

CAPITULO 3 Consideraciones sobre la calidad de las aguas de pozo

3.1 Las características de la calidad de las aguas en la Sabana de Bogotá

Se llaman amonio-nitrógeno, nitrito-nitrógeno, y nitrato-nitrógeno genéricamente los compuestos de nitrógeno. Se usan compuestos de nitrógeno como índices para las aguas contaminadas llenas de materia orgánica. Esto es porque el nitrógeno orgánico contenido en las proteínas, aminoácidos, urea, etc., cuando están en el agua, se disuelven en amonio-nitrógeno que se convierten en nitritos de nitrógeno cuando se oxidan y entonces luego en nitratos de nitrógeno cuando oxidan completamente. La presencia de muchos iones del amonio indica un estado de desoxidación, mientras que la presencia de muchos iones de los nitratos indica un estado de oxidación. En toda la Sabana de Bogotá, el amoníaco mayor al valor normal se descubrió pero los nitratos de nitrógeno y nitritos de nitrógeno raramente excedieron el valor estándar. Esto indica que toda la Sabana de Bogotá está en un proceso de desoxidación. Esta tendencia también está clara del hecho que, entre los compuestos de azufre, se encontraron sulfatos pequeños mientras una concentración alta de sulfuro de hidrógeno se descubrió en toda la Sabana de Bogotá. Aunque también se descubrieron hierro y manganeso que exceden los valores estándar en toda la Sabana de Bogotá, se asume que esto es debido a un estado de desoxidación de las aguas subterráneas, el hierro y el manganeso en los estratos se había disuelto como iones hierro y manganeso.

3.2 Características de hidrogeológicas

(1) Componentes de iones mayores

La Figura 3.1 muestra, el resultado de las pruebas de la Fase 1, el balance iónico entre los mayores cationes (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{2+} , y NH_4^+) y aniones (NO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , y CO_3^{2-}) en la composición de las aguas subterráneas. (El Fe total se asumió en las pruebas pero el hierro divalente [Fe^{2+}] se asumió en este análisis porque, generalmente, el agua subterránea contiene principalmente hierros divalentes.) Como el balance iónico entre los cationes totales y los aniones totales es idealmente 1:1, se supone que el balance de los iones mayores con los iones de alta concentración en el área del estudio se aproxima a 1:1 sin límite. Sin embargo, la Figura 3.1 muestra que el resultado sobre el total es desbalanceado (hay excesivamente más aniones que cationes).

Entre los ítems que excedieron los valores estándar en toda el área del estudio, el sulfato (SO_4^{2-}) excedió significativamente el valor estándar en muchos de los pozos, solamente en la Fase 1, y mostró un valor muy diferente al de la Fase 2. Si se remueve el sulfato de los aniones mayores, los resultados son como se muestra en la Figura 3.2, la cual indica un balance iónico muy mejorado.

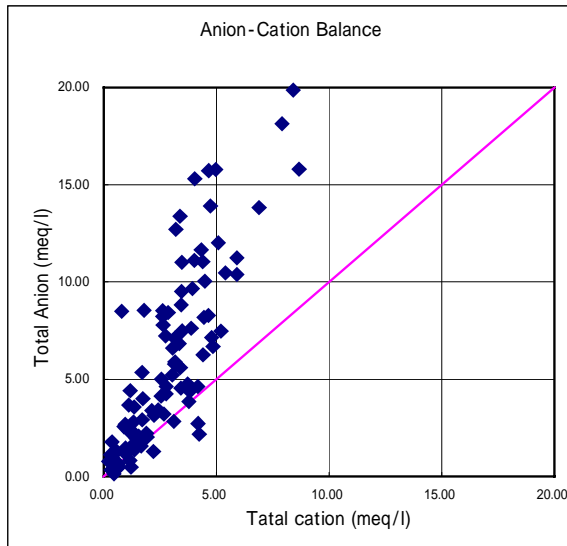


Figura 3.1 Balance iónico entre los cationes mayores y aniones (Fase 1)

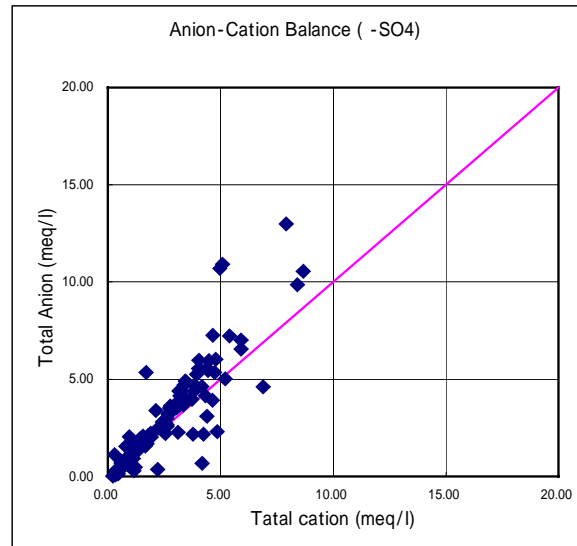


Figura 3.2 Balance iónico que excluye SO_4^{2+} (Fase 1)

El resultado del balance iónico de los ensayos de las Fases 2 y 3 se muestran en las Figuras 3.3 y 3.4.

Como queda claro de estos gráficos, los datos de los ensayos de la Fase 1 tienen un mal balance iónico comparados con los datos de los ensayos de las Fases 2 y 3, aun después de remover el sulfato. Como los resultados de los análisis de las Fases 2 y 3 parecen apropiados, los resultados de los análisis de la Fase 1 tiene un bajo nivel de confiabilidad.

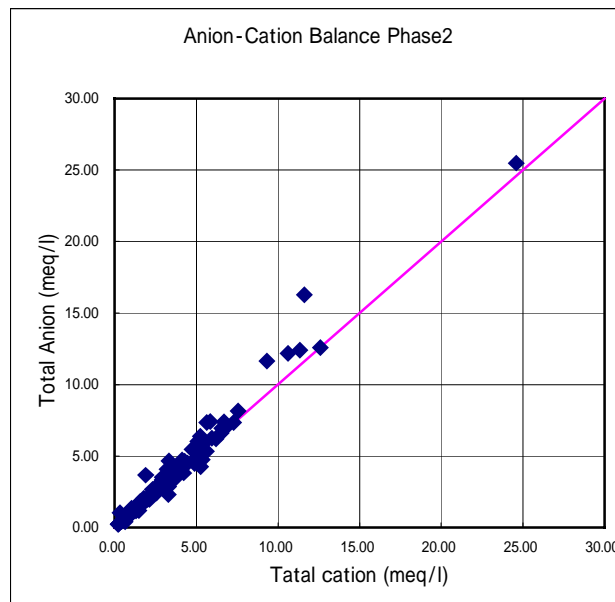


Figura 3.3 Balance iónico entre los mayores cationes y aniones (Fase 2)

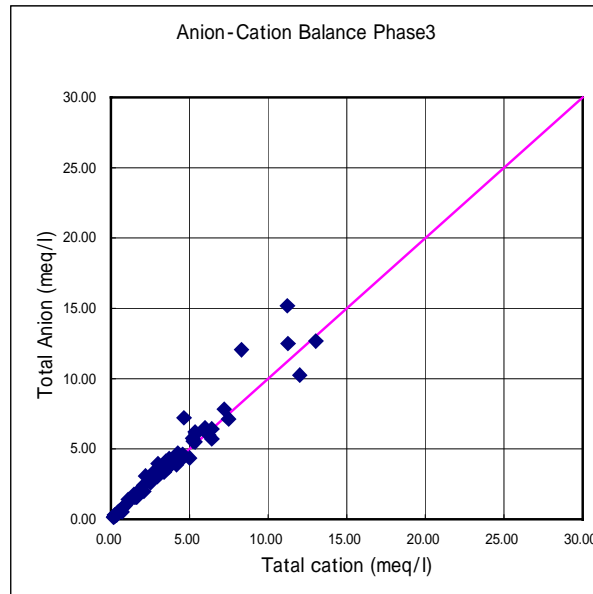


Figura 3.4 Balance iónico entre los mayores cationes y aniones (Fase 3)

(2) Diagrama Tri-lineal

Con respecto a las pruebas de las Fases 2 y 3 que tienen un grado relativamente alto de confiabilidad para el análisis de los resultados, se prepararon diagramas tri-lineales para los mayores componentes iónicos (ocho componentes; Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , y CO_3^{2-}) por cada acuífero y se muestran en las Figura 3.5 (1) hasta la Figura 3.5 (3). Estos diagramas indican que, que en la mayoría de las aguas de los acuíferos del Cuaternario, éstos componentes iónicos son dominados en el tipo Na- HCO_3 que generalmente se encuentra en las aguas subterráneas de los acuíferos profundos y extensamente distribuido en el tipo Ca- HCO_3 que, generalmente se encuentra en las aguas subterráneas poco profundas de los acuíferos. Además, los componentes iónicos en el tipo Na-Cl, que generalmente se encuentra en las aguas de mar y aguas fósiles y en el tipo Ca-Cl, que generalmente se encuentra en rocas volcánicas también están distribuidos. Para las aguas subterráneas de los acuíferos del Cretáceo y los acuíferos del Terciario, la composición de la calidad de las aguas no varía mucho entre los diferentes acuíferos, y las características de éstos los componentes iónicos no son significativas.

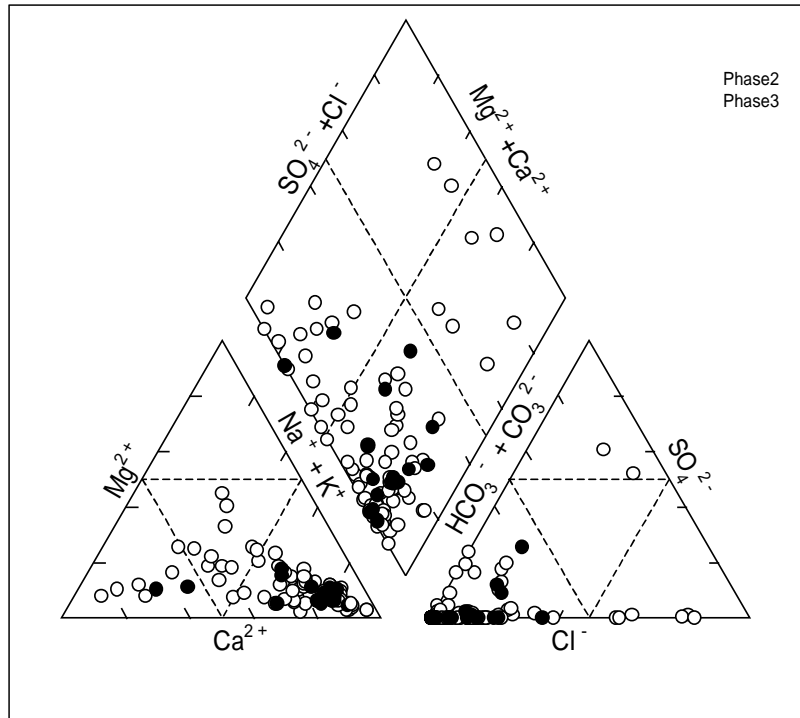


Figura 3.5 Diagrama Tri-lineal –Quaternario-

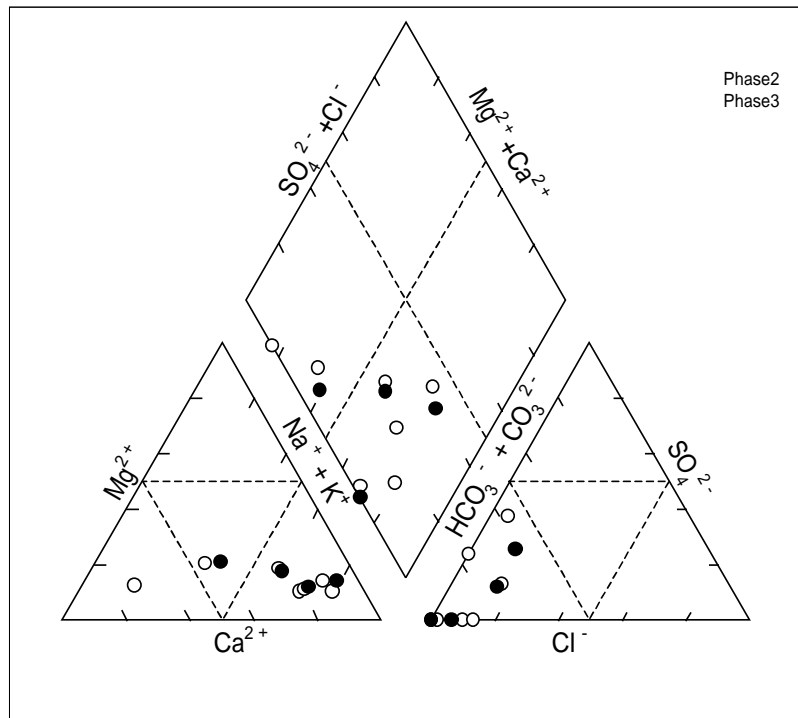


Figura 3.5 Diagrama Tri-lineal–Terciario-(continuación)

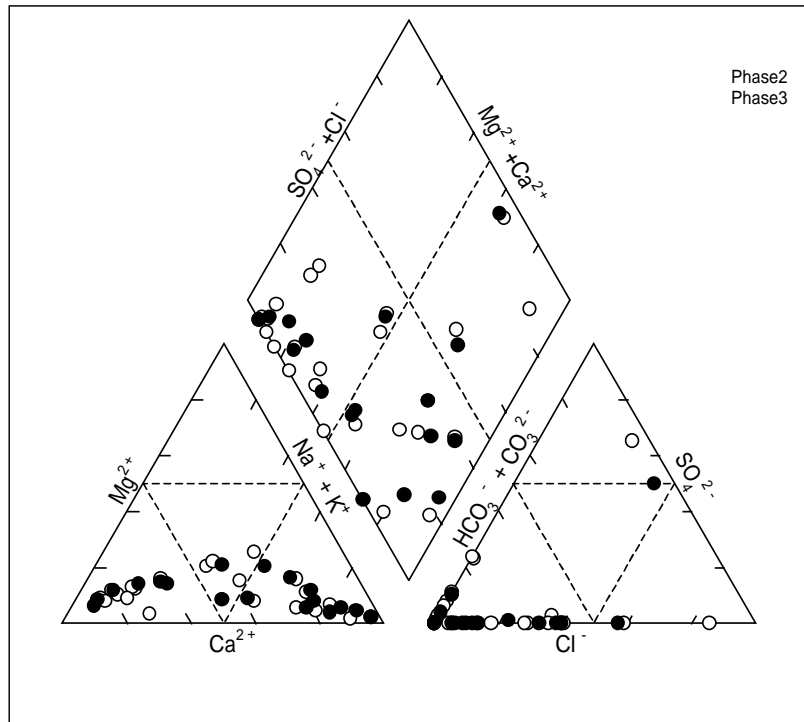


Figura 3.5 Diagrama Tri-lineal Diagram-Cretaceous-(continuación)

(3) Diagrama Hexagonal

Estos diagramas hexagonales para cada acuífero se muestra en las Figuras 3.6 (1) hasta la Figura 3.6 (3).

En el diagrama hexagonal de cada mapa topográfico, estos 8 componentes fueron categorizados estadísticamente en 10 ítems mediante análisis de racimo sobre las concentraciones, que se identifican con colores diferentes. (Estos componentes no sólo fueron clasificados, para el análisis de racimo por su tasa de composición, sino también por su concentración). Las características de calidad de agua de las categorías principales mostradas en la Figura 3.7 indican que la Categoría 1 es agua del tipo Na-HCO₃, la Categoría 2 es agua de baja concentración del mismo tipo, y las Categorías 6 y 7 son agua de la alta concentración del mismo tipo, mientras que la Categoría 4 es agua del tipo Ca-HCO₃. Como se observó generalmente, el agua subterránea cambia del tipo Ca-HCO₃ al tipo Na-HCO₃ con el tiempo estancamiento en el subsuelo. Por lo tanto se presume que la calidad del agua varía de la Categoría 4 (agua subterránea del tipo relativamente nuevo Ca-HCO₃) → Categoría 1 (agua subterránea del tipo avanzado Na-HCO₃) → Categoría 6 o 7 (agua subterránea con mayor concentración de Na-HCO₃).

Mediante la observación de la calidad del agua en el acuífero del Cuaternario (Figura 3.6 (1)), el área norte y el área de la franja de la cuenca muestran la Categoría 4, mientras que el área interna de la cuenca muestra la Categoría 1 extensivamente y el área central de la cuenca las

Categorías 6 y 7. Estos cambios se atribuyen a la calidad del flujo de agua subterránea del área de la franja (lateral) al área central de la cuenca. En el acuífero del Cretáceo (Figura 3.6 (3)), se muestra la calidad del agua de la Categoría 4 en el área de la franja de la cuenca, mientras la Categoría 6 se muestra en el área central de la cuenca. Esto significa que el agua subterránea que fluye del área de la franja al área central de la cuenca también se atribuye a un cambio de la calidad del agua. Éstos resultados de los análisis soportan los resultados de los análisis de aguas subterráneas hechos por separado.

Además, fue observado que los pozos en el área montañosa, pertenecen al acuífero del Cuaternario y muestran los rasgos característicos del agua del tipo Ca-HCO_3 en el acuífero del Cretáceo. Puede presumirse que los pozos con cubierta delgada del acuífero del Cuaternario, son afectados por el acuífero del Cretáceo. Los pozos en el acuífero del Cretáceo que están distribuidos en el área plana muestran rasgos del tipo Na-HCO_3 similares al acuífero del Cuaternario. Esto significa que estos pozos se completaron con un sistema de varios filtros para tomar agua de múltiples acuíferos. Por consiguiente, el agua en el acuífero del Cuaternario puede haber penetrado en estos pozos.

Se hicieron diagramas hexagonales en la Fase 3 por el mismo método usado en la Fase 2. Los resultados de la Fase 3 muestran un resultado aproximadamente similar a la Fase 2. (Véase la Figura 3.8)

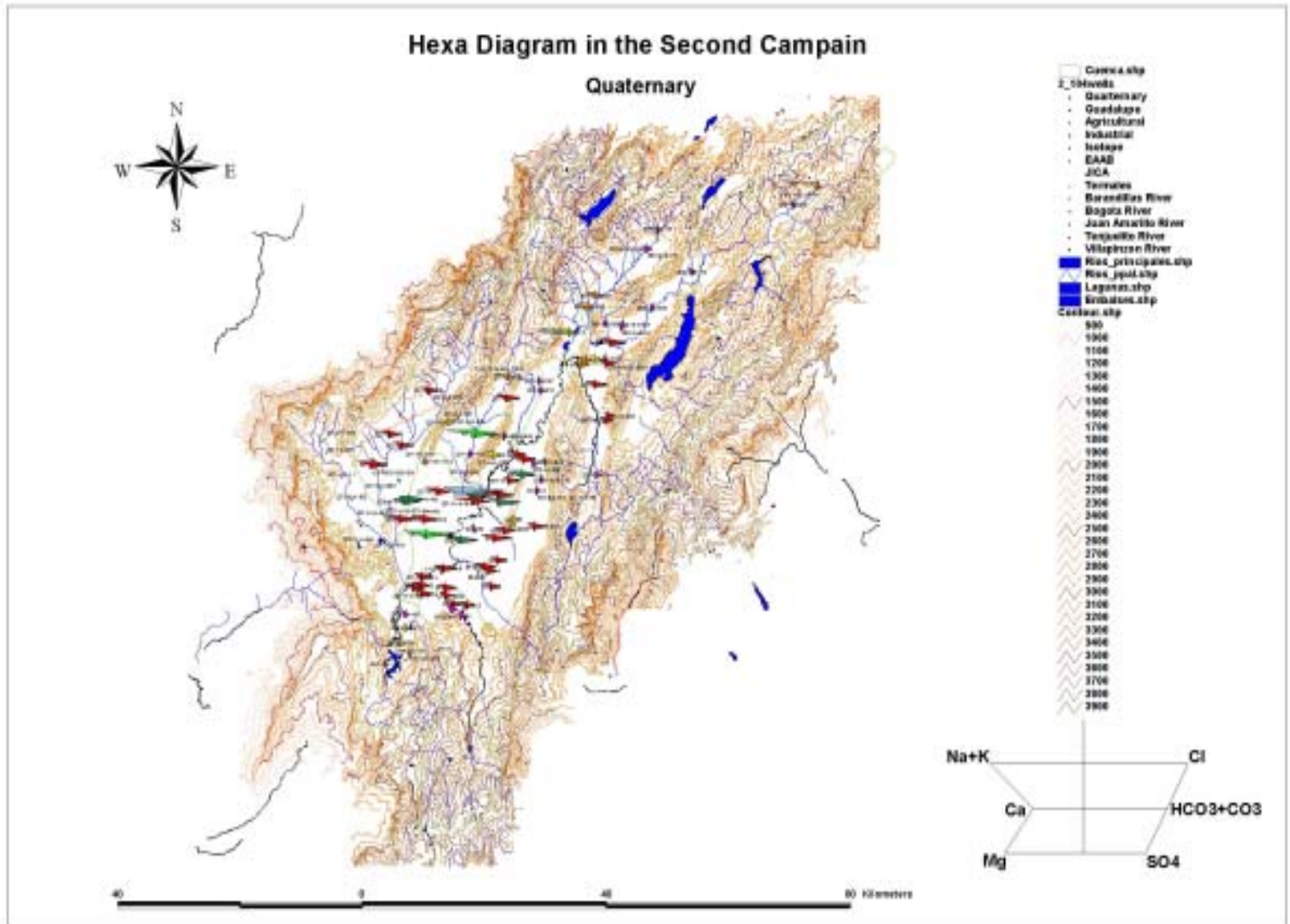


Figura-3.6 (1) Diagrama hexagonal del acuífero del Cuaternario (Fase 2)

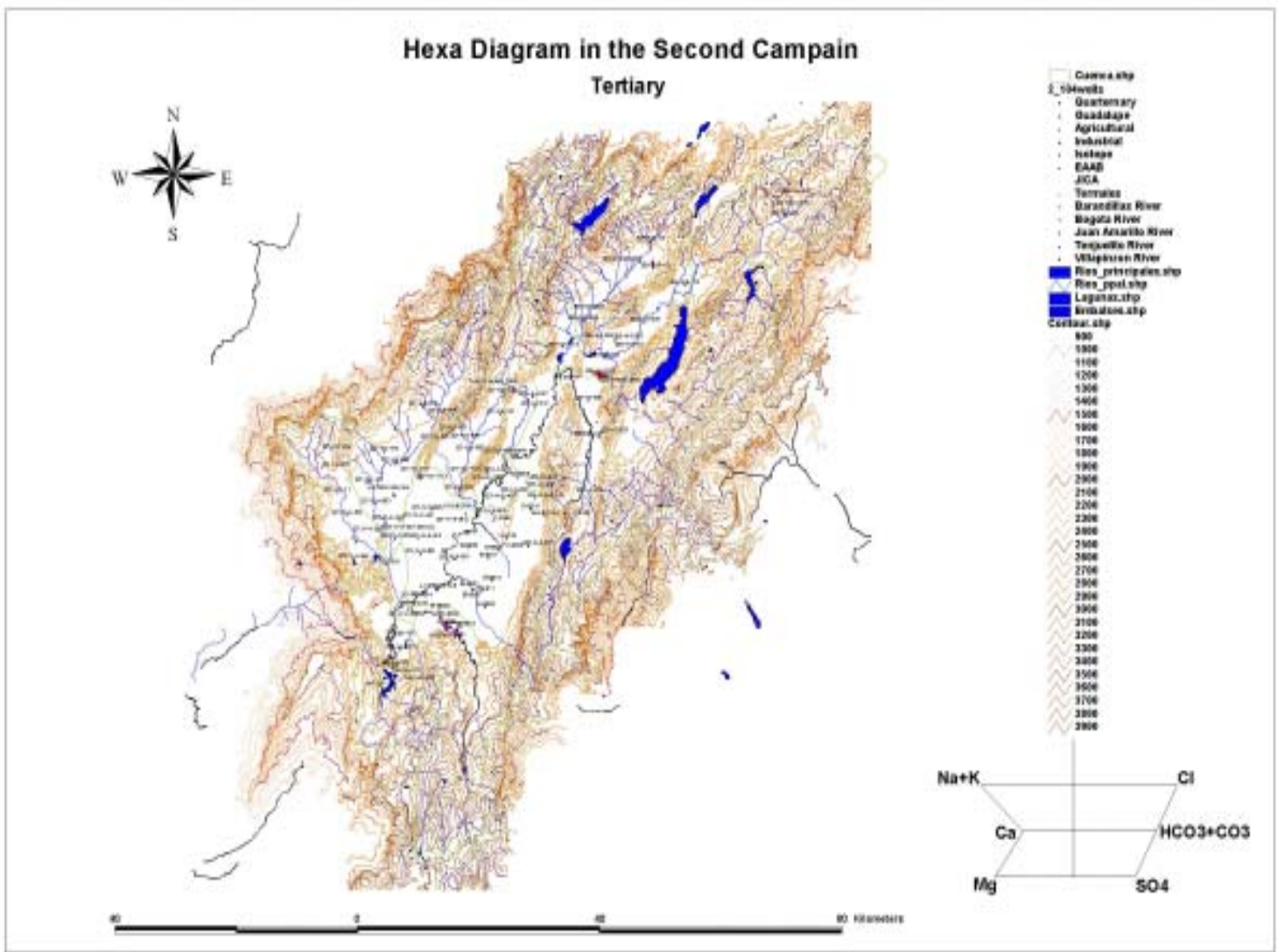


Figura-3.6 (2) Diagrama hexagonal del acuífero del Terciario (Fase 2)

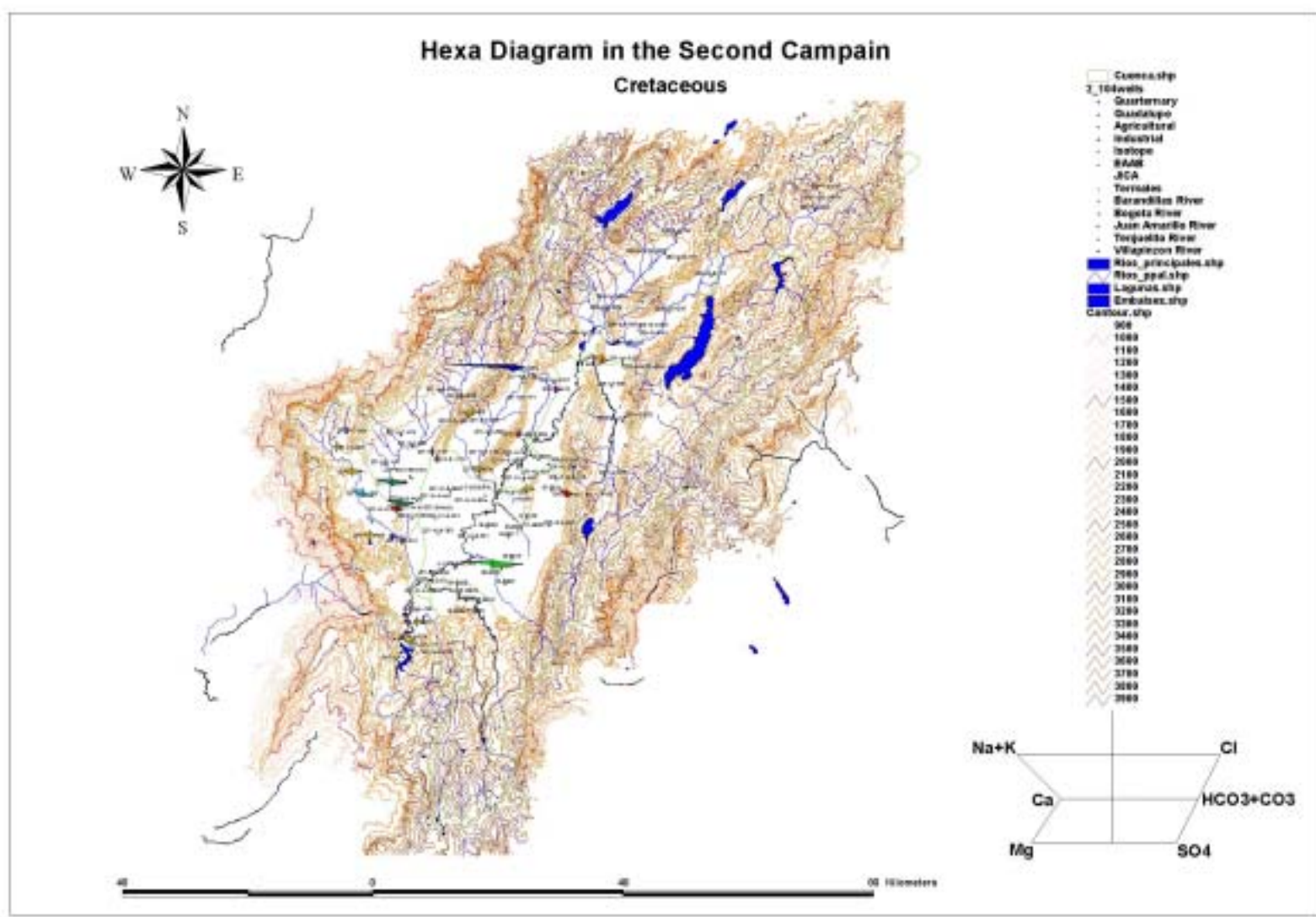


Figura-3.6 (3) Diagrama hexagonal del acuífero del Cretáceo (Fase 2)

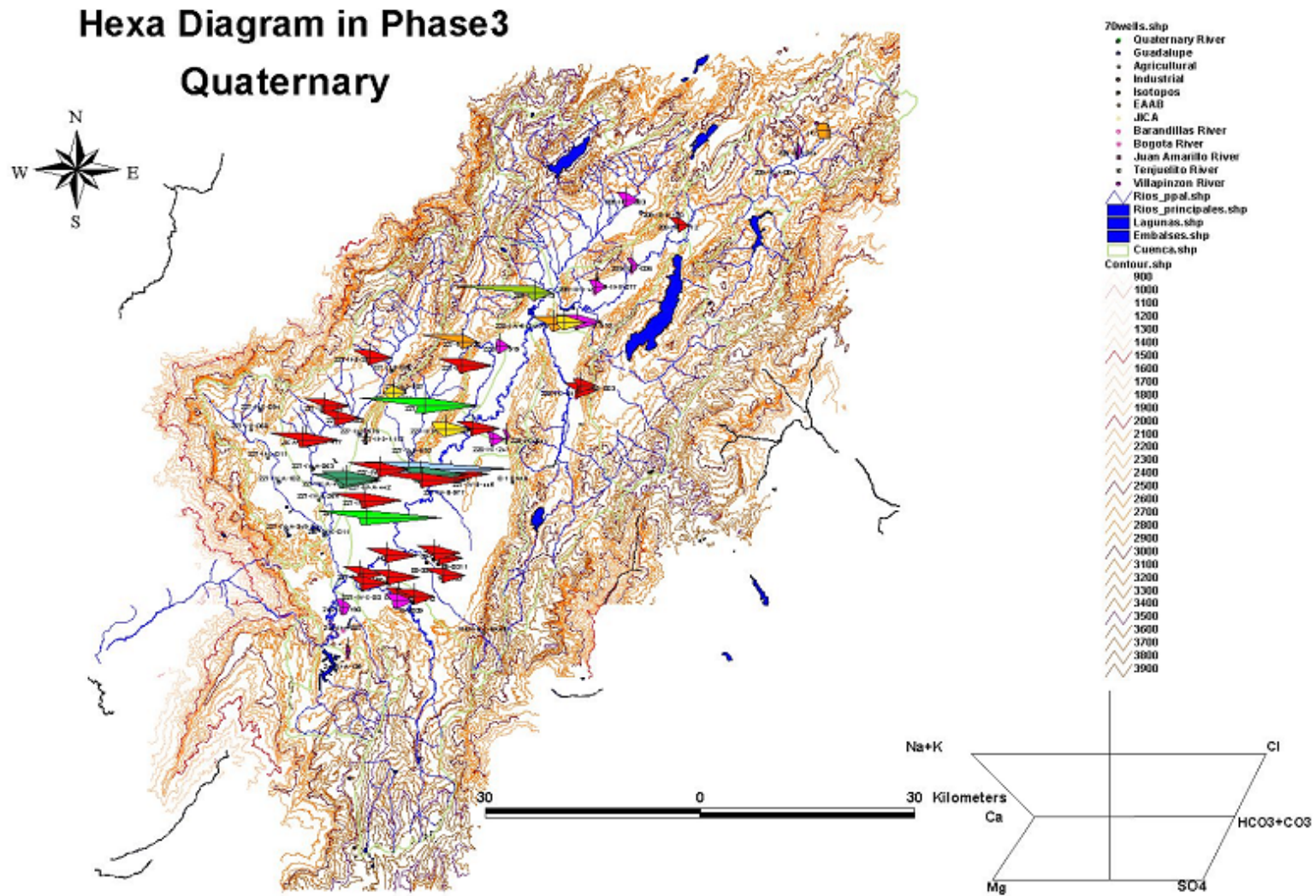


Figura-3.8 (1) Diagrama hexagonal del acuífero del Cuaternario (Fase 3)

Hexa Diagram in Phase3 Cretaceous

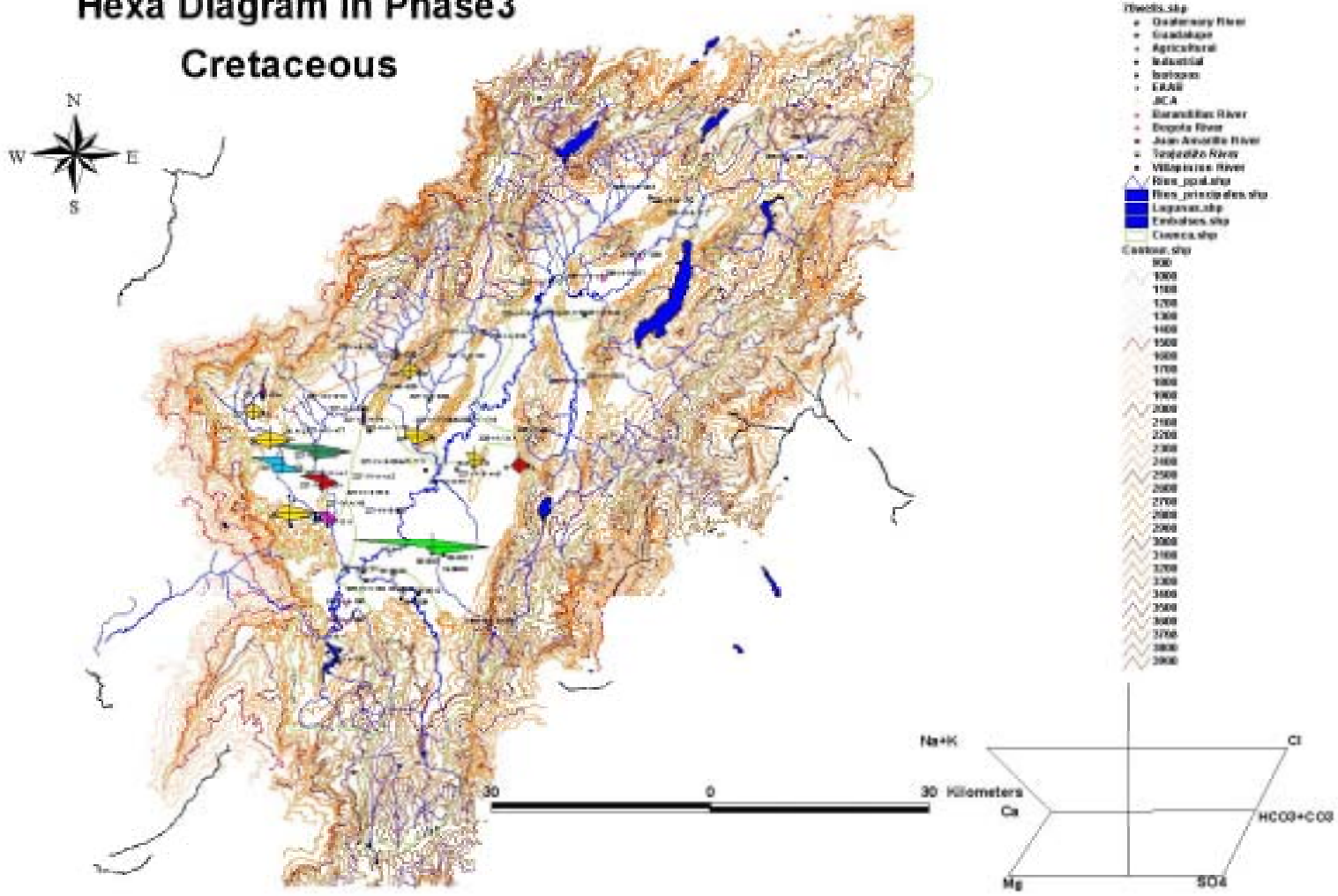


Figura-3.8 (2) Diagrama hexagonal del acuífero del Cretáceo (Fase 3)

3.3 Características de la calidad del agua de río y su relación con la calidad del agua de pozo.

En la Fase 3, se hicieron pruebas de la calidad el agua superficial de los ríos sobre los mismos ítems del agua subterránea. De acuerdo con el análisis de racimo par estos resultados, se han dividido aproximadamente en 4 racimos como se muestra en la Figura 3.9

Las Figuras 3.10 y 3.11 muestran los diagramas tri-lineales y hexagonales mediante el uso de los resultados.

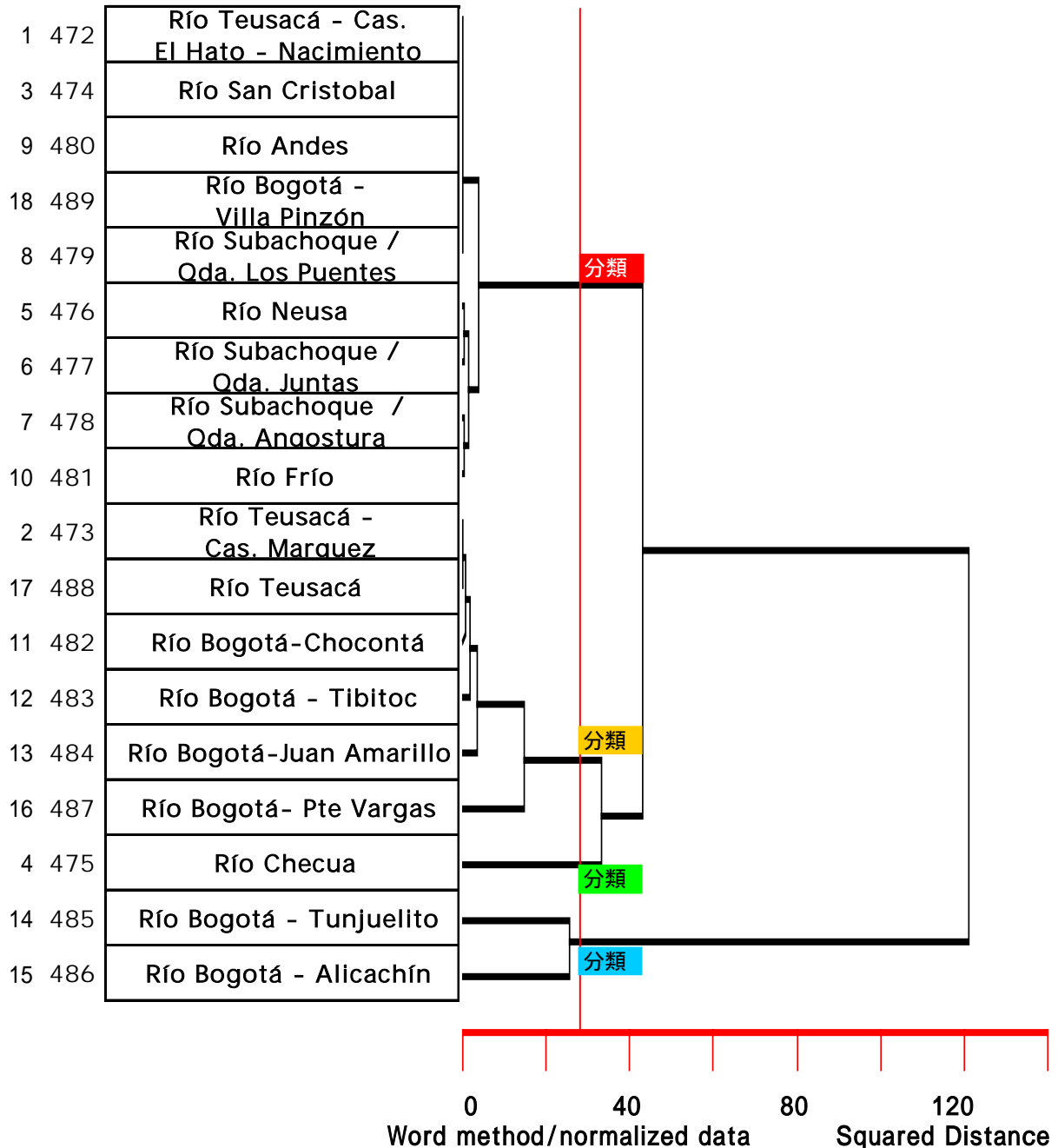


Figura-3.9 Análisis de racimo de los datos de las pruebas de calidad del agua de río.

(1) Diagramas tri-lineales

Generalmente, el agua de los ríos se clasifica por categorías del tipo Ca - HCO₃ como se muestra en la Figura 3.10. Por lo tanto, la mayoría de las aguas de los pozos muestran que el tipo Na - HCO₃ es diferente del tipo del agua de los ríos. Normalmente, si las aguas subterráneas permanecen largo tiempo, se reduce el SO₄²⁻ y aumenta el HCO₃⁻. Al mismo tiempo, hay tendencias a ser Ca²⁺ < Na⁺ y cambiar de Ca - HCO₃ a Na - HCO₃. De acuerdo con esto, se considera que la diferencia entre los tipos del agua de los ríos y las de las aguas subterráneas se deben al largo tiempo de permanencia en el subsuelo.

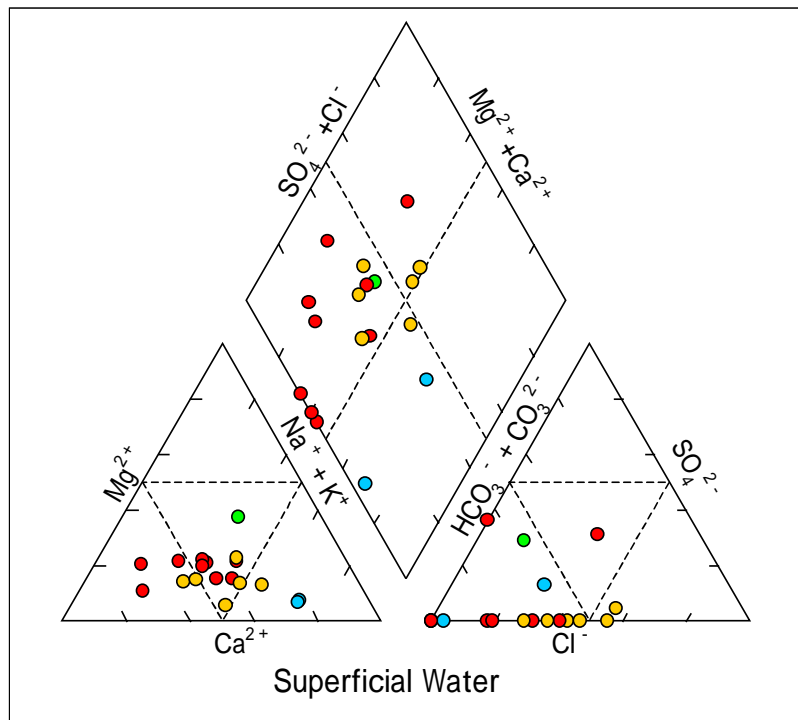


Figura-3.10 Diagrama tri-lineal (Agua superficial de río)

(2) Diagrama hexagonal

Se han clasificado en 4 categorías de racimos por el resultado de los Análisis de Racimos. Según la distribución geográfica de cada dato del racimo, se identifica claramente que el Racimo 1 es la calidad del agua del área montañosa, el Racimo 2 es la calidad del agua del río Bogotá, el racimo 3 es la calidad del agua de roca salina del área, y el racimo 4 que es del tipo Na?HCO3 en el diagrama tri-lineal, es la calidad del agua de la ciudad de Bogotá. (Véase la Figura 3.11)

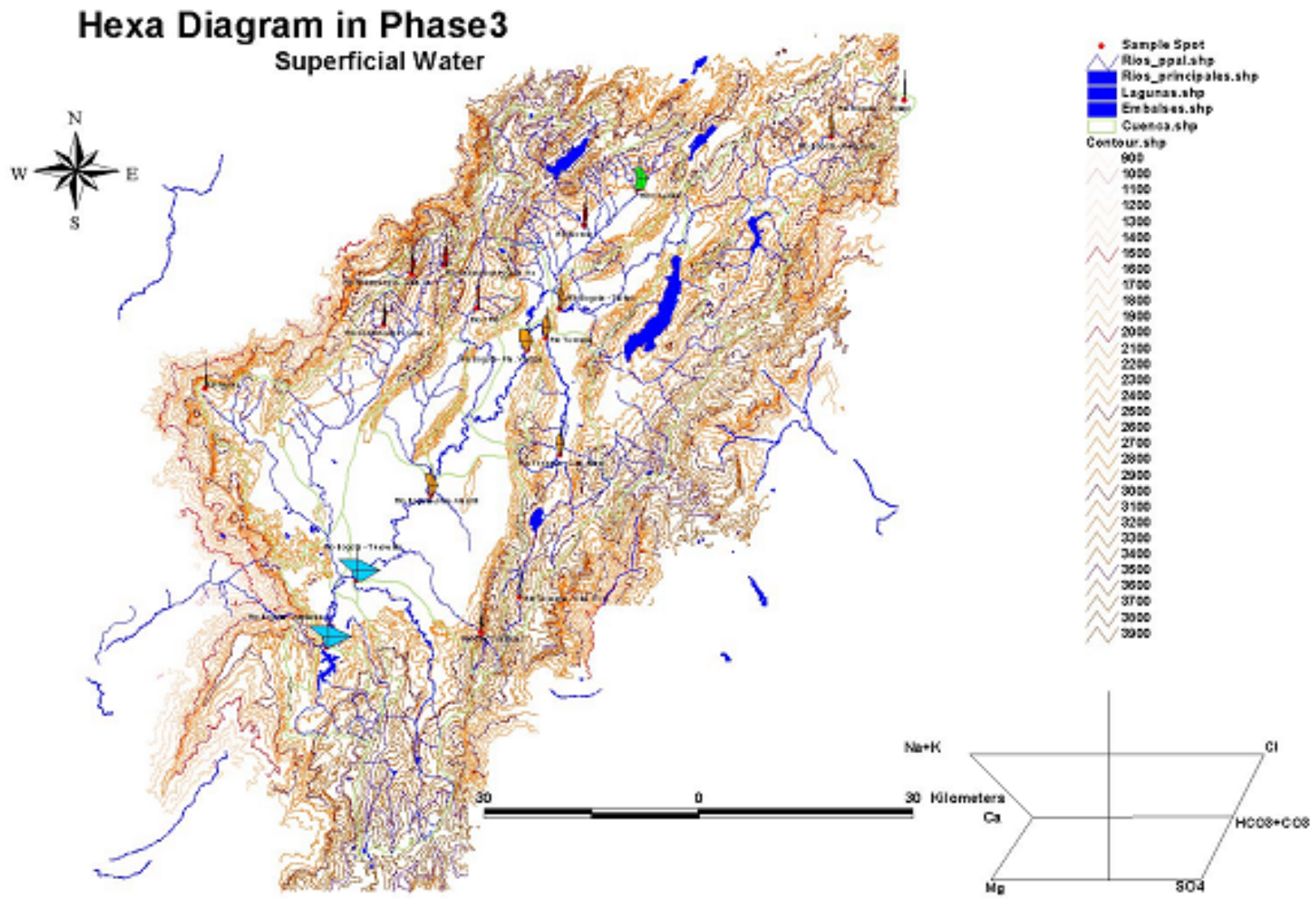


Figura-3.11 Diagrama hexagonal del agua de río (Fase 3)

(3) Esquema de la clasificación de la calidad del agua subterránea

Durante el estudio se recolectó una gran cantidad de información sobre la calidad del agua y sobre el medio ambiente. Es importante para los usuarios o consumidores el aclarar la calidad del agua subterránea en las cuencas individuales, si una cuenca tiene aguas subterráneas de calidad aceptable para el uso propuesto o no. Sin embargo, como los parámetros relacionados con la calidad del agua, son de demasiadas clases y difieren del de los estándares nacionales, no es fácil apreciar la calidad del agua inmediatamente. El método propuesto de clasificación es una de las soluciones al problema.

El procedimiento de clasificación que es aplicable para juzgar la calidad del agua de la cuenca, se ilustra con lo siguiente. El método por naturaleza es una metodología empírica de acceso, por lo tanto ese desarrollo requiere la participación de varios expertos profundamente comprometidos con la calidad del agua. El método es aplicado en las áreas de los usos del agua para beber y la agricultura.

(4) Parámetros a ser evaluados y sus criterios estándar

A pesar que los parámetros usados para la estructura de clasificación se seleccionaron principalmente de los estándares nacionales para las aguas crudas, también se requieren algunos ítems extras para mejorar la evaluación. Es necesario discutir con los expertos en calidad del agua, locales, para determinar los parámetros adicionales. Las siguientes tablas fueron preparadas con anticipación al taller sobre el tema.

Tabla 3.1 Parámetros para la selección de agua cruda para beber

Parámetros usados para la evaluación	Normas para el agua cruda antes del tratamiento convencional de aguas (agua cruda 1)	Normas para el agua cruda antes del tratamiento por cloración (agua cruda 2)
NH ₄ - N	1,0	1,0
Ba	1,0	1,0
Unidad de Color Verdadero	75 unidades	20 unidades
NO ₃ - N	10	10
ESCHERIC IHA		
COLIFORME		
H ₂ S (agregado)	0,05 (WHO)	0,05
Fe (agregado)	0,3 (Japón)	0,3
Mn (agregado)	0,05 (Japón)	0,05
COD		
BOD		

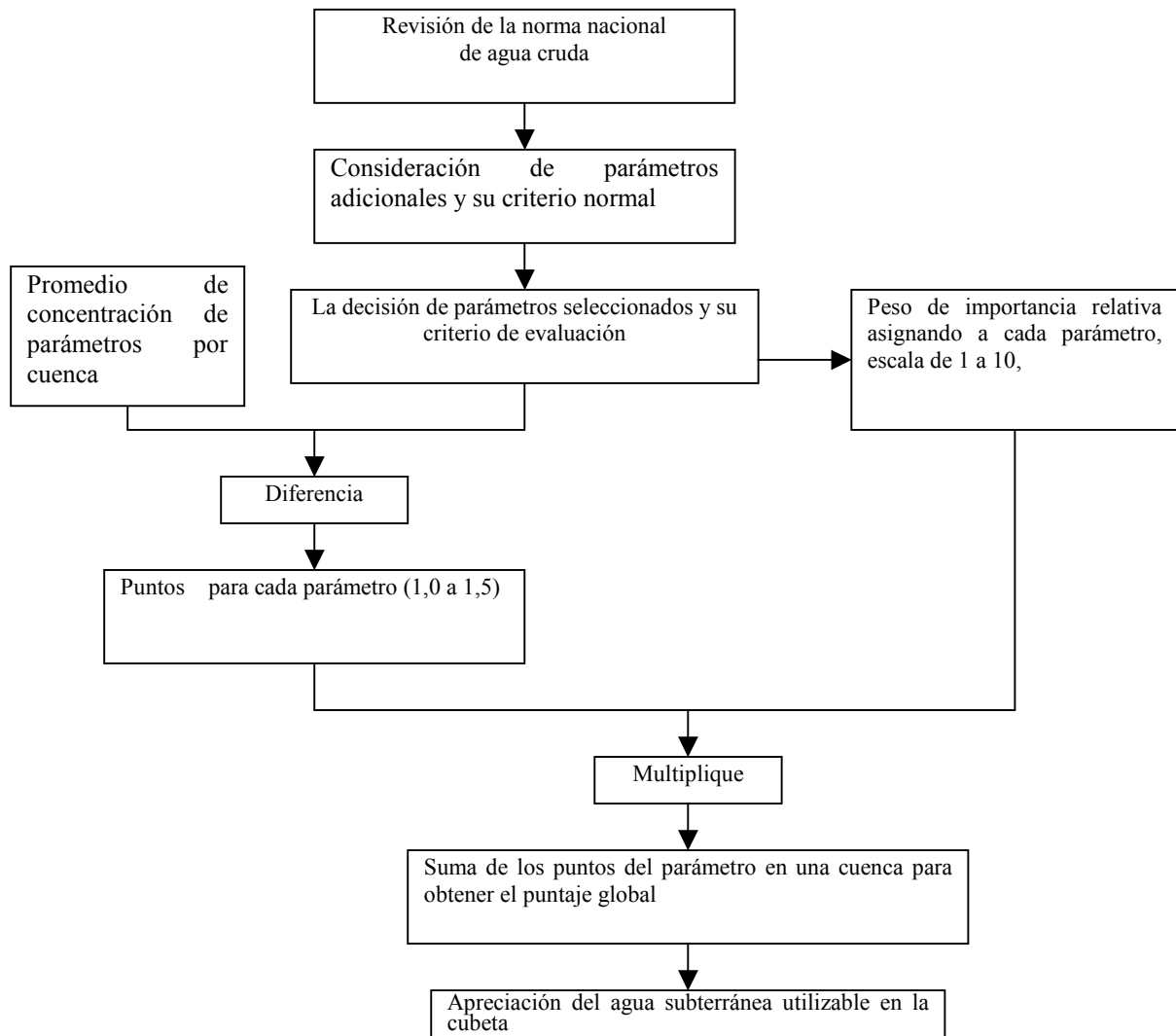


Figura 3.12 Un esquema de evaluación de la calidad de agua crudas en las cuencas

Tabla 3.2 Parámetros seleccionados para el agua cruda agrícola

Los parámetros usados para la evaluación	Estándar de agua cruda
Zn	2,0
Fe	5,0
PH	4,5-9,5
B	1,0
Na	69 (FAO)
Cloruros	142 (FAO, irrigación superficial)
TDS	450(FAO)
H ₂ S	0,8

(5) Peso de la importancia relativa los parámetros asignados

Tabla 3.3 Peso de los parámetros seleccionados del agua cruda para beber

Los parámetros usados para la evaluación	Agua cruda para beber (1)		Agua cruda para beber (2)	
	Asignación igual	Asignación pesada	Asignación igual	Asignación pesada
NH ₄ -N	1,0	1,0	1,0	0,8
Ba	1,0	0,4	1,0	0,4
Unidad de Color Verdadero	1,0	1,2	1,0	1,4
NO ₃ - N	1,0	1,2	1,0	1,2
ESCHER ICHIA COLI	0,5	0,5	0,5	0,6
COLIFORMES TOTALES	0,5	0,5	0,5	0,6
H ₂ S	1,0	1,2	1,0	1,0
Fe	1,0	1,0	1,0	1,0
Mn	1,0	1,0	1,0	1,0
BOD	0,5	0	0,5	0
COD	0,5	0	0,5	0
Total	9,0	8,0	9,0	8,0

Tabla 3.4 Peso de los parámetros seleccionados del agua para agricultura

Parámetros usados para la evaluación	Agricultural raw water	
	Asignación igual	Asignación pesada
Zn	1,0	1,2
Fe	1,0	0,8
PH	1,0	1,0
B	1,0	1,2
Na	1,0	1,2
Chloride	1,0	1,0
TDS	1,0	0,8
H ₂ S	1,0	0,8
Total	8,0	8,0

(6) Clasificación por puntos para los parámetros en términos de los estándares para agua cruda

La clasificación relativa por puntos para los parámetros seleccionados, que es diferente de los estándares para las aguas crudas, en varias formas, se decidirá con base en las recomendaciones prácticas de los expertos. La siguiente tabla ilustra una idea propuesta por el equipo del estudio.

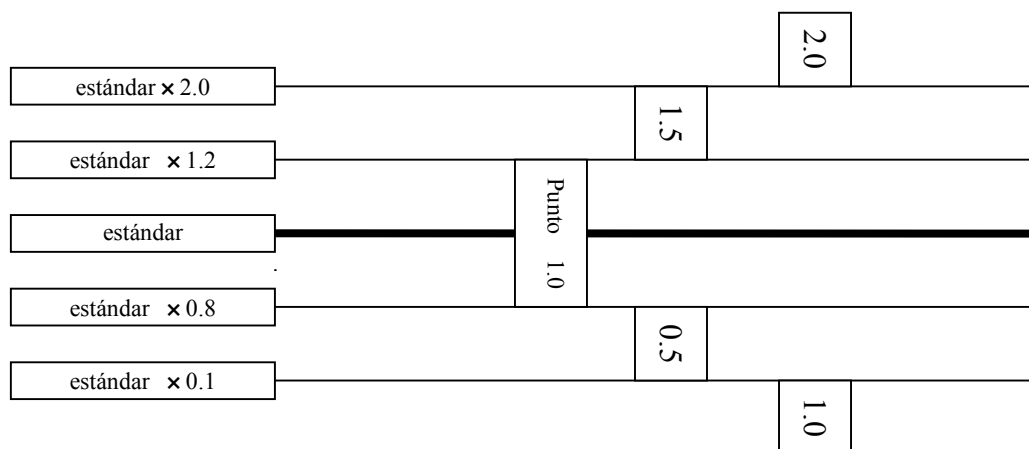


Figura-3.13 Un puntaje relativo propuesto para los parámetros

(7) Evaluación de la calidad de las aguas subterráneas por cuencas individuales

Multiplicando el peso de cada parámetro por su puntaje y sumando su total se obtiene una evaluación ecuménica de las aguas subterráneas, tal como se mencionó anteriormente. La decisión final, sobre si las aguas subterráneas son aptas o no para un uso específico en la cuenca dada, será entregada por quienes hacen las políticas en el país. Un sistema propuesto de evaluación calificada puede proveer una base firme a quienes toman las decisiones.

3.5 Conclusiones

- Los resultados de los análisis muestran que la mayoría de los pozos eran inadecuados en cromaticidad y valores de pH y que algunos tienen una calidad inapropiada como agua potable en NO_3^- , Ba, amoníaco, pH y SO_4 , aún si el agua es tratada por un método tradicional. La mayoría de los pozos exceden los estándares WHO para el agua potable en términos de Fe, alcalinidad y bacilos coliformes.
- Se cree que las fuentes de contaminación son los fertilizantes (como los nitratos de nitrógeno y los nitritos de nitrógeno), las aguas negras y las excretas (amoníaco, H_2S , alcalinidad total, bacilos del grupo coliforme, cloruros y nitratos de nitrógeno), fuentes naturales (manganeso, hierro, cromaticidad) y fuentes industriales (cadmio, cinc, Etc.)
- Las aguas en el acuífero del Cuaternario van desde el tipo Ca-CO_3 en el área lateral de la cuenca hasta el tipo Na-CO_3 en el área central de la misma (contenidos en gran concentración, en particular en el área central) y se presume que el flujo de aguas subterráneas se refleja en la calidad del agua. También se sugiere que en el acuífero del Cretáceo, existe un flujo que corre hacia el área central de la cuenca.