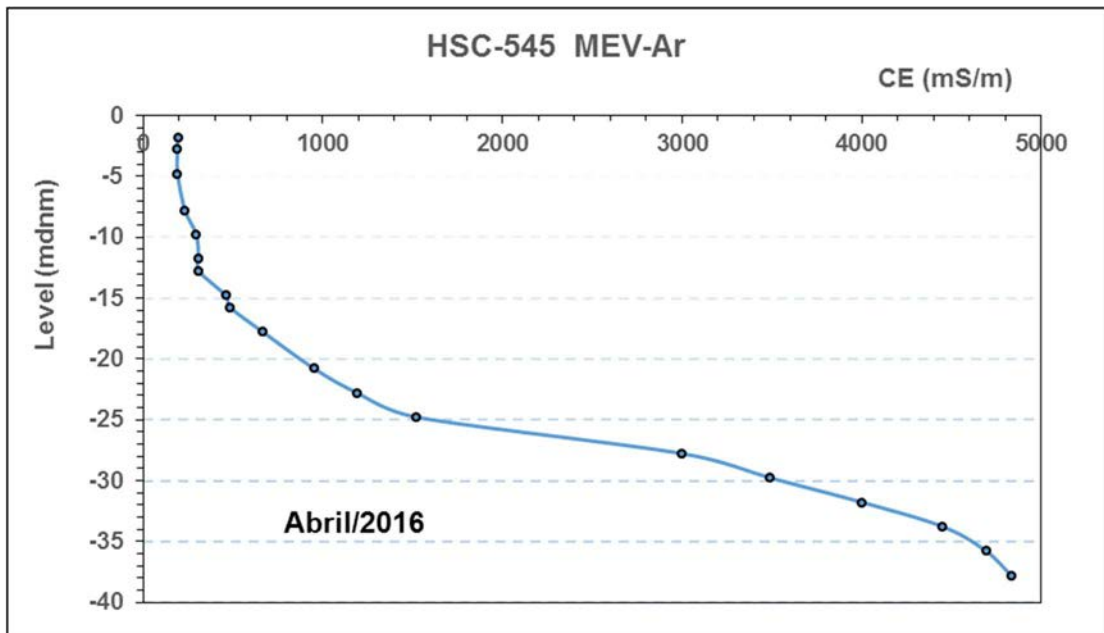


Figura 2-96: Relación entre la conductividad eléctrica (mS/m) y el nivel del pozo HSC-545

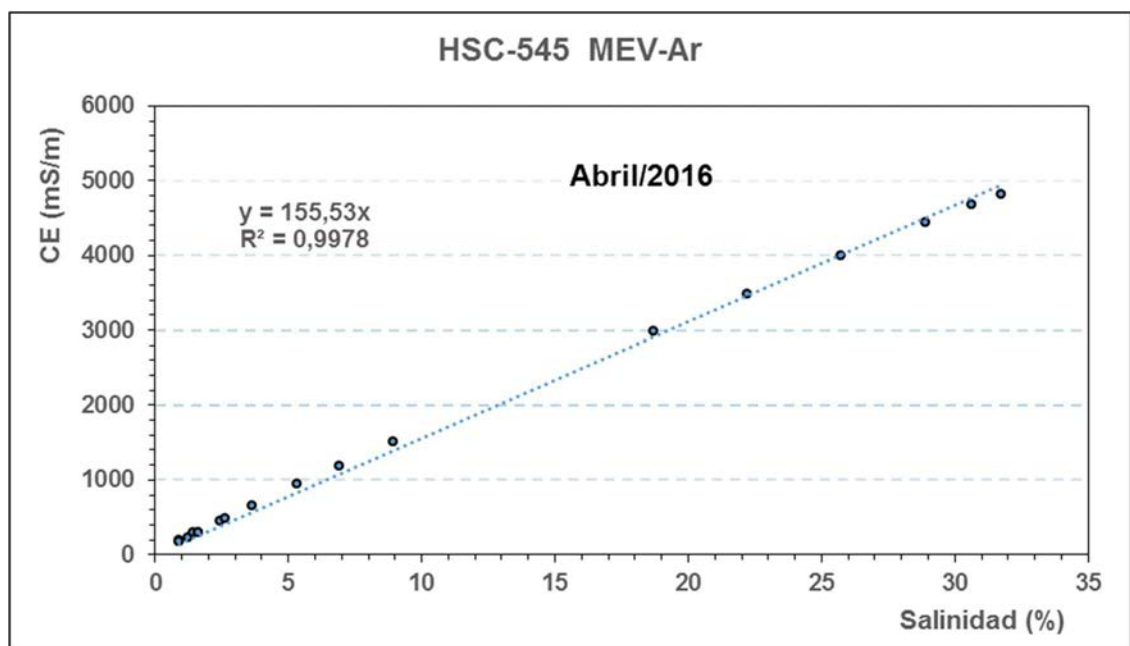


Figura 2-97: Relación entre la conductividad eléctrica (mS/m) y la salinidad (%) HSC-545

Tabla 2-30: Resultados de la medición en HSC-546

| Descripcion | X | Y | FECHA | Prof. | Nivel | CE (mS/m) | Sal (%) |
|-------------|--------|--------|------------|-------|-------|-----------|---------|
| HSC-546 | 349200 | 320700 | 28/04/2016 | 1,5 | 0,4 | 269 | 1,4 |
| HSC-546 | 349200 | 320700 | 28/04/2016 | 2,0 | -0,1 | 269 | 1,4 |
| HSC-546 | 349200 | 320700 | 28/04/2016 | 4,0 | -2,1 | 269 | 1,4 |
| HSC-546 | 349200 | 320700 | 28/04/2016 | 5,0 | -3,1 | 269 | 1,4 |
| HSC-546 | 349200 | 320700 | 28/04/2016 | 8,0 | -6,1 | 269 | 1,4 |
| HSC-546 | 349200 | 320700 | 28/04/2016 | 11,0 | -9,1 | 649 | 3,6 |
| HSC-546 | 349200 | 320700 | 28/04/2016 | 12,0 | -10,1 | 977 | 5,5 |
| HSC-546 | 349200 | 320700 | 28/04/2016 | 15,0 | -13,1 | 1400 | 8,1 |
| HSC-546 | 349200 | 320700 | 28/04/2016 | 18,0 | -16,1 | 1640 | 9,7 |
| HSC-546 | 349200 | 320700 | 28/04/2016 | 20,0 | -18,1 | 1890 | 11,3 |
| HSC-546 | 349200 | 320700 | 28/04/2016 | 23,0 | -21,1 | 3290 | 20,9 |
| HSC-546 | 349200 | 320700 | 28/04/2016 | 25,0 | -23,1 | 4240 | 27,4 |
| HSC-546 | 349200 | 320700 | 28/04/2016 | 30,0 | -28,1 | 4620 | 30,2 |
| HSC-546 | 349200 | 320700 | 28/04/2016 | 33,0 | -31,1 | 4700 | 30,7 |
| HSC-546 | 349200 | 320700 | 28/04/2016 | 34,0 | -32,1 | 4700 | 30,8 |

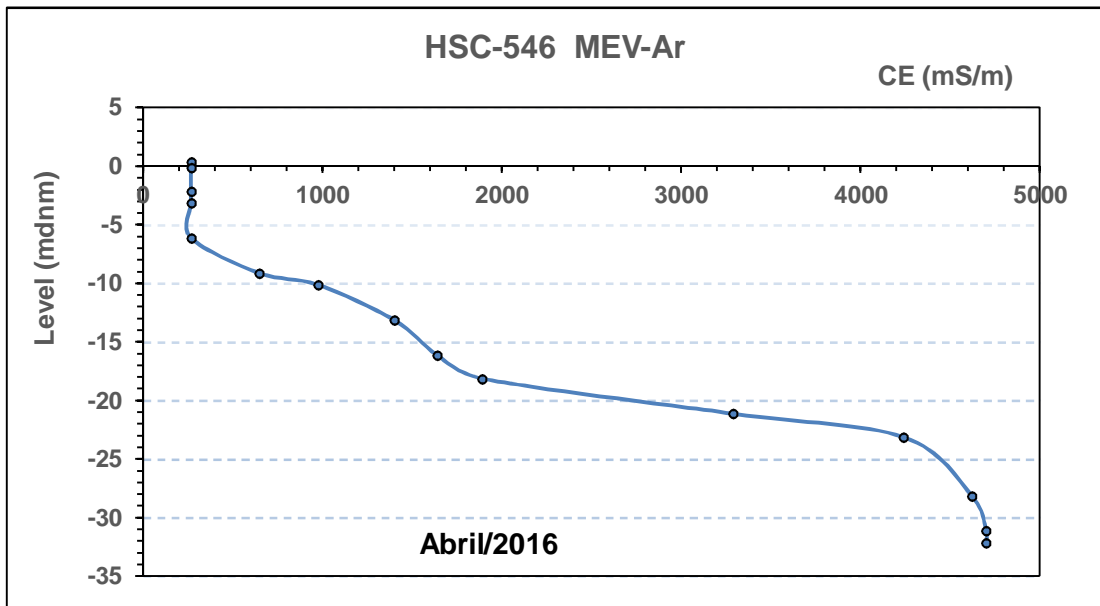


Figura 2-98: Relación entre la conductividad eléctrica (mS/m) y el nivel del pozo HSC-546

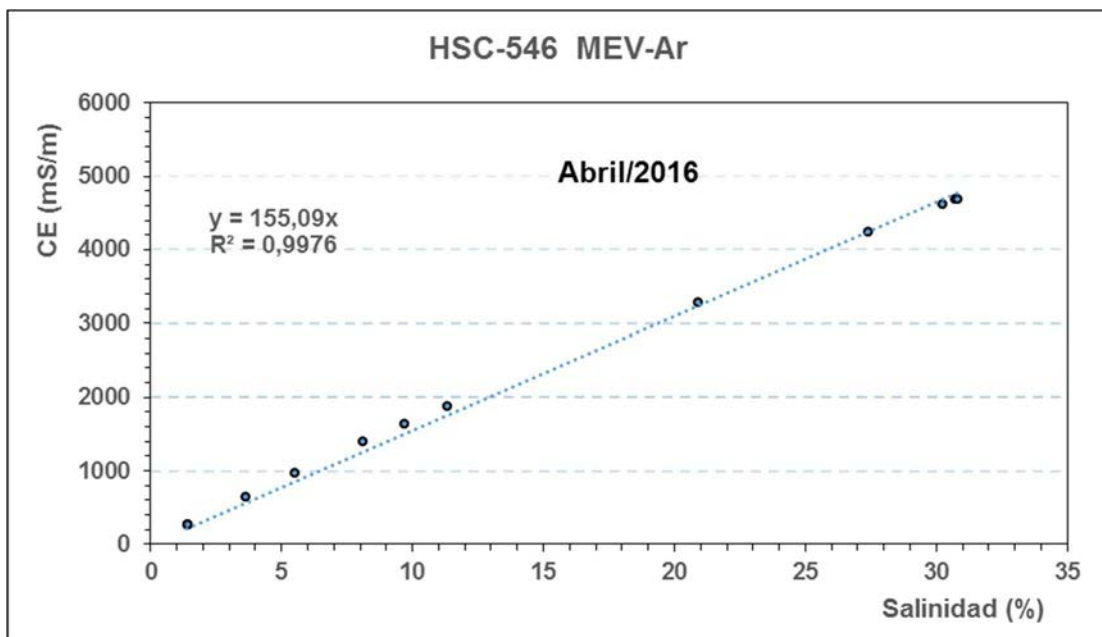


Figura 2-99: Relación entre la conductividad eléctrica (mS/m) y la salinidad (%) HSC-546

Tabla 2-31: Resultados de la medición en TS-125

| Descripcion | X | Y | FECHA | Prof. | Nivel | CE (mS/m) | Sal (%) |
|--------------------|----------|----------|--------------|--------------|--------------|----------------------|--------------------|
| TS-125 | 347400 | 326610 | 28/04/2016 | 10,0 | -1,4 | 78,3 | 0,3 |
| TS-125 | 347400 | 326610 | 28/04/2016 | 12,0 | -3,4 | 78,3 | 0,3 |
| TS-125 | 347400 | 326610 | 28/04/2016 | 15,0 | -6,4 | 78,3 | 0,3 |
| TS-125 | 347400 | 326610 | 28/04/2016 | 18,0 | -9,4 | 78,3 | 0,3 |
| TS-125 | 347400 | 326610 | 28/04/2016 | 20,0 | -11,4 | 78,2 | 0,3 |
| TS-125 | 347400 | 326610 | 28/04/2016 | 22,0 | -13,4 | 78,4 | 0,3 |
| TS-125 | 347400 | 326610 | 28/04/2016 | 24,0 | -15,4 | 78,5 | 0,3 |
| TS-125 | 347400 | 326610 | 28/04/2016 | 26,0 | -17,4 | 78,8 | 0,3 |
| TS-125 | 347400 | 326610 | 28/04/2016 | 29,0 | -20,4 | 80,2 | 0,3 |
| TS-125 | 347400 | 326610 | 28/04/2016 | 32,0 | -23,4 | 96,5 | 0,4 |
| TS-125 | 347400 | 326610 | 28/04/2016 | 33,0 | -24,4 | 111 | 0,5 |
| TS-125 | 347400 | 326610 | 28/04/2016 | 35,0 | -26,4 | 162 | 0,5 |
| TS-125 | 347400 | 326610 | 28/04/2016 | 36,0 | -27,4 | 178 | 0,9 |
| TS-125 | 347400 | 326610 | 28/04/2016 | 37,4 | -28,8 | 178 | 0,9 |

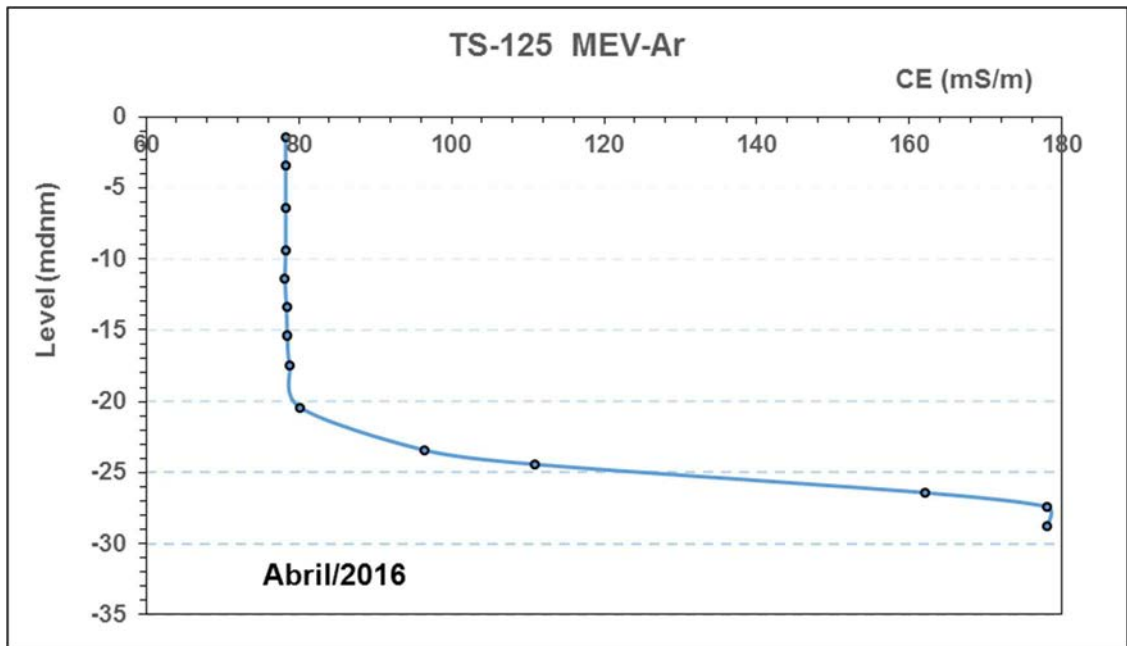


Figura 2-100: Relación entre la conductividad eléctrica (mS/m) y el nivel del pozo TS-125

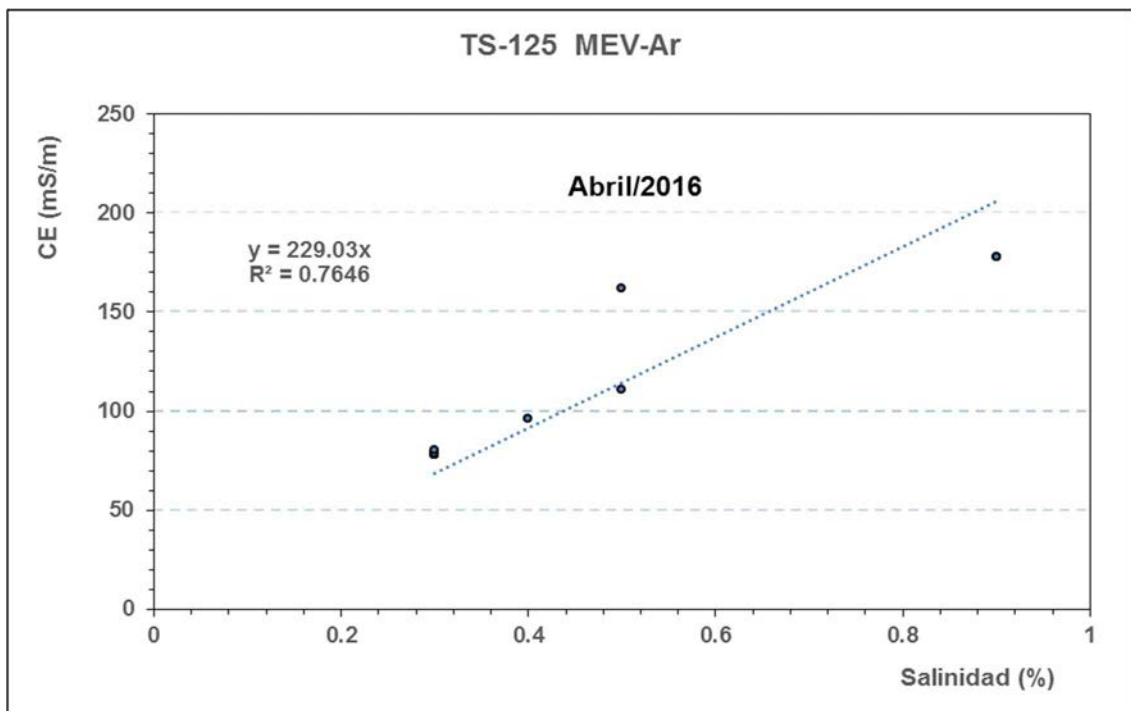


Figura 2-101: Relación entre la conductividad eléctrica (mS/m) y la salinidad (%) TS-125

Tabla 2-32: Resultados de la medición en HSC-543

| Descripcion | X | Y | FECHA | Prof. | Nivel | CE (mS/m) | Sal (%) |
|--------------------|----------|----------|--------------|--------------|--------------|----------------------|--------------------|
| HSC-543 | 350541 | 324258 | 28/04/2016 | 10,0 | -2,5 | 25,1 | 0,1 |
| HSC-543 | 350541 | 324258 | 28/04/2016 | 11,0 | -3,5 | 24,9 | 0,1 |
| HSC-543 | 350541 | 324258 | 28/04/2016 | 15,0 | -7,5 | 24,4 | 0,1 |
| HSC-543 | 350541 | 324258 | 28/04/2016 | 18,0 | -10,5 | 24,3 | 0,1 |
| HSC-543 | 350541 | 324258 | 28/04/2016 | 20,0 | -12,5 | 24,4 | 0,1 |
| HSC-543 | 350541 | 324258 | 28/04/2016 | 24,0 | -16,5 | 24,5 | 0,1 |
| HSC-543 | 350541 | 324258 | 28/04/2016 | 26,0 | -18,5 | 24,4 | 0,1 |
| HSC-543 | 350541 | 324258 | 28/04/2016 | 29,0 | -21,5 | 24,1 | 0,1 |
| HSC-543 | 350541 | 324258 | 28/04/2016 | 32,0 | -24,5 | 23,9 | 0,1 |
| HSC-543 | 350541 | 324258 | 28/04/2016 | 35,0 | -27,5 | 23,5 | 0,1 |
| HSC-543 | 350541 | 324258 | 28/04/2016 | 38,0 | -30,5 | 23,7 | 0,1 |
| HSC-543 | 350541 | 324258 | 28/04/2016 | 40,0 | -32,5 | 23,7 | 0,1 |

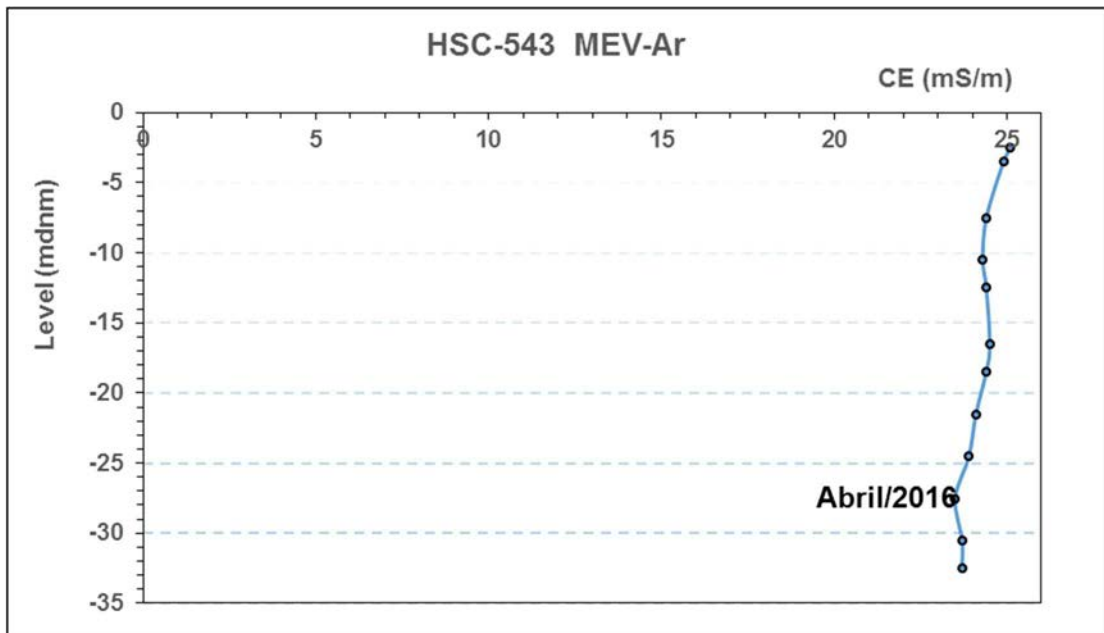


Figura 2-102: Relación entre la conductividad eléctrica (mS/m) y el nivel del pozo HSC-543

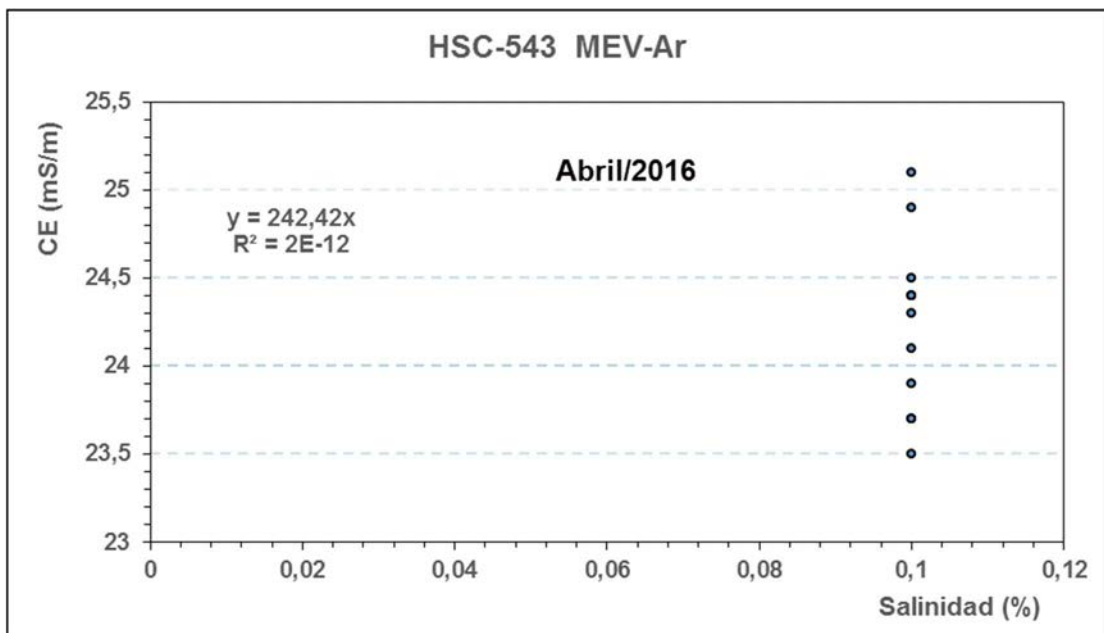


Figura 2-103: Relación entre la conductividad eléctrica (mS/m) y la salinidad (%) HSC-543

Tabla 2-33: Resultados de la medición en HSC-542

| Descripcion | X | Y | FECHA | Prof. | Nivel | CE (mS/m) | Sal (%) |
|-------------|--------|--------|------------|-------|--------|-----------|---------|
| HSC-542 | 350997 | 326746 | 28/04/2016 | 11,0 | -0,5 | 88,4 | 0,4 |
| HSC-542 | 350997 | 326746 | 28/04/2016 | 12,0 | -1,5 | 86,4 | 0,4 |
| HSC-542 | 350997 | 326746 | 28/04/2016 | 13,0 | -2,5 | 86,4 | 0,4 |
| HSC-542 | 350997 | 326746 | 28/04/2016 | 14,0 | -3,5 | 87,1 | 0,4 |
| HSC-542 | 350997 | 326746 | 28/04/2016 | 15,0 | -4,5 | 87,6 | 0,4 |
| HSC-542 | 350997 | 326746 | 28/04/2016 | 16,0 | -5,5 | 87,9 | 0,4 |
| HSC-542 | 350997 | 326746 | 28/04/2016 | 18,0 | -7,5 | 88,1 | 0,4 |
| HSC-542 | 350997 | 326746 | 28/04/2016 | 20,0 | -9,5 | 88,2 | 0,4 |
| HSC-542 | 350997 | 326746 | 28/04/2016 | 22,0 | -11,5 | 89,1 | 0,4 |
| HSC-542 | 350997 | 326746 | 28/04/2016 | 24,0 | -13,5 | 99,1 | 0,4 |
| HSC-542 | 350997 | 326746 | 28/04/2016 | 26,0 | -15,5 | 99,1 | 0,4 |
| HSC-542 | 350997 | 326746 | 28/04/2016 | 28,0 | -17,5 | 106 | 0,5 |
| HSC-542 | 350997 | 326746 | 28/04/2016 | 30,0 | -19,5 | 107 | 0,5 |
| HSC-542 | 350997 | 326746 | 28/04/2016 | 32,0 | -21,5 | 108 | 0,5 |
| HSC-542 | 350997 | 326746 | 28/04/2016 | 34,0 | -23,5 | 111 | 0,5 |
| HSC-542 | 350997 | 326746 | 28/04/2016 | 36,0 | -25,5 | 115 | 0,5 |
| HSC-542 | 350997 | 326746 | 28/04/2016 | 36,5 | -26,0 | 127 | 0,6 |
| HSC-542 | 350997 | 326746 | 28/04/2016 | 37,0 | -26,5 | 155 | 0,7 |
| HSC-542 | 350997 | 326746 | 28/04/2016 | 37,1 | --26,6 | 187 | 0,9 |
| HSC-542 | 350997 | 326746 | 28/04/2016 | 37,3 | -26,8 | 209 | 1 |
| HSC-542 | 350997 | 326746 | 28/04/2016 | 39,0 | -28,5 | 437 | 2,3 |
| HSC-542 | 350997 | 326746 | 28/04/2016 | 42,0 | -31,5 | 1250 | 7,2 |
| HSC-542 | 350997 | 326746 | 28/04/2016 | 44,0 | -33,5 | 2250 | 13,7 |
| HSC-542 | 350997 | 326746 | 28/04/2016 | 46,0 | -35,5 | 4140 | 26,9 |
| HSC-542 | 350997 | 326746 | 28/04/2016 | 48,0 | -37,5 | 4560 | 29,8 |
| HSC-542 | 350997 | 326746 | 28/04/2016 | 50,0 | -39,5 | 4890 | 32,2 |
| HSC-542 | 350997 | 326746 | 28/04/2016 | 52,0 | -41,5 | 4900 | 32,3 |
| HSC-542 | 350997 | 326746 | 28/04/2016 | 55,0 | -44,5 | 4900 | 32,6 |
| HSC-542 | 350997 | 326746 | 28/04/2016 | 60,0 | -49,5 | 4900 | 32,8 |

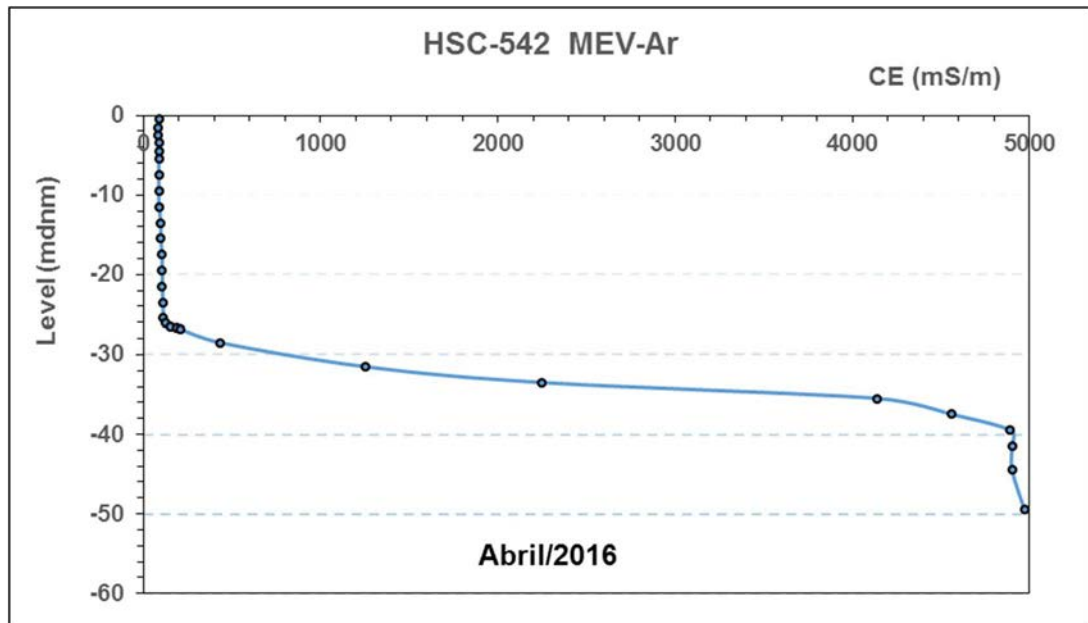


Figura 2-104: Relación entre la conductividad eléctrica (mS/m) y el nivel del pozo HSC-542

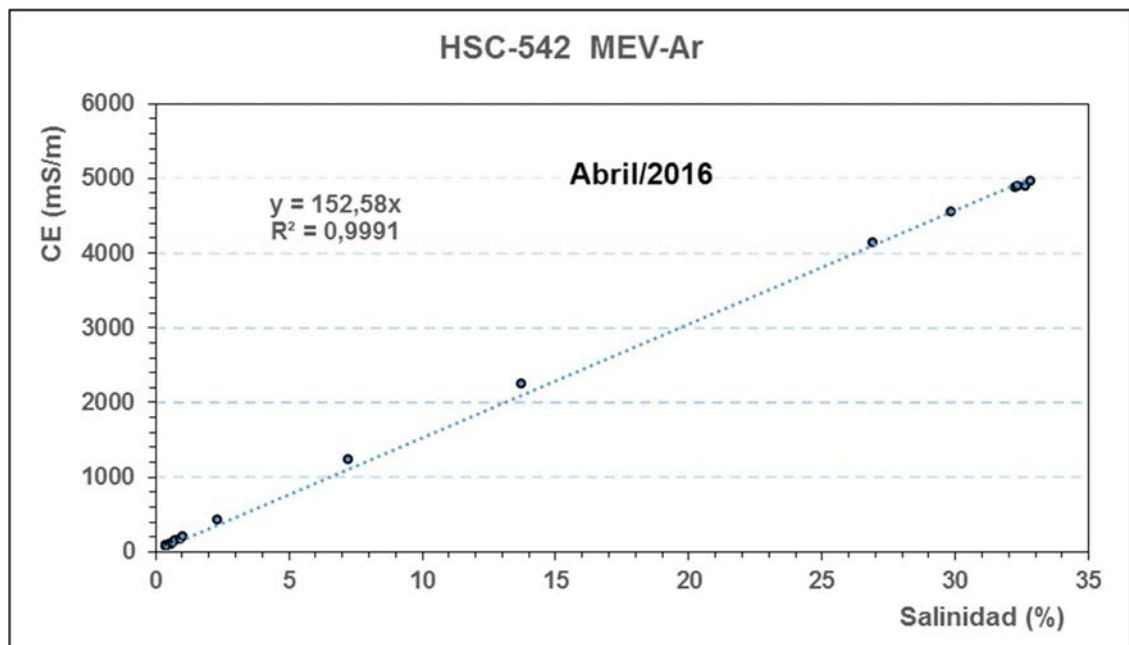


Figura 2-105: Relación entre la conductividad eléctrica (mS/m) y la salinidad (%) HSC-542

Tabla 2-34: Resultados de la medición en TS-116

| Descripcion | X | Y | FECHA | Prof. | Nivel | CE (mS/m) | Sal (%) |
|-------------|--------|--------|------------|-------|-------|-----------|---------|
| TS-116 | 354900 | 329300 | 28/04/2016 | 15,8 | 0,9 | 71,6 | 0,3 |
| TS-116 | 354900 | 329300 | 28/04/2016 | 19,8 | -3,1 | 71,0 | 0,3 |
| TS-116 | 354900 | 329300 | 28/04/2016 | 23,8 | -7,1 | 70,8 | 0,3 |
| TS-116 | 354900 | 329300 | 28/04/2016 | 27,8 | -11,1 | 70,3 | 0,3 |
| TS-116 | 354900 | 329300 | 28/04/2016 | 31,8 | -15,1 | 69,9 | 0,3 |
| TS-116 | 354900 | 329300 | 28/04/2016 | 35,8 | -19,1 | 76,0 | 0,3 |
| TS-116 | 354900 | 329300 | 28/04/2016 | 39,8 | -23,1 | 76,5 | 0,3 |
| TS-116 | 354900 | 329300 | 28/04/2016 | 43,8 | -27,1 | 76,2 | 0,3 |
| TS-116 | 354900 | 329300 | 28/04/2016 | 47,8 | -31,1 | 76,1 | 0,3 |
| TS-116 | 354900 | 329300 | 28/04/2016 | 51,0 | -34,3 | 138 | 1 |
| TS-116 | 354900 | 329300 | 28/04/2016 | 51,8 | -35,1 | 664 | 3,6 |
| TS-116 | 354900 | 329300 | 28/04/2016 | 53,8 | -37,1 | 1350 | 7,9 |
| TS-116 | 354900 | 329300 | 28/04/2016 | 55,8 | -39,1 | 2260 | 13,9 |
| TS-116 | 354900 | 329300 | 28/04/2016 | 57,8 | -41,1 | 3410 | 21,6 |
| TS-116 | 354900 | 329300 | 28/04/2016 | 59,8 | -43,1 | 3800 | 24,3 |
| TS-116 | 354900 | 329300 | 28/04/2016 | 61,8 | -45,1 | 3990 | 25,7 |
| TS-116 | 354900 | 329300 | 28/04/2016 | 63,8 | -47,1 | 4320 | 29,6 |
| TS-116 | 354900 | 329300 | 28/04/2016 | 64,8 | -48,1 | 4710 | 30,9 |
| TS-116 | 354900 | 329300 | 28/04/2016 | 65,8 | -49,1 | 4850 | 31,9 |
| TS-116 | 354900 | 329300 | 28/04/2016 | 66,8 | -50,1 | 4910 | 32,4 |
| TS-116 | 354900 | 329300 | 28/04/2016 | 67,8 | -51,1 | 5030 | 33,5 |

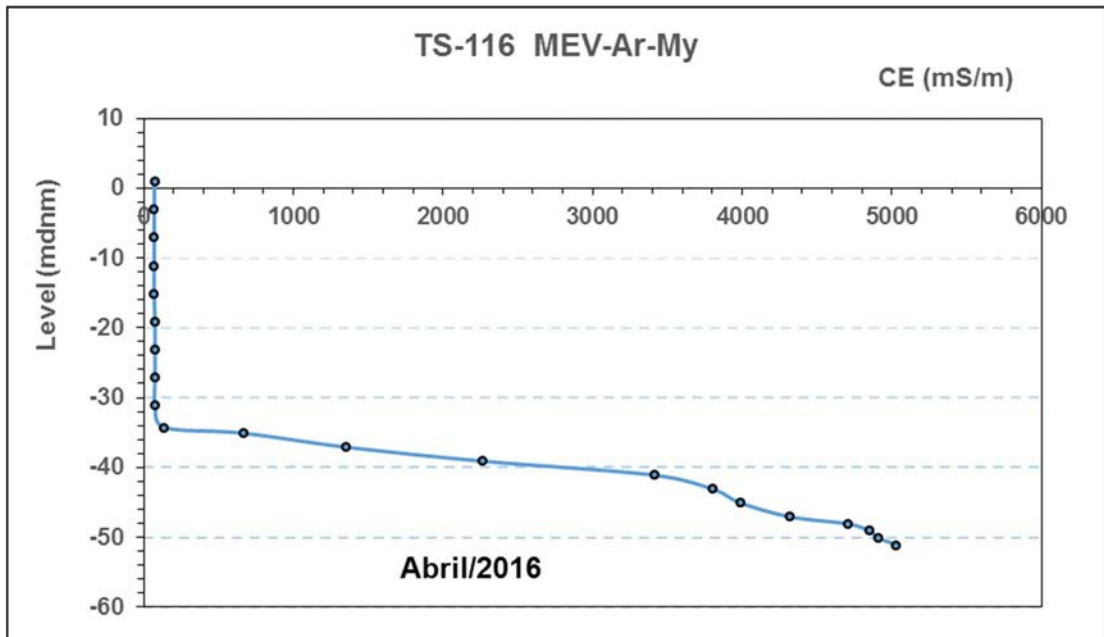


Figura 2-106: Relación entre la conductividad eléctrica (mS/m) y el nivel del pozo TS-116

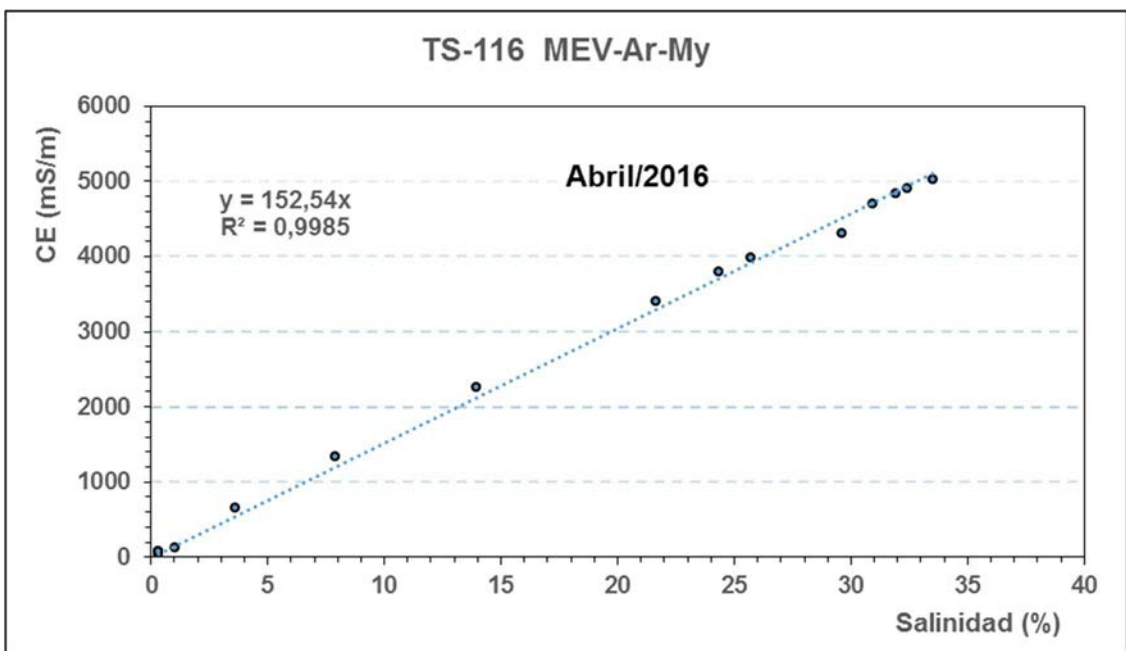


Figura 2-107: Relación entre la conductividad eléctrica (mS/m) y la salinidad (%)TS-116

Tabla 2-35: Resultados de la medición en HSC-565

| Descripcion | X | Y | FECHA | Prof. | Nivel | CE (mS/m) | Sal (%) |
|-------------|--------|--------|------------|-------|-------|-----------|---------|
| HSC-565 | 359000 | 329700 | 28/04/2016 | 25,7 | 2,2 | 116 | 0,6 |
| HSC-565 | 359000 | 329700 | 28/04/2016 | 29,7 | -1,8 | 116 | 0,6 |
| HSC-565 | 359000 | 329700 | 28/04/2016 | 33,7 | -5,8 | 180 | 0,6 |
| HSC-565 | 359000 | 329700 | 28/04/2016 | 37,7 | -9,8 | 150 | 0,6 |
| HSC-565 | 359000 | 329700 | 28/04/2016 | 41,7 | -13,8 | 156 | 0,6 |
| HSC-565 | 359000 | 329700 | 28/04/2016 | 45,7 | -17,8 | 160 | 0,7 |
| HSC-565 | 359000 | 329700 | 28/04/2016 | 49,7 | -21,8 | 155 | 0,7 |
| HSC-565 | 359000 | 329700 | 28/04/2016 | 53,7 | -25,8 | 180 | 0,9 |
| HSC-565 | 359000 | 329700 | 28/04/2016 | 57,7 | -29,8 | 185 | 0,9 |
| HSC-565 | 359000 | 329700 | 28/04/2016 | 61,7 | -33,8 | 190 | 0,8 |
| HSC-565 | 359000 | 329700 | 28/04/2016 | 65,7 | -37,8 | 178 | 0,8 |
| HSC-565 | 359000 | 329700 | 28/04/2016 | 69,7 | -41,8 | 175 | 0,9 |
| HSC-565 | 359000 | 329700 | 28/04/2016 | 73,7 | -45,8 | 171 | 0,9 |
| HSC-565 | 359000 | 329700 | 28/04/2016 | 76,7 | -48,9 | 230 | 1 |
| HSC-565 | 359000 | 329700 | 28/04/2016 | 78,7 | -50,8 | 250 | 1,6 |
| HSC-565 | 359000 | 329700 | 28/04/2016 | 80,7 | -52,8 | 280 | 22,6 |
| HSC-565 | 359000 | 329700 | 28/04/2016 | 82,7 | -54,8 | 3340 | 29 |
| HSC-565 | 359000 | 329700 | 28/04/2016 | 84,7 | -56,8 | 3390 | 29,8 |
| HSC-565 | 359000 | 329700 | 28/04/2016 | 86,5 | -58,6 | 4510 | 30,2 |
| HSC-565 | 359000 | 329700 | 28/04/2016 | 88,7 | -60,8 | 4580 | 30,6 |
| HSC-565 | 359000 | 329700 | 28/04/2016 | 90,7 | -62,8 | 4580 | 30,6 |

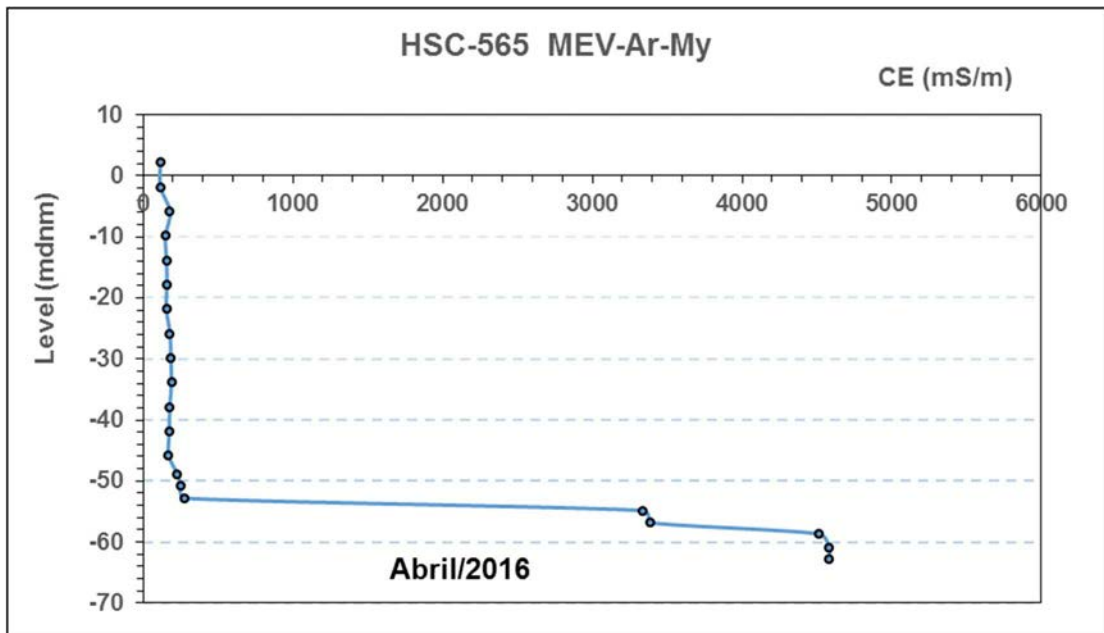


Figura 2-108: Relación entre la conductividad eléctrica (mS/m) y el nivel del pozo HSC-565

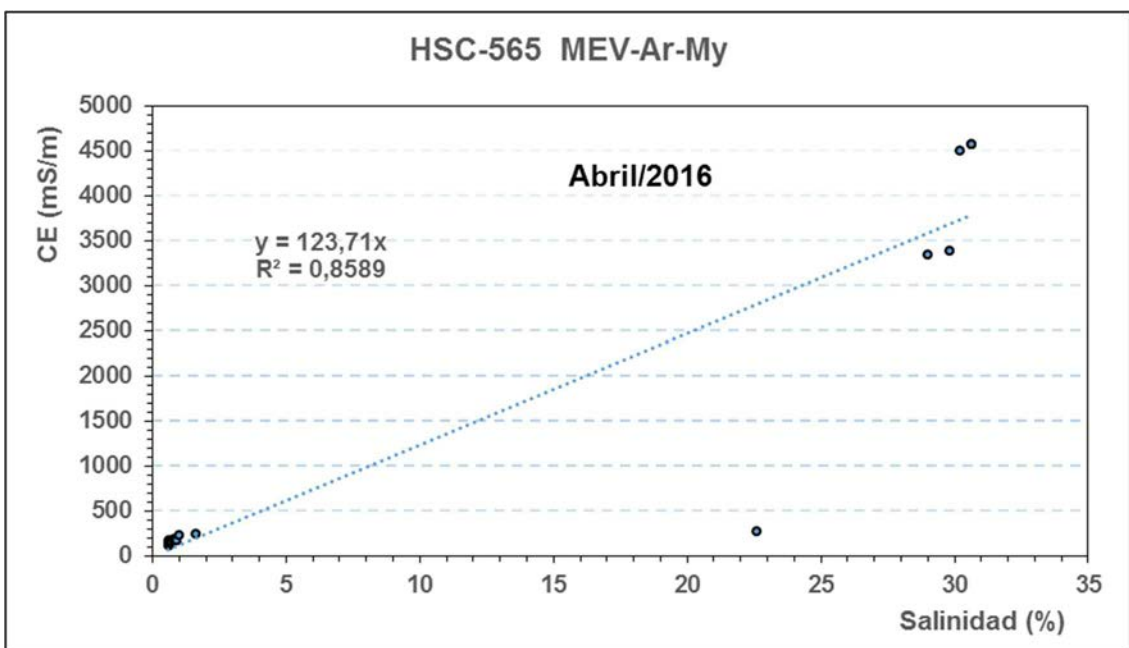


Figura 2-109: Relación entre la conductividad eléctrica (mS/m) y la salinidad (%) HSC-565

Tabla 2-36: Resultados de la medición en HSC-568

| Descripcion | X | Y | FECHA | Prof. | Nivel | CE (mS/m) | Sal (%) |
|-------------|--------|--------|------------|-------|-------|-----------|---------|
| HSC-568 | 361107 | 322665 | 28/04/2016 | 8,9 | 0,0 | 167 | 0,6 |
| HSC-568 | 361107 | 322665 | 28/04/2016 | 10,9 | -2,0 | 167 | 0,8 |
| HSC-568 | 361107 | 322665 | 28/04/2016 | 12,9 | -4,0 | 176 | 0,9 |
| HSC-568 | 361107 | 322665 | 28/04/2016 | 14,9 | -6,0 | 187 | 0,9 |
| HSC-568 | 361107 | 322665 | 28/04/2016 | 16,9 | -8,0 | 198 | 1 |
| HSC-568 | 361107 | 322665 | 28/04/2016 | 20,9 | -12,0 | 197 | 1 |
| HSC-568 | 361107 | 322665 | 28/04/2016 | 24,9 | -16,0 | 174 | 0,9 |
| HSC-568 | 361107 | 322665 | 28/04/2016 | 28,9 | -20,0 | 160 | 0,8 |
| HSC-568 | 361107 | 322665 | 28/04/2016 | 32,9 | -24,0 | 209 | 1 |
| HSC-568 | 361107 | 322665 | 28/04/2016 | 36,9 | -28,0 | 508 | 2,6 |
| HSC-568 | 361107 | 322665 | 28/04/2016 | 40,9 | -32,0 | 1500 | 8,7 |
| HSC-568 | 361107 | 322665 | 28/04/2016 | 44,9 | -36,0 | 3010 | 18,8 |
| HSC-568 | 361107 | 322665 | 28/04/2016 | 48,9 | -40,0 | 3290 | 20,7 |
| HSC-568 | 361107 | 322665 | 28/04/2016 | 52,9 | -44,0 | 3310 | 20,9 |
| HSC-568 | 361107 | 322665 | 28/04/2016 | 56,9 | -48,0 | 3310 | 20,9 |
| HSC-568 | 361107 | 322665 | 28/04/2016 | 60,9 | -52,0 | 3310 | 20,5 |

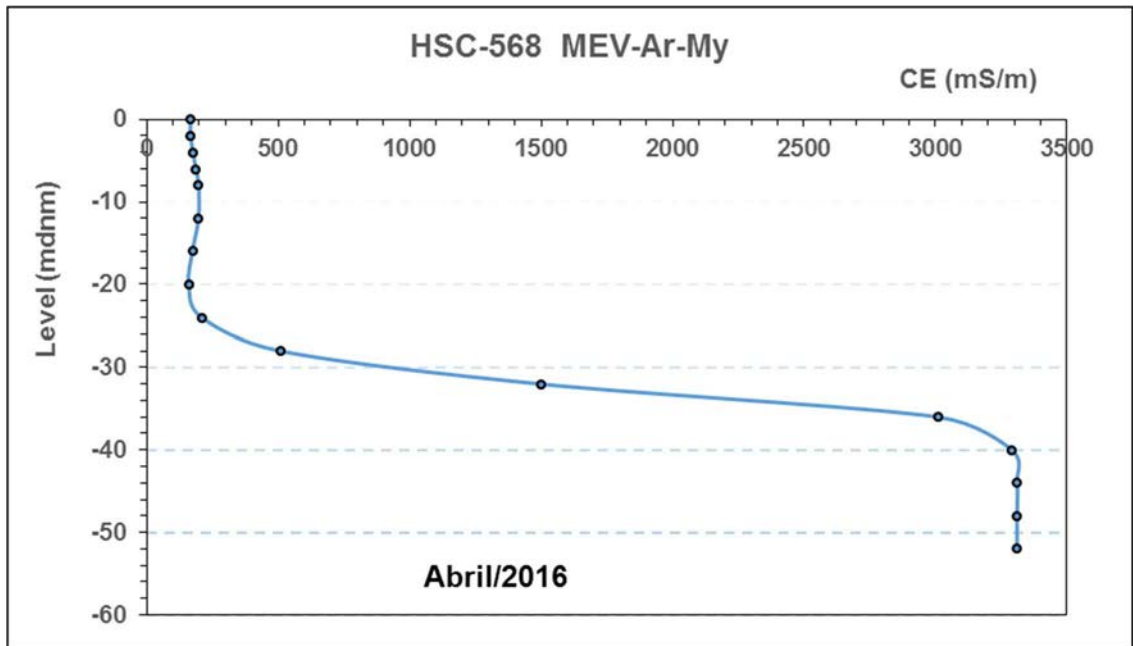


Figura 2-110: Relación entre la conductividad eléctrica (mS/m) y el nivel del pozo HSC-568

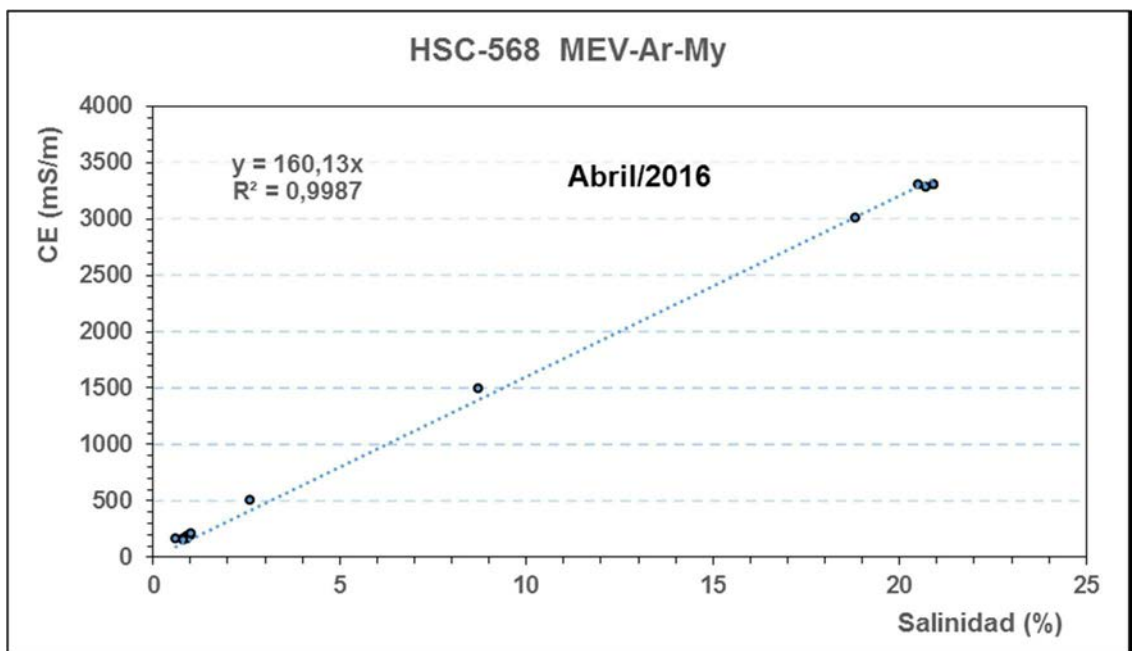


Figura 2-111: Relación entre la conductividad eléctrica (mS/m) y la salinidad (%) HSC-568

Tabla 2-37: Resultados de la medición en HSC-541

| Descripcion | X | Y | FECHA | Prof. | Nivel | CE (mS/m) | Sal (%) |
|-------------|--------|--------|------------|-------|-------|-----------|---------|
| HSC-541 | 351489 | 329864 | 28/04/2016 | 6,0 | 0,7 | 63,9 | 0,3 |
| HSC-541 | 351489 | 329864 | 28/04/2016 | 10,0 | -3,3 | 68,5 | 0,3 |
| HSC-541 | 351489 | 329864 | 28/04/2016 | 14,0 | -7,3 | 68,0 | 0,3 |
| HSC-541 | 351489 | 329864 | 28/04/2016 | 18,0 | -11,3 | 67,5 | 0,3 |
| HSC-541 | 351489 | 329864 | 28/04/2016 | 20,0 | -13,3 | 65,5 | 0,3 |
| HSC-541 | 351489 | 329864 | 28/04/2016 | 24,0 | -17,3 | 67,9 | 0,3 |
| HSC-541 | 351489 | 329864 | 28/04/2016 | 28,0 | -21,3 | 71,0 | 0,3 |
| HSC-541 | 351489 | 329864 | 28/04/2016 | 31,1 | -24,4 | 309 | 1 |
| HSC-541 | 351489 | 329864 | 28/04/2016 | 32,0 | -25,3 | 663 | 3,5 |
| HSC-541 | 351489 | 329864 | 28/04/2016 | 34,0 | -27,3 | 1400 | 8,2 |
| HSC-541 | 351489 | 329864 | 28/04/2016 | 36,0 | -29,3 | 2180 | 13,2 |
| HSC-541 | 351489 | 329864 | 28/04/2016 | 38,0 | -31,3 | 3020 | 18 |
| HSC-541 | 351489 | 329864 | 28/04/2016 | 40,0 | -33,3 | 3750 | 23,9 |
| HSC-541 | 351489 | 329864 | 28/04/2016 | 42,0 | -35,3 | 4100 | 26,5 |
| HSC-541 | 351489 | 329864 | 28/04/2016 | 44,0 | -37,3 | 4630 | 30 |
| HSC-541 | 351489 | 329864 | 28/04/2016 | 45,0 | -38,3 | 4740 | 31 |
| HSC-541 | 351489 | 329864 | 28/04/2016 | 46,0 | -39,3 | 4820 | 31,6 |

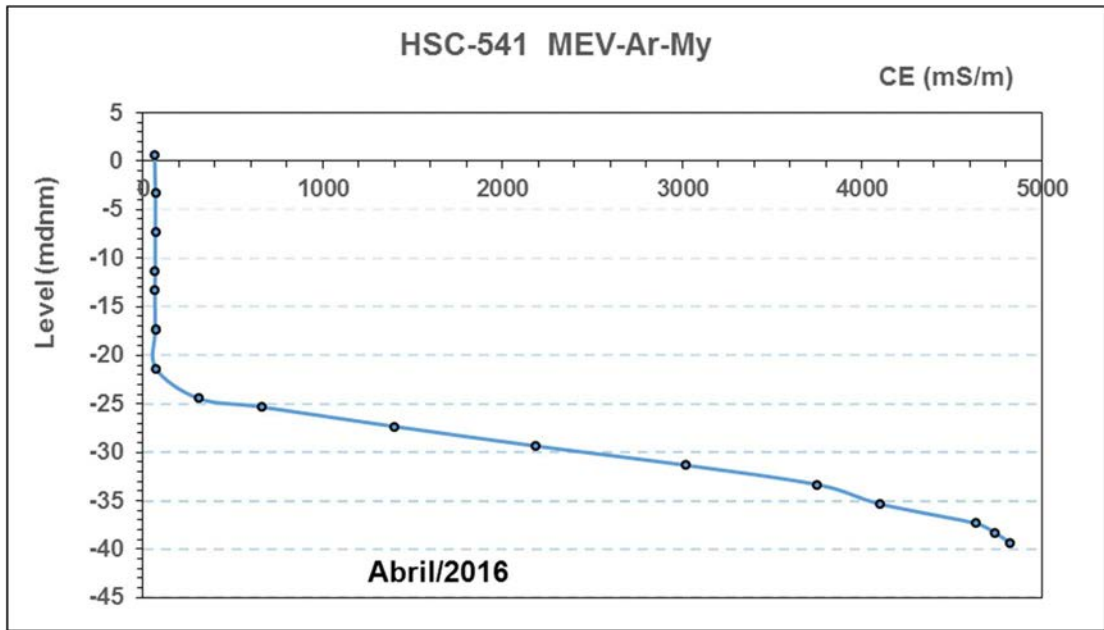


Figura 2-112: Relación entre la conductividad eléctrica (mS/m) y el nivel del pozo HSC-541

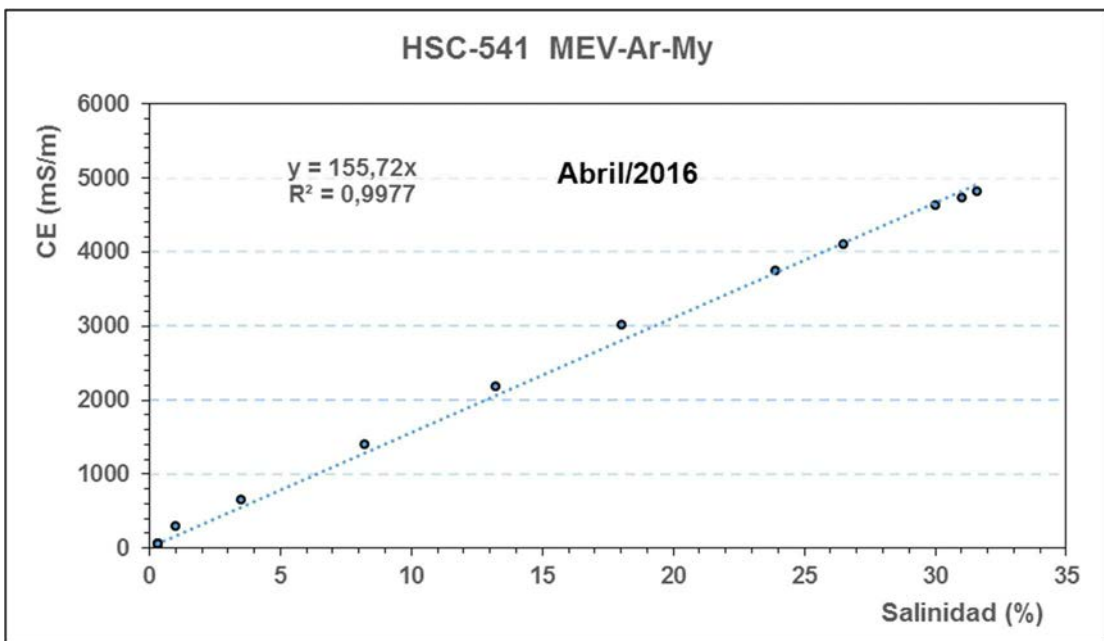


Figura 2-113: Relación entre la conductividad eléctrica (mS/m) y la salinidad (%) HSC-541

Tabla 2-38: Resultados de la medición en HSC-537

| Descripcion | X | Y | FECHA | Prof. | Nivel | CE (mS/m) | Sal (%) |
|--------------------|----------|----------|--------------|--------------|--------------|----------------------|--------------------|
| HSC-537 | 351822 | 336804 | 28/04/2016 | 47,7 | 1,1 | 73,3 | 0,3 |
| HSC-537 | 351822 | 336804 | 28/04/2016 | 51,7 | -2,9 | 72,6 | 0,3 |
| HSC-537 | 351822 | 336804 | 28/04/2016 | 55,7 | -6,9 | 72,5 | 0,3 |
| HSC-537 | 351822 | 336804 | 28/04/2016 | 59,7 | -10,9 | 72,8 | 0,3 |
| HSC-537 | 351822 | 336804 | 28/04/2016 | 63,7 | -14,9 | 73,8 | 0,3 |
| HSC-537 | 351822 | 336804 | 28/04/2016 | 67,7 | -18,9 | 73,8 | 0,3 |
| HSC-537 | 351822 | 336804 | 28/04/2016 | 71,7 | -22,9 | 81,2 | 0,4 |
| HSC-537 | 351822 | 336804 | 28/04/2016 | 72,1 | -23,4 | 160 | 1 |
| HSC-537 | 351822 | 336804 | 28/04/2016 | 72,7 | -23,9 | 283 | 1,4 |
| HSC-537 | 351822 | 336804 | 28/04/2016 | 75,7 | -26,9 | 292 | 1,5 |
| HSC-537 | 351822 | 336804 | 28/04/2016 | 79,7 | -30,9 | 304 | 1,5 |

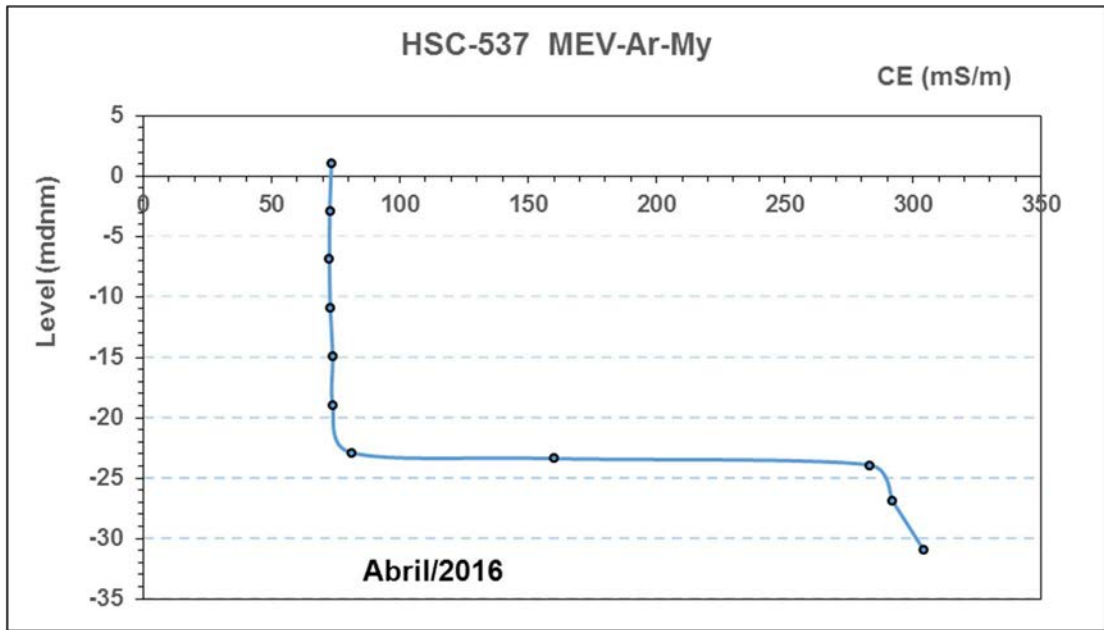


Figura 2-114: Relación entre la conductividad eléctrica (mS/m) y el nivel del pozo HSC-537

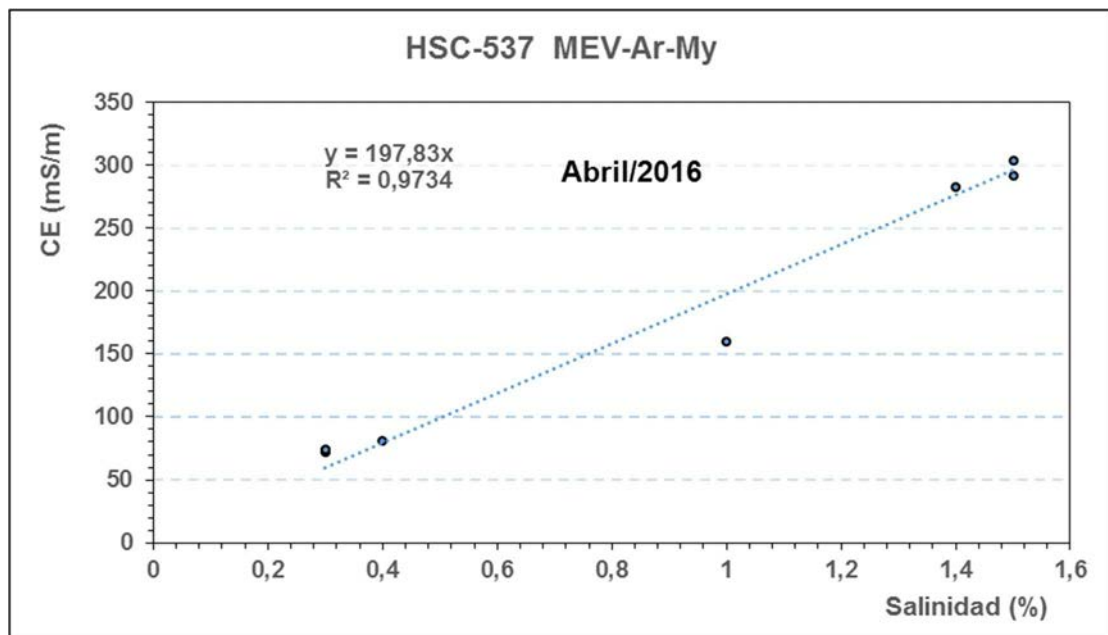


Figura 2-115: Relación entre la conductividad eléctrica (mS/m) y la salinidad (%) HSC-537

Tabla 2-39: Resultados de la medición en HSC-540

| Descripcion | X | Y | FECHA | Prof. | Nivel | CE (mS/m) | Sal (%) |
|-------------|--------|--------|------------|-------|-------|-----------|---------|
| HSC-540 | 351706 | 331069 | 28/04/2016 | 17,7 | 0,0 | 64,4 | 0,3 |
| HSC-540 | 351706 | 331069 | 28/04/2016 | 21,7 | -4,0 | 63,6 | 0,3 |
| HSC-540 | 351706 | 331069 | 28/04/2016 | 25,7 | -8,0 | 64,5 | 0,3 |
| HSC-540 | 351706 | 331069 | 28/04/2016 | 29,7 | -12,0 | 68,3 | 0,3 |
| HSC-540 | 351706 | 331069 | 28/04/2016 | 33,7 | -16,0 | 69,1 | 0,3 |
| HSC-540 | 351706 | 331069 | 28/04/2016 | 37,7 | -20,0 | 71,7 | 0,3 |
| HSC-540 | 351706 | 331069 | 28/04/2016 | 41,7 | -24,0 | 72,9 | 0,3 |
| HSC-540 | 351706 | 331069 | 28/04/2016 | 44,5 | -26,8 | 197 | 1 |
| HSC-540 | 351706 | 331069 | 28/04/2016 | 44,7 | -27,0 | 234 | 1,2 |
| HSC-540 | 351706 | 331069 | 28/04/2016 | 46,7 | -29,0 | 363 | 1,9 |
| HSC-540 | 351706 | 331069 | 28/04/2016 | 48,7 | -31,0 | 795 | 4,5 |
| HSC-540 | 351706 | 331069 | 28/04/2016 | 50,7 | -33,0 | 2080 | 12,8 |
| HSC-540 | 351706 | 331069 | 28/04/2016 | 52,7 | -35,0 | 3050 | 19,1 |
| HSC-540 | 351706 | 331069 | 28/04/2016 | 54,7 | -37,0 | 4140 | 28,0 |
| HSC-540 | 351706 | 331069 | 28/04/2016 | 56,7 | -39,0 | 4800 | 31,5 |
| HSC-540 | 351706 | 331069 | 28/04/2016 | 57,7 | -40,0 | 4910 | 32,3 |

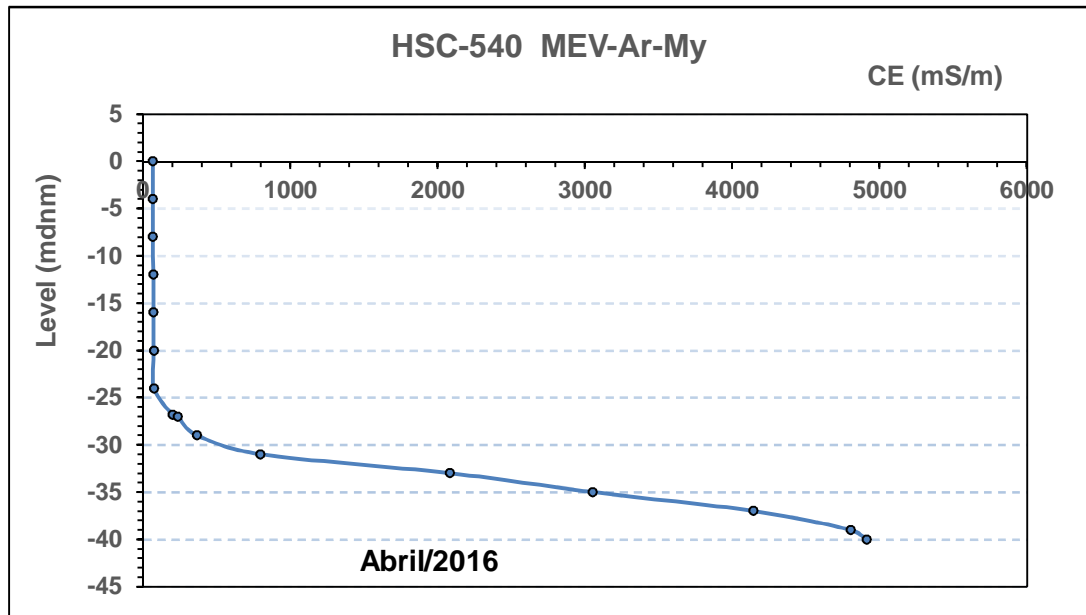


Figura 2-116: Relación entre la conductividad eléctrica (mS/m) y el nivel del pozo HSC-540

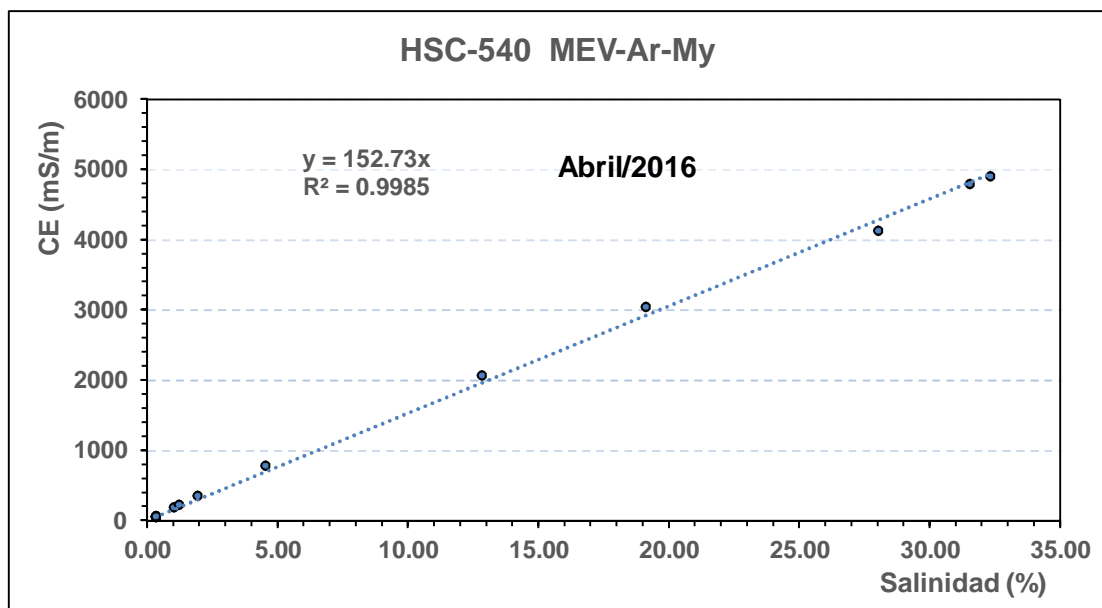


Figura 2-117: Relación entre la conductividad eléctrica (mS/m) y la salinidad (%) HSC-540

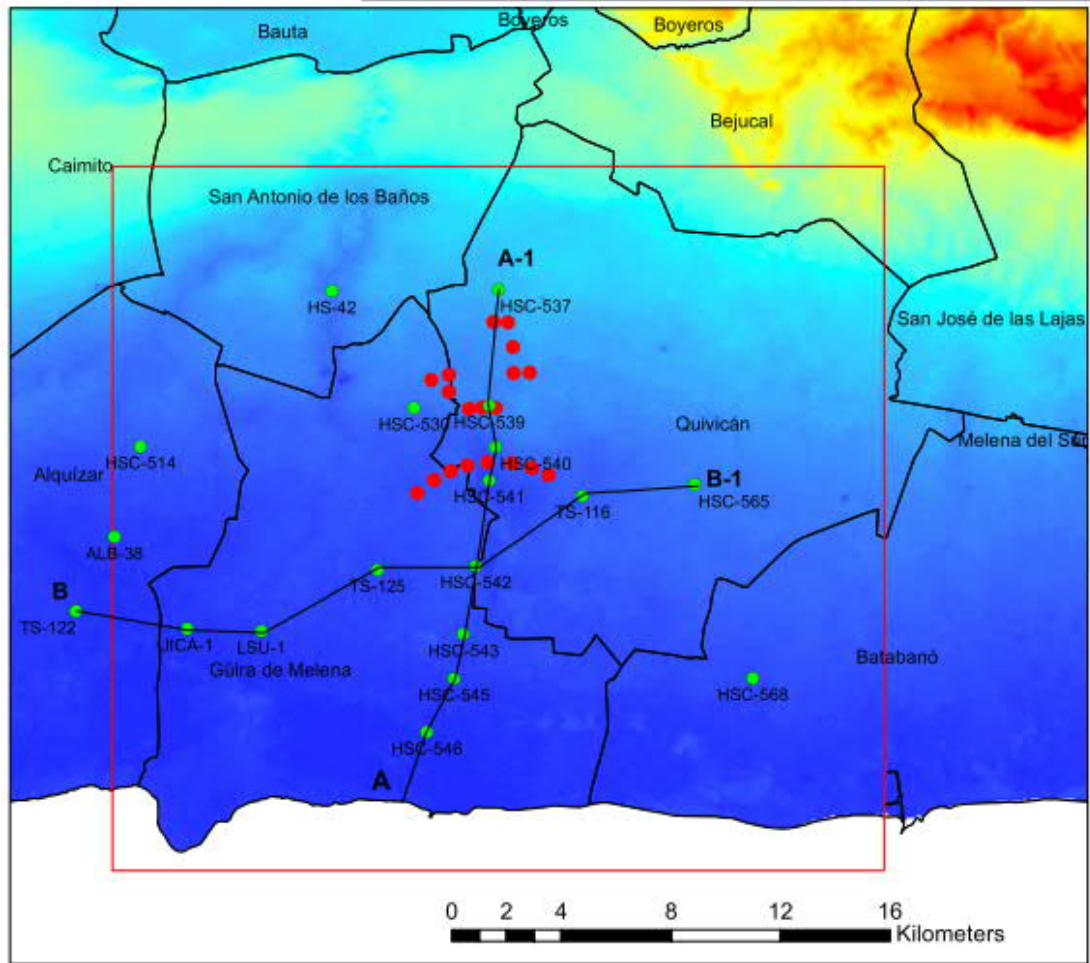


Figura 2-118: Mapa de perfil sección

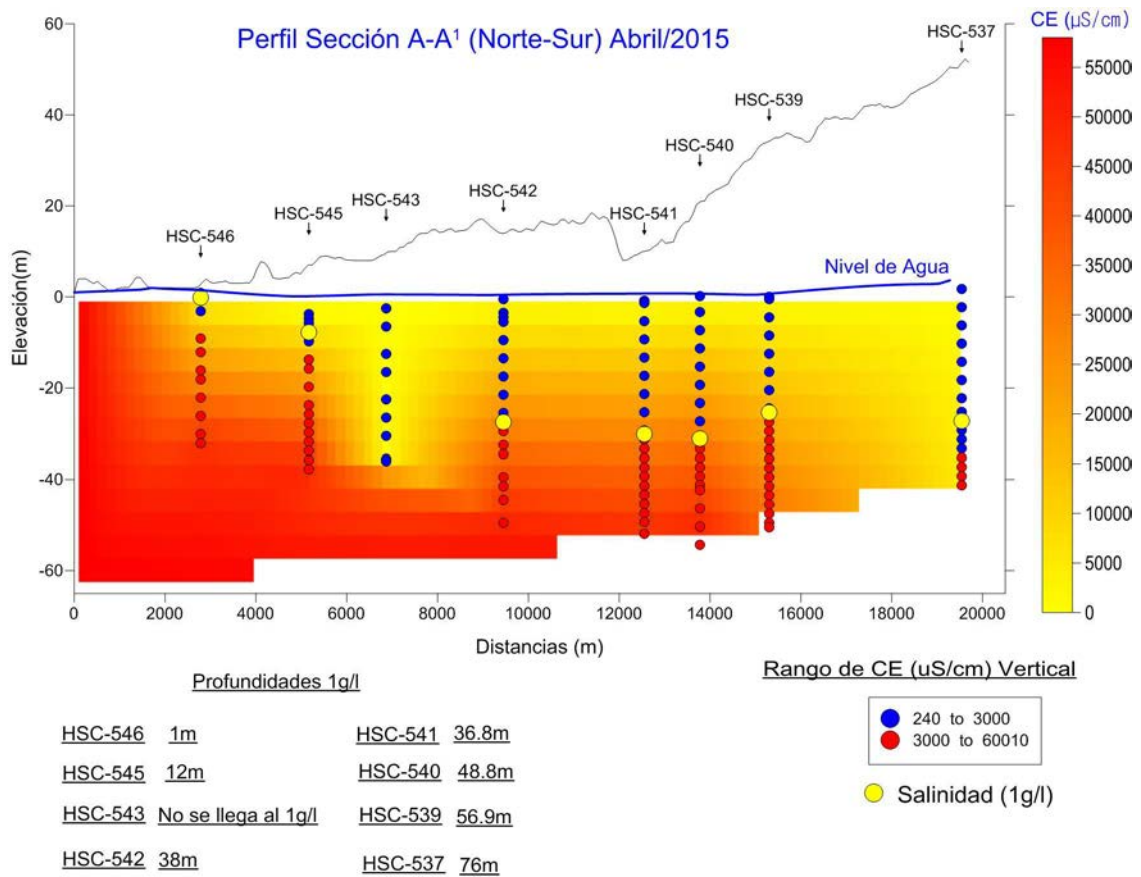


Figura 2-119: Perfil sección A-A¹ (Norte-Sur) Abril 2015

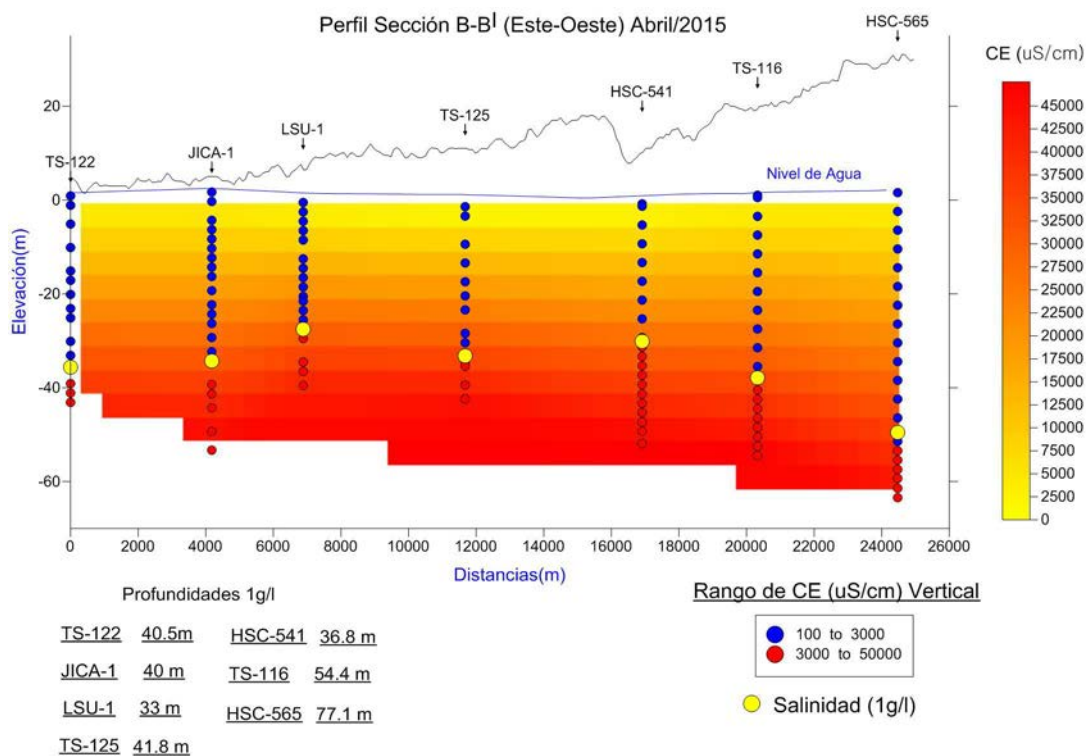


Figura 2-120: Perfil sección B-B¹ (Este-Oeste) Abril 2015

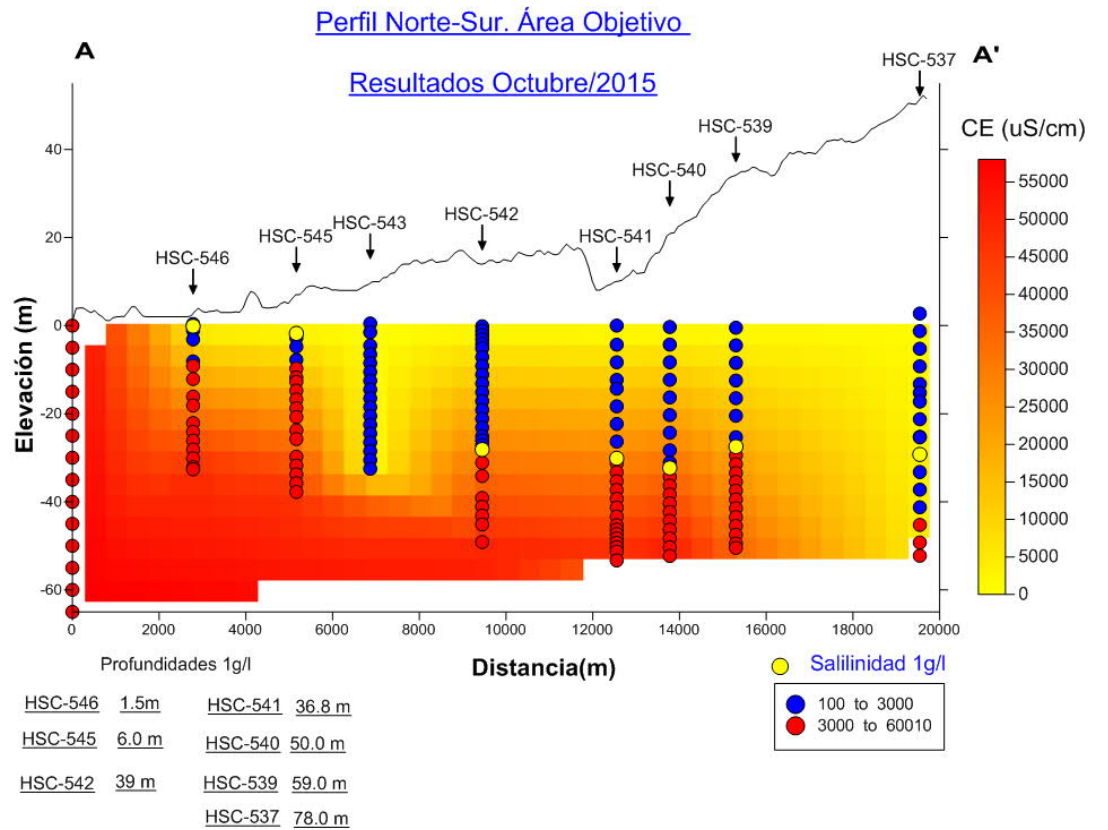


Figura 2-121: Perfil Norte-Sur, área objetivo Octubre 2015

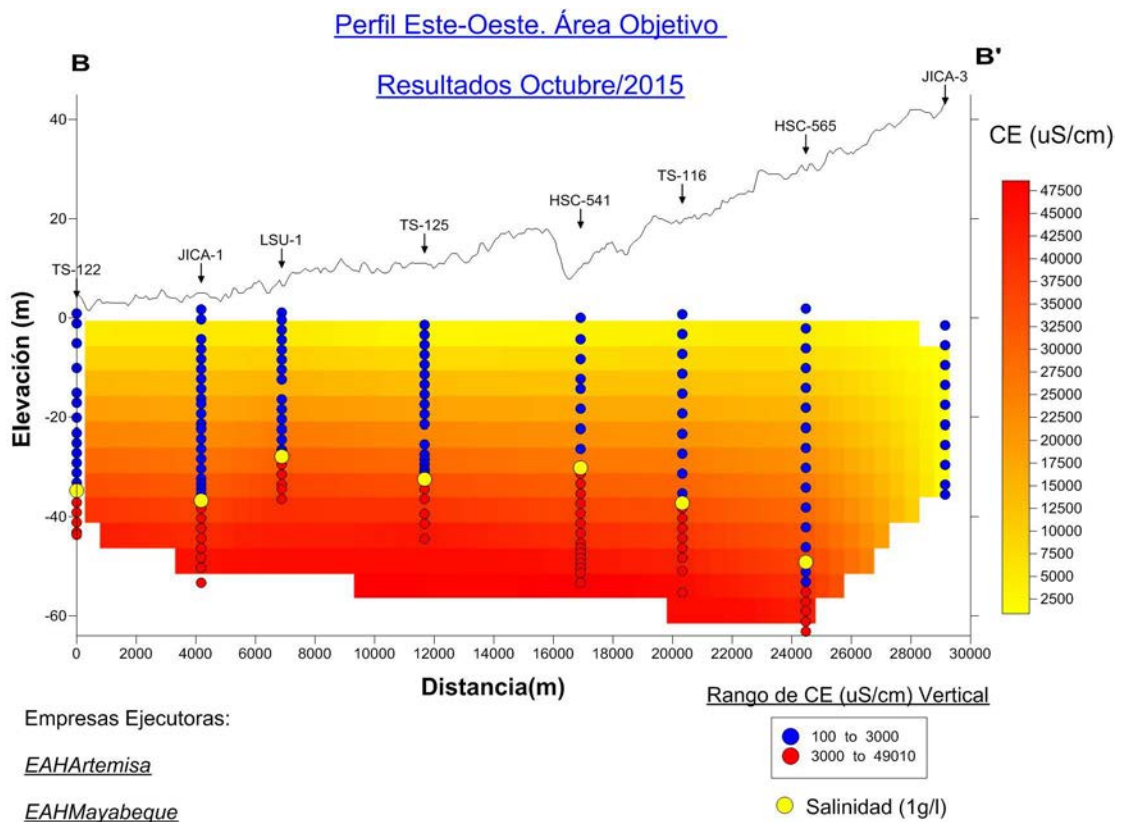


Figura 2-122: Perfil Este-Oeste, área objetivo Octubre 2015

Tabla 2-40: Elevación 1g/l perfil Este-Oeste San Cristóbal-Alquízar

| Provincia | Sigla | x | y | Elevación | EC_μS/cm | Salinidad | Distancia |
|-----------|---------|--------|--------|-----------|----------|-----------|-----------|
| Artemisa | PS-19.7 | 303300 | 315300 | -15.42 | 2000 | 1 | 16730.4 |
| Artemisa | ARB-9 | 308300 | 321150 | -20.22 | 2140 | 1 | 24426 |
| Artemisa | ARB-40B | 328000 | 324700 | -31.68 | 1980 | 1 | 44712.2 |
| Artemisa | TS-122 | 336400 | 325100 | -34.72 | 2720 | 1 | 53121.71 |

b.4 Problemas relacionados con otros temas de calidad del agua subterránea

En el análisis que se ha realizado con respecto a la calidad del agua subterránea, en los acuíferos y pozos comprometidos con el Proyecto JICA, se ha encontrado que uno de los problemas más importantes a tener en cuenta de inmediato son los niveles de nitrito y nitrato en estas aguas, independientemente que en la actualidad la agricultura utiliza pocos fertilizantes nitrogenados.

Los valores guías de la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Organización Panamericana de la Salud (OPS) han colocado estos valores, sobre todo los nitratos en concentraciones máximas de 45 mgL⁻¹ y existen muchas fuentes en esta Llanura Habana-Matanzas, donde se encuentran las provincias Artemisa y Mayabeque con estas afectaciones, las cuales provocan enfermedades a infantes fundamentalmente.

Además, también en las aguas superficiales que todavía fluyen por esta Llanura hay valores altos de nitrato disuelto en las aguas producto de contaminaciones orgánicas que por procesos bacterianos son transformadas en compuestos nitrogenados que finalmente son transformados en nitritos y nitratos.

Por estas situaciones es imperante que además de, la vigilancia sobre los aspectos concernientes a la intrusión salina de nuestros acuíferos, exista también la vigilancia sobre las concentraciones de nitritos y nitratos tanto en las aguas subterráneas como superficiales, estas últimas provocadas por afectaciones antrópicas contaminantes del medio a través de la disposición de materia orgánica.

b.5 Focos contaminantes en el área de estudio

Se conoce como fuentes contaminantes el lugar donde se produce el residual. En función del carácter del residual, las fuentes pueden ser domésticas, municipales, industriales y agropecuarias. Las tres primeras, en función del carácter espacial de la contaminación-origen, se clasifican como fuentes puntuales; mientras la gran mayoría de las actividades agrícolas y pecuarias (*de tipo extensivo*) entran en la categoría de fuentes difusas, cuyo campo espacial de acción es más difícil de definir en tanto la producción del residual acontece, no en forma concentrada, si no a lo largo de todo un frente o área. Por lo tanto el Foco Contaminante es donde se libera el residual, tratado o no, sobre la superficie natural de la cuenca de drenaje (*ya sea sobre las laderas, los, los sumideros o aún sobre las propias superficies acuáticas*).

En la zona de estudio existen un total de 82 fuentes contaminantes clasificadas según el tipo de residual como se aprecia en la siguiente tabla:

Tabla 2-41: Focos contaminantes o fuentes localizadas de contaminación

| Municipio | Cuenca de drenaje | Nombre de la Fuente Contaminante | x | y | Pertenencia | Residual por Clases |
|--------------------------|--------------------------|--|--------|--------|-------------|---------------------|
| San Antonio de los Baños | San Antonio de los Baños | Aeropuerto San Antonio de los Baños | 343359 | 337521 | MITRANS | Industrial |
| San Antonio de los Baños | Río Ariguanabo | Asent. San Antonio de los Baños | 345865 | 340793 | OLPP | Municipal |
| San Antonio de los Baños | Río Ariguanabo | Hospital Iván Portuondo | 344950 | 341500 | MINSAP | Municipal |
| Guira de Melena | Vertiente Sur | Escuela (emerg.) Luz Caballero(Cuba-Etiopía) | 347200 | 328700 | MINED | Doméstico |
| Guira de Melena | Vertiente Sur | Escuela Ciro Berrios (viven evacuados) | 346960 | 323400 | OLPP | Doméstico |
| Guira de Melena | Vertiente Sur | Escuela Comandancia de la Plata | 347900 | 330700 | MINED | Doméstico |
| Guira de Melena | Vertiente Sur | Escuela Cuba Jamaica | 344800 | 326600 | MINED | Doméstico |
| San Antonio de los Baños | Río Ariguanabo | Escuela Cuba Socialista | 341600 | 337300 | MINED | Doméstico |
| Guira de Melena | Vertiente Sur | Escuela Deportes Prov. Batalla de Ayacucho | 349200 | 334400 | INDER | Doméstico |
| Guira de Melena | Vertiente Sur | Escuela Esp. de conducta Sithón Comandant | 349600 | 334760 | MINED | Doméstico |
| San Antonio de los Baños | Río Ariguanabo | Escuela Inst de Arte 13 de Marzo | 343200 | 335900 | MINED | Doméstico |
| Guira de Melena | Vertiente Sur | Escuela interna Héroes de Bolivia | 346808 | 328950 | MINED | Doméstico |
| San Antonio de los Baños | Río Ariguanabo | Escuela Internacional de Cine y TV | 343900 | 341500 | CE | Doméstico |
| Guira de Melena | Vertiente Sur | Escuela IPA Kin II Sung | 342280 | 326360 | MINED | Doméstico |
| Guira de Melena | Vertiente Sur | Escuela Juan Pablo Duarte | 339740 | 325000 | MINED | Doméstico |
| San Antonio de los Baños | Río Ariguanabo | Escuela Mártires de Humbolt 7 | 349900 | 343400 | MINED | Doméstico |
| Guira de Melena | Vertiente Sur | Escuela Máximo Gómez Guira | 350428 | 327000 | MINED | Doméstico |
| Guira de Melena | Vertiente Sur | Escuela Maya Rodríguez | 342100 | 332100 | MINED | Doméstico |
| Guira de Melena | Vertiente Sur | Escuela Niños Héroes de Chapultepec | 346700 | 333300 | MINED | Doméstico |
| San Antonio de los Baños | Río Ariguanabo | Escuela Provincial de Arte Eduardo Avela | 344340 | 341345 | MINED | Doméstico |
| Guira de Melena | Vertiente Sur | Escuela Rep. Cooperativa de Guyana | 343500 | 323640 | MINED | Doméstico |
| San Antonio de los Baños | Río Ariguanabo | Escuela Rep. Popular de Angola | 347850 | 336000 | MINED | Doméstico |
| Guira de Melena | Vertiente Sur | Escuela Victoria del Uvero | 343000 | 334700 | MINED | Doméstico |
| San Antonio de los Baños | Río Ariguanabo | IPUEC Batalla del Jigüe | 344600 | 341600 | MINED | Doméstico |
| Guira de Melena | Vertiente Sur | Cochiguera militar Mederos (UAM) Nuevo | 345760 | 331104 | MINFAR | Agropecuario |
| Guira de Melena | Vertiente Sur | Porcino Camilo Cienfuegos | 347850 | 322600 | MINAG | Agropecuario |
| San Antonio de los Baños | Río Ariguanabo | Hotel Las Yagrumas | 347000 | 341500 | MINTUR | Doméstico |
| Guira de Melena | Vertiente Sur | Cochiguera Aduana | 345932 | 331278 | MININT | Agropecuario |
| San Antonio de los Baños | Río Ariguanabo | Cochiguera Las Cuevas | 346083 | 341065 | MINFAR | Agropecuario |
| San Antonio de los Baños | Río Ariguanabo | Matadero de Aves San Antonio | 347400 | 344100 | MINAG | Municipal |
| San Antonio de los Baños | Ariguanabo | GE Cayo La Rosa | 345645 | 340648 | MINEM | Industrial |
| Guira de Melena | Vertiente Sur | GMI Los Moros (Güira) | 343330 | 326610 | MINFAR | Agropecuario |
| Guira de Melena | Vertiente Sur | GMI Sonrisa d/l Vict (Güira) | 345550 | 327860 | MINFAR | Agropecuario |
| San Antonio de los Baños | Ariguanabo | CUBALUM (ensamb. Carpintería en Aluminio) | 339788 | 341402 | MINDUS | Industrial |
| San Antonio de los Baños | Ariguanabo | Parque Fluvial La Quintica, presa Muñíz | 345608 | 341402 | OLPP | Municipal |
| Batabanó | Vertiente Sur | Asent. Batabanó | 366770 | 321485 | OLPP | Municipal |

PROYECTO PARA EL FORTALECIMIENTO DE LAS CAPACIDADES DEL MANEJO DEL AGUA SUBTERRÁNEA Y EL CONTROL DE LA INTRUSIÓN SALINA EN LA REPÚBLICA DE CUBA

| | | | | | | |
|----------|---------------|---|--------|--------|---------------|---------------------|
| Bejucal | Ariguanabo | Asent. Bejucal | 357665 | 344940 | OLPP | Municipal |
| Quivicán | Quivicán | Asent. Quivicán | 360732 | 333296 | OLPP | Municipal |
| Bejucal | Quivicán | Asent. Edificios Médicos Quivicán | 360570 | 334095 | OLPP | Doméstico |
| Quivicán | Vertiente Sur | Asent. La Salud | 354460 | 339315 | OLPP | Doméstico |
| Quivicán | Vertiente Sur | Asent. Manuel Fajardo | 351406 | 333912 | OLPP | Doméstico |
| Quivicán | Vertiente Sur | Asent. Pablo Noriega | 357500 | 329200 | OLPP | Doméstico |
| Quivicán | Quivicán | Asent. San Felipe | 365338 | 332840 | OLPP | Doméstico |
| Quivicán | Quivicán | Asent. Santa Mónica | 358880 | 336620 | OLPP | Doméstico |
| Batabanó | Vertiente Sur | Asent. Surgidero de Batabanó | 367089 | 318018 | OLPP | Doméstico |
| Quivicán | Quivicán | Grupo Electróg. Acdto. El Gabriel | 351749 | 332503 | INRH | Industrial |
| Quivicán | Vertiente Sur | Grupo Electrógeno Mangela | 359831 | 335994 | MINEM | Industrial |
| Batabanó | Vertiente Sur | Grupo Electrógeno Batabanó | 366827 | 321227 | MINEM | Industrial |
| Bejucal | Ariguanabo | Grupo Eléctrogeno Bejucal | 355134 | 346397 | MINEM | Industrial |
| Quivicán | ninguna | I. P. A. Fructuoso Rodríguez | 359580 | 332880 | MINED | Doméstico |
| Quivicán | ninguna | Fábrica de Conservas 19 de Abril | 359070 | 334440 | MINAGRI | industrial |
| Quivicán | ninguna | UEB Manuel Fajardo | 351374 | 334228 | AZCUBA | industrial |
| Quivicán | ninguna | Fábrica de Conservas Caribe | 357385 | 330710 | MINAL | industrial |
| Quivicán | ninguna | (IPUEC) Bernardo O'Higuins | 359230 | 334220 | MINED | Doméstico |
| Quivicán | ninguna | (IPUEC) Cuba Canadá | 357620 | 336700 | MINED | Doméstico |
| Quivicán | ninguna | (IPUEC) Gaspar García Galló | 356600 | 337790 | MINED | Doméstico |
| Quivicán | ninguna | (IPUEC) XX Aniversario | 356900 | 334710 | MINED | Doméstico |
| Quivicán | ninguna | Porcino Los Baez | 355870 | 331420 | MINAGRI | Agropecuario |
| Quivicán | ninguna | Bioprocesos Cuba 10 | 351700 | 333700 | AZCUBA | industrial |
| Quivicán | ninguna | UEB Celulosa y Papel Cuba 9 | 357600 | 328900 | AZCUBA | industrial |
| Quivicán | ninguna | Porcino Finca Caparrosa | 353015 | 330890 | BIOCUBA FARMA | Agropecuario |
| Quivicán | ninguna | Grupo electrógeno El Gabriel | 351850 | 332195 | MINEN | Industrial |
| Quivicán | Quivicán | Prisión Quivicán | 364880 | 338430 | MININT | Doméstico |
| Quivicán | ninguna | Grupo Electrógeno Mangela | 359831 | 335994 | MINEM | Industrial |
| Quivicán | ninguna | Asentamiento humano Quivicán Edificios, Zona desarrollo Médicos | 360570 | 334095 | INRH | Doméstico |
| Batabanó | ninguna | Porcino Inocencio | 361500 | 326160 | MINAGRI | Agropecuario |
| Batabanó | Quivicán | Empresa Industrial Pesquera Batabanó | 366615 | 318040 | INRH | Industrial |
| Batabanó | C/Sin nombre | (IPUEC) IV Congreso | 363590 | 325560 | MINED | Doméstico |
| Batabanó | C/Sin nombre | Fábrica de Conservas Batabanó | 367090 | 321245 | MINAL | Industrial |
| Batabanó | Quivicán | Escuela José Martí (Sta Rita) | 365950 | 325000 | MINED | Agropecuario |
| Batabanó | ninguna | (IPUEC) Martires de la Coubre | 368980 | 330000 | MINED | Doméstico |
| Batabanó | Quivicán | Porcino Hermanos Peña | 364700 | 326100 | MINAGRI | Agropecuario |
| Batabanó | ninguna | Porcino Camacho | 358756 | 325068 | MINAGRI | Agropecuario |
| Batabanó | ninguna | Grupo Electrógeno Batabanó | 366827 | 321227 | MINEM | Industrial |
| Batabanó | Quivicán | Asentamiento humano Batabanó | 367350 | 321460 | INRH | Doméstico |
| Batabanó | Quivicán | Asentamiento humano Surgidero de Batabanó | 367089 | 318018 | INRH | Doméstico |
| Bejucal | Ariguanabo | Porcino de Comercio Bejucal | 357500 | 345000 | MINCIN | Agropecuario |
| Bejucal | Ariguanabo | Matadero "El Terry" | 356130 | 343550 | MINAGRI | Agropecuario |
| Bejucal | Ariguanabo | BioCen | 357500 | 345500 | BIOCUBA FARMA | Doméstico/Biológico |
| Bejucal | Ariguanabo | Grupo Eléctrogeno Bejucal | 355134 | 346397 | MINEM | Industrial |
| Bejucal | Ariguanabo | Asentamiento humano Bejucal | 356900 | 345100 | INRH | Municipal |

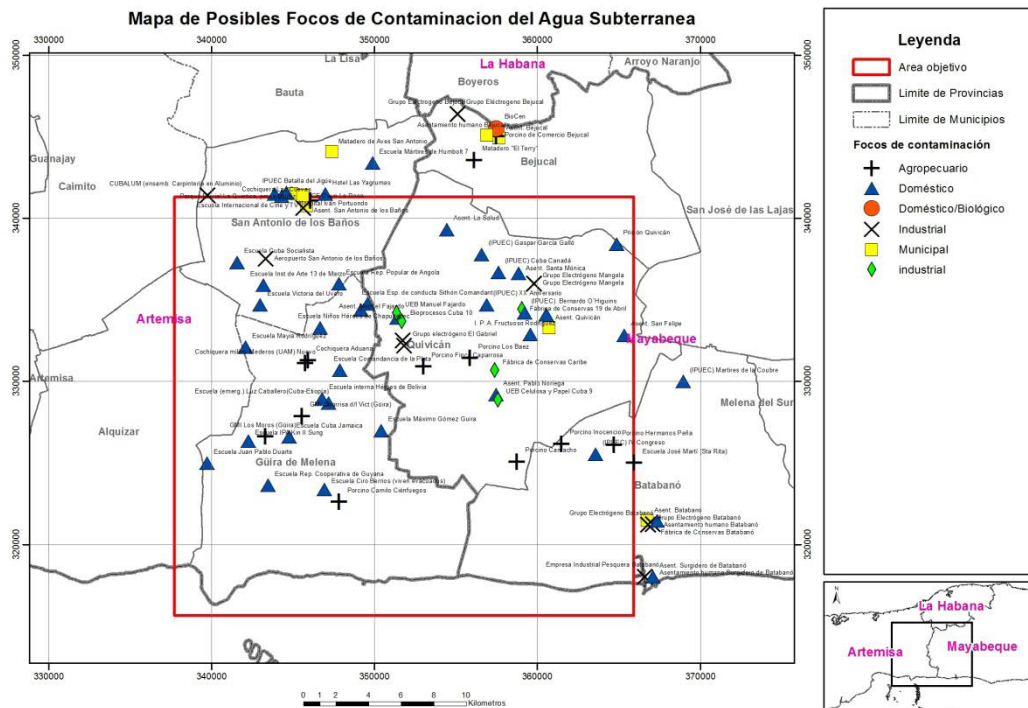


Figura 2-123: Mapa de fuentes contaminantes

c. Medidas que se han tomado en el pasado y sus efectos

En la década de los años 70 surge la necesidad de realizar determinadas acciones (cese de bombeo de pozos salinos, obras hidráulicas de protección, etc.) que permitieran mejorar la situación de la intrusión marina, por lo que se planeó desde entonces la construcción del Dique Sur; también y posteriormente, (en la década del 80), se proyectó el canal Pedroso-Mampostón-Guira, con el objetivo de trasvasar importantes volúmenes de agua a esta cuenca y mejorar así la situación del bombeo intensivo de pozos y, por tanto, la salinización del acuífero.

En la cuenca, se vienen explotando intensamente durante décadas el recurso agua del subsuelo como única fuente de suministro a la población, la industria y el riego. Por tales razones, surgió la necesidad impostergable de buscar alternativas para dar solución a los problemas de déficit hídrico, y por otra parte, atenuar el proceso de intrusión marina, ya manifiesto y agravado durante la década de los años 80. Así se argumentó la construcción de obras hidráulicas importantes, como el Dique Sur y el canal magistral Pedroso - Güira, para el trasvase de agua entre las cuencas.

Se ordenó, por otra parte, el cierre de canales y zanjas que drenan el acuífero hacia el mar y la construcción parcial de forma experimental de un tramo de 4,1 Km de dique de arcilla paralelo a la costa para elevar el nivel del agua en la zona cenagosa y hacer circular por debajo de la turba el agua subterránea que escapaba libremente al mar por los canales antes citados.

En el límite de la zona costera se construyó el Dique Sur, que tiene una longitud de 50 km y una elevación de 1.0 a 1.5 m y está atravesado en toda su extensión por 32 vertedores, con una elevación de 0.70 y 0.90 m. La finalidad principal de la obra es retener parte de las aguas subterráneas que se descargan por los canales en escurrimiento al Golfo de Batabanó,

restableciendo las líneas de flujo por debajo del humedal, con el objetivo de crear una barrera contra la intrusión superficial de las aguas del mar, incrementar los niveles de las aguas superficiales en la ciénaga, incrementar los recursos subterráneos, mejorar la calidad de las aguas subterráneas por el lavado de la franja costera y limitar la intrusión en el acuífero de las aguas saladas al aumentar la circulación subterránea de las aguas dulce al mar.

A partir del año 1989 se comenzaron, en forma regular, los aforos de los vertedores del Dique Sur, descargándose a través de ellos según los datos de las observaciones del año 1990, un volumen de $103 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{s}$. Como no existen suficientes mediciones ni antes ni después de la construcción del dique, no es posible determinar con una precisión adecuada la magnitud de la transformación del flujo superficial en subterráneo.

Existen opiniones divergentes en cuanto a la efectividad del Dique Sur y sus posibilidades de mejoramiento de las condiciones hidrogeológicas. Por otro lado algunos investigadores estiman que ha provocado un cambio ecológico en la región. Sin embargo, es necesario señalar que el equilibrio ecológico fue roto desde el preciso momento en que se construyeron los canales de drenaje de la zona pantanosa los que, en la actualidad posibilitan, de forma inmediata, la descarga de las aguas subterráneas. Por este motivo, desde el punto de vista hidrogeológico, no es correcto facilitar, de manera superficial, el drenaje de las aguas subterráneas, si este no existe de forma natural.

Alrededor de la obra, en la zona pantanosa, fueron construidas con anterioridad una serie de calas en las que, de forma sistemática, se realizaban las mediciones de hidroquímica vertical y resistividad. Según los resultados obtenidos en un corto período de tiempo, se ha podido observar una disminución evidente de la mineralización total en algunas calas, hasta llegar a variar de 35 g/L a menor de 1 g/L como, por ejemplo, en las calas DSC-7 y DSC-8 y, en otras, hasta 10 g/L, aumentando el espesor de las aguas dulces en esa área.

c.1 Dique Sur

La construcción del Dique Sur en el año 1985-1990 tuvo como objetivos;

- Dificultar el escurrimiento de las aguas superficiales hacia el mar.
- Interrumpir parcialmente el flujo subterráneo.
- Crear empantanamiento de la franja costera aguas arriba del dique.
- Impedir la penetración del mar y la salinización de las aguas subterráneas.

Estructura del "Dique Sur"

Esta obra consiste en la construcción de un terraplén de poca altura (1 m de altura absoluta) que alcanzará una longitud total de 51,7 km paralelo a unos 500 m a lo largo de la costa sur (Ver la Figura 4), desde el Surgidero de Batabanó hasta posterior a playa Majana así como unos 40,7 km de caminos de acceso perpendicular al dique. Cuenta además con unas 40 obras de fábricas de las cuales 32 son aliviaderos.

Con esto se provoca la elevación de los niveles de agua en la zona hasta alcanzar una cota aproximada de 0,70 y 0,9 m que coincida con la cota de vertimiento y a su vez el del NAN teniendo previsto un tirante en los vertedores de 0,20 m o sea el NAM será de 0,90 y 1,10 m. En los casos en que ocurran precipitaciones extraordinarias estos no rebasarán mucho más de la cota 1,00 m ya que el agua sobrepasaría el terraplén funcionando este como un enorme vertedor que será cortado por la propia agua en varios puntos.

La elevación de los niveles de agua en toda el área de la ciénaga hará el efecto de una barrera hidráulica contra la penetración de las aguas del mar, desplazando a estas tanto en la horizontal como en la vertical permitiendo que disminuyan las pendientes de las aguas subterráneas arriba de esta zona, reduciéndose con esto el flujo del agua hacia el mar y por tanto se logra una mayor retención del agua en la cuenca en general. Estos desplazamientos combinados son los de mayor importancia ya que de ellos depende el incremento de las reservas de agua dulce.

Tabla 2-42: Parámetros técnicos del Dique Sur y sus tramos

| Parámetros | U/M | Tramo IV | Tramo I | Tramo II | Tramo V | Tramo III | Total |
|----------------------------------|-------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|------------------------|-----------|
| Nombre del tramo | | Batabanó-Cardoso | Cardoso-Cajío | Cajío-Majana | Majana-Guanimar | Guanimar-Punta Cayamas | |
| Longitud del tramo | m | 12.800 | 3.950 | 9.450 | 14.672 | 10.807 | 51.679 |
| Longitud del acceso | m | | 1.727 | 5.700 | 10.500 | 9.077 | 27.004 |
| Cantidad de aliviaderos | u | 7 | 2 | 6 | 10 | 7 | 32 |
| Tipo de aliviaderos | - | umbral ancho | umbral ancho | umbral ancho | umbral ancho | umbral ancho | |
| Capacidad de evacuación | m ³ /s | 19,6 | 5,74 | 21,16 | 42,58 | 32,41 | 121,49 |
| Nivel de aguas normales (N.A.N.) | msnm | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,9 | 0,9 | 0,7 - 0,9 |
| Nivel de aguas máxima (N.A.M.) | msnm | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 1,2 | 1,2 | 0,9 - 1,2 |
| Ancho de la corona | m | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 |
| Cota de corona | m | 1 | 1 | 1 | 1,5 | 1,5 | 1 - 1,5 |
| Tipo de dique | - | Homogéneo de arcilla | Homogéneo de arcilla | Homogéneo de arcilla | Homogéneo de arcilla | Homogéneo de arcilla | |
| Volumen para (N.A.N.) | hm ³ | 5,6 | 0,26 | 6,6 | 8,8 | 4,0 | 25,26 |

Se ha podido determinar que la influencia del ascenso de los niveles en la zona pantanosa se ha reflejado hasta puntos alejados a 16 km de la costa, donde las cotas del agua subterránea no superan los 2 m, así como un descenso del contenido salino de las aguas, tanto superficiales como subterráneas, de 4 g/L a poco más de 1 g/L. Aunque en puntos como el Acueducto del Cajío la reducción de la salinidad se manifiesta incluso para los usuarios del mismo.

Estos efectos beneficiosos de esta inversión repercuten en el campo de pozos del acueducto que abastecen a la Ciudad de La Habana con una reducción del cono depresivo al aumentar la alimentación del sur.

En los años transcurrido después de ejecutado los cierres de los canales no se observa afectaciones de las plantaciones de casuarina en las zonas pantanosas, por lo menos a simple vista aunque la elevación de los niveles de las aguas afecta a las labores de corte y extracción de la madera.

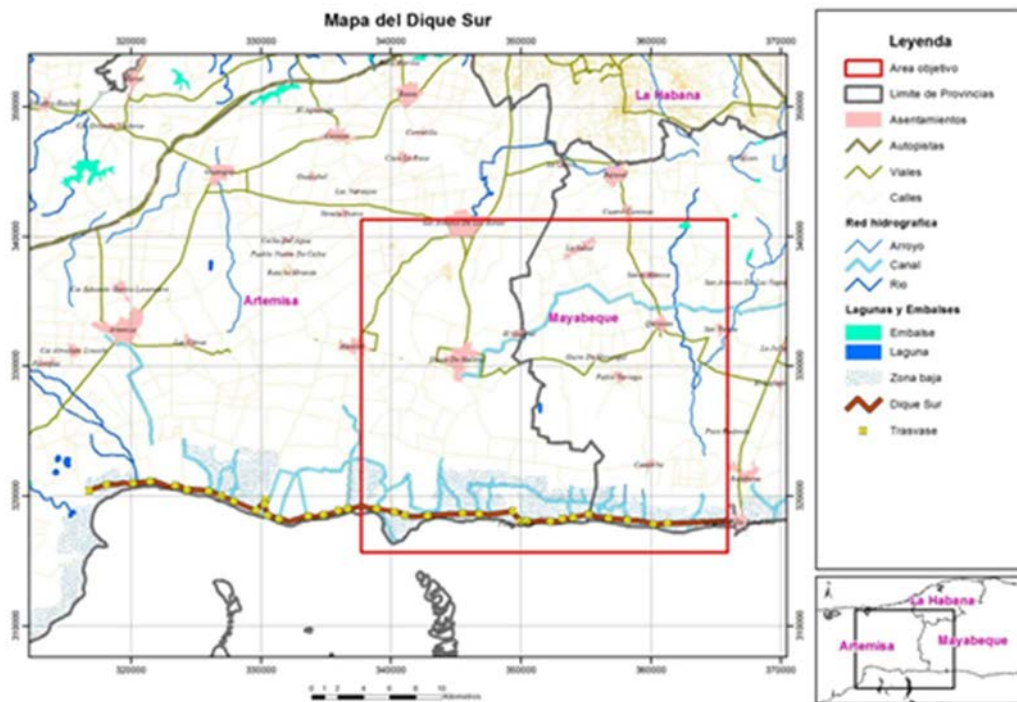


Figura 2-124: Mapa general del Dique Sur

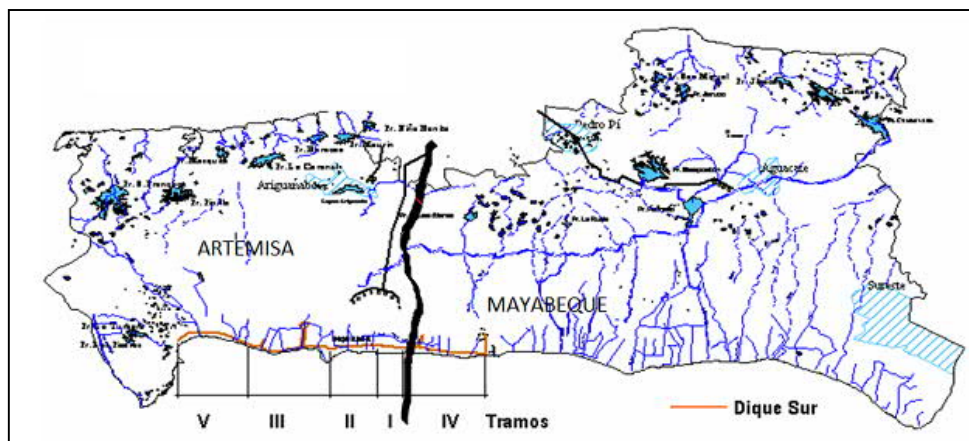


Figura 2-125: Tramos del Dique Sur, provincias de Artemisa y Mayabeque.

d. Resultados que ha tenido el “Balance de Agua” de GEARH en el manejo del agua subterránea

El Balance de Agua, proceso que conduce y dirige el GEARH a través del sistema del INRH, es el principal instrumento para materializar la gestión integrada del agua en Cuba, en función de satisfacer las necesidades de la economía, sociedad y de la protección del medio ambiente. Es el instrumento de planificación mediante el cual se mida la eficiencia en el consumo estatal y privado, respecto a la disponibilidad del recurso, es un proceso de conciliación de intereses de todas las ramas de la economía y de la sociedad para acceder a las distintas fuentes de agua a las cuales están vinculadas.

Es un proceso de demandas, análisis de las disponibilidades y estado técnico de las fuentes suministradoras, discusión, fundamentación y asignación de volúmenes de agua para satisfacer las necesidades planteadas, sin violar las condiciones y restricciones de explotación de las fuentes. Estas disponibilidades dependen del comportamiento de las lluvias. Por ejemplo para el año 2016 fueron asignados por el Balance de Agua 305.00 Hm³ de todo el recurso explotable de la cuenca subterránea que es de 375.00 Hm³, no existiendo déficit en cuanto al agua demanda por los clientes para las diferentes actividades como: el riego agrícola, el consumo humano y los otros usos.

También fueron balanceadas las pérdidas de explotación tanto las producidas por conducción en los canales magistrales, como las pérdidas en los sistemas de acueducto las que constituyen valores estimados de recarga al manto freático. En el gráfico siguiente se observa el cumplimiento del Balance de agua al cierre del I Trimestre.

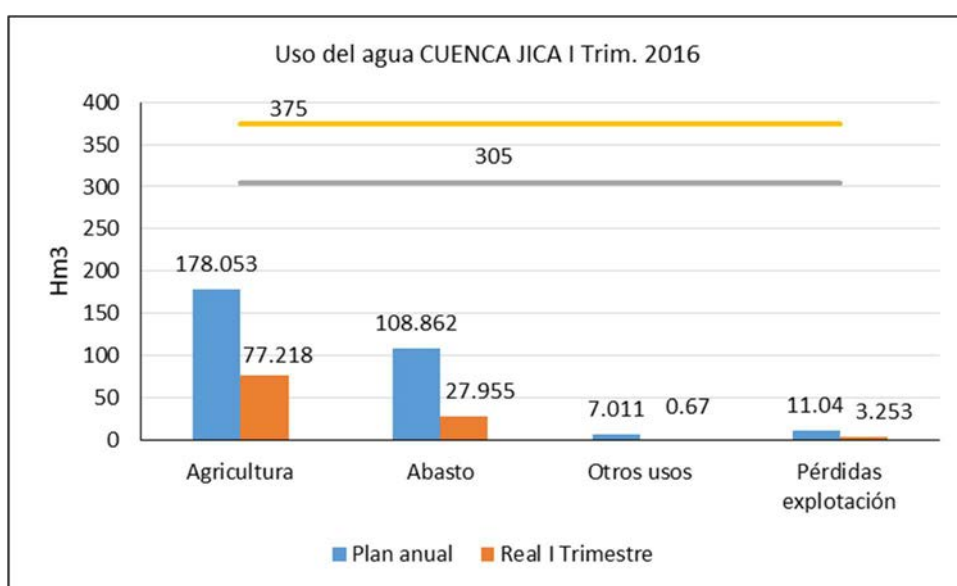


Figura 2-126: Uso del agua CUENCA JICA I Trim, 2016

Para las condiciones específicas en períodos de sequía por el que atraviesa cíclicamente el país se requiere de un trabajo minucioso que permita a partir de una distribución más racional del agua y con el mínimo posible de afectaciones comenzar un proceso recuperativo de estabilización de las entregas de las fuentes de abasto.

Como resultado del mismo se ha logrado mantener la sostenibilidad del recurso en el área de estudio los que se han mantenido pues las inversiones no han sido considerables.

Libro de Balance de Agua 2016 Artemisa (Tabla 1. Resumen por Organismos del agua asignada por el Balance)

| RESUMEN DE LA PROPUESTA DE BALANCE | | | | | | | | | | | | | | | | Tabla #1 UM: hm³ | | | | |
|--|--------|-----------|-------------|-------------|-----------|--------|--------|--------|--------|-------------|------------|--------|--------|--------|--------|-------------------|-------|-------|--------|-------|
| BALANCE DE AGUA Año: 2016 | | | | | | | | | | | | | | | | Página: 1 | | | | |
| GRUPO EMPRESARIAL DE APROVECHAMIENTO DE LOS RECURSOS HIDRÁULICOS | | | | | | | | | | | | | | | | Impreso: 25/05/16 | | | | |
| CUENCA JICA | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ORG/RAMA/ACT/EMP | FUENTE | TEC. RGO. | NIVEL ACTIV | NORMA N. B. | DEMANDA | | | | | NIVEL ACTIV | ASIGNACIÓN | | | | | DÉFICIT | | | | |
| | | | | | TOTAL | III | IV-VI | VII-IX | X-XII | | TOTAL | III | IV-VI | VII-IX | X-XII | TOTAL | III | IV-VI | VII-IX | X-XII |
| Total | | | | | 125.228 | 36.424 | 29.139 | 24.763 | 34.902 | | 125.228 | 36.424 | 29.139 | 24.763 | 34.902 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| MINISTERIO DE LA AGRICULTURA | | | | | 107.519 | 31.186 | 24.965 | 20.993 | 30.375 | | 107.519 | 31.186 | 24.965 | 20.993 | 30.375 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| AGRICULTURA NO CAÑERA | | | | | 11170.97 | | | | | | 11170.97 | | | | | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| ARROZ PRIMAVERA | | | | | 42.575 | | | | | | 42.575 | | | | | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| CCS Frank País (Güira) | HS-3 | G | 1.643 | 8944.000 | 12777.000 | 0.021 | 0.005 | 0.006 | 0.005 | 0.005 | 1.643 | 0.021 | 0.005 | 0.006 | 0.005 | 0.005 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| CPA Amistad Cuba Paises Nórdicos | HS-3 | G | 8.844 | 8944.000 | 12777.000 | 0.113 | 0.028 | 0.027 | 0.030 | 0.028 | 8.844 | 0.113 | 0.028 | 0.027 | 0.030 | 0.028 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| Emp Agrop Cultivos Varios (Güira) | HS-3 | G | 14.557 | 8944.000 | 12777.000 | 0.186 | 0.047 | 0.045 | 0.047 | 0.047 | 14.557 | 0.186 | 0.047 | 0.045 | 0.047 | 0.047 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| UBPC Heroes Yaguajay (Güira) | HS-3 | G | 17.531 | 8944.000 | 12777.000 | 0.224 | 0.056 | 0.056 | 0.056 | 0.056 | 17.531 | 0.224 | 0.056 | 0.056 | 0.056 | 0.056 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| CÍTRICOS Y FRUTALES | | | | | 455.520 | | | | | | 455.520 | | | | | | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| CCS 1ro de Mayo (Güira) | HS-3 | G | 5.700 | 4400.000 | 8800.000 | 0.050 | 0.012 | 0.012 | 0.013 | 0.013 | 5.700 | 0.050 | 0.012 | 0.012 | 0.013 | 0.013 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| CCS Abel Santa María (Alq) | HS-3 | G | 4.140 | 4400.000 | 8800.000 | 0.036 | 0.011 | 0.008 | 0.005 | 0.012 | 4.140 | 0.036 | 0.011 | 0.008 | 0.005 | 0.012 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| CCS Alvaro Reinoso (Alq) | HS-3 | G | 9.000 | 4400.000 | 8800.000 | 0.079 | 0.024 | 0.018 | 0.012 | 0.025 | 9.000 | 0.079 | 0.024 | 0.018 | 0.012 | 0.025 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| CCS Antero Regalado (Güira) | HS-3 | G | 4.400 | 4400.000 | 8800.000 | 0.039 | 0.009 | 0.010 | 0.010 | 0.010 | 4.400 | 0.039 | 0.009 | 0.010 | 0.010 | 0.010 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| CCS Camilo Cienfuegos (Alq) | HS-3 | A | 3.200 | 4400.000 | 5500.000 | 0.018 | 0.004 | 0.005 | 0.004 | 0.005 | 3.200 | 0.018 | 0.004 | 0.005 | 0.004 | 0.005 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| CCS Camilo Cienfuegos (Güira) | HS-3 | G | 19.700 | 4400.000 | 8800.000 | 0.173 | 0.043 | 0.043 | 0.044 | 0.043 | 19.700 | 0.173 | 0.043 | 0.043 | 0.044 | 0.043 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| CCS Frank País (Alq) | HS-3 | G | 45.200 | 4400.000 | 8800.000 | 0.399 | 0.120 | 0.092 | 0.060 | 0.127 | 45.200 | 0.399 | 0.120 | 0.092 | 0.060 | 0.127 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| CCS Frank País (Güira) | HS-3 | G | 14.800 | 4400.000 | 8800.000 | 0.130 | 0.032 | 0.032 | 0.033 | 0.033 | 14.800 | 0.130 | 0.032 | 0.032 | 0.033 | 0.033 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| CCS José A Echeverría (Alq) | HS-3 | G | 20.300 | 4400.000 | 8800.000 | 0.179 | 0.029 | 0.000 | 0.000 | 0.150 | 20.300 | 0.179 | 0.029 | 0.000 | 0.000 | 0.150 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| CCS Niceto Pérez (Güira) | HS-3 | G | 4.600 | 4400.000 | 8800.000 | 0.040 | 0.010 | 0.010 | 0.010 | 0.010 | 4.600 | 0.040 | 0.010 | 0.010 | 0.010 | 0.010 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| CCS Pedro R. Santana (Alq) | HS-3 | G | 20.100 | 4400.000 | 8800.000 | 0.178 | 0.053 | 0.041 | 0.027 | 0.057 | 20.100 | 0.178 | 0.053 | 0.041 | 0.027 | 0.057 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| CCS Raúl Cepero Bonilla (Güira) | HS-3 | G | 3.700 | 4400.000 | 8800.000 | 0.033 | 0.008 | 0.008 | 0.009 | 0.008 | 3.700 | 0.033 | 0.008 | 0.008 | 0.009 | 0.008 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| CCS Rubén Mtnz Villena (Alq) | HS-3 | G | 112.300 | 4400.000 | 8800.000 | 0.967 | 0.296 | 0.227 | 0.148 | 0.316 | 112.300 | 0.967 | 0.296 | 0.227 | 0.148 | 0.316 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |

Libro de Balance de Agua 2016 Mayabeque (Tabla1. Resumen por Organismos del agua asignada por el Balance)

| RESUMEN DE LA PROPUESTA DE BALANCE | | | | | | | | | | | | | | | | | Tabla #1 | | UM: hm ³ | | | | | |
|--|------------------------|-----------|-------------|-------------|-----------|--------|--------|--------|--------|----------|--------|--------|--------|--------|------------|-------|-----------|-------|---------------------|---------|--|--|--|--|
| BALANCE DE AGUA Año: 2016 | | | | | | | | | | | | | | | | | Página: 1 | | Impreso: 6/07/16 | | | | | |
| GRUPO EMPRESARIAL DE APROVECHAMIENTO DE LOS RECURSOS HIDRÁULICOS | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| CUENCA JICA | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ORG/RAMA/ACT/EMP | FUENTE | TEC. RGO. | NIVEL ACTIV | NORMA N. B. | DEMANDA | | | | | NIVEL | | | | | ASIGNACIÓN | | | | | DÉFICIT | | | | |
| | | | | | TOTAL | I-III | IV-VI | VII-IX | X-XII | ACTIV | TOTAL | I-III | IV-VI | VII-IX | X-XII | TOTAL | I-III | IV-VI | VII-IX | X-XII | | | | |
| Total | | | | | 86.220 | 27.475 | 21.070 | 13.583 | 24.092 | | 86.220 | 27.475 | 21.070 | 13.583 | 24.092 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | | | | |
| MINISTERIO DE LA AGRICULTURA | | | | | 55.884 | 17.447 | 13.063 | 8.936 | 16.438 | | 55.884 | 17.447 | 13.063 | 8.936 | 16.438 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | | | | |
| AGRICULTURA NO CAÑERA | | | | 6492.980 | 52.923 | 16.706 | 12.324 | 8.206 | 15.687 | 6492.980 | 52.923 | 16.706 | 12.324 | 8.206 | 15.687 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | | | | |
| ARROZ PRIMAVERA | | | | 5.000 | 0.064 | 0.000 | 0.064 | 0.000 | 0.000 | 5.000 | 0.064 | 0.000 | 0.064 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | | | | |
| UBPC Ruben Marichal (Bat) | HS-4 | G | 5.000 | 8936.000 | 12766.000 | 0.064 | 0.000 | 0.064 | 0.000 | 0.000 | 5.000 | 0.064 | 0.000 | 0.064 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | | | | |
| CITRICOS Y FRUTALES | | | | 113.660 | 1.015 | 0.258 | 0.256 | 0.239 | 0.262 | 113.660 | 1.015 | 0.258 | 0.256 | 0.239 | 0.262 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | | | | |
| CCS 2da Declaración (Quivicán) | HS-3 | G | 5.100 | 4400.000 | 8800.000 | 0.045 | 0.011 | 0.011 | 0.011 | 0.012 | 5.100 | 0.045 | 0.011 | 0.011 | 0.011 | 0.012 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | | | | |
| CCS Antonio Guterres (Quiv) | HS-3 | G | 1.800 | 4400.000 | 8800.000 | 0.016 | 0.004 | 0.004 | 0.004 | 0.004 | 1.800 | 0.016 | 0.004 | 0.004 | 0.004 | 0.004 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | | | | |
| CCS Camilo Cienfuegos (Quiv) | HS-3 | G | 1.100 | 4400.000 | 8800.000 | 0.024 | 0.006 | 0.006 | 0.006 | 0.006 | 1.100 | 0.024 | 0.006 | 0.006 | 0.006 | 0.006 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | | | | |
| CCS Cuba Socialista (Quivicán) | HS-3 | G | 3.500 | 4400.000 | 8800.000 | 0.031 | 0.008 | 0.007 | 0.007 | 0.009 | 3.500 | 0.031 | 0.008 | 0.007 | 0.007 | 0.009 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | | | | |
| CCS Eduardo Garcia (Quiv) | HS-3 | G | 3.600 | 4400.000 | 8800.000 | 0.032 | 0.008 | 0.008 | 0.008 | 0.008 | 3.600 | 0.032 | 0.008 | 0.008 | 0.008 | 0.008 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | | | | |
| CCS José A. Echeverría (Quiv) | HS-3 | G | 4.300 | 4400.000 | 8800.000 | 0.038 | 0.010 | 0.010 | 0.009 | 0.009 | 4.300 | 0.038 | 0.010 | 0.010 | 0.009 | 0.009 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | | | | |
| CCS José Luis Tasende (Quiv) | HS-3 | G | 15.000 | 4400.000 | 8800.000 | 0.132 | 0.033 | 0.033 | 0.033 | 0.033 | 15.000 | 0.132 | 0.033 | 0.033 | 0.033 | 0.033 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | | | | |
| CCS Juan M Marquez (Quivicán) | HS-3 | G | 2.400 | 4400.000 | 8800.000 | 0.021 | 0.005 | 0.005 | 0.005 | 0.006 | 2.400 | 0.021 | 0.005 | 0.005 | 0.005 | 0.006 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | | | | |
| CCS Julio Trigo (Quiv) | HS-3 | G | 3.100 | 4400.000 | 8800.000 | 0.027 | 0.007 | 0.007 | 0.006 | 0.007 | 3.100 | 0.027 | 0.007 | 0.007 | 0.006 | 0.007 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | | | | |
| CCS Martires de Barbados (Quivicán) | HS-3 | G | 18.110 | 4400.000 | 8800.000 | 0.159 | 0.040 | 0.039 | 0.039 | 0.041 | 18.110 | 0.159 | 0.040 | 0.039 | 0.039 | 0.041 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | | | | |
| CCS Nicomedes Corvo (Quiv) | HS-3 | G | 27.000 | 4400.000 | 8800.000 | 0.238 | 0.060 | 0.059 | 0.059 | 0.060 | 27.000 | 0.238 | 0.060 | 0.059 | 0.059 | 0.060 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | | | | |
| CCS Nicomedes Corvo (Quiv) | Sist. Mamp-Ped-G/Canal | G | 5.000 | 4400.000 | 8800.000 | 0.044 | 0.015 | 0.014 | 0.000 | 0.015 | 5.000 | 0.044 | 0.015 | 0.014 | 0.000 | 0.015 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | | | | |
| CPA Pedro Rguez Santana (Quiv) | HS-3 | G | 2.700 | 4400.000 | 8800.000 | 0.024 | 0.006 | 0.006 | 0.006 | 0.006 | 2.700 | 0.024 | 0.006 | 0.006 | 0.006 | 0.006 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | | | | |
| Gja Avicola L P V (Quivicán) | HS-3 | A | 0.300 | 4400.000 | 5500.000 | 0.002 | 0.000 | 0.001 | 0.000 | 0.001 | 0.300 | 0.002 | 0.000 | 0.001 | 0.000 | 0.001 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | | | | |
| Gja Avicola La Soria (Quivicán) | HS-3 | G | 0.300 | 4400.000 | 8800.000 | 0.003 | 0.000 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.300 | 0.003 | 0.000 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | | | | |
| Gja Avicola San Agustín (Quivicán) | HS-3 | G | 0.150 | 4400.000 | 8800.000 | 0.001 | 0.000 | 0.001 | 0.000 | 0.000 | 0.150 | 0.001 | 0.000 | 0.001 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | | | | |

3 CAMBIOS EN LAS CIRCUNSTANCIAS QUE RODEAN EL AGUA SUBTERRÁNEA

3.1 Meteorología

En los siguientes gráficos se muestran las precipitaciones anuales y la probabilidad de lluvia (probabilidad de recurrencia, probabilidad de no recurrencia) obtenida mediante el método de Hazen en los principales puntos de observación de las precipitaciones.



Figura 3-1: Estación 9



Figura 3-2: Estación 17

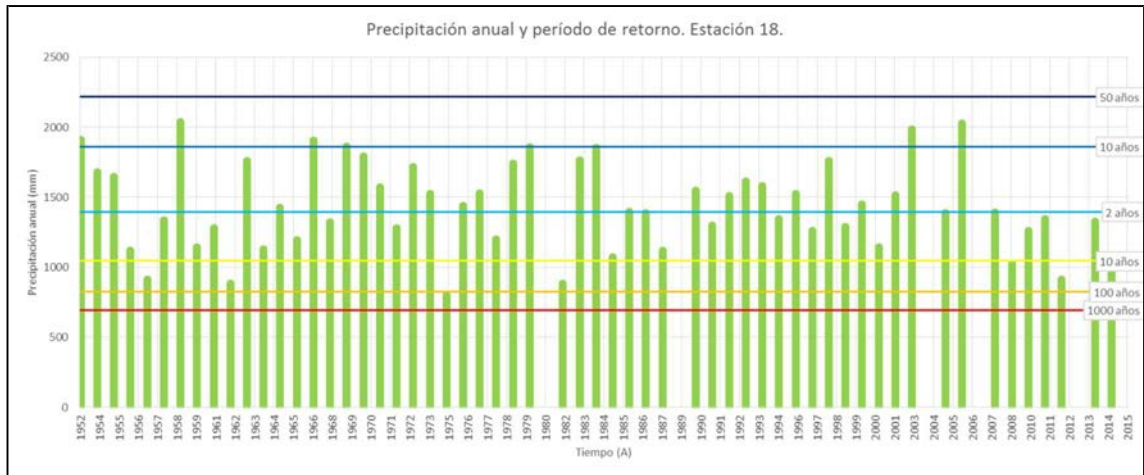


Figura 3-3: Estación 18

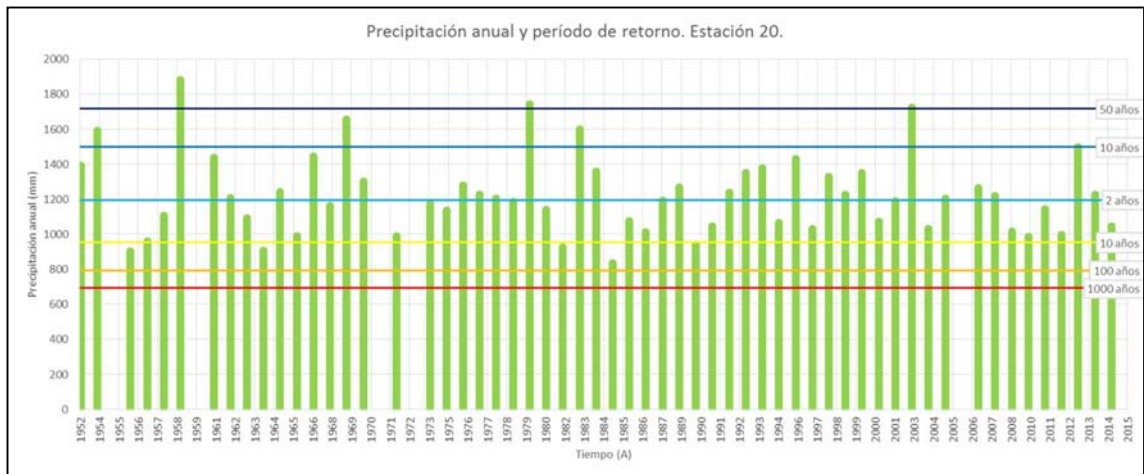


Figura 3-4: Estación 20

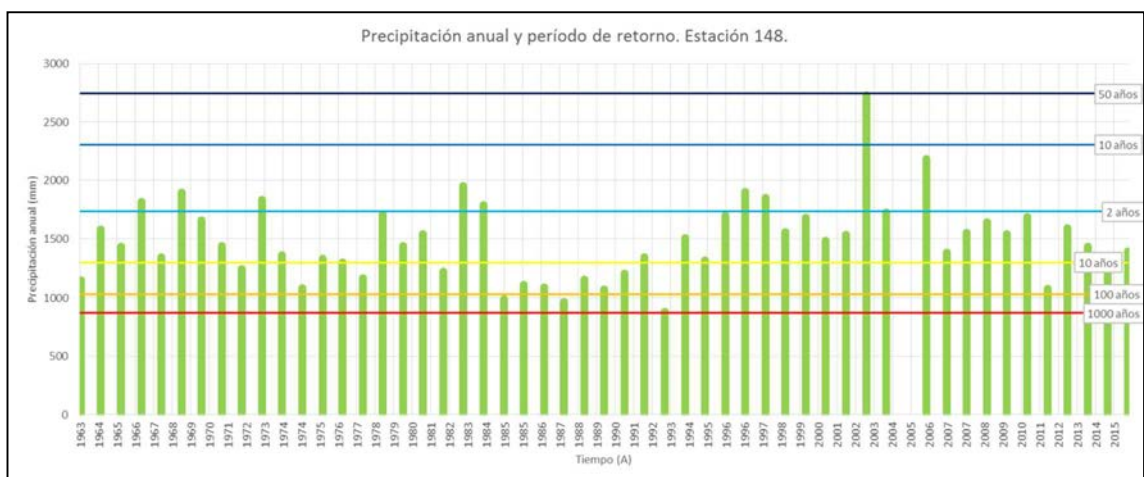


Figura 3-5: Estación 148

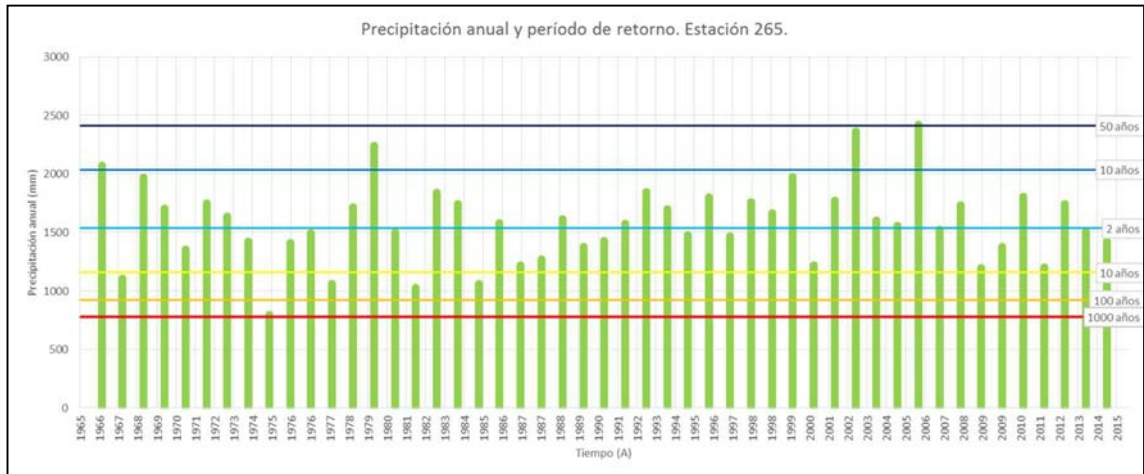


Figura 3-6: Estación 265

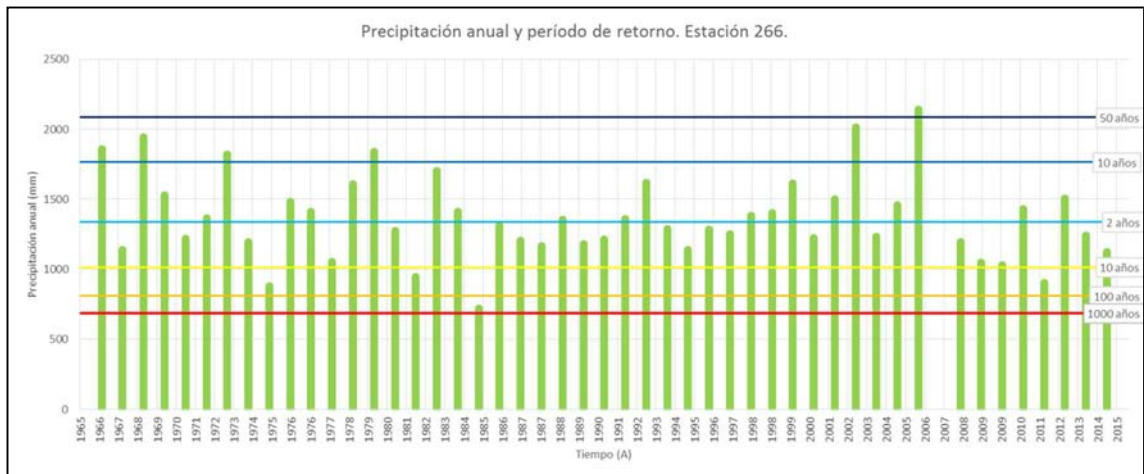


Figura 3-7: Estación 266



Figura 3-8: Estación 272

3.2 Recarga del Agua Subterránea

En una perspectiva a largo plazo, es posible que la cantidad de recarga de agua subterránea disminuya producto de la urbanización.

No existen planes a corto plazo de cambios territoriales que puedan afectar la recarga de agua subterránea.

3.3 Agua Salada y Agua Superficial

PREDICCIONES DE LOS CAMBIOS EN EL NIVEL MEDIO DEL MAR

Determinación de la tendencia del ascenso del nivel medio del mar y sus valores extremos, en el presente y en el futuro es el problema más complejo y actual con que se enfrenta la humanidad. El Cambio Climático no es un efecto provocado por hombre, pero si, su desarrollo acelerado en coto periodo de tiempo histórico. En la historia del Planeta han ocurrido en todas las eras Geológica un número mayor o menor de estos cambios, como los que se producen en la actualidad, se puede apreciar en el gráfico de niveles de fluctuación de NMM en el Cuaternario los movimientos de elevación y descenso del mismo

Son los países insulares, como Cuba, los que presentan más vulnerabilidad al cambio del nivel del mar. En Cuba se están realizando estudios y tomando mediad para la mitigación de los efectos del Cambio Climático y del ascenso del mar, la realización de estudios multidisciplinario de la franja costera y su influencia tierra firme, siendo el CITMA quien los rige y en el cual participan diversos organismo estatales y no estatales.

Una de las temáticas principales es el conocer cuál sería la cota de inundación que ocuparía la nueva línea de costa, para lo que se tomaron dos fechas de cálculo, el 2050 con un ascenso de nivel de las aguas de 0,27 m y el 2100 con 0,85 m como alturas inicial.

Se realizan monitoreo de toda la línea de costa y se clasifica la vulnerabilidad de la misma y la mediada de adaptación.

En área de estudio del proyecto todo el límite sur es una franja costera cenagosa y de baja altitud en dónde se pronosticó la regresión marina para estos dos escenarios (Figura 3-9).

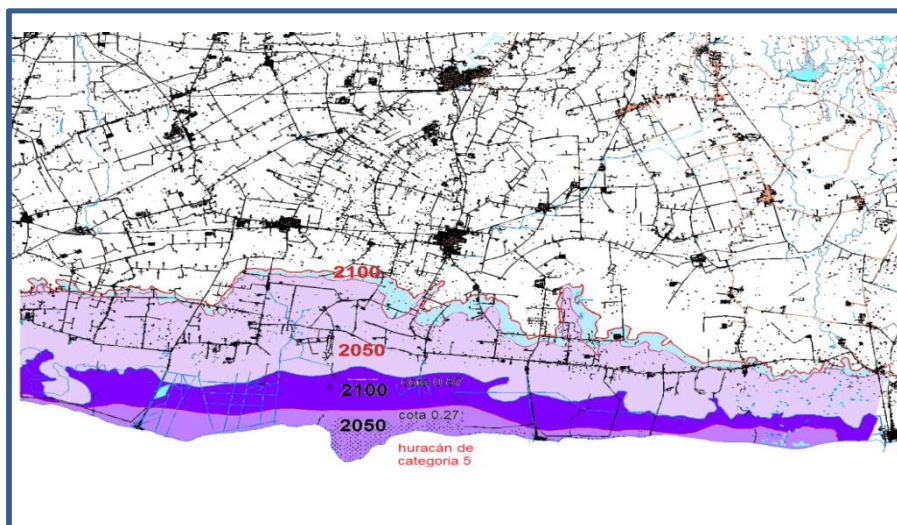


Figura 3-9: Franja costera cenagosa

Cambios en el nivel del mar pronosticado para los años 2050 y 20100 en colores lila y morado, así como la penetración de mar a consecuencia de grandes marejadas provocadas por un huracán de categoría cinco. (Enrique y Amaury, Macro Proyecto CC, 2008)

La realización de estudios con imágenes aéreas y cósmicas de diferentes años de la zona demostró que entre 1956 y 1997 en un área cercana los tramos HS IV, al Este del pueblo de Batabano, el mar ocupó 95 m tierra adentro desplazando la línea de costa y transformando el ecosistema marino y terrestre.

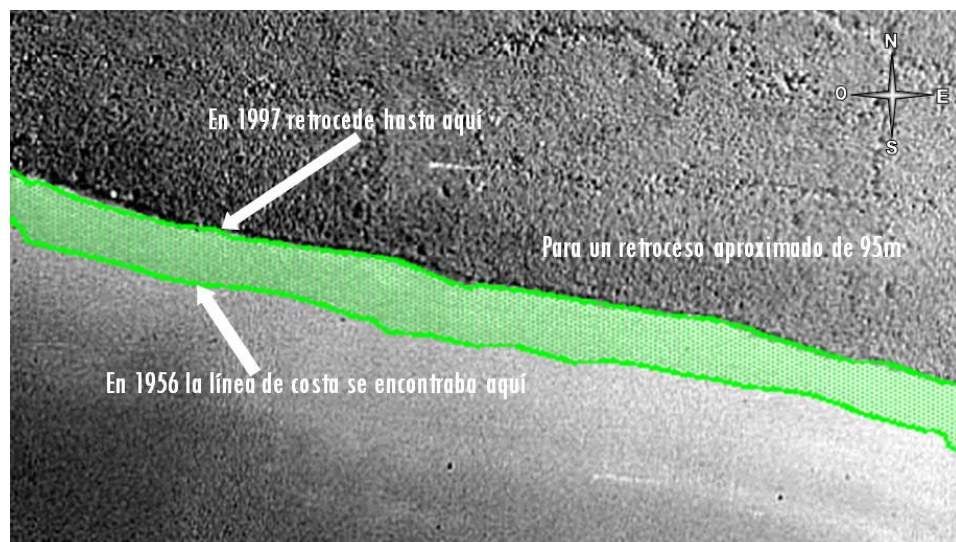


Figura 3-10: Desplazamiento que ha tenido la línea de costa desde 1956 hasta 1997 en un sector costero, entre Surgidero de Batabanó y Playa Mayabeque. (A. C. Hernández Zanuy, Instituto de Oceanología del CITMA)

De producirse estos dos escenarios se activaría la red de drenaje superficial en una franja terreno equivalente a las áreas inundadas periódicamente, activándose los paleo valles (Figura 3-11), al cambiar el nivel de base regional (línea de la costa). Este aumento del nivel del mar repercute en el acuífero con el desplazamiento de la cuña salina y ascenso del nivel de las aguas subterráneas provocando que formas cársticas emergidas queden inundadas y las que ocupen una posición altimétrica baja funcionen como formas de descarga del acuífero.

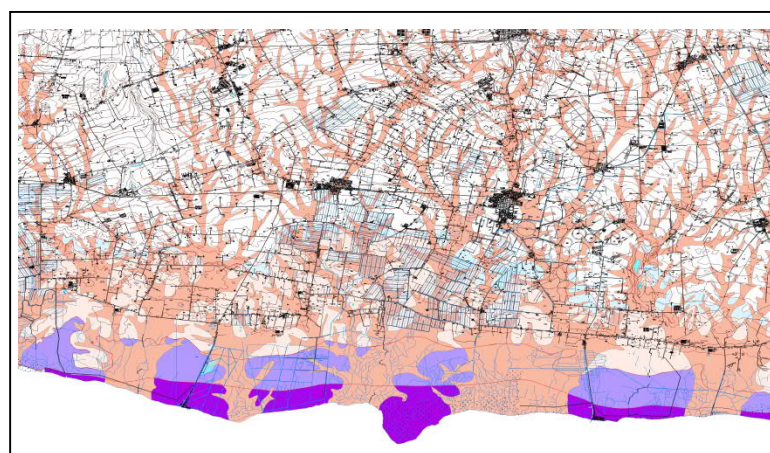


Figura 3-11: Mapa de la red de Paleo Valles y del pronóstico del ascenso del nivel medio del mar en el sector del proyecto

3.4 Uso del Agua Subterránea

En la siguiente figura aparece el volumen mensual de consumo de agua subterránea durante los últimos cinco años.

Si bien no podemos establecer una simple comparación ya que se observa una mejoría en los últimos datos precisados, el volumen de consumo de agua subterránea muestra una tendencia a disminuir. En particular, se aprecia una reducción drástica de la cantidad de agua subterránea que se consume en el periodo seco.

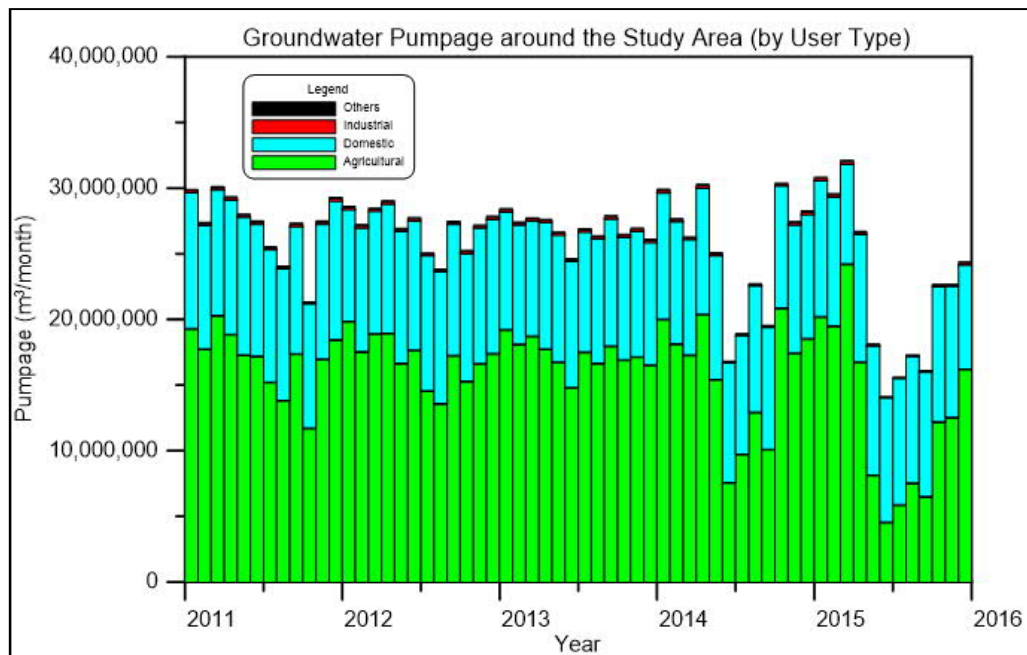


Figura 3-12: Cantidad mensual estimada del consumo de agua subterránea (2011-2015)

4 OBJETIVO DE CONSERVACIÓN DEL AGUA SUBTERRÁNEA

4.1 Conjunto de Objetivos de Conservación

- **Conservación** ambiental son las distintas formas de proteger y preservar el futuro de la naturaleza, o algunas de sus partes: los recursos hídricos, las distintas especies, los ecosistemas, los valores paisajísticos, entre otros.
- La especie humana, está destruyendo las pocas y últimas áreas naturales que quedan; está extinguiendo especies de plantas y animales; está contaminando el mar, el aire, el suelo y las aguas.
- De seguir este proceso, el ser humano no sólo está empobreciendo su entorno y a sí mismo, sino que está comprometiendo su propia supervivencia como especie.
- La sobreexplotación de las aguas subterráneas no es tan evidente como la de los lagos y los ríos. Hay menos pruebas visuales y los efectos de la extracción excesiva de agua subterránea tardan más en ser apreciables.
- En las últimas décadas se ha extraído mucha más agua de fuentes subterráneas que en el pasado, sin tener en cuenta la capacidad de recarga de los acuíferos.
- Las consecuencias negativas como reducción de los niveles de agua, contaminación y agotamiento de los recursos, pueden ser permanentes o tener una duración muy larga en el tiempo.

4.2 Valor Objetivo del Nivel del Agua Subterránea

a. Criterio de conservación manejado

Los recursos explotables pueden ser igual o menor a la recarga media hiperanual del acuífero, o sea, se recomienda extraer un volumen de agua que como máximo sea igual a lo que entra como promedio en muchos años, lo que no alteraría la condición de equilibrio dinámico del acuífero.

$$Q_e \leq \lambda Q_n$$

b. Determinación de los valores objetivo de conservación del nivel de agua subterránea

- Como valor deseado a corto plazo se seleccionó el límite del Nivel Muy Desfavorable:

$$NMD = N_{\text{crítico}} + \frac{\Delta h}{2} \text{ (recarga neta media)}$$

- Como valor objetivo final se escogió el límite del Nivel Desfavorable:

$$NMD = N_{\text{crítico}} + \Delta h \text{ (recarga neta media)}$$

c. Valores objetivo de conservación (Nivel de agua subterránea)

A continuación se muestran dos niveles de agua subterránea establecidos mediante el método mencionado anteriormente.

Tabla 4-1: Valores de conservación objetivo (Nivel del agua subterránea)

| Tramo hidrodinámico | Código | Nombre | Valor deseado corto plazo (msnm) | Valor objetivo final (msnm) |
|---------------------|--------------|-------------------|----------------------------------|-----------------------------|
| HS-3 | HSC-523 | Rancherita | 0.47 | 0.92 |
| HS-3 | pozo HSC-541 | Bufón | 0.27 | 0.54 |
| HS-3 | HSC-543 | Seguí | 1.01 | 1.30 |
| HS-3 | HSC-563 | 19 de Abril | 7.04 | 8.15 |
| HS-3 | LSU-1 | El Junco | 0.83 | 1.11 |
| HS-3 | LSU-3 | La Salud | 13.07 | 13.97 |
| HS-3 | A-19A | La Sonora | 3.40 | 4.55 |
| HS-4 | HSC-586 | Apeadero | 4.03 | 4.85 |
| HS-3 | LSU-8 | Camacho | 0.40 | 0.00 |
| HS-3 | HSC-516 | Pequeña Cabaña | 13.50 | 14.05 |
| HS-3 | HSC-542 | Sotolongo | 0.67 | 0.97 |
| HS-3 | HSC-530 | Amaros | 0.33 | 0.70 |
| HS-3 | TS-125 | Liliana Dimítrova | 0.70 | 1.17 |
| HS-3 | HSC-512 | Delicias | 0.99 | 1.29 |
| HS-3 | HS-42 | Monte Ramos | 5.52 | 6.75 |
| HS-3 | HSC-547 | Porraspita | 0.28 | 0.62 |
| HS-3 | HSC-549 | Árbol del Pan | 0.55 | 0.88 |
| HS-3 | HSC-534 | La Cuchara | 3.08 | 3.40 |

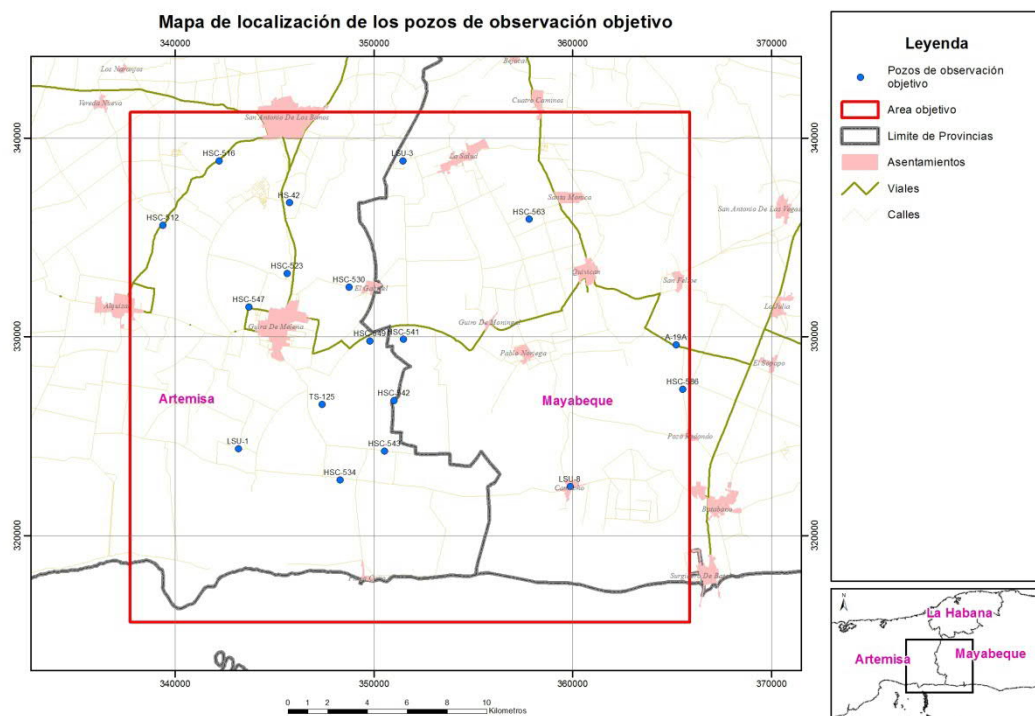


Figura 4-1: Mapa de localización de los pozos de observación objetivo

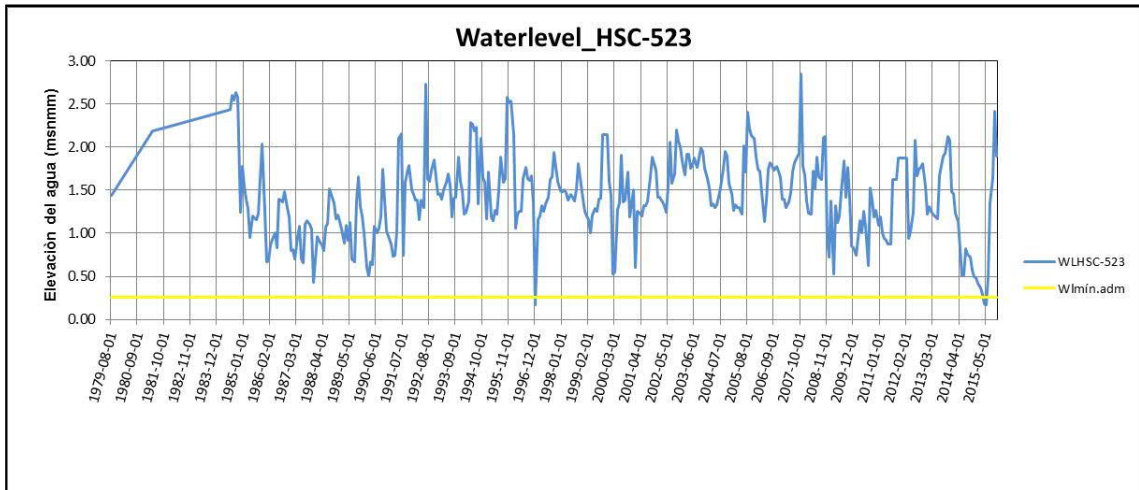


Figura 4-2: HSC-523

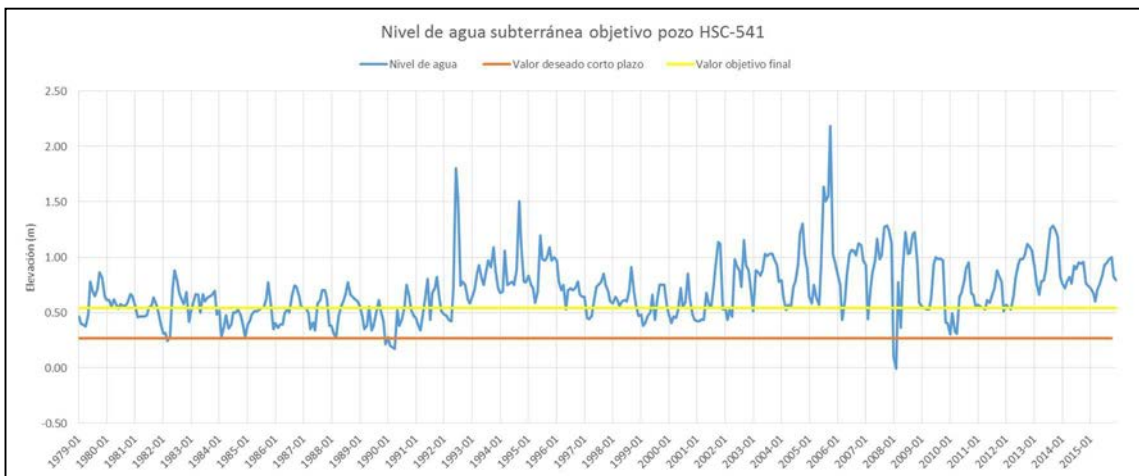


Figura 4-3: HSC-541

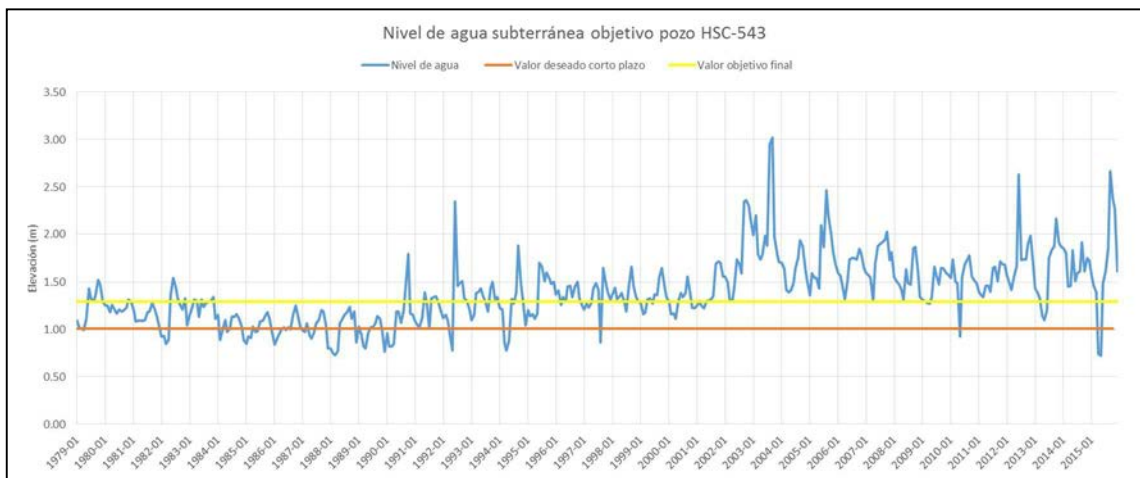


Figura 4-4: HSC-543

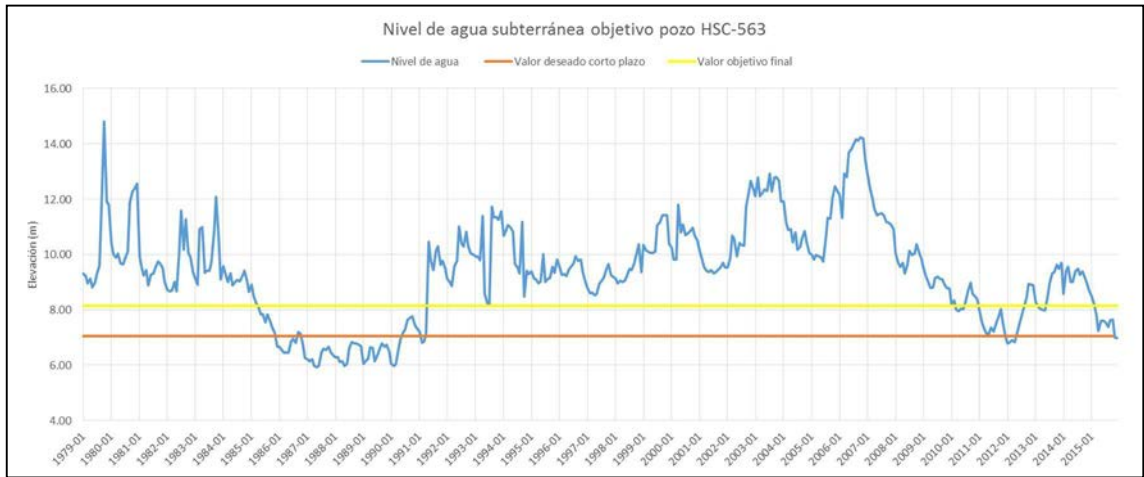


Figura 4-5: HSC-563

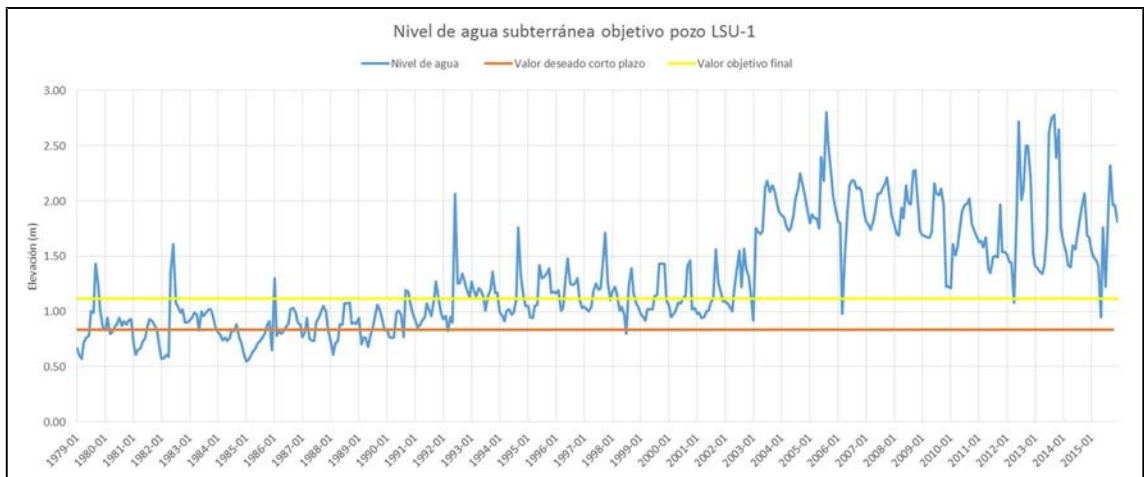


Figura 4-6: LSU-1

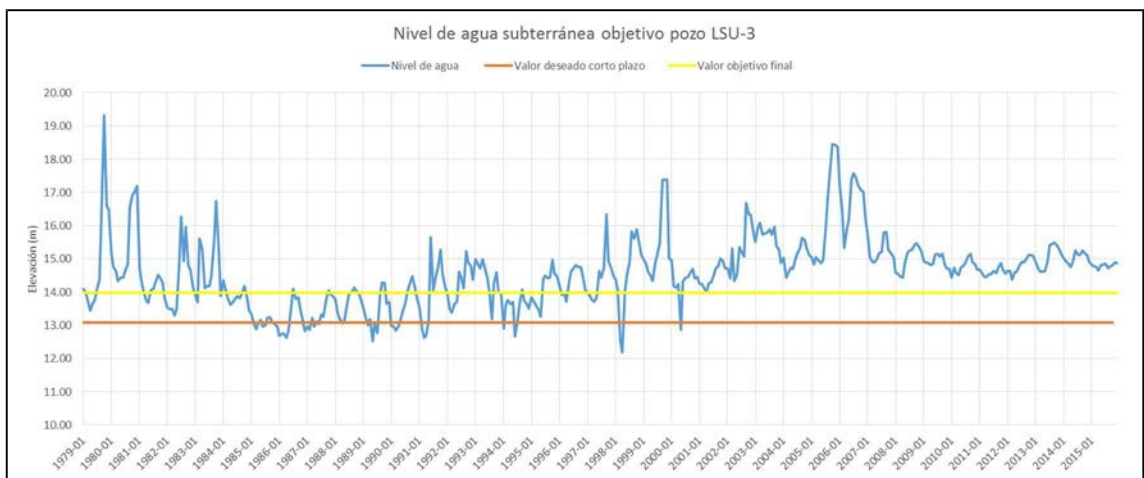


Figura 4-7: LSU-3

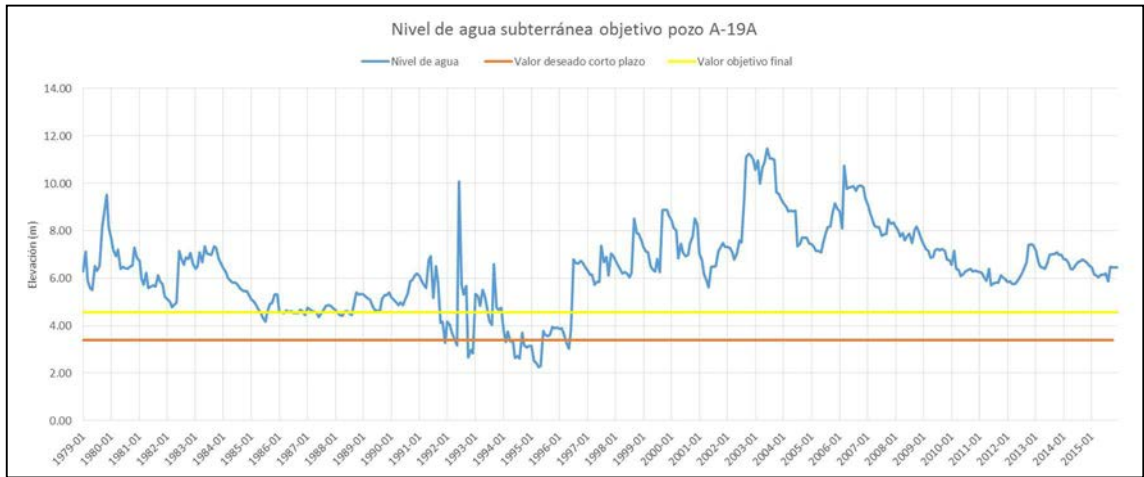


Figura 4-8: A-19A

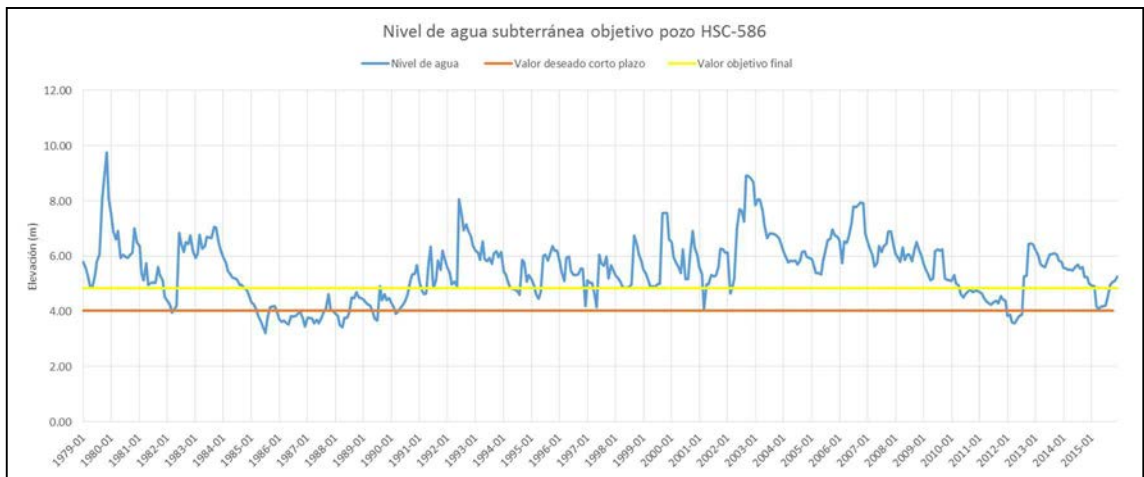


Figura 4-9: HSC-586

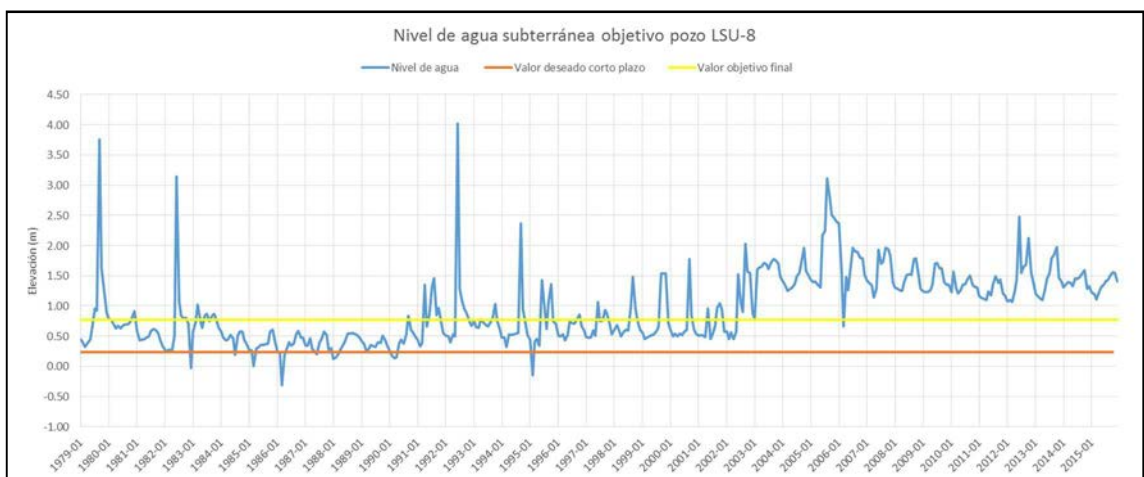


Figura 4-10: LSU-8

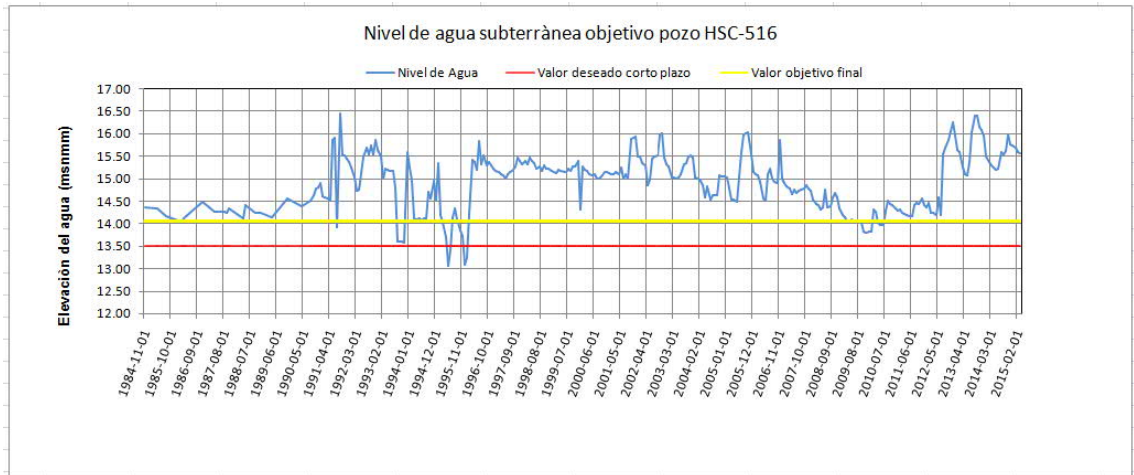


Figura 4-11: HSC-516

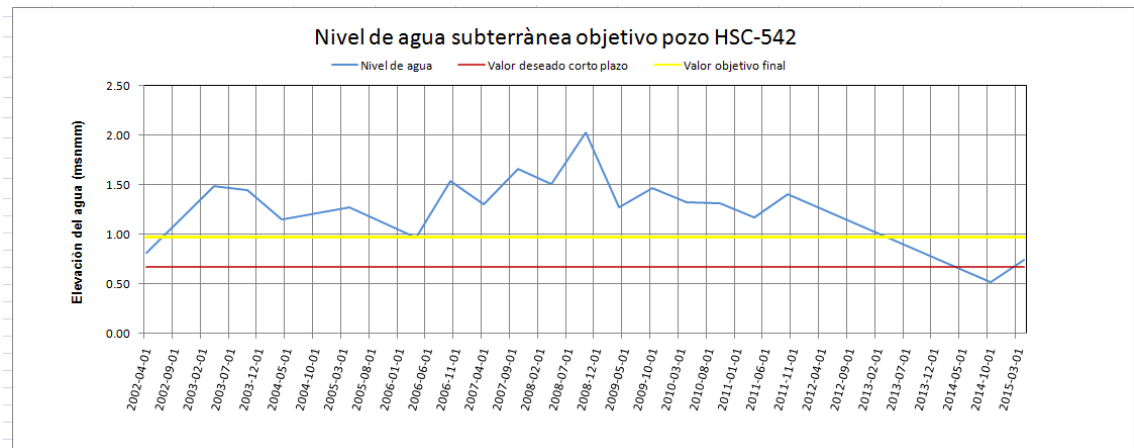


Figura 4-12: HSC-542

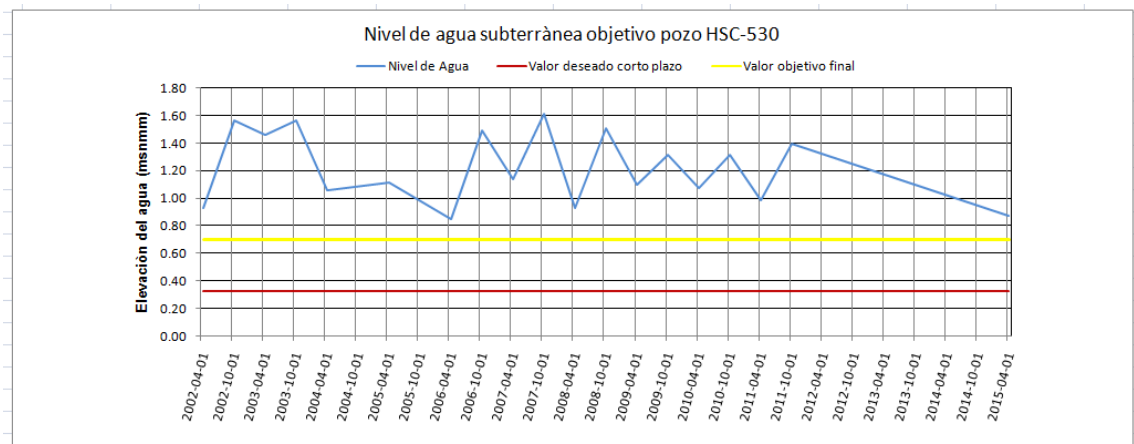


Figura 4-13: HSC-530

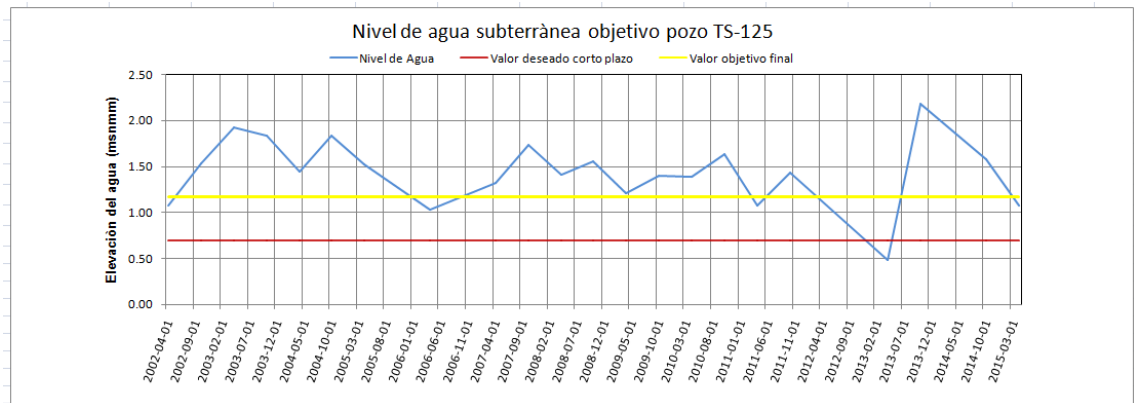


Figura 4-14: TS-125

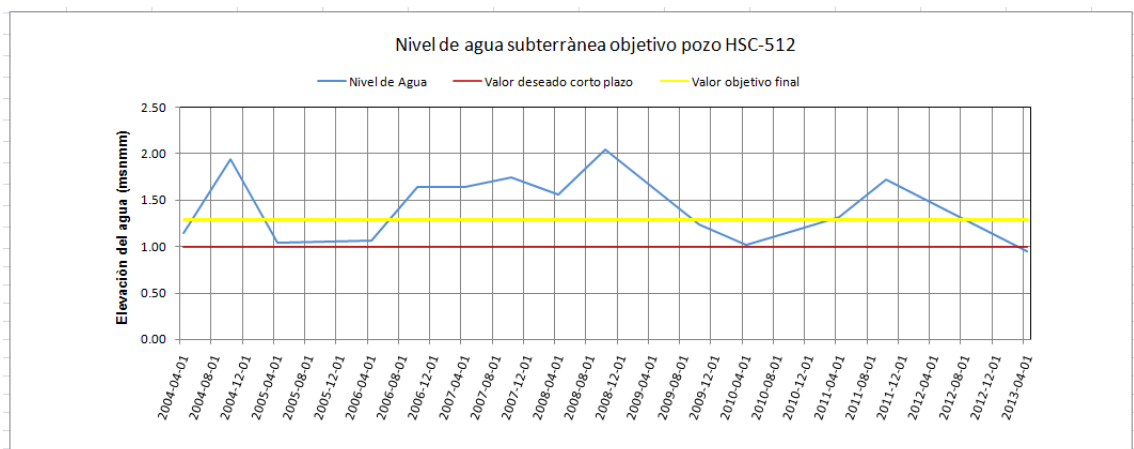


Figura 4-15: HSC-512

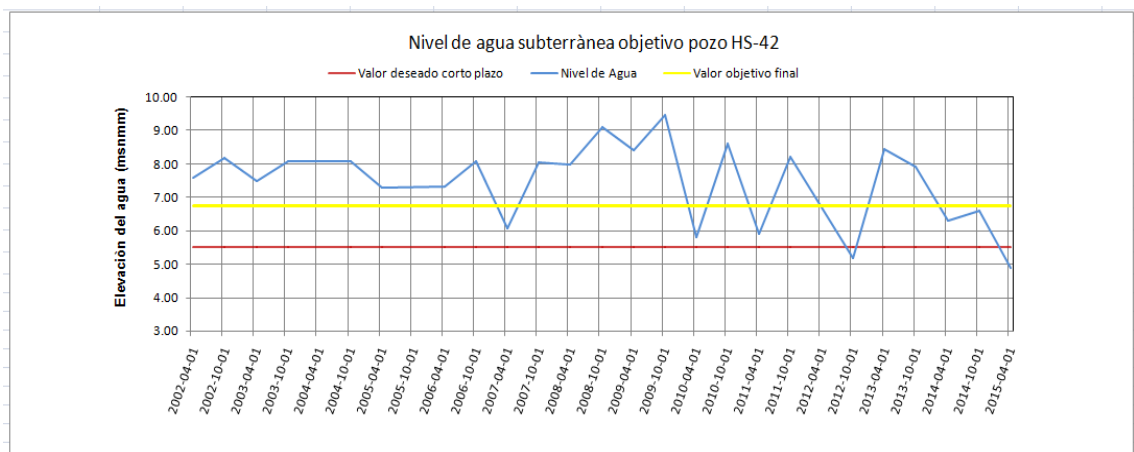


Figura 4-16: HS-42

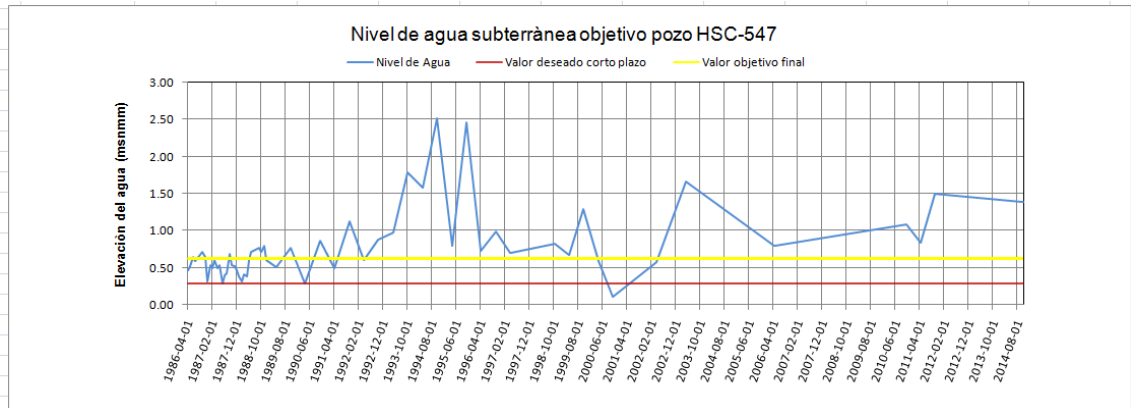


Figura 4-17: HSC-547

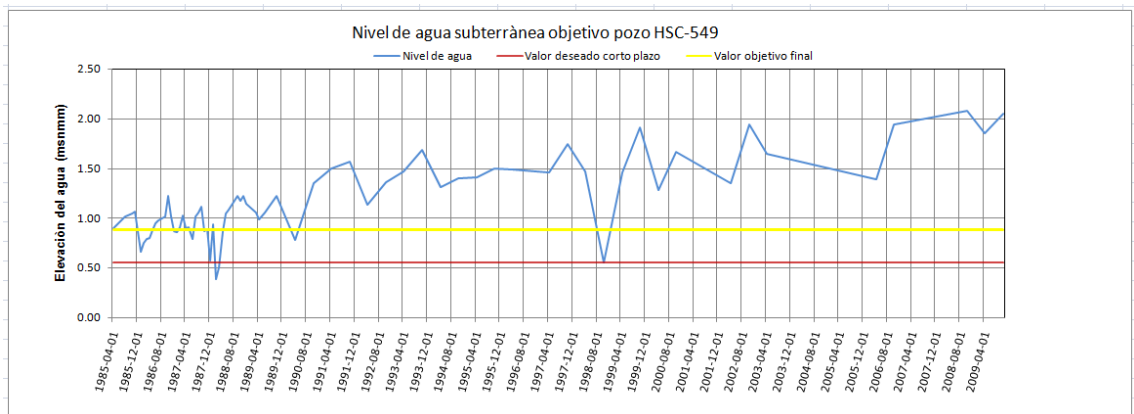


Figura 4-18: HSC-549

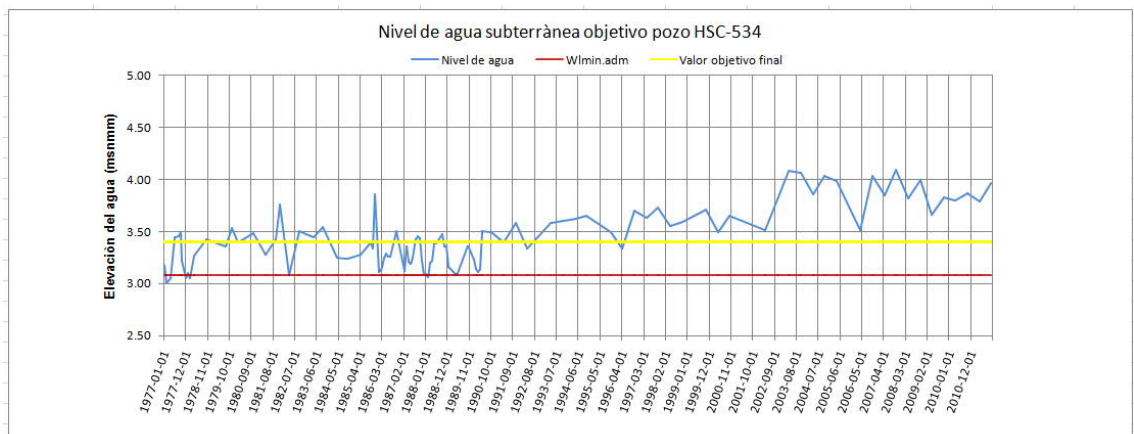


Figura 4-19: HSC-534

4.3 Valor Objetivo de Calidad del Agua Subterránea

El valor objetivo de la calidad brindará la posibilidad de establecer controles sobre la misma en todo momento para lo cual es importante lograr varios aspectos fundamentales entre los que se pueden destacar:

- a)- Dominio de la calidad del agua
- b)- Realizar un análisis exhaustivo de los datos
- c)- Detectar problemas técnicos y de contaminación a partir de los resultados, comprobando la certidumbre de la información del laboratorio.
- d)- Desarrollar y aplicar medidas de conservación para asegurar el buen estado de la calidad del agua y la salud de los usuarios.

a. Selección de los elementos de estudio

Los elementos que deben incorporarse para la continuidad del Proyecto, a partir de las enseñanzas y el fortalecimiento de las capacidades, una vez culminada las actividades correspondientes al 2016, se pueden determinar los siguientes:

Tabla 4-2: Elementos indicadores de la calidad del agua subterránea

| | | | |
|--------------------------------|----------------------|---------------------------|----------------------|
| pH | {U} | NO ₂ (Nitrito) | {mgL ⁻¹ } |
| SST (Solidoe Solubles Totales) | {mgL ⁻¹ } | NO ₃ (Nitrato) | {mgL ⁻¹ } |
| Cl (Cloruro) | {mgL ⁻¹ } | SO ₄ (Sulfato) | {mgL ⁻¹ } |
| Na (Sodio) | {mgL ⁻¹ } | Ca (Calcio) | {mgL ⁻¹ } |

b. Selección de los pozos de estudio

El siguiente mapa muestra ubicaciones de pozos de monitoreo para la calidad del agua subterránea seleccionados. Los pozos tienen la acumulación de los últimos datos de monitoreo y muestran la condición típica del ambiente que los rodea. Además, debe actualizarse la selección de pozos de monitoreo y la elección se debe realizar en respuesta a propósito de monitoreo, la tendencia de calidad del agua subterránea, la contaminación antropogénica, etc.

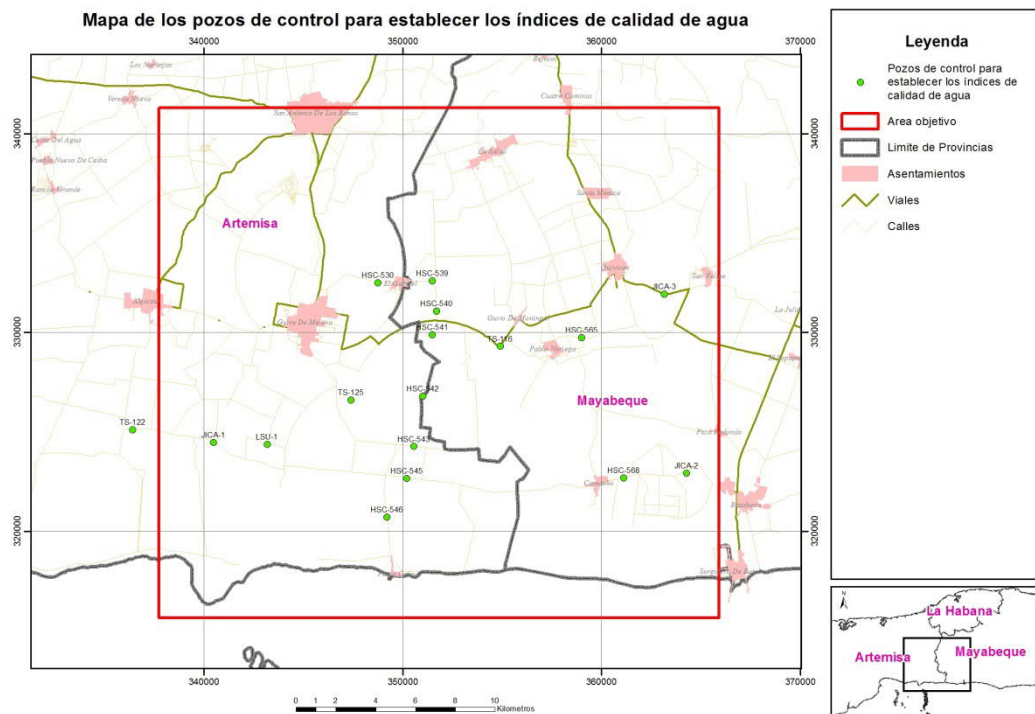


Figura 4-20: Mapa de los pozos de control para establecer los índices de calidad de agua

c. Establecimiento de un valor índice y un valor objetivo

c.1 Valor Índice

En este aspecto estará considerado el límite máximo posible a alcanzar, para lograr la calidad del agua y sobre todo poder establecer los controles necesarios para lograr el objetivo final que será preservar la salud y el bienestar público. Se elaboró a partir de los elementos normados por la norma NC 1021:2014.

Tabla 4-3: Valor Índice para el agua de consumo humano

| | | | |
|--------------------------------|-----------|---------------------------|-----|
| pH | 6,5 – 8,5 | NO ₂ (Nitrito) | 0,3 |
| SST (Solidos Solubles Totales) | 1000 | NO ₃ (Nitrato) | 45 |
| Cl (Cloruro) | 250 | SO ₄ (Sulfato) | 400 |
| Na (Sodio) | 200 | Ca (Calcio) | 200 |

Tabla 4-4: Valor Índice para el riego

| | | | |
|--------------------------------|-----------|---------------------------|-----|
| pH | 6,5 – 8,5 | NO ₂ (Nitrito) | 0,3 |
| SST (Solidos Solubles Totales) | 1000 | NO ₃ (Nitrato) | 45 |
| Cl (Cloruro) | 250 | SO ₄ (Sulfato) | 400 |
| Na (Sodio) | 200 | Ca (Calcio) | 200 |

c.2 Valores objetivo de conservación de la calidad del agua subterránea.

En las tablas 2-13 y 2-14 se muestran los cálculos estadísticos de los datos de las 49 estaciones en el periodo 2006-2015, entre los cuales se obtuvieron la media, desviación estándar, la mediana, el valor mínimo y máximo. De estos decidimos que los valores objetivo de conservación pueden utilizarse los valores de la mediana como mostramos en las Tabla 4-5 y Tabla 4-6.

Tabla 4-5: Valores objetivo de conservación para la calidad del agua del agua subterránea de la provincia Mayabeque

| Estación | Municipio | Coordenadas | | T (°C) | Ce mS/m | pH u | NO ₃ ⁻¹ mgL ⁻¹ | CO ₃ ⁻² mgL ⁻¹ | HCO ₃ ⁻¹ mgL ⁻¹ | Cl ⁻¹ mgL ⁻¹ | SO ₄ ⁻¹ mgL ⁻¹ | Ca ⁺² mgL ⁻¹ | Mg ⁺² mgL ⁻¹ | Na ⁺¹ mgL ⁻¹ | K ⁺¹ mgL ⁻¹ | SDT mgL ⁻¹ | CT NMP 1000 ⁻¹ | CTT NMP 1000 ⁻¹ |
|----------------------------|-----------|-------------|--------|-----------|------------|---------|--|--|---|---------------------------------------|--|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------|---------------------------------|----------------------------------|
| | | X | Y | | | | | | | | | | | | | | | |
| Aguacata | Quivicán | 363530 | 336780 | 24,4 | 71,2 | 7,20 | 11 | 0 | 385 | 26 | 19 | 81 | 32 | 18 | 10 | 580 | 2,0 | 2,0 |
| Arroyo Govea (Superficial) | Bejucal | 353700 | 345925 | 24,3 | 96,0 | 7,55 | 9 | 0 | 437 | 66 | 33 | 119 | 12 | 50 | 9,6 | 709 | 2,0E+04 | 8,8E+04 |
| Buena Ventura | Bejucal | 358568 | 339470 | 23,7 | 68,7 | 7,21 | 35 | 0 | 348 | 25 | 11 | 124 | 8 | 13 | 1,1 | 567 | 2,0 | 2,0 |
| Camacho | Batabanó | 359800 | 322940 | 25,3 | 893,0 | 7,20 | 20 | 0 | 360 | 92 | 29 | 99 | 23 | 53 | 3,3 | 662 | 2,0 | 2,0 |
| CN Biopreparados | Bejucal | 355854 | 346322 | 24,7 | 67,1 | 7,09 | 15 | 0 | 351 | 28 | 21 | 126 | 5 | 13 | 1,2 | 555 | 2,0 | 2,0 |
| Cuatro Caminos | Quivicán | 358724 | 340972 | 23,9 | 58,5 | 7,16 | 17 | 0 | 348 | 15 | 10 | 117 | 4 | 8 | 0,9 | 558 | 2,0 | 2,0 |
| Cuenca Sur UB-2 | Quivicán | 353039 | 330307 | 24,2 | 63,6 | 7,32 | 16 | 0 | 314 | 25 | 19 | 104 | 12 | 17 | 1,9 | 528 | 2,0 | 2,0 |
| Cuenca Sur UB-18 | Quivicán | 361670 | 335320 | 23,7 | 65,9 | 7,23 | 14 | 0 | 354 | 20 | 17 | 101 | 13 | 16 | 1,4 | 540 | 2,0 | 2,0 |
| Fructuoso Rodriguez | Quivicán | 359187 | 332863 | 23,9 | 66,9 | 7,31 | 17 | 0 | 314 | 25 | 20 | 105 | 12 | 17 | 1,8 | 527 | 4,0 | 2,0 |
| Güiro Bonigal | Quivicán | 356243 | 334668 | 23,1 | 63,0 | 7,33 | 16 | 0 | 299 | 34 | 15 | 90 | 8 | 11 | 1,8 | 489 | 2,0 | 2,0 |
| Güiro Marrero | Quivicán | 358912 | 328813 | 22,9 | 97,8 | 7,23 | 20 | 0 | 351 | 113 | 32 | 105 | 21 | 55 | 3,6 | 674 | 12,5 | 2,0 |
| ITH Liliانا Dimitrova | Quivicán | 358368 | 338721 | 24,1 | 60,1 | 7,21 | 0 | 0 | 333 | 0 | 0 | 120 | 4 | 12 | 1,4 | 473 | | |
| Lily | Bejucal | 356058 | 346322 | 24,2 | 65,6 | 7,13 | 19 | 0 | 345 | 21 | 0 | 121 | 4 | 11 | 0,9 | 525 | 2,0 | 2,0 |
| Manuel Fajardo | Quivicán | 351355 | 334976 | 23,9 | 57,8 | 7,45 | 19 | 0 | 299 | 23 | 18 | 102 | 7 | 10 | 2,1 | 477 | 3,0 | 2,0 |
| Mi Retrio | Quivicán | 355440 | 339466 | 24,0 | 58,2 | 7,36 | 30 | 0 | 269 | 17 | 18 | 100 | 4 | 8 | 2,7 | 446 | 2,0 | 2,0 |
| Ñancaguasu 3 | Batabanó | 368850 | 321830 | 23,9 | 71,6 | 7,35 | 16 | 0 | 369 | 31 | 37 | 83 | 32 | 20 | 1,1 | 580 | 2,0 | 2,0 |
| Pablo Noriega | Quivicán | 357618 | 329369 | 22,7 | 57,7 | 7,47 | 18 | 0 | 287 | 20 | 0 | 100 | 7 | 10 | 0,9 | 449 | 24,0 | 2,0 |
| Paradero | Quivicán | 361506 | 335170 | 23,9 | 61,0 | 7,21 | 7 | 0 | 348 | 17 | 14 | 102 | 11 | 10 | 1,0 | 520 | 3,0 | 2,0 |
| Pedrosa | Batabanó | 365000 | 323400 | 25,1 | 72,3 | 7,34 | 20 | 0 | 378 | 32 | 24 | 99 | 28 | 21 | 2,3 | 584 | 6,6 | 2,0 |
| Pesca Habana | Batabanó | 366650 | 318160 | 24,9 | 78,8 | 7,34 | 14 | 0 | 381 | 38 | 33 | 93 | 27 | 37 | 1,8 | 624 | 2,0 | 2,0 |
| Pozo Redondo | Batabanó | 365950 | 325300 | 24,4 | 80,3 | 7,26 | 5 | 0 | 378 | 35 | 37 | 90 | 34 | 28 | 1,8 | 642 | 2,0 | 2,0 |
| Rancho Recreo-1 | Bejucal | 357413 | 342425 | 24,1 | 67,0 | 7,05 | 21 | 0 | 375 | 17 | 23 | 126 | 5 | 10 | 2,6 | 566 | 3,0 | 2,0 |
| Rancho Recreo-2 | Bejucal | 357751 | 342465 | 24,1 | 73,6 | 7,02 | 31 | 0 | 381 | 28 | 22 | 132 | 5 | 13 | 8,2 | 609 | 2,0 | 2,0 |
| Raúl Garcia | Quivicán | 365436 | 332855 | 23,6 | 69,4 | 7,33 | 21 | 0 | 382 | 25 | 24 | 95 | 29 | 21 | 8,2 | 596 | 2,0 | 2,0 |
| San Agustín | Quivicán | 359418 | 327325 | 22,9 | 106,9 | 7,35 | 14 | 0 | 369 | 162 | 43 | 95 | 31 | 89 | 4,8 | 787 | 2,0 | 2,0 |
| San Vicente | Batabanó | 358655 | 340985 | 24,8 | 74,3 | 7,28 | 16 | 0 | 384 | 39 | 31 | 87 | 30 | 32 | 3,0 | 622 | 2,0 | 2,0 |
| Santa Margarita | Bejucal | 358408 | 342172 | 23,6 | 61,9 | 7,19 | 19 | 0 | 336 | 25 | 13 | 114 | 3 | 13 | 1,0 | 525 | 12,5 | 2,0 |
| Santa Mónica | Quivicán | 359786 | 337012 | 23,6 | 59,5 | 7,17 | 9 | 0 | 323 | 18 | 0 | 108 | 4 | 10 | 0,9 | 475 | 4,0 | 2,0 |
| Santo Cristo | Quivicán | 355497 | 338893 | 24,2 | 58,6 | 7,45 | 34 | 0 | 284 | 20 | 18 | 104 | 5 | 8 | 2,9 | 489 | 6,0 | 6,0 |
| Yolando González-1 | Quivicán | 360640 | 333874 | 22,4 | 63,1 | 7,22 | 13 | 0 | 317 | 20 | 15 | 101 | 13 | 11 | 1,1 | 489 | 2,0 | 2,0 |
| Yolando González-2 | Quivicán | 360521 | 334467 | 22,5 | 58,0 | 7,41 | 15 | 0 | 311 | 21 | 12 | 92 | 10 | 14 | 0,8 | 486 | 2,0 | 2,0 |
| Zayas | Batabanó | 371177 | 324473 | 24,1 | 69,8 | 7,31 | 19 | 0 | 366 | 29 | 29 | 90 | 29 | 22 | 1,0 | 572 | 2,0 | 2,0 |

Tabla 4-6: Valores objetivo de conservación para la calidad del agua del agua subterránea de la provincia Artemisa

| Estación | Municipio | Coordenadas | | T | Ce | pH | NO ₃ ⁻¹ | CO ₃ ⁻² | HCO ₃ ⁻¹ | Cl ⁻¹ | SO ₄ ⁻¹ | Ca ⁺² | Mg ⁺² | Na ⁺¹ | K ⁺¹ | SDT | CT | CTT |
|-------------------------|-----------------|-------------|--------|------|-------|------|-------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|-------------------|-------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|------------------------|
| | | X | Y | (°C) | mS/m | u | mgL ⁻¹ | mgL ⁻¹ | mgL ⁻¹ | mgL ⁻¹ | mgL ⁻¹ | mgL ⁻¹ | mgL ⁻¹ | mgL ⁻¹ | mgL ⁻¹ | mgL ⁻¹ | mgL ⁻¹ | NMP 1000 ⁻¹ |
| Ac. Waterloo 1 | Artemisa | 322950 | 329900 | 23,2 | 76,0 | 7,29 | 13 | 0 | 342 | 53 | 25 | 116 | 10 | 34 | 2,0 | 593 | | |
| Ac. Las 400 | Alquizar | 337050 | 331900 | 23,1 | 66,0 | 7,23 | 30 | 0 | 304 | 34 | 22 | 108 | 8 | 19 | 2,9 | 521 | | |
| Ac. La Europa | Alquizar | 333300 | 323900 | 22,5 | 67,0 | 7,35 | 27 | 0 | 0 | 113 | 0 | 0 | 0 | 63 | 0,0 | | | |
| S/N Pulido | Alquizar | 336800 | 329250 | 23,9 | 65,7 | 7,52 | 35 | 0 | 226 | 36 | 0 | 98 | 8 | 18 | 2,4 | 431 | | |
| Ac. El Pilar | Artemisa | 320170 | 334250 | 24,5 | 66,5 | 7,24 | 41 | 0 | 0 | 32 | 32 | 0 | 0 | 0 | 0,0 | | | |
| Ac. La Matilde | Artemisa | 319380 | 332110 | 23,7 | 80,0 | 7,12 | 33 | 0 | 403 | 39 | 27 | 131 | 10 | 27 | 5,2 | 669 | | |
| Ac. El Favorito | Artemisa | 321900 | 332900 | 23,6 | 63,0 | 7,38 | 15 | 0 | 329 | 25 | 0 | 110 | 6 | 17 | 3,0 | 501 | | |
| Ac. Güira Nuevo | Güira de Melena | 344600 | 330800 | 22,8 | 79,2 | 7,33 | 38 | 0 | 311 | 59 | 35 | 116 | 10 | 31 | 3,8 | 606 | | |
| Ac. Cachimba | Güira de Melena | 346600 | 327600 | 22,6 | 85,5 | 7,39 | 40 | 0 | 295 | 74 | 48 | 103 | 16 | 45 | 3,9 | 611 | | |
| Ac. Boca de Cajío | Güira de Melena | 349150 | 322300 | 24,8 | 150,0 | 7,32 | 40 | 0 | 258 | 340 | 75 | 110 | 22 | 146 | 6,0 | 941 | | |
| Ac. Vereda Nueva | Calimito | 334770 | 341050 | 22,3 | 75,2 | 7,16 | 44 | 0 | 342 | 22 | 20 | 130 | 5 | 11 | 5,9 | 584 | | |
| Ac. Pueblo Nuevo Ceibal | Caimito | 332400 | 338500 | 22,4 | 70,9 | 7,29 | 30 | 0 | 351 | 25 | 17 | 119 | 8 | 13 | 3,1 | 594 | | |
| K26W7 | Güira de Melena | 348900 | 329400 | 23,4 | 90,7 | 7,72 | 32 | 0 | 331 | 90 | 41 | 110 | 13 | 55 | 3,8 | 611 | | |
| K23G3 | Güira de Melena | 349375 | 333525 | 23,4 | 81,0 | 7,61 | 25 | 0 | 302 | 71 | 26 | 110 | 11 | 38 | 3,0 | 578 | | |
| Ac. El Gabriel | Güira de Melena | 348800 | 332600 | 24,0 | 103,7 | 7,39 | 34 | 0 | 296 | 128 | 42 | 110 | 16 | 76 | 3,2 | 649 | | |
| Escuela La Jocuma | Güira de Melena | 346250 | 323050 | 22,3 | 178,2 | 7,57 | 40 | 0 | 305 | 307 | 90 | 92 | 36 | 241 | 16,9 | 1124 | | |
| El Donque | Artemisa | 324450 | 332400 | 23,1 | 58,4 | 7,56 | 29 | 0 | 258 | 25 | 14 | 100 | 5 | 10 | 2,4 | 439 | | |
| Ac. El Viviro (HS3) | | 317000 | 333100 | 24,1 | 61,7 | 7,23 | 15 | 0 | 360 | 18 | 15 | 110 | 10 | 10 | 0,9 | 536 | | |
| Ac. Toledo (HS3) | | 317000 | 333100 | 23,9 | 62,4 | 7,21 | 8 | 0 | 336 | 18 | 15 | 102 | 12 | 11 | 0,9 | 499 | | |
| Ac. Quebrada (HS3) | | | | 24,5 | 55,0 | 7,58 | 1 | 0 | 299 | 19 | 25 | 92 | 7 | 17 | 0,8 | 460 | | |

d. Valor objetivo del uso del agua subterránea

Evaluación de la Calidad (Recomendaciones de Explotación):

Partiendo de los resultados del muestreo Hidroquímico vertical, y de los perfiles resultantes se recomienda las profundidades de explotación de las aguas subterráneas para diferentes distancias desde la costa.

Orientación de los Perfiles

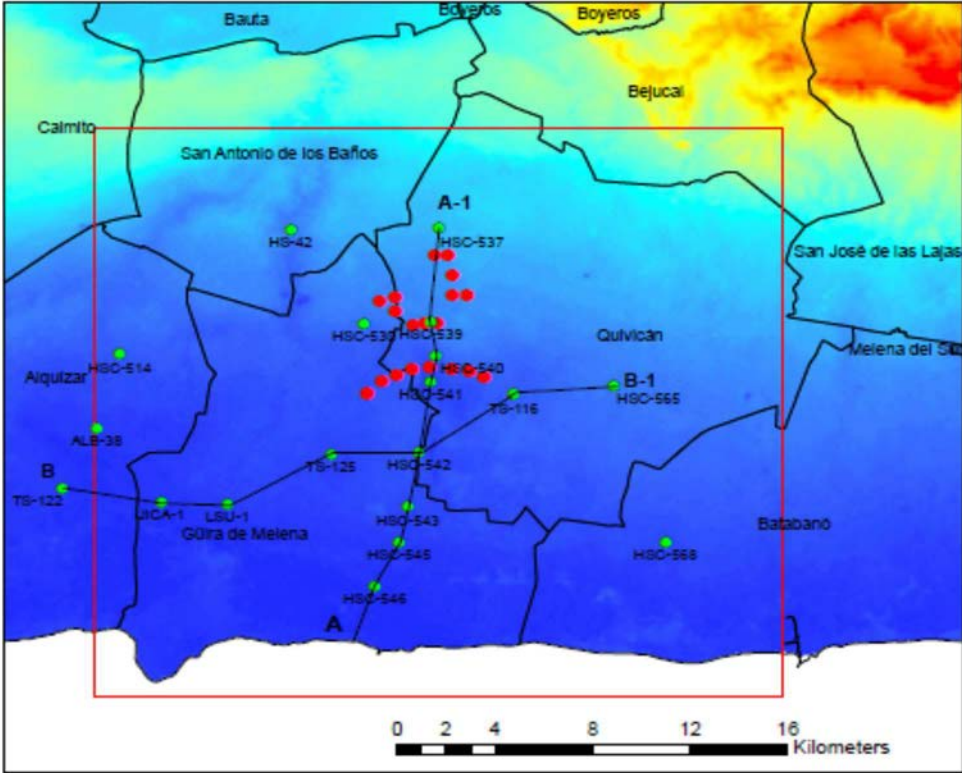


Figura 4-21: Orientación de perfiles

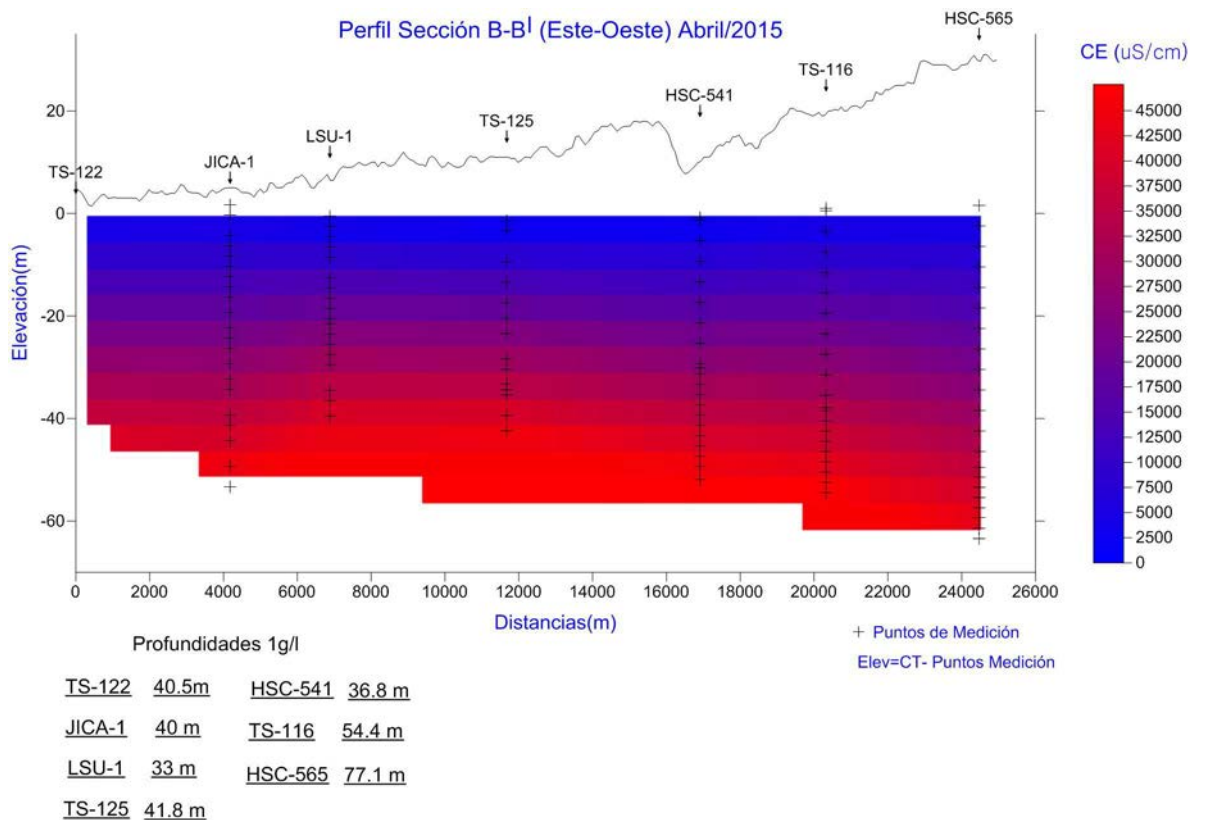
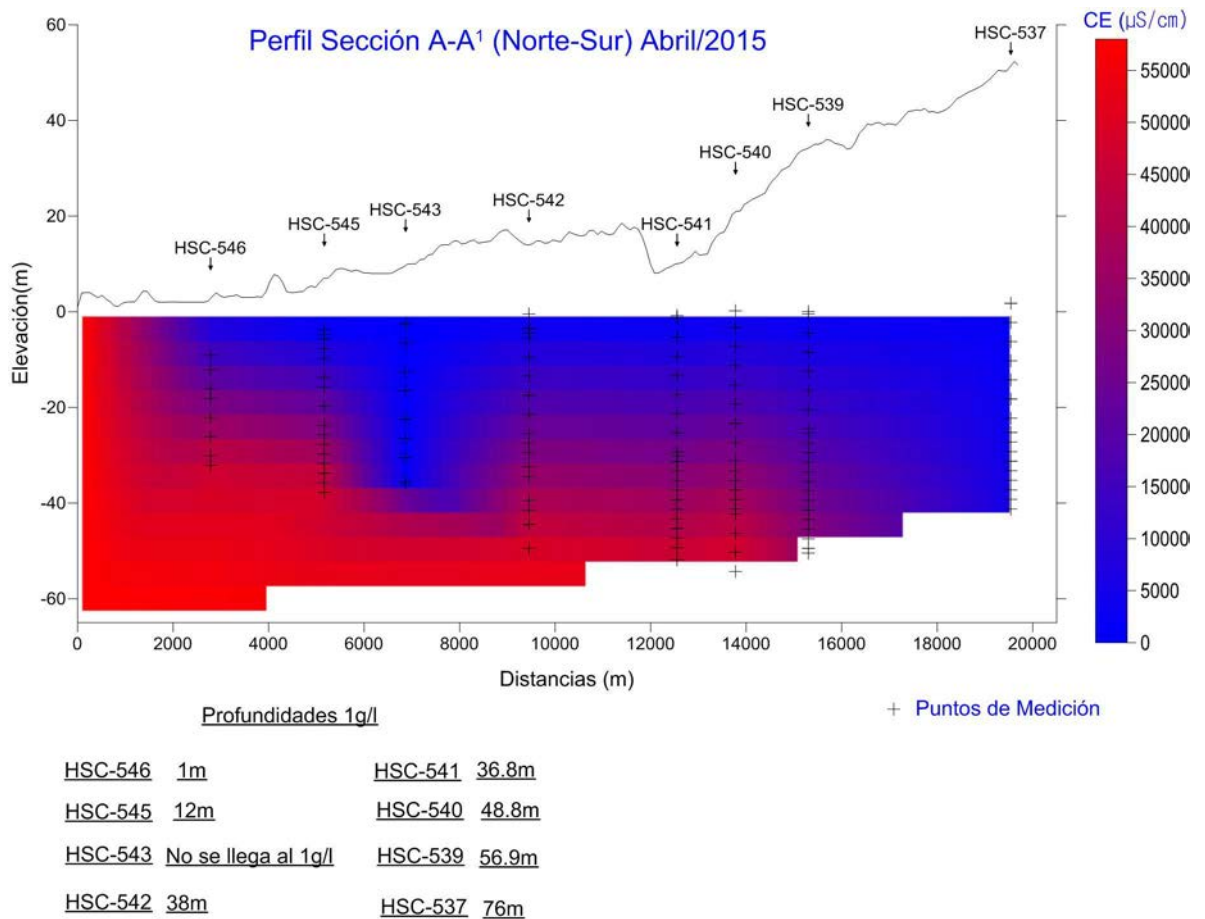


Figura 4-22: Perfil secciones

Partiendo de los resultados del perfil Norte-Sur se proponen las profundidades óptimas para realizar la explotación de las aguas subterráneas para los usos:

- Consumo Humano.
- Consumo Animal.
- Riego.

Rango de Profundidades Recomendadas para la Explotación de las Aguas Subterráneas

Cuenca Sur (Dirección Norte-Sur)

| Usos | Rango de Profundidad Recomendada para la Explotación (m). | Distancia desde la Costa (KM) | Observaciones | |
|----------------|---|-------------------------------|---------------|---|
| Consumo Humano | 1m - 5m | 3 | | |
| Consumo Animal | 1m - 5m | | | |
| Riego | 1m - 5m | | | |
| Consumo Humano | 8m - 12m | 5 | | |
| Consumo Animal | 8m - 12m | | | |
| Riego | 8m - 14m | | | |
| Consumo Humano | 11m - 44m | 7 | | |
| Consumo Animal | 11m - 44m | | | |
| Riego | 11m - 44m | | | |
| Consumo Humano | 11m - 38m | 9 | | <u>Zona de Influencia</u> <u>Batería de Pozos</u> <u>Cuenca Sur</u> |
| Consumo Animal | 11m - 38m | | | |
| Riego | 11m - 38m | | | |
| Consumo Humano | 8m - 37m | 13 | | <u>Zona de Influencia</u> <u>Batería de Pozos</u> <u>Cuenca Sur</u> |
| Consumo Animal | 8m - 37m | | | |
| Riego | 8m - 37m | | | |
| Consumo Humano | 18m - 49m | 14 | | |
| Consumo Animal | 18m - 49m | | | |
| Riego | 18m - 49m | | | |
| Consumo Humano | 32m - 57m | 15 | | |
| Consumo Animal | 32m - 57m | | | |
| Riego | 32m - 57m | | | |
| Consumo Humano | 47m - 76m | 20 | | |
| Consumo Animal | 47m - 76m | | | |
| Riego | 47m - 84m | | | |

5 PREDICCIÓN FUTURA (PRONÓSTICO)

5.1 Descripción del Estudio de Caso

5.1.1 Esquema de la modelación de agua subterránea

a. 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 5-1: Datos utilizados en el modelo de agua subterránea

| Ítem | Datos utilizados | |
|--|---|--|
| Estructura hidrogeológica | Los datos se basaron en los resultados del análisis de la estructura hidrogeológica llevado a cabo por EIPH-La Habana. Se prestó especial atención a las características de la caliza que refleja el perfil estratigráfico existente empleada para estudiar la distribución de las facies en la caliza. | |
| Constantes hidrogeológicas | El valor inicial de las constantes hidrogeológicas (coeficiente de permeabilidad, coeficiente de almacenamiento de agua, y otras) se calculó a partir de una razón del estrato y empleando un valor general que puede estimarse sobre la base de las facies de caliza. La razón del coeficiente de permeabilidad para los ejes horizontal y vertical se tomó del informe del USGS (Servicio Geológico de los Estados Unidos, por sus siglas en inglés) sobre los acuíferos de la Florida donde el valor H/V es igual a 1.5. | |
| Volumen de recarga de agua subterránea | Los datos empleados se basaron en el volumen de recarga de agua subterránea para el pozo HSC-541 ya que los resultados del análisis de dicho pozo son los más cercanos al valor real tras haber estimado mediante el modelo del tanque que dicho valor será de 5 puntos entre 1973 y 2015 (42 años). Más adelante se muestran los datos utilizados para efectuar el análisis a partir del método del modelo del tanque. | |
| | Meteorología (Precipitaciones y temperatura) | Precipitación: Como datos a ingresar se tomaron los datos mensuales de precipitación obtenidos del punto de observación de las EAH-Mayabeque y EAH-Artemisa cercano al área de análisis. Temperatura: La temperatura promedio mensual en el periodo de 1973 a 2015 se tomó de la información de la Estación de Observación Meteorológica de Casa Blanca en La Habana que está disponible para el público. |
| | Datos de calibración | Como datos de calibración se tomaron los datos del nivel de agua subterránea que controlan y administran las EAH-Mayabeque y EAH-Artemisa. |
| Volumen de agua subterránea bombeado | Como valores a ingresar en el modelo se emplearon los datos del volumen de bombeo desde 2011 hasta 2015 que administran las EAH-Mayabeque y EAH-Artemisa. | |
| Carga hidráulica inicial | Se efectuó un cálculo cuasi estacionario para un periodo de 36500 días y el valor obtenido el día 20440 (que es el número de días desde el comienzo del bombeo de agua subterránea en los pozos de Cuenca Sur hasta la actualidad) se empleó como carga inicial para la calibración al inicio del cálculo no estacionario. | |
| Concentración de sal | La distribución de la concentración de sal se estimó a partir de la relación entre la CE (conductividad eléctrica) y la concentración de sal medida por las EAH-Mayabeque y EAH-Artemisa. | |
| Datos de calibración del modelo | Como datos de calibración se tomaron los datos del monitoreo del nivel de agua subterránea que controlan y administran las EAH-Mayabeque y EAH-Artemisa. | |

b. Estructura de modelo

b.1 Alcance del análisis y tamaño de la retícula (conjunto de cuadrículas)

Las cuadrículas planas del modelo tridimensional, tal como se indica en la Figura que aparece abajo, se extendieron más allá del área objetivo para minimizar la tolerancia del cálculo dentro de dicha área (especialmente en la zona de los límites). Cada cuadrícula mide 500 m x 500 m (Dirección X: 320000-378000 (116 cuadrículas), y Dirección Y: 305000-349000 (88 cuadrículas).

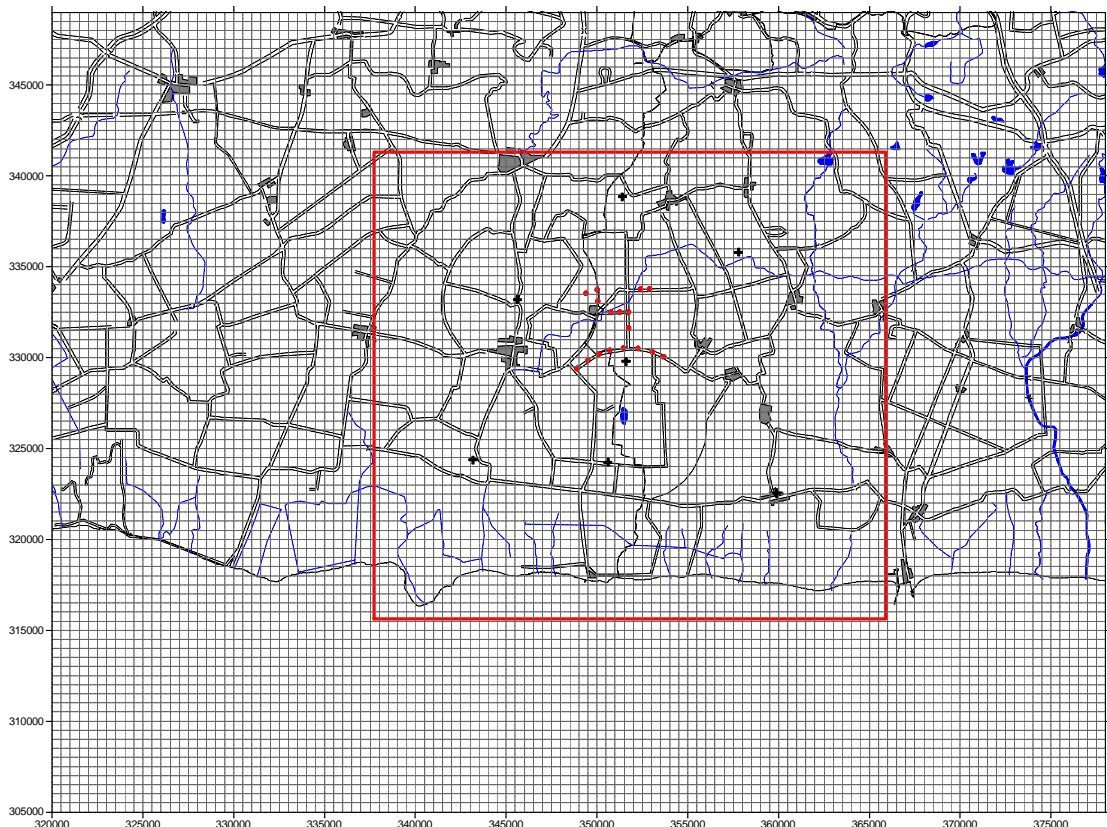


Figura 5-1: Alcance del análisis de modelo de agua subterránea

b.2 Estructura seccional

La estructura seccional del modelo tridimensional se desglosa en 40 estratos para que pueda plasmarse en relieve la penetración del agua salina hacia las zonas más profundas, para lo cual se ha asignado a cada estrato la altitud que se indica abajo. La altitud de la parte más alta del modelo es de 100 m y la más baja, -200 m.

- Altitud de 100 m ~ 50 m: 5 estratos (espesor de 10 m)
- Altitud de 50 m ~ -50 m: 20 estratos (espesor de 5 m)
- Altitud de -50 m ~ -200 m: 15 estratos (espesor de 10 m)

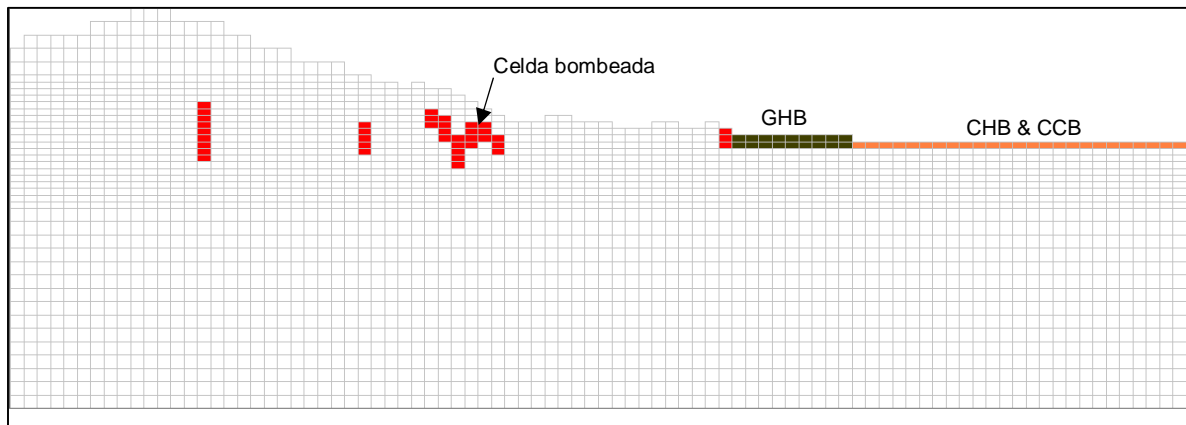


Figura 5-2: Ejemplo de la sección transversal del modelo tridimensional

c. Parámetros del modelo

c.1 Coeficiente de permeabilidad en dirección horizontal

El valor del coeficiente de permeabilidad en dirección horizontal se determinó a partir de la información de 449 perfiles estratigráficos divididos por facies (valor general) o por capas del modelo. El valor de los datos de distribución del coeficiente de permeabilidad en dirección horizontal por estratos del modelo se estableció de forma tal que pueda cambiarse y reproducirse durante la calibración aplicando las condiciones reales del agua subterránea.

c.2 Coeficiente de permeabilidad en dirección vertical

Básicamente el mismo método que se empleó en dirección horizontal se aplicó en dirección vertical. La razón de permeabilidad (valor H/V) en dirección horizontal y vertical se ha configurado para que cambie uniformemente. Tras analizar los niveles de agua calculados cambiando el valor H/V desde 20 hasta 1, se llegó a la conclusión de que $HV=1.5$ (tomado del informe del USGS sobre los acuíferos de la Florida) es el mejor valor para la reproducción del modelo.

c.3 Tasa de porosidad efectiva (EP) y Tasa de rendimiento específica (Sy)

Los valores de porosidad efectiva (EP) y rendimiento específica (Sy) se seleccionaron a partir del valor general derivado de las características de cada estrato y luego se crearon los datos de distribución espacial de EP y Sy. El mismo valor se aplicó tanto a la EP como a la Sy.

c.4 Tasa de almacenamiento específico (Ss)

El valor de almacenamiento específico (Ss) se seleccionó sobre la base del valor general y luego se crearon los datos de distribución espacial de Ss. El valor a ingresar para Ss se modificó por uno 10 veces mayor que el valor inicial pues el rango de fluctuación obtenido para el nivel de agua calculado fue mucho mayor que el esperado.

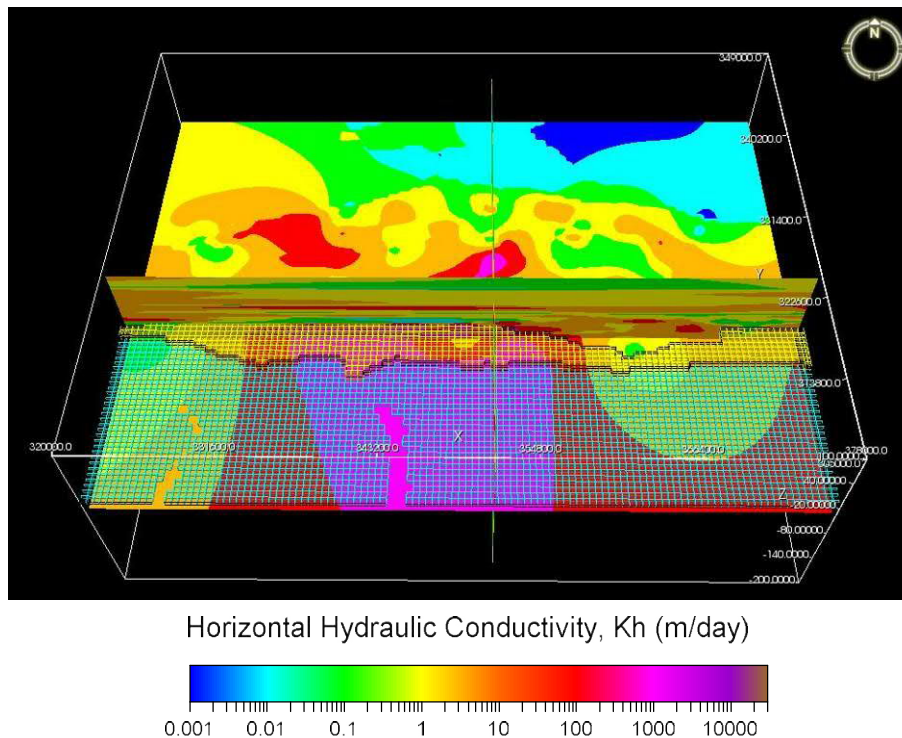


Figura 5-3: Ejemplo de distribución de coeficientes de permeabilidad en dirección horizontal

d. Cálculo estimado de volumen de recarga de agua subterránea

Se adoptó el método de análisis del efluente con la aplicación del modelo del tanque para estimar el volumen de recarga de agua subterránea, que es uno de los datos necesarios para el cálculo del modelo de agua subterránea. El análisis mediante el modelo del tanque se llevó a cabo en cinco puntos (periodo de calibración: de 1973 a 2015) aunque hubo algunos problemas tales como el aumento repentino del nivel real de agua subterránea en Dique Sur a partir de 1990, lo cual no estaba en correspondencia con el volumen de agua subterránea calculado. Por consiguiente, los cálculos del volumen de recarga de agua subterránea se realizaron sobre la base del resultado para el pozo HSC-541 (caso en el que los cálculos dieron como resultado el valor más cercano al nivel real de agua subterránea) y la distribución de las precipitaciones.

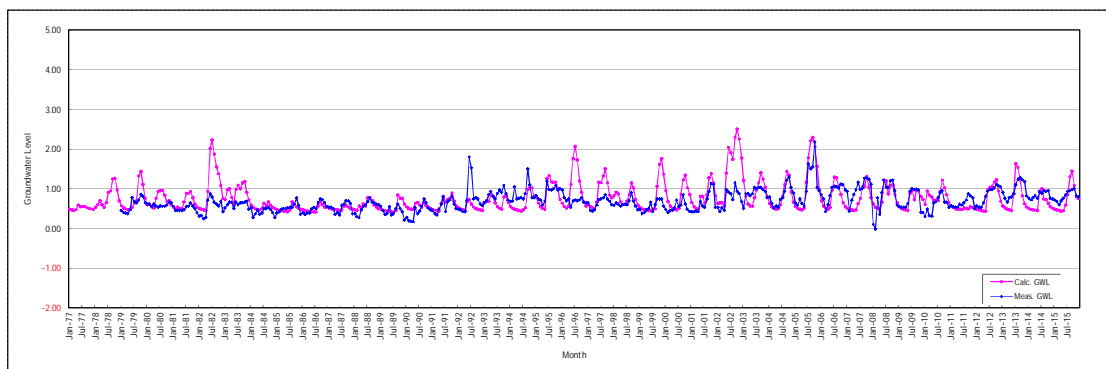


Figura 5-4: Ejemplo de resultados de la calibración del análisis de modelo de tanque (HSC-541)

e. Cálculo estimado de volumen de agua subterránea bombeado

El volumen de agua subterránea bombeado se estimó aplicando los datos de volumen de bombeo mensual correspondientes a 711 pozos desde 2011 hasta 2015 que son administrados por las EAH-Mayabeque y EAH-Artemisa. En cuanto a los datos a ingresar en el modelo de agua subterránea, la capa de toma se seleccionó de acuerdo a la profundidad de cada pozo y los volúmenes de bombeo se distribuyeron a partir del coeficiente de permeabilidad de la capa de toma calculado en c.1. Por otra parte, se asumió que el volumen bombeado entre 2005 y 2010 era igual al del 2011 pues no se contaba con datos para estos seis años del periodo de calibración.

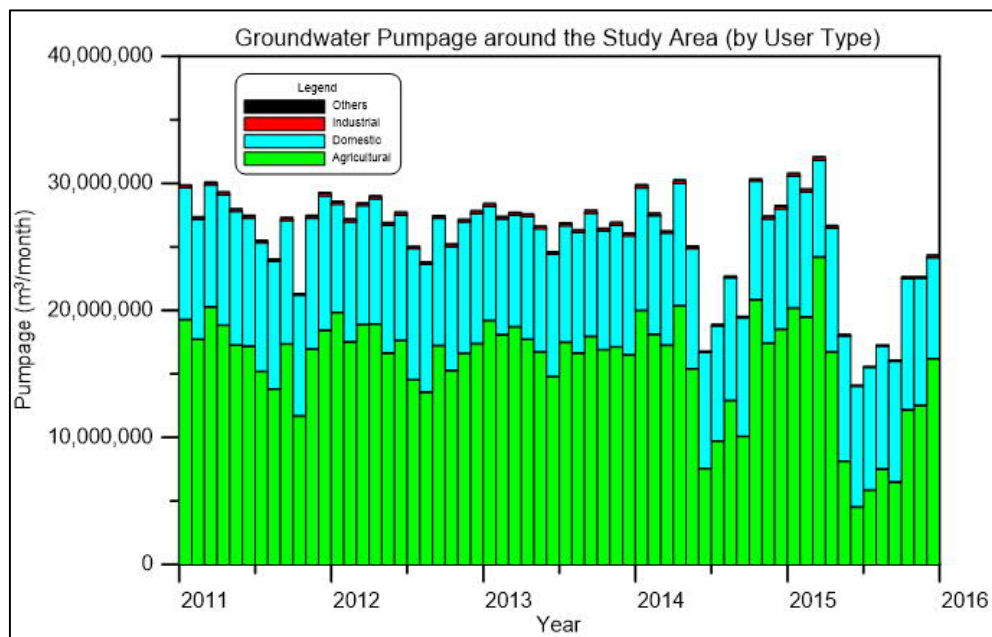


Figura 5-5: Cantidad mensual estimada del consumo de agua subterránea (2011-2015)

f. Carga hidráulica inicial

El cálculo cuasi estacionario se efectuó para un periodo de 100 años y en cada capa se tomó el valor de agua subterránea calculado en el año 56 (20440 días: estimado del volumen de agua subterránea utilizado en el área del modelo a partir de 1950) como la carga hidráulica inicial para el cálculo no estacionario en el periodo de 2005 a 2011.

g. Distribución de concentraciones de sal

La distribución espacial de las concentraciones de sal se determinó sobre la base de la distribución de la CE de acuerdo a la profundidad de cada pozo la cual se midió en abril de 2015 por las EAH-Mayabeque y EAH-Artemisa.

h. Examen de interpolación

Una vez ingresadas en cada una de las cuadrículas los parámetros de volumen de recarga de agua subterránea, volumen de agua subterránea bombeado y otros, se hizo un cálculo de

calibración entre 2005 y 2015 (11 años) utilizando MODFLOW. La unidad de cálculo es mensual (132 periodos de tensión) y el modelo fue calibrado comparando la variación del nivel de agua subterránea observado en pozos piloto y la variación del nivel de agua calculado. En la figura abajo se presenta un ejemplo de calibración.

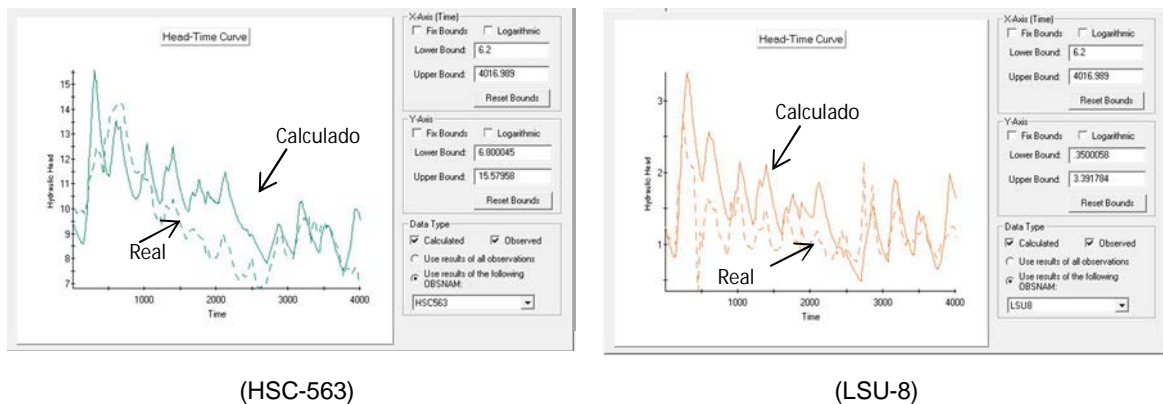


Figura 5-6: Ejemplo de comparación de la variación del nivel de agua subterránea medido con la variación de la carga hidráulica calculada

5.1.2 Cálculo de predicción

Los cálculos predictivos futuros se efectuaron a partir de 16 escenarios diseñados mediante la combinación de los siguientes factores: ① patrones de transición de los volúmenes de bombeo y recarga, ② aumento del nivel del mar e ③ instalación de nuevos pozos, como se muestra en la tabla siguiente:

Tabla 5-2: Escenarios de Predicción Futura

| | | RA0 | RA1 | RA2 | RA3 | RP0 | RP1 | RP2 | RP3 |
|----------------------------|------------------------------------|--|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------|--------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------|
| | | Repetición del promedio mensual de los últimos 30 años | Disminución hasta un 80% en 2035 | Disminución hasta un 90% en 2035 | Aumento en un 110% en 2035 | Se mantiene en un 100% en 2035 | Disminución hasta un 80% en 2035 | Disminución hasta un 90% en 2035 | Aumento en un 110% en 2035 |
| Q0 | Repetición de los valores del 2015 | Q0-RA0 | Q0-RA1 | Q0-RA2 | Q0-RA3 | Q0-RP0 | Q0-RP1 | Q0-RP2 | Q0-RP3 |
| Q1 | Disminución hasta un 90% en 2035 | Q1-RA0 | - | - | Q1-RA3 | - | - | - | - |
| Q2 | Aumento hasta un 110% en 2035 | Q2-RA0 | - | - | - | - | - | - | - |
| Q3 | Aumento hasta un 120% en 2035 | Q3-RA0 | Q3-RA1 | - | - | - | - | - | - |
| Nivel del mar | Aumento | Q0-RA0 -SR | - | - | - | - | - | - | - |
| Desarrollo de nuevos pozos | Cuenca Sur | Q0-RA0 -CS | - | - | - | - | - | - | - |
| | Cuenca Sur y San Felipe | Q0-RA0 -CS+SF | - | - | - | - | - | - | - |

Año de base: 2015

A: Promedio del periodo 1986-2015, repetición del valor promedio mensual

P: Valores pasados de recarga correspondientes al periodo 1996-2015, repetición cada diez años

Los cambios en la concentración de sal y los niveles de agua subterránea para los próximos 20 años (2016 ~ 2035) se estimaron sobre la base de los resultados de 2015 para cada escenario de predicción futura que se muestra a continuación.

5.2 Condiciones de Análisis de Cada Escenario

a. Escenario básico

Se tomaron dos casos para el modelo en los que se mantuvieron las condiciones actuales.

- ① Escenario Básico 1 (Modelo Q0-RA0)
 - Volumen de bombeo: Se mantiene el volumen de bombeo de 2015.
 - Volumen de recarga de agua subterránea: Se repite el volumen promedio mensual de recarga de agua subterránea de los últimos 30 años (1986-2015). (Ej: volumen promedio para enero desde 1986 hasta 2015 = volumen de recarga para enero de 2016, 2017, ..., 2035).
- ② Escenario Básico 2 (Modelo Q0-RP0)
 - Volumen de bombeo: Se mantiene el volumen de bombeo de 2015.
 - Volumen de recarga de agua subterránea: Se repite la recarga de agua subterránea de los últimos 20 años (1996-2015) durante los próximos 20 años (2016-2035). (Ej: volumen de recarga de 1996 = volumen de recarga para 2016, volumen de recarga de 1997 = volumen de recarga para 2017, ..., volumen de recarga de 2015 = volumen de recarga para 2035).

Los cambios en los niveles calculados de agua subterránea para ambos escenarios se muestran en la figura siguiente.

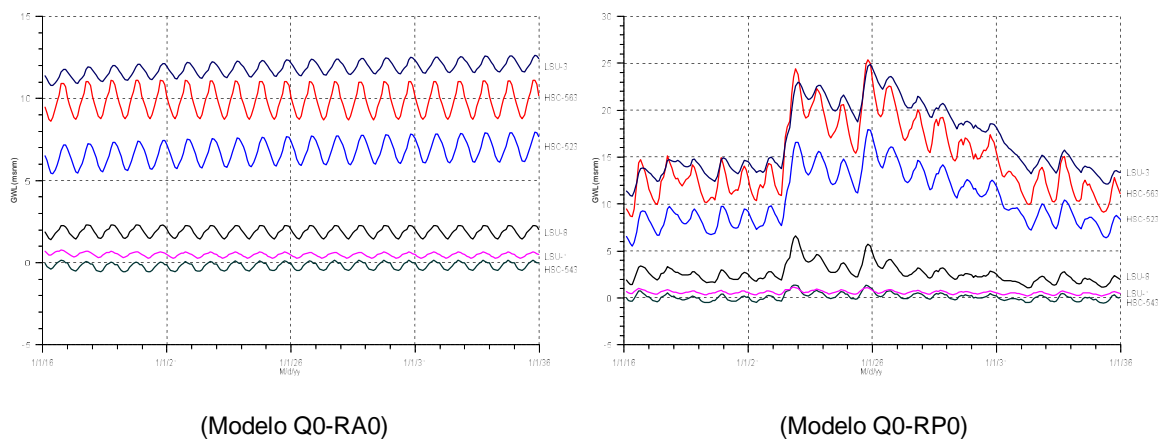


Figura 5-7: Fluctuación en los niveles calculados de agua subterránea ([Modelo Q0-RA0] y [Modelo Q0-RP0])

b. Escenario de fluctuación de la velocidad de recarga del agua subterránea

b.1 Caso del modelo básico 1 (Modelo Q0-RA0)

Se implementaron tres casos de predicción de los cambios en la recarga de agua subterránea

en los que el volumen de bombeo se mantiene igual al del 2015.

① Modelo Q0-RA1

- Volumen de recarga de agua subterránea: El volumen se fue reduciendo anualmente en la misma proporción de forma tal que el volumen de recarga en 2035 constituya un 80% del volumen de recarga del modelo Q0-RA0.

② Modelo Q0-RA2

- Volumen de recarga de agua subterránea: El volumen se fue reduciendo anualmente en la misma proporción de forma tal que el volumen de recarga en 2035 constituya un 90% del volumen de recarga del modelo Q0-RA0.

③ Modelo Q0-RA3

- Volumen de recarga de agua subterránea: El volumen se fue aumentando anualmente en la misma proporción de forma tal que el volumen de recarga en 2035 constituya un 110% del volumen de recarga del modelo Q0-RA0.

Los resultados de los cambios en los niveles calculados de agua subterránea del Modelo Básico 1 y los tres casos descritos aparecen en la siguiente figura.

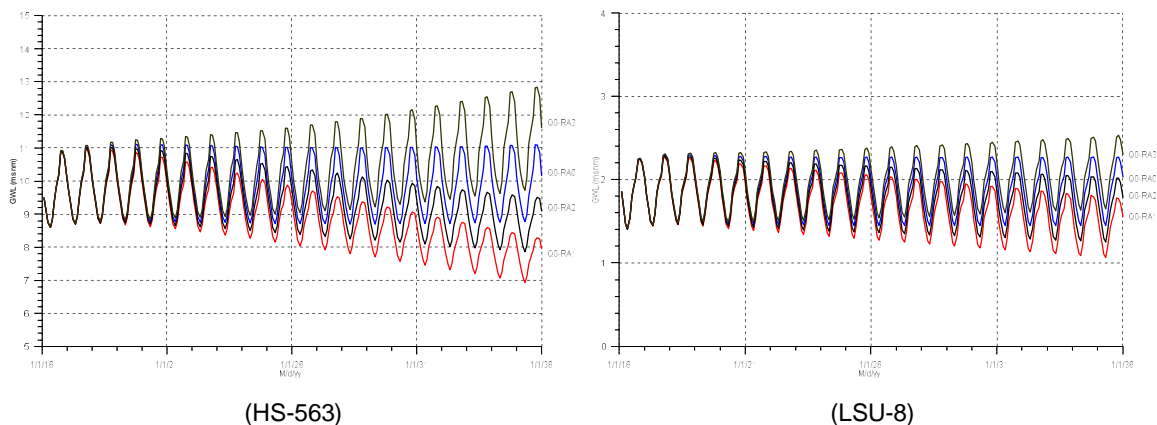
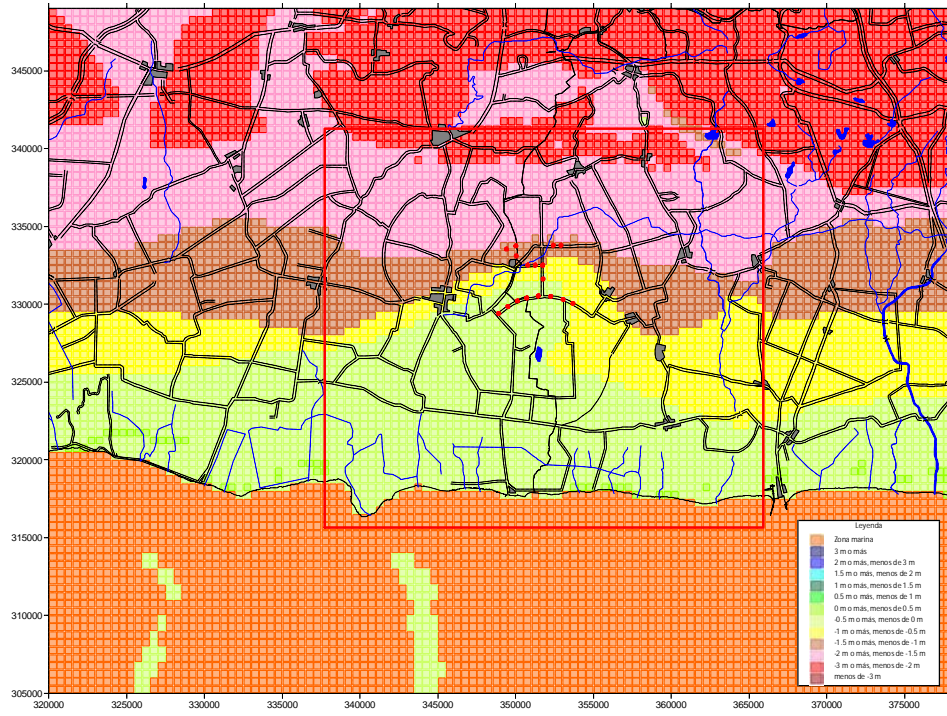
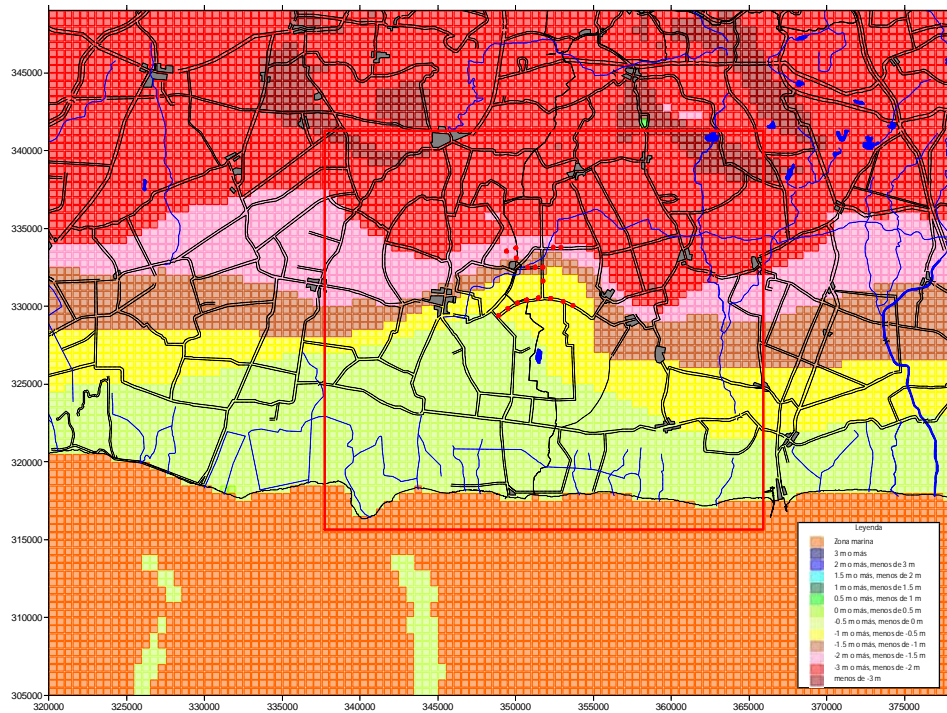


Figura 5-8: Fluctuación en los niveles calculados de agua subterránea ([Modelo Q0-RA0], [Modelo Q0-RA1], [Modelo Q0-RA2] y [Modelo Q0-RA3])

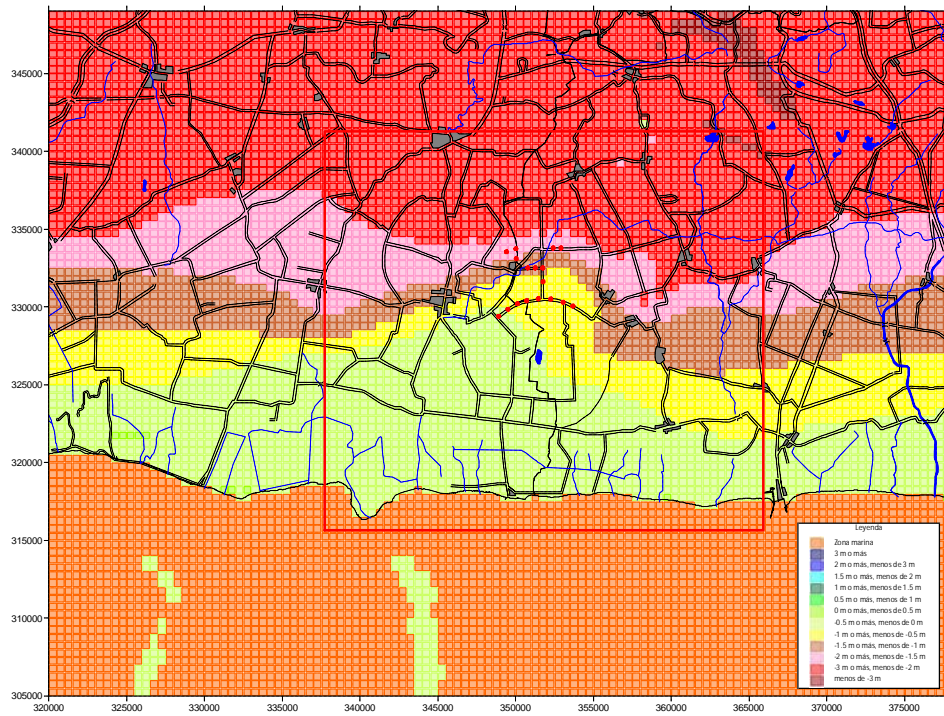
Debajo aparecen las figuras de comparación de la distribución de los niveles calculados de agua subterránea entre el Modelo Básico 1 y los tres casos descritos (capa 17). La comparación se estableció para los finales del periodo seco (abril de 2035), los finales del periodo de lluvias (octubre de 2035), y el último mes (diciembre) de 2035.



(Finales del periodo seco (abril de 2035))

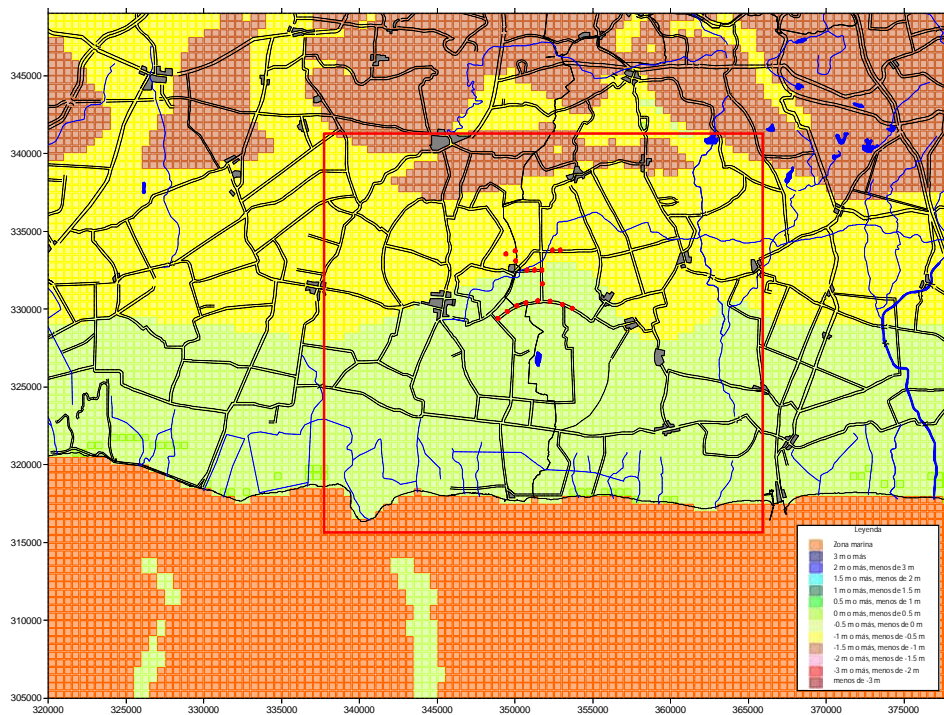


(Finales del periodo de lluvias (octubre de 2035))

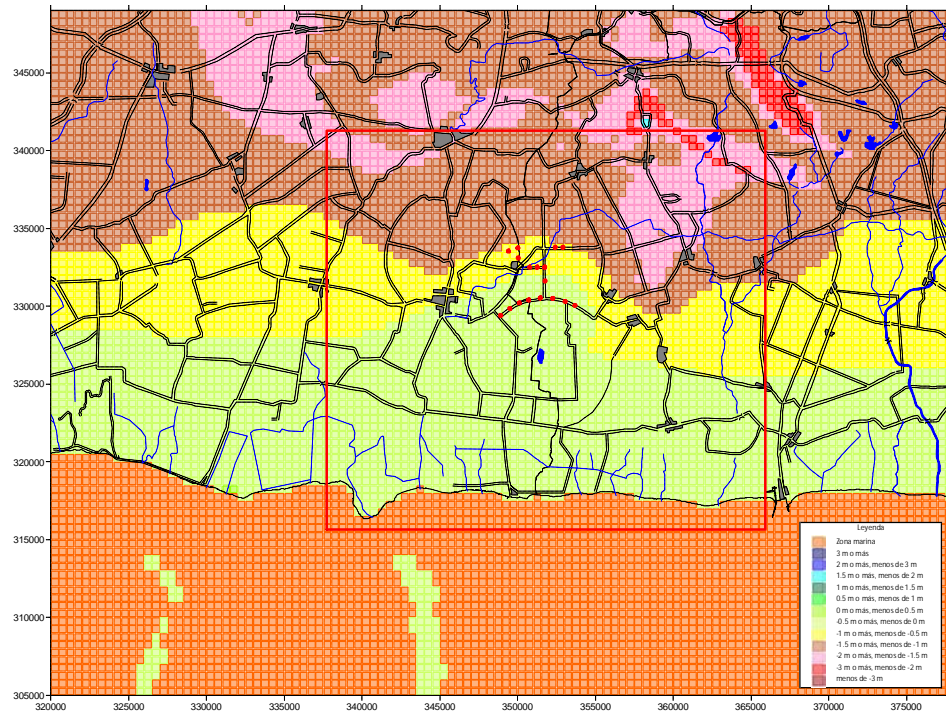


(Último mes (diciembre) de 2035)

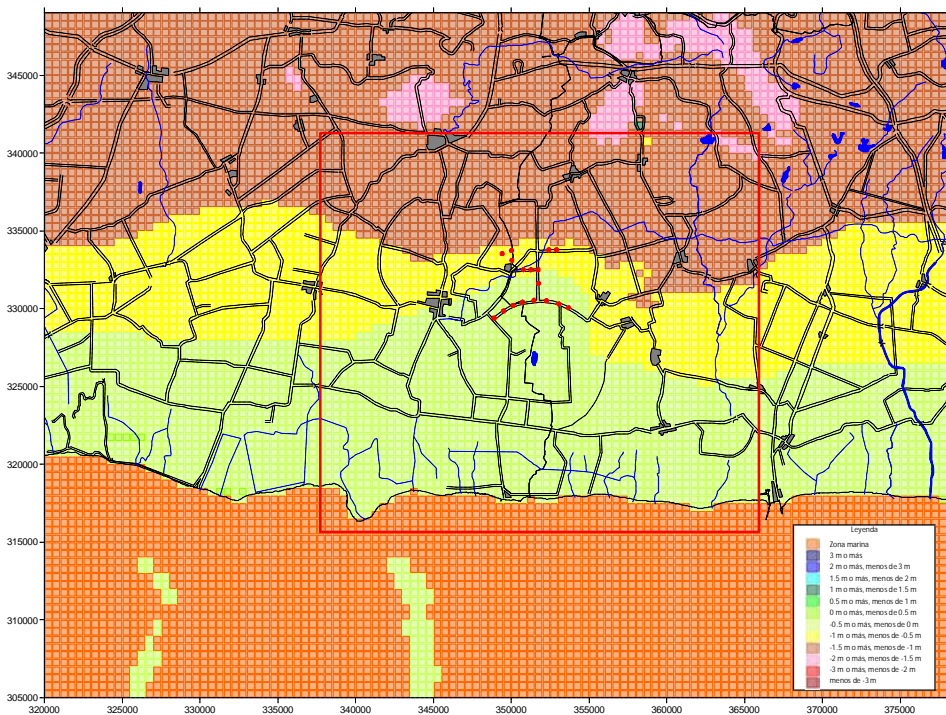
Figura 5-9: Comparación de la distribución de los niveles calculados de agua subterránea (capa 17) del [Modelo Q0-RA0] y el [Modelo Q0-RA1]



(Finales del periodo seco (abril de 2035))

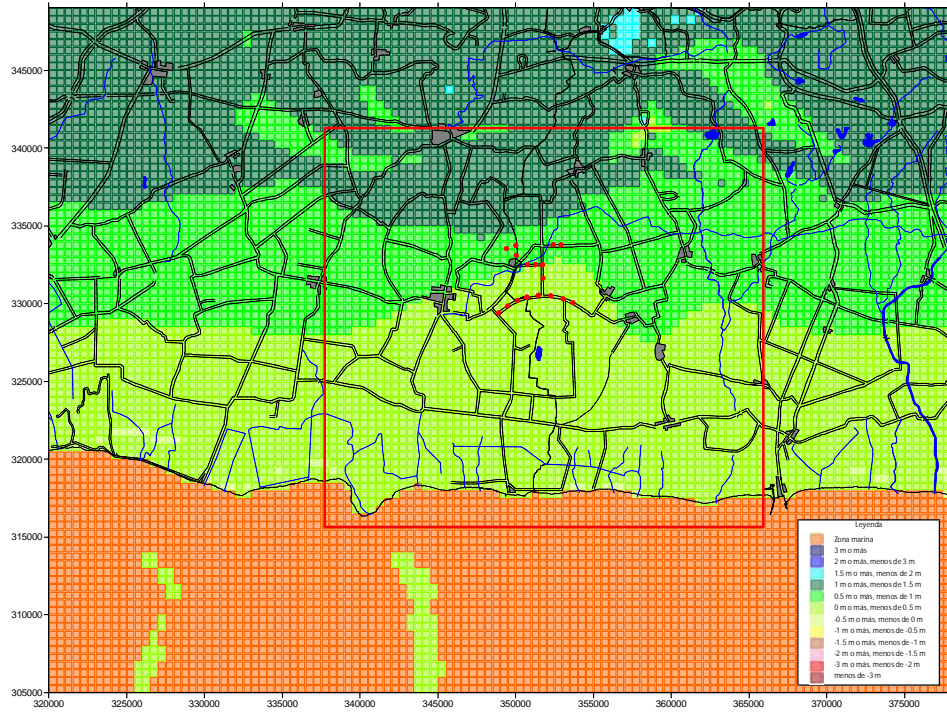


(Finales del periodo de lluvias (octubre de 2035))

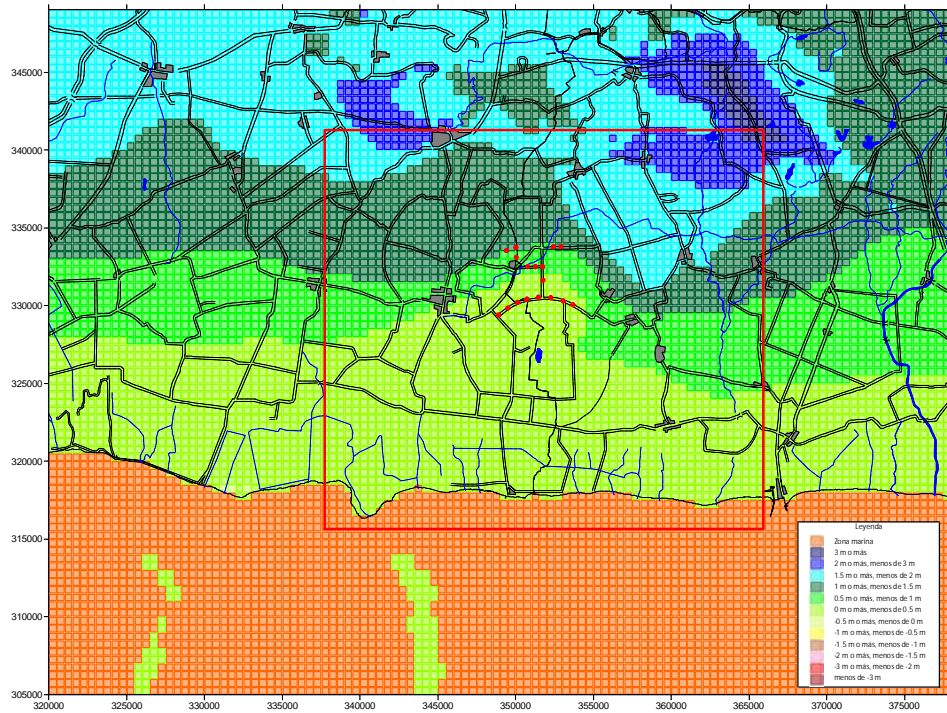


(Último mes (diciembre) de 2035)

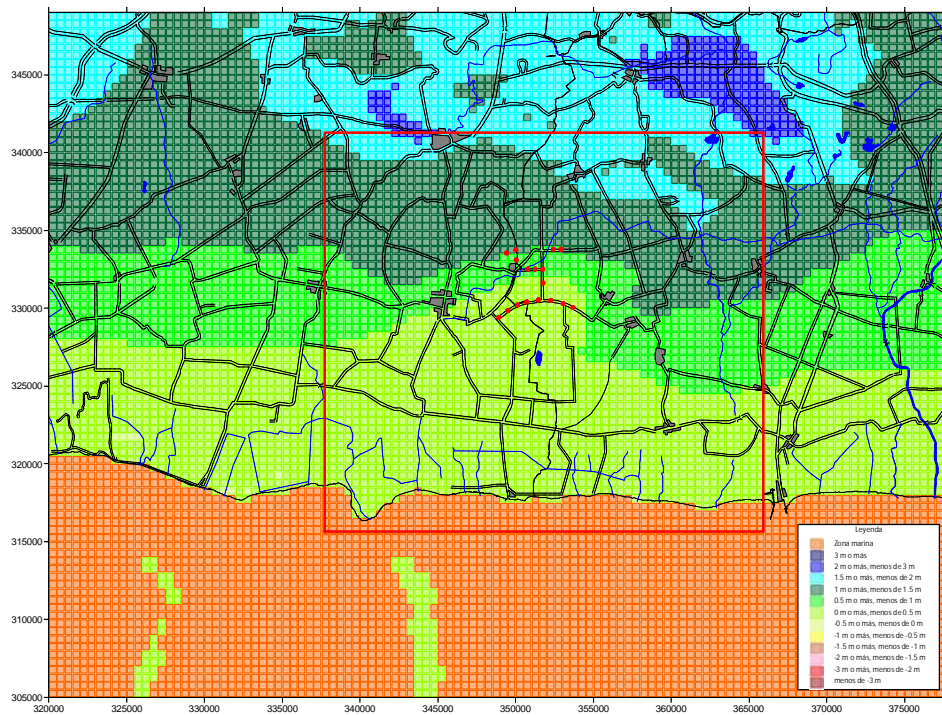
Figura 5-10: Comparación de la distribución de los niveles calculados de agua subterránea (capa 17) del [Modelo Q0-RA0] y el [Modelo Q0-RA2]



(Finales del periodo seco (abril de 2035))



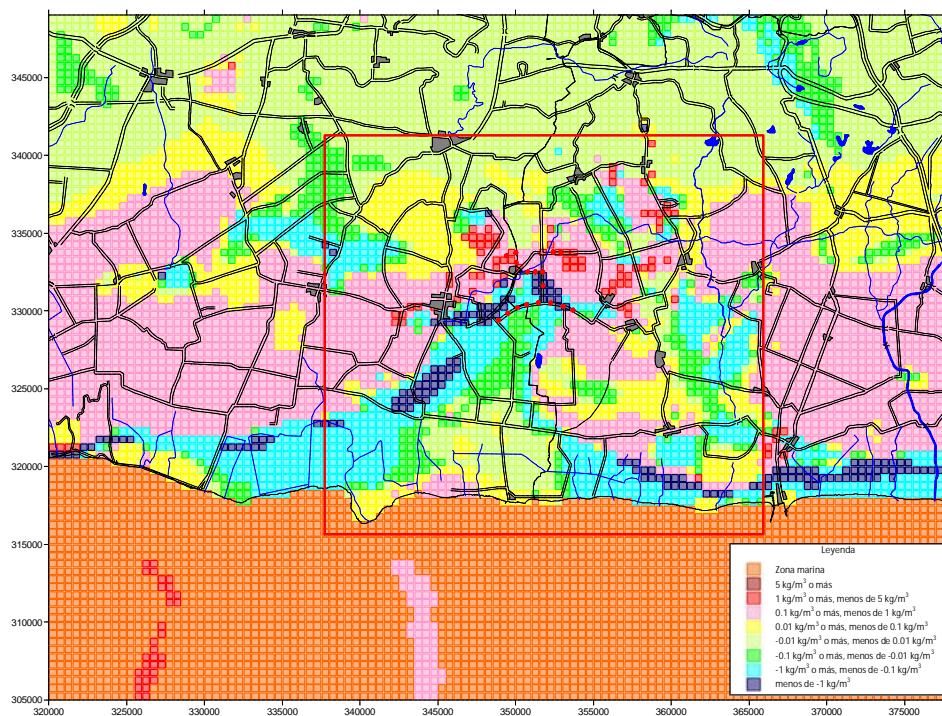
(Finales del periodo de lluvias (octubre de 2035))



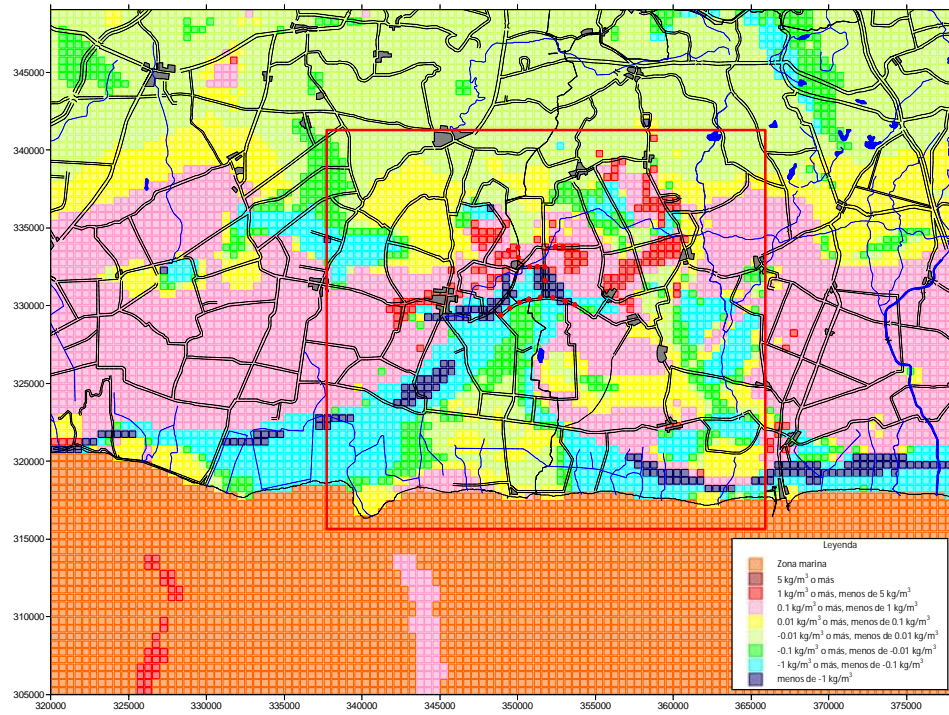
(Último mes (diciembre) de 2035)

Figura 5-11: Comparación de la distribución de los niveles calculados de agua subterránea (capa 17) del [Modelo Q0-RA0] y el [Modelo Q0-RA3]

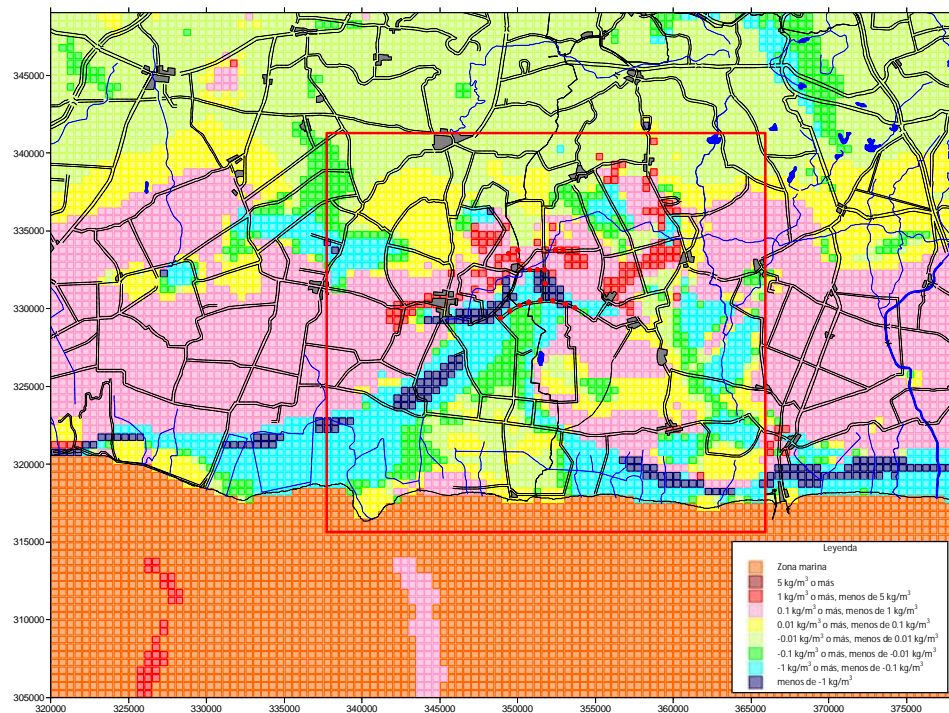
También se muestran a continuación las figuras de comparación de las concentraciones de sal calculadas (capa 17) entre el Modelo Básico 1 y los tres casos descritos. El periodo de comparación es el mismo que el de la distribución de los niveles de agua subterránea.



(Finales del periodo seco (abril de 2035))

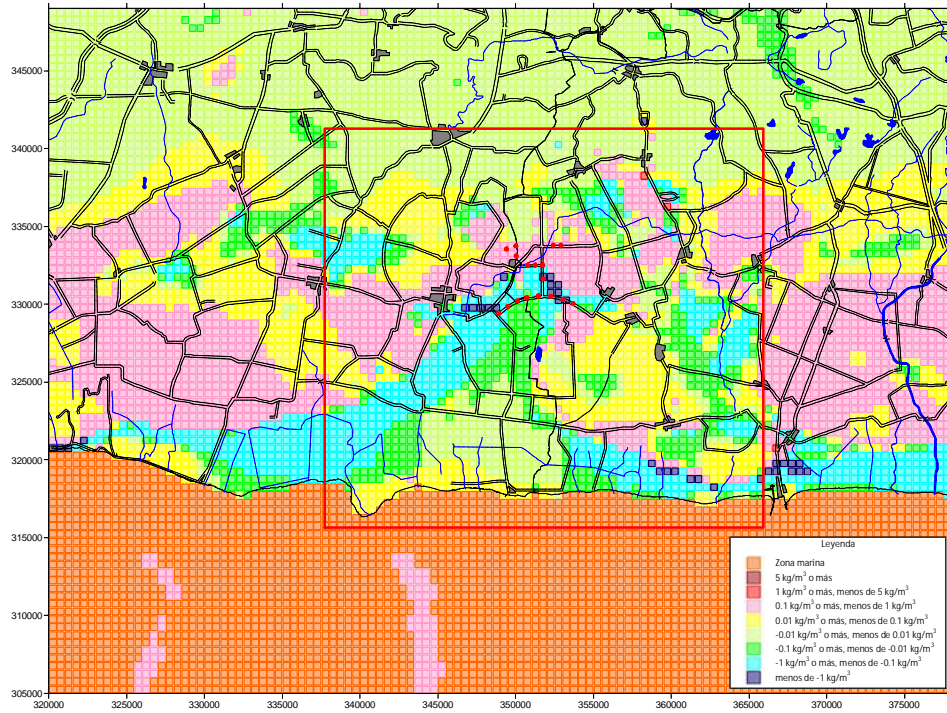


(Finales del periodo de lluvias (octubre de 2035))

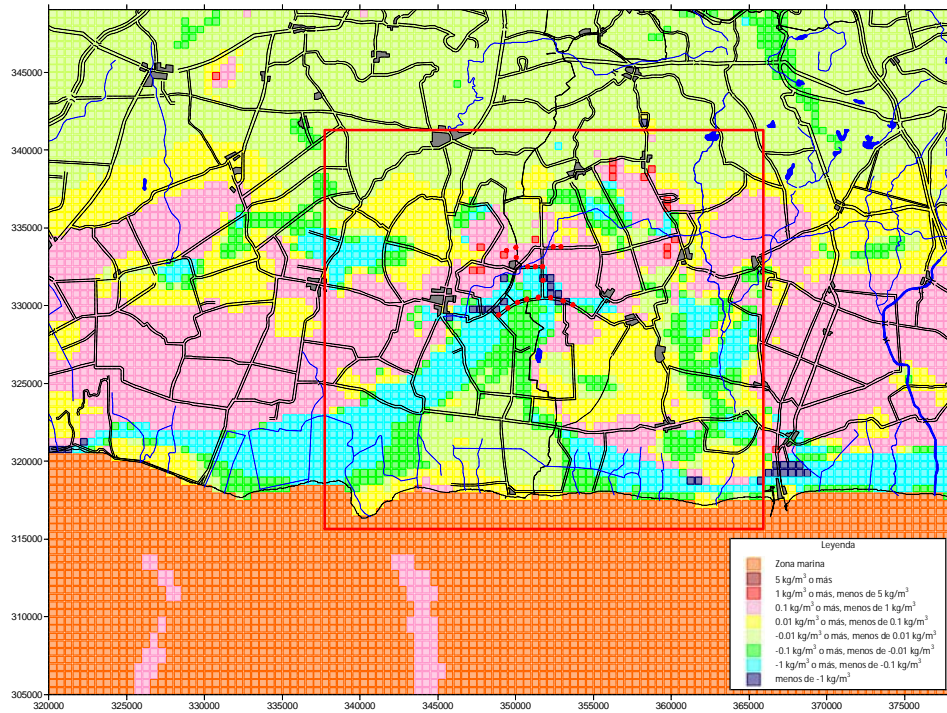


(Último mes (diciembre) de 2035)

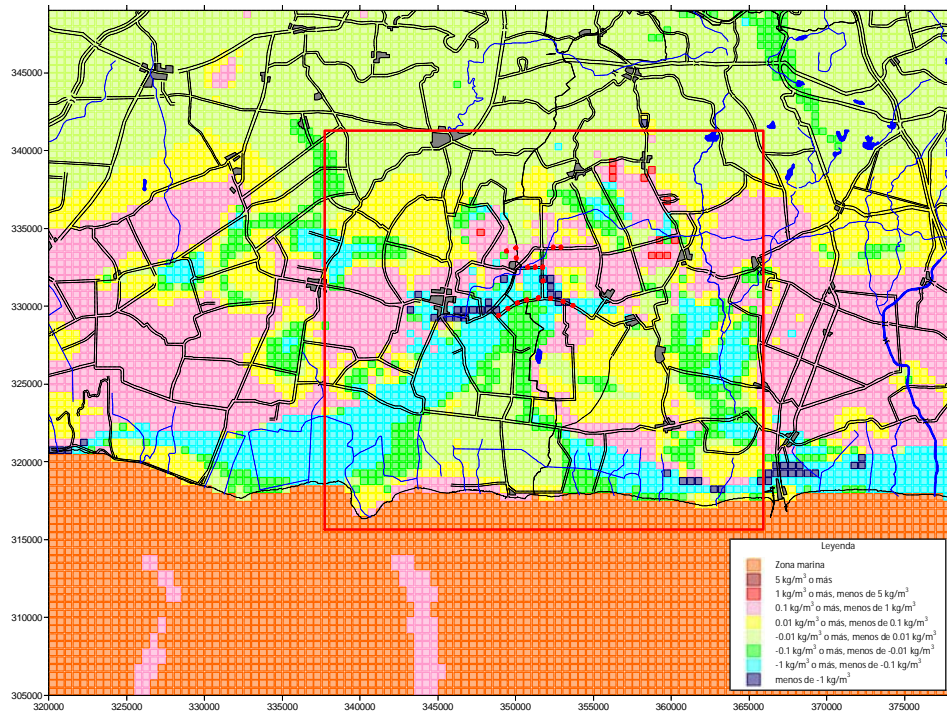
Figura 5-12: Comparación de la distribución de las concentraciones de sal calculadas (capa 17) del [Modelo Q0-RA0] y el [Modelo Q0-RA1]



(Finales del periodo seco (abril de 2035))

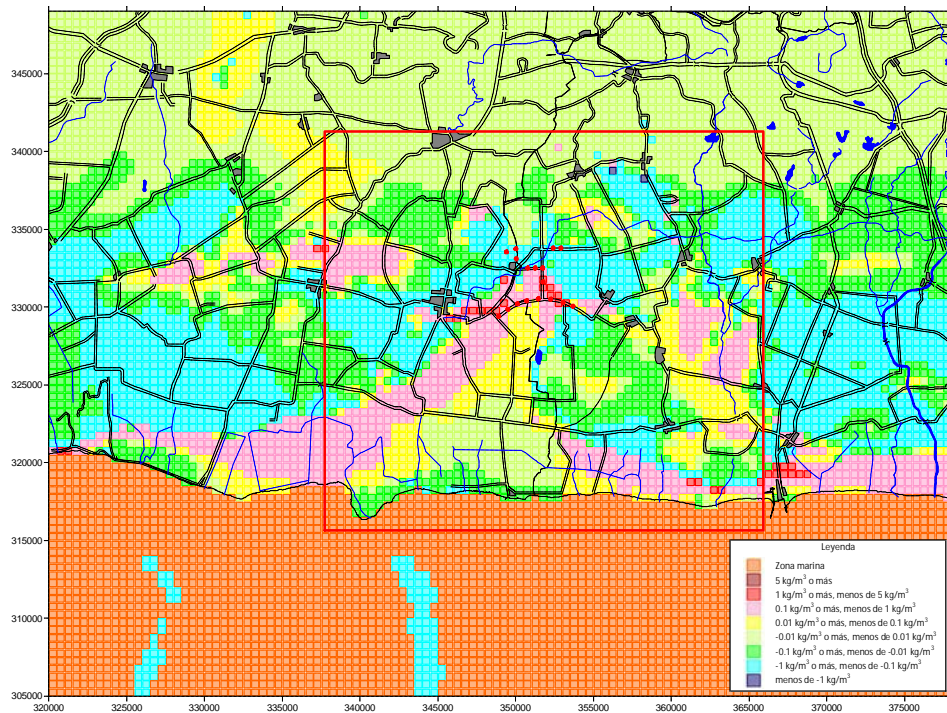


(Finales del periodo de lluvias (octubre de 2035))

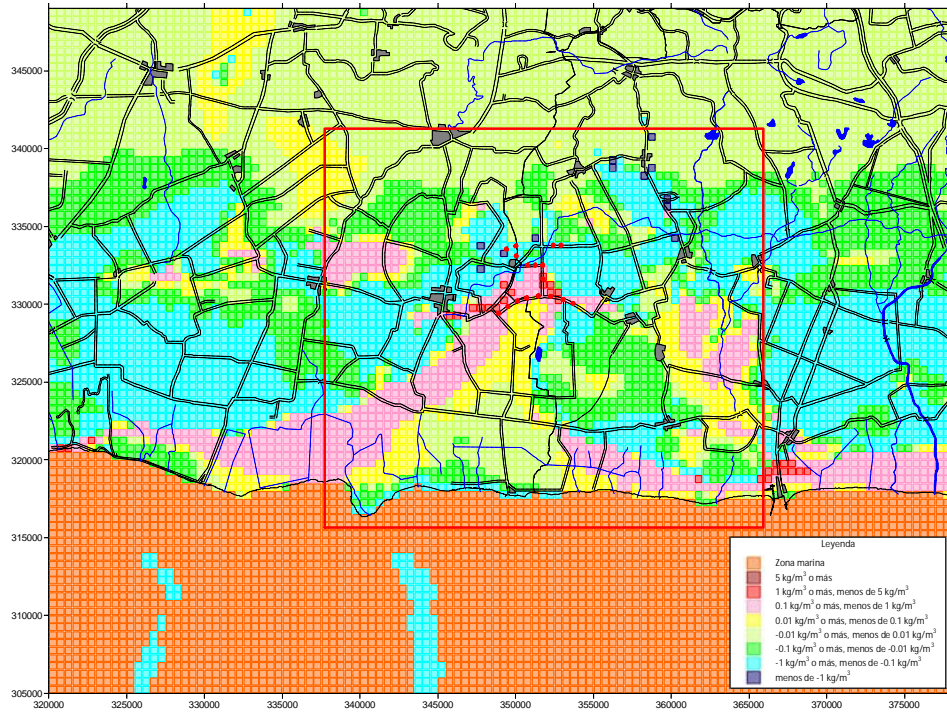


(Último mes (diciembre) de 2035)

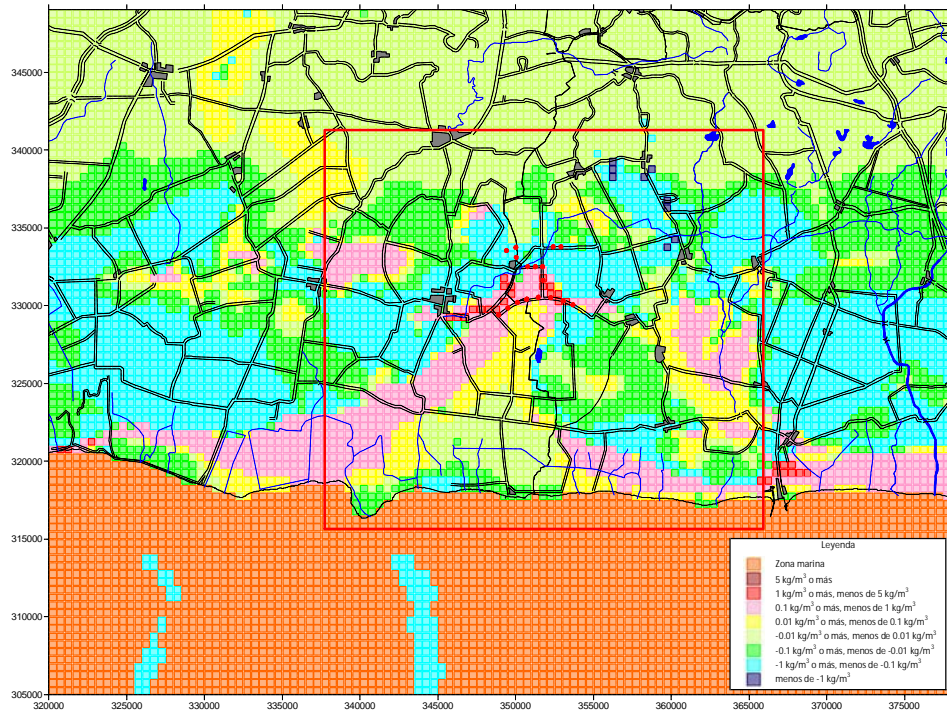
Figura 5-13: Comparación de la distribución de las concentraciones de sal calculadas (capa 17) del [Modelo Q0-RA0] y el [Modelo Q0-RA2]



(Finales del periodo seco (abril de 2035))



(Finales del periodo de lluvias (octubre de 2035))



(Último mes (diciembre) de 2035)

Figura 5-14: Comparación de la distribución de las concentraciones de sal calculadas (capa 17) del [Modelo Q0-RA0] y el [Modelo Q0-RA3]

b.2 Caso del modelo básico 2 (Modelo Q0-RP0)

Se implementaron tres casos de predicción de los cambios en la recarga de agua subterránea en los que el volumen de bombeo se mantiene igual al del 2015.

- ① Modelo Q0-RP1
 - Volumen de recarga de agua subterránea: El volumen se fue reduciendo anualmente en la misma proporción de forma tal que el volumen de recarga en 2035 constituya un 80% del volumen de recarga del modelo Q0-RP0.
- ② Modelo Q0-RP2
 - Volumen de recarga de agua subterránea: El volumen se fue reduciendo anualmente en la misma proporción de forma tal que el volumen de recarga en 2035 constituya un 90% del volumen de recarga del modelo Q0-RP0.
- ③ Modelo Q0-RP3
 - Volumen de recarga de agua subterránea: El volumen se fue aumentando anualmente en la misma proporción de forma tal que el volumen de recarga en 2035 constituya un 110% del volumen de recarga del modelo Q0-RP0.

Los resultados de los cambios en los niveles calculados de agua subterránea del Modelo Básico 2 y los tres casos descritos aparecen en la siguiente figura.

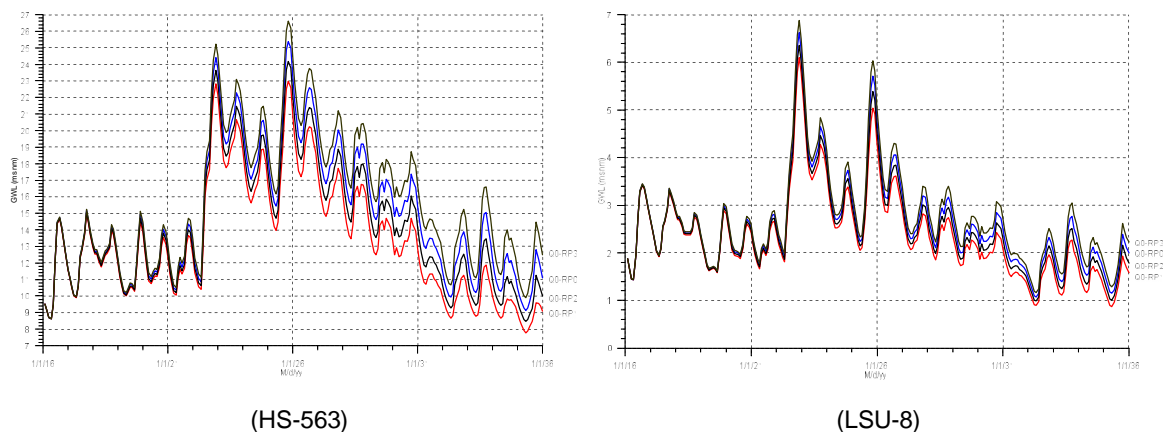
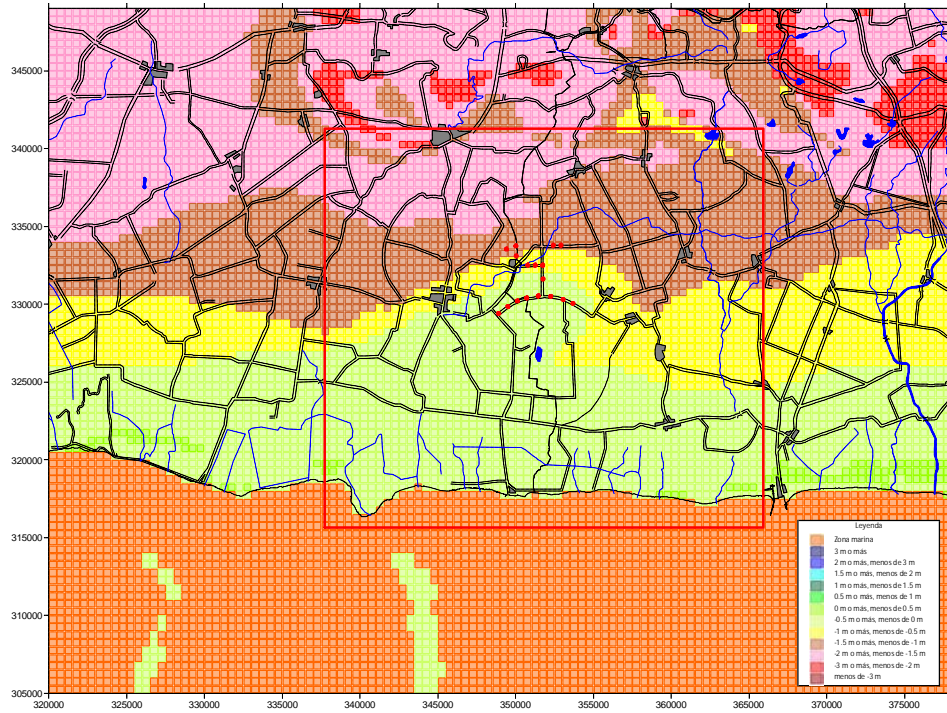
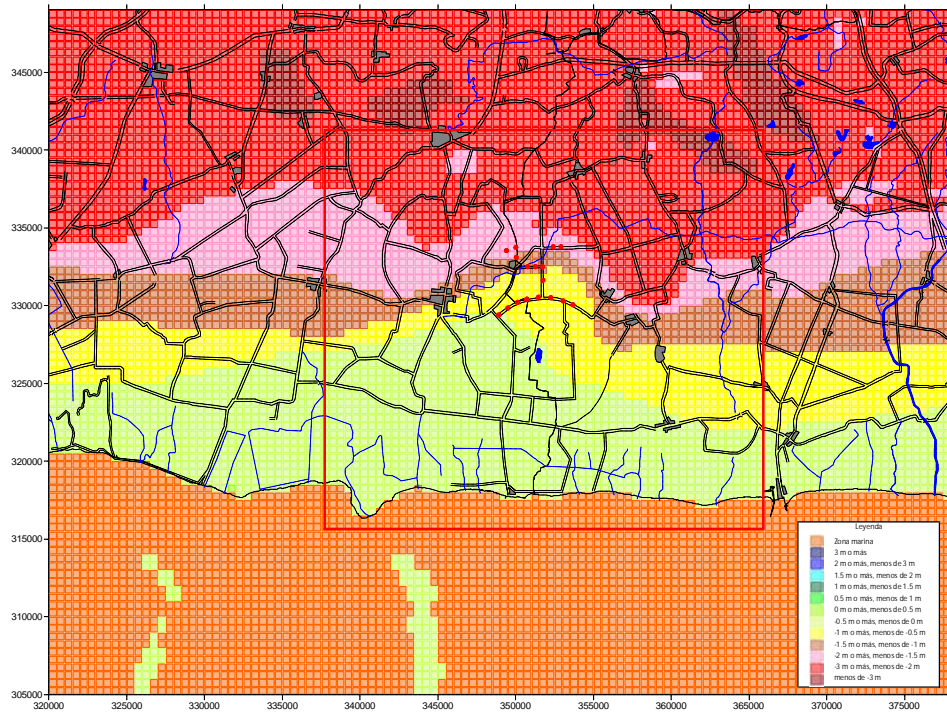


Figura 5-15: Fluctuación en los niveles calculados de agua subterránea ([Modelo Q0-RP0], [Modelo Q0-RP1], [Modelo Q0-RP2] y [Modelo Q0-RP3])

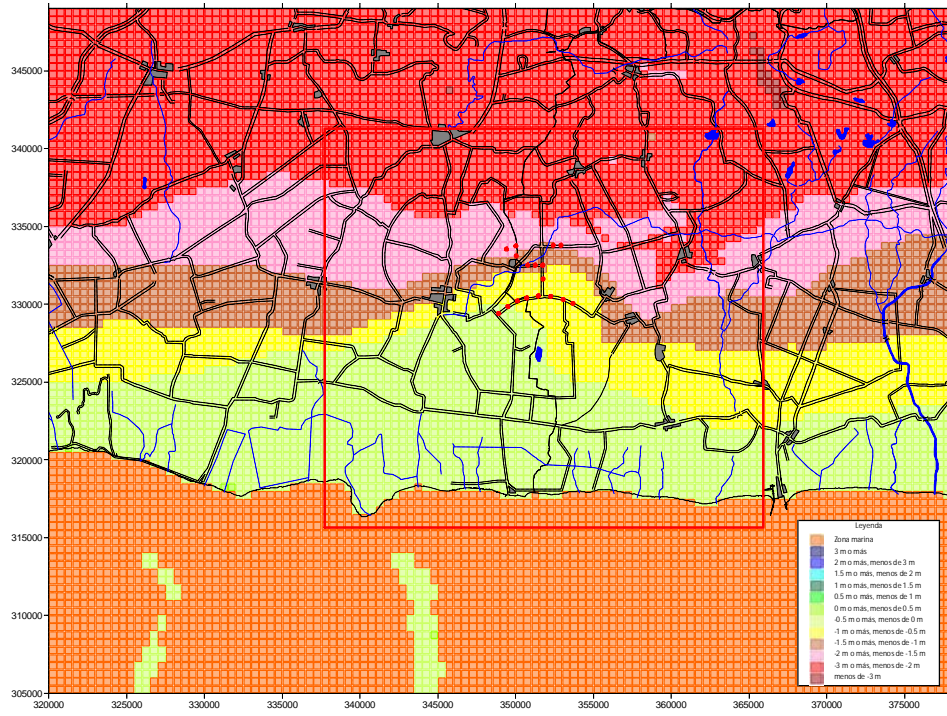
Debajo aparecen las figuras de comparación de la distribución de los niveles calculados de agua subterránea entre el Modelo básico 2 y los tres casos descritos (capa 17). El periodo de comparación es igual al del Modelo básico 1.



(Finales del periodo seco (abril de 2035))

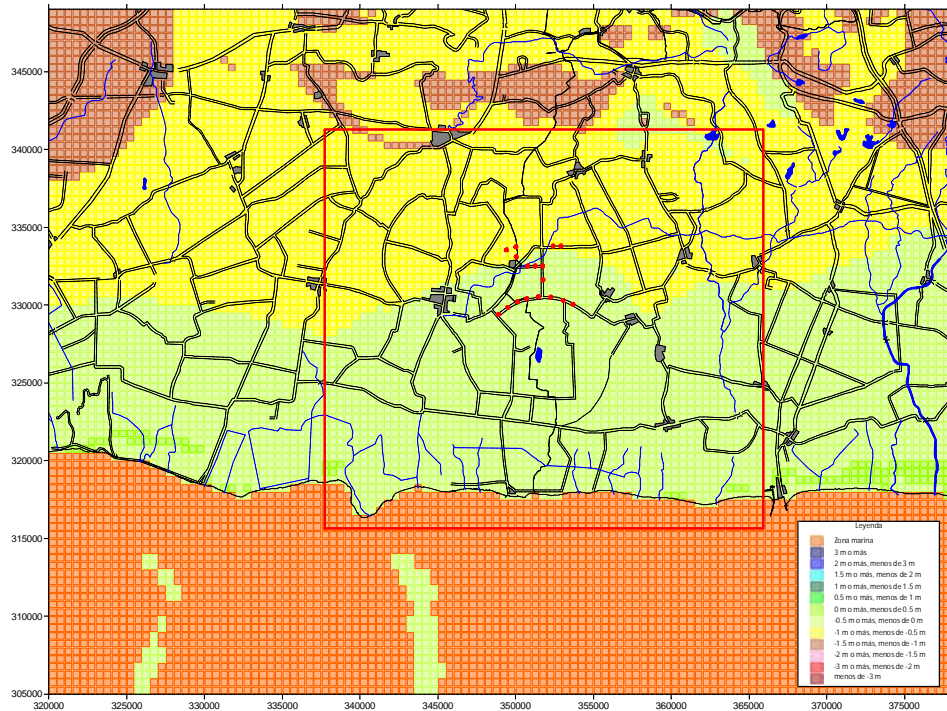


(Finales del periodo de lluvias (octubre de 2035))

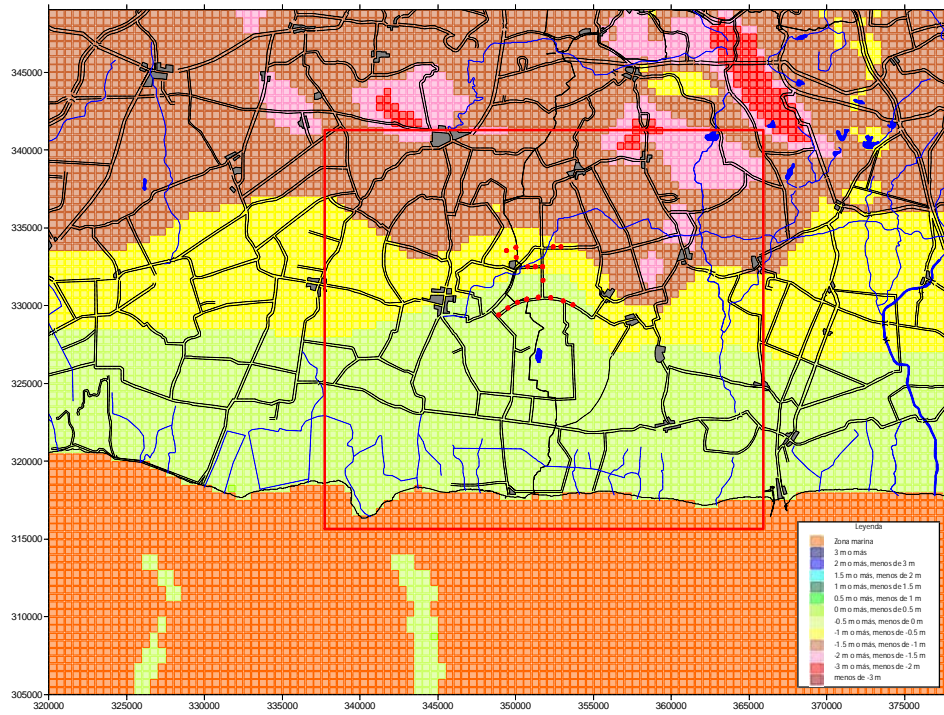


(Último mes (diciembre) de 2035)

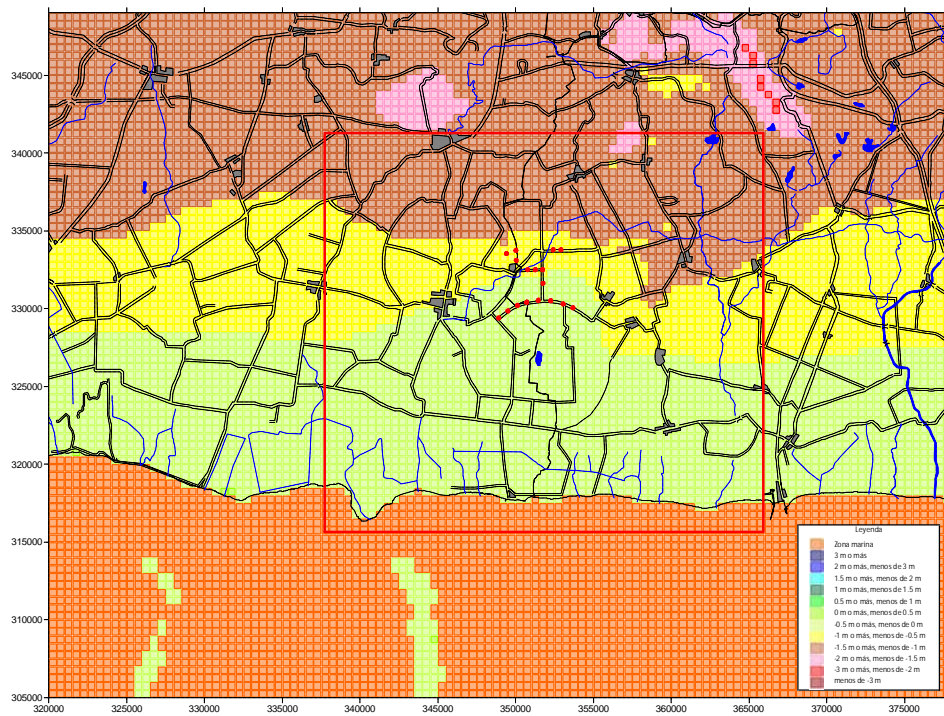
Figura 5-16: Comparación de la distribución de los niveles calculados de agua subterránea (capa 17) del [Modelo Q0-RP0] y el [Modelo Q0-RP1]



(Finales del periodo seco (abril de 2035))

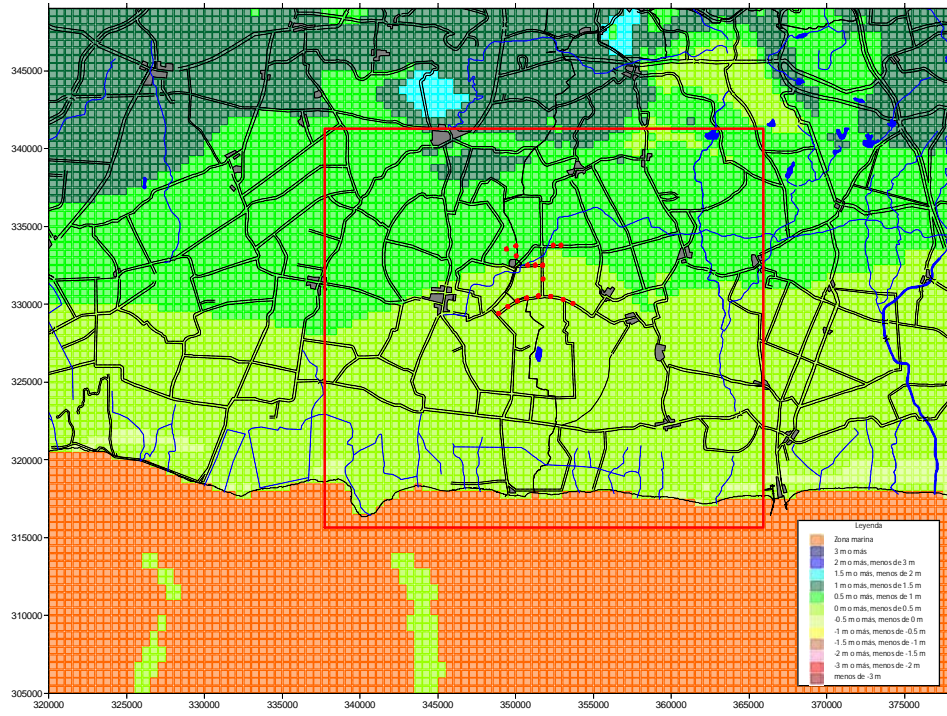


(Finales del periodo de lluvias (octubre de 2035))

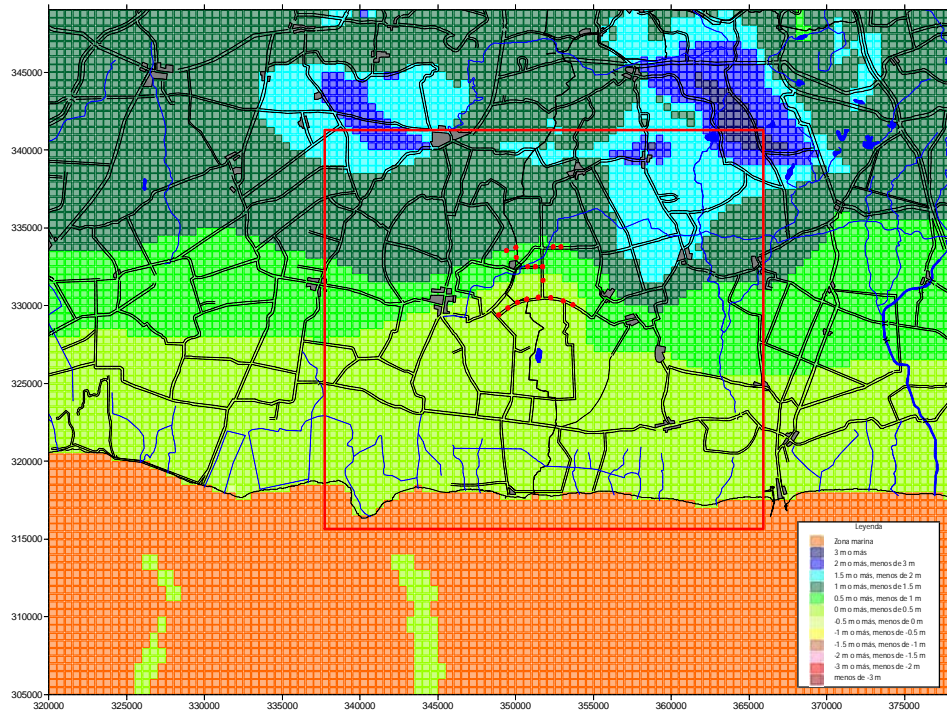


(Último mes (diciembre) de 2035)

Figura 5-17: Comparación de la distribución de los niveles calculados de agua subterránea (capa 17) del [Modelo Q0-RP0] y el [Modelo Q0-RP2]



(Finales del periodo seco (abril de 2035))



(Finales del periodo de lluvias (octubre de 2035))