13. MONITOREO DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS.

El programa de monitoreo es un componente indispensable para el estudio de las aguas subterráneas del área de estudio, ya que a través de este es posible realizar el seguimiento tanto de los niveles de la tabla de agua en los acuíferos de interés (Depósitos Cuaternarios de Llanura Aluvial (Qlla) y Depósitos Cuaternarios de Cono Aluvial (Qca)) como de la calidad del recurso hídrico subterráneo. Esta actividad hace parte del inventario de puntos de aprovechamiento de agua subterránea en el área de estudio.

La red de monitoreo se convierte en una herramienta para complementar la modelación de la red de flujo que nos permite identificar variaciones en los niveles estáticos para tiempos determinados, con los cuales se pueden analizar posibles cambios en el balance hídrico y analizar la dinámica del recurso hídrico subterráneo. Además es posible establecer la dirección de flujo del agua subterránea con la cual se puede identificar el potencial transporte de contaminantes a través de la zona de transito.

El monitoreo de la calidad del agua subterránea permite identificar variaciones en el comportamiento de las propiedades físicas del agua en campo, específicamente de parámetros tales como conductividad, sólidos disueltos totales, pH y temperatura, que pueden ser el resultado de contaminación ocasionada por el desarrollo de actividades industriales, agrícolas, agropecuarias entre otras que se encuentran en la zona; esto con el objetivo de establecer estrategias para la protección del agua subterránea, considerando este recurso como una fuente de abastecimiento de agua potable para las poblaciones.

Las campañas de monitoreo de llevaron a cabo durante los meses de marzo, mayo y junio de 2005. Durante estas jornadas se inventariaron algunas captaciones de agua construidas recientemente, que no fueron involucradas en el inventario de puntos de agua del convenio 047/2004.

El monitoreo se realizó visitando cada una de las captaciones de agua inventariadas durante los meses de octubre, noviembre y diciembre del año 2004, para tener un total de 488 aljibes y 50 pozos monitoreados durante los meses de marzo, mayo y junio de 2005, como se observa en la tabla 5.

Para realizar el monitoreo de aguas subterráneas se utilizó un formato en el cual se incluye la identificación de la captación de agua; nombre del predio; nombre del propietario; nivel estático, dinámico o de recuperación; propiedades físicas del agua en campo (conductividad, pH, sólidos disueltos totales, temperatura) y las observaciones correspondientes en el momento de la visita, en las cuales se pretende principalmente identificar regímenes de bombeo y condiciones ambientales y sanitarias de la captación. Este formato se encuentra en medio físico y digital.

Tabla 27. Relación de aljibes y pozos monitoreados durante los meses de marzo, mayo y junio de 2005

MES DE MONITOREO	ALJIBES		POZOS		TOTAL
	Acuífero Depósitos Cuaternarios de Cono Aluvial (Qca)	Acuífero Depósitos Cuaternarios de Llanura Aluvial Qlla	Acuífero Depósitos Cuaternarios de Cono Aluvial Qca	Acuífero Depósitos Cuaternarios de llanura Aluvial Qlla	
MARZO	85	79	3	15	182
MAYO	39	76	2	15	132
JUNIO	84	125	3	12	224
TOTAL					538

Para la localización de las captaciones de agua inventariadas, se contaba con planos en escala 1:25000, para poder localizarlos en el terreno; adicionalmente en la mayoría de jornadas de campo, se utilizaba el GPS para la verificación de coordenadas de puntos existentes y ubicación de nuevos puntos de agua.

Para el monitoreo de puntos de agua se llevaron a cabo dos actividades fundamentales, que corresponden a la medición de niveles estáticos, dinámicos y de recuperación de aljibes, pozos y aljibe pozos inventariados, cuyo diseño permitiera el ingreso libre de sondas y la medición de conductividad, pH, temperatura y sólidos disueltos totales del agua captada, en este caso era necesario la toma de muestras directamente del aljibe y pozo cuando este lo permitiera, en caso contrario la muestra se tomaba del tanque de almacenamiento (para este caso, muchas veces era preciso el bombeo de la captación para no alterar las condiciones de la muestra).

Foto 35. Monitoreo de aljibe localizado en el Depósito Cuaternario de Llanura Aluvial (Qlla)

13.1 MONITOREO DE NIVELES

El monitoreo de niveles se llevó a cabo durante los meses de marzo, mayo y junio del año 2005, para estos se tienen los siguientes resultados.

13.1.1 Depósitos Cuaternarios de Cono Aluvial (Qca) (Marzo 2005)

El modelo de flujo de aguas subterráneas para el Depósito Cuaternario de Cono Aluvial para el mes de marzo del 2005, muestra una trayectoria de flujo que va de norte a sur desde mayores a menores potenciales. La mayoría de mediciones se realizaron para la plancha 27 III D, en la cual se encuentran líneas equipotenciales que van desde 110 hasta 170 m. Las mayores líneas equipotenciales son del orden de 215 m y se encuentran en la zona de transito (área de estudio del convenio) cerca de la zona de recarga de aguas subterráneas que corresponde a las estribaciones de la Sierra Nevada de Santa Marta.

Figura 55. Modelo de Flujo de Aguas Subterráneas para el Acuífero Depósitos de Cono Aluvial de Valledupar (Qca). Marzo de 2005. Planchas 27 III B, 27 IV A, 27 III D y 27 IV C.

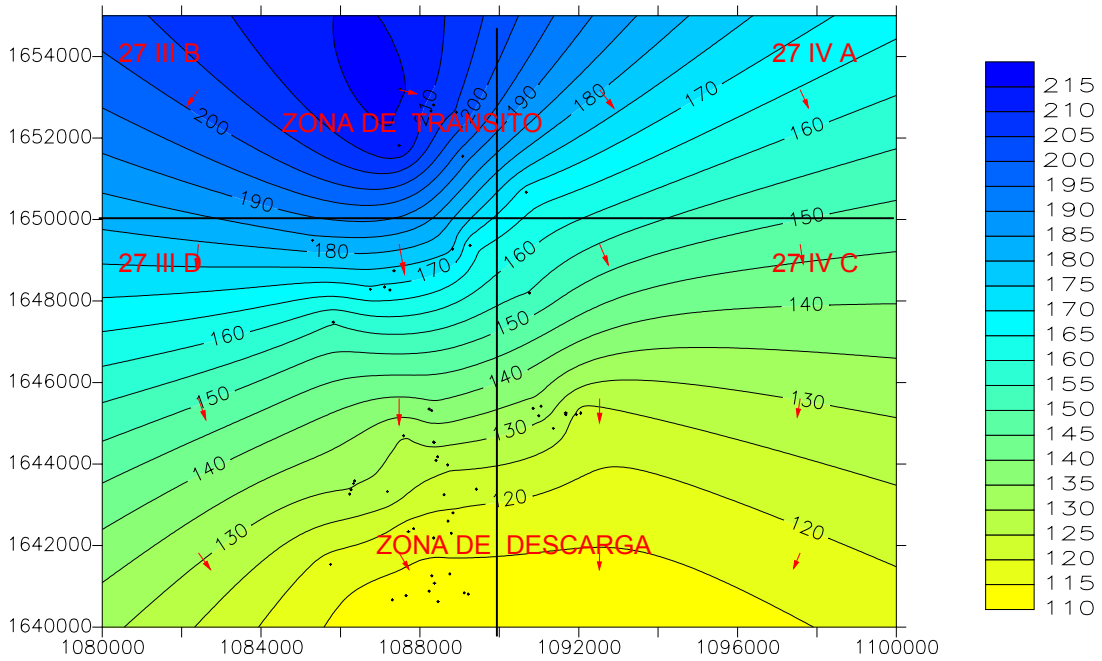
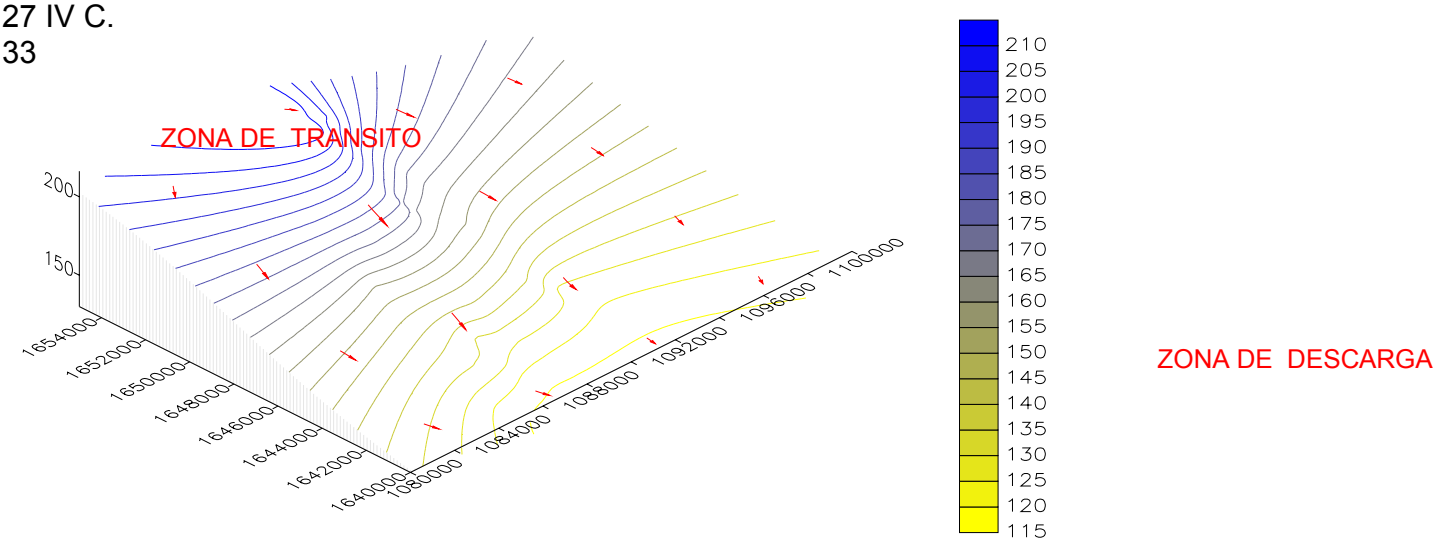


Figura 56. Modelo de Flujo de Aguas Subterráneas para el Acuífero Depósitos de Cono Aluvial de Valledupar (Qca) visto en tres dimensiones. Marzo de 2005. Planchas 27 III B, 27 IV A, 27 III D y 27 IV C.

33



13.1.2 Depósitos Cuaternarios de Llanura Aluvial (Qlla) (Marzo 2005)

Figura 57. Modelo de Flujo de Aguas Subterráneas para el Acuífero Depósitos de Llanura Aluvial de Valledupar (Qlla) visto en tres dimensiones. Marzo de 2005. Planchas 27 III D, 34 I B y 34 I D.

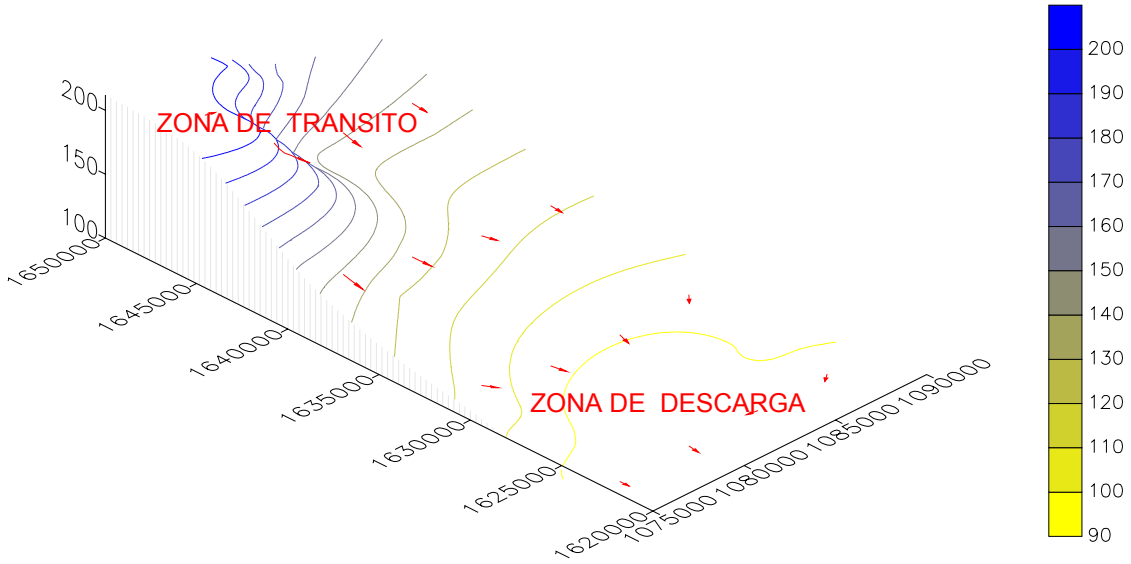
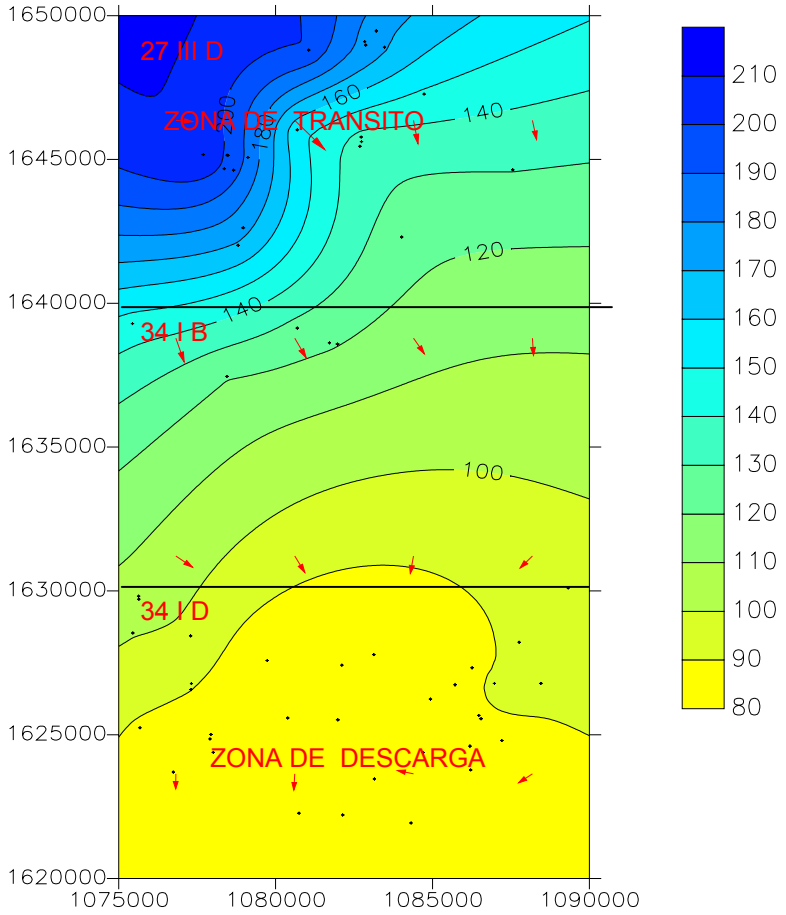
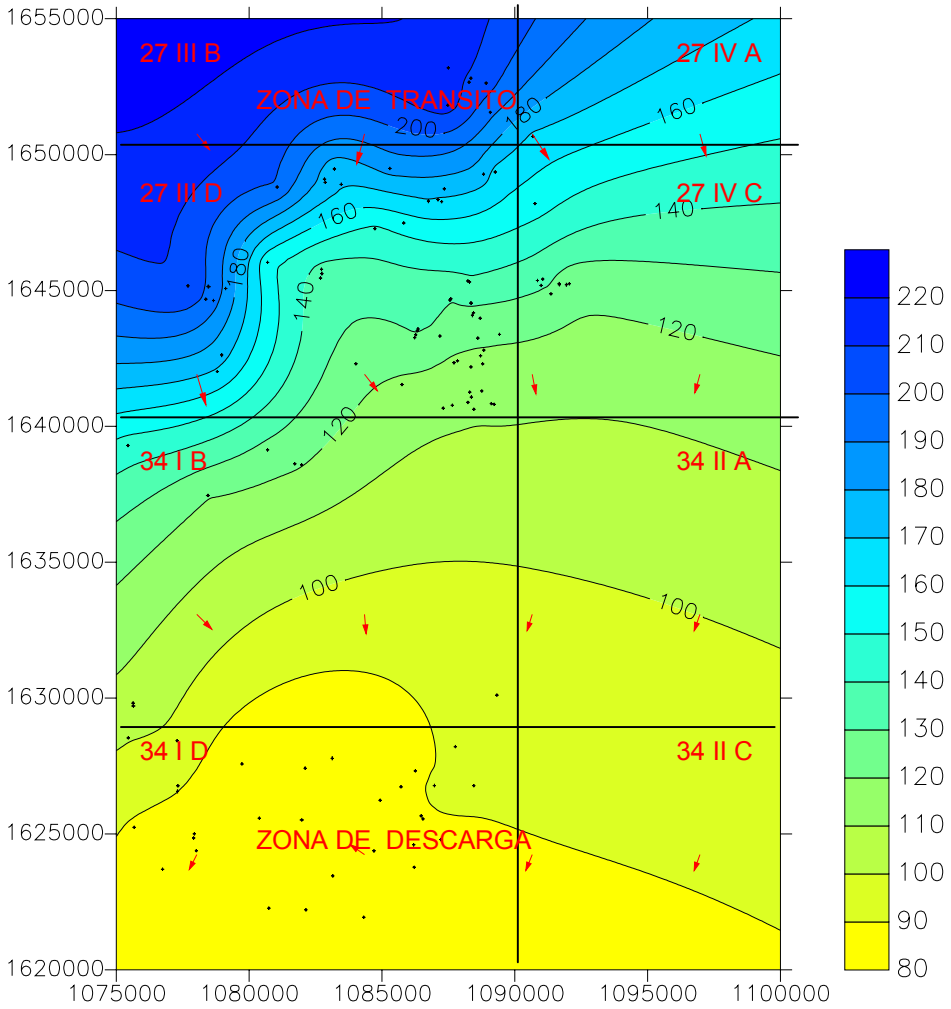


Figura 58 Modelo de Flujo de Aguas Subterráneas para el Acuífero Depósitos de Llanura Aluvial de Valledupar (Qlla). Marzo de 2005. Planchas 27 III D, 34 I B y 34 I D.



De acuerdo a la gráfica anterior es posible afirmar que el flujo del agua subterránea para el mes de marzo de 2005, en el Qlla fluye de mayores a menores potenciales en dirección noroeste a sur, encontrándose valores de equipotenciales entre 80 y 210 m, localizadas en las zonas de transito y descarga respectivamente. La plancha 34 I D representa principalmente la zona de descarga del agua hacia el río Cesar con equipotenciales del orden de 80 m.

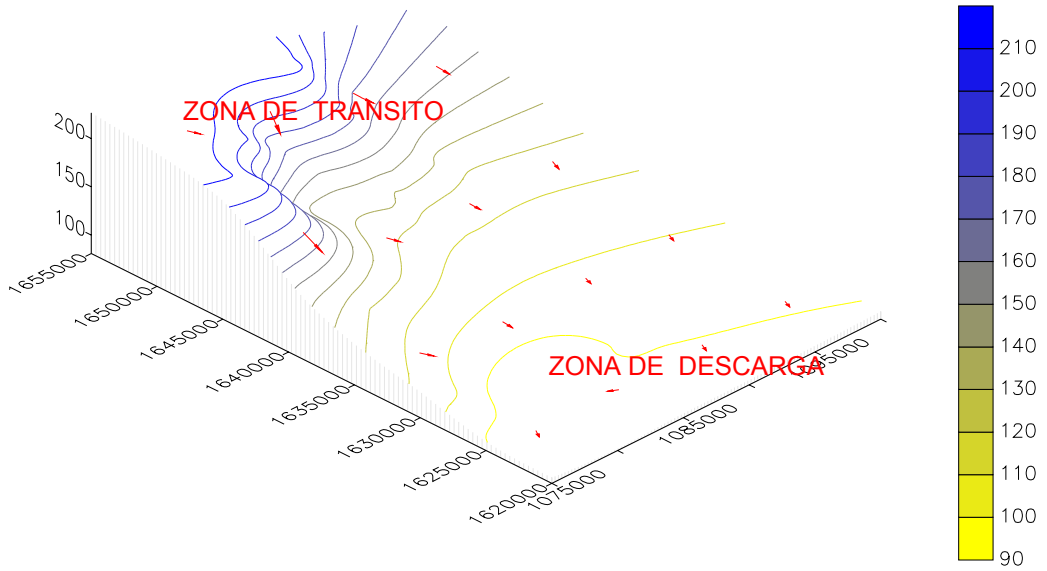
Figura 59. Modelo de Flujo de Aguas Subterráneas para el Acuífero Depósitos de Llanura y Cono Aluvial de Valledupar (Qlla y Qca). Marzo de 2005. Planchas 27 III B, 27 IV A, 27 III D, 27 IV C, 34 I B, 34 II A, 34 II C y 34 I D.



Considerando los dos acuíferos de importancia en la zona de estudio, como una sola unidad acuífera, es posible establecer que el agua subterránea fluye de acuerdo al modelo de flujo propuesto para la zona. Se encuentran valores en las líneas equipotenciales que van desde 80 m en la zona de descarga hasta 220 m en la zona de transito. En general se aprecia que la mayor parte de las mediciones de niveles para el mes de marzo fueron realizadas para la plancha 27 III D y 34 I D con rangos de valores entre 110 - 130 m y 80 - 90 m respectivamente.

A medida que el agua fluye desde el norte hacia el sur se disminuyen los valores de la tabla de agua, principalmente en las proximidades al río Cesar, en las planchas 34 ID y 34 II C.

Figura 60. Modelo de Flujo de Aguas Subterráneas para el Acuífero Depósitos de Llanura y Cono Aluvial de Valledupar (Qlla y Qca) visto en tres dimensiones. Marzo de 2005. Planchas 27 III B, 27 IV A, 27 III D, 27 IV C, 34 I B, 34 II A, 34 II C y 34 I D.



13.1.3 Depósitos Cuaternarios de Cono Aluvial (Qca) Mayo de 2005

El agua subterránea para el mes de mayo de 2005 en el acuífero Depósitos Cuaternarios de Cono Aluvial (Qca), se comporta siguiendo la trayectoria propuesta para los meses de Octubre – Diciembre de 2004 y Marzo de 2005, en la cual se encuentran valores de las líneas equipotenciales del orden de 98 m, para la zona de descarga en las planchas 34 I B y 34 II C y valores máximos de 134 m para la zona de transito del agua, que corresponde a las mediciones de aljibes localizados en la plancha 27 III D, que para este mes es la que presenta mayor cobertura de medición en el monitoreo de niveles, con promedios entre 110 y 130 m.

Figura 61. Modelo de Flujo de Aguas Subterráneas para el Acuífero Depósitos de Cono Aluvial de Valledupar (Qca). Mayo de 2005. Planchas 27 III D, 27 IV C, 34 I B y 34 II A

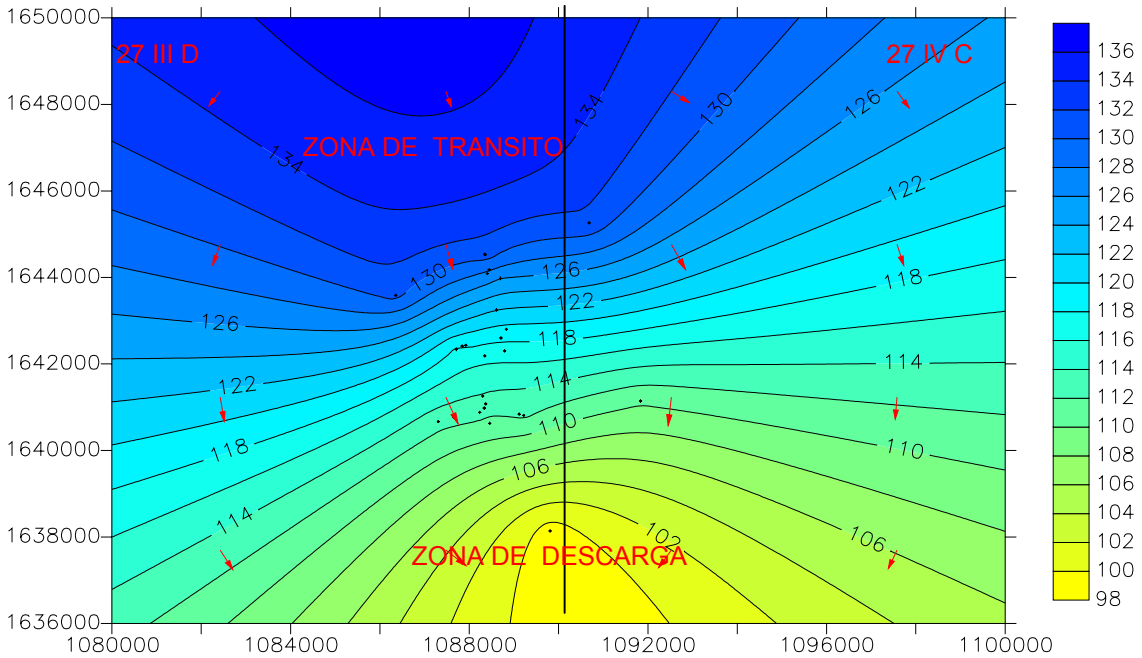
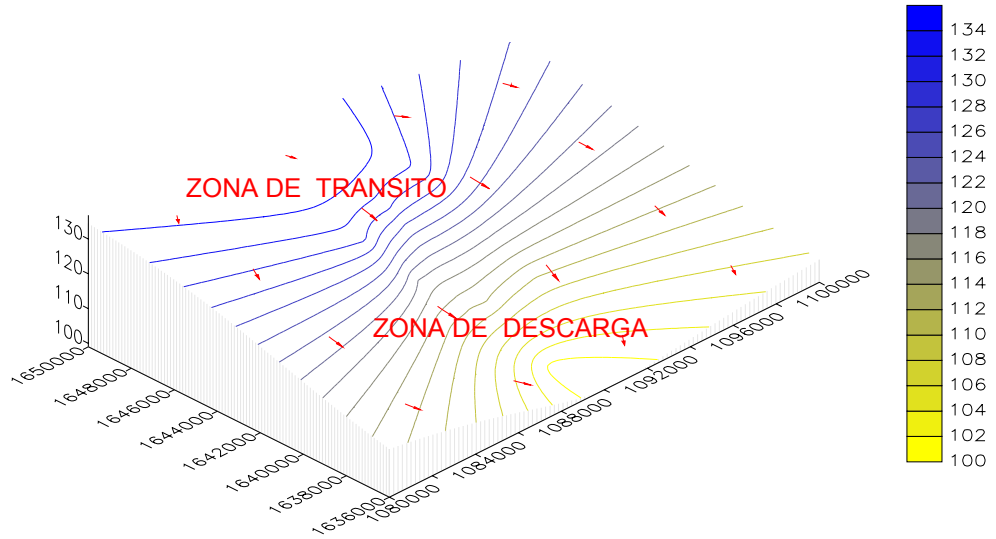


Figura 62. Modelo de Flujo de Aguas Subterráneas para el Acuífero Depósitos de Cono Aluvial de Valledupar (Qca) visto en tres dimensiones. Mayo de 2005. Planchas 27 III D, 27 IV C, 34 I B y 34 II A



13.1.4 Acuífero Depósitos Cuaternarios de Llanura Aluvial (Qlla), Mayo 2005

Figura 63. Modelo de Flujo de Aguas Subterráneas para el Acuífero Depósitos de Llanura Aluvial de Valledupar (Qlla). Mayo de 2005. Planchas 34 I B y 34 I D.

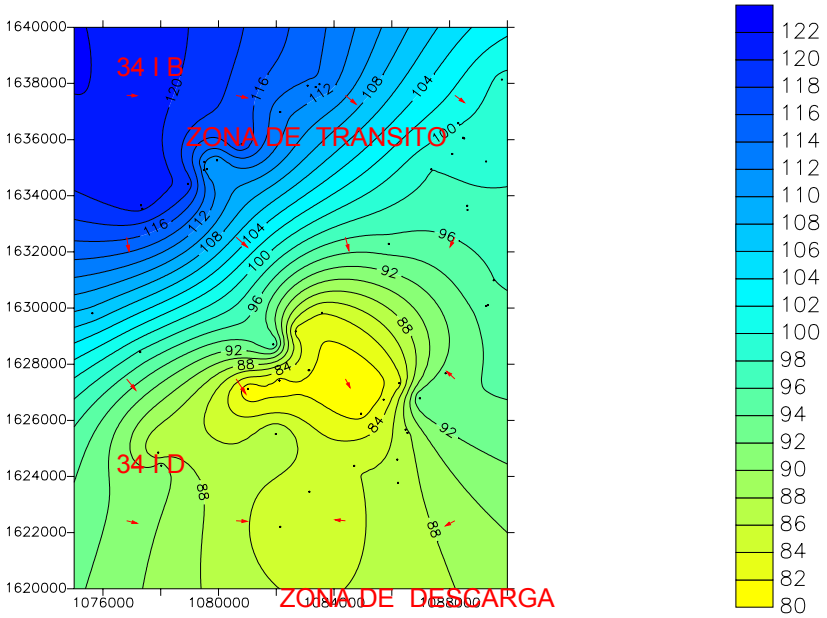
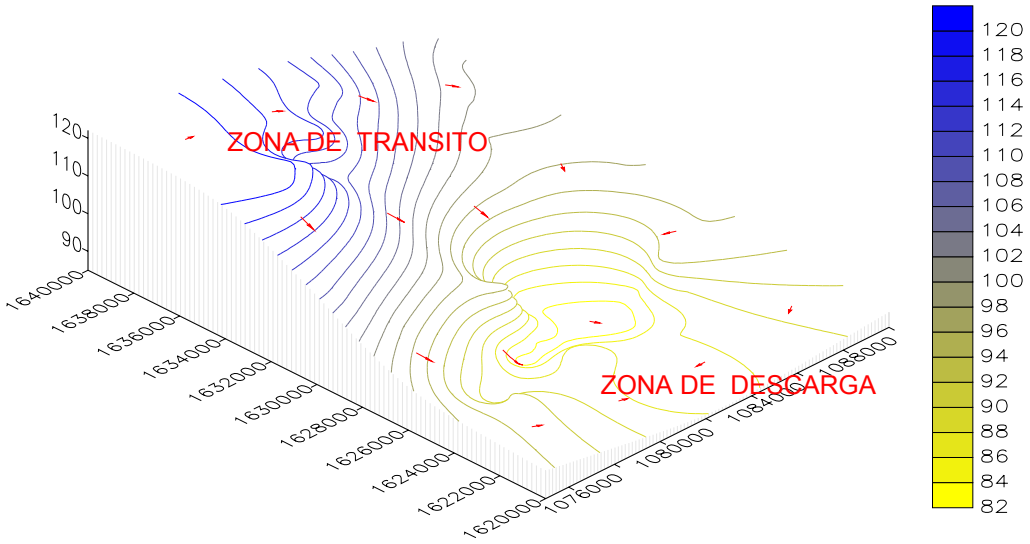


Figura 64. Modelo de Flujo de Aguas Subterráneas para el Acuífero Depósitos de Llanura Aluvial de Valledupar (Qlla) visto en tres dimensiones. Mayo de 2005. Planchas 34 I B y 34 I D.



El modelo de flujo de aguas subterráneas para el mes de mayo de 2005 en el acuífero Depósitos Cuaternarios de Llanura Aluvial (Qlla), presenta líneas equipotenciales que van desde 80 hasta 122 m en la tabla de agua, distribuidas a lo largo de las planchas 34 I B y 34 I D. Su trayectoria indica el movimiento del agua de noroeste a sur, diferenciando de esta forma la zona de transito y descarga del agua, esta última se encuentra localizada en las proximidades del río Cesar con equipotenciales del orden de 80 – 84 m. Esta zona también se encuentra definida en el modelo de flujo de aguas subterráneas para este acuífero en los meses de Octubre – Diciembre de 2004.

Figura 65. Modelo de Flujo de Aguas Subterráneas para el Acuífero Depósitos de Llanura y Cono Aluvial de Valledupar (Qlla y Qca). Mayo de 2005. Planchas 27 III D, 27 IV C, 34 I B, 34 II A, 34 II C y 34 I D.

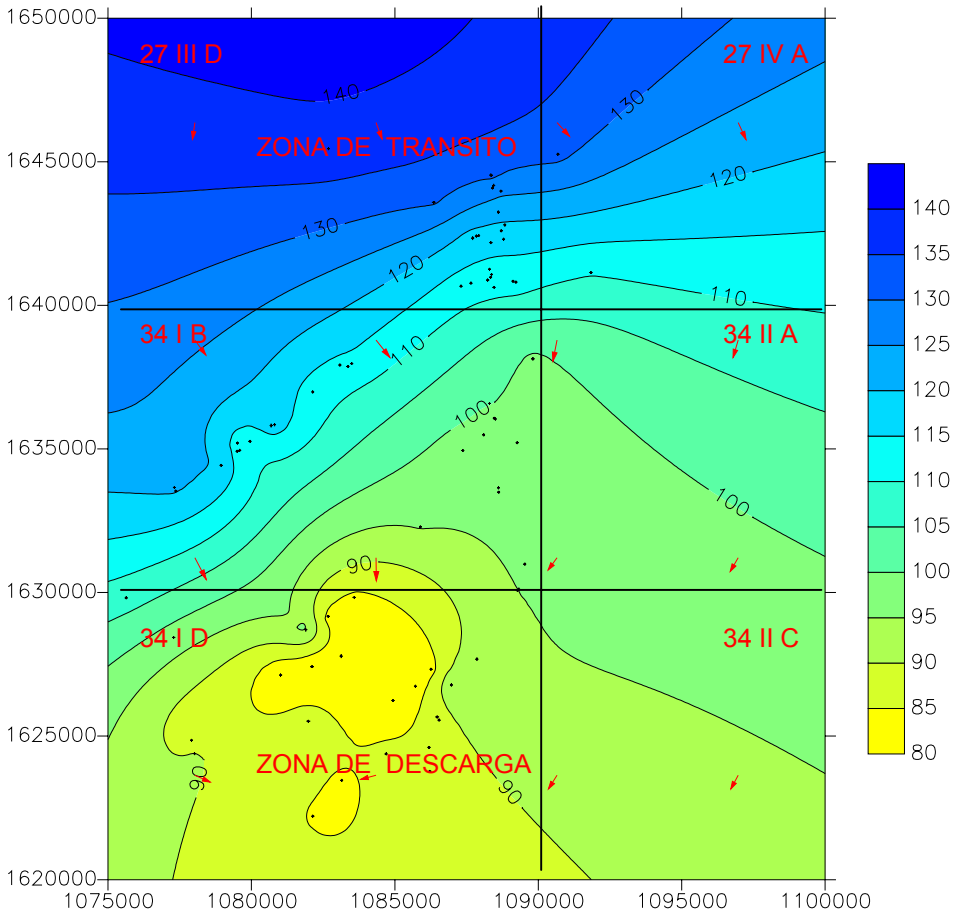
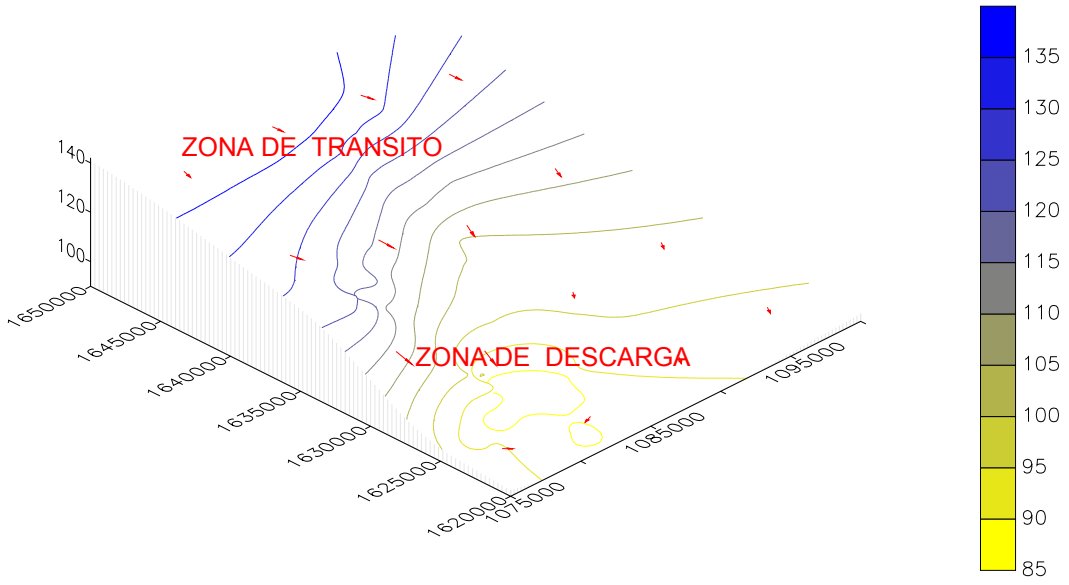


Figura 66. Modelo de Flujo de Aguas Subterráneas para el Acuífero Depósitos de Llanura y Cono Aluvial de Valledupar (Qlla y Qca) visto en tres dimensiones. Mayo de 2005. Planchas 27 III D, 27 IV C, 34 I B, 34 II A, 34 II C y 34 I D.



Considerando los acuíferos Qlla y Qca como una solo unidad acuífera se encuentra que las líneas equipotenciales para el mes de mayo oscilan entre 135 y 80 m, siguiendo una trayectoria de flujo de norte a sur, en la cual se diferencia la zona de transito de y la zona de descarga.

13.1.5 Depósitos Cuaternarios de Cono Aluvial (Qca), Junio 2005

Las mediciones de los niveles estáticos para los meses de junio fueron realizadas principalmente en las planchas 27 III D y 27 IV C, las cuales generan líneas equipotenciales del orden de valores entre 100 y 210 m para la tabla de agua en este acuífero. La red de flujo sigue la trayectoria propuesta para los meses de Octubre – Diciembre de 2004 y Marzo y Mayo de 2005, que indica el movimiento del agua de mayores a menores potenciales desde la Sierra Nevada de Santa Marta hasta su descarga en el Río Cesar. La mayoría de líneas equipotenciales se encuentran en un rango entre 120 y 180 m.

Figura 67. Modelo de Flujo de Aguas Subterráneas para el Acuífero Depósitos de Cono Aluvial de Valledupar (Qca). Junio de 2005. Planchas 27 III B, 27 IV A, 27 III D, 27 IV C, 34 I B y 34 II A

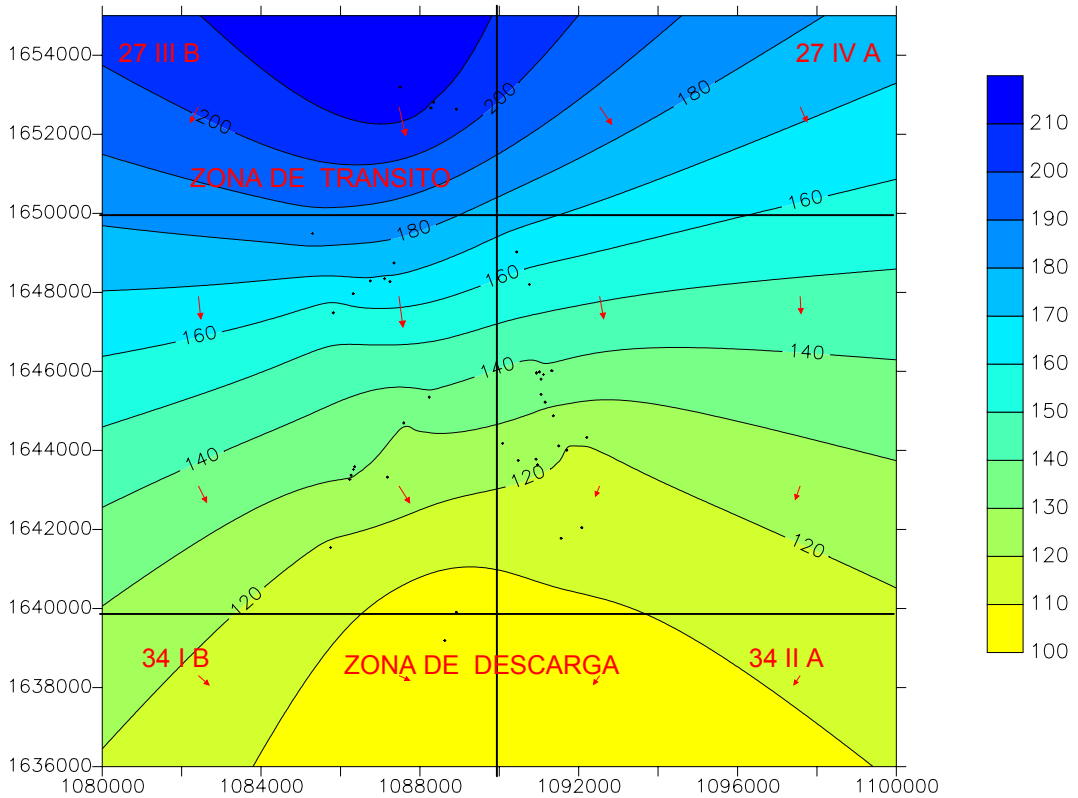
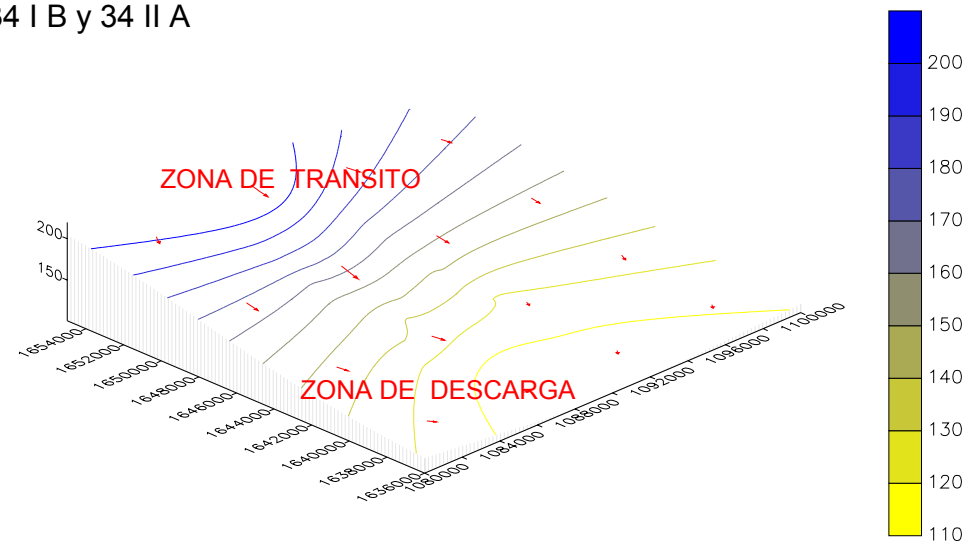


Figura 68. Modelo de Flujo de Aguas Subterráneas para el Acuífero Depósitos de Cono Aluvial de Valledupar (Qca) visto en tres dimensiones. Junio de 2005. Planchas 27 III B, 27 IV A, 27 III D, 27 IV C, 34 I B y 34 II A



13.1.6 Depósitos Cuaternarios de Llanura Aluvial (Qlla) Junio 2005.

El modelo de flujo de aguas subterráneas para el Qlla en el mes de junio de 2005 muestra la existencia de líneas equipotenciales con valores entre 80 y 210 m, localizadas en la zona de transito y descarga respectivamente. El movimiento del agua subterránea sigue la trayectoria propuesta para los meses de inventario de puntos de agua y monitoreo de niveles correspondientes a Marzo y Mayo de 2005, que indica el desplazamiento del agua de norte a sur. La mayor parte de las mediciones fueran realizadas en la plancha 34 I B para la cual se tienen promedios de niveles entre 100 y 120 m.

Figura 69. Modelo de Flujo de Aguas Subterráneas para el Acuífero Depósitos de Llanura Aluvial de Valledupar (Qlla). Junio de 2005. Planchas 27 III D, 34 I B y 34 I D.

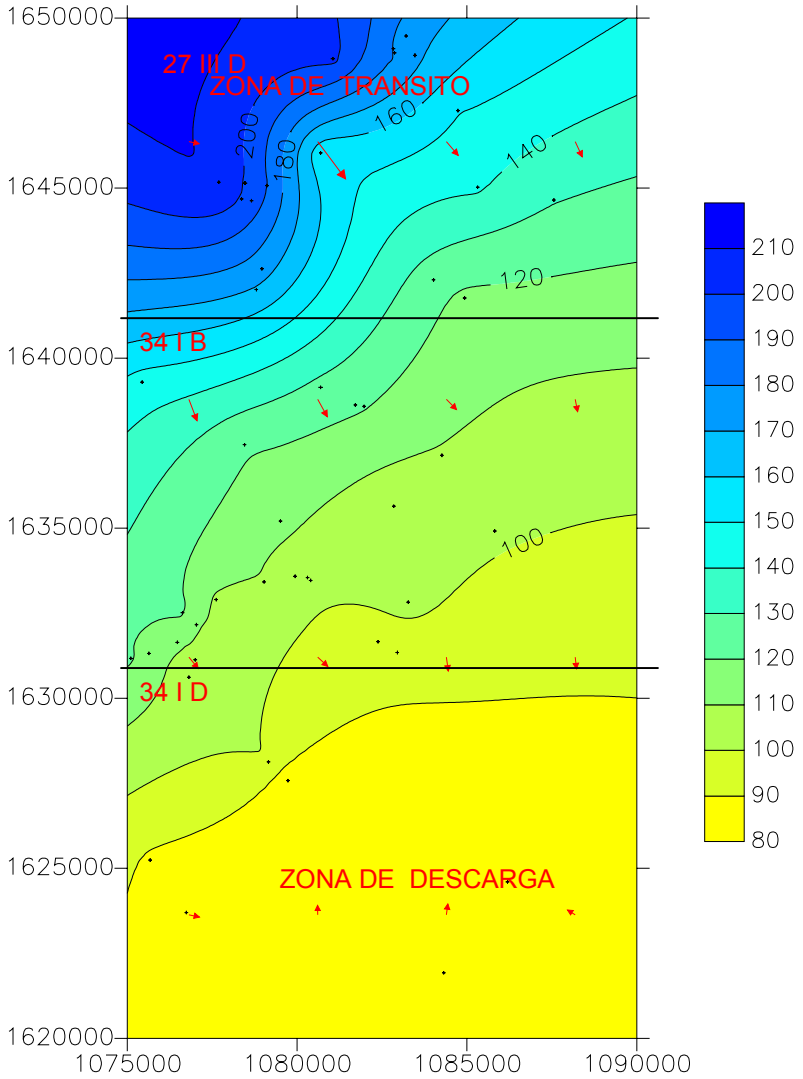
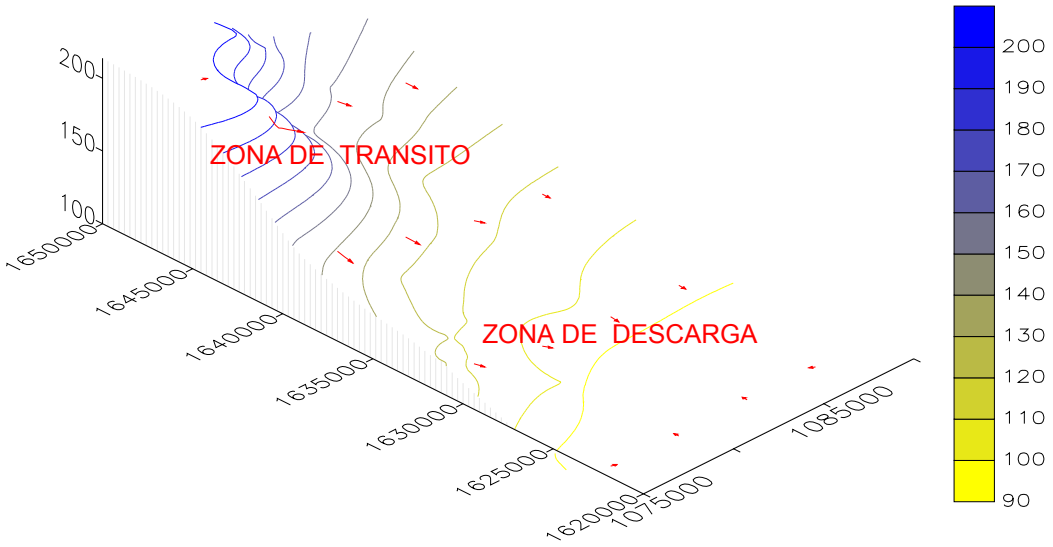


Figura 70. Modelo de Flujo de Aguas Subterráneas para el Acuífero Depósitos de Llanura Aluvial de Valledupar (Qlla) visto en tres dimensiones. Junio de 2005. Planchas 27 III D, 34 I B y 34 I D.



Considerando una sola unidad acuífera para la zona de estudio del convenio 047/2004 se observa que para el mes de junio de 2005 en el monitoreo de niveles de agua para los acuíferos Cuaternarios de Cono y Llanura Aluvial, el modelo de flujo sigue una trayectoria que va de norte a sur, desde la zona de descarga que no es apreciada en la gráfica, transitando por la zona de estudio y finalmente descarga en el Río Cesar.

Las líneas equipotenciales se incrementan a medida que el agua sigue la trayectoria de flujo, encontrándose valores entre 220 y 80 m. En promedio se tiene mediciones de niveles principalmente para las planchas 27 III D y 34 I B con valores que oscilan entre los 160 y 100 m.

Figura 71. Modelo de Flujo de Aguas Subterráneas para el Acuífero Depósitos de Llanura y Cono Aluvial de Valledupar (Qlla y Qca). Junio de 2005. Planchas 27 III B, 27 IV A, 27 III D, 27 IV C, 34 I B, 34 II A, 34 II C y 34 I D.

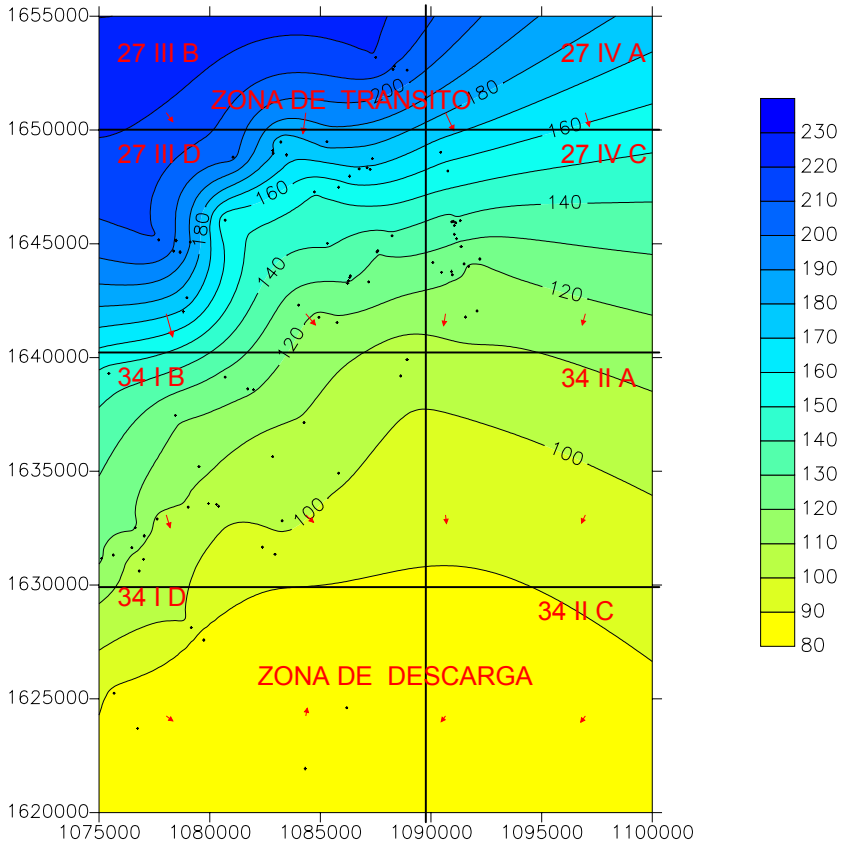
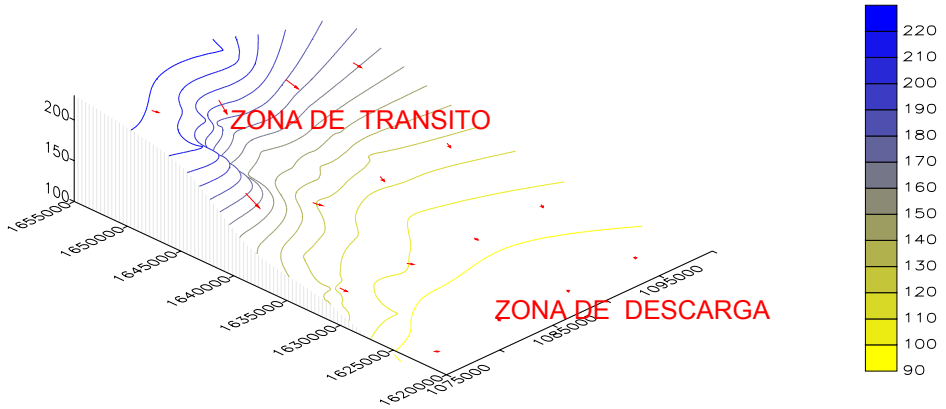


Figura 72. Modelo de Flujo de Aguas Subterráneas para el Acuífero Depósitos de Llanura y Cono Aluvial de Valledupar (Qlla y Qca) visto en tres dimensiones. Junio de 2005. Planchas 27 III B, 27 IV A, 27 III D, 27 IV C, 34 I B, 34 II A, 34 II C y 34 I D.



En general la red de flujo para el depósito Cuaternario de Cono Aluvial (Qca) para todos los meses presenta una trayectoria de flujo que va de norte a sur partiendo de las estribaciones de la Sierra Nevada de Santa Marta, transitando por la zona de estudio y descargando sus aguas en el río Cesar. El Cono Aluvial de Valledupar se encuentra conformado por las planchas 27 III B, 27 IV A, 27 III D, 27 IV C, 34 I B y 34 II A cuyos aljibes, pozos, aljibe pozos y manantiales fueron inventariados.

Durante los meses de marzo, mayo y junio se monitorearon los aljibes presentes en estas planchas, sin embargo en algunas campañas de campo no se alcanzó a lograr la total cobertura de monitoreo para este acuífero.

Las líneas equipotenciales del acuífero disminuyen a medida que el agua fluye a través de la zona de estudio, se tiene que para la plancha 27 III D, los valores oscilan entre 110 y 150 m, con máximos de 180 m para las zonas más altas, sin embargo de estos últimos no se tiene registros para los meses de Octubre-Diciembre de 2004 y Mayo de 2005; esta plancha presenta la mayor parte de los puntos inventariados y monitoreados del acuífero. Aproximadamente se presenta este mismo rango de valores para la plancha 27 IV C, que presenta un número inferior de aljibes inventariados y monitoreados.

La plancha 34 I B representa la zona de descarga del acuífero Cono Aluvial de Valledupar y presenta líneas equipotenciales del orden de 90 – 100 m para los meses de Octubre - Diciembre, Mayo y Junio, para el mes de Marzo no se tienen registros.

Las líneas equipotenciales para la plancha 27 III B se encuentran en el orden de 200 – 210 m, cuyos registros se tienen para los meses de Marzo y Junio de 2005. estas líneas representan la zona de transito más cercana a la zona de recarga.

Para las planchas 27 IV A y 34 II A no se tienen casi datos de monitoreo debido a la escasez de aljibes presentes en la zona de estudio y que por consiguiente fueron monitoreados.

El acuífero Depósitos Cuaternarios de Llanura Aluvial (Qlla) presenta un comportamiento similar a la red de flujo del acuífero Cono Aluvial de Valledupar, en la cual, el agua fluye de mayores a menores potenciales, partiendo de las estribaciones de la Sierra Nevada de Santa Marta, transitando por la zona de estudio y descargando sus aguas en el río Cesar. El agua subterránea se mueve en una dirección de flujo que va de noroeste a sur, aunque se observa a través de las gráficas que para algunos meses de inventario y monitoreo, esta red tiende a moverse de noroeste a sureste como es el caso de los meses de Octubre – Diciembre de 2004.

El acuífero Llanura Aluvial (Qlla) está compuesto por las planchas 27 III D, 34 I B y 34 I D, que para los meses de Marzo y Junio de 2005 se encuentran monitoreadas; para los meses de Octubre – Diciembre de 2004 y Mayo de 2005 se cuenta con registros solamente de las planchas 34 I B y 34 I D.

Las líneas equipotenciales para la plancha 34 I B se encuentran en un rango de valores que va de 95 a 120 m para todos los meses, no se observa variaciones significativas de cambios en los niveles estáticos. Para la plancha 27 III D, las líneas equipotenciales se encuentran entre 120 y 210 m, tanto para el mes de Marzo como para Junio de 2005.

La plancha 34 I D representa la descarga de aguas subterráneas al río Cesar, en esta se encuentran líneas equipotenciales del orden de 80 – 90 m para todas las mediciones de inventario y monitoreo de niveles.

No es posible realizar la comparación de los niveles de la tabla de agua para las mediciones realizadas durante el inventario y las realizadas durante el monitoreo de puntos de agua; debido principalmente a que se tienen datos puntuales que no son representativos para observar las variaciones en los niveles de la tabla de agua en tiempos determinados; además no se cuenta con la cobertura total de monitoreo de puntos de agua para todos los meses, debido a que las jornadas de campo fueron realizadas en sectores específicos.

13.2 MONITOREO DE PROPIEDADES FÍSICAS.

13.2.1 Depósitos Cuaternarios de Cono Aluvial (Qca), Marzo 2005.

La conductividad para el acuífero Cono Aluvial (Qca) para el mes de marzo se encuentra entre un rango de valores que va desde 50 hasta 850 μs/cm, se presenta un incremento de la conductividad en el corredor sur, sector de las ladrilleras y en la zona industrial localizada fuera del perímetro de Valledupar, en la cuales se encuentran valores de hasta 800 μs/cm; también hay que tener en

cuenta que está zona pertenece al área de descarga de aguas subterráneas, en la cual por movimiento natural del agua, la conductividad tiende a incrementarse.

El comportamiento de las isolineas de Sólidos Disueltos Totales para el Acuífero Cono Aluvial de Valledupar presenta la misma tendencia de la conductividad eléctrica, se presentan valores entre 20 y 420 mg/l, la concentración de SDT en las muestras de agua tomadas en las captaciones durante el monitoreo, aumenta a medida que estos puntos de agua se acercan a la zona de descarga.

Figura 73. Mapa de isoconductividad para el Acuífero Depósitos de Cono Aluvial (Qca). Marzo de 2005. Planchas 27 III B, 27 IV A, 27 III D y 27 IV C.

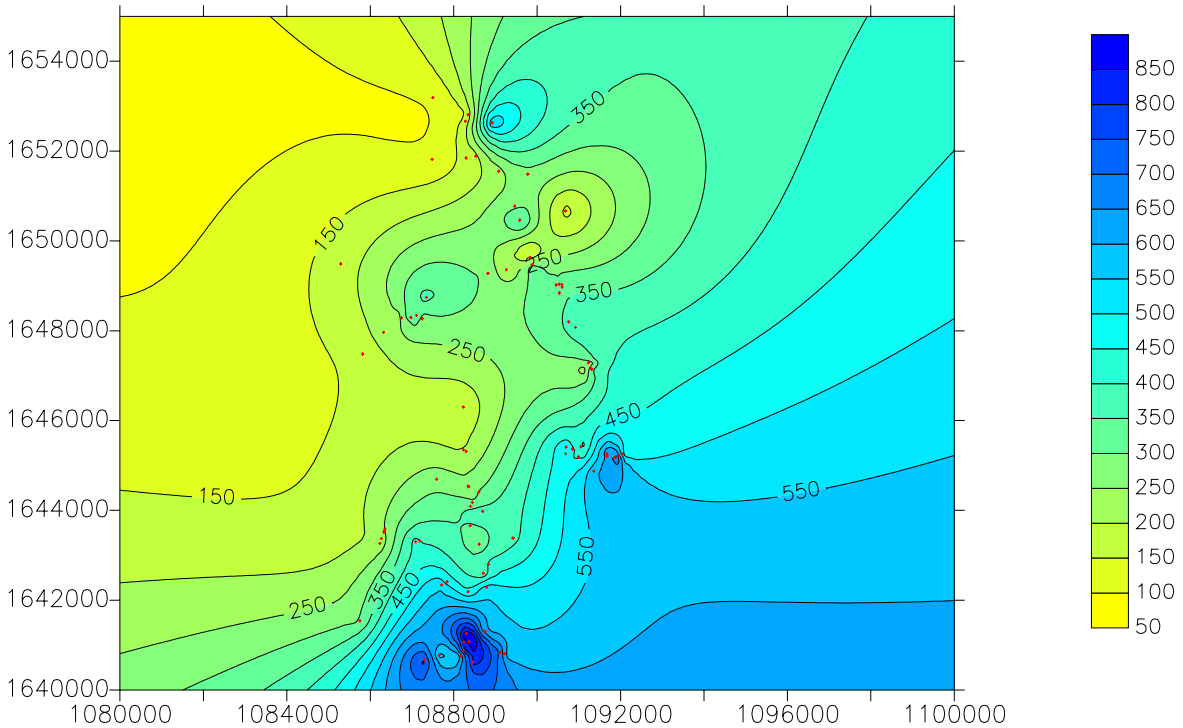
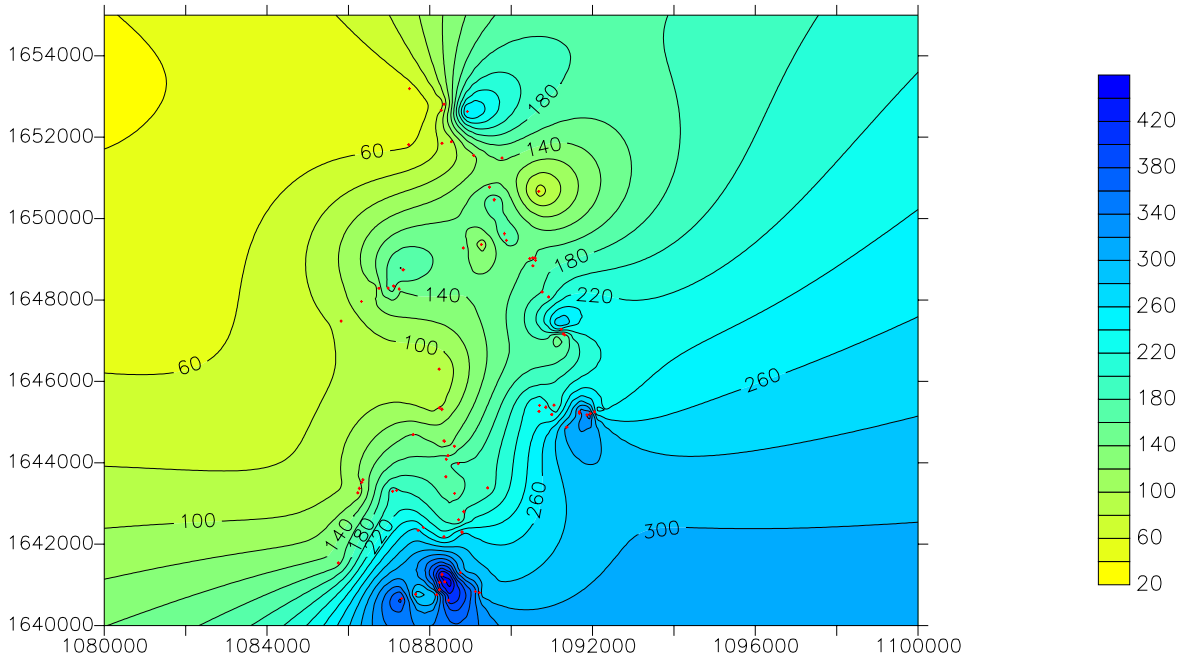


Figura 74. Mapa de isolineas de Sólidos Disueltos Totales (SDT) para el Acuífero Depósitos de Cono Aluvial (Qca). Marzo de 2005. Planchas 27 III B, 27 IV A, 27 III D y 27 IV C.



}

13.2.2 Depósitos Cuaternarios de Llanura Aluvial (Qlla) Marzo 2005

Los valores de la conductividad eléctrica para el mes de marzo en el acuífero Llanura Aluvial (Qlla) se encuentra en un rango de valores que oscila entre 100 y 1200 µs/cm, valores que se incrementan a medida que el agua fluye de noroeste a sureste siguiendo la dirección de la red de flujo. Los valores más altos de conductividad se presentan en zonas de descarga próximas al río Cesar, que le dan un carácter salobre al agua, sin embargo la mayor parte de la zona presenta agua dulce. Los puntos localizados en los predios Los Calabazos, Campo Azul y Mamonal presentan una disminución en el valor de la conductividad, que puede ser el resultado de la interacción entre el río Cesar y el acuífero.

Figura 75. Mapa de isoconductividad para el Acuífero Depósitos de Llanura Aluvial (Qlla). Marzo de 2005. Planchas 27 III D, 34 I B y 34 I D.

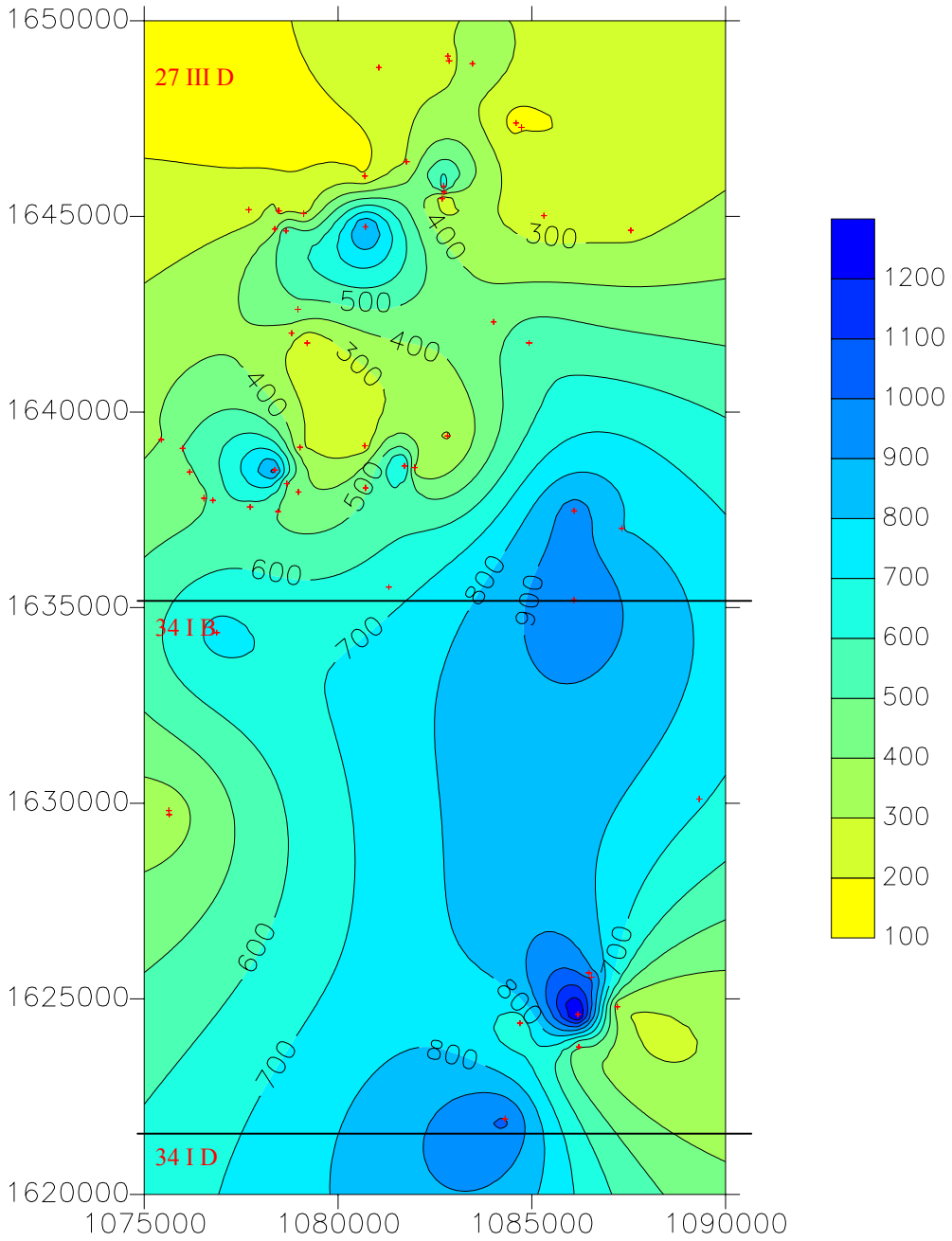
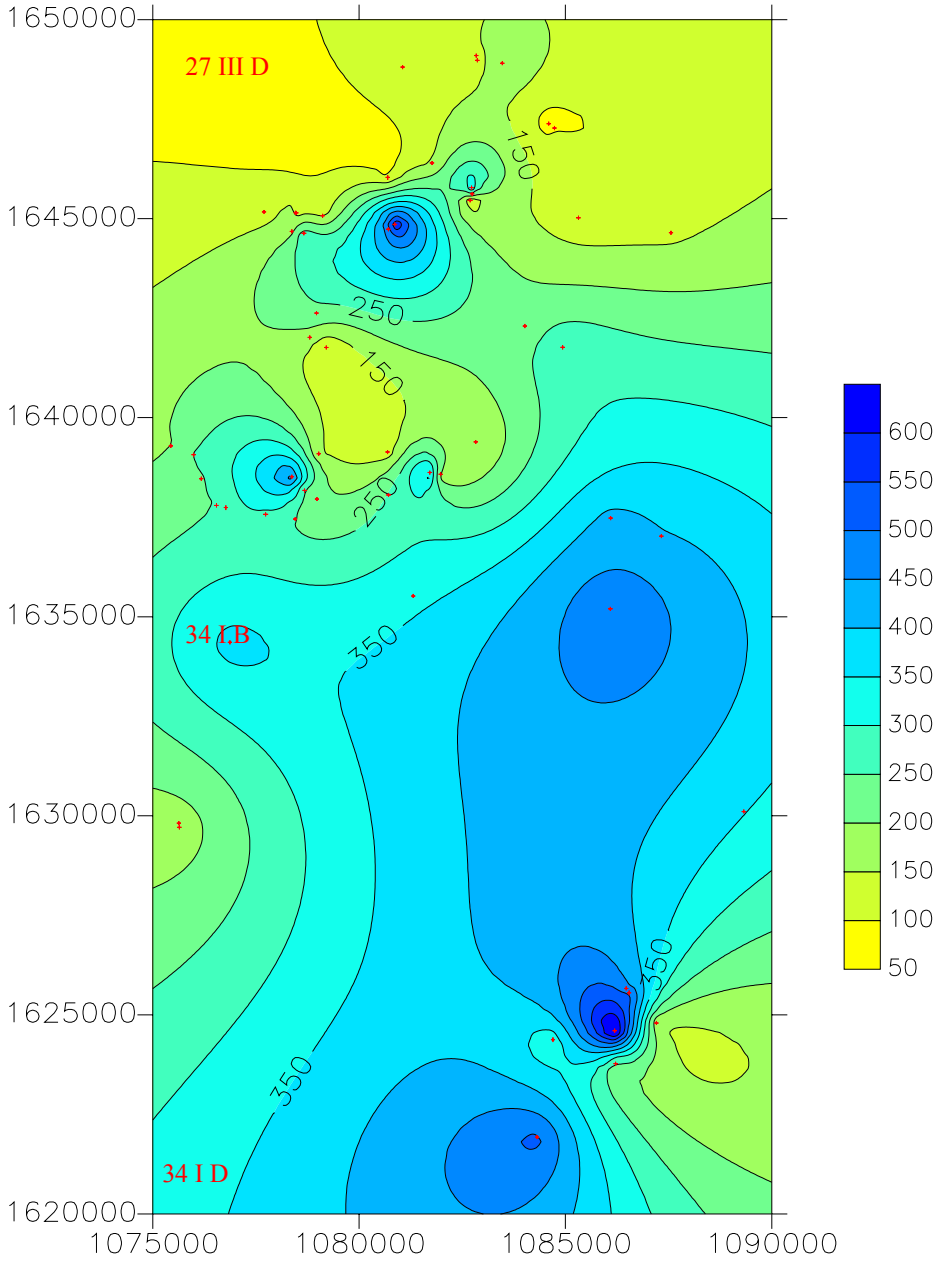
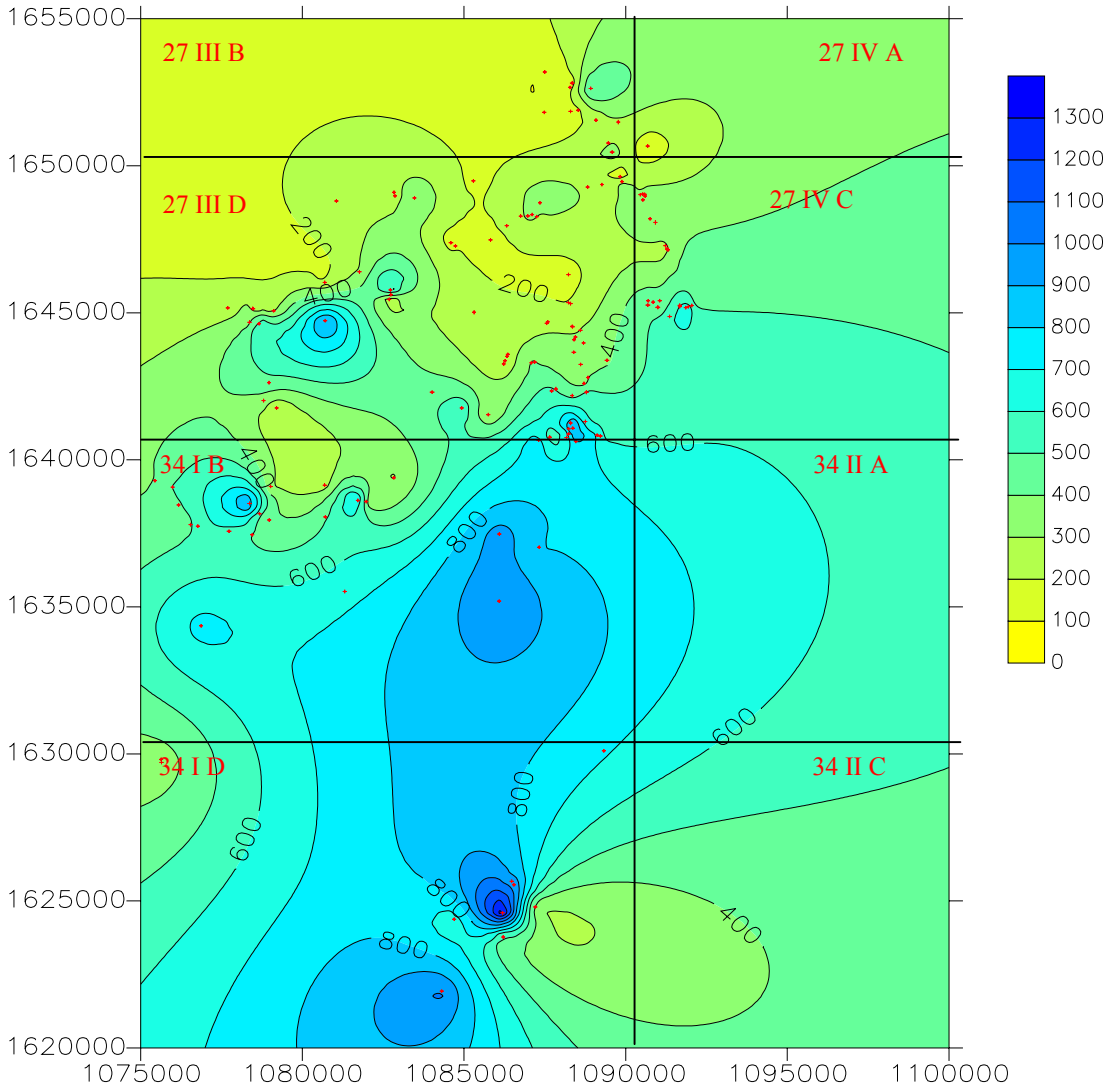


Figura 76. Mapa de isolineas de Sólidos Disueltos Totales (SDT) para el Acuífero Depósitos de Llanura Aluvial (Qlla). Marzo de 2005. Planchas 27 III D, 34 I B y 34 I D.



Las isolíneas de Sólidos Disueltos Totales presentan un comportamiento similar a la conductividad, para las cuales se tienen valores entre 50 y 600 mg/l, estos últimos localizados en el sector El Prado y Molino Rojo y en la proximidad a la descarga del río Cesar.

Figura 77. Mapa de isoconductividad para los Acuíferos Depósitos Cuaternarios de Llanura Aluvial (Qlla) y de Cono Aluvial (Qca). Marzo de 2005. Planchas 27 III D, 34 I B, 34 I D, 27 III B, 27 IV A, 27 IV C, 34 II A y 34 II C.



Tomando los dos acuíferos de estudio como una sola unidad acuífera es posible observar que los valores de conductividad oscilan entre 100 y 1300 µs/cm, que caracteriza al agua del acuífero

como dulce. La conductividad aumenta a medida que agua fluye en la dirección de flujo. Las zonas de descarga del agua subterránea presentan un incremento de la conductividad, que es el resultado del transporte del agua a través del acuífero. Es posible que se esté presentando un contacto hidráulico entre el acuífero y el río debido a la disminución de la conductividad en los aljibes Los Calabazos, Campo Azul y Mamonal cercanos al río.

13.2.3 Depósitos Cuaternarios de Cono Aluvial (Qca), Mayo 2005

Los valores de conductividad para el acuífero se encuentran en un rango entre 200 y 1500 µs/cm, que se van incrementando a medida que el agua fluye de mayores a menores potenciales. Se presenta un pico alto de valores de conductividad localizado en la zona de las Palmitas y antena la Voz del Cañaguate en la plancha 34 II A (zona de descarga del agua subterránea en el río Cesar) con valores de hasta 1500 µs/cm lo que le otorga al agua subterránea un carácter salobre, que en la mayoría de la unidad es dulce.

Las isolíneas de Sólidos Disueltos Totales presentan el mismo comportamiento que la conductividad eléctrica, se encuentran valores entre 100 y 750 mg/l. Las mediciones realizadas para el mes de mayo abarcan principalmente el monitoreo de la plancha 27 III D con valores de SDT promedio entre 200 - 400 mg/l.

Figura 78. Mapa de isoconductividad para el Acuífero Depósitos de Cono Aluvial (Qca). Mayo de 2005. Planchas 27 III D, 27 IV C, 34 I B y 34 II A.

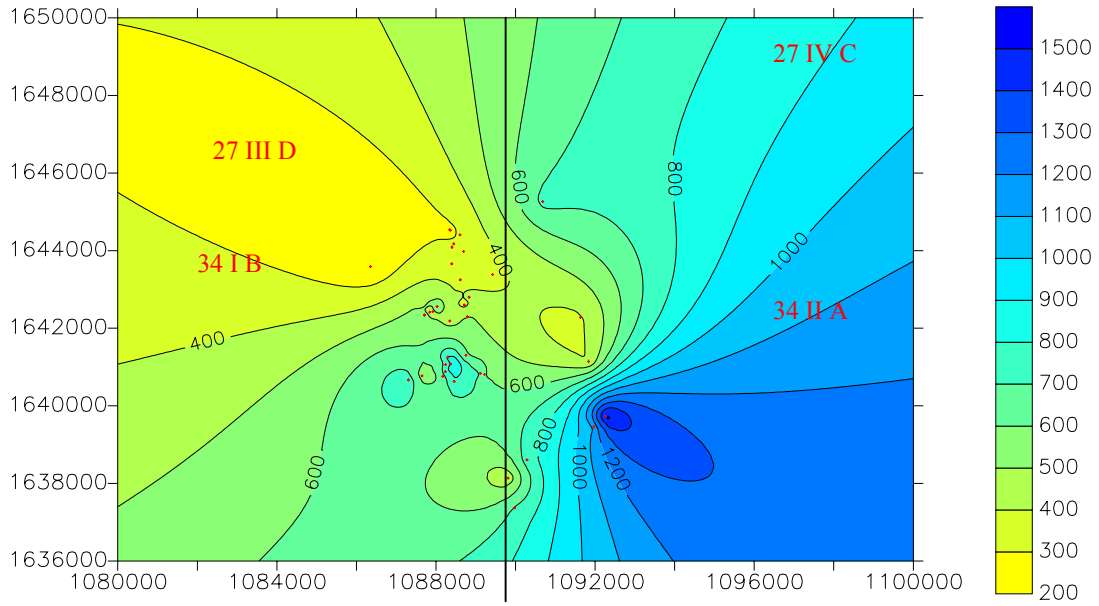
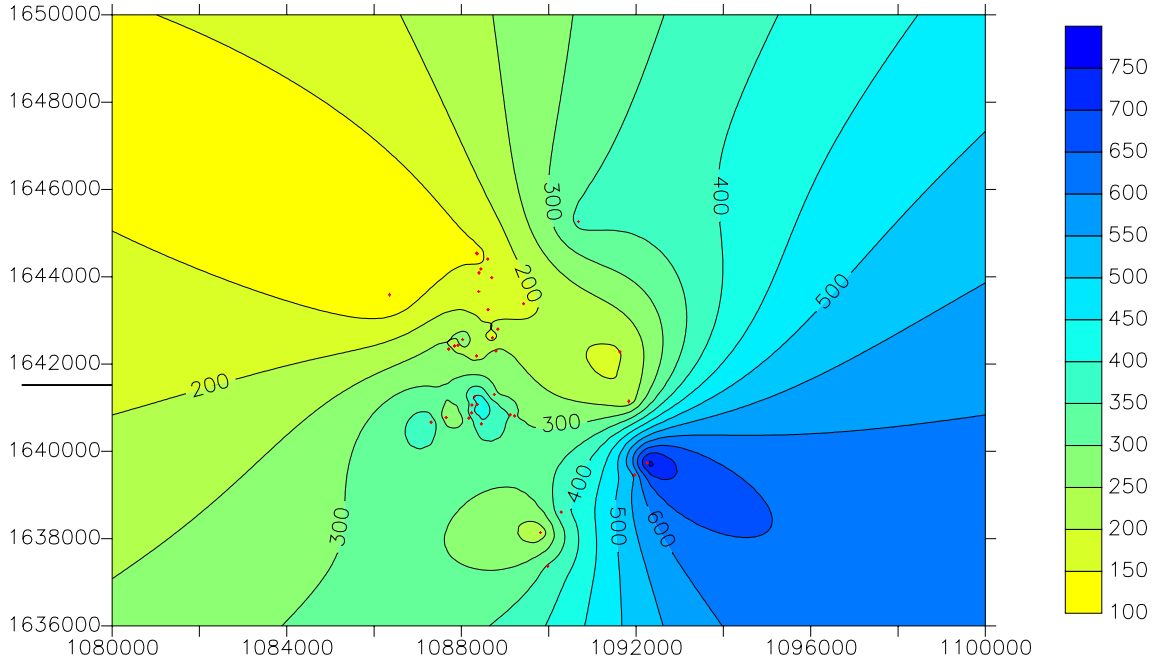


Figura 79. Mapa de isolineas de Sólidos Disueltos Totales (SDT) para el Acuífero Depósitos de Cono Aluvial (Qca). Mayo de 2005. Planchas 27 III D, 27 IV C, 34 I B y 34 II A.



13.2.4 Depósitos Cuaternarios de Llanura Aluvial (Qlla) Mayo 2005

La gráfica de isoconductividad y Sólidos Disueltos Totales SDT para el acuífero Depósitos Cuaternarios de Llanura Aluvial (Qlla) para el mes de mayo de 2005, indica un incremento de la conductividad en la dirección norte – sur, con valores que van desde 200 hasta 2600 µs/cm y 100 hasta 1300 mg/l respectivamente.

En la plancha 34 I D se observa una zona de concentración de altas conductividades localizadas en la pista de aterrizaje y los predios Monte Alegre y Molinete, que indican la presencia de posibles contaminantes en el área, ya que este lugar se encuentra todavía alejado de la zona de descarga que se identifica en la red de flujo para el monitoreo de niveles del mismo mes.

La gráfica de isolíneas de SDT presentan el mismo comportamiento que las graficas de isoconductividad, estas indican que la mayor parte del acuífero presenta agua dulce y que existe una zona de agua salobre representada por los altos valores de conductividad.

Figura 80. Mapa de isoconductividad para el Acuífero Depósitos de Llanura Aluvial (Qlla). Mayo de 2005. Planchas 34 I B y 34 I D.

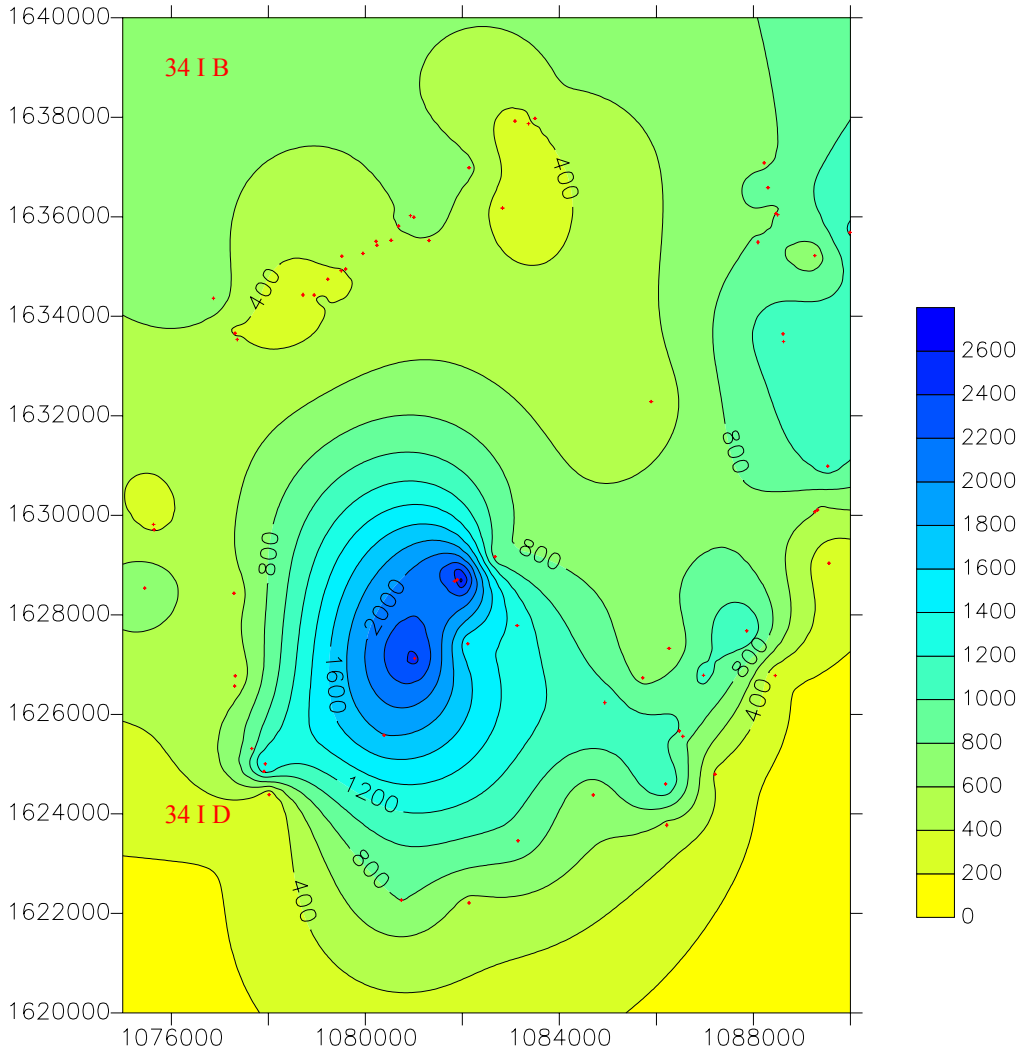
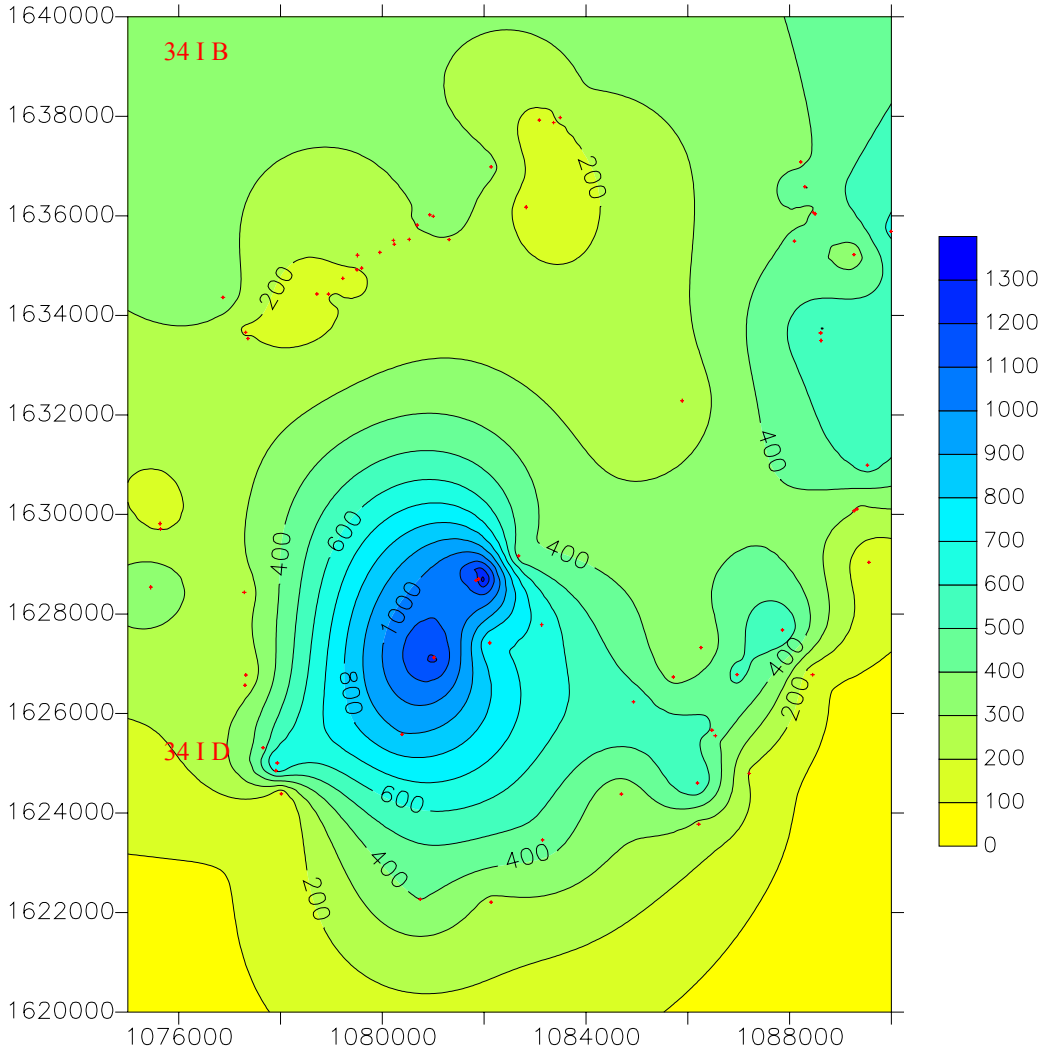


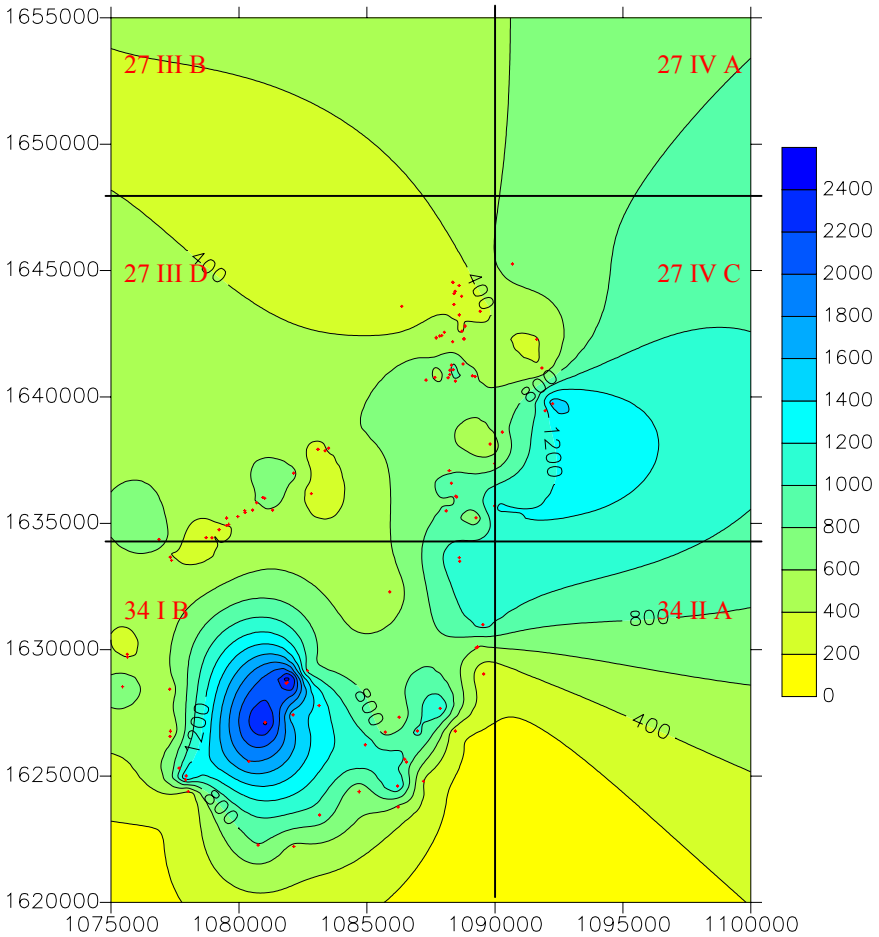
Figura 81. Mapa de isolineas de Sólidos Disueltos Totales (SDT) para el Acuífero Depósitos de Llanura Aluvial (Qlla. Mayo de 2005. Planchas 34 I B y 34 I D.



Considerando los acuíferos en estudio como una sola unidad acuífera, es posible observar por medio de la gráfica de isoconductividad que se presentan zonas de agua dulce y otras de agua salobre, estas últimas representadas en los picos de concentración de altas conductividades (valores de hasta 2400 µs/cm) en las pistas de aterrizaje y los predios Monte Alegre y las Palmitas. Se encuentra que las mediciones de conductividad realizadas sobre aljibes localizados en la zona de descarga de aguas subterráneas en el acuífero, presentan una disminución de la conductividad

a medida que se acercan al río Cesar, esto puede ser una respuesta a las lluvias que tienen lugar en la zona en el mes de mayo que ocasionan una interacción del cauce superficial con el agua subterránea.

Figura 82. Mapa de isoconductividad para los Acuíferos Depósitos Cuaternarios de Llanura Aluvial (Qlla) y de Cono Aluvial (Qca). Mayo de 2005. Planchas 27 III D, 34 I B y 34 I D, 27 III B, 27 IV A, 27 IV C, 34 II A y 34 II C.



13.2.5 Depósitos Cuaternarios de Cono Aluvial (Qca), Junio 2005

Las gráficas de isoconductividad e isolíneas de Sólidos Disueltos Totales SDT muestran la tendencia que tienen estas propiedades de incrementarse a medida que el agua fluye de mayores a menores potenciales. Se encuentran valores que oscilan entre 100 – 700 µs/cm y 60 – 360 mg/l respectivamente que indica que el agua de la unidad para este mes de monitoreo es dulce. Es posible observar que en la plancha 27 IV C existe un corredor de aljibes monitoreados con conductividades entre 400 y 600 µs/cm, localizados en el corredor industrial de Valledupar y predios pertenecientes al área rural del municipio, que aunque no le dan carácter salobre al agua, representa una zona de alta explotación y por consiguiente una adecuada preservación.

Figura 83. Mapa de isoconductividad para el Acuífero Depósitos de Cono Aluvial (Qca). Junio de 2005. Planchas 27 III B, 27 IV A, 27 III D, 27 IV C, 34 I B y 34 II A.

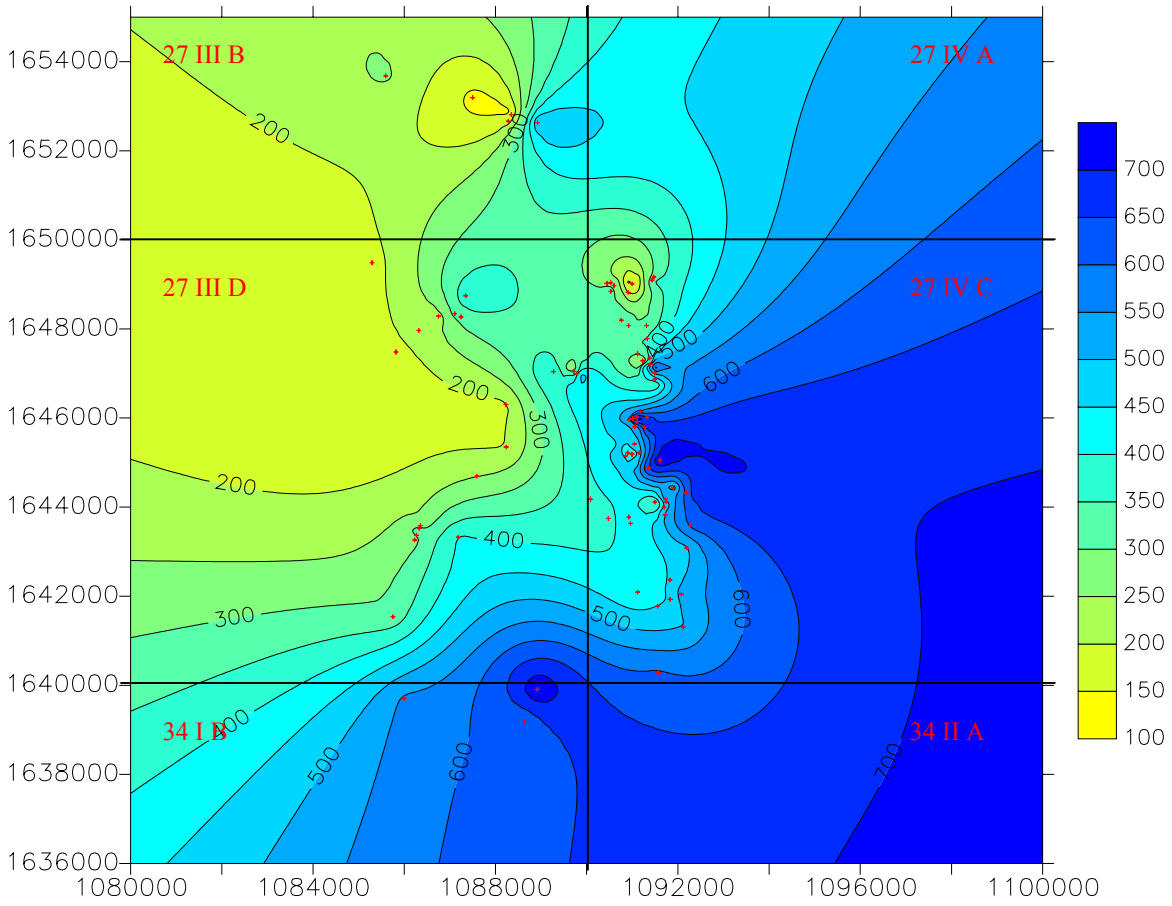
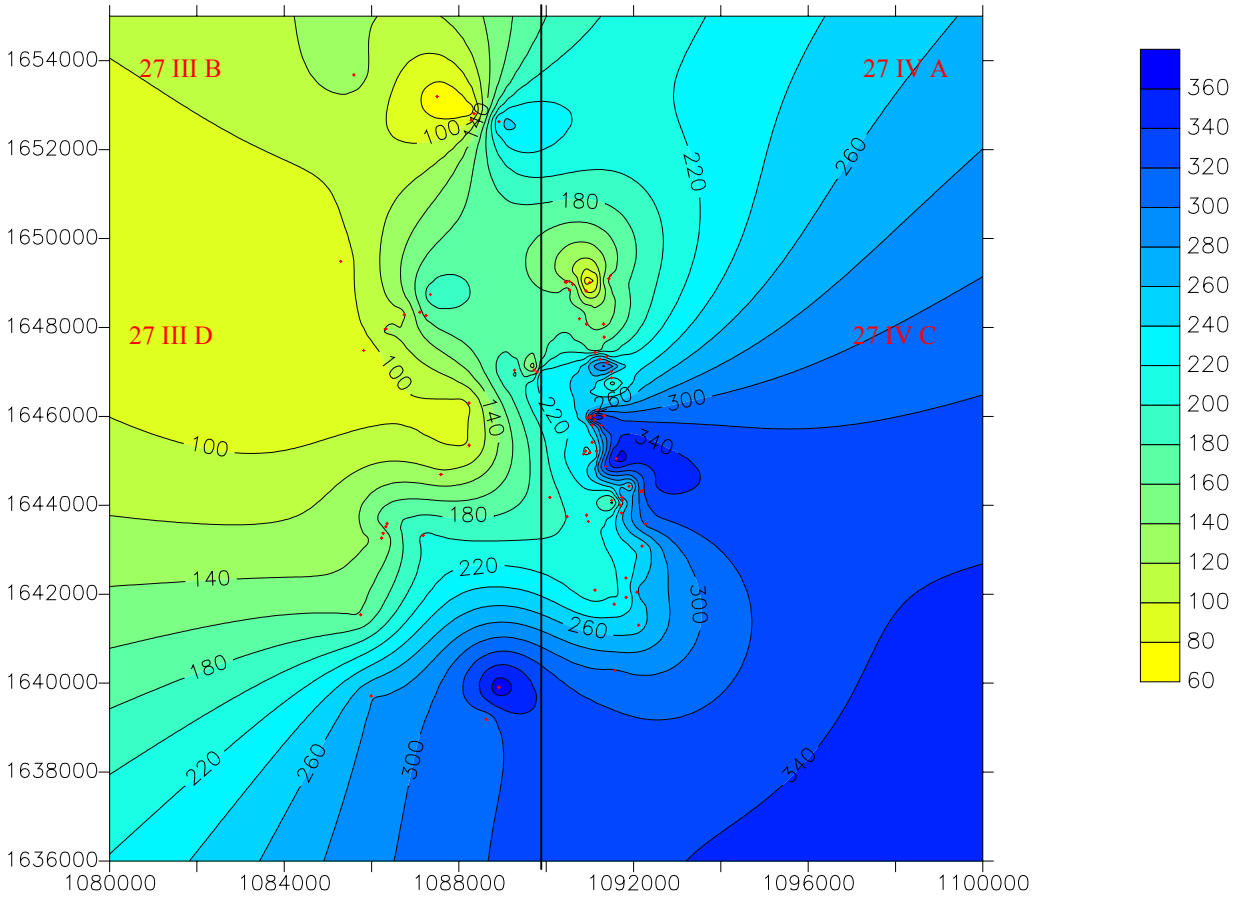


Figura 84. Mapa de isolineas de Sólidos Disueltos Totales (SDT) para el Acuífero Depósitos de Cono Aluvial (Qca). Junio de 2005. Planchas 27 III B, 27 IV A, 27 III D, 27 IV C, 34 I B y 34 II A.



13.2.6 Depósitos Cuaternarios de Llanura Aluvial (Qlla)

El monitoreo de propiedades físicas del agua en campo para el mes de junio de 2005 en el acuífero Depósitos Cuaternarios de Llanura Aluvial (Qlla) indican la presencia de agua dulce en la mayor parte de la unidad acuífera con valores de conductividad entre 200 y 1000 µs/cm y 100 y 500 mg/l para los SDT. Sin embargo existe una zona de altas concentraciones de conductividad localizada en la plancha 34 I B en el predio El Retiro cerca de la pista de aterrizaje en la cual los valores de conductividad alcanzan los 2200 µs/cm, que indica la presencia de agua salobre.

El comportamiento de las isolíneas de SDT es similar, se observa el incremento de los SDT de norte a sur a medida que el agua fluye a través de la zona de estudio.

Figura 85. Mapa de isoconductividad para el Acuífero Depósitos de Llanura Aluvial (Qlla). Junio de 2005. Planchas 27 III D, 34 I B y 34 I D.

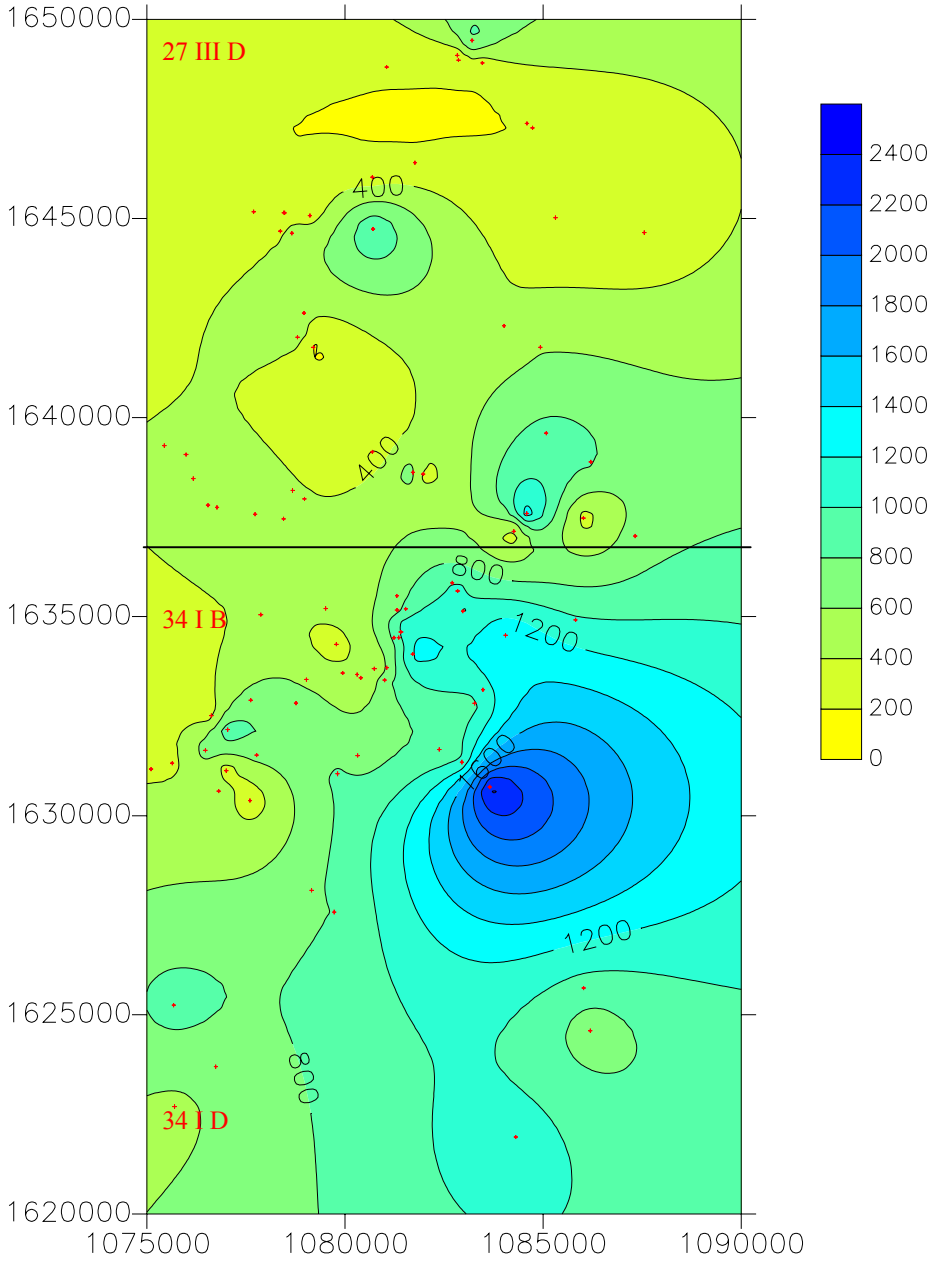
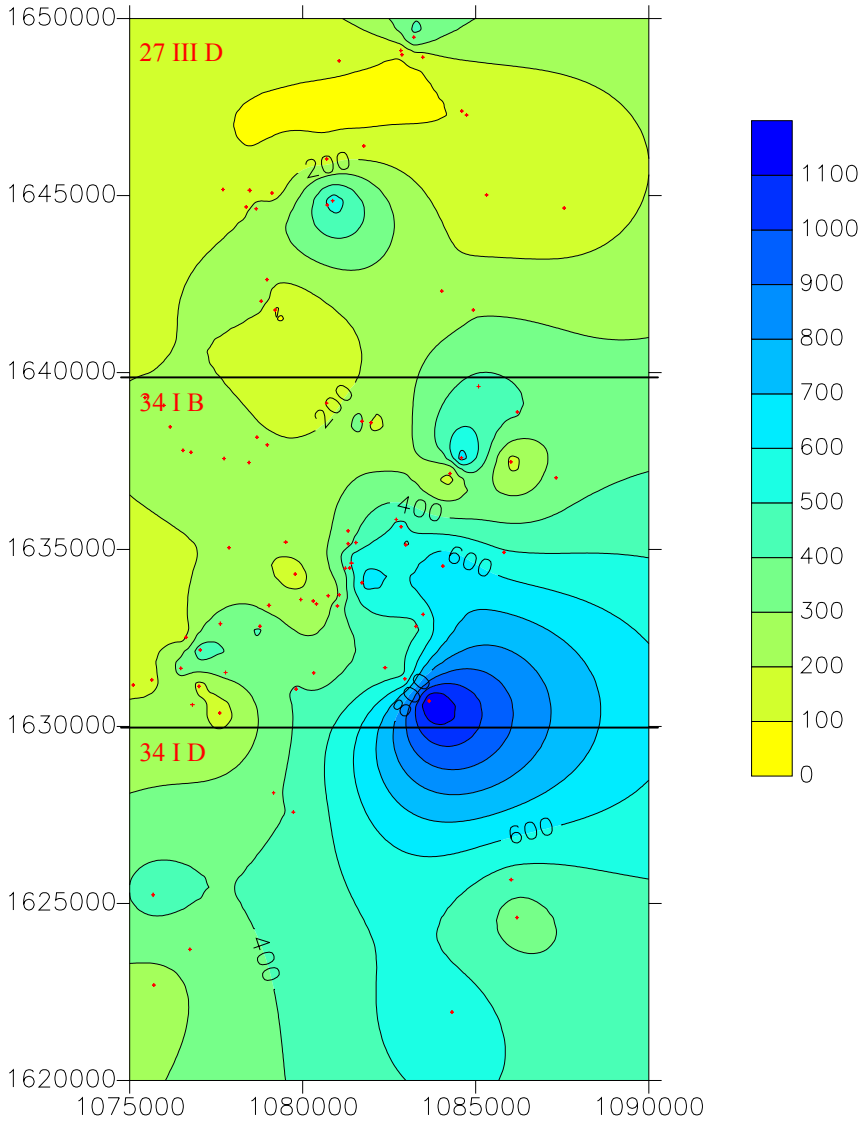


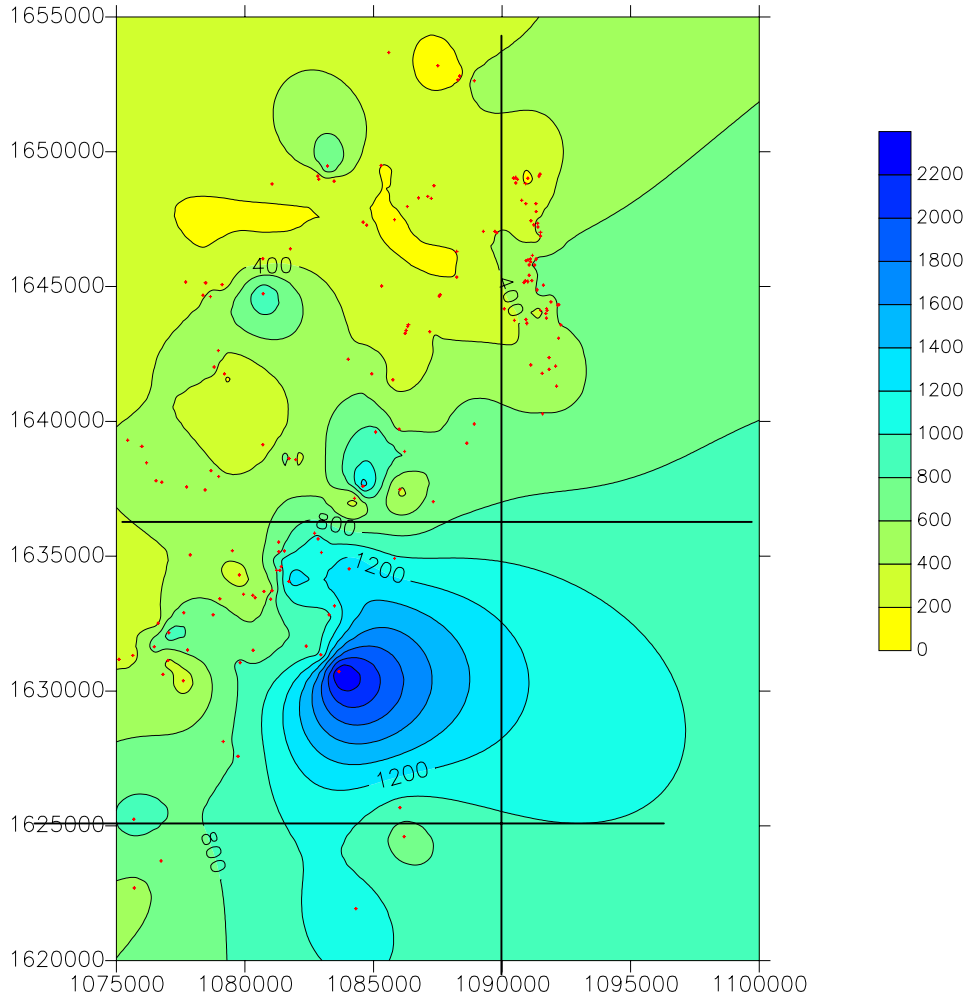
Figura 86. Mapa de isolineas de Sólidos Disueltos Totales (SDT) para el Acuífero Depósitos de Llanura Aluvial (Qlla). Junio de 2005. Planchas 27 III D, 34 I B y 34 I D.



Considerando para la zona de estudio una sola unidad acuífera compuesta por los Depósitos Cuaternarios de Cono y Llanura Aluvial, se observa que el comportamiento de las líneas de isoconductividad, se rige por el transporte del agua subterránea a través de la zona de estudio, en la cual estas se incrementan a medida que el agua fluye de norte a sur en la unidad acuífera. El rango de valores de conductividad se encuentra entre los 200 y 2200 µs/cm, estos últimos

representados principalmente en la zona de localización de la pista de aterrizaje (plancha 34 I B). Para este mes no se observa disminución de la conductividad en las muestras de agua de aljibes que se hallan en las cercanías del río Cesar, este puede ser causado por las bajas precipitaciones del mes que no permiten el contacto hidráulico entre la fuente de agua superficial y la subterránea.

Figura 87. Mapa de isoconductividad para los Acuíferos Depósitos Cuaternarios de Llanura Aluvial (Qlla) y de Cono Aluvial (Qca). Junio de 2005. Planchas 27 III D, 34 I B y 34 I D, 27 III B, 27 IV A, 27 IV C, 34 II A y 34 II C.



13.3 Caracterización FISICO QUIMICA Y BACTERIOLOGICA

Labor importante para la finalidad el estudio, lo constituye la realizada durante el segundo semestre del año 2005, y que está representada por el muestreo de aguas provenientes de pozos y aljibes, alcanzando aproximadamente una cobertura del 65% de los puntos inventariados, con el propósito de llevar a cabo la determinación de los valores de parámetros que influyen en la aptitud para riego agrícola del agua, además de haberse llevado a cabo por iniciativa de las entidades ejecutoras (Corpocesar – Ideam) análisis bacteriológicos a una muestra menor, pero igualmente representativa, de los puntos en cuestión.

En el caso de los análisis físico químicos, la tarea se adelantó por parte de la Universidad Popular del Cesar (con la cual Corpocesar suscribió un convenio), a través del Centro de Investigación para el Desarrollo de la Ingeniería en su Laboratorio de Consultas Industriales, con el objetivo de valores los siguientes parámetros:

- Potencial de hidrógeno, pH
- Conductividad Eléctrica, C.E.
- Calcio, Ca
- Magnesio, Mg
- Sodio, Na
- Potasio, K
- Bicarbonatos, HCO_3^-
- Carbonatos, CO_3^{-2}
- Sulfatos, SO_4^{-2}
- Nitratos, NO_3^-
- Cloruros, Cl^-
- Relación de Absorción de Sodio, RAS
- Nitritos, NO_2^-
- Sólidos Totales Disueltos, STD
- Dureza
- Alcalinidad
- Hidróxidos, OH^-
- Hierro, Fe
- Hierro Total, Fe T
- Manganeso, Mn
- Manganeso Total, Mn T
- Boro

Estos parámetros son los evaluados normalmente por la Corporación Colombiana Corpoica en sus investigaciones sobre el sector agropecuario, por lo que se adoptaron para el presente estudio.

En el caso de los análisis bacteriológicos, se contó con la participación de la Secretaría de Salud Departamental del Cesar, a través del Laboratorio de Análisis Bromatológico, en donde se llevó a cabo el recuento de unidades formadoras de colonia en lo que tiene que ver con coliformes fecales y totales.

La evaluación de la disponibilidad y la calidad del agua subterránea resultan a partir de estudios hidrogeológicos que conducen a la determinación de si el agua es apta para riego o para consumo humano o uso industrial.

En el campo agropecuario, el riesgo potencial del riego con agua de mala calidad es la incorporación de sodio al suelo, aunque también existe riesgo de salinidad y toxicidad específicas;

el Sodio actúa desmejorando la estructura del suelo, impidiendo la penetración del agua en el suelo y deteriorando progresivamente la aptitud del mismo. Aunque en el mundo es común el uso de agua salinas o sódicas en zonas áridas y semiáridas, la introducción de sodio y de otros cationes en la solución del suelo puede imponer un estrés en los cultivos disminuyendo el rendimiento agrícola a obtener.

La composición y concentración de las sales en el suelo puede afectar el crecimiento de las plantas debido a efectos osmóticos, tóxicos y a cambios en las propiedades del suelo

Los criterios prevalentes para calidad de agua para riego y su asociación con el peligro potencial para los cultivos son la salinidad, sodicidad y la toxicidad.

13.3.1. Salinidad.

Los efectos de las sales en el crecimiento de los cultivos son, en su mayoría, osmóticos, y están relacionados con la concentración total de sales. El parámetro más importante para determinar la calidad del agua desde el punto de vista de la salinidad es la **concentración total de sales (CTS)**, el cual es usado para estimar el potencial osmótico de la solución. La conductividad eléctrica es una medida de la CTS, y se basa en el principio de que la cantidad de una corriente transmitida por una solución salina en condiciones estándares se incrementa al aumentar la concentración de sales en solución.

13.3.2. Sodicidad

El riesgo está asociado a la excesiva cantidad de sodio intercambiable en el suelo, lo cual produce disminución en la permeabilidad y deterioro en la estructura del suelo. La cantidad de sodio en el suelo se expresa a través del porcentaje de sodio intercambiable (PSI), calculado como la relación entre el sodio de intercambio y la capacidad de intercambio de cationes. La relación de absorción de sodio (RAS) es una medida efectiva del peligro potencial de sodio del agua que está en equilibrio con el suelo: si se utilizan aguas con una apreciable concentración de bicarbonatos, parte de estos se precipitan como carbonato de calcio cuando la concentración aumente por evapotranspiración. Esta precipitación causa una disminución de la salinidad, pero incrementa la proporción relativa de sodio en el sodio al disminuir el calcio que precipita como carbonato y por ende aumenta el valor del RAS.

13.3.3 Toxicidad.

Se produce por la acción directa de algunos solutos sobre los cultivos.

13.3.4. Procesos básicos de concentración y desplazamiento de sales en el suelo.

Cuando se riega un cultivo, este toma buena parte del agua dejando la mayoría de las sales solubles en el suelo. Este proceso incrementa la concentración de cada constituyente en proporción a la disminución del volumen de agua dejado en el suelo. Cuando se riega nuevamente o se produce una lluvia que compensa el agua tomada por el cultivo, esta desplaza una parte de la solución de suelo preexistente hacia una mayor profundidad, tomando efectivamente el lugar de la solución previa. Así, la composición del agua del suelo es esencialmente la del nuevo incremento de agua aplicada, hasta que el cultivo tenga la oportunidad de remover agua por transpiración y los solutos que han sido agregados o removidos por el nuevo volumen de agua que ingresa al suelo por disolución, intercambio iónico o precipitación. El volumen correspondiente a la solución desplazada contiene generalmente una mayor concentración de sales disueltas que las sales presentes en el agua agregada.

13.4 Clasificación de aguas para riego.

Tomando como base la clasificación establecida por el Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos de Norteamérica, se tiene que la salinidad y el contenido de sodio son factores determinantes en la evaluación de la aptitud del agua con fines de riego agrícola. Los criterios para la calificación de la calidad del agua mayormente están dados por el contenido de Sodio (a través de la RAS) y la salinidad (a través de la Conductividad Eléctrica). En la gráfica 46 se observa la representación de las normas aludidas y se incluye una guía para la interpretación de la misma, a partir de los resultados que se obtienen en laboratorio.

Figura 88. Normas para calidad de agua para riego.(Servicio de Conservación de Suelos, Estados Unidos de Norteamérica)

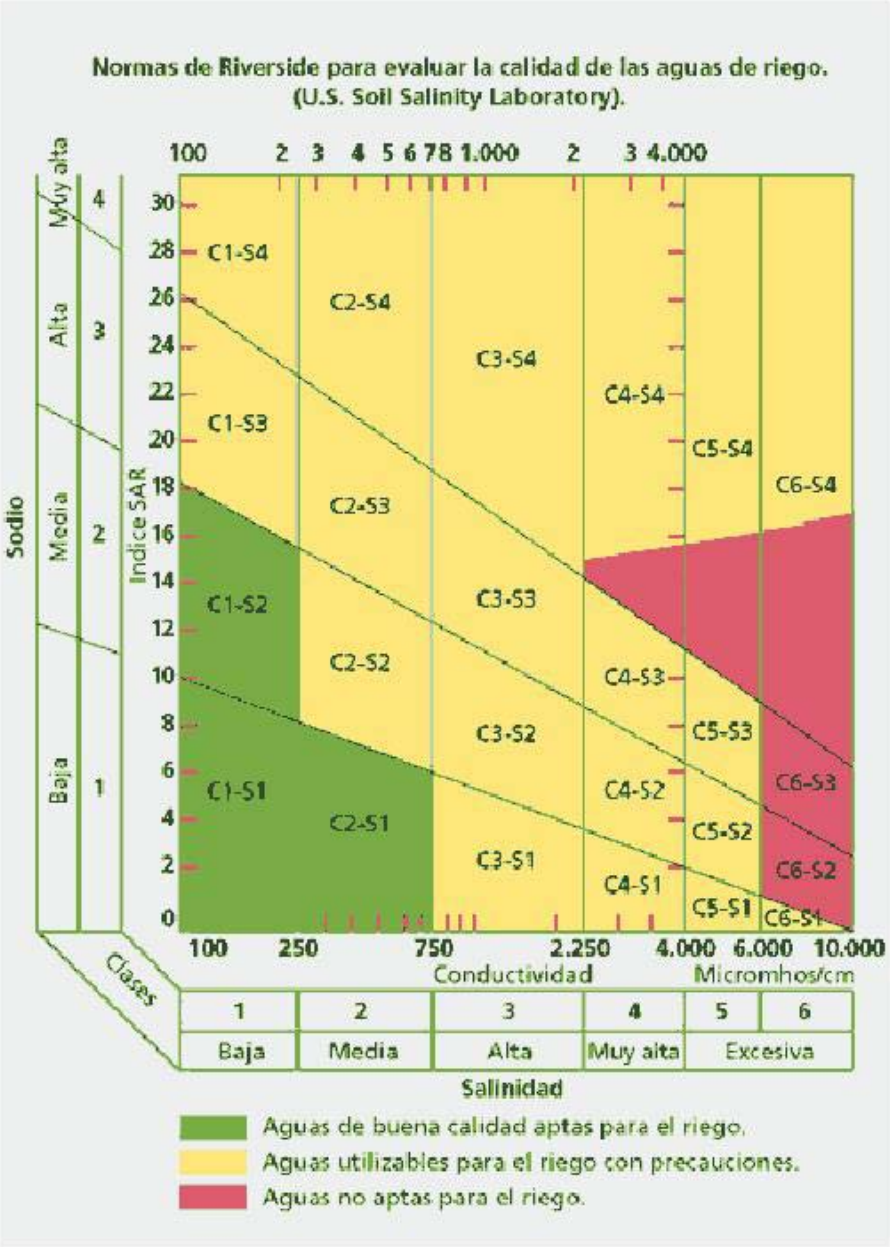


Tabla 28 Valores para interpretación de calidad de agua subterránea para riego

TABLA DE VALORES PARA INTERPRETACIÓN

Tipo	Calidad y norma de uso del agua
C1	Agua de baja salinidad, apta para el riego en todos los casos. Pueden existir problemas solamente en suelos de muy baja permeabilidad.
C2	Agua de salinidad media, apta para el riego. En ciertos casos puede ser necesario emplear volúmenes de agua en exceso y utilizar cultivos tolerantes a la salinidad.
C3	Agua de salinidad alta que puede utilizarse para el riego en suelos con buen drenaje, empleando volúmenes en exceso para lavar el suelo y utilizando cultivos tolerantes a la salinidad.
C4	Agua de salinidad muy alta que en muchos casos no es apta para el riego. Sólo debe usarse en suelos muy permeables y con buen drenaje, empleando volúmenes en exceso para lavar sales del suelo y utilizando cultivos muy tolerantes a la salinidad.
C5	Agua de salinidad excesiva, que sólo debe emplearse en casos muy contados, extremando todas las precauciones apuntadas anteriormente.
C6	Agua de salinidad excesiva, no aconsejable para riego.
S1	Agua con bajo contenido en sodio, apta para el riego en la mayoría de los casos. Sin embargo, pueden presentarse problemas con cultivos muy sensibles al sodio.
S2	Agua con contenido medio de sodio, y por tanto, con cierto peligro de acumulación de sodio en el suelo, especialmente en suelos de textura fina (arcillosos y franco-arcillosos) y de baja permeabilidad. Deben vigilarse las condiciones físicas del suelo y especialmente el nivel de sodio cambiable del suelo, corrigiendo en caso necesario.
S3	Agua con alto contenido de sodio y gran peligro de acumulación del sodio en el suelo. Son aconsejables aportaciones de materia orgánica y el empleo de yeso para corregir el posible exceso de sodio en el suelo. También se requiere un buen drenaje y el empleo de volúmenes copiosos de riego.
S4	Agua con contenido muy alto de sodio. No es aconsejable para el riego en general, excepto en caso de baja salinidad y tomando todas las precauciones apuntadas.

Los resultados obtenidos se han representado luego de un análisis preliminar en los mapas que se encuentran adjuntos al reporte actual. Se presenta, en una escala 1:100.000, los siguientes mapas:

- Potencial de hidrógeno (pH) medido en campo en acuíferos captados por Aljibes.
- Potencial de hidrógeno (pH) medido en campo en acuíferos captados por Pozos.
- Conductividad Eléctrica del agua en acuíferos captados por Aljibes.
- Conductividad Eléctrica del agua en acuíferos captados por Pozos.
- Relación de absorción de Sodio en acuíferos captados por Aljibes.
- Relación de absorción de Sodio en acuíferos captados por Pozos.
- Clasificación de la aptitud del agua para riego

Estos mapas han sido preparados en software del tipo Sistemas de Información Geográfica, a partir tanto de la información tomada en campo durante la ejecución del estudio, como de la información obtenida en laboratorio por parte la Universidad popular del Cesar, a través del Laboratorio de Aguas del centro de Investigación para el desarrollo de la ingeniería.

De los mapas en cuestión se deduce preliminarmente, aunque con gran aproximación, lo siguiente:

Las aguas subterráneas de la zona de estudio presentan en todos los puntos muestreados (pozos y aljibes), con excepción de dos, un adecuado valor de pH para riego. Los dos puntos a que se hace alusión superan el límite de 8.5 adoptado en la clasificación.

La conductividad eléctrica del agua subterránea captada en aljibes (parte superior del acuífero) en la zona de estudio presenta variaciones en su clasificación, desde Excelente, hasta No apropiada, resaltándose que sólo un aljibe presentó valor No Apropiado y que mayoritariamente se encuentran aguas cuya C.E. está en el rango de 250 a 750 µS/cm, seguidas de aguas en el rango de 750 a 2000 µS/cm. En el abanico aluvial de Valledupar se destaca la presencia de aguas de Excelente calidad desde el punto de vista de la conductividad. **El modelo de flujo inicialmente conceptualizado se confirma con los datos generados.**

La RAS indica que en la parte superior del acuífero, captado por aljibes, predominan aguas con riesgo bajo de presencia de Sodio, aunque se tiene un sector al sureste del corregimiento de Valencia de Jesús en donde los valores de la Ras superan el límite máximo de 26, con lo que se tiene allí un Muy Alto Riesgo de presencia de Sodio en el agua para riego, lo cual obliga a descartarla para dicha actividad o a tomar medidas extremas desde el punto de vista ambiental y agrícola. En cuanto al agua captada por pozos, se observa que en la totalidad del área las aguas presentan riesgo Bajo por presencia de Sodio, seguramente debido a que los acuíferos que son captados por tales pozos aún no han sido afectados por la actividad agrícola

Finalmente, desde el punto de vista de la clasificación del agua subterránea y la interpretación correspondiente, se tiene que las aguas muestreadas, que se recogieron en forma proporcional en la mayor parte de la zona de estudio, son aptas para riego (Clases C1-S1 a C2-S1) y utilizables para riego con precauciones (Clases c1-S3 a C5-S3), con valores muy cercanos a la clase de aguas no aptas para riego en el sector geográfico aludido antes (sureste del corregimiento de Valencia de Jesús).

Se destaca que las aguas muestreadas se ubican predominantemente, en su orden por extensión superficial de mayor a menor, en las unidades geológicas Llanura Aluvial del Río Cesar (rocas sedimentarias), Abanico Aluvial de Valledupar (rocas sedimentarias), Terrazas (rocas sedimentarias) e Ignimbritas (Rocas Ígneas).