



Universidad Nacional de Río Cuarto

Facultad de Ciencias Exactas, Físico-Químicas y Naturales

Departamento de Geología

RELACIONES ENTRE ACTIVIDADES AGROPECUARIAS Y LA PRESENCIA DE METALES PESADOS EN SUELOS Y AGUAS SUBTERRÁNEAS



Autor: Bécher Quinodóz Fátima Noelia

Director: Doctora Mónica T. Blarasín

Co-Director: Doctora Analía R. Becker

RÍO CUARTO – CÓRDOBA – ARGENTINA

Universidad Nacional de Río Cuarto

Facultad de Ciencias Exactas, Físico-Químicas y Naturales

Departamento de Geología

Tesis de Licenciatura (3260)

Año 2010



RELACIONES ENTRE ACTIVIDADES AGROPECUARIAS Y LA PRESENCIA DE METALES PESADOS EN SUELOS Y AGUAS SUBTERRÁNEAS

Memoria presentada por:

Fátima Noelia Bécher Quinodóz

Para optar al grado de Licenciatura en Geología
por la Universidad Nacional de Río Cuarto

Director: Doctora Mónica T. Blarasín

Co-Director: Doctora Analía R. Becker

Río Cuarto, 12 de Marzo de 2010

INDICE DE CONTENIDOS

CAPITULO 1: INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

- 1.1. INTRODUCCIÓN
- 1.2. FUNDAMENTACIÓN
- 1.3. HIPÓTESIS DE TRABAJO
- 1.4. OBJETIVOS
 - 1.4.1. OBJETIVO GENERAL
 - 1.4.2. OBJETIVO ESPECÍFICO
- 1.5. LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

CAPITULO 2: MATERIALES Y METODOS

- 2.1. ETAPA DE GABINETE PRELIMINAR
- 2.2. ETAPA DE CAMPO
- 2.3. ETAPA DE LABORATORIO
- 2.4. ETAPA DE GABINETE FINAL.

CAPITULO 3: CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA

- 3.1. INTRODUCCION
- 3.2. TEMPERATURA
- 3.3. PRECIPITACIONES
 - 3.3.1. ESTACIÓN LOS CHAÑARES
 - 3.3.2. ESTACIÓN LA AGUADA
 - 3.3.3. DISTRIBUCIÓN MENSUAL DE LAS PRECIPITACIONES
 - 3.3.4. BALANCE HÍDRICO SERIADO
- 3.4. CLASIFICACIÓN CLIMÁTICA

CAPITULO 4: MARCO GEOLOGICO REGIONAL

- 4.1. GEOLÓGIA REGIONAL
- 4.2. GEOMORFOLÓGIA REGIONAL
- 4.3. HIDROGEOLOGÍA REGIONAL
 - 4.3.1. CARACTERÍSTICAS HIDROLITOLÓGICAS
 - 4.3.2. HIDRODINÁMICA SUBTERRÁNEA REGIONAL
 - 4.3.3. HIDROGEOQUÍMICA.

CAPITULO 5: MARCO GEOLÓGICO LOCAL

5.1. GEOLÓGIA LOCAL

5.1.1. DESCRIPCIÓN DEL PERFIL LITOLÓGICO TIPO.

5.2. ESTRUCTURAS

5.3. GEOMORFOLOGÍA LOCAL

5.3.1. INTRODUCCIÓN

5.3.2. PROVINCIA GEOMORFOLÓGICA SIERRAS PAMPEANAS

I- UNIDAD SERRANÍA

5.3.3. PROVINCIA GEOMORFOLÓGICA LLANURA CHACO PAMPEANA

II - UNIDAD LLANURA EÓLICA

II- a. SUBUNIDAD LLANURA EÓLICA SUAVEMENTE ONDULADA

II- b. SUBUNIDAD LLANURA EÓLICA FUERTEMENTE ONDULADA

III- LLANURA ALUVIAL

IV- ALTO ESTRUCTURAL

V- PEDIMENTO ANTIGUO CUBIERTO

CAPITULO 6: USOS DEL TERRITORIO

6.1. INTRODUCCIÓN

6.1.1. ACTIVIDAD AGRÍCOLA

6.1.2. ACTIVIDAD GANADERA

6.1.3. ACTIVIDAD AGRICOLA-GANADERA

CAPITULO 7: CARACTERIZACIÓN EDAFOLÓGICA

7.1. INTRODUCCIÓN

7.2. PERFIL DE SUELO

7.2.1. CARACTERIZACIÓN SUELO NATURAL

7.2.2. CARACTERIZACIÓN SUELO TÍPICO

CAPITULO 8: HIDROLOGÍA SUPERFICIAL

8.1. INTRODUCCIÓN

8.2. HIDROLOGÍA SUPERFICIAL

CAPITULO 9: HIDROLOGÍA SUBTERRÁNEA

9.1. INTRODUCCIÓN

9.2. HIDROLITOLOGÍA

9.3. HIDRODINÁMICA

9.4. HIDROQUÍMICA

- 9.5. CLASIFICACIÓN GEOQUÍMICA DEL AGUA
- 9.6. PROBLEMÁTICA EN LA CALIDAD DEL AGUA
 - 9.6.1. ARSÉNICO
 - 9.6.2. FLÚOR
 - 9.6.3. NITRATOS
- 9.7. TRATAMIENTO ESTADÍSTICO
- 9.8. APTITUD DE USO DEL AGUA SUBTERRÁNEA
 - 9.8.1. APTITUD PARA CONSUMO HUMANO
 - 9.8.2. APTITUD PARA CONSUMO GANADERO
 - 9.8.3. APTITUD PARA RIEGO

CAPITULO 10: ORIGEN Y COMPORTAMIENTO DE METALES PESADOS: GENERALIDADES Y ASPECTOS VINCULADOS A AGROECOSISTEMAS

- 10.1. ORÍGENES
- 10.2. PROBLEMÁTICA
- 10.3. METALES PESADOS EN SUELOS Y AGUAS SUBTERRÁNEAS DERIVADOS DE LA ACTIVIDAD AGRÍCOLA – GANADERA
- 10.4. PROCESOS QUE CONTROLAN EL TRANSPORTE DE CONTAMINANTES EN UN MEDIO POROSO
- 10.5. COMPORTAMIENTO DE METALES PESADOS EN EL SUELO
 - 10.5.1. BIODISPONIBILIDAD DE METALES PESADOS
 - 10.5.1.1. PROCESOS DEL SUELO INVOLUCRADOS EN LA BIODISPONIBILIDAD*
 - 10.5.1.1. A. INTERCAMBIO CATIONICO.
 - 10.5.1.1. B. ADSORCIÓN ESPECÍFICA.
 - 10.5.1.1. C. PRECIPITACIÓN
 - 10.5.1.1. D. COMPLEJACIÓN Y QUELACIÓN
 - 10.5.1.2 FACTORES DEL SUELO RELACIONADOS CON LA BIODISPONIBILIDAD*
 - 10.5.1.2.A. pH
 - 10.5.1.2.B. CONTENIDO DE MATERIA ORGÁNICA
 - 10.5.1.2.C. CONTENIDO Y TIPO DE ARCILLA
 - 10.5.1.2.D. POTENCIAL REDOX
 - 10.5.1.2.E. ÓXIDOS DE HIERRO, MANGANESO Y ALUMINIO
 - 10.5.1.2. F. PRESENCIA DE CATIONES Y ANIONES EN LA SOLUCIÓN SUELO

10.5.1.3. OTROS FACTORES

10.6. COMPORTAMIENTO DE METALES PESADOS EN LA ZONA NO SATURADA

10.7. COMPORTAMIENTO DE METALES PESADOS EN ACUÍFEROS

10.7.1. TRANSPORTE DE SOLUTOS

10.7.2. INTERACCIONES QUÍMICAS DEL AGUA SUBTERRÁNEA EN EL ACUÍFERO

10.7.2.1. INTERACCIONES CON LA FASE SÓLIDA

10.7.2.2. INTERACCIONES CON LA FASE LÍQUIDA

10.7.2.3. INTERACCIONES CON FASES GASEOSAS

10.7.3. PROCESOS DE MAYOR IMPORTANCIA EN LA DINÁMICA DE CONTAMINANTES

10.8. ELEMENTOS DE INTERES EN ACTIVIDADES AGROPECUARIAS

10.8.1. COBRE

10.8.2. ZINC

CAPITULO 11: METALES PESADOS Y SU RELACIÓN CON ACTIVIDADES AGROPECUARIAS EN EL ÁREA DE ESTUDIO.

11.1. INTRODUCCIÓN

11.2. METALES PESADOS EN EL PERFIL DEL SUELO

11.2.1. ANÁLISIS DE LABORATORIO

11.2.2. METALES PESADOS Y SU INFLUENCIA EN LA GEOQUÍMICA DE SUELOS.

11.2.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

11.3. METALES PESADOS EN EL ACUÍFERO FREÁTICO

11.3.1. ANÁLISIS DE LABORATORIO

11.3.2. METALES PESADOS VS. GEOQUÍMICA DEL AGUA

11.3.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

11.4. ENSAYOS BATCH – COEFICIENTE DE PARTICIÓN (K_d)

11.4.1. INTRODUCCIÓN

11.4.2. METODOLOGIAS DEL ENSAYO

CALIBRACIÓN DE FOTOMETRO MULTIPARAMÉTRICO C99-C200 (HANNA)

11.4.3. DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE PARTICIÓN (K_d) Y COEFICIENTE DE RETARDO (R)

11.4.4. DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE TRANSITO DE ZINC EN UN ESTABLECIMIENTO DEL ÁREA.

CAPITULO 12: CONCLUSIONES

12.1. CONCLUSIONES

12.2. RECOMENDACIONES

REFERENCIAS

ANEXOS

ANEXO I: DATOS HIDROMETEOROLÓGICOS

ANEXO II: ANÁLISIS DE LABORATORIO

AGREDECIMIENTOS

Quiero agradecer a mis padres y hermanos, por confiar en mí, por darme la fuerza necesaria para continuar y alentarme en cada una de las decisiones tomadas.

A Javi, mi gran amor, por acompañarme en este camino, estar siempre a mi lado y comprender mis ausencias por falta de tiempo, gracias vida por el amor y el apoyo incondicional de todos los días.

A mi nona Angelita, que ya no esta conmigo, gracias por las palabras justas en aquellos momentos difíciles y por seguir siendo mi guía desde el cielo.

A Moni, por darme la posibilidad de trabajar con ella, por confiar en mí y permitirme que continúe creciendo profesionalmente a su lado.

A Pau, mi gran amiga y confidente de años, gracias por estar en el momento justo y ser mi cable a tierra.

A todos mis amigos y compañeros que estuvieron conmigo en esta etapa y que de alguna forma u otra han hecho que sea más fácil transitarla.

CAPITULO 1
INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

1.1. INTRODUCCIÓN

En el último siglo las actividades agropecuarias han desarrollado técnicas capaces de aumentar sus producciones a niveles que se consideran no sustentables desde el punto de vista ambiental, ya que este progreso a nivel tecnológico y económico, está causando la degradación de los recursos naturales, especialmente aquellos que son renovables pero finitos a escala de vida humana, como lo son el suelo y el agua. Esta tendencia que va en aumento, incorpora cantidades significativas de contaminantes al suelo, a través de diferentes prácticas.

La agricultura, con el objetivo de aumentar los rindes por lote, incorpora toneladas de fertilizantes y pesticidas a los suelos. La ganadería, mediante la nutrición de animales y control de enfermedades, incorpora contaminantes al suelo a través de las excretas, situación que se magnifica en los sistemas de engorde intensivo “feed lots” (Blarasín *et al.*, 2008).

La intensificación del sistema de producción agropecuario incrementa los flujos de energía y nutrientes y lo expone a procesos de contaminación. El *feedlot* constituye un sistema de alta concentración de excrementos y de exposición a la contaminación localizada (Andriulo *et al.*, 2003). Las excretas derivadas de este sistema tienen el potencial de contribuir a la contaminación del ambiente con nutrientes (como nitrógeno, fósforo, entre otros), materia orgánica, sedimentos, patógenos, **metales pesados**, hormonas, antibióticos y amonio. El exceso de nutrientes en el agua superficial puede resultar en eutrofización, anoxia y en crecimiento de algas tóxicas peligrosas para la salud. La descomposición de la materia orgánica puede reducir los niveles de oxígeno y causar la muerte de peces. El nitrógeno, en la forma de nitrato, puede contaminar el agua subterránea. Esto cobra relevancia si se la utiliza como agua de bebida (USDA-EPA, 1999).

Entre los contaminantes que ingresan al suelo se destacan los metales pesados (Zinc, Cobre, Hierro, Manganeso, Cromo, Plomo, Cadmio, Níquel), cuya presencia es fundamental para el desarrollo del cultivo o el bienestar de los animales en proporciones muy pequeñas (ppm o µg/l), aunque

sobrepasados ciertos niveles se vuelven altamente tóxicos para diferentes formas de vida (Andriulo *et al.*, 2003).

Dado los procesos de retardo o eliminación de contaminantes que se llevan a cabo en el suelo, el mismo puede autodepurarse, siempre que las concentraciones de dichos compuestos no superen su capacidad de asimilación. Si esto ocurre, la vulnerabilidad de los acuíferos se ve incrementada notablemente, debido a la incapacidad de la zona no saturada de actuar como filtro. En dicha circunstancia los metales pueden llegar, viajar en el acuífero y alterar la calidad de las aguas subterráneas.

1.2. FUNDAMENTACIÓN

El área de estudio, que comprende un área de 150 Km², se sitúa en el sector Norte de la Cuenca del Arroyo La Colacha en el Departamento Río Cuarto, Provincia de Córdoba.

Desde mediados del Siglo XX y hasta la actualidad, la cuenca pedemontana, se caracteriza por una intensa actividad agrícola- ganadera. Las demandas fluctuantes del mercado internacional condujeron a los agricultores a aplicar diferentes prácticas, con el fin de mantener sus producciones e incluso aumentarlas. En su gran mayoría, estas técnicas fueron ejecutadas sin planificación alguna, generando con el tiempo la perturbación del agroecosistema, la alteración físico – química de las aguas subterráneas (Blarasin *et al.*, 2005) y la degradación física (Becker, 2006), físico – química (Cantú *et al.*, 2007) y biológica de los suelos (Bedano, 2009).

En la actualidad, la presencia de metales pesados en suelos y aguas subterráneas, se ha transformado en una temática de gran interés, debido a los problemas sanitarios que estos pueden ocasionar en el ser humano al encontrarse en proporciones superiores a las permitidas. La cuenca en estudio, no escapa a esta problemática ya que en mediciones realizadas en el área, han sido reconocidos algunos sitios con tenores superiores al fondo natural (Blarasin *et al.*, 2008). Por esta razón es fundamental establecer la dinámica, funcionamiento y movilidad de los metales pesados que ingresan al suelo mediante las actividades agrícola – ganadera que se llevan a cabo en el lugar, con el objetivo de determinar cuales son los factores ambientales que condicionan su comportamiento, y presencia en suelos y aguas subterráneas.

1.3. HIPÓTESIS DE TRABAJO

- La actividad agropecuaria utiliza productos que pueden generar la presencia de metales pesados en suelos y aguas subterráneas en cantidades anómalas en relación a valores de fondo natural.
- Los metales pesados, si bien muy afectados por procesos de retardo en los suelos, pueden alcanzar el acuífero freático, especialmente en sectores con menor espesor de zona no saturada.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. OBJETIVO GENERAL

- Determinar la presencia de metales pesados en suelos y aguas subterráneas en el agroecosistema del sector Norte de la Cuenca del Arroyo La Colacha, evaluando aquellos factores ambientales que inciden en su comportamiento.

1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar la geología y geomorfología del área de estudio.
- Definir las principales características de los suelos del área.
- Determinar las principales características hidrodinámicas e hidroquímicas del acuífero freático.
- Determinar en muestras de suelo, de los perfiles seleccionados: Materia Orgánica, Carbono Orgánico y pH.
- Determinar la presencia de Zn y Cu en muestras de suelo.
- Determinar la presencia en agua subterránea de los metales pesados Zn y Cu.
- Determinar las isotermas de adsorción de Zn para el sedimento que conforma el acuífero freático. (Ensayos Batch)
- Evaluar la posible incidencia de actividades agropecuarias sobre los recursos suelo y agua, en función de la información obtenida.

1.5. LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio “Cuenca del Arroyo La Colacha – Sector Norte” localizada en el sector pedemontano de la Sierra de Comechingones, se ubica al Noroeste del departamento Río Cuarto, al Sur de La Provincia de Córdoba (figura N° 1.5).

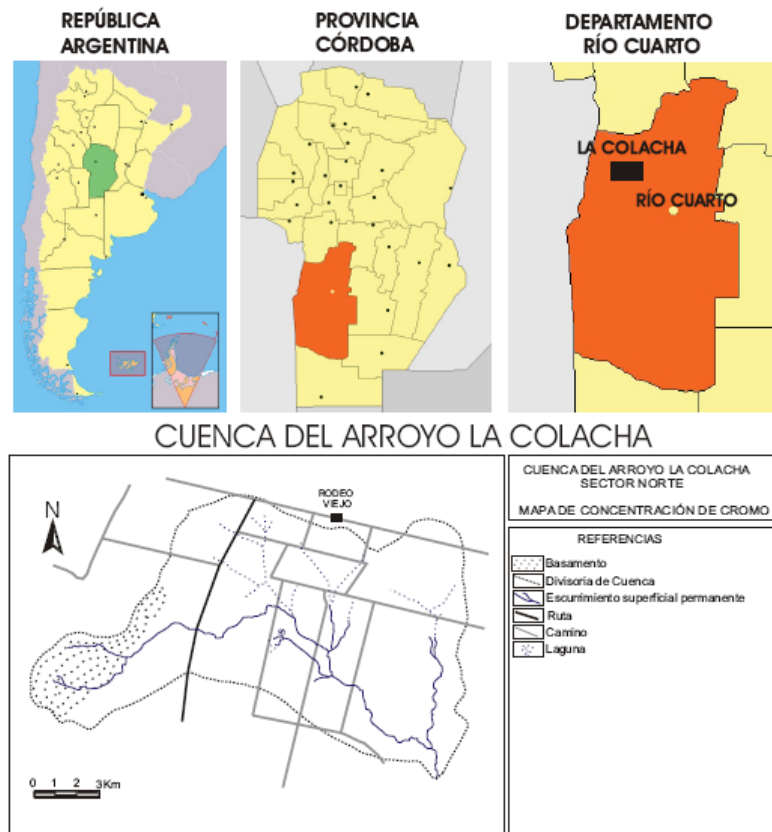


Figura N° 1.5: Ubicación del área de Estudio.

El acceso a la zona de estudio se realiza desde la Ciudad de Río Cuarto, a través de la ruta Provincial N°1, posteriormente se puede continuar por tres vías alternativas. Por la ruta provincial, a 10 Km de Río Cuarto y tomando hacia el Norte el camino consolidado al Paraje la Aguada, a 30 Km se localiza la cuenca. Otra posibilidad es continuando por la ruta provincial, a 15 Km de Río Cuarto hasta el cruce con el camino de la Costa de la sierra, tramo pavimentado, y por él hasta la unión con el camino Rodeo Viejo – La Aguada. Por último, desde la ciudad de Río Cuarto por el camino de la Costa del río, se accede al área a través de los parajes La Aguada y Rodeo Viejo.

CAPITULO 2
MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. ETAPA DE GABINETE PRELIMINAR

Se analizaron antecedentes bibliográficos generales y específicos del área y tema a investigar, cartas topográficas 1:50.000 del IGM, fotografías aéreas y subimágenes Landsat actualizadas. Se confeccionaron los mapas geológico – geomorfológico preliminares, de uso actual del territorio y de escurrimientos de agua superficial.

Con el objetivo de realizar el estudio hidrogeológico, se estableció la red de inventario de perforaciones en base a la carta topográfica 1:50.000 del IGM, (aprox. 1 pozo por cada 8 Km²).

2.2. ETAPA DE CAMPO

En campo se constataron las unidades geológicas – geomorfológicas previamente establecidas y se confirmaron las vías de escurrimiento superficiales identificadas en gabinete. Además se relevaron datos de perfiles aflorantes que permitieron completar las interpretaciones geológicas del área.

Se censaron 27 perforaciones y se extrajeron muestras de agua para posterior análisis en laboratorio. In situ se determinaron niveles freáticos con sonda piezométrica de señal lumínica y sonora, además pH, conductividad eléctrica, sales disueltas totales, oxígeno disuelto (OD) y temperatura (termómetro, peachímetro digital, Conductímetro Hanna, con compensación automática de temperatura y oxímetro Orion).

Se extrajeron muestras de agua superficial con el objetivo de contar con agua de la región, cuyas características coinciden con las de calidad de fondo natural del acuífero (ya que el arroyo en invierno drena el caudal de base aportado por la freática).

Se realizó el correspondiente relevamiento de actividades de uso de la tierra (prácticas de riego, uso de agroquímicos, ubicación de corrales, feed-lots, entre otros) para luego definir los sitios de muestreo de suelo. Se realizaron 3 calicatas, dos de ellas en sitios con cría intensiva y corral, y la otra en un suelo natural tomado como referencia. La descripción y muestreo

de los suelos se efectuó de acuerdo al Handbook N°18 (Soil Survey Staff, 1993).

2.3. ETAPA DE LABORATORIO

Se realizó el análisis físico-químico de las muestras de agua, midiéndose elementos mayoritarios (CO_3H^- , $\text{CO}_3^{=}$, $\text{SO}_4^{=}$, Cl^- , Ca^{+2} y Mg^{+2} por titulación, Na^+ y K^+ por fotometría), minoritarios (F, NO_3^- , NO_2^- con electrodos de ion selectivo), trazas (As) y realizándose determinaciones complementarias (dureza, alcalinidad, pH, RAS, CSR).

Una alícuota de las muestras extraídas de suelo fue enviada al Laboratorio de Investigaciones Químicas Aplicadas (LIQA) de la Ciudad de Villa María, Córdoba para la correspondiente determinación de los metales pesados Zn y Cu, en fase sólida. Además se muestrearon sedimentos correspondientes a la Fm Pampiano, para la determinación del Kd (coeficiente de partición) de los metales de interés (capacidad de los materiales originales de adsorber los metales pesados en relación a lo que permanece en solución). Los sedimentos de ésta Formación geológica son de utilidad debido a que conforman el acuífero (cuando se alojan a mayor profundidad) o bien porque tienen idénticas características texturales y mineralógicas a lo alumbrado en perforaciones más profundas en la cuenca.

En el Laboratorio de Suelos del Departamento de Geología se llevó a cabo el procesamiento de las muestras seleccionadas, determinando para cada una de ellas: contenido de carbono orgánico y materia orgánica a partir del método de Walkley y Black modificado (Jackson, 1976); pH por potenciometría (relación suelo-agua 1:2,5); bases por el método del acetato de amonio determinando calcio y magnesio por titulación, y sodio y potasio por fotometría de llama (Personal Laboratorio de Salinidad, 1982); capacidad de intercambio catiónico por el método de desplazamiento con acetato de amonio, determinando sodio total por fotometría de llama (Personal Laboratorio de Salinidad, 1982).

2.4. ETAPA DE GABINETE FINAL

Con los datos obtenidos en campo se confeccionaron los mapas definitivos: Geológico–Geomorfológico, Hidrolitológico, de Escurrimiento Superficial y de Usos del Territorio.

La información meteorológica del área fue obtenida a partir de datos de las Estaciones Meteorológicas pertenecientes a la Red de la Universidad Nacional de Río Cuarto, una ubicada en el Campus Universitario de la UNRC en la Ciudad de Río Cuarto (Serie 1974-2005) y la Estación La Aguada (Serie 1994-2008), localizada dentro del área de estudio en el Campo de Docencia y Experimentación Pozo del Carril de la UNRC en el sector de llanura. Además, se utilizó la información de la Estación Los Chañares (1941-2005) perteneciente a la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Provincia de Córdoba, situada fuera de la cuenca, en el sector serrano próximo a la naciente de la cuenca del Arroyo La Colacha. También, se dispuso de datos meteorológicos aportados por productores agropecuarios. Con toda la información se efectuó la caracterización climática, el Balance Hídrico Modular y el Balance Hídrico Seriado mediante el programa Pdimes (Ravelo, 1990), calculándose evapotranspiración real, excesos y déficit de agua.

Con los datos obtenidos del procesamiento de las muestras de suelo se procedió a la clasificación de los mismos de acuerdo al Soil Survey Staff (2008). Además se efectuaron gráficos de los metales pesados Zn y Cu en los diferentes horizontes de cada perfil sometido a la actividad agropecuaria en relación al suelo natural tomado como referencia.

Se elaboró el mapa de Equipotenciales del acuífero freático, de Isoprofundidad del nivel freático y con los resultados obtenidos mediante el análisis de laboratorio se procedió a la determinación geoquímica de las muestras mediante la clasificación de Custodio (1996), diagramas de Piper Hill y Stiff, para la posterior obtención de mapas Hidroquímicos (de isoconas, de isolíneas de relaciones iónicas). A partir de la determinación de propiedades complementarias (dureza, alcalinidad, pH, RAS, CSR) se

clasificó la aptitud del recurso y se confeccionaron los respectivos mapas de uso humano, ganadero y riego. Los datos obtenidos del análisis de metales pesados en agua subterránea, fueron procesados mediante técnicas estadísticas descriptivas uni y multivariado de tipo exploratorio y pruebas no paramétricas, utilizándose el programa SPSS. Las interpretaciones de la movilidad de metales en aguas, se realizaron teniendo en cuenta la hidrogeología de base, las actividades de uso del territorio y los resultados del comportamiento en el suelo.

A partir del coeficiente de partición obtenido (K_d), se procedió al cálculo del coeficiente de retardo (R) para determinar el tiempo de tránsito del contaminante en el acuífero freático.

Finalmente se interpretaron y analizaron los datos, para la elaboración de la escritura final de la Tesis.

CAPITULO 3
CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA

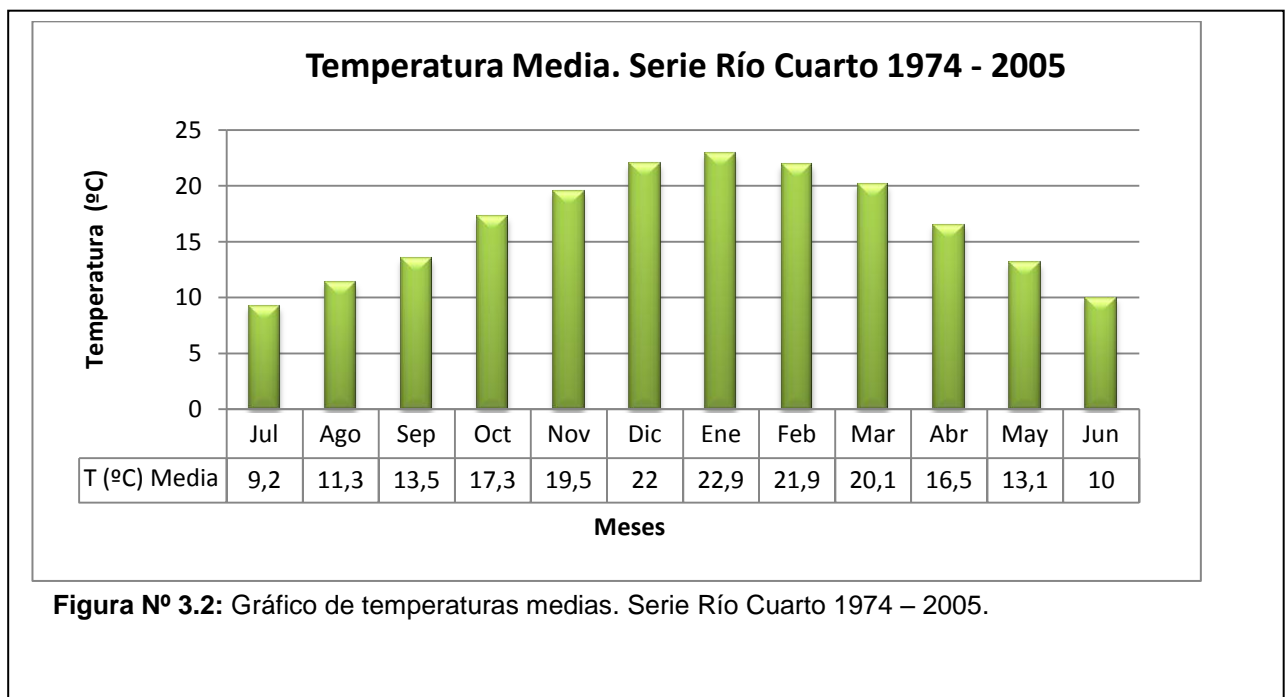
3.1. INTRODUCCIÓN

Para definir el comportamiento hidrológico de la cuenca, es necesario la descripción e interpretación de las variables meteorológicas: temperatura, precipitación, evapotranspiración entre otras, para obtener el balance hídrico local y por ultimo caracterizar climatológicamente el área de estudio.

Para obtener una mayor representación de los datos meteorológicos, se emplearon en el procesamiento la información disponible de tres Estaciones Meteorológicas como fueron mencionadas en el Capítulo 2 (pagina 10).

3.2. TEMPERATURA

El tratamiento de los datos de temperatura fue establecido con la información de la Estación Universidad Nacional de Río Cuarto, asimilables al área de estudio por la cercanía, y permitió obtener una temperatura media anual de 16,4 °C, con una media máxima de 20 °C y una media mínima de 11,42 °C. (figura N° 3.2).



3.3. PRECIPITACIÓN

Los registros de precipitaciones utilizados para el tratamiento estadístico de los mismos son los conseguidos de la “Estación Los Chañares” localizada en la propia Sierra de los Chañares, fuera de la cuenca aunque inmediatamente cercana a la divisoria y de la “Estación Experimental La Aguada” ubicada en el borde oriental de la cuenca, ambas con una serie cronológica continua, la primera de 31 años (1941-2005) y la segunda de 14 años (1994-2008).

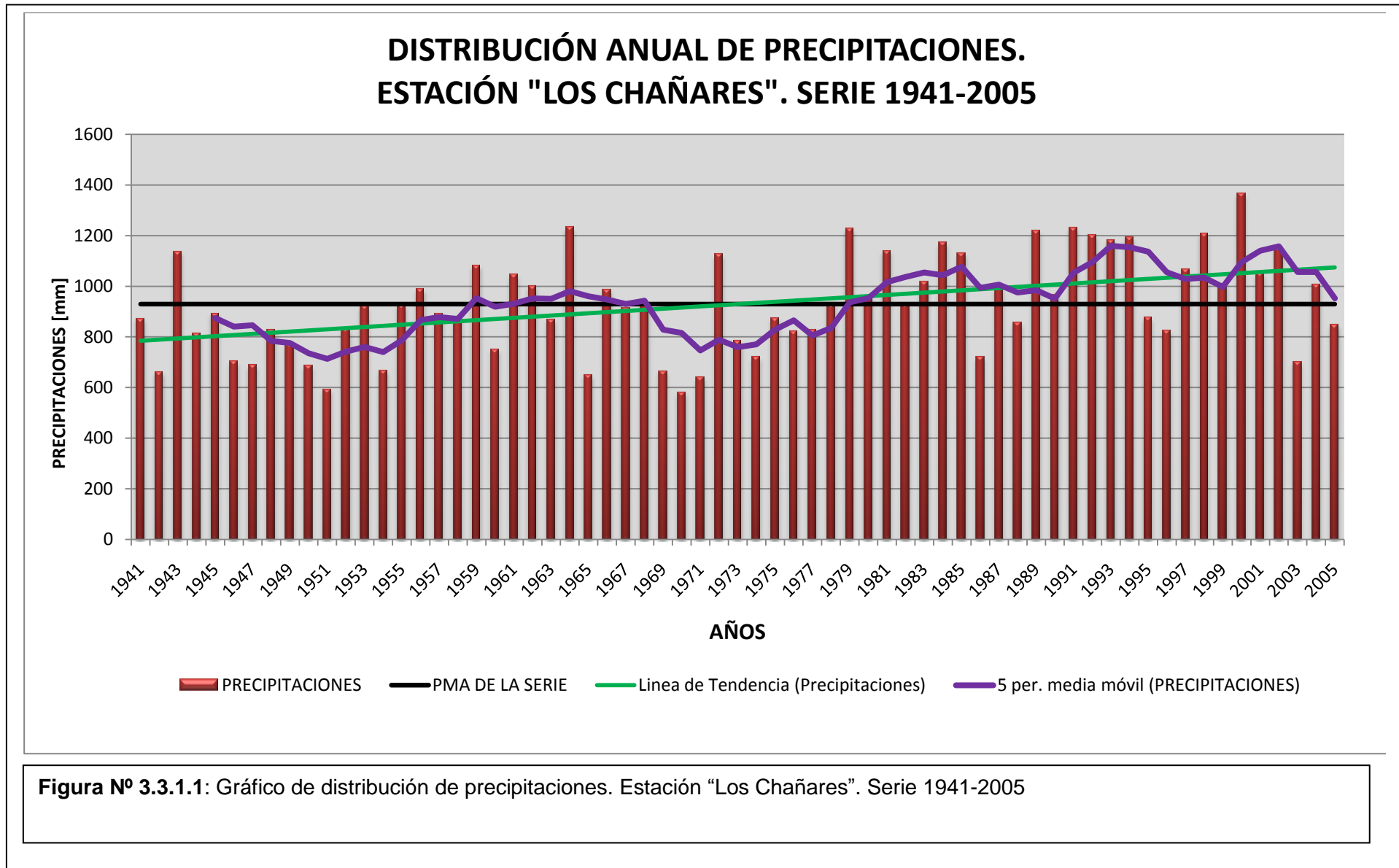
3.3.1. SERIE ESTACIÓN “LOS CHAÑARES”

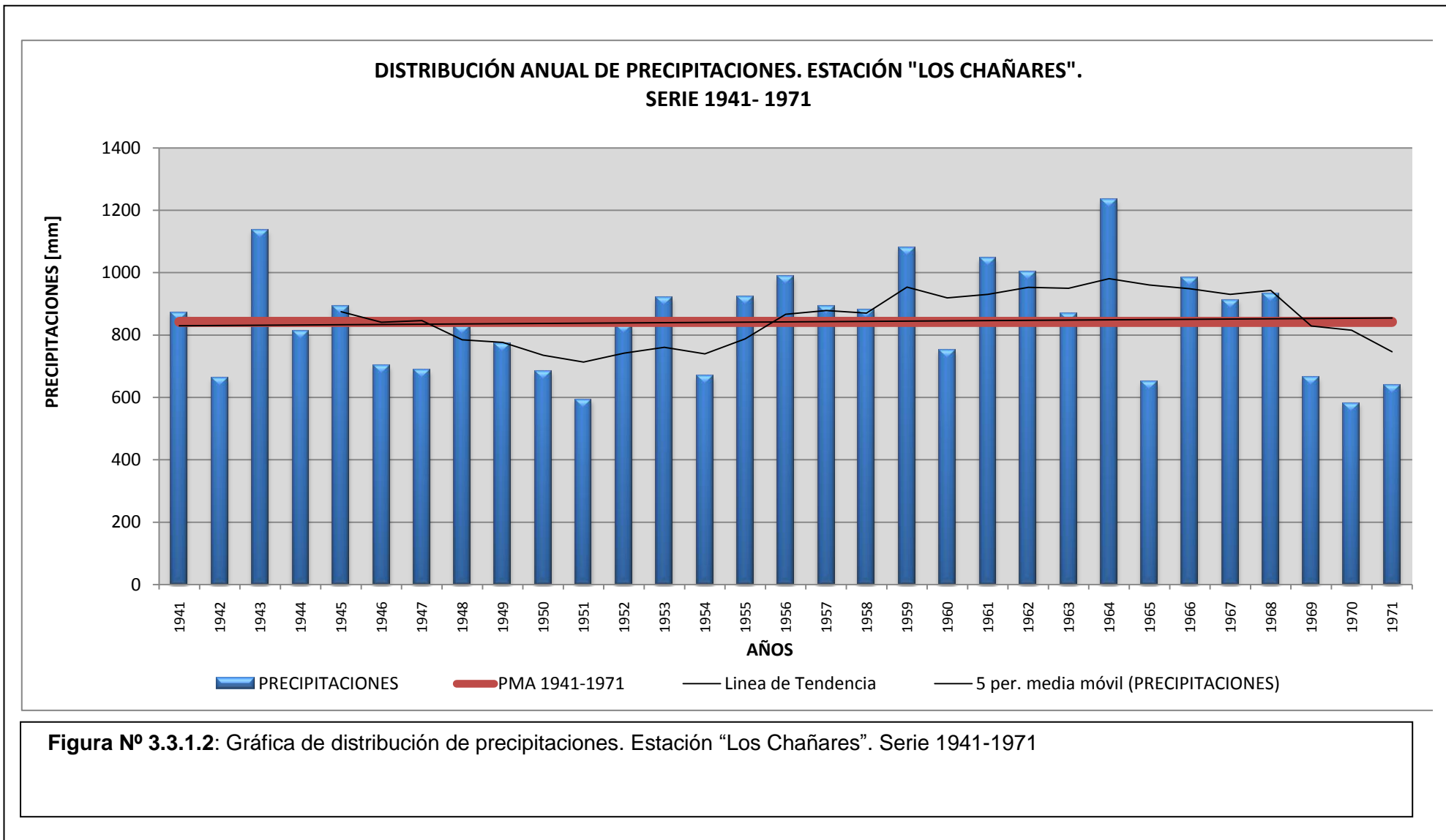
El tratamiento de la serie (1941-2005), permitió obtener una precipitación media anual de 933 mm (figura N° 3.3.1.1).

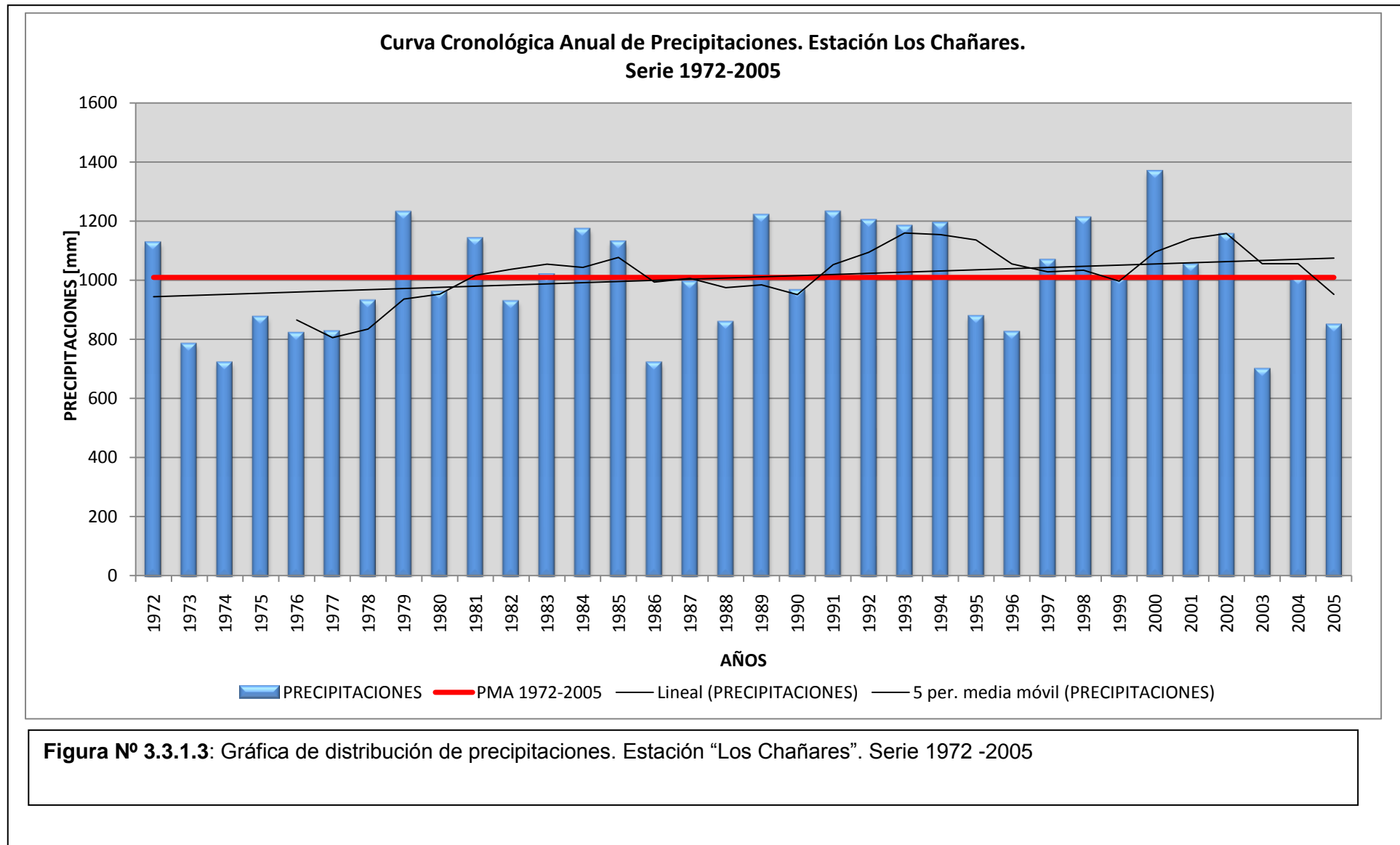
En la serie analizada, se observan dos grandes ciclos, el primero de (1941-1971), donde la media es de 843 mm y se lo considera el período más seco, la línea de tendencia es levemente creciente (figura N° 3.3.1.2), lo cual indica que a partir de este periodo las precipitaciones van en aumento, estableciéndose así el segundo ciclo de (1972-2005) que presenta una media de 1014 mm y es considerado el periodo más húmedo. La línea de tendencia es marcadamente creciente (figura N° 3.3.1.3).

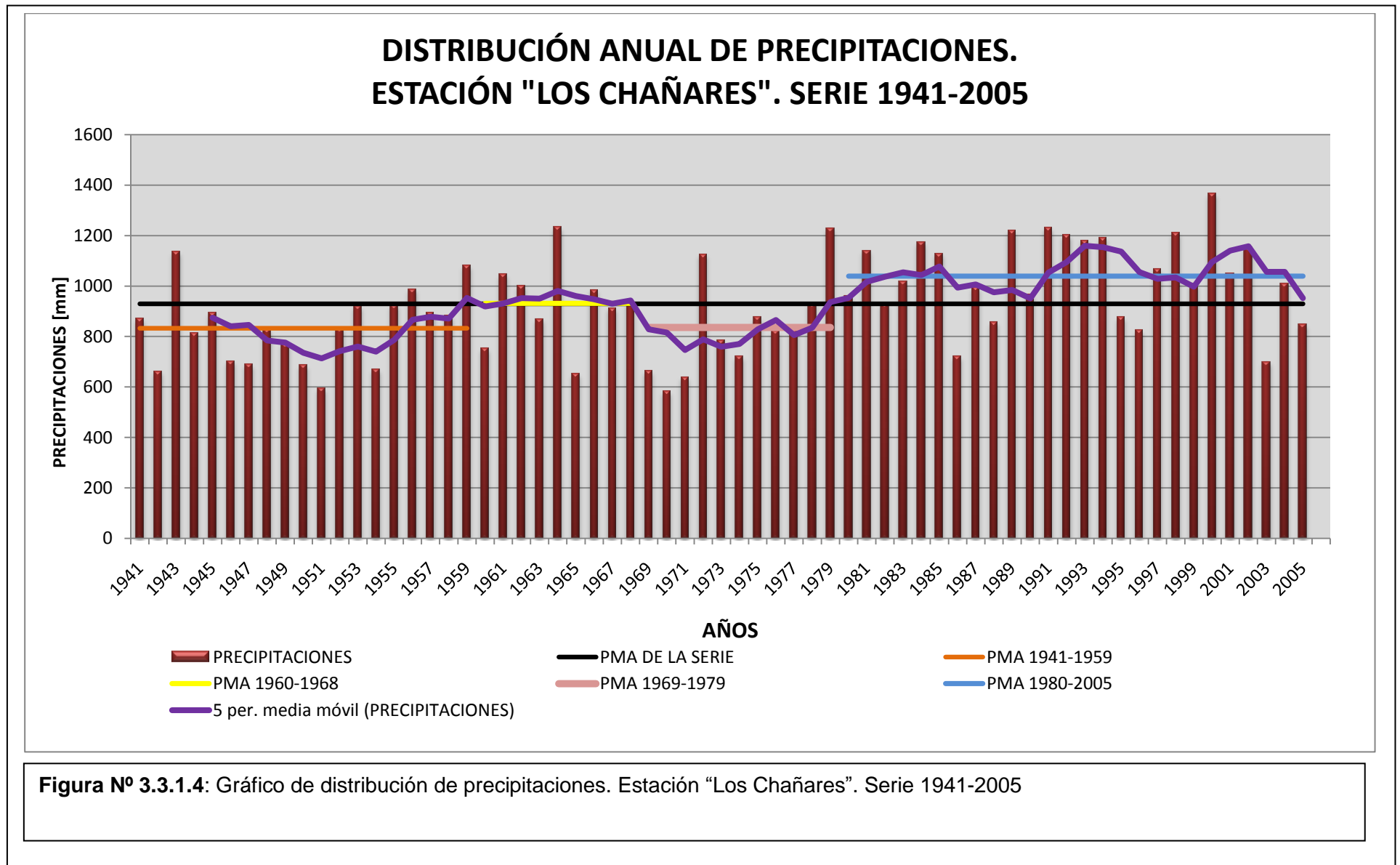
Analizando la Media Móvil (5 años) de la serie, en función de la PMA, se reconocen cuatro ciclos menores, dos secos y dos húmedos. El Primero de los ciclos (seco), comprende el período 1941-1959, presenta una media de 833 mm, 100mm por debajo de la PMA de la serie (figura N° 3.3.1.4). Según su media móvil (4 años), este período registra por su parte 2 subciclos húmedos (1941-1946 y 1955-1959) y uno seco (1947-1954) como se observa la figura N° 3.3.1.5.

El segundo ciclo (1960-1968), considerado húmedo, presenta una media de 931 mm, muy próxima a la PMA de la serie (933 mm) que se aprecian en la figura N° 3.3.1.4. Los años 1960, 1963 y 1965, son los más secos de este período (figura N° 3.3.1.6).





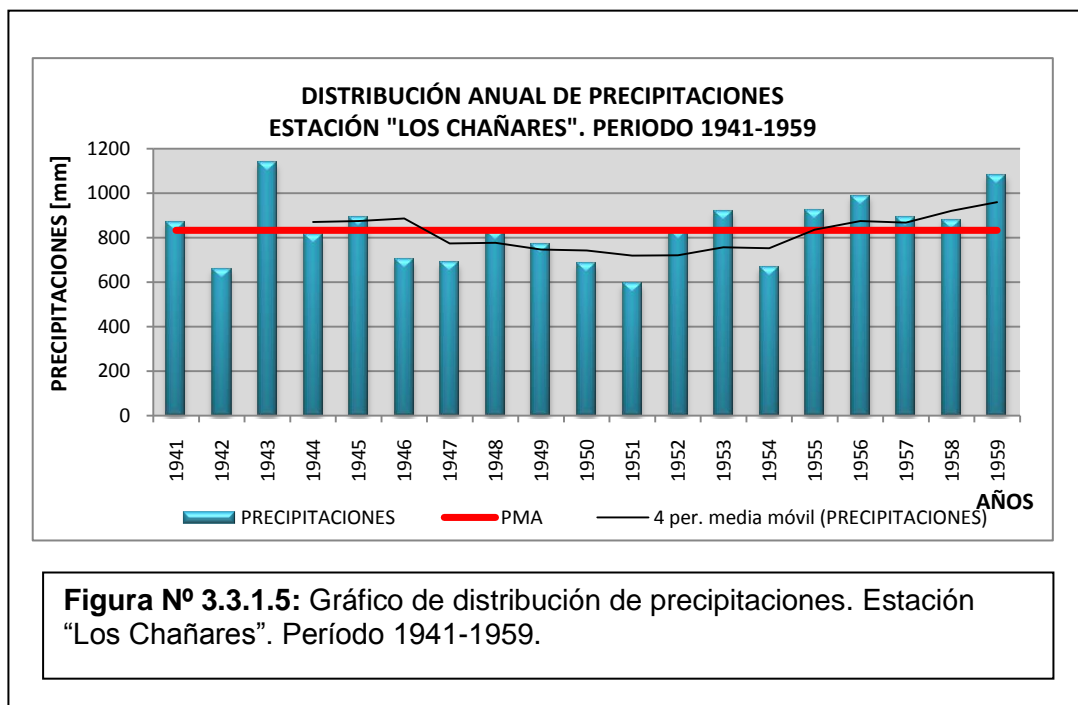




El tercer ciclo (1969-1979), se lo considera un período seco, con una media de 836 mm (figura N° 3.3.1.4) Los años 1972 y 1979 registran precipitaciones por encima de la media (1126 mm y 1229 mm respectivamente), mientras que los años 1969, 1970 y 1971, son los más secos (figura N° 3.3.1.7).

El cuarto ciclo (marcadamente húmedo), se corresponde con el período 1980-2005, presentando una media de 1040 mm (figura N° 3.3.1.4). Los años 1980-1985, presentan precipitaciones próximas a la media, mientras que el resto puede categorizarse según su media móvil (4 años), en 5 subciclos, dos húmedos y tres secos, aunque las medias se localizan entre los 1200 y 900 mm, respectivamente (figura N° 3.3.1.8).

Se concluye que dentro de la serie (1941-2005), perteneciente a la Estación Los Chañares, se observa una alternancia de periodos húmedos (PMA de 1014 mm) y secos (PMA de 843 mm), con una tendencia al aumento de la precipitación media anual, aspecto reflejado por la media móvil calculada de la serie (figura N° 3.3.1.4) y manifiesta mediante el aumento de los excesos hídricos que se producen a partir de la mitad del periodo 1980, los que incluso llegan a superar los 200 mm (figura N° 3.3.1.8).



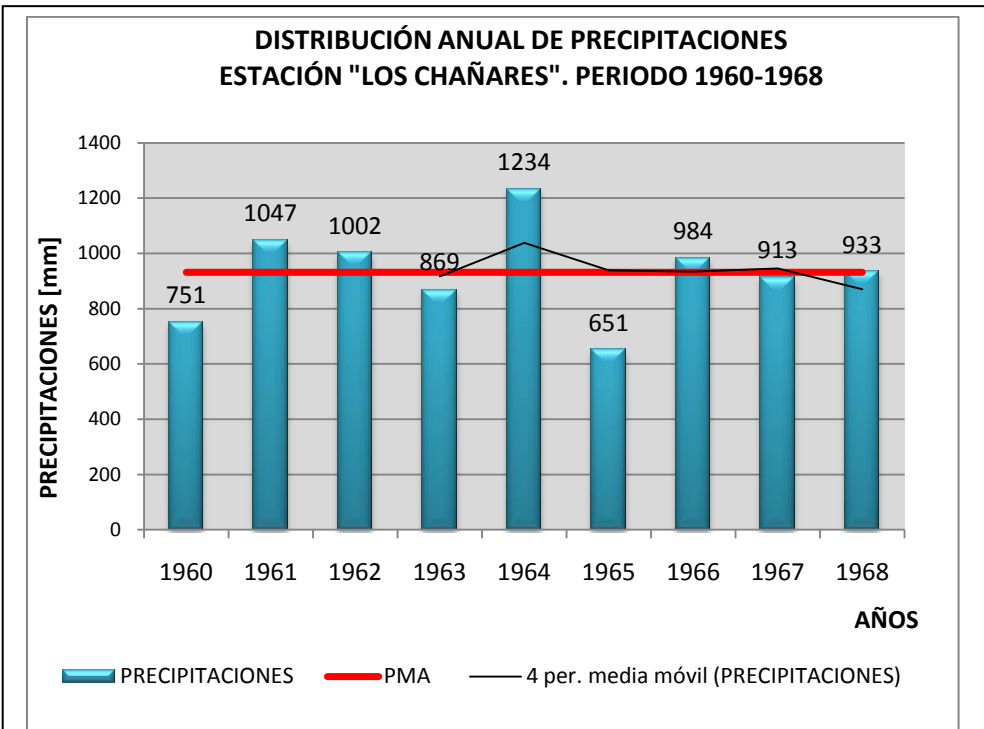


Figura Nº 3.3.1.6: Gráfico de distribución de precipitaciones. Estación "Los Chañares". Período 1960-1968

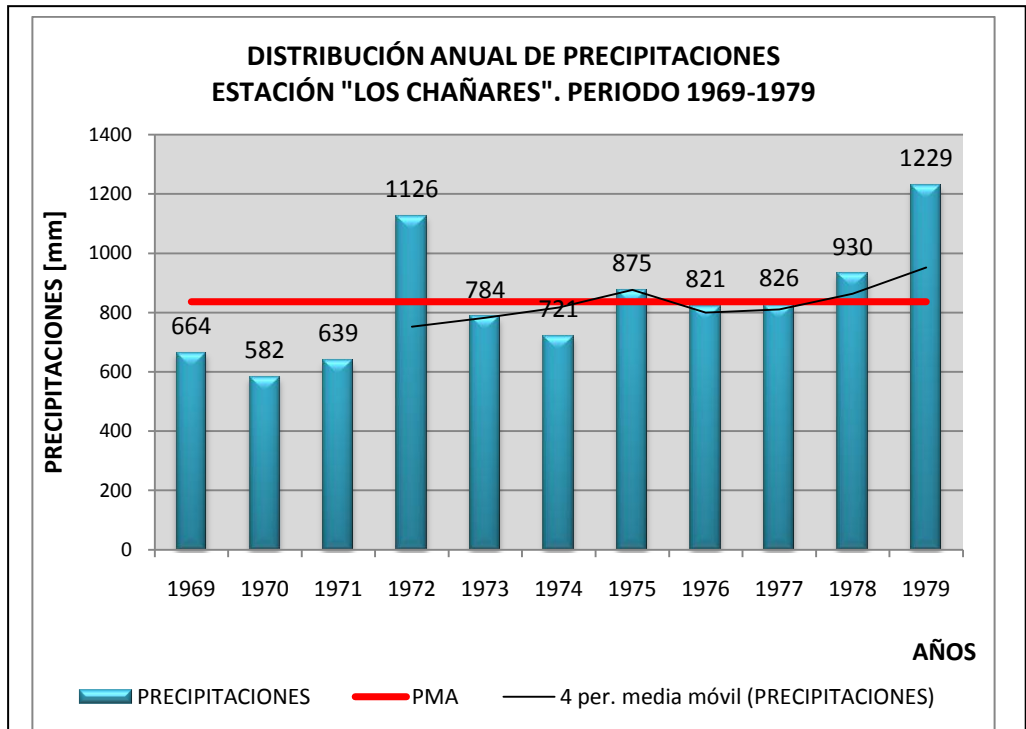
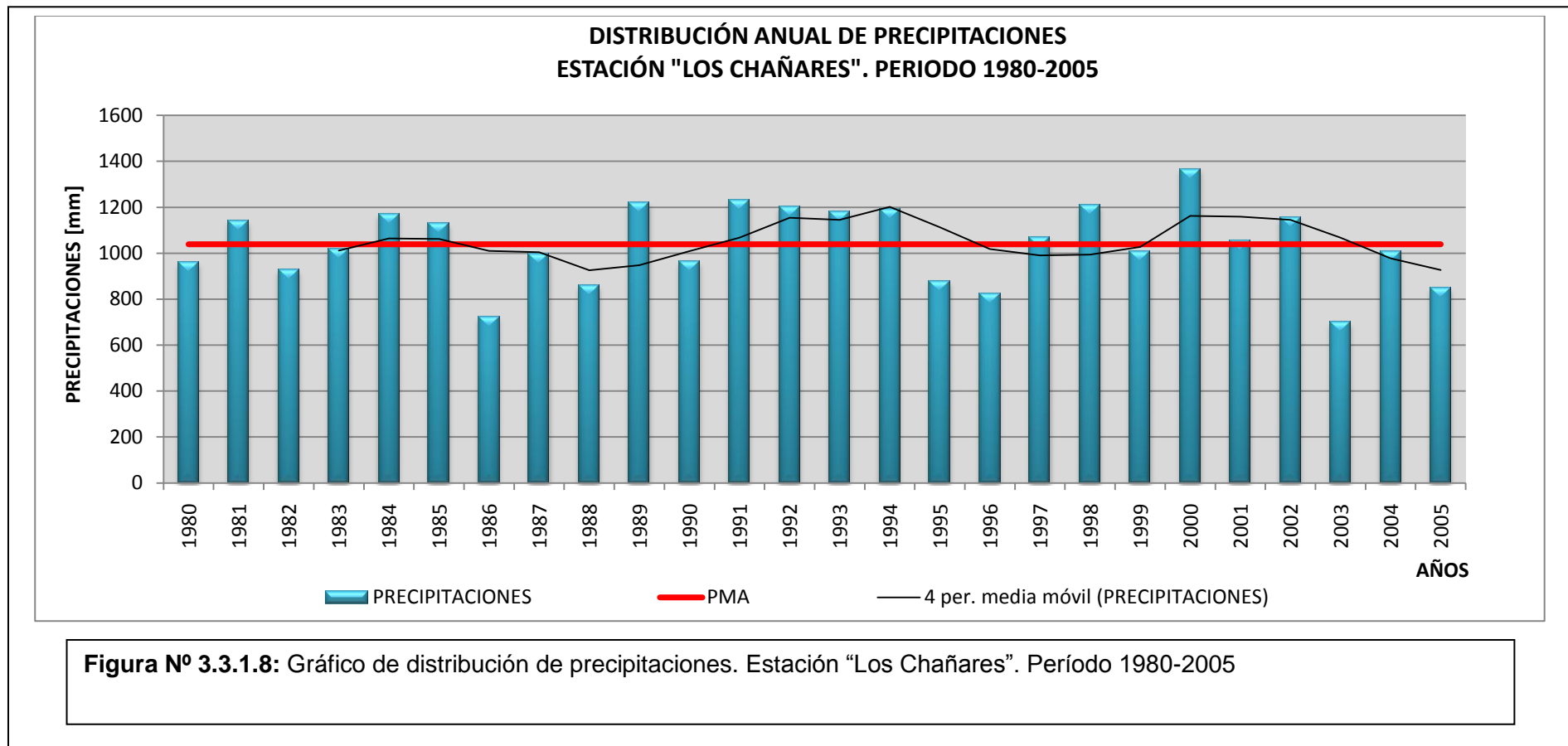


Figura Nº 3.3.1.7: Gráfico de distribución de precipitaciones. Estación "Los Chañares". Período 1969-1979



3.3.2. SERIE ESTACIÓN “LA AGUADA”

La estación La Aguada presenta una serie de 14 años (1994-2008), siendo más corta que la Estación Los Chañares. Del cálculo realizado se obtuvo una precipitación media anual de 776 mm, indicando una disminución importante en el monto de precipitaciones respecto de lo precipitado en la Sierra para el mismo periodo, que es de 1025 mm (figura N° 3.3.2.1).

La serie presenta 3 ciclos, el primero de (1994-1997), es considerado un período seco, con una media de 720 mm, encontrándose por debajo de la PMA. El segundo ciclo (Húmedo) se corresponde con el periodo 1998-2002, presenta una media de 854 mm, superior éste a la PMA. El tercer ciclo (2004-2008), es considerado seco y presenta una media de 736 mm.

En líneas generales, solo un año de la serie (1998 – 1075 mm) se aleja de la PMA, por lo cual se puede establecer que las precipitaciones producidas a lo largo de estos años son bastante uniformes, como lo expresa la media móvil calculada y la línea de tendencia (figura N° 3.3.2.1).

3.3.3. DISTRIBUCIÓN MENSUAL DE LAS PRECIPITACIONES

De las curvas de promedio mensual para la Estación Los Chañares, se concluye que los meses más húmedos para la serie se localizan entre octubre y abril, concentrándose el 87,45 % de las precipitaciones. El mes de Diciembre es el que presenta las mayores lluvias (156 mm). El resto de los meses concentran el 12,54 % de las precipitaciones, donde Junio es el mes más seco (16 mm) como se observa en la figura N° 3.3.3.1.

La distribución de los promedios mensuales para la Estación La Aguada muestra que entre los meses de octubre y abril se localiza el período más húmedo, representando el 89,46% de las precipitaciones, con enero como el mes más lluvioso (152 mm). El restante 10,53% se concentra en los meses de mayo a septiembre, siendo junio el mes con menos precipitaciones 8,4 mm (figura N° 3.3.3.2).

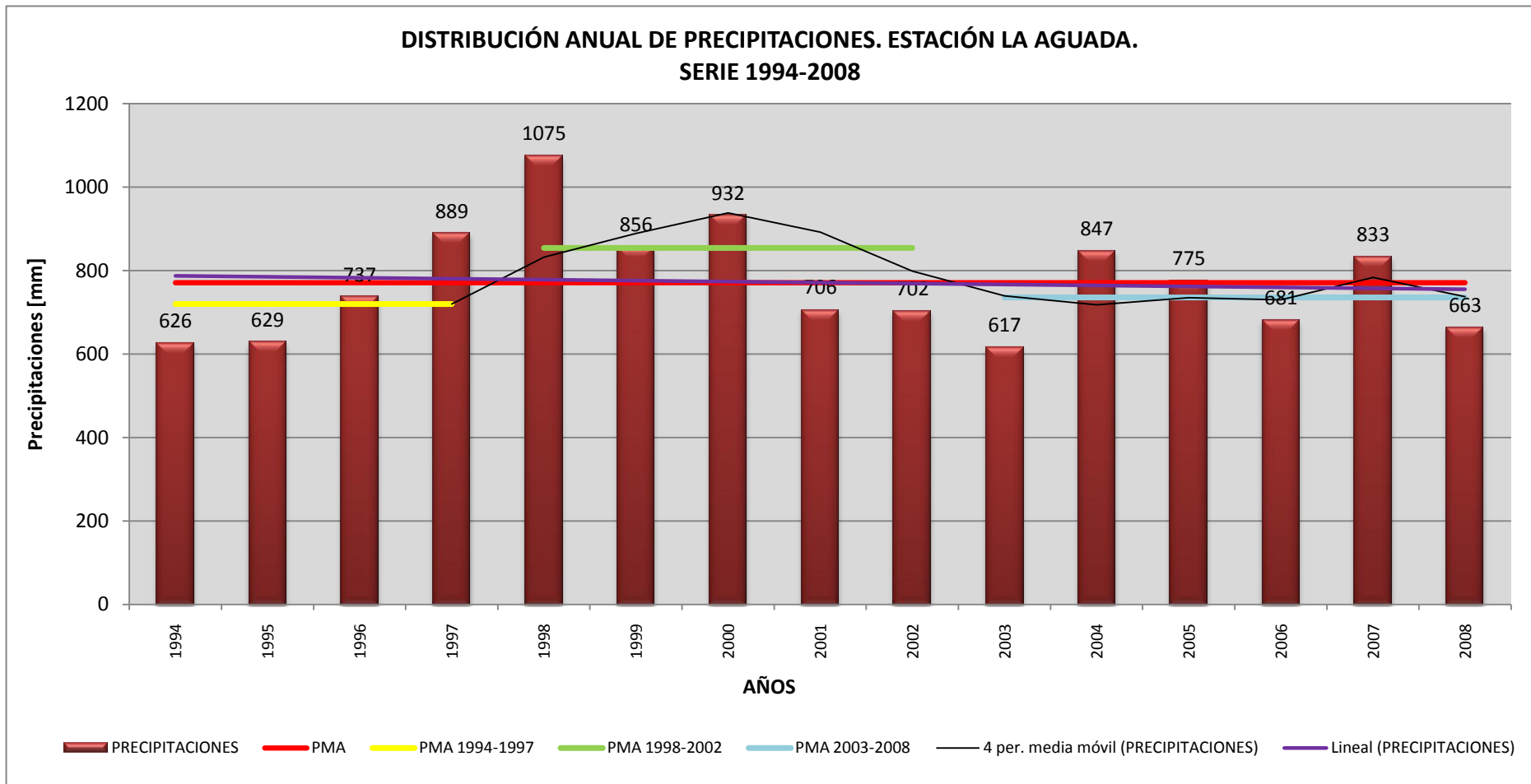
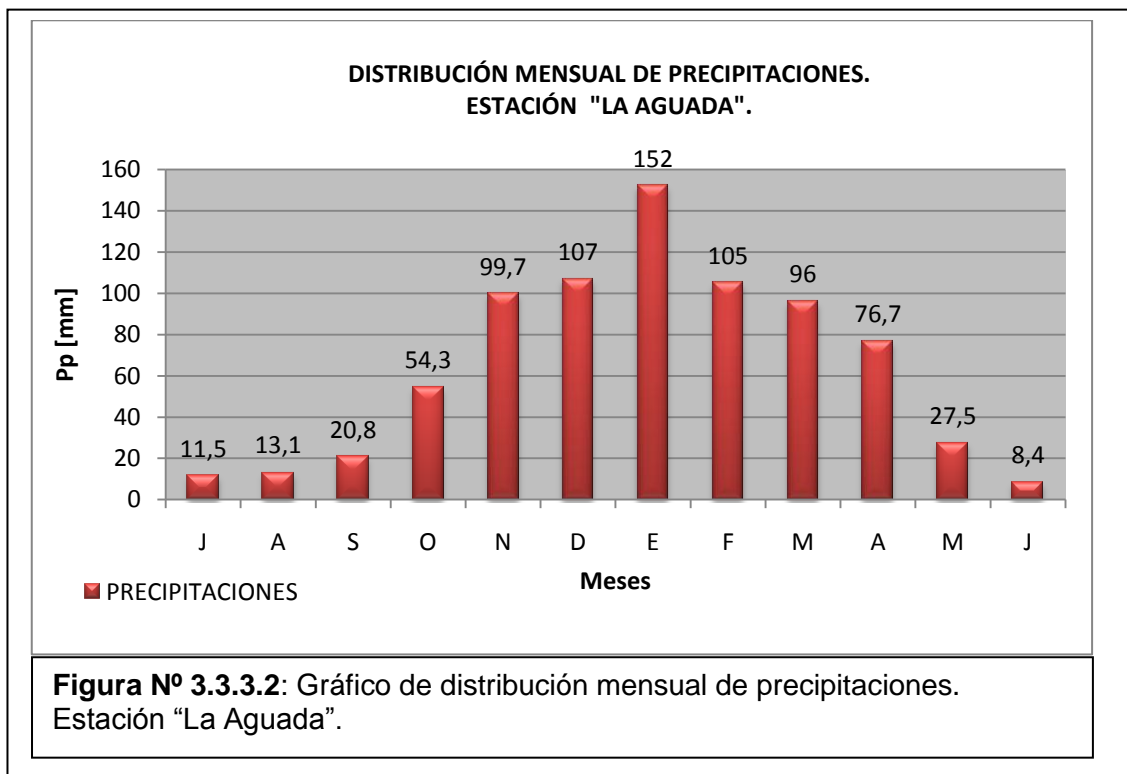
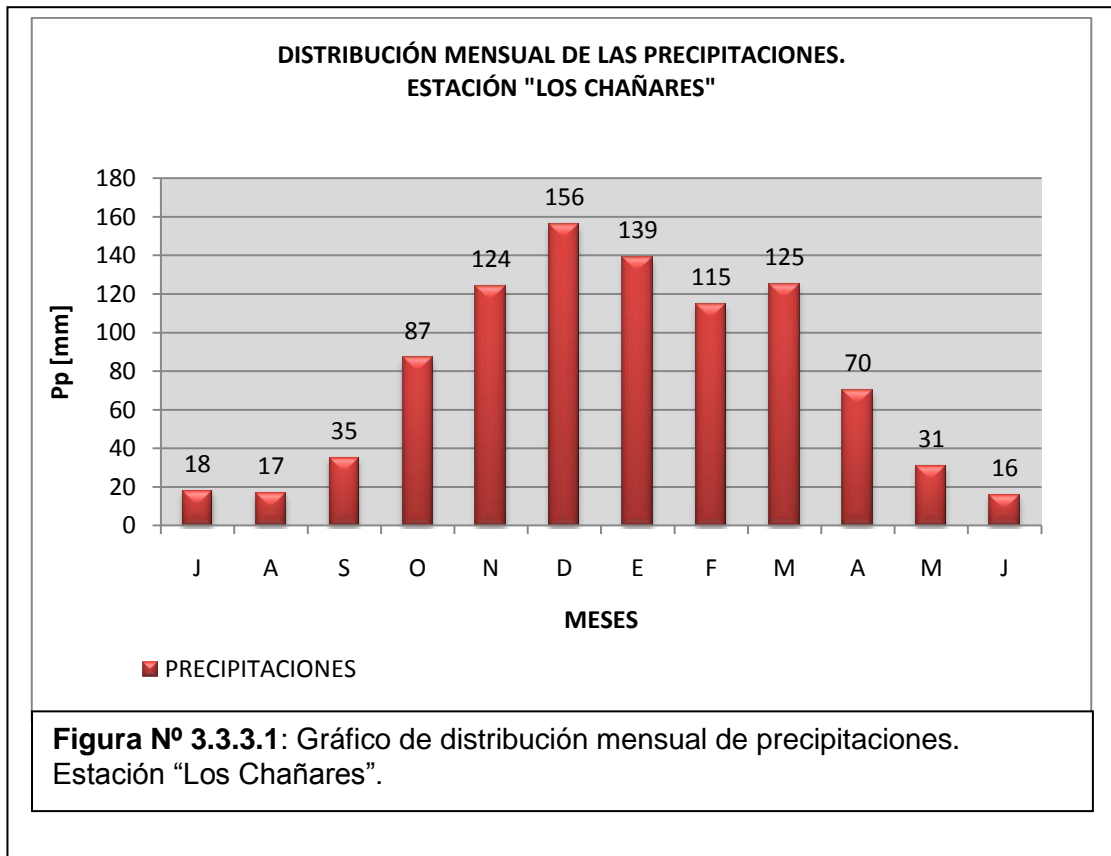


Figura N° 3.3.2.1: Gráfico de distribución anual de precipitaciones. Estación La Aguada. Serie 1994-2008



3.3.4. BALANCE HÍDRICO SERIADO

Con el objetivo de conocer los déficits y excesos de agua que se producen en la Cuenca del Arroyo La Colacha, se procedió al cálculo del Balance Hídrico Seriado (Ravelo, 1990), debido a que el mismo utiliza valores medios mensuales de precipitación y tiene en cuenta la humedad antecedente del suelo, obteniéndose así valores más próximos a la realidad.

Las variables de entrada, para realizar el cálculo, son la precipitación y la evapotranspiración potencial de cada mes. Las variables calculadas a partir del balance son: la evapotranspiración real, almacenaje, recarga potencial, agua potencial extraíble y excesos hídricos.

El balance fue realizado para las dos Estaciones, con el fin de obtener una mejor caracterización hidrometeorológica del área.

3.3.4.1. SERIE “LOS CHAÑARES”

Del análisis de la gráfica de Excesos Hídricos (figura N° 3.3.4.1) y considerando la media móvil (60 meses), se observan cinco ciclos:

El primero corresponde al período 1941-1945, caracterizado por presentar excesos, los que no superan los 130 mm y dos de los años (1942 y 1943) con marcado déficit.

El segundo ciclo (1946-1955), presenta una disminución importante en los excesos, cobrando mayor relevancia los meses deficitarios, dicho período es considerado uno de los más secos de la serie, con déficit que superan los 120 mm.

El tercer ciclo, comprendido entre los años 1956-1969 manifiesta un incremento en los excesos (> 120 mm), aunque dentro del período se registran meses con déficit.

A finales de 1969 y hasta 1976, se observa nuevamente un marcado déficit, destacándose los años comprendidos entre 1973 y 1975 por presentar incrementos en los excesos.

En el quinto ciclo (1977-2005), se reconocen según la media móvil tres ciclos menores [(1977-1986); (1987-1996); (1997-2005)]. Si bien existen años deficitarios, en general el período presenta un incremento en los excesos,

como lo muestra la línea de tendencia, llegando a superar los 200 mm en algunos años. Se lo considera el ciclo más húmedo de la serie.

En la tabla N° 3.3.4.1, se expresan los excesos y déficit acumulados para cada ciclo considerado, observándose claramente que los periodos 1941-1945 y 1956-1969 son los más secos de la serie, con déficit de 842,1 mm y 770,1 mm respectivamente. De los tres ciclos restantes, sólo el periodo 1941-1945, presenta excesos cercanos al déficit registrado, mientras que los periodos 1956-1976 y los tres subciclos pertenecientes al periodo 1977-2005, registran excesos acumulados por encima de los 1900 mm.

CICLOS	EXCESOS	DEFICT	BALANCE
1941-1945	552,9	452,9	EXCESOS
1946-1955	209,2	842,1	DEFICITARIO
1956-1969	1989,4	565,9	EXCESOS
1970-1976	455,8	770,1	DEFICITARIO
1977-2005			
Subciclos			
1977-1985	2171,4	265,2	EXCESOS
1987-1996	2762,3	332,0	EXCESOS
1998-2005	2166,8	240,9	EXCESOS

Tabla N° 3.3.4.1: Excesos y Déficit Hídricos por Ciclos.

Serie Los Chañares.

BALANCE HÍDRICO SERIADO
GRÁFICO DE EXCESOS Y DÉFICIT HÍDRICOS. ESTACIÓN LOS CHAÑARES. SERIE 1941-2005.

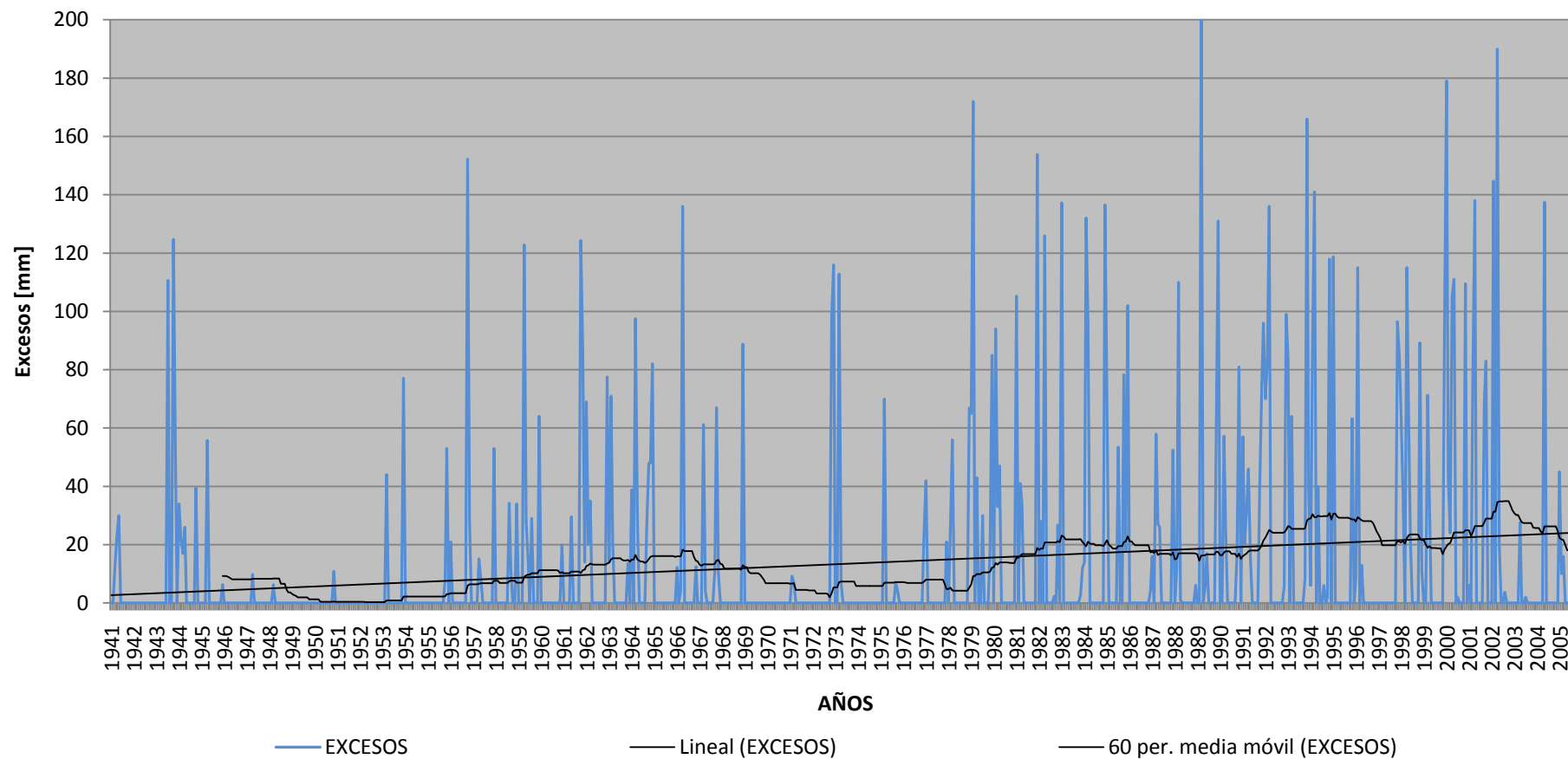
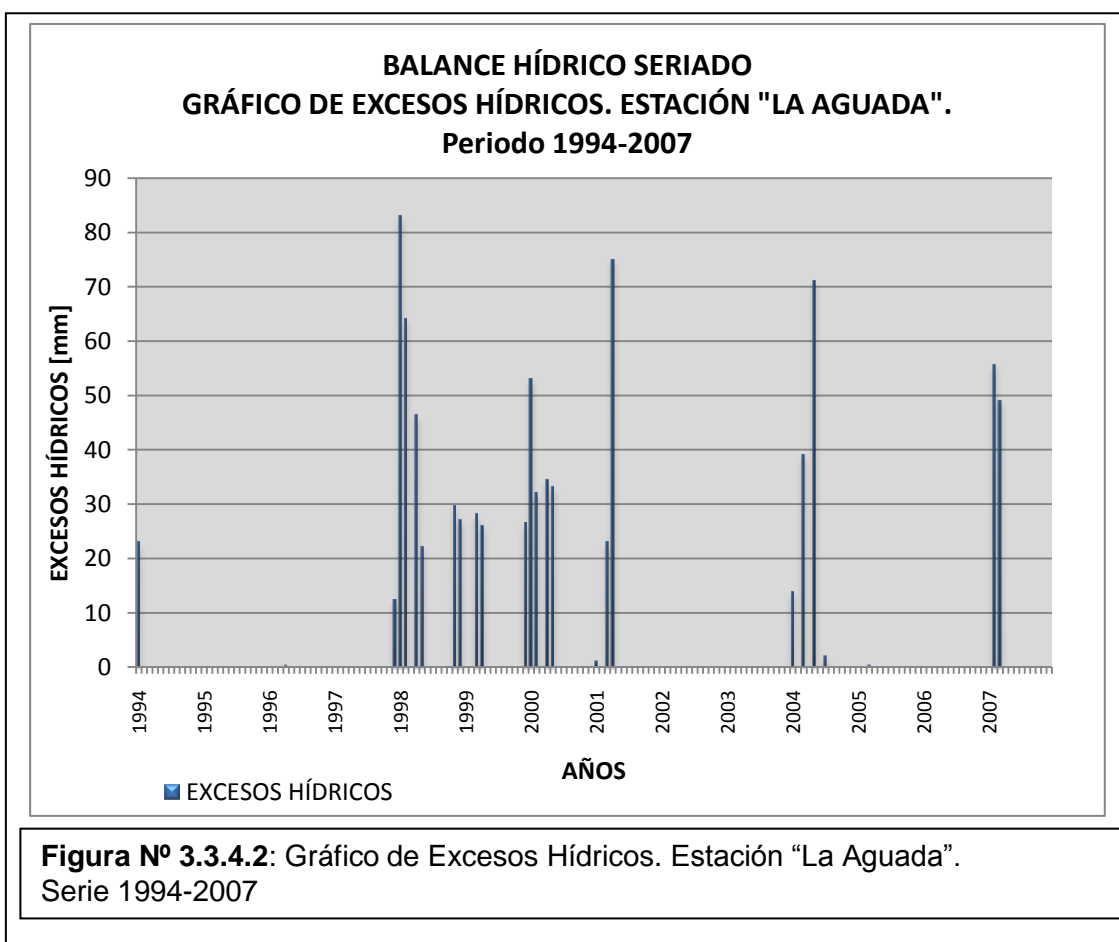


Figura Nº 3.3.4.1: Gráfico de Excesos y Déficit Hídricos. Estación “Los Chañares”. Serie 1941-2005

3.3.4.2. SERIE “LA AGUADA”

En la figura N° 3.3.4.2 (Excesos y Déficit Hídricos - Estación “La Aguada”) se observa en general que los años de la serie presentan mayor cantidad de meses con déficit que excesos. El período comprendido entre 1994-1997 se caracteriza por importantes déficit, solo enero de 1994 registra excesos. El período entre 1998-2001 presenta excesos en los meses de verano, registrándose déficit en los meses de invierno. Finalizando 2001 y hasta 2007 se observa un notable incremento en los déficits, con presencia de excesos en los meses de verano de los años 2004 y 2007. Como se observa, esta serie muestra un comportamiento en general más deficitario de agua en el suelo, lo que se correspondería con el comportamiento del agua en la zona de llanura (unidades geomorfológicas Llanura Eólica Suavemente Ondulada y Fuertemente Ondulada).



3.4. CLASIFICACIÓN CLIMÁTICA DE THORNTHWAITE

Para clasificar el área climatológicamente se empleó la clasificación propuesta por Thornthwaite y Matter (1955), la cual está basada en la evapotranspiración potencial (ETP) y la precipitación (P), que definen una serie de índices que se utilizan para establecer el tipo de clima.

Índice de Humedad:

$$I_h = \frac{100 * \text{excesos de agua}}{\text{necesidad de agua}}$$

$$\begin{aligned} \text{excesos de agua} &= P - ETR \\ \text{necesidad de agua} &= ETP \end{aligned}$$

Índice de aridez:

$$I_a = \frac{100 * \text{deficiencia de agua}}{\text{necesidad de agua}}$$

$$\text{deficiencia de agua} = ETP - ETR$$

Índice hídrico anual:

$$I_{ha} = \frac{100 * \text{excesos de agua} - 60 * \text{deficiencia de agua}}{\text{necesidad de agua}}$$

Los valores obtenidos para la cuenca en estudio son:

P: 779 mm I_h: - 0,80

ETP: 828 mm I_a: 5,10

ETR: 785,7 mm I_{ha}: - 3,87 Subhúmedo seco

De acuerdo con los valores, el clima puede ser caracterizado como Mesotermal, Subhúmedo-Seco, con nulo a pequeño exceso de agua.

CAPÍTULO 4
MARCO GEOLÓGICO REGIONAL

4.1. GEOLÓGIA REGIONAL

El área de estudio “Cuenca del Arroyo La Colacha – Sector Norte”, se encuentra localizada dentro de dos grandes provincias geológicas; Sierra Pampeanas al W y Llanura Chaco-Pampeana al E, ésta última con mayor extensión areal dentro de la Cuenca (figura N° 4.1.a).

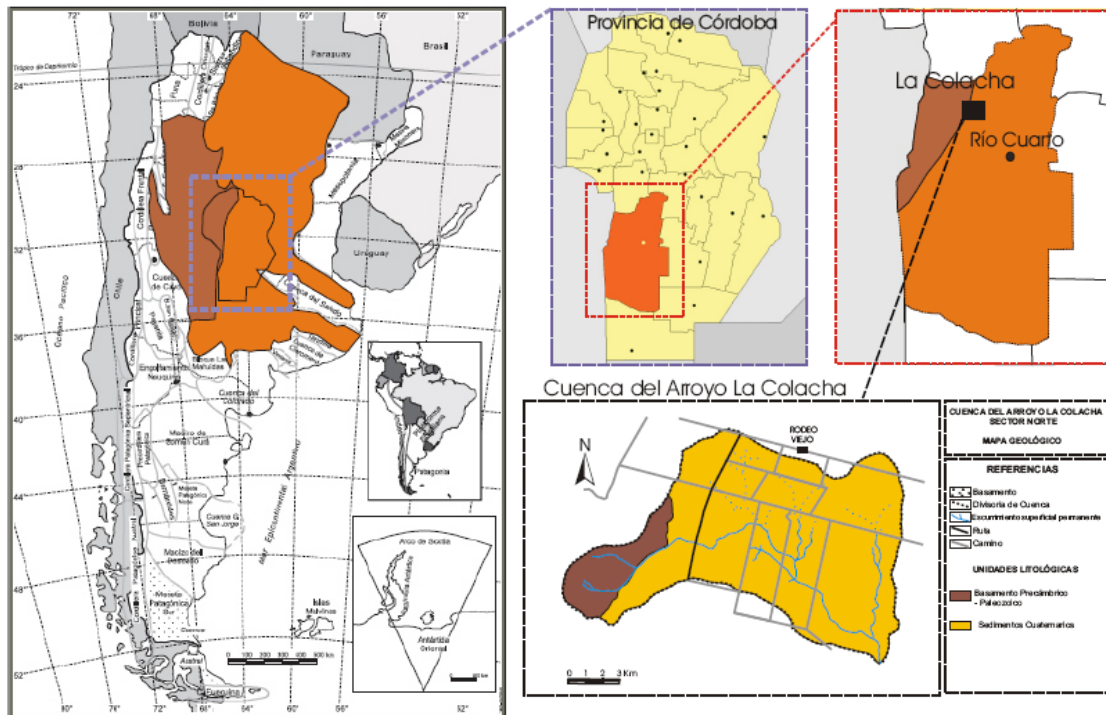


Figura N° 4.1.a: Ubicación del Área de Estudio, dentro del Marco Geológico Regional.

4.1.1. SIERRAS PAMPEANAS

Esta unidad comprende una serie de sierras formadas por esquistos cristalinos o metamórficos, actualmente dividida en dos provincias de características diferentes, las Sierras Pampeanas Occidentales y las Orientales. Las Sierras Pampeanas Orientales corresponden a un orógeno generado durante el Proterozoico, con una colisión cercana al límite Precámbrico-Cámbrico, que sería responsable del magmatismo y metamorfismo de esa edad (Ramos, 1988; Rapela y Pankhurst, 1996). Abarcaría las sierras de Córdoba Norte, las sierras Grande y Chica de Córdoba y la sierra de Comechingones, con la parte más oriental de la sierra de San Luis, las cuales se enmarcan dentro de los 29° hasta los 33° 30' de latitud Sur.

Las Sierras Pampeanas responden a un estilo estructural tectónico de megaestructuras inversas de rumbo aproximadamente N-S, delimitando bloques basculados y escalonados hacia el Este y el Sur con escarpa abrupta al Oeste y pendiente suave tendida al Este (Gordillo y Lencinas, 1979).

Las Sierras de Comechingones forman parte de las Sierras Pampeanas Orientales, constituidas por rocas de basamento ígneo metamórfico de edad más antigua que el Paleozoico Superior que exhibe deformaciones dúctiles frágiles, hasta ese período y un comportamiento frágil posterior.

Según Otamendi *et al.* (1996), las deformaciones pre-carboníferas se desarrollan durante los ciclos tectónicos Pampeanos y Famatiniano y son responsables de la estructura interna del basamento.

Las rocas metamórficas corresponden principalmente a gneises y esquistos los cuales fueron intruidos en el Paleozoico por batolitos graníticos. Subordinado a estas litologías, afloran cuerpos de mármoles, anfibolitas, metacuarcitas, esquistos filíticos y fajas discontinuas de rocas máficas y ultramáficas (Bonalmi *et al.*, 1998). Este conjunto ígneo-metamórfico se encuentra completamente deformado, reconociéndose varias fases de plegamientos (Dalla Salda, 1984).

No se reconocen en la región depósitos sedimentarios Triásico – Jurásico, debido a que la misma presentaba un relieve positivo para dichos períodos. En el Cretácico inferior se depositan cuerpos de mayor difusión y potencia correspondientes a sedimentos continentales, que se apoyan discordantemente sobre el basamento, compuestos por areniscas y conglomerados rojos. Estos depósitos inmaduros carentes de fósiles y de típicas facies desérticas se asocian frecuentemente con volcanitas de la asociación de basaltos olivínicos alcalinos (Gordillo y Lencinas, 1979).

Las sedimentitas terciarias son fundamentalmente depósitos detríticos continentales, en gran parte estratos rojos, con escasas participación local de evaporitas. Son sedimentos de poca madurez textural y mineralogía con una tendencia granodecreciente en la parte alta de la secuencia. Afloran en los

bordes de las serranías, por ejemplo en la zona de Embalse de Río Tercero y en las llanuras circundantes se encuentran tapizadas generalmente por materiales cuaternarios (Gordillo y Lencinas, 1979). Estos últimos constituyen el relleno de algunos valles serranos y cubren las pampas de altura.

4.1.2. LLANURA CHACO – PAMPEANA

La primera descripción de esta unidad como una provincia geológica se debe a Groeber (1938) quien la caracterizó como una extensa planicie desarrollada entre las Sierras Subandinas y las Sierras Pampeanas al Oeste y el río Paraná al Este. Su límite Sur se extiende hasta el río Colorado, hundiéndose en la plataforma continental. Su rasgo más conspicuo es el extenso desarrollo de una transgresión marina de edad miocena media (13 a 15 Ma), que cubrió gran parte de la planicie.

Para Chebli *et al.*, (1979), se corresponde con una unidad geomorfológica mayor que pasa gradualmente, con límites imprecisos, a las unidades vecinas.

La Llanura Chacopampeana es parte de un antepaís, que recibió desde el Mioceno, sedimentos provenientes del levantamiento andino y que hoy constituye mayormente el lugar de tránsito de esos sedimentos hacia la plataforma y talud continental atlántico.

Tectónicamente esta llanura es una gran cuenca integrada por bloques delimitados por estructuras meridionales a submeridionales, a las que se asocian otras de rumbo E-O y NNO-SSE. Dado que la tendencia general de esta cuenca fue marcadamente negativa, su relleno sedimentario está integrado por rocas de edad Cámbrico-Ordovícico a Holoceno (Chebli *et al.*, 1979)

Las edades registradas dentro de la cuenca, para los niveles inferiores, van desde 1516 Ma., en el centro hasta 441 Ma. al Este de las Sierras Pampeanas (Russo *et al.*, 1979).

La sucesión sedimentaria presenta, aún a escala regional, diferentes fosas que le confieren al basamento un aspecto de grandes cubetas separadas por altos o dorsales.

Las diferentes cuencas identificadas corresponden a Las Breñas (Paleozoico Superior), Chacoparanaense (Neopaleozoico y Mesozoico), que incluye la cuencas de Rosario, General Levalle, Macachín y Salado.

Para el Paleozoico Inferior, diversos autores proponen un régimen distensivo, con diferentes depocentros, de los cuales sólo se conoce el relleno del hemigraben de Las Breñas en el NO de la Llanura Chacopampeana. Junto a otras, las perforaciones de Ordoñez (YPF), Santiago Tempíe y Camilo Aldao, no hallaron secuencias del Paleozoico Inferior en Córdoba.

Durante el Carbonífero-Pérmico, el régimen tectónico fue compresivo con subducción Pacífica buzante al Este. Todas las perforaciones ubicadas dentro de los límites de la cuenca Chacoparanaense han encontrado depósitos Gondwánicos. La cuenca se conforma como una enorme cubeta con algunos depocentros como la subcuenca de Ordoñez. En la Formación Ordoñez (Chebli *et al.*, 1999) se reconocieron depósitos de origen continental con restos vegetales las que, según este autor, estarían presentes al menos en la parte oriental de la provincia de Córdoba.

En el Pérmico tardío – Triásico temprano el régimen de esfuerzos compresionales se modifica a extensional, dando origen a los rift triásicos, que aprovechan las zonas de debilidad propiciadas por las suturas paleozoicas (Chebli *et al.*, 1999).

Durante el Cretácico y asociado al proceso de rifting, relacionado con la apertura del océano Atlántico, se generaron importantes depocentros rellenos de secuencias volcano-clásticas. En la cuenca de Levalle se reconocieron conglomerados seguidos inmediatamente por las llamadas areniscas inferiores del rift con intercalaciones frecuentes de limolitas. Por encima de ese ciclo se encuentran coladas basálticas, filones capa, diques y cuerpos subvolcánicos (Chebli *et al.*, 1999). Hacia el final del régimen extensional (Cretácico tardío-

Paleoceno) se depositaron sedimentos compuestos por conglomerados con clastos de basaltos, areniscas, pelitas y rocas carbonáticas, que marcan la transición de un ambiente continental a marino costero (Chebli *et al.*, 1999).

En el Terciario, la región adquiere básicamente su configuración actual, ya que los movimientos entre placa, motivan la elevación de la Cordillera de los Andes y la reactivación de las Sierras Pampeanas. En la llanura en cuestión, la única manifestación de inversión cenozoica en subsuelo, corresponde al borde occidental de la cuenca de General Levalle. Para esta época, los cambios eustáticos del nivel del mar cobraron relevancia, produciéndose ciclos variables, con ascenso lentos y descenso bruscos del mismo. Las Formaciones terciarias, alternan entre depósitos netamente continentales a marinos, llegando en algunos sectores a estar ausente los depósitos de transición.

Los depósitos asignados al Cuaternario (figura N° 4.1.b) dominan principalmente en el sector pedemontano y de llanura. Cantú (1992) establece para este período y para el Sur de Córdoba una secuencia estratigráfica formada por sedimentos fluviales, eólicos, palustres, con diferentes niveles de cementación y edafización. Este autor define las siguientes Formaciones.

- Plio-Pleistoceno: Formación Alpa Corral, compuesta por arenas finas a gravas gruesas correspondientes a un ciclo fluvial.
- Pleistoceno Medio-Superior: Formación Pampiano, formada por una secuencia de sedimentos de origen eólico y fluvial entoscados, los cuales constituyen el nivel de base de la mayoría de los cursos de la región.
- Pleistoceno Superior: Formación Chocancharava, son sedimentos fluviales con diferentes grados de energía respondiendo a un período más húmedo.
- Pleistoceno Superior-Holoceno: Formación La Invernada, sedimentos eólicos correspondientes a una aridización del clima durante ese período.
- Holoceno Medio: Formación Las Lajas, representada por depósitos fluviales de diferente magnitud, en respuesta a un nuevo período húmedo.
- Holoceno Superior: Formación Laguna Oscura, incluye materiales arenolimosos de origen eólico, correspondientes al ciclo árido del Holoceno

superior. Por último, durante el clima actual (1100 a.p) se generan los suelos actuales por edafización de los sedimentos más jóvenes.

ERAS	SISTEMAS	EDADES	UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS	LITOLOGÍA
CENOZOICO	CUATERNARIO	Actual – Holoceno Superior	Sedimentos Fluviales, lagunares y palustres.	Fluviales, pelíticos, lagunares y palustres, psamoperlíticos de abanicos de derrame.
			Formación Laguna Oscura	Arenas finas, limos interdigitados por material pelítico
		Holoceno Medio – Superior	Formación Las Lajas	Gravas, arenas y limos
			Formación La Invernada	Loess
		Pleistoceno Superior	Formación Chocancharava	Pelitas y conglomerados
		Pleistoceno Sup – Medio	Formación Pampiano	Limos y limos arenosos finos
		Pleistoceno Inf– Plioceno Superior	Formación Alpa Corral	Arenas y gravas
	TERCIARIO			

Figura Nº 4.1.b: Tabla estratigráfica para la Hoja Geológica Río Cuarto. Degiovanni *et al*, 2003.

4.2. GEOMORFOLOGÍA REGIONAL

A escala regional la geomorfología del Sur de Córdoba está estrechamente ligada a una estructura en bloques que caracterizan a las Sierras Pampeanas y Llanura Chaco-Pampeana, a las variaciones climáticas y a eventos neotectónicos (Degiovanni *et al.*, 2005) como se observa en la figura N° 4.2.

La provincia geomorfológica de las Sierras Pampeanas es una macrounidad morfoestructural que se reconoce en varias provincias del Oeste de la República Argentina y está integrada por una sucesión de megabloques, asimétricos, constituida por basamento ígneo-metamórfico de edad Precámbrico-Paleozoico inferior. Estos megabloques exhiben una larga y compleja historia denudativa (desde el Carbonífero superior), modificada por la orogenia Andina. En el Sur de la provincia de Córdoba este sistema está representado por Las Sierras de Comechingones, Los Cóndores y Las Peñas.

La Llanura Chaco-Pampeana es una gran planicie agradacional con una leve pendiente hacia el E-SE, las variaciones en el relieve se deben a la presencia de bloques estructurales y ciclos de denudación-agradación controlados por las oscilaciones climáticas del Cuaternario, presentando en general un relieve moderado a suavemente ondulado, integrado por formas eólicas y subordinadamente, fluviales y palustres.

Según Degiovanni *et al.* 2005, dentro de este sistema se reconocen los siguientes ambientes: Ambiente agradacional pedemontano, Llanura Eólica bien drenada (Planicie loessoide con dunas longitudinales y Planicie arenosa), Llanura Fluvio-Eólico imperfectamente drenadas (Llanura deprimida central, Depresión del Tigre Muerto y Planicie elevada central) y Planicie Fluvial (Faja Fluvial del Rio Cuarto y Faja Fluvial del Rio Quinto), que se aprecian en la figura N° 4.2.

El Ambiente agradacional pedemontano se caracteriza por ser una llanura moderada a fuertemente ondulada que bordea a las sierras y responde a bloques de basamento cerca de la superficie, a la construcción y posterior

disección de bajadas pedemontanas y a la cubierta loessoide cuaternaria. Las bajadas falladas y disectadas constituyen una sucesión de lomadas compuestas por secuencias de abanicos pleistocenos fundamentalmente separadas por amplios valles con relleno holoceno y finalmente cubiertas por depósitos loessoides.

La Llanura Eólica bien drenada se ubica al Oeste de la Falla Pampayasta-Alejandro Roca, estos ambientes varían de sectores, fuertemente ondulados a planos (Degiovanni *et al.*, 2005). Este ambiente presenta un buen drenaje y sistemas de escurrimiento superficial bien desarrollados, con una profundidad del nivel freático moderada.

La Llanura fluvio-eólica imperfectamente drenada es una planicie ubicada entre la fallas de Tigre Muerto y la Falla de Pampayasta-Alejandro Roca. Su relieve es moderadamente ondulado, con pendiente general al SE y está representado por una serie de paleo-rasgos fluviales y eólicos discontinuos, en los que se sitúan cuerpos lagunares permanentes (Degiovanni *et al.*, 2005)

El último ambiente geomorfológico, está referido a las llanuras fluviales del Río Cuarto y Río Quinto. El primero es el más importante de la zona, tiene sus nacientes en las Sierras de Comechingones y su faja fluvial comienza a tener relevancia en la cuenca media, donde presenta un ancho promedio de 2Km llegando a un máximo de 7 Km.

El extremo Sur de la provincia de Córdoba puede enmarcarse dentro de los subambientes Planicie Arenosa (dentro del ambiente Llanura eólica bien drenada) y Llanura deprimida central (dentro del ambiente Llanura fluvio-eólica imperfectamente drenada).

La Planicie Arenosa se caracteriza por presentar un relieve ondulado generado por la superposición de formas medanosas de distinto origen y edad. Este subambiente se divide en dos. La Llanura medanosa con dunas parabólicas se puede reconocer a ambos márgenes del río Quinto. Se caracteriza por poseer dunas longitudinales de orientación NE-SO, cuya

removilización en tiempos históricos (pequeña edad de hielo) generó dunas parabólicas, con cubetas de deflación actualmente ocupadas por lagunas.

La Llanura medanosa con médanos longitudinales, localizada al Sur de las Localidades de Del Campillo y Villa Valeria. Se destaca por poseer formas medanosas longitudinales ortogonales a las anteriores, en donde las depresiones están ocupadas por lagunas permanentes y temporarias.

El otro subambiente mencionado corresponde a la Llanura Deprimida Central y comprende la gran depresión centro oriental cordobesa. Se caracteriza por presentar un paleorelieve fluvial constituido por abanicos aluviales coalescentes que drenan la vertiente oriental y Sur de las Sierras Pampeanas de Córdoba cubiertos por sedimentos eólicos de la Formación Laguna Oscura con movilizaciones más modernas (Degiovanni *et al.*, 2005).

La mayoría de estos paleoabanicos tienen sus ápices alineados según la estructura de Pampayasta-Alejandro Roca, y en su construcción se reconocen distintos pulsos vinculados a eventos geotectónicos y paleoclimáticos que modificaron y hasta interrumpieron su desarrollo durante el Cuaternario. Este subambiente se puede dividir en tres zonas, Planicie Medanosa con paleocanales de los Ríos Cuarto y Quinto, la depresión oriental principal y la depresión de lagunas interconectadas.

La planicie medanosa del Rio Cuarto y Quinto ocupa el área central y es la que mejor preserva los rasgos fluviales antiguos. La cubierta eólica presenta una potencia variable y cordones medanosos sobreimpuestos, parcialmente activos.

La depresión oriental principal, está asociada a la falla del Saladillo y constituye el área más baja de la unidad. Estas planicies son plano-cóncavas, que se caracterizan por presentar el agua subterránea salina-alcalina, aflorando o próxima a la superficie.

Por último la depresión de las lagunas interconectadas, esta ubicadas al Oeste de la localidad de Buchardo, presenta un rumbo NO-SE y corresponde a

una sucesión de lagunas interconectadas ocupando paleocanales del Río Quinto, controladas tectónicamente.

La zona de estudio, se enmarca dentro de las unidades Sierras de Comechingones (Sistema de Sierras Pampeanas) y Llanura Fuertemente Ondulada (Llanura Eólica Bien Drenada). Se caracteriza por presentar una superposición de eventos climáticos, desde el Pleistoceno superior – medio al Holoceno y se la describe como una planicie moderadamente ondulada que bordea la faja periserrana.

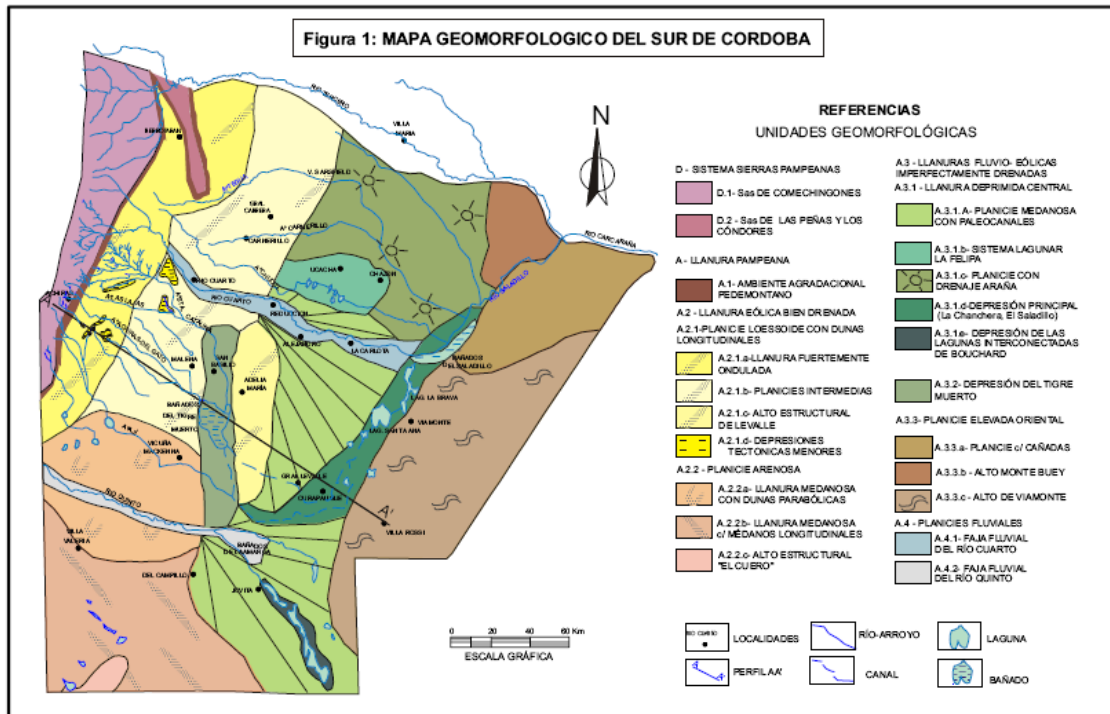


Figura Nº 4.2: Mapa Geomorfológico del Sur de Córdoba. Degiovanni et al., 2005

4.3. HIDROGEOLOGÍA REGIONAL

Alrededor del 75% del Territorio Argentino es árido o semiárido, es decir que presenta déficit en el balance hídrico. Por tal motivo el agua subterránea juega un rol fundamental en la provisión para consumo humano, animal y riego. A nivel de país, aproximadamente un 50% del abastecimiento para consumo humano es de origen subterráneo.

En el Sur de la Provincia de Córdoba, la caracterización de la dinámica y calidad del agua subterránea es sumamente necesaria, no solo por encontrarse involucrada en múltiples fenómenos naturales, sino también porque es el recurso más utilizado en esta gran región, para todas las actividades (Blarasín *et al.*, 2005).

4.3.1. CARACTERÍSTICAS HIDROLITOLÓGICAS

Las estructuras de carácter regional, influyen en la actual disposición del agua superficial y subterránea, por ser condicionantes en la evolución geológica Cuaternaria y Pre-Cuaternaria de los sedimentos marinos y continentales de la región (Blarasín *et al.*, 2005).

Desde el punto de vista hidrolitológico se distinguen en la región dos ambientes: el medio fracturado y el medio poroso sedimentario, los que también fueron reconocidos a nivel local, dentro del área de estudio.

4.3.1.a. ACUÍFEROS EN MEDIOS FRACTURADOS.

Se localizan en ambiente serrano, el basamento presenta sistemas de fracturas y diaclasas, que otorgan permeabilidad secundaria al sistema, conformando un acuífero libre en general de muy pobres rendimientos. Dado su baja capacidad de conducir el flujo como así también los grandes costos de perforación involucrados, este acuífero es poco explotado.

4.3.1.b. ACUÍFEROS EN MEDIOS CLÁSTICOS EN VALLES SERRANOS

Está constituido por los sedimentos de edad cuaternaria que rellenan los valles intermontanos y se alimentan de la infiltración de lluvias locales y del aporte de las rocas circundantes.

Los materiales que componen el acuífero son limo-arenosos, arenosos y areno-gravosos. Se explotan para diversos usos y en general contienen agua de buena calidad.

4.3.1.c. ACUÍFERO FREÁTICO EN ZONA DE LLANURA.

En función de los materiales que componen el acuífero del Sur de la Provincia, los mismos pueden ser divididos en dos grupos:

- 1- Acuíferos en fajas fluviales importantes.
- 2- Acuíferos en el resto de la llanura cordobesa.

Los primeros se hallan vinculados a los depósitos fluviales de los ríos más importantes. Están constituidos por depósitos de granulometría gruesa (gravas, arenas gruesas, finas y medias) resultantes de la migración del curso de agua.

Producto de su alta conductividad hidráulica, estos acuíferos ceden grandes cantidades de agua, salvo en sectores donde se presentan materiales muy finos resultantes de las heterogeneidades típicas del ambiente fluvial e intercalaciones con depósitos eólicos. El espesor medio de estas formaciones es del orden de 20-40 m, la conductividad hidráulica entre 5 y 50 m/día y la transmisividad alcanza los 100 a 4.000 m³/día.

Los segundos corresponden a sedimentos fluviales distales, lacustres o eólicos localizados en planicies deprimidas y mal drenadas. Los materiales que componen estos acuíferos son areno – limosos a limo arcillosos, con intercalaciones de niveles de toscas y calcretos. Son homogéneos y presentan una conductividad hidráulica baja (10⁻³ a 1 m/día). Si bien los caudales que ofrecen son pequeños a intermedios (500-50.000 l/h) se utilizan para todo tipo de consumo.

4.3.2. HIDRODINÁMICA SUBTERRÁNEA REGIONAL

En la región la configuración geológica-geomorfológica en bloques que basculan al Este-Sudeste, es el principal condicionante de los flujos intermedios y regionales del agua subterránea, definiendo las principales áreas de recarga y descarga y los principales procesos Hidroquímicos (Blarasín 2003).

El agua subterránea presenta generalmente una dirección de flujo NO-SE, aunque en los sistemas de flujos se observa una jerarquización, distinguiéndose niveles locales, intermedios y regionales, que interactúan con el ambiente (Blarasín 2003).

La profundidad del nivel freático se halla condicionado por el relieve y fluctúa en función de las precipitaciones y/o de los años húmedos. En general varía de los 90 m en zonas serranas a muy cerca de la superficie (o aflorando) en el Sureste de la provincia.

Por último la morfología de la freática es muy variable y depende de la topografía y la escala, siendo de tipo radial, plana a suavemente ondulada o netamente plana (figura N° 4.3.2).

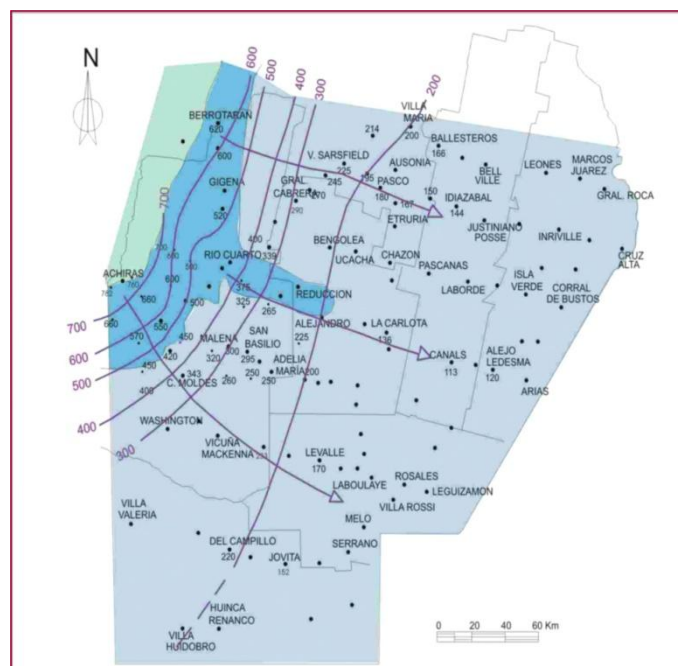


Figura N° 4.3.2: Mapa de Disponibilidad de agua subterránea y líneas equipotenciales, acuífero freático. Blarasín 2003

4.3.3. HIDROGEOQUÍMICA.

El acuífero freático presenta una evolución natural del agua, desde zonas mas altas ubicadas en las Sierras de Comechingones hasta las más deprimidas al Este provincial (figura N° 4.3.3).

Esta evolución produce un aumento en la salinidad del agua (0,2 g/l a 15 g/l) pasando en general de bicarbonatadas sódicas-cálcicas a sulfatadas sódicas y por último a cloruradas sódicas, como así también pueden observarse un aumento del pH y un cambio de condiciones oxidantes a reductoras (Blarasin 2003).

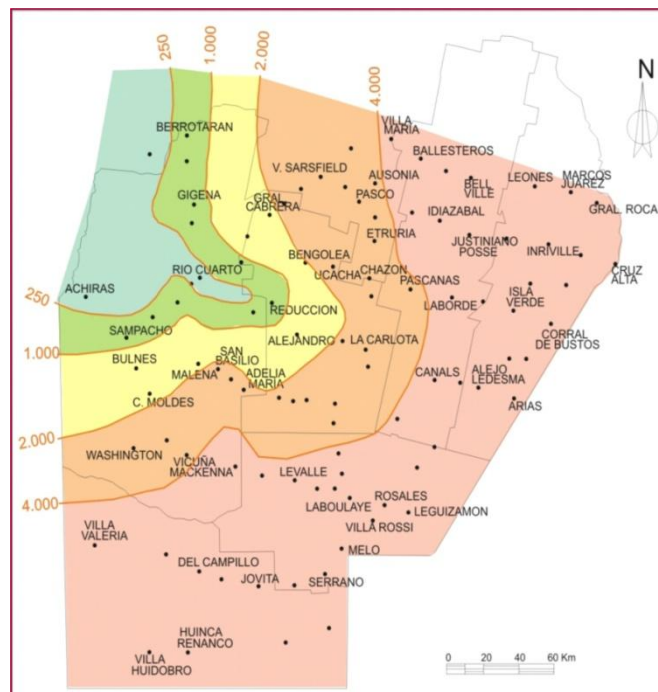


Figura N° 4.3.3: Mapa de Salinidad. Acuífero Freático. Sur de Córdoba. Blarasin 2003

CAPITULO 5
MARCO GEOLÓGICO LOCAL

5.1. GEOLOGÍA LOCAL

En el extremo Sur de la Sierra de Comechingones se destaca la Sierra Los Chañares (de 13 Km²), en la que tiene su nacimiento La Cuenca del Arroyo La Colacha. Se trata fundamentalmente de una cuenca pedemontana caracterizada por la presencia de una pequeña zona serrana, donde aflora basamento cristalino de edad Precámbrica – Paleozoica Inferior y Media, constituido por rocas metamórficas que derivan de rocas sedimentarias con distinto grado de milonitización (Otamendi, 1995). En el área extraserrana, domina una cubierta de sedimentos eólicos loésicos areno-limosos del Holoceno y Pleistoceno Superior, y sedimentos aluviales y coluviales de edad Holocena (Cantú, 1998).

La Sierra Los Chañares, se divide morfológicamente en tres sectores: Noreste, Central y Suroeste, el primero caracterizado por una cubierta de sedimentos cuaternarios (aluviales y eólicos) que cubren el basamento, mientras que los dos restantes, presentan el mayor porcentaje de afloramientos rocosos (Cantú, 1998).

Los Sedimentos Cuaternarios que afloran en la mayor parte de la cuenca, fueron analizados y descriptos por Cantú (1998). En el mapa de la figura N° 5.1, se observa la localización de cada una de las Formaciones que afloran en superficie en el área de estudio.

El autor identifica a la Formación Laguna Oscura como la más representativa del área, mientras que en áreas reducidas (sectores planos de la cuenca y cumbral de la serranía), los sedimentos aflorantes corresponden a la Formación La Invernada. La Formación Chocancharava, se encuentra presente en el sector pedemontano, recubriendo antiguas superficies de erosión, mientras que en las barrancas de los cauces de arroyos y cárcavas profundas se identifican sedimentos pertenecientes a las Formaciones Pampiano, Chocancharava y Arroyo Las Lajas. Por último, Cantú (1998), reconoce en los sectores cumbrales de las lomas con afloramientos rocosos, calcretos de edad Pleistoceno Superior, los que se encuentran recubriendo y penetrando el basamento.

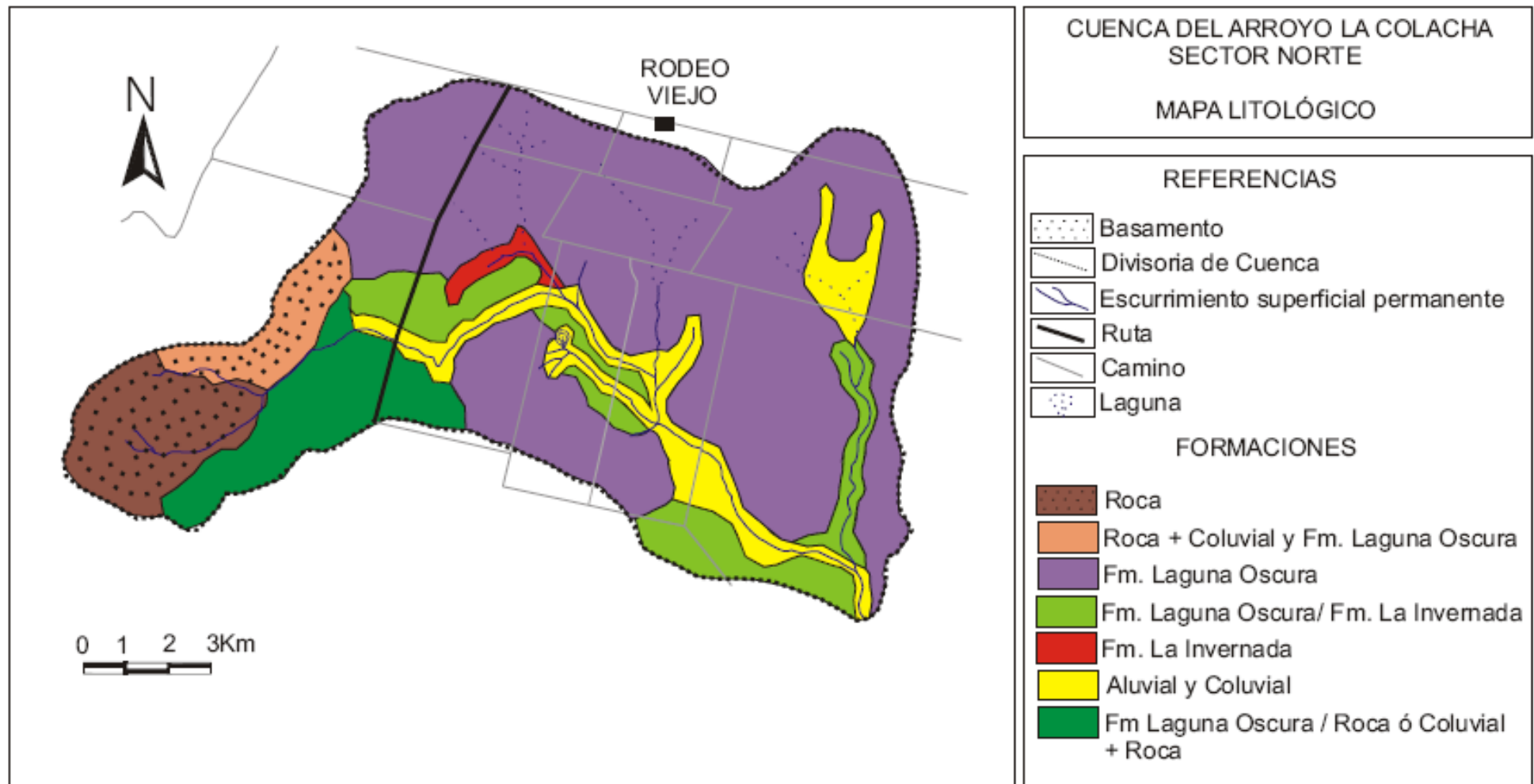


Figura N° 5.1: Mapa Litológico, Cuenca del Arroyo La Colacha – Sector Norte (Modificado de Cantú, 1998).

5.1.1. DESCRIPCIÓN DEL PERFIL LITOLÓGICO TIPO

En el área de estudio no se han realizado perforaciones que lleguen hasta el basamento. Sí se cuenta con sondeos eléctricos verticales (SEV) y descripción de perfiles sedimentológicos cuyo espesor no supera los 10 metros (expuestos en barrancas, lecho de ríos y caminos profundizados).

Con toda la información disponible, a partir de trabajos realizados con anterioridad, se procedió a la descripción del perfil litológico tipo.

En la Cuenca del Arroyo La Colacha, los SEV llevados a cabo por Blarasín *et al.* (2005), arrojaron que el basamento conforma el piso del perfil estratigráfico, localizándose a diferentes profundidades debido a que se dispone en un conjunto de bloques basculados y diferencialmente ascendidos. Como se observa en la figura N° 5.1.1, el basamento de edad Precámbrico – Paleozoico Inferior es la prolongación en subsuelo del basamento que aflora en La Sierras Los Chañares.

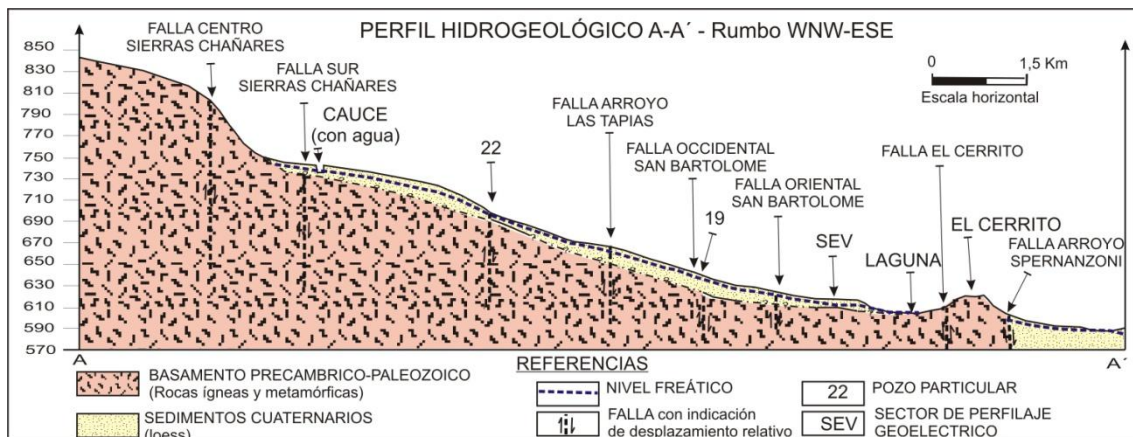


Figura N° 5.1.1: Perfil Hidrogeológico A – A'. Blarasín *et al.*, 2005.

El resto del perfil está compuesto por una secuencia cuaternaria, representada por intercalaciones de depósitos continentales eólicos, coluviales y aluviales.

La disposición en profundidad de los sedimentos cuaternarios y el basamento cristalino se observa en el perfil de la figura N° 5.1.1.a. La traza correspondientes a los perfiles hidrogeológicos A-A' y B-B', se observa en la figura N° 5.1.1.b.

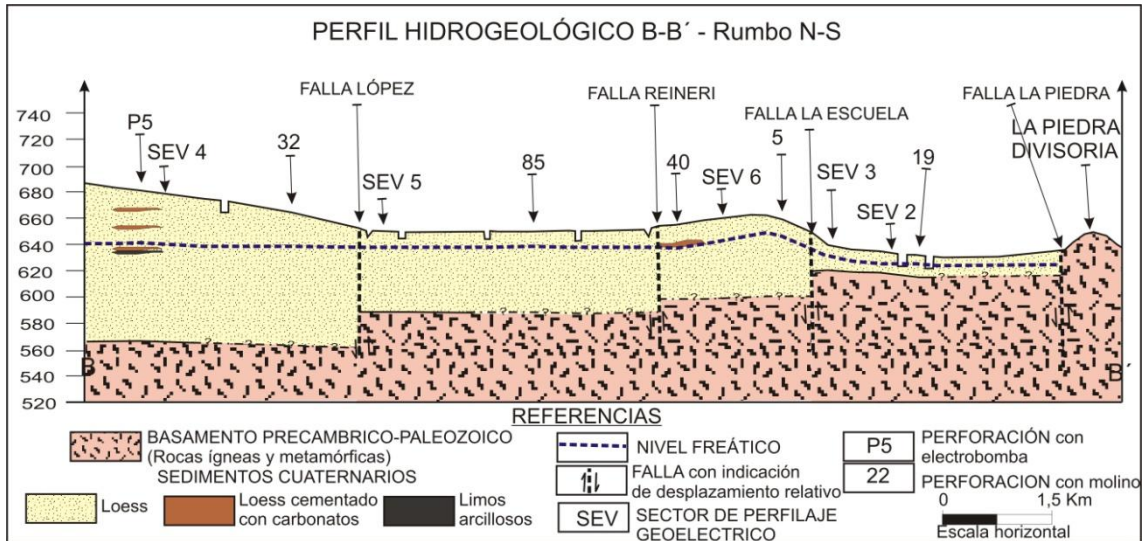


Figura N° 5.1.1.a: Perfil Hidrogeológico B – B'. Blarasín *et al.*, 2005

La descripción de los materiales que yacen en el subsuelo se corresponde con perforaciones del orden de 50 a 80 metros realizadas en la zona de estudio por Carranza perforaciones. La localización específica de las mismas se presenta en la figura N° 5.1.1.b.

Las perforaciones analizadas, presentan en los primeros 40 metros arenas muy finas limosas de origen eólico, que intercalan con niveles cementados cuyos espesores no superan los 2 metros. Por debajo de los 40 – 45 metros de profundidad se reconocen sedimentos limo-arcillosos.

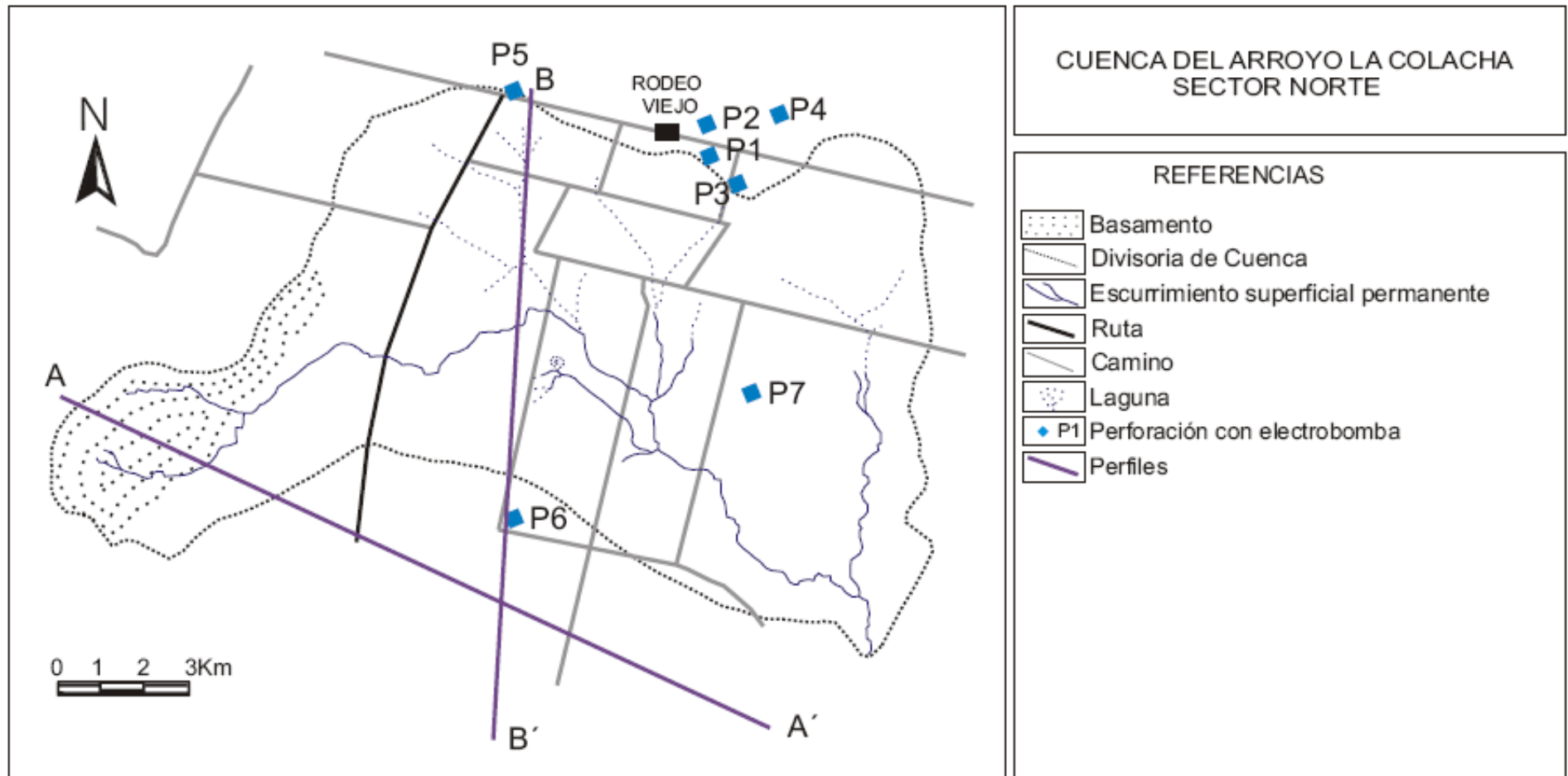


Figura Nº 5.1.1.b: Localización específica en el área de estudio de las perforaciones y perfiles hidrogeológicos.

En los materiales aflorantes, que no superan los 20 m de espesor, se reconocieron las formaciones, descritas previamente por Cantú, 1998 (figura N° 5.1.1.d – e – f).

En la base de la secuencia se localiza un banco de sedimentos eólicos y/o fluviales con niveles cementados (parte superior Fm Pampiano) de edad Pleistocena media a superior. El Pleistoceno Superior está representado por sedimentos fluviales pertenecientes a la Fm Chocancharava, los que se disponen en forma de lentes.

El Holoceno Medio-Superior esta constituido por una capa de sedimentos eólicos (Fm La Invernada y Equivalentes) y lentes de sedimentos fluviales, pertenecientes a la Fm Las Lajas.

El techo del perfil, que comprende desde el Holoceno Superior hasta la Actualidad, está constituido por sedimentos eólicos correspondientes a la Fm Laguna Oscura, con presencia de paleosuelos en algunos sectores.

<i>Período</i>	<i>Época</i>	<i>Edad (años)</i>	<i>Unidades Lito y Aloestratigráficas</i>	<i>Unidades Estratigráficas</i>	<i>Procesos Dominantes</i>	
CUATERNARIO	<i>HOLOCENO</i>	1000 A.P	Formación Laguna Oscura	Suelo Actual	Pedogénesis Erosión hídrica y fluvial	
		3500 A.P		Geosuelo Las Tapias	Erosión eólica Depósitos medianos y de loess arenoso muy fino.	
		4100 A.P	Formación Las Lajas		Erosión hídrica, fluvial y por remoción. Depósitos coluviales y aluviales. Pedogénesis	
		8200/9500 A.P				
	<i>PLEISTOCENO</i>	18.000/20.000 A.P				Procesos eólicos. Depósitos de loess limo arenoso muy fino
			Formación La Invernada			
		38.500 A.P		Geosuelo La Colacha	Pedogénesis	
			Formación Chocancharava	Geosuelo Estancia El Cerrito	Erosión fluvial e hídrica. Depósitos aluviales y coluviales Pedogénesis (calcretos)	
			Formación Pampiano	Superior		Depósitos de loess limoso
		Inferior			Depósitos aluviales y coluviales dominan limos rojizos cementados	

Figura N° 5.1.1.d: Cuadro Estratigráfico del Cuaternario para la Cuenca del Arroyo La Colacha (Cantú, 1998).



Figura Nº 5.1.1.e: Descripción del Perfil Tipo, en la base la Formación Pampiano, le continúan la Formación La Invernada?? y por encima la Formación Laguna Oscura, rematando la secuencia Depósitos Aluviales Históricos.



Figura Nº 5.1.1.f: Descripción del Perfil Tipo, en la base Formación Pampiano, le continúan la Formación La Invernada?? y por encima la Formación Laguna Oscura, en la encima el suelo.

5.2. ESTRUCTURAS

Una de las características dominantes del relieve en la cuenca es el alto control estructural. Las diferentes estructuras (fallas y lineamientos) han generado un conjunto de bloques diferencialmente ascendidos y basculados, que condicionaron la presencia del basamento a diferentes profundidades y variable sedimentación de materiales aluviales y eólicos, siendo fundamentales en el control de las unidades geomorfológicas (Blarasín *et al.*, 2005).

Alguna de las fracturas ha presentado movimientos neotectónicos desde el Pleistoceno hasta la actualidad. Según Cantú (1998), cuatro familias de fracturas son las más importantes: la meridiana a submeridiana cuyos rumbos varían entre N y N 20°; la familia N 60° que varía entre N 40° y N 75°, la familia N 130° (100 a 155°) y finalmente, y de menor importancia, las de dirección W-E. Se destacan las fallas de la Sierra Los Chañares N 45°- 60°, de carácter inverso, (Cantú 1998). La falla Arroyo Las Tapias N 10° - 20°, limita por el Este al Bloque de Los Molles, fue interpretada por Cantú (1998) como una falla directa por las claras evidencias estratigráficas y topográficas. Otras fallas meridianas importantes, por controlar ambientes tectónicos bien diferenciados, son las Fallas Occidentales del río San Bartolomé, la del Arroyo Pozo del Carril, las del Arroyo Moreno Oeste y Este que controlan la traza de la faja fluvial y hacia el Sur de la Cuenca generan un importante escalón en el Alto Estructural Central. La falla del Arroyo La Colacha (N 130°) que controla el curso medio y bajo, tiene una expresión regional que excede la cuenca en estudio. Otras estructuras destacables son la falla La Escuela y la falla Reineri (N 125°) que limitan la parte cumbral del Alto Estructural. Las fallas de La Piedra, El Cerrito y Espernanzoni, presentan su mayor incidencia en el Sector Sur de la Cuenca, siendo la prolongación de las dos últimas la que atraviesan el Sector Norte en estudio (figura N° 5.2).

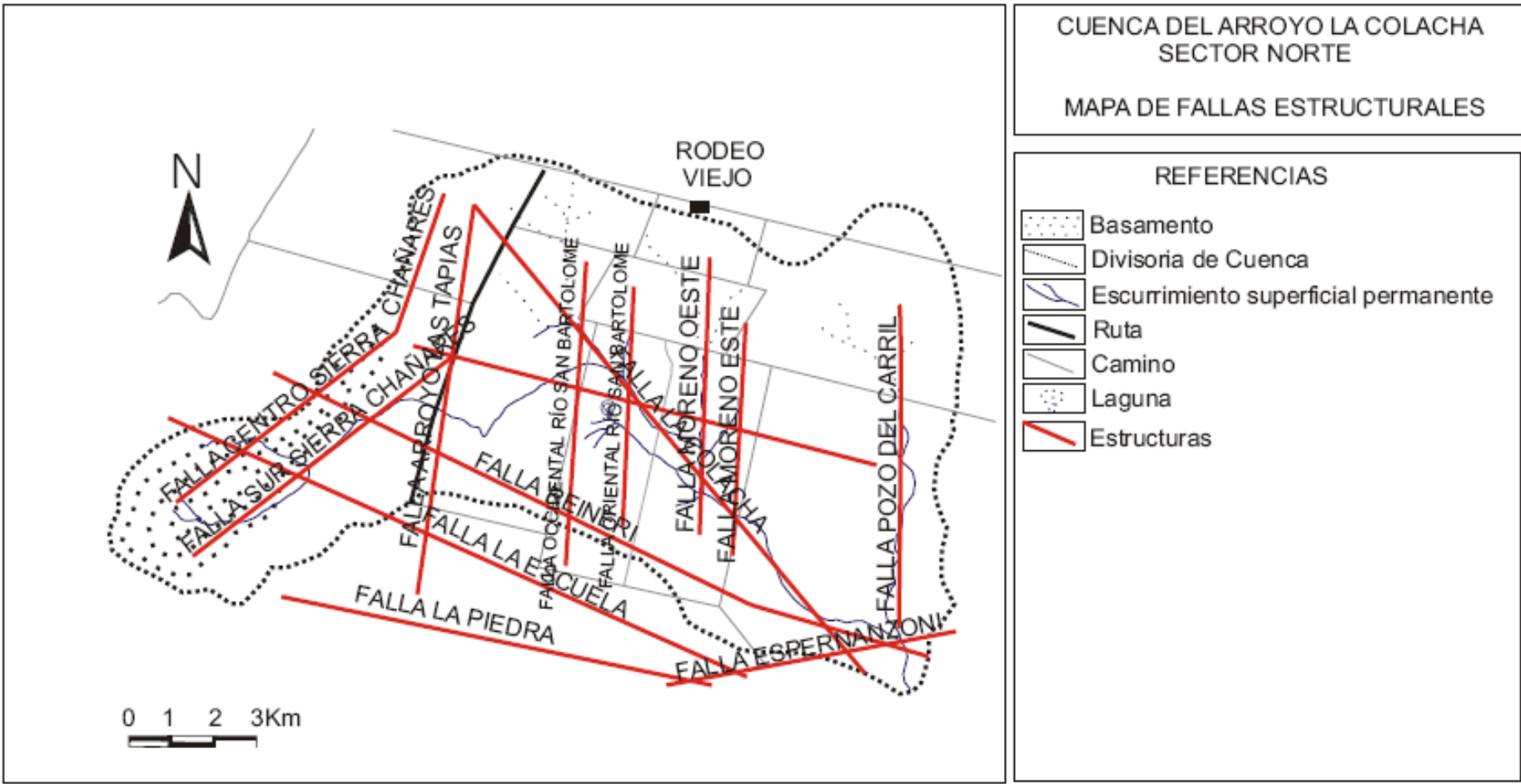


Figura N 5.2: Mapa de Fallas Estructurales. Cuenca del Arroyo La Colacha – Sector Norte. Blarasín *et al.*, 2005.

5.3. GEOMORFOLOGÍA LOCAL

5.3.1. INTRODUCCIÓN

El relieve actual es el resultado de procesos orogénicos producidos durante el Pleistoceno y el Holoceno y del modelado generado por la acción eólica e hídrica. De acuerdo a Cantú (1998), a partir de los 4.000 años, la región fue predominantemente árida con intercalaciones de algunos ciclos húmedos cortos. Después de la Pequeña Edad de Hielo (1.880 aproximadamente) comienza a instalarse la mayor parte de la red fluvial actual. Así, comenzaron los procesos de retroceso de cabeceras, capturas de arroyos y profundización de cárcavas. Estos procesos se potenciaron a partir de los años '50 con la generalización de la agricultura y a partir de fines de los '70 con el aumento progresivo de las precipitaciones. Esto implica una gran juventud de las formas actuales del relieve, el cual es de fuerte a moderadamente ondulado en los borde de la sierra (gradientes del 3 al 7%), a suavemente ondulado en la parte distal (gradientes de 1 al 2%). Las longitudes de pendientes generales son largas y muy largas (1.000 a 3.000 m) y localmente más cortas, de 100 a 400 metros (Blarasín *et al.*, 2005).

El área de estudio, comprende el Sector Norte de la Cuenca La Colacha, la misma se halla representada por dos Provincias Geomorfológicas bien distintivas. La primera, **Sierras Pampeanas**, localizada en el extremo Oeste, se caracteriza por la presencia de basamento cristalino, compuesto por rocas gnéisicas de edad Precámbrica – Paleozoica Inferior y por sedimentos coluviales. La segunda, **Llanura Chaco Pampeana**, abarca el resto de la cuenca, ocupando la mayor extensión. Esta extensa planicie se halla controlada por estructuras regionales, que condicionan los rasgos geomorfológicos y los sistemas de drenaje. En la planicie se identifican unidades, caracterizadas por la presencia de sedimentos eólicos loésicos, aluviales y coluviales (figura N° 5.3).

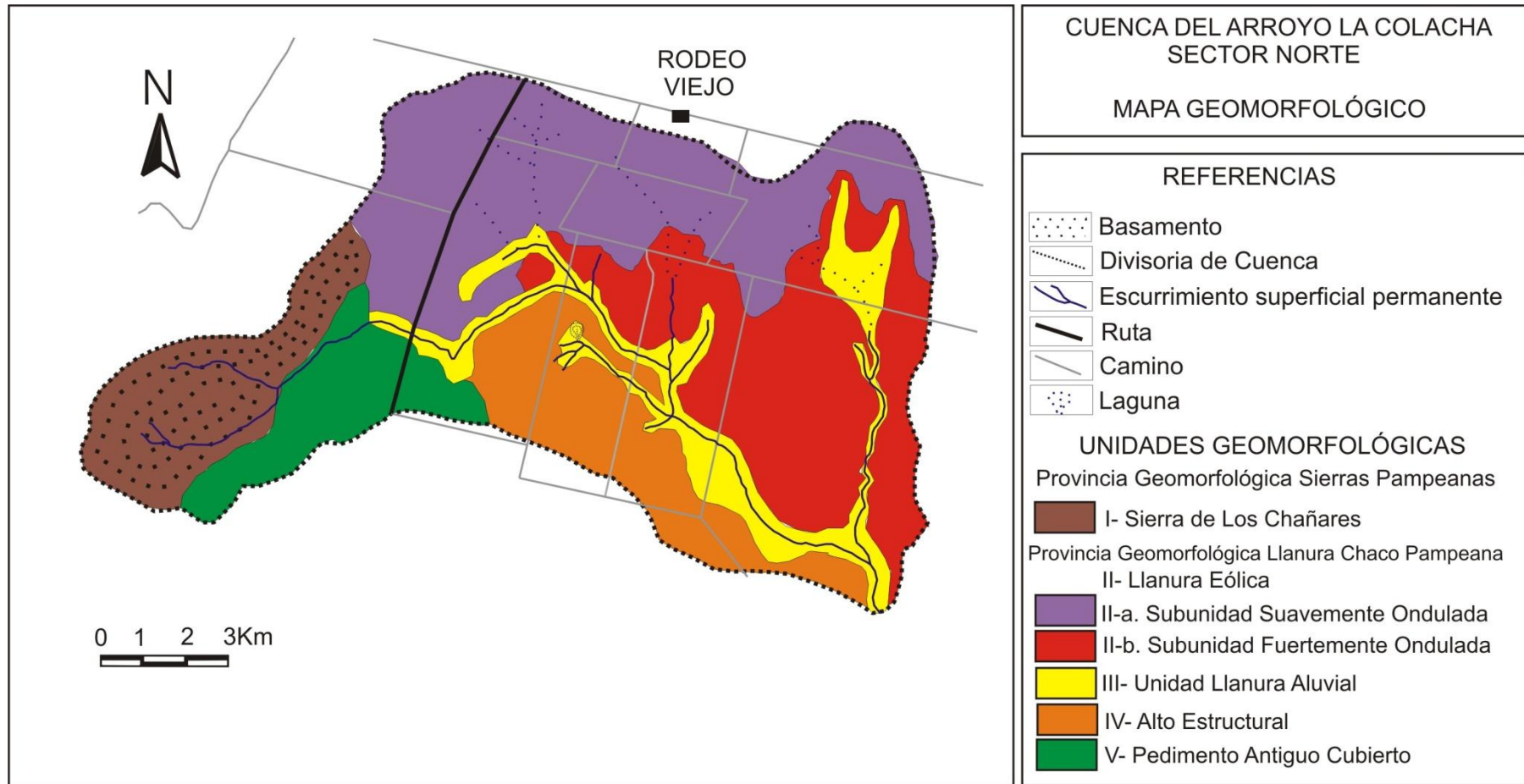


Figura Nº 5.3: Mapa Geomorfológico. Cuenca del Arroyo La Colacha – Sector Norte.

5.3.2. *PROVINCIA GEOMORFOLÓGICA SIERRAS PAMPEANAS*

La Sierra Los Chañares, como fuera expresado anteriormente, corresponde a un sistema menor de la Sierra de Comechingones (figura N° 5.3.a). La misma se subdivide en tres sectores, en función de las estructuras (Noroccidental, Central y Suroriental), que generan la dislocación y basculamiento diferencial de los bloques. Las Fallas Centro y Suroriental, pueden reconocerse dentro del área de estudio, representadas por bloques escalonados, de orientación NE.

Según Cantú (1998), los bloques condicionan la evolución diferencial del relieve, lo que le permite subdividirlo en dos unidades, una fuertemente disectada (bloques SO y Central) y otra moderadamente disectada (Bloque NE).

En el presente trabajo, se considero a ambas Unidades pertenecientes a una única Unidad denominada ***Sierra de Los Chañares***, debido que, para alcanzar el objetivo específico, la característica utilizada para su división no es de relevancia.

I- *UNIDAD SIERRA DE LOS CHAÑARES*

La Sierra, representa dentro de la cuenca el sector de mayor cota topográfica (800 m aproximadamente), que disminuye progresivamente hacia el Este y termina por localizarse en el subsuelo de la Unidad Llanura Chaco Pampeana. Se caracteriza por la presencia de basamento cristalino y relieve de fuerte a moderadamente ondulado con gradientes del 3 al 7%.

Los cursos de agua que nacen en dicho ambiente, son de carácter permanente y presentan un alto control estructural, desarrollando un diseño rectangular dendrítico.

Los procesos activos están vinculados a la erosión hídrica en las laderas de los interfluvios, erosión fluvial vertical en los cauces y algunos procesos menores de remoción en masa, principalmente en las laderas de los valles. (Cantú, 1998).

Los cursos confluyen al pie de la Serranía y dan origen al arroyo La Colacha, el que se continúa por la llanura, bajo un importante control estructural.

El sector de la Unidad que se localiza en el extremo Norte, presenta rocas de basamento con cubierta de materiales coluviales y eólicos de escaso espesor. Las pendientes son fuertes en el sector cumbral y disminuyen bruscamente dando continuidad a la Llanura Eólica.



Figura Nº 5.3.a: Limite Sierra de Comechingones – Sierra Los Chañares.

5.3.3. *PROVINCIA GEOMORFOLÓGICA LLANURA CHACO PAMPEANA*

El área restante de la cuenca se localiza dentro de la provincia geomorfológica Llanura Chaco Pampeana y dentro de esta conforma lo que Degiovanni (2005) define para el Sur de Córdoba como “Llanura Eólica Bien Drenada”, la misma bordea toda la faja periserrana y ha sido caracterizada en función de la escala empleada para el trabajo, en cuatro unidades geomorfológicas: *II – Llanura Eólica; III – Llanura Aluvial; IV – Alto Estructural y V – Pedimento Antiguo Cubierto.*

Las estructuras presentes (fallas y lineamientos), generan un conjunto de bloques diferencialmente ascendidos y basculados, que condicionan la localización del basamento a diferentes profundidades.

Los materiales aflorantes son en su gran mayoría sedimentos eólicos loésicos areno-limosos del Holoceno y Pleistoceno Superior, con presencia localizada de sedimentos aluviales y coluviales de edad Holocena (Cantú 1998).

El ambiente presenta un buen drenaje con una importante zona de aireación y sistemas de escurrimiento superficial bien desarrollados. Los cursos de agua permanentes y temporarios, con importante control estructural terminan confluyendo a la salida de la cuenca y son tributarios del Arroyo Santa Catalina.

II - UNIDAD LLANURA EÓLICA

La Llanura puede ser identificada en diversos sectores de la cuenca, abarcando principalmente el sector Centro-Norte de la misma. Al igual que el resto del área, la unidad se halla afectada por las estructuras presentes y a pesar de la potente cubierta sedimentaria, el relieve de la llanura refleja la tectónica de bloques del basamento.

Los procesos eólicos, vinculados al evento del Holoceno medio a alto, son los dominantes, aunque los cursos de agua se encuentran actualmente modelando la unidad, a través de los procesos de erosión fluvial.

La unidad se caracteriza por un relieve que varía de suavemente ondulado en el sector Norte y Noroeste a fuertemente ondulado en el Centro-Este de la cuenca, se dividió a la unidad en dos subunidades: *II-a Llanura Eólica Suavemente Ondulada* y *II-b Llanura Eólica Fuertemente Ondulada*.

II- a. SUBUNIDAD LLANURA EÓLICA SUAVEMENTE ONDULADA

La subunidad se localiza en el sector Norte y presenta una potente cubierta sedimentaria, que nivela los bloques de basamento diferencialmente ascendidos, generando un relieve suavemente ondulado (figura N° 5.3.c).

Los sedimentos loéssicos presentan su mayor espesor en el sector Norte y disminuyen hacia el centro de la cuenca.

La red de drenaje, presenta un diseño paralelo-subdendrítico. Los cursos de agua tienen su nacimiento en esta unidad y se caracterizan por ser no permanentes y en muchos casos discontinuos, con tramos encauzados o sectores donde el agua se dispersa o infiltra. La instalación de estos cursos, es la responsable del modelado actual del relieve y dado su estado juvenil y reducidas pendientes, los procesos de erosión hídrica se reducen a pequeños surcos, erosión laminar y un incipiente desarrollo de cárcavas que se continúan de la otra unidad, producto de la erosión retrocedente.

El sector actúa como divisoria entre el Arroyo La Colacha y el río Piedras Blancas, con materiales aflorantes de origen eólico, pertenecientes a la Formación Laguna Oscura (Cantú 1998)



Figura Nº 5.3.c: Llanura Eólica Suavemente Ondulada. Al fondo se observa la Unidad Sierra de Los Chañares, localizada al Este de la llanura.

II-b. SUBUNIDAD LLANURA EÓLICA FUERTEMENTE ONDULADA

La subunidad, se localiza entre los Arroyos Pozo del Carril y Moreno, limitando hacia el sur con el Arroyo La Colacha. Se caracteriza por presentar un relieve de moderado a fuertemente ondulado y pendientes asociadas a lomas de extensa longitud, que influyen en el control de los escurrimientos superficiales y conforman la divisoria de aguas (figura Nº 5.3.d).

El área se encuentra afectada por las cuatro familias de fallas (apartado 5.2. Estructuras), generando un conjunto de bloques elevados y diferencialmente ascendidos hacia el Sur.

Los procesos de erosión hídrica se intensifican en el área a causa de los altos gradientes que llegan a superar el 5%. El sector de la llanura que limita con el Arroyo Pozo del Carril, presenta erosión laminar que luego se concentra en erosión encauzada, surcos y cárcavas profundas, que en algunos sectores supera los 4 metros de profundidad con anchos variables. La acción de estos

procesos, sumado a la incisión vertical de los cursos que rodean la unidad, son los responsables del modelado actual del relieve.



Figura Nº 5.3.d: Unidad Llanura Eólica Fuertemente Ondulada

III- LLANURA ALUVIAL

En la Llanura, los tres cursos permanentes que la atraviesan, se encuentran fuertemente controlados por las estructuras presentes.

El Arroyo La Colacha es el curso más importante de la Cuenca, debido a que actúa como colector principal de los cursos permanentes y efímeros del área. Su faja aluvial se reconoce al pie del Pedimento Antiguo Cubierto (Unidad V) y adquiere mayor relevancia a la salida de la cuenca. El rumbo general es NW-SE y se halla controlada por la Falla Arroyo La Colacha, en el tramo medio y bajo, en este último también contribuye la Falla Reineri. Presenta varios niveles de terrazas, donde el último está siendo incidido por el cauce actual. Según Cantú (1998) las terrazas más antiguas son Pleistocenas y sobre las mismas se habrían desarrollado las terrazas Holocenas y actuales (figura Nº 5.3.f).

El Arroyo Pozo del Carril, se caracteriza por un régimen efímero en su tramo alto, donde presenta mayor desarrollo de la faja aluvial, mientras que al pasar a régimen permanente, la misma disminuye y se reduce al cauce del Arroyo, para volver a ser significativa cuando confluye con el Arroyo La Colacha. La variabilidad en el ancho de la faja, es producto del control

estructural que presenta el Arroyo. En su tramo medio la Falla Pozo Del Carril, de rumbo N-S, incide directamente en el comportamiento del Arroyo, mientras que en su tramo inferior la Falla La Colacha, de rumbo NW-SE, que controla al Arroyo del mismo nombre, es causante de la captura y del cambio en la orientación. El desarrollo de cárcavas, en este sector es muy importante y se halla controlado por la incisión actual del curso, que genera hacia la zona de divisoria un conjunto de cárcavas fuertemente ramificadas y con diseño subdendrítico.

El Arroyo Moreno, de orientación N-S, se localiza en el centro de la cuenca, con un carácter efímero en su nacimiento y permanente en los tramos medios y bajos. El alto control estructural (Falla Arroyo Moreno Oeste) y la juventud de las formas generadas por altas crecientes en los últimos 50 años, generan una faja aluvial estrecha, la que aumenta progresivamente, al acercarse a la zona de captura (Arroyo La Colacha).

En general las fajas aluviales están más evolucionadas en cuencas bajas, mostrando niveles de terrazas, mientras que en cuenca alta muestran secciones transversales de barrancas verticales a subverticales (por procesos gravitatorios en el pie del talud), típicas resultantes de procesos recientes de erosión retrocedente (última década).



Figura N° 5.3.f: Unidad Llanura Aluvial Arroyo La Colacha.

IV- ALTO ESTRUCTURAL

La unidad se localiza en el sector Sur del área estudiada y hacia el centro de la cuenca de la Colacha (figura N° 5.3.g).

Este alto estructural está condicionado por la presencia de las fallas La Colacha y Reineri, desde el punto de vista del relieve tiene el aspecto de una gran loma cuyo sector cumbral, actúa como divisoria de agua entre los Arroyos La Colacha y Grella – Espernanzoni, este último al Sur del área en estudio. Hacia el sector Norte, las pendientes son largas y no superan el 3%.

Los procesos de erosión hídrica son reducidos, siendo la erosión laminar y en surcos la que genera mayores problemas. El desarrollo de cárcavas se limita a los sectores próximos a la Llanura Aluvial, generadas por procesos de erosión retrocedente.

La cubierta sedimentaria que tapiza el área, corresponde mayormente a la Formación Laguna Oscura y en menor grado a la Formación La Invernada (Cantú 1998).



Figura N° 5.3.g: Unidad Alto Estructural

V- *PEDIMENTO ANTIGUO CUBIERTO*

La unidad localizada al pie de la Serranía, se caracteriza por la presencia de un relieve ondulado, con presencia de lomas amplias y pendiente general del 2 al 3%, aunque en sectores locales las mismas pueden llegar hasta el 7% (figura N° 5.3.h). El basamento se localiza a escasa profundidad y la cubierta sedimentaria, aumenta de espesor hacia el Este, desde pocos centímetros a una decena de metros. La zona se comporta como un bloque elevado diferencialmente ascendido, con orientación SE, controlado por la falla Sur de la Sierra Los Chañares.

En el área no existen redes de drenaje organizadas, pero dominan los escurrimientos mantiformes y en surco, estos últimos al llegar a la Unidad Llanura Eólica se resuelven en cárcavas, las que evacuan agua sólo en épocas de tormenta.

Los procesos de erosión hídrica son por lo tanto los dominantes y responsables del modelado actual del relieve.

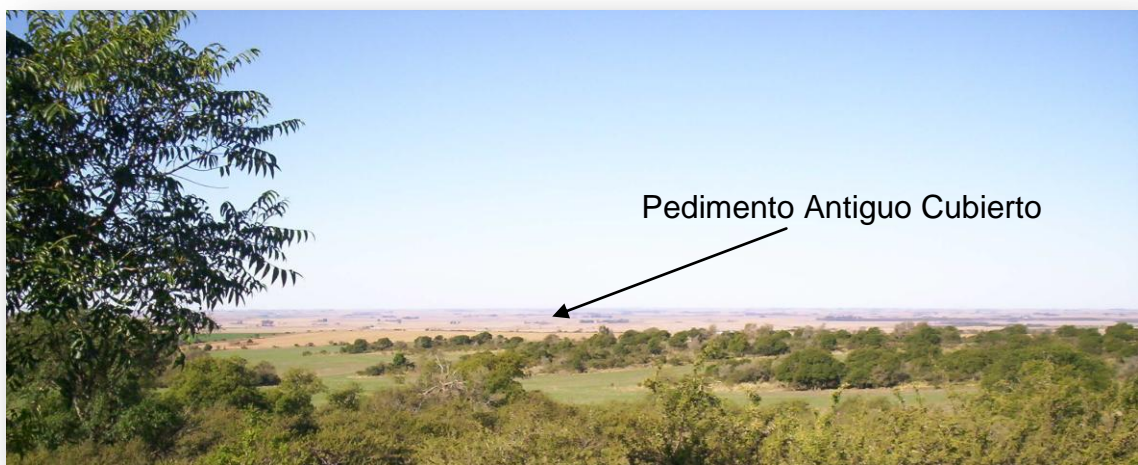


Figura N° 5.3.h: Unidad Pedimento Antiguo Cubierto, visto desde la sierra Los Chañares.

CAPITULO 6

USOS DEL TERRITORIO

6.1. INTRODUCCIÓN

La región pedemontana del sur de Córdoba de acuerdo a Cantú *et al.*, (1998), perteneció en sus comienzos a un inmenso latifundio de más de 500.000 hectáreas que entre los años 1.600 y 1.900 comenzó a subdividirse entre los herederos del fundador de la ciudad de Córdoba. En los primeros tres siglos, la tierra fue empleada para uso ganadero, especialmente cría de vacunos, ovejas y mulas entre otros. Con el fin de ampliar las áreas de pastoreo y obtener leña para los pobladores, se produce en el área la tala indiscriminada de especies leñosas, originando un importante cambio ecológico, que trajo aparejado la pérdida de importantes especies naturales. El manejo inadecuado del área, sumado a la falta de planificación, contribuyó al aumento del daño generado en el sector.

Con la llegada del ferrocarril, a fines del Siglo XIX, se instalan en el área numerosas colonias, destacándose Colonia Sampacho, Colonia Suco y La Lagunilla. En la Cuenca del Arroyo La Colacha, persisten estancias dedicadas a la agricultura, durante la mitad del Siglo XX. La actividad emplea pequeñas parcelas, sin utilización de maquinarias y con implementación de ciclos rotativos.

A mediados del Siglo XX, la Reforma Agraria propuesta por el gobierno, induce la subdivisión de tierras por parte de los propietarios, los cuales venden parte de las tierras y comienza a producirse entonces la colonización del sector.

A partir de 1950, los adjudicatarios de los lotes, dedican la mayor parte del territorio a la producción mixta, combinando agricultura con ganadería de engorde de bovinos y cría de porcinos. El maíz predominó sobre el resto de los cultivos invernales, por razones de inseguridad climática, producto de la gran sequía que azotó a la región durante el período 1950-1954, como se presenta en el capítulo N° 3 (Caracterización Climática).

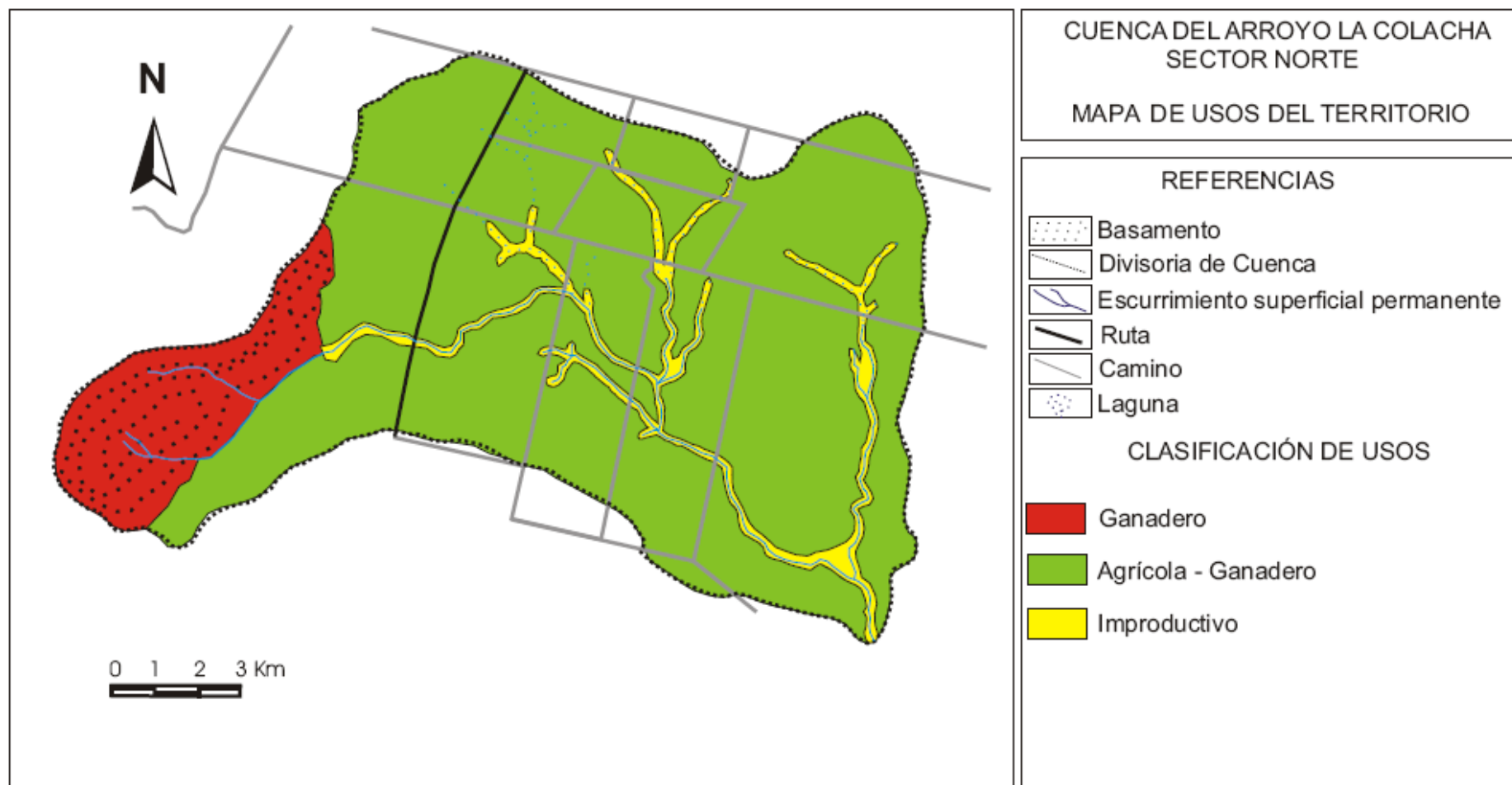


Figura Nº 6.1: Mapa de Uso del Territorio. Cuenca del Arroyo La Colacha – Sector Norte.

Para los años 60' se introduce en el área, la producción de girasol, mientras que la soja comienza a predominar en los campos, a partir de la década del 70, la que desplaza fuertemente al maíz. La aparición del Mal del Río Cuarto para los años 80, provoca una nueva disminución en la producción de maíz. La instalación en la región de un clima más Húmedo, llevó a los productores a sembrar maní, el cual resultó un fracaso y rápidamente se vio desplazado por la producción de Soja, la que actualmente persiste en el área, dado los bajos costos de producción y las importantes ganancias obtenidas a corto plazo. Un aspecto a destacar es el fuerte uso de agroquímicos (pesticidas y fertilizantes) que implica la dominancia de soja mediante el método de siembra directa.

En las tierras de la zona, se reconocen dos actividades fundamentales, agrícola-ganadera en un 80% y ganadería menor al 10%, el resto es considerado suelo improductivo, localizándose principalmente en las fajas fluviales (figura N° 6.1).

6.1.1. ACTIVIDAD AGRÍCOLA – GANADERA

Las tierras dedicadas a la producción agrícola – ganadera, se localizan en todo el ámbito de la llanura. Los lotes son dedicados a la obtención de cosechas de granos de maíz, girasol y soja, incluyendo algunos verdeos de invierno (avena y centeno) combinándolo con la cría y engorde de porcinos y el engorde o terminación de bovinos. Los rastros de maíz y los verdeos de invierno, suelen ser empleados para la alimentación del ganado (figura N° 6.1.1).



Figura N° 6.1.1: Ganado pastando rastrojo de maíz, en la cuenca en estudio.

La actividad agrícola ve reducida su producción en muchos sectores, debido al deterioro de las tierras, como consecuencia de los procesos de erosión hídrica que afectan el área. Dado los altos costos económicos involucrados, solo un número reducido de productores aplica técnicas de manejo orientadas a reducir los procesos de erosión.

En los últimos años, las prácticas agrícolas han hecho uso excesivo de los suelos ocasionando la degradación de los mismos, por ejemplo procesos de erosión mantiforme y encauzada en distinto grado. Esta problemática y la técnica de siembra directa ha llevado a propietarios a realizar la fertilización desde mediados de los 90', con el fin de mantener los rindes por lotes e incluso aumentarlos. Los nutrientes que mayoritariamente se aportan al suelo a través de la fertilización son el nitrógeno, el fósforo y potasio, pero conjuntamente con los anteriores se incorporan metales pesados como elementos trazas, ya que los mismos son esenciales para el desarrollo de los cultivos en mínimas proporciones (figura N° 6.1.1.a).



Figura N° 6.1.1.a: Actividad Agrícola.

Esta práctica, cuando se realiza en ausencia de controles agronómicos que contemplen el balance de nutrientes entre el consumo de los cultivos y el aportado por los suelos, representa un potencial riesgo de contaminación, no solo de los suelos sino también de los acuíferos (Blarasín *et al.*, 2005). Otro aspecto a destacar en la actividad agrícola es el gran uso de pesticidas, cuyo potencial de contaminación de suelos y aguas ha sido poco evaluado en la

región. Ejemplo del uso de agroquímicos en la zona relevada puede observarse en la figura N° 6.1.1.b.



Figura N° 6.1.1.b: Agroquímicos empleados en los campos de la cuenca en estudio.

6.1.2. ACTIVIDAD GANADERA

La actividad se localiza en el sector pedemontano y en algunos campos de la llanura. En el primer caso, las tierras son dedicadas exclusivamente a la cría de animales (porcinos, bovinos), mientras que en la segunda, la ganadería se aplica con agricultura subordinada, implementándose rotaciones en los lotes. Los cultivos sembrados suelen ser destinados a la cría de los animales o para aumentar las ganancias.

La actividad ganadera que se desarrolla en el área puede ser dividida en dos líneas, la cría intensiva (figura N° 6.1.2.a) y la extensiva (figura N° 6.1.2.b). La primera es la de mayor interés, desde el punto de vista ambiental, ya que la concentración de animales en un número reducido de hectáreas puede causar problemas de contaminación, con mayor afección en suelos y agua subterránea. Sin embargo debe destacarse que a pesar del interés ambiental, la cría intensiva en feed lots no es la que domina en la cuenca.

La cría intensiva, tiene por objetivo incrementar el peso del animal en cortos periodos de tiempo. Para alcanzarlo, no sólo se concentra una gran cantidad de individuos en un número reducido de hectáreas sino que se les suministra a los mismos, alimento balanceado enriquecido con núcleos minerales, los cuales son vitales para el buen desarrollo del animal en poco tiempo a la vez que lo protegen de posibles enfermedades.

Los núcleos minerales se componen de una serie de macro y micronutrientes, como así también de metales pesados. Todos desarrollan funciones específicas dentro del organismo del animal, aunque la eficiencia de aprovechamiento dependerá del metabolismo de la especie, la sal empleada en su formulación y la ración suministrada (Moscuzza *et al.*, 2005). El excesivo uso de los mismos puede generar la intoxicación del animal, inhibición de los procesos metabólicos y una concentración de dichos oligoelementos en las excretas, las cuales son un potencial riesgo de contaminación de suelos y acuíferos (Ciria Ciria *et al.*, 2005).

En la figura N° 6.1.2.c, se observa la localización específica de las actividades agrícolas con implementación de fertilizantes y la actividad ganadera dedicada a la cría intensiva y/o extensiva de animales (bovinos, cerdos y aves)



Figura N° 6.1.2.a: Actividad Ganadera. Cría intensiva de porcinos (izquierda) y bovinos (derecha).



Figura N° 6.1.2.b: Actividad Ganadera con agricultura subordinada. Cría extensiva de bovinos.

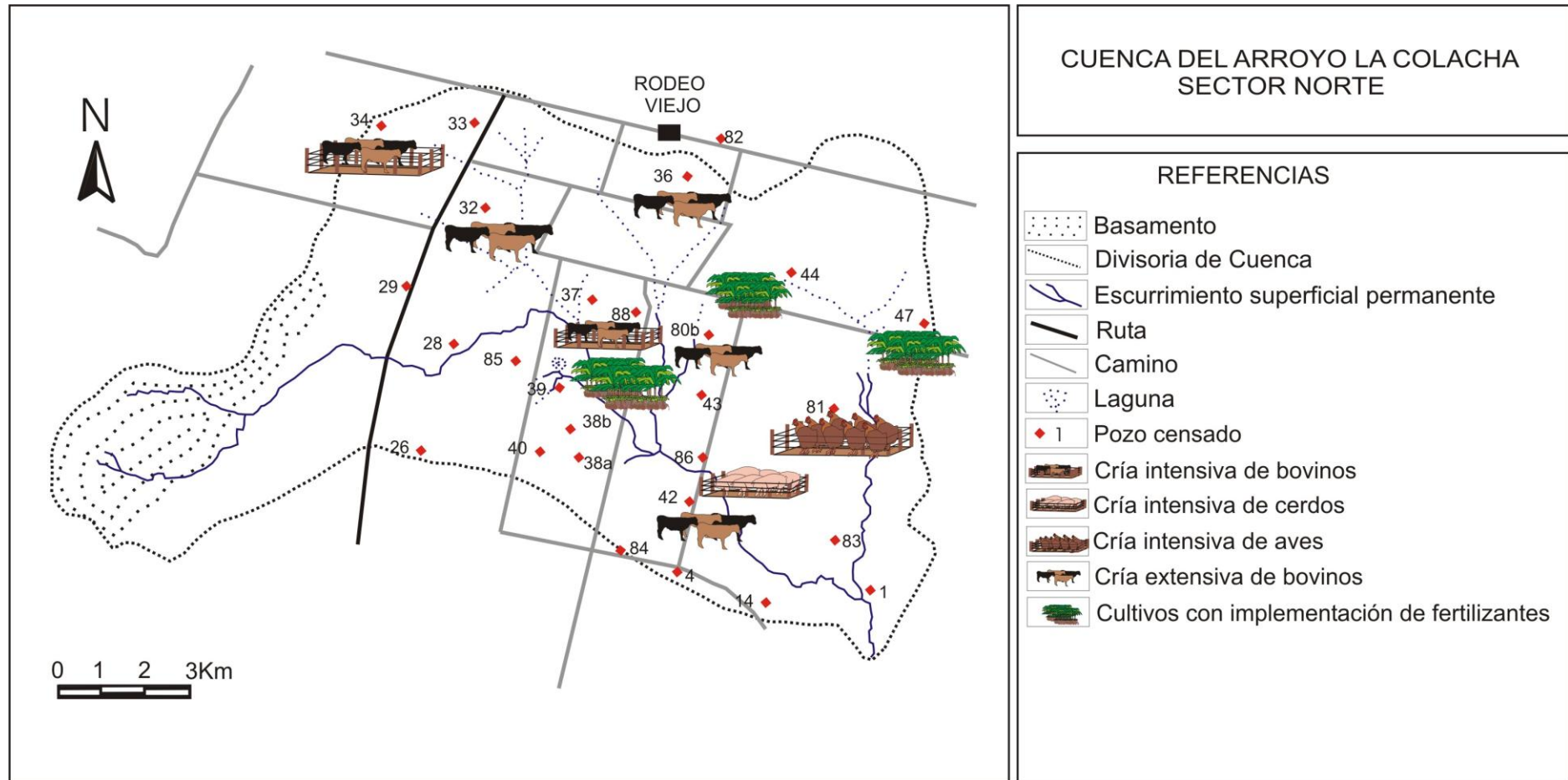


Figura Nº 6.1.2.c: Actividad agrícola con implementación de fertilizantes y ganadera con cría intensiva – extensiva de animales.

6.1.3. TIERRAS IMPRODUCTIVAS

Las tierras improductivas, se localizan generalmente en las fajas fluviales, aunque existen campos, con lotes afectados fuertemente por procesos de erosión hídrica, con desarrollo de cárcavas y surcos. Los propietarios han decidido no utilizar estas tierras, con el objetivo de no incrementar los problemas y en algunos casos, aplican técnicas de manejo, para disminuir el proceso o controlarlo temporalmente (figura N° 6.1.3).



Figura N° 6.1.3: Tierras Improductivas. Desarrollo de cárcava.

CAPITULO 7

CARACTERIZACIÓN EDAFOLÓGICA

7.1. INTRODUCCIÓN

El suelo es un recurso natural, que resulta de la interrelación de cuatro esferas (Biota, Atmosfera, Litosfera e Hidrosfera) o de la interacción del material original localizado en un relieve, bajo determinadas condiciones de drenaje en un clima dado, soportando una determinada biota y evolucionando a través del tiempo.

Este recurso, de vital importancia para el desarrollo de las sociedades, fue considerado por siglos, como un recurso renovable. Hoy en día, se sabe que la recuperación de un suelo, involucra centenares de años y que su calidad y capacidad de producción, dependen de las propiedades intrínsecas del mismo, las que se ven afectadas por las actividades del hombre, que emplean al suelo como fuente de recurso, soporte de actividades o sumidero de residuos no deseados. Cuando alguna de estas capacidades de uso del suelo no puede llevarse a cabo, se establece que el suelo ha sido degradado.

Las actividades agrícola – ganadera, utilizan al suelo como fuente de recursos. La creciente demanda de alimentos ha llevado al sector agropecuario a incrementar los rindes por lote y consecuentemente han generado la degradación química y paralelamente física del recurso. Para subsanar el problema, los propietarios incorporan cantidades excesivas de fertilizantes, herbicidas y pesticidas al suelo. La falta de un ente regulador, que restrinja el uso excesivo de los mismos ha generado un problema adicional, más que una solución, ya que estos productos, incorporan cantidades significativas de elementos trazas al suelo, los que no pueden ser degradados fácilmente por el mismo y se transforman en potenciales contaminantes del propio suelo y el recurso hídrico (aguas superficiales y subterráneas).

En este capítulo se caracterizará edafológicamente la Cuenca, con el fin de determinar las propiedades intrínsecas del suelo típico y natural del área de estudio.

El área de estudio, como fuera presentada anteriormente, corresponde al Sector Norte de la Cuenca del Arroyo La Colacha, la caracterización

edafológica fue realizada por Cantú (1998), quien elaboró la Carta de Suelos y estableció las Unidades Cartográficas correspondientes (figura N° 7.1 y tabla N° 7.1).

Símbolo	Nombre de la Unidad Cartográfica
LAg	Asociación La Aguada
LAg1	Asociación La Aguada – La Aguada moderadamente ondulada
LMo	Asociación Los Molles – La Aguada
LMo1	Asociación Los Molles.
RoV	Asociación Rodeo Viejo
RoV1	Asociación Rodeo Viejo moderadamente erosionada 1
RoV2	Asociación Rodeo Viejo moderadamente erosionada 2
RoV3	Asociación Rodeo Viejo - Espernanzoni
CoLC	Complejo La Colacha
CoPC	Complejo Aluvial Arroyo Pozo del Carril
CoR	Complejo Roca - Los Molles
Tabla N° 7.1: Unidades Cartográficas de Suelos de la Cuenca del Arroyo La Colacha – Sector Norte. Modificada de Cantú (1998).	

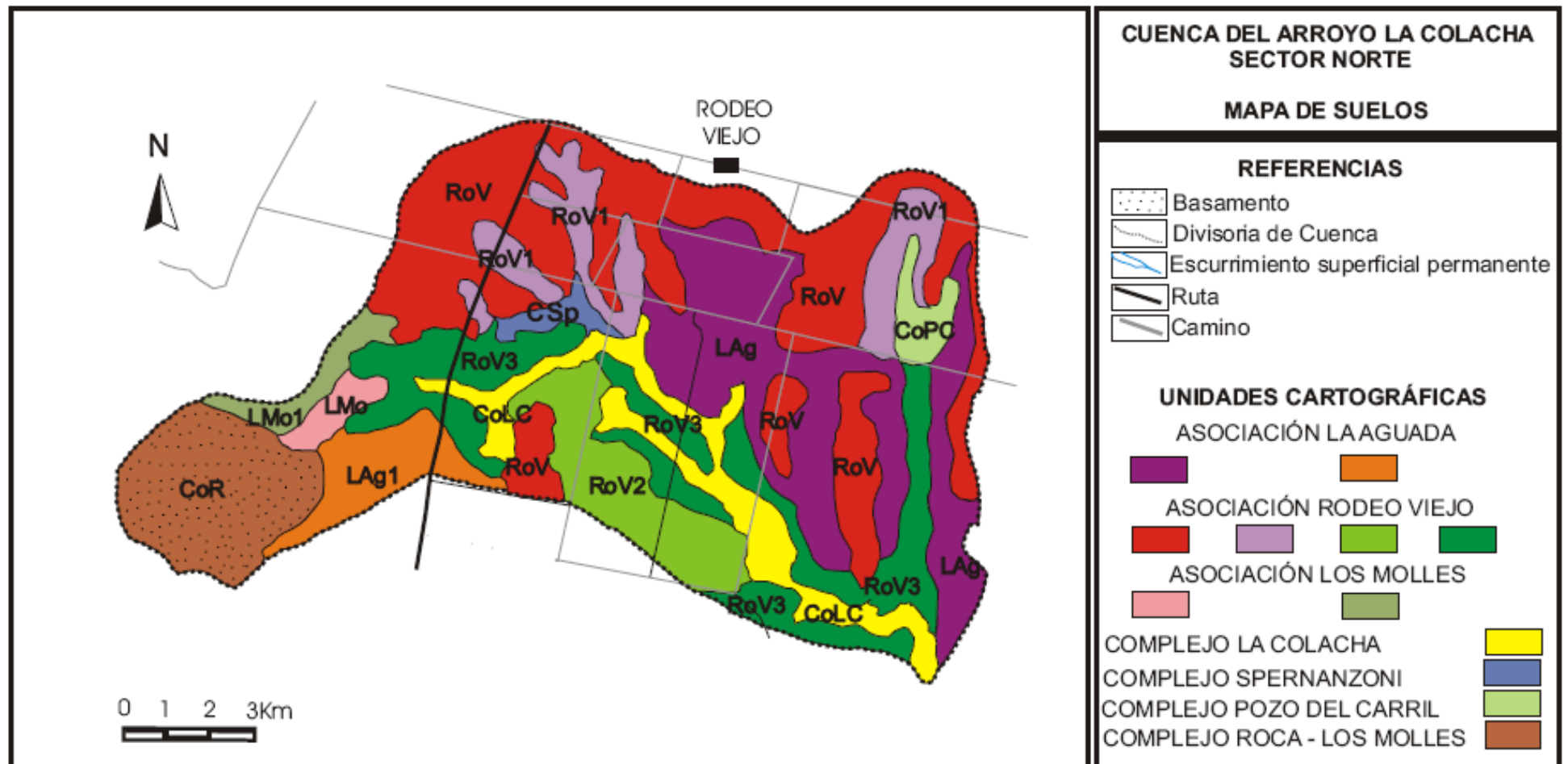


Figura Nº 7.1: Mapa de Suelos. Cuenca del Arroyo La Colacha – Sector Norte. Modificado de Cantú (1998)

7.2. PERFIL DE SUELO

7.2.1. CARACTERIZACIÓN SUELO TÍPICO

El suelo representativo del área pedemontana de Río Cuarto ha evolucionado a partir de sedimentos loésicos arenosos muy finos. El perfil tipo es un suelo poco profundo (solum de 40 cm), de bajo desarrollo, franco arenoso, bien a algo excesivamente drenado y de permeabilidad moderada. El suelo se caracteriza por presentar una baja evolución pedogénica (Hapludol típico) con escasos rasgos de iluviación y pobre enriquecimiento de arcilla en el horizonte Bw.

A continuación se presenta la descripción morfológica del perfil representativo del suelo del área:

Ap (0-8 cm); color pardo oscuro (10YR3/3) en húmedo y pardo a pardo oscuro (10YR 4/2) en seco; franco arenoso; estructura laminar gruesa fuerte que rompe a bloques angulares menores; duro en seco, firme en húmedo; seco; límite inferior abrupto, suave.

A2 (8-19 cm); color pardo oscuro (10YR3/3) en húmedo y pardo (10YR 5/3) en seco; franco arenoso; estructura laminar gruesa, moderados que rompe a bloques angulares menores; duro en seco, firme; ligeramente plástico, ligeramente adhesivo; seco; límite inferior abrupto, suave.

Bw (19-30 cm); color pardo grisáceo oscuro (10YR 4/2) en húmedo y pardo (10YR 5/3) en seco; franco arenoso; estructura en bloques angulares aplanados y bloques subangulares medios, moderados que rompen a bloques menores, finos, moderados; ligeramente duro, friable; ligeramente plástico, ligeramente adhesivo; escasas lamelas arcillo-húmicas de 1 a 2 mm de espesor, horizontales y subhorizontales que en ciertos puntos se entrecruzan; seco; límite inferior claro, suave.

BC (30-40 cm); color pardo a pardo oscuro (10YR 4/3) en húmedo y pardo amarillento (10YR 5/4) en seco; franco arenoso; estructura en bloques angulares, finos, moderados a débiles que rompen a bloques menores débiles; blando, muy friable; fresco; límite inferior claro y suave.

C (40 + cm); color pardo amarillento (10YR 5/4) en húmedo y pardo claro (10YR 6/3) en seco; franco arenoso; estructura masiva; blando, muy friable; fresco.

En la tabla N° 7.2.1. se presentan las propiedades químicas, física y físico-químicas generales del suelo representativo (Becker, 2006).

Horizonte	Ap	A2	Bw	BC	C
Profundidad (cm)	0-8	8-19	19-30	30-40	40 +
Carbono orgánico (%)	0,97	0,94	0,91	0,69	0,58
Nitrógeno total (%)	0,10	0,09	0,09	0,08	-
Relación C/N	9,70	10,44	10,11	8,63	-
Arcilla < 2 m (%)	13,88	12,51	12,89	11,40	10,20
Limo, 2-50 m (%)	26,24	26,32	26,89	24,12	22,80
Arena muy fina, 50-100 m (%)	61,04	60,81	59,89	63,80	66,09
Arena fina, 100-250 m (%)	0,33	0,35	0,30	0,36	0,45
Arena media, 250-500 m (%)	0,05	0,01	0,02	0,02	0,03
Arena gruesa, 500-1000 m (%)	-	-	0,01	0,30	0,40
Arena muy gruesa, 1-2 mm (%)	-	-	-	-	-
pH en agua (1 : 2,5)	6,56	6,70	6,80	7,00	7,10
Cationes de Intercambio (meq/100 g)					
Ca ⁺⁺	7,60	8,01	8,60	9,80	9,04
Mg ⁺⁺	3,00	3,30	3,50	4,30	4,28
Na ⁺	0,45	0,41	0,51	0,58	0,39
K ⁺	1,49	1,18	1,49	1,23	1,00
Suma de bases (meq/100 g)	12,54	12,90	14,10	15,91	14,71
CIC (meq/100 g)	10,43	10,01	11,92	10,63	10,00
Saturación con bases (%)	100	100	100	100	100

Tabla 7.2.1. Propiedades químicas, físico-químicas y físicas generales del suelo representativo.

El perfil representativo corresponde a un **Hapludol típico, limoso grueso, illítico, térmico** (Becker, 2006).

7.2.2. CARACTERIZACIÓN SUELO NATURAL

El perfil del suelo natural tomado como referencia se localiza en la unidad cartográfica Asociación Rodeo Viejo, el mismo se caracteriza por presentar un moderado desarrollo pedogenético, permeabilidad moderada y bien drenado.

A continuación se presenta la descripción morfológica del suelo natural (Becker, 2006).

A1 (0-25 cm); pardo grisáceo muy oscuro (10YR3/2) en húmedo y pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2) en seco; franco arenoso; estructura en bloques subangulares gruesos moderados a fuertes que rompen a bloques angulares medios finos; blando en seco, muy friable en húmedo; ligeramente plástico, ligeramente adhesivo; fresco; límite inferior abrupto y suave.

A2 (25-43 cm); pardo grisáceo muy oscuro (10YR3/2) en húmedo y pardo a pardo oscuro (10YR 4/3) en seco; franco arenoso; estructura en bloques subangulares gruesos moderados que rompen a bloques angulares medios moderados a débiles; duro en seco, friable en húmedo; plástico, adhesivo; fresco; límite inferior abrupto y suave.

Bw (43-66 cm); pardo a pardo oscuro (10YR 4/3) en húmedo y pardo (10YR 5/3) en seco; franco arenoso; estructura en prismas simples irregulares a regulares gruesos moderados que rompen a prismas menores y bloques menores moderados a débiles; ligeramente duro en seco, friable en húmedo; plástico, adhesivo; abundantes barnices arcillo-húmicos, gruesos sobre las caras de agregados y medios en el interior de peds; fresco; límite inferior abrupto y suave.

BC (66-88 cm); pardo amarillento oscuro (10YR 4/4) en húmedo y pardo amarillento (10YR 5/4) en seco; franco arenoso; estructura en prismas simples irregulares gruesos moderados a débiles que rompen a bloques menores finos débiles; escasos barnices arcillo-húmicos, sobre las caras de agregados y en el interior de peds; blando en seco, friable en húmedo; plástico, ligeramente adhesivo; fresco; límite inferior claro y suave.

C (88-140 cm); pardo amarillento (10YR 5/4) en húmedo y pardo claro amarillento (10YR 6/4) en seco; franco arenoso; estructura en bloques angulares irregulares medios a finos débiles; blando en seco, muy friable en húmedo; ligeramente plástico, no adhesivo; fresco; límite inferior abrupto y suave.

En la tabla N° 7.2.2. se muestran las propiedades químicas, físico-químicas del suelo natural, Becker 2006.

Horizonte	pH	CMO	Ca	K	Na	Mg	CIC
Ap	6.44	4,74	9.2	2.5	0.40	0.2	9.5
A2	7.49	2,66	10.4	2.4	0.38	0.2	10.0
BW	7.30	2,08	12.8	2.3	0.39	3.6	10.9
BC	7.60	1,96	11	2.2	0.37	0	11.4
C	7.60	1,39	12.8	2.8	0.42	3.2	11.1

Tabla N° 7.2.2. Propiedades químicas del suelo natural.

CMO: Contenido de materia orgánica; CIC: Capacidad de intercambio catiónico.

El suelo natural corresponde taxonómicamente a un **Hapludol típico, limoso grueso, illítico, térmico** (Becker 2006).

CAPITULO 8
HIDROLOGÍA SUPERFICIAL

8.1. INTRODUCCIÓN

La cuenca del Arroyo La Colacha forma parte de una cuenca hidrográfica regional definida por Degiovanni *et al.*, (2005) como **Depresión del Tigre Muerto**, la cual colecta los sistemas de drenaje situados al Sur del río Cuarto: Arroyo Santa Catalina, Las Lajas – del Gato, Jagüeles, Corralito y Sampacho.

Como fuera caracterizada anteriormente, la cuenca en estudio, es una cuenca pedemontana tributaria del Arroyo Santa Catalina, la que a su vez aporta a los bañados del Tigre Muerto (conectado vía canales a la cuenca del Plata).

8.2. HIDROLOGÍA SUPERFICIAL

La Cuenca del Arroyo La Colacha puede ser dividida, en función de los escurrimientos superficiales, en tres Subcuencas siendo dos de ellas nominadas A y B las que forman parte del área estudiada en la presente investigación (figura N° 8.1).

Subcuenca A: Abarca la mayor parte de la Cuenca extendiéndose desde el sector serrano hacia el Este. Los cursos de agua que la conforman son de carácter efímero en cabecera, drenan solo durante época de tormenta, al llegar a cuenca media, los mismos adquieren un carácter permanente, evacuando el caudal de base, aportado por la freática. El curso más importante es el Arroyo La Colacha (figura N° 8.1.a), el que recibe los afluentes de los Arroyos Moreno y López. Se encuentra controlado estructuralmente en todo su trayecto, presentando un diseño rectilíneo, de fondo plano y paredes verticales altas (hasta 10 metros de altura). En el sector serrano, posee una orientación SW-NE, debido al control ejercido por las Fallas Central y Sur de la Sierra Los Chañares. En el tramo medio, se ve influenciada por varias Fallas siendo la Falla La Colacha la que ejerce mayor control, generando un cambio en la orientación de SW-NE a NW-SE. El arroyo presenta terrazas suavemente onduladas, cuyas pendientes no superan el 1%, las que actúan como planicie de inundación, en más de un tramo. Los caudales que evacua son variables,

desde el caudal de base, del orden de 0,258 m³/s hasta valores correspondientes a crecientes del orden de 104 m³/s.

Subcuenca B: Localizada en el extremo Este de la Cuenca, se caracteriza por presentar un único curso de agua, “Arroyo Pozo del Carril”, de orientación N-S. El curso tiene régimen efímero en cabecera, pasando a permanente en los tramos medio y bajo, por aporte de agua subterránea. El Arroyo ha generado a lo largo de su historia y durante los ciclos húmedos, procesos de incisión vertical, desarrollando un cauce profundo, con morfología tipo cárcava (hasta 4-5 m) hacia la zona de divisoria de cuenca.

En Cuenca Baja, se produce la confluencia de éste Arroyo con El Arroyo La Colacha, generando procesos de erosión retrocedente y cárcavas de hasta 6 metros de profundidad, los gradientes no superan el 3% y las longitudes alcanzan los 500 metros.

La subcuenca se halla afectada por procesos de erosión hídrica y en menor grado procesos de sedimentación. Ambos responsables del modelado actual del relieve.

Subcuenca C: Se localiza en el sector Sur de la cuenca, fuera del área estudiada, abarcando las planicies deprimidas de origen tectónico, con presencia de varias Fallas, que condicionan la dirección de los flujos superficiales. Los Arroyos Grella y Espernanzoni son los más importantes. El Arroyo Grella de carácter efímero es tributario del Arroyo Espernanzoni, el que presenta un carácter permanente en todo su trayecto y termina confluyendo con el Arroyo La Colacha a la salida de la Cuenca. En el área se reconocen lagunas de diferente magnitud, de morfología circular, las que en épocas de sequía se ven afectadas por procesos de deflación.

En toda la cuenca se destacan los caminos rurales, por encontrarse muy profundizados por la erosión y por la acción de maquinarias durante tareas de mantenimiento. Esto genera la incorporación de los mismos a la red de drenaje ya que actúan como verdaderos cursos colectores, particularmente aquellos en sentido de la pendiente regional (figura N° 8.1.b).

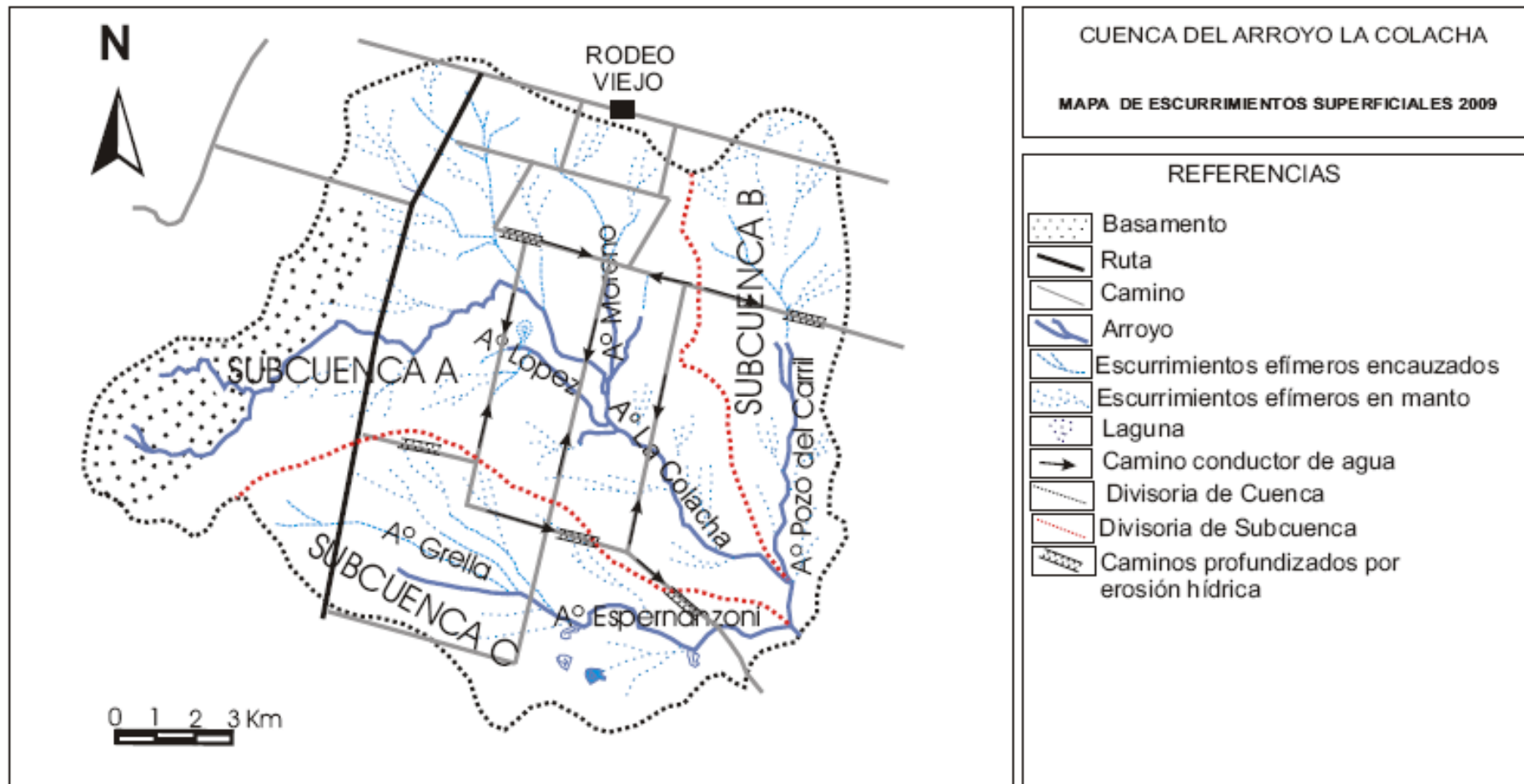


Figura Nº 8.1.: Mapa de Escurrimientos Superficiales de la Cuenca del Arroyo La Colacha.



Figura Nº 8.1.a.: Vista del Arroyo La Colacha



Figura Nº 8.1.b.: Caminos profundizados que actúan como colectores, con erosión retrocedente hacia predios agrícolas.

CAPITULO 9

HIDROLOGÍA SUBTERRÁNEA

9.1. INTRODUCCIÓN

La degradación de los ecosistemas acuáticos, incluyendo los sistemas de aguas subterráneas, está directamente relacionada a las formas de ocupación de las tierras y a los variados usos a los que son sometidos los recursos naturales. El agua es de trascendental importancia para el desarrollo del hombre ya que es fuente de recursos, sumidero de residuos y forma parte de procesos vitales en todos los ecosistemas. Por ello, es necesario dedicar especial atención al estudio de su dinámica y calidad, para definir con criterio científico pautas para su uso, manejo y protección, tanto en ambientes urbanos como en ecosistemas agropecuarios, cada vez más extendidos y afectados por degradación de diverso tipo en Argentina y el mundo.

En la **provincia de Córdoba** el agua subterránea es de especial importancia no sólo por encontrarse involucrada en múltiples fenómenos naturales sino también porque es el recurso utilizado casi con exclusividad en algunas regiones para actividades domésticas, agropecuarias, mineras e industriales (Blarasín *et al.*, 2005, Degiovanni *et al.*, 2005).

A pesar de la importancia que el agua subterránea posee, un problema fundamental es la falta de conocimiento, en numerosos sectores, de la geometría, características litológicas e hidráulicas de los acuíferos y consecuentemente de las reservas de agua disponible. Por otro lado, un problema relevante en grandes áreas de la llanura cordobesa es la pobre calidad natural del agua alojada en acuíferos constituidos por sedimentos finos (dominantemente loésicos), caracterizada por altos tenores de sales disueltas totales (SDT), sulfatos, cloruros, arsénico (tóxico de primer nivel) y flúor, que la convierten en no apta para consumo humano aunque, por falta de otros recursos, es igualmente utilizada, con el riesgo toxicológico que esto implica (Blarasín, 2003, Blarasín *et al.*, 2005). En ecosistemas agropecuarios, el acuífero freático es el más impactado, particularmente por la llegada de contaminantes móviles y/o persistentes provenientes de la aplicación de agroquímicos (plaguicidas y/o fertilizantes). Son también fuentes de polución, ya evaluadas en numerosos sitios, la práctica tambera, criaderos tradicionales de porcinos y vacunos y, en notorio crecimiento, la práctica de cría intensiva,

sitios que pueden contaminar el agua subterránea con nitritos, nitratos, microorganismos, metales pesados e incluso productos farmacéuticos (Degiovanni y Blarasín, 2008, Blarasín *et al.*, 2008, Candela *et al.*, 2008, Adriano 2001, entre otros). En este marco, es necesario profundizar los estudios hidrogeológicos en diferentes áreas de la región, exponiéndose a continuación aquellos correspondientes a la cuenca en estudio.

9.2. HIDROLITOLOGÍA

El estudio geológico-geomorfológico del área, el censo de las perforaciones y los 7 Sondeos Eléctricos Verticales (SEV), tomados de Blarasín *et al.*, (2005), permitieron sumar información al modelo hidrogeológico ya existente.

Los Sondeos Eléctricos Verticales fueron de utilidad para determinar el comportamiento del basamento en profundidad y el espesor de la capa sedimentaria que lo recubre en la mayor parte de su extensión. Empleando los SEV y las perforaciones presentes en el área se llevo a cabo la confección de 3 perfiles hidrogeológicos, que sumados a los ya existentes (Blarasín *et al.*, 2005) permitieron caracterizar el substrato de la cuenca (figura N° 9.2).

Las perforaciones más profundas realizadas en la zona (Carranza perforaciones) son las que se localizan en el mapa de la figura N° 9.2, los materiales descriptos se observan en la figura N° 9.2.a.

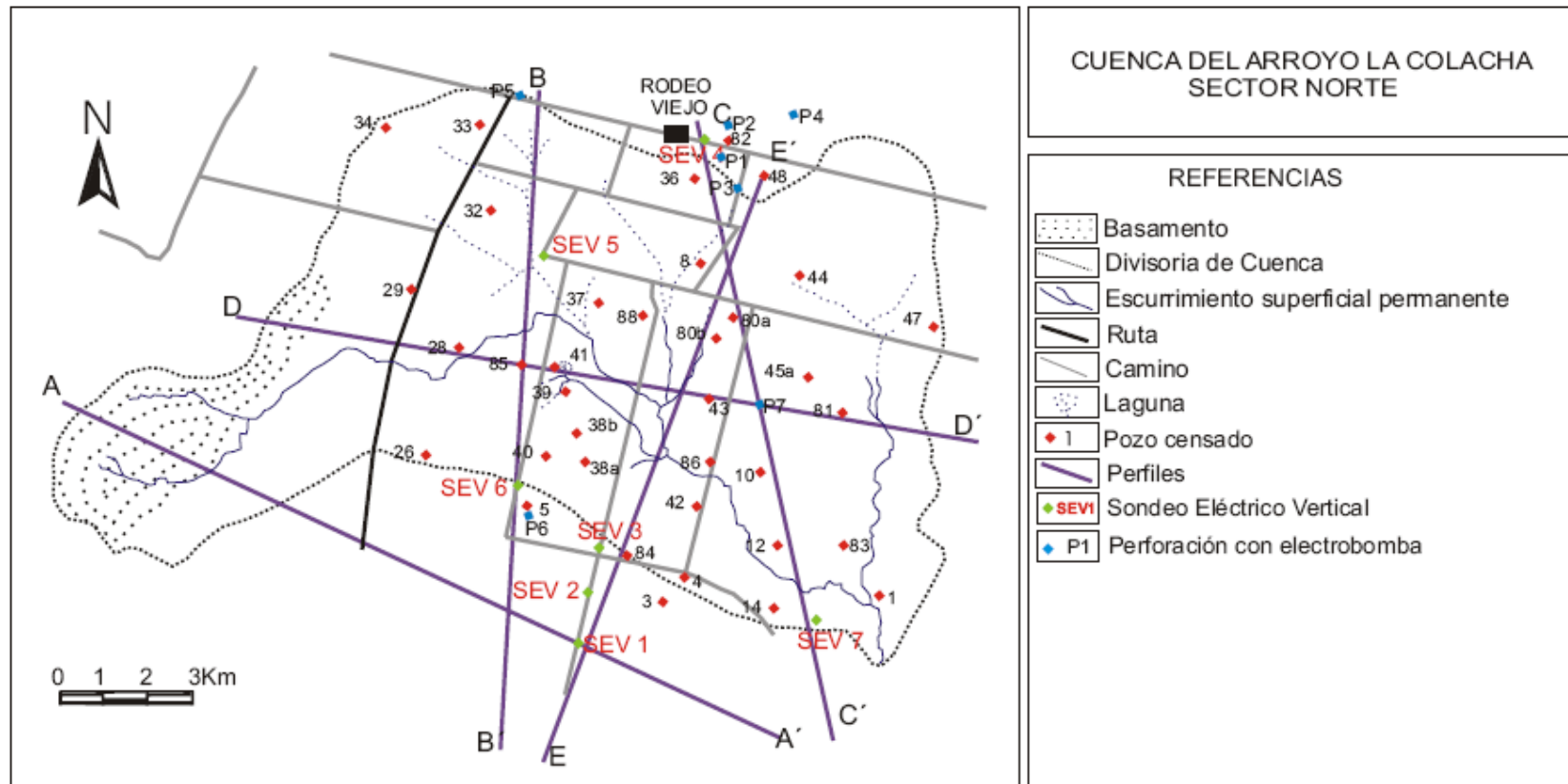


Figura Nº 9.2: Mapa de la cuenca del arroyo La Colacha – Sector Norte, con la localización de perfiles hidrogeológicos y sondeos eléctricos verticales

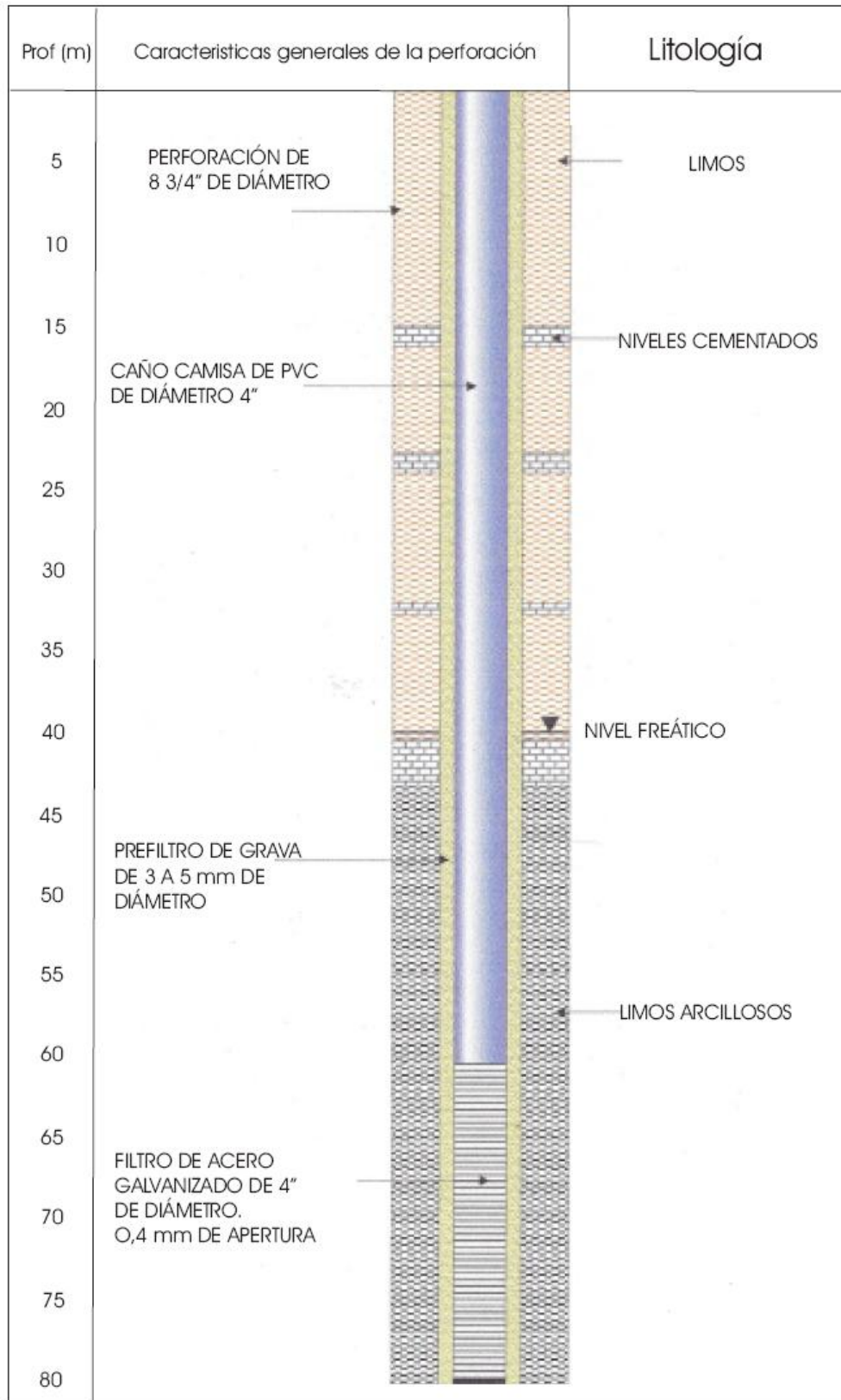


Figura N° 9.2.a: Descripción de la litología presente en el subsuelo del área de estudio. Perforación P1, realizada por Carranza Perforaciones.

Del perfil A-A´ de la figura N° 9.2.b (tomado de Blarasín *et al.*, 2005), con rumbo WNW-ESE, se infiere que el basamento que aflora en la Sierra Los Chañares, se continúa en el subsuelo de la llanura para volver a aflorar en la estancia El Cerrito. Las fallas que afectan la región han generado el basculamiento diferencial de los bloques, con un escalonamiento descendente al SE, condicionando la localización del basamento a diferentes profundidades. La capa sedimentaria, que se ubica por encima, presenta menor espesor en la zona de serranía e incrementa de forma paulatina hacia el E, para luego disminuir contra el afloramiento El Cerrito. Luego de atravesar la Falla Espernanzoni, la capa sedimentaria presenta espesores que superan los 50 metros.

El perfil B-B´ (Blarasín *et al.*, 2005), presente en la figura N° 9.2.c, de rumbo N-S, presenta mayor número de SEV, los que permitieron predecir con mayor precisión el comportamiento del basamento. Las Fallas que afectan el área, han generado un escalonamiento de los bloques hacia el Norte, el basamento se localiza a mayor profundidad y la capa sedimentaria presenta espesores que superan los 100 metros. Hacia el Sur, la capa disminuye de espesor y el basamento comienza a localizarse a profundidades menores, hasta aflorar en la zona de La Piedra.

Los 3 perfiles restantes se confeccionaron con el objetivo de ampliar el conocimiento del subsuelo y determinar con mayor claridad el comportamiento del basamento en estos sectores de la cuenca, pero la falta de sondeos eléctricos verticales no ha permitido dilucidar más de lo que se observa en los perfiles A-A´ y B-B´.

El perfil C-C´ presenta una orientación NW-SE y en su confección sólo intervienen 2 SEV y 5 perforaciones, cuyas profundidades no superan los 80 metros. El basamento sólo se reconoció a partir de los SEV 4 y 7, a los 115m y 70 m respectivamente, mientras que las perforaciones solo atravesaron sedimentos cuaternarios. De la figura 9.2.d, se interpreta que el basamento en este sector de la cuenca también presenta un comportamiento en bloques diferencialmente ascendidos. Los sedimentos cuaternarios conforman una capa potente, con presencia de niveles cementados.

El perfil D-D' (figura 9.2.e.), presenta una orientación WNW-ESE. El basamento aflora en superficie en el sector oeste (Unidad Sierra de Los Chañares) y vuelve a reconocerse en subsuelo a los 80 m, en proximidades de la perforación 41. Los sedimentos cuaternarios conforman una potente capa en todo el perfil.

En el perfil E-E' de la figura N° 9.2.f, de rumbo NNE-SSW, se observa el alto control que ejercen las fallas del área sobre el basamento, el cual está dispuesto en bloques fragmentados y escalonados hacia el NE, donde se localizan las máximas profundidades, mientras que la capa sedimentaria de potencia variable sufre una disminución de sus espesores hacia el sector Suroeste.

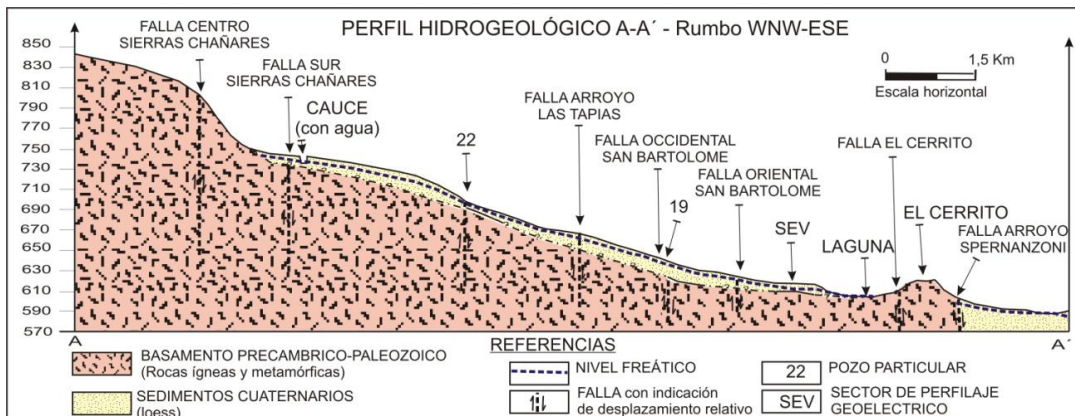


Figura N° 9.2.b: Perfil Hidrogeológico A-A'. Cuenca del Arroyo La Colacha. (Tomado de Barasín et al., 2005).

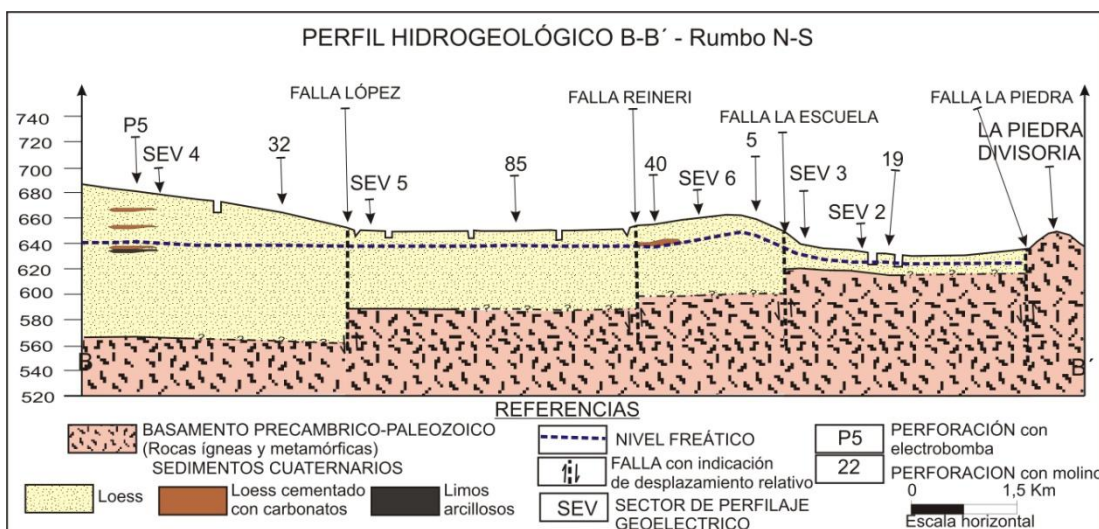


Figura N° 9.2.c: Perfil Hidrogeológico B-B'. Cuenca del Arroyo La Colacha. (Tomado de Blarasín et al., 2005).

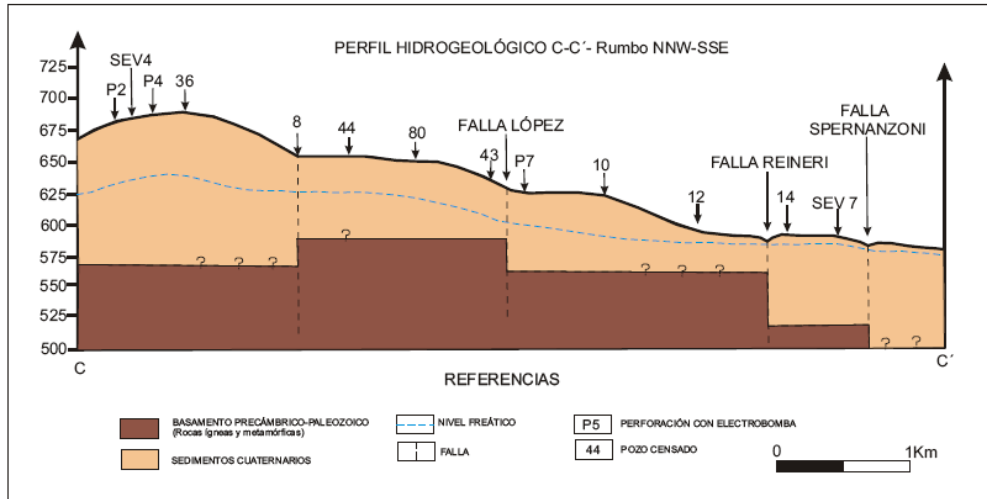


Figura Nº 9.2.d: Perfil Hidrogeológico C-C'. Cuenca del Arroyo La Colacha.

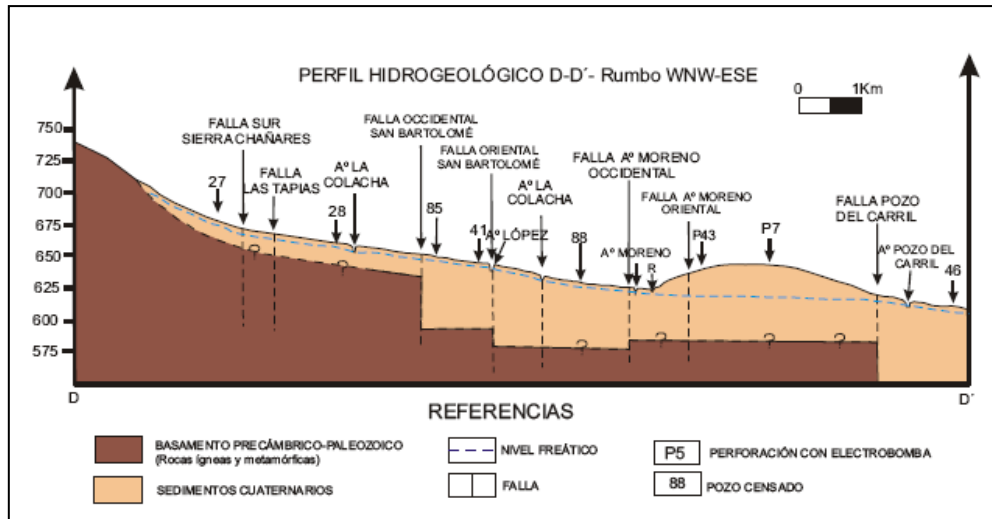


Figura Nº 9.2.e: Perfil Hidrogeológico D-D'. Cuenca del Arroyo La Colacha.

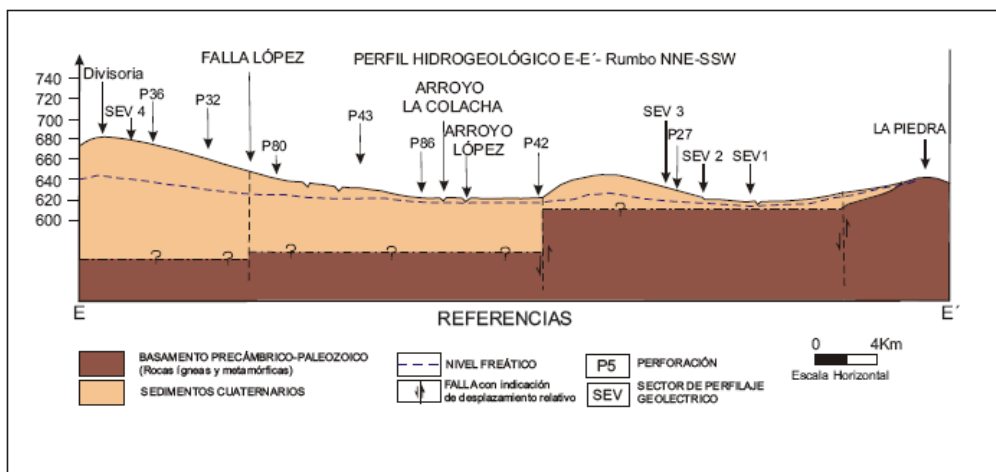


Figura Nº 9.2.f: Perfil Hidrogeológico E-E'. Cuenca del Arroyo La Colacha.

Desde el punto de vista hidrolitológico, se distinguen en la cuenca dos ambientes: El *medio fracturado* y el *medio poroso sedimentario*. Blarasín *et al.*, 2005 (figura N° 9.2.g).

El *acuífero en medio fracturado*, se localiza en la unidad Sierra de Los Chañares y está conformado por basamento, el cual presenta una serie de fracturas y diaclasas que permiten que el agua se almacene y conduzca a partir del mismo, dando origen a un sistema acuífero libre, muy pobre debido a las bajas permeabilidades del sistema, aunque suficiente para sostener algunos manantiales y arroyos de primer orden en cabeceras.

El *acuífero en medio poroso sedimentario*, se desarrolla en el resto de la cuenca, presentando en toda su extensión al basamento como hidroapoyo. El alto control estructural que presenta el área de estudio y los materiales que conforman las unidades geomorfológicas reconocidas con anterioridad, han permitido identificar 3 subambientes. El primero localizado al pie de la serranía, se corresponde con la unidad “Pedimento Antiguo”, los materiales que conforman el acuífero son limos arenosos muy finos, diamictos compuestos por gravas y arenas gruesas y medias, y arenas muy finas limosas. Los espesores no superan los 20 metros y el basamento se halla a poca profundidad. La productividad de este acuífero está controlada por los espesores de la zona saturada, los cuales son reducidos y por lo tanto a pesar de ser considerados buenos acuíferos, los caudales extraídos son pequeños o no se mantienen en el tiempo.

El segundo ambiente reconocido, se localiza en la unidad “Fajas Fluviales”. Constituido por materiales aluviales arenosos y limosos con gravillas dispersas o capas muy localizadas de materiales arenosos gruesos y medios, intercaladas con sedimentos eólicos, es considerado un acuífero productivo.

El resto de la cuenca (“Llanura Eólica y Alto estructural”), representa el tercer ambiente de mayor extensión areal, compuesto por arenas muy finas limosas de origen eólico, de gran espesor, que intercalan con niveles cementados (calcretos o toscas) que no superan los 2 metros de espesor y por debajo limos y limos arcillosos. Dentro de este ambiente y considerando el

perfil B-B' del apartado anterior, se observa que la unidad "Alto Estructural" presenta una zona saturada de menor espesor, localizándose el basamento a escasa profundidad y condicionando ambas características la productividad del acuífero, la cual es moderada, por las litologías predominantemente loésicas y por los espesores sedimentarios disponibles. Por su parte, la Llanura Eólica es considerada litológicamente como un acuífero pobre, a pesar de presentar importantes espesores sedimentarios.

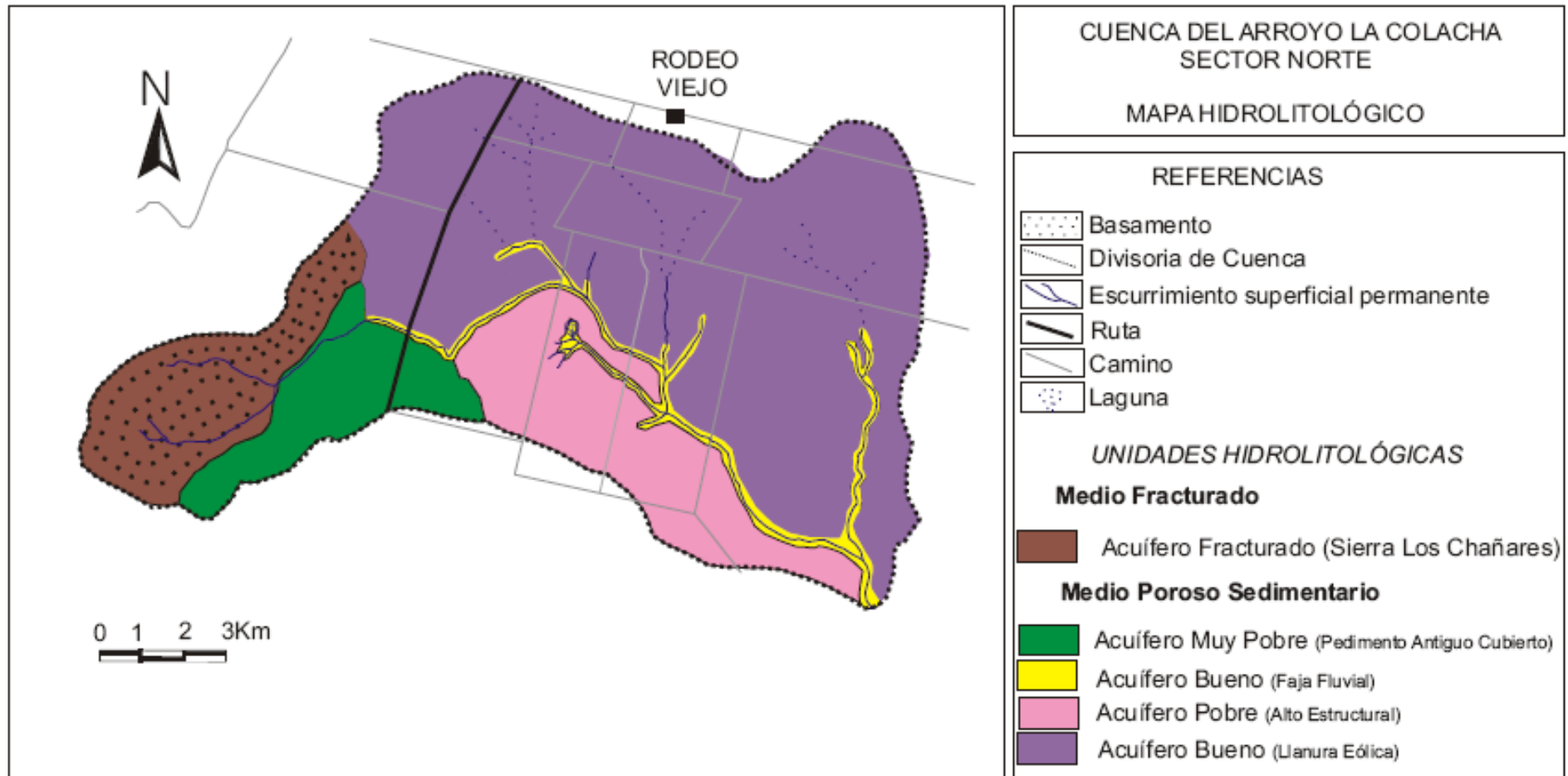


Figura N° 9.2.g: Mapa Hidrolitológico. Cuenca del Arroyo La Colacha – Sector Norte.

9.3. HIDRODINÁMICA

La cuenca en estudio presenta un alto control estructural, la disposición del basamento en bloques diferencialmente ascendidos y la localización del área al pie de la Sierra Los Chañares controlan directamente el comportamiento de los flujos de agua subterránea.

La determinación del comportamiento hidrodinámico del acuífero se llevó a cabo a partir de la confección del mapa de equipotenciales (figura N° 9.3), empleándose los datos correspondientes al censo de 27 perforaciones, que captan del acuífero freático localizado en medio poroso sedimentario (tabla N° 9.3.1.)

N° de Pozo	Cota del Relieve (m)	Profundidad del Nivel Freático (m)	Cota del Nivel Freático (m)	N° de Pozo	Cota del Relieve (m)	Profundidad del Nivel Freático (m)	Cota del Nivel Freático (m)
1	582,0	8,0	574,0	40	658,0	24,0	634,0
4	612,5	16,0	596,5	42	613,3	9,0	604,3
10	613,8	13,0	600,8	43	635,6	20,0	615,6
14	592,0	8,0	584,0	44	657,9	29,2	628,7
26	592,1	15,52	676,5	47	640,0	32,0	608,0
28	661,9	5,0	656,9	80b	646,5	12,65	633,8
29	672,1	3,1	669,0	81	625	14,0	611,0
32	673,1	17,40	655,7	82	685,0	48,0	637,0
33	690,4	25,5	664,9	83	598,0	11,5	586,5
34	704,0	27,8	676,2	84	633,6	20,0	613,6
36	669,0	27,90	641,1	85	651,0	12,0	639,0
37	644,0	11,0	633,0	86	622,5	5,0	617,5
38a	640,2	13,0	627,2	88	645	12,0	633
38b	646,9	12,9	634,0				

Tabla N° 9.3.1: Profundidad del nivel estático y cálculo de la cota del nivel freático.

La dinámica del acuífero freático se caracteriza por una dirección de escurrimiento general NW-SE coincidente en general con el sentido del flujo superficial. Localmente se advierte, producto de la tectónica del área, variaciones locales en el sentido de escurrimiento subterráneo, fundamentalmente se destaca la dirección WE a NW-SE en el sector occidental del área estudiada, mientras que en la subcuenca del arroyo Pozo del Carril la dirección del agua subterránea es NS. La traza de divisorias y filetes de flujos de la figura N° 9.3.a, indican que en su mayor parte las unidades se comportan como áreas de tránsito del flujo de agua que procede del ámbito serrano, mientras que la convergencia de los filetes en la Unidad Llanura Aluvial, especialmente en el sector del colector principal (Arroyo La Colacha), genera un área de descarga.

La morfología de la capa freática es de tipo radial, levemente ondulada y coincidente con la morfología del terreno. De la figura 9.3.a, se observa un paralelismo entre las curvas de equipotenciales, en la zona del alto estructural, que tienden a curvarse en cercanías del colector principal. Los gradientes hidráulicos calculados (apartado 9.3.1), se encuentran entre 0,5 y 1,5%, los mayores valores se localizan en el sector periserrano y disminuyen hacia el centro de la cuenca. La velocidad real de escurrimiento se encuentra en el orden de 0,1-0,2 m/día. Para su cálculo se tuvieron en cuenta los materiales que predominantemente constituyen el acuífero, una conductividad hidráulica promedio de 1 m/día y una porosidad efectiva promedio de 0,15.

El mapa de isopropundidad del nivel freático (figura N° 9.3.b), indica que en la zona central de la cuenca, el agua se localiza a escasa profundidad, aumentando hacia la zona periférica. En la zona media y baja, la potencia de la zona no saturada disminuye, ya que el nivel freático se encuentra próximo a la superficie. Allí, el agua subterránea es influente respecto a los arroyos, a los que le mantiene su caudal de base. En la Unidad Llanura Eólica, la potencia de los sedimentos cuaternarios condicionan que el nivel freático se localice por debajo de los 20m de profundidad, existiendo una relación de indiferencia entre los flujos de agua superficial y subterráneos, en las nacientes de los arroyos Moreno y Pozo del Carril, en este último el agua subterránea en su tramo

terminal es influente en la margen derecha, pero efluente en la margen izquierda.

La tectónica local ha condicionado la elevación de bloques, generando que la unidad Alto Estructural actúe como divisoria parcial entre los arroyos La Colacha (Sector Norte) y Grella – Esperanzoni (Sector Sur). La profundidad del nivel freático es elevada en el sector cumbral de la unidad, disminuyendo bruscamente hacia la zona de los colectores, hasta que aflora en superficie, presentando una relación de influencia del agua subterránea sobre los arroyos.

9.3.1. GRADIENTES HIDRÁULICOS

$$i = \Delta h / \Delta l$$

i = Gradiente Hidráulico

Δh = Variación del nivel estático ($h_1 - h_2$)

Δl = Variación en la distancia existente entre h_1 y h_2 .

$$\text{Filete 1: } i = \frac{690-670}{1500} = 0,01 = 1\%$$

$$\text{Filete 2: } i = \frac{630-620}{675} = 0,015 = 1,5\%$$

$$\text{Filete 3: } i = \frac{620-600}{1800} = 0,01 = 1,1\%$$

$$\text{Filete 4: } i = \frac{660-650}{1200} = 0,008 = 0,8\%$$

El gradiente hidráulico (*i*) en la zona de estudio, se halla en orden de 0,5 a 1,5%.

9.3.2. CÁLCULO DE LA VELOCIDAD REAL EFECTIVA

Considerando los materiales que constituyen el acuífero se utilizó una conductividad hidráulica de 1 m/día, con una porosidad efectiva del 15%, con el objetivo de obtener una estimación de los valores de velocidad real promedio del agua subterránea en la zona. Los gradientes empleados son los obtenidos previamente para los filetes de flujo seleccionados.

$$V_{re} = \frac{K * i}{Pe}$$

Vre = Velocidad Real

K = Conductividad Hidráulica

i = Gradiente Hidráulico

Pe = Porosidad efectiva

$$\text{Filete 1 } V_{re} = \frac{5\text{m/día} * 1\%}{20\%} = 0,25 \text{ m/día}$$

$$\text{Filete 2 } V_{re} = \frac{1\text{m/día} * 1,5\%}{15\%} = 0,1 \text{ m/día}$$

$$\text{Filete 3 } V_{re} = \frac{1\text{m/día} * 1,1\%}{15\%} = 0,073\text{m/día}$$

$$\text{Filete 4 } V_{re} = \frac{1\text{m/día} * 0,8\%}{15\%} = 0,05 \text{ m/día}$$

La velocidad real efectiva, en el área de estudio se halla en el orden de 0,05 a 0,25 m/día.

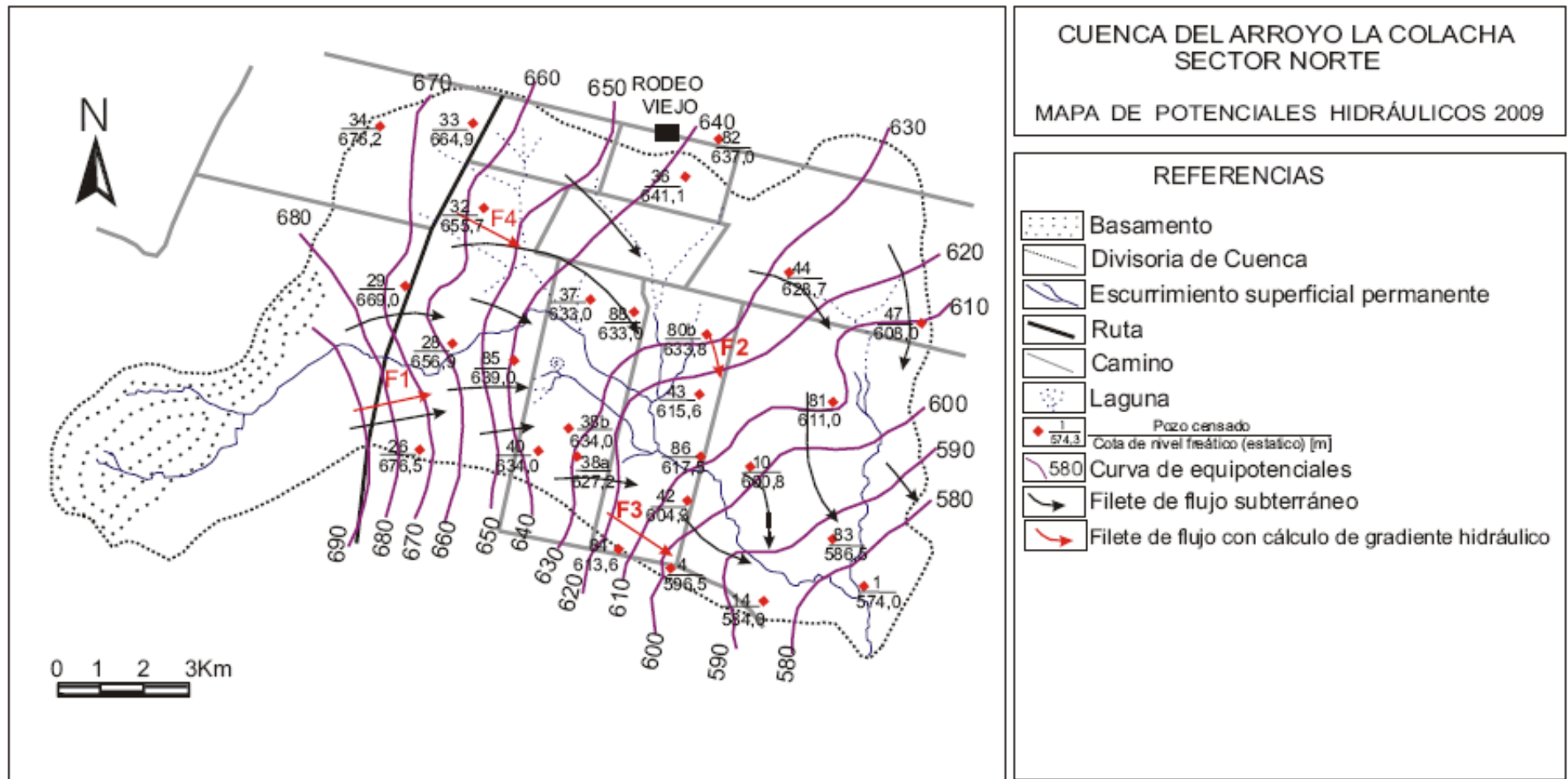


Figura Nº 9.3.a: Mapa de Potenciales Hidráulicos del acuífero freático. Cuenca del Arroyo La Colacha – Sector Norte.

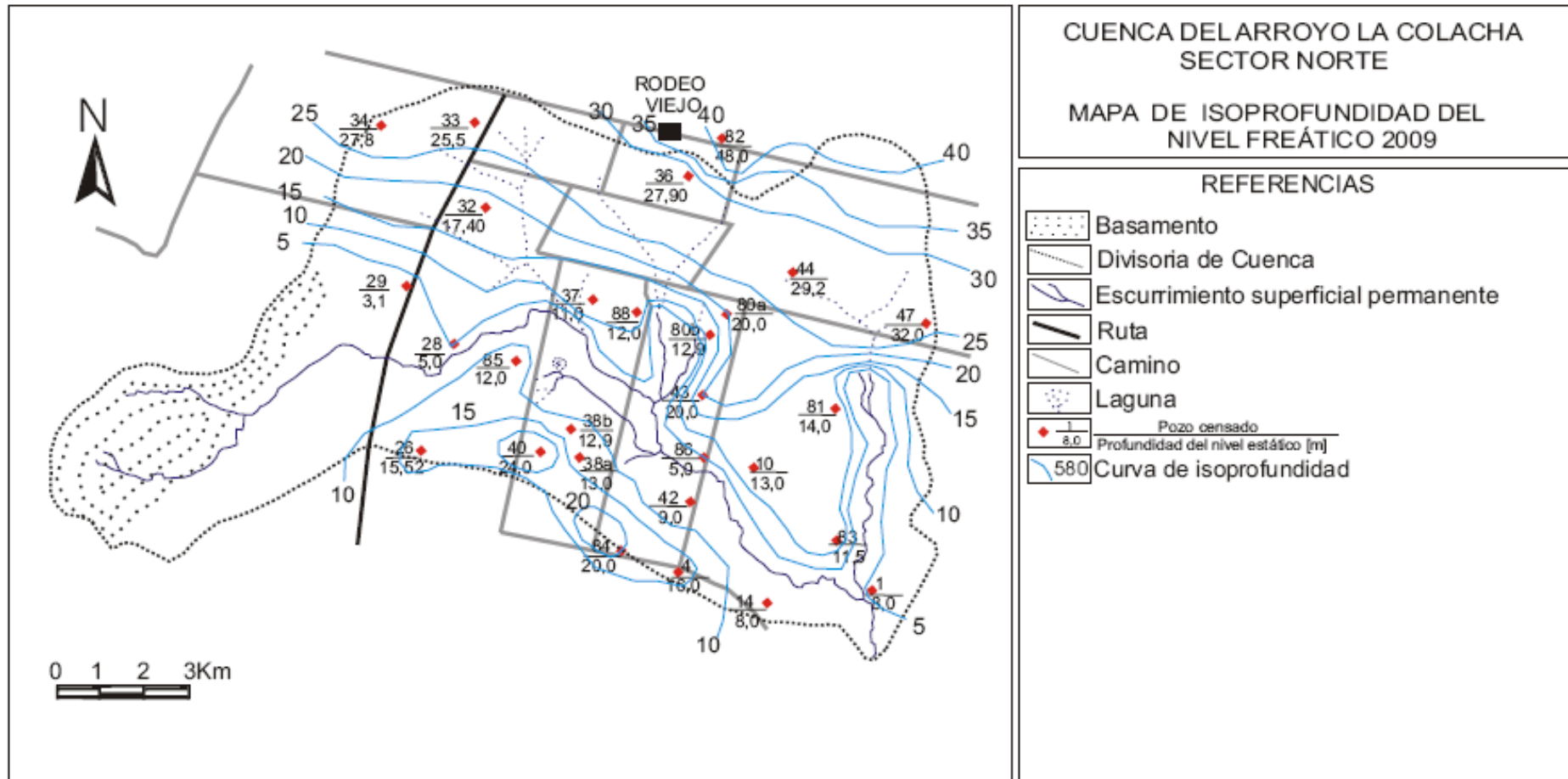


Figura Nº 9.3.b: Mapa de Isoprofundidad del Nivel Freático. Cuenca del Arroyo La Colacha – Sector Norte.

9.4. HIDROQUÍMICA

La Hidroquímica tiene por objeto el estudio del agua y de las diferentes sustancias disueltas que se encuentran en ella, así como las diferentes reacciones que se llevan a cabo en el líquido y entre éste y el sólido.

Uno de los objetivos del estudio Hidroquímico es obtener información acerca de la calidad del agua, en relación con la presencia de diferentes componentes físico-químicos y microbiológicos, para conocer su origen y las diferentes posibilidades de utilización (López Vera *et al.*, 2005).

En general, los acuíferos se caracterizan por presentar una composición química en un determinado punto que no varía o varía muy poco en el tiempo. Ello es consecuencia de la existencia de un estado de dinámica lenta en su evolución química, de la baja velocidad del agua y de las mezclas producidas por la dispersión y difusión en un gran volumen de agua (Custodio y Llamas, 1983).

Con el fin de caracterizar químicamente el acuífero del área, se llevó a cabo el censo de 27 perforaciones y el análisis hidroquímico correspondiente, utilizándose para ello la confección de mapas de isoconductividad, relaciones de aniones, de cationes, gráficos y diagramas, además de análisis estadístico multivariado, para apoyar las interpretaciones.

En la cuenca del Arroyo La Colacha – Sector Norte, la calidad del agua subterránea puede en una primera instancia caracterizarse a partir de la conductividad eléctrica, la que se relaciona directamente con la salinidad del agua. El estudio estadístico univariado de las 27 muestras determinó que la conductividad eléctrica presenta un mínimo de 721 μ S/cm y un máximo de 5.260 μ S/cm, con un desvío de 1.316 (tabla 9.4.1), lo que indica que la misma presenta una gran variabilidad.

En el Mapa de Conductividad Eléctrica (figura N° 9.4.a), el rango aumenta del sector W-NW hacia el sector E-SE. Los máximos valores de conductividad, se localizan en el extremo sur de la Cuenca, en la Unidad Geomorfológica “Alto Estructural”. En el “Pedimento Antiguo” y en el extremo

norte de la unidad “Llanura Eólica” se presentan los valores mínimos, los que comienzan a incrementarse notablemente hacia el sector SE y E de la cuenca.

Según la clasificación de Custodio y Llamas (1983), las aguas pueden clasificarse en base al contenido salino (SDT) en: **dulces** (0-2g/l); **salobres** (2-5g/l); **saladas** (5-40g/l) y **salmueras** (>40g/l).

Las muestras de agua analizadas corresponden en un 77,7% al rango de las aguas dulces, mientras que el 22,2% restante, pertenece a las aguas salobres.

El comportamiento del agua subterránea, para el área en cuestión, se debe a la interacción que ésta tiene con la litología presente y a los tiempos de trayecto desde las áreas periserranas de aporte. En la zona serrana y en la divisoria superficial NE, los altos gradientes hidráulicos condicionan que el tiempo de contacto del agua con los sedimentos sea menor y como resultado un contenido salino inferior al resto del área. Los mayores contenidos salinos que se localizan en el Alto Estructural, son producto de la mayor interacción que presenta el agua con los sedimentos, ya sea por estar lejos del área de aporte o por presentar la unidad una potente zona no saturada.

	PH	CE	SDT	HCO3	SO4	CL	NA	K	CA	MG	AS	F	NO3
N	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0
Media	7,8	2045,3	1422,0	544,0	320,0	89,5	388,3	17,1	25,7	14,9	118,6	4,4	38,8
Desv. típ.	0,3	1316,2	738,7	90,6	346,0	78,0	204,7	10,0	19,1	15,0	66,7	2,3	60,4
Varianza	0,1	1732356,8	545741,0	8211,2	119758,4	6092,4	41921,2	101,0	364,1	224,2	4453,3	5,4	3651,9
Curtosis	-0,1	0,8	1,5	-1,2	0,8	2,2	1,3	0,2	2,1	4,5	-1,0	0,1	14,6
Mínimo	7,2	721,0	651,0	387,5	31,1	11,4	186,0	5,6	8,0	2,4	25,0	1,7	2,0
Cuartil 25	8,1	1558,0	1091,0	512,5	79,8	91,4	311,4	8,6	19,2	9,8	180,0	4,3	72,0
Mediana	7,9	1558,0	1129,0	542,5	191,2	70,0	311,4	13,6	20,0	9,8	118,0	3,7	19,0
Cuartil 75	8,3	1179,0	1030,0	626,3	57,6	20,0	260,3	10,1	8,8	5,4	178,0	8,0	40,0
Máximo	8,4	5260,0	3484,0	687,5	1206,8	328,6	967,6	40,4	82,4	65,4	240,0	10,4	303,0
Rango	1,2	4539,0	2833,0	300,0	1175,7	317,2	781,6	34,8	74,4	63,0	215,0	8,7	301,0
Asimetría	-0,4	1,4	1,5	0,1	1,3	1,5	1,4	1,2	1,5	2,1	0,3	0,9	3,5

Tabla N° 9.4.1: Análisis Univariado. Acuífero Libre Cuenca del Arroyo La Colacha – Sector Norte.

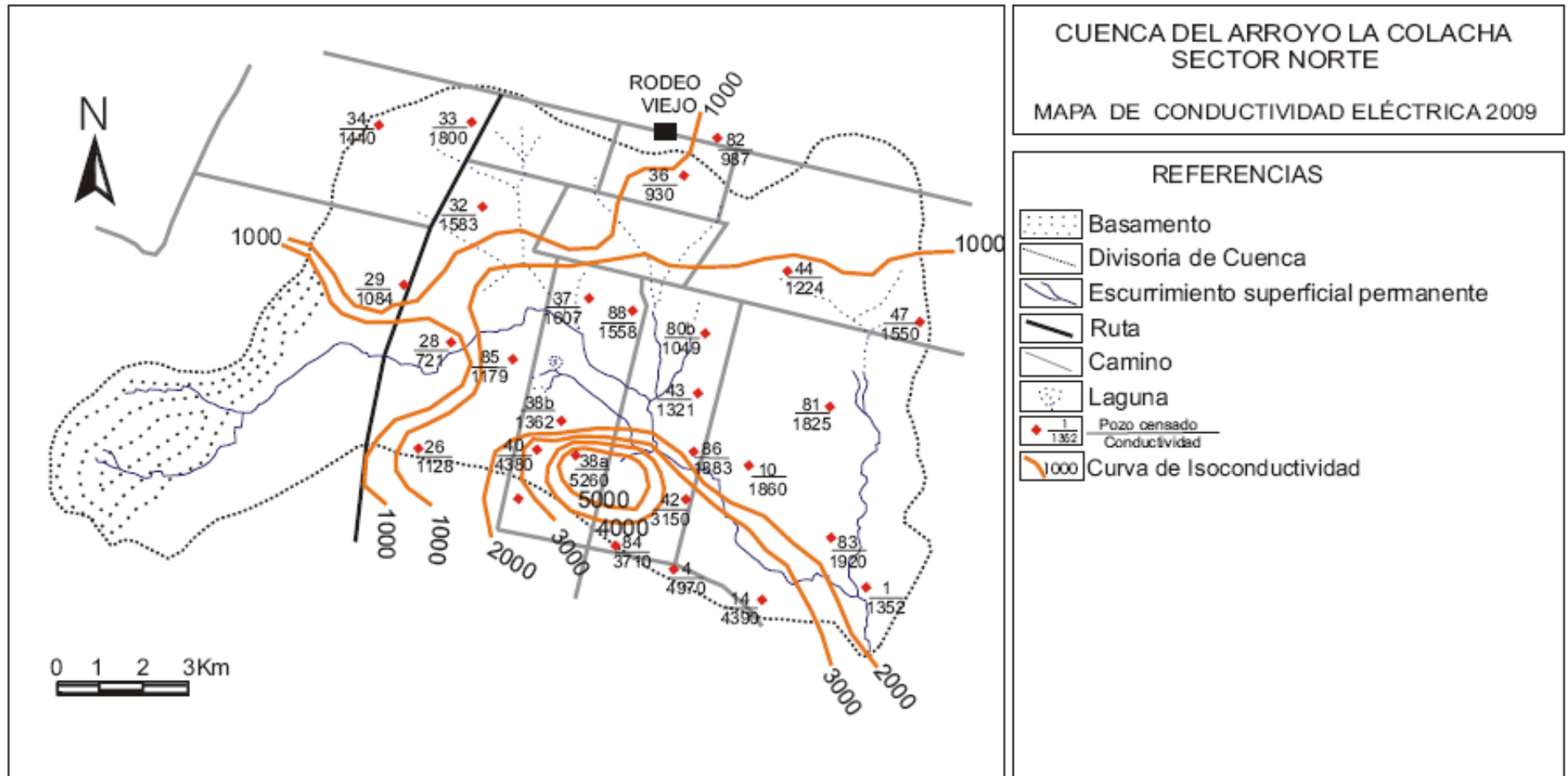


Figura Nº 9.4.a: Mapa de Conductividad Eléctrica. Cuenca del Arroyo La Colacha –Sector Norte.

9.5. CLASIFICACIÓN GEOQUÍMICA DEL AGUA

De acuerdo a la clasificación de Piper Hill, aplicada a las 27 muestras del área (figura N 9.5), las aguas son consideradas en un 66,7% *bicarbonatadas sódicas*, el 7,4% *bicarbonatadas sulfatadas sódicas*, el 3,7% se corresponden con aguas *sulfatadas bicarbonatadas sódicas* y el 22,2% restante se localizan en las aguas *sulfatadas sódicas*.

Las categorías antes mencionadas, se localizan espacialmente en la figura N° 9.5.a, interpretándose que a pesar de las cortas distancias, las líneas de conductividad y el carácter geoquímico permiten observar un grado moderado de evolución geoquímica en la planicie eólica, mientras que el comportamiento en el alto estructural puede considerarse como una anomalía.

El área de aporte ó zona de recarga (extremo SW y N, respectivamente), presenta aguas bicarbonatadas sódicas. A medida que el agua circula hacia el centro-este de la cuenca aumenta la distancia desde el área de aporte, disminuyen los gradientes e incrementa el tiempo de contacto con la litología presente, ocasionando una mayor incorporación de iones en solución, con predominio del ion sulfato. Las aguas evolucionan de bicarbonatadas a bicarbonatadas sulfatadas, hasta volverse sulfatadas sódicas en la unidad Alto Estructural.

La disposición espacial de las categorías establecidas, que se observa en la figura N° 9.5.a, permite destacar el alto control a nivel local que ejerce la unidad Alto Estructural en la evolución geoquímica del agua y en el cambio de carácter en tan corta distancia. Los espesores elevados de Zona No Saturada y probablemente menores velocidades por presencia de materiales más finos o más cementados, permiten al agua un mayor tiempo de contacto con los sedimentos y una mayor incorporación de iones sulfatos en relación con las otras unidades geomorfológicas.

La anterior clasificación permite a su vez considerar a las aguas de la zona periférica de la cuenca como jóvenes e identificar al catión Na^+ como el dominante, debido a los procesos de intercambio catiónico que se lleva a cabo

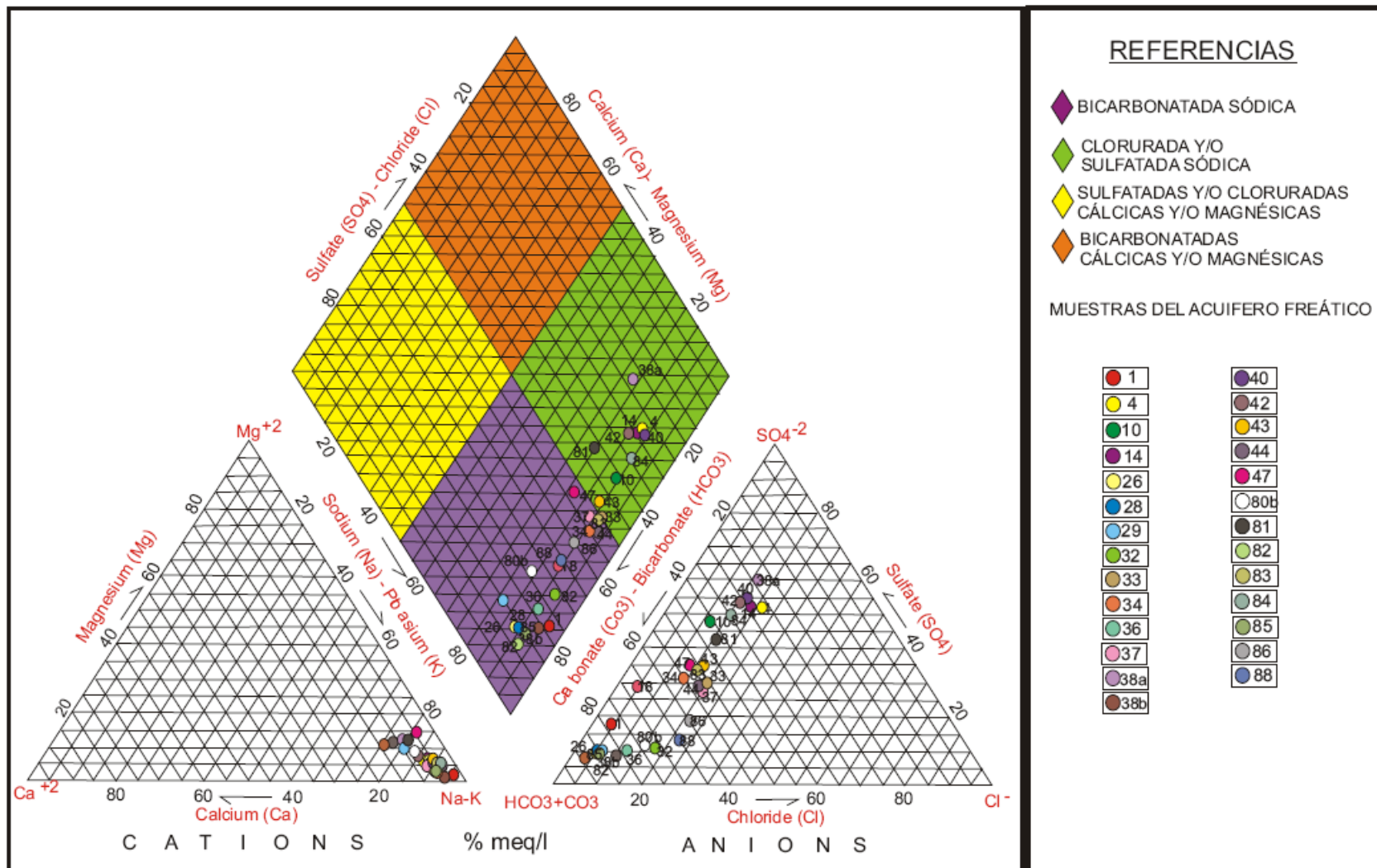


Figura Nº 9.5: Diagrama Piper Hill, muestras del acuífero freático de la cuenca del arroyo La Colacha – Sector Norte.

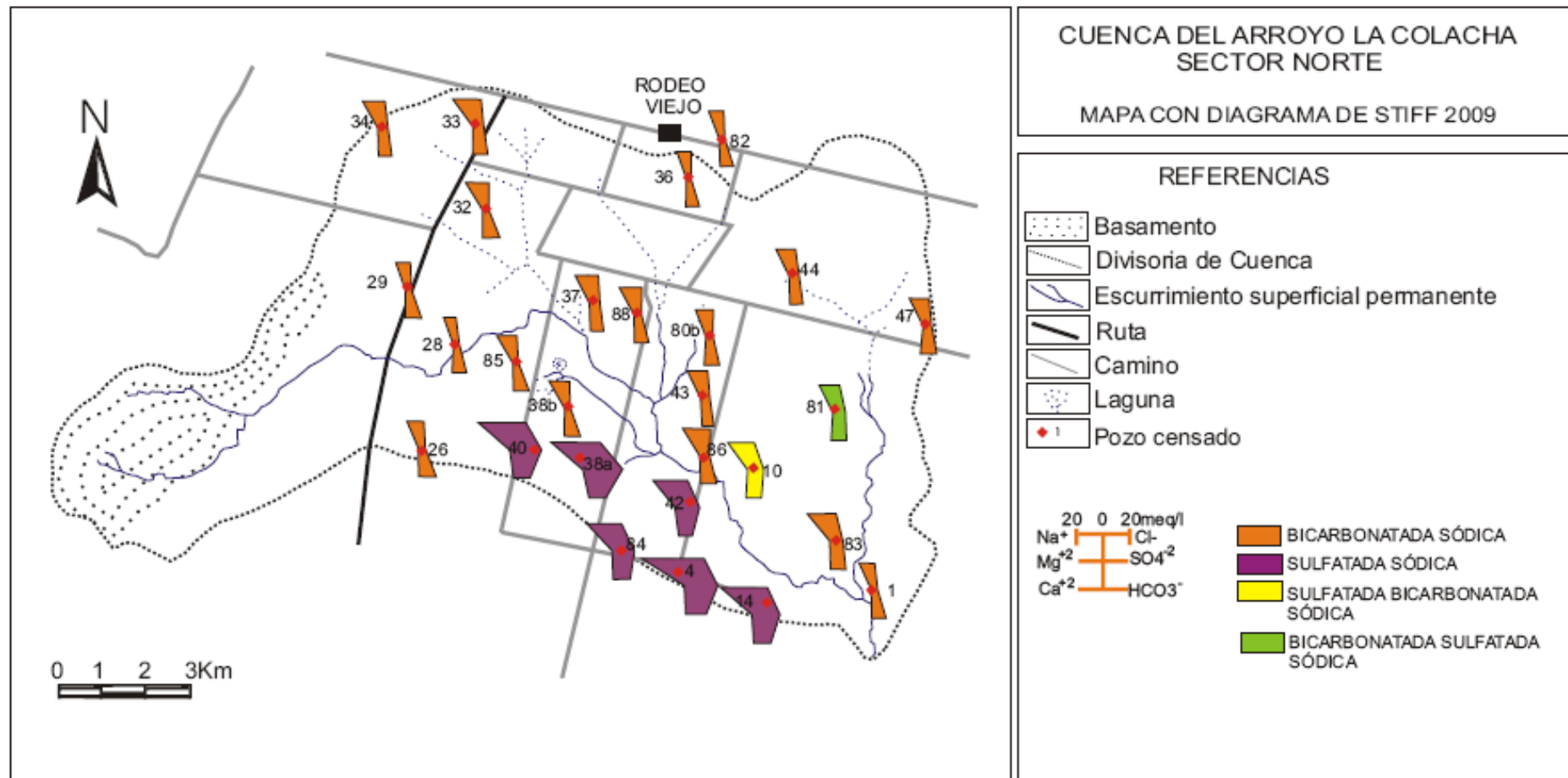


Figura Nº 9.5.a: Mapa de Diagramas de Stiff. Cuenca del arroyo La Colacha – Sector Norte.

en los materiales finos, proceso de hidrólisis en los minerales silicatados que poseen Na^+ y la elevada solubilidad de este elemento. Las aguas subterráneas no presentan la misma calidad en todos lados sino que evolucionan en el espacio y en el tiempo, a medida que circulan por el subsuelo tienden a ir aumentando su mineralización hasta saturarse en los diferentes iones evolucionando desde aguas dulces a saladas.

Las aguas meteóricas presentan iones en solución que proceden de la atmósfera, cuando ingresan al suelo y en su trayecto hacia la zona de descarga (río, mares y océanos), comienza a incorporar otros iones que le permiten evolucionar geoquímicamente pasando de aguas juveniles a maduras y por último seniles. Los iones bicarbonatos en el agua proceden fundamentalmente de la zona edáfica y de la dilución de carbonatos mientras que los sulfatos en esta región se deben fundamentalmente al aporte atmosférico y a sales de sulfatos que pudiera haber dispersas en el subsuelo.

En la figura N° 9.5.b, se observa el mapa de relaciones $\text{HCO}_3^- / \text{SO}_4^{-2}$, en el cual se identificaron cuatro zonas (0,1–1; 1–5; 5–10; >10). Los valores más elevados, indican un predominio del ión bicarbonato, localizados en el sector W de la cuenca (área de aporte) y en el extremo Norte (divisoria de agua superficial), son indicativos de un estado juvenil de las aguas, ya que las mismas han recorrido escasa distancia y por lo tanto no han adquirido al ion sulfato en proporciones considerables.

Los valores de relación $\text{HCO}_3^- / \text{SO}_4^{-2}$ comienzan a disminuir hacia el Centro – Este de la cuenca, como consecuencia de un aumento del ion sulfato en solución. Como se mencionó con anterioridad, su presencia está asociada a los espesores de zona no saturada y a la distancia desde el área de aporte y zona de recarga.

Por su parte, el mapa de relaciones $\text{HCO}_3^- / \text{SO}_4^{-2}$, manifiesta el mismo patrón espacial, que el mapa de carácter geoquímico, concentrándose los valores de relaciones más bajas en la unidad Alto Estructural.

Los cationes Na^+ y Ca^{+2} presentes en el agua, proceden fundamentalmente de la alteración de los feldespatos y plagioclasas, que conforman los sedimentos que constituyen el acuífero en el medio poroso. El Ca^{+2} por su parte procede además de la disolución de carbonatos, cemento dominante en los calcretos presentes en la cuenca.

En el mapa de relación $\text{Na}^+/\text{Ca}^{+2}$ (figura N° 9.5.c), no se observa un patrón claro, aunque se reconocen 3 zonas (1–10; 10–20 y >20). Los pozos censados que presentan valores superiores a 1, indican que el ion Na^+ se halla en mayor concentración que el ion Ca^{+2} , como ya se estableciera. Considerando el mapa de potenciales hidráulicos (figura N° 9.3.a), los flujos en el sector norte, presentan dirección N-S, por lo que se esperaría que los valores de relación $\text{Na}^+/\text{Ca}^{+2}$ se encuentren entre en el orden de 1–10, en contraposición la zona presenta una alta relación (>20), apreciándose recién en la zona de cabecera del arroyo Pozo del Carril una relación baja, la cual podría deberse a aguas de reciente infiltración en las cárcavas que se desarrollan en dicho sector.

El incremento en los valores de relación (10–20), localizados en el centro de la cuenca (llanura eólica y aluvial), indica que a medida que las aguas circulan por el subsuelo el ion Na^+ comenzara a incrementarse, producto de los mayores espesores de zona no saturada que condicionan un mayor tiempo de contacto entre el agua de infiltración efectiva y los sedimentos, lo que generaría un progresivo aumento de intercambio de iones Ca^{+2} por Na^+ . Los valores superiores a 20, se presentan en sectores puntuales, esto podría deberse a cambios de litología dentro del mismo acuífero.

En la cuenca en estudio, el ion Ca^{+2} presenta mayor concentración en cercanías de la sierra, pero no es lo suficientemente elevada para considerar a las aguas cálcicas, encontrándose por lo tanto en el área, un dominio de las aguas sódicas.

El ion K^+ proviene de la meteorización de feldespatos. Este elemento que tiende a ser fijado por las arcillas, durante los procesos de intercambio catiónico, normalmente no supera los 10 mg/l en aguas subterráneas.

Según Rodríguez (2002), cuando el ion se presenta en concentraciones mayores, puede deberse a tres factores, 1 – la alta salinidad que presenta el agua subterránea; 2 – que las posiciones de intercambio hallan sido ocupadas casi en su totalidad por el ión calcio ó 3 – que el exceso de K^+ sea un indicio de contaminación debido a los lixiviados provenientes de fertilizantes o de corrales de cría en cercanía de las captaciones.

En el área de estudio el 81,5% de las muestras, presentan concentraciones de K^+ superiores a 10 mg/l, llegando en algunos pozos a superar los 40 mg/l. Las máximas concentraciones (30–40 mg/l), corresponden a aguas cuyo carácter geoquímico es sulfatada sódica (muestras N° 4, 14, 38^a, 40 y 84) y presentan a su vez elevados tenores de Ca^{+2} . Las que se encuentran entre 10–30 mg/l se corresponden con aguas bicarbonatadas sódicas, cuyas concentraciones de Ca^{+2} son variables, estableciéndose por lo tanto que los valores anómalos pueden deberse al primer (alta salinidad) ó tercer factor (actividad antrópica) propuesto por Rodríguez (2002).

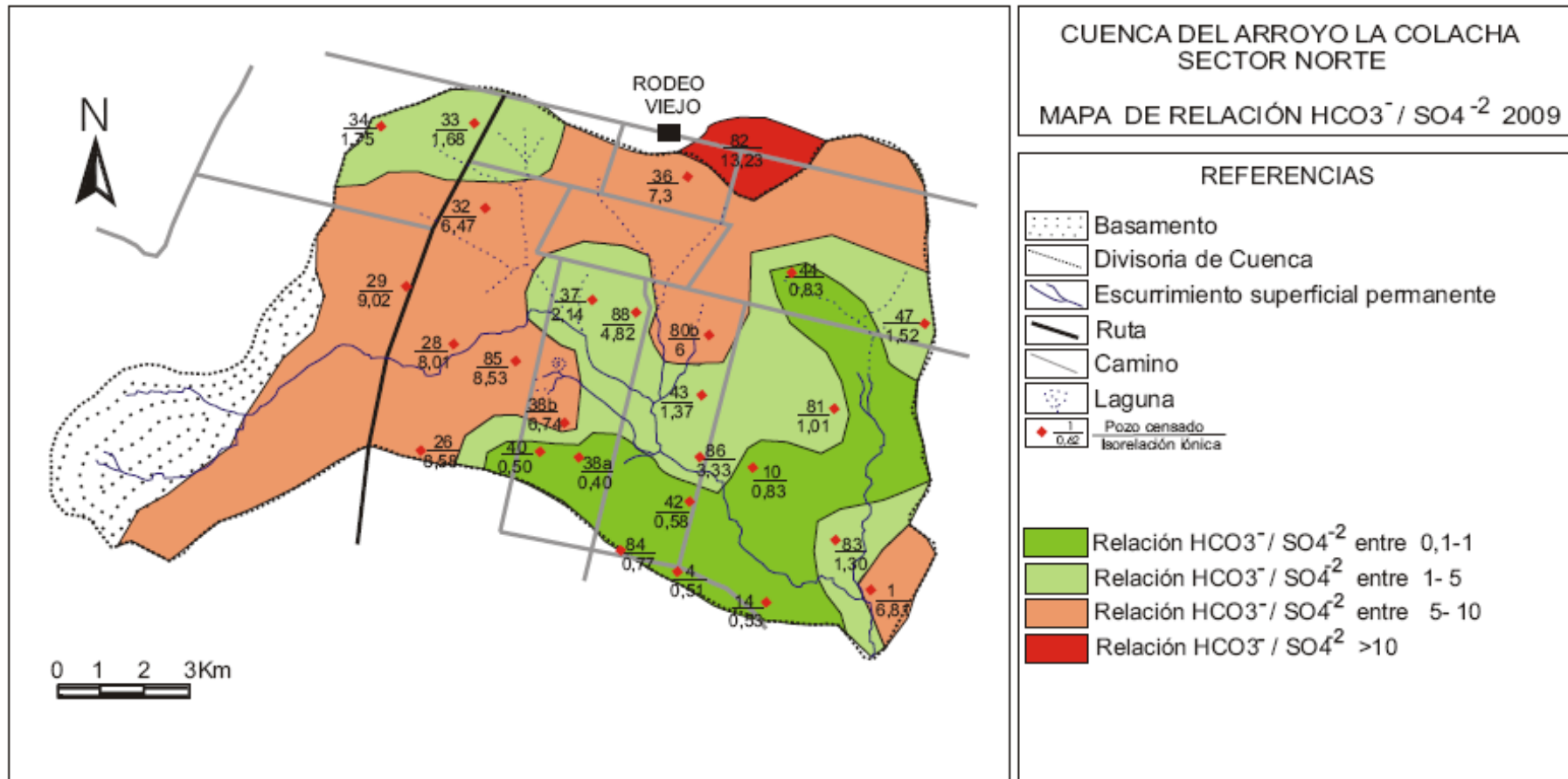


Figura Nº 9.5.b: Mapa de relacion $\text{HCO}_3^- / \text{SO}_4^{-2}$. Cuenca del arroyo La Colacha – Sector Norte.

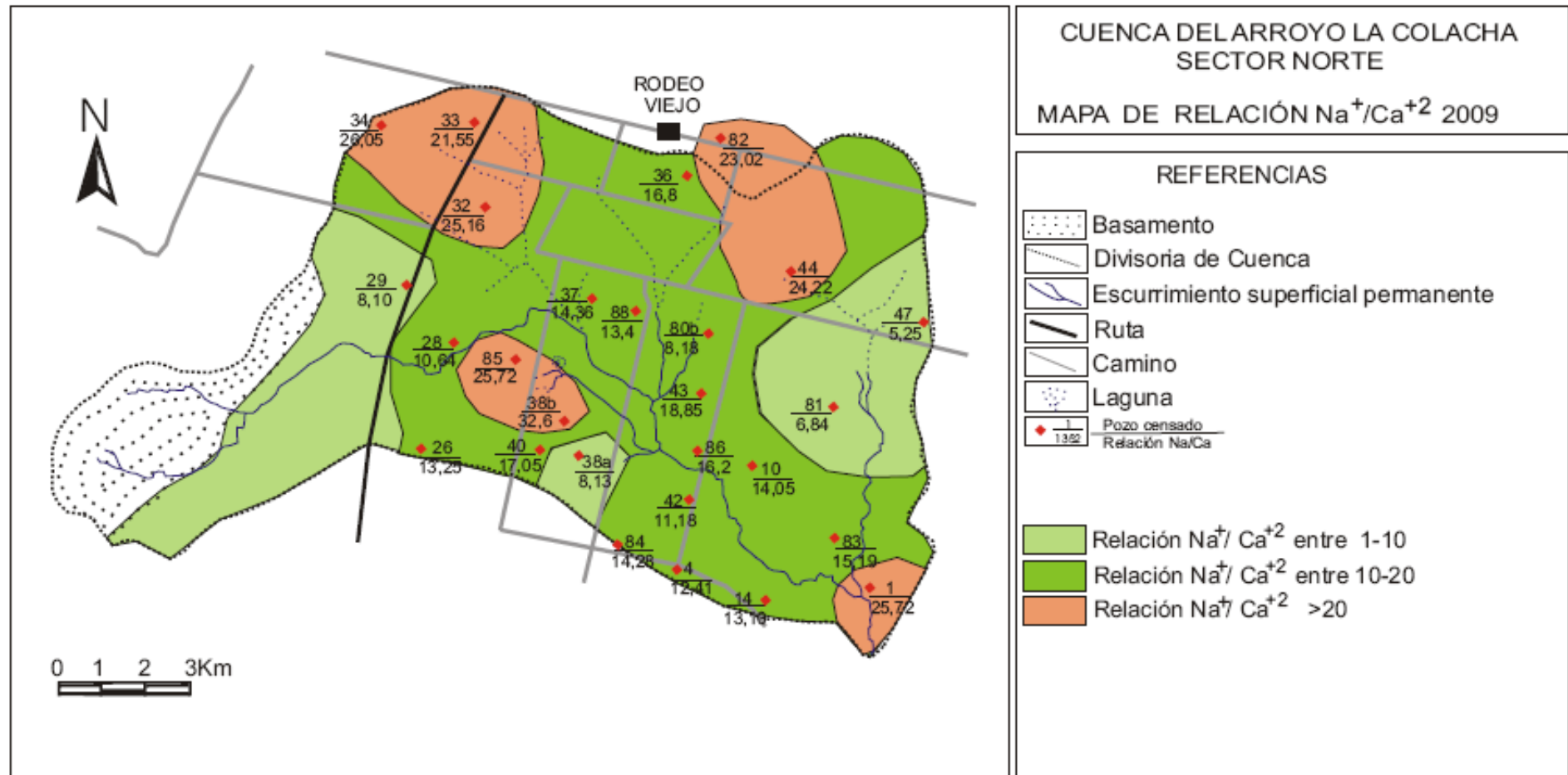


Figura Nº 9.5.c: Mapa de relaciones $\text{Na}^+/\text{Ca}^{+2}$. Cuenca del arroyo La Colacha – Sector Norte.

9.6. PROBLEMÁTICA EN LA CALIDAD DEL AGUA

La mayor parte del agua subterránea que se extrae para uso doméstico, agrícola e industrial es agua meteórica. La calidad química del agua subterránea de origen meteórico cambia durante su circulación en los sedimentos o rocas, dependiendo de factores tales como los minerales con los que entra en contacto, las condiciones de presión y temperatura y el tiempo disponible para que los minerales y el agua reaccionen (Blarasín *et al.*, 2004).

Los procesos naturales de evolución de agua en un acuífero incorporan elementos en solución que, al encontrarse por encima de los límites de aptitud establecidos, tornan al agua tóxica para cualquier tipo de consumo.

La calidad de las aguas subterráneas, puede verse modificada por causas antrópicas, es decir actividades que el hombre desarrolla (agrícola – ganadera, industrial, etc.) sobre el territorio y que de manera directa o indirecta, alteran el recurso hídrico.

La presencia de arsénico y flúor, en las aguas subterráneas de la llanura Chaco-Pampeana, derivan de procesos naturales y se asocian al tipo de material que constituye el acuífero (loess pampeano). Mientras que las elevadas concentraciones de Nitratos que se detectan en las aguas subterráneas, derivan de la actividad del hombre, fundamentalmente fertilizantes y excrementos de actividad ganadera.

En la Cuenca del arroyo La Colacha, el 100% de los pobladores, satisface sus demandas hídricas (uso humano, riego, ganadería, etc.), del acuífero freático, razón por la cual es de suma importancia, determinar las concentraciones de estos tres elementos en el agua subterránea, ya que la superación de los límites establecidos (50 µg/l As; 1,3 mg/l F⁻; 45 mg/l NO₃⁻) puede resultar tóxica para la salud humana o no apta para los fines empleados.

9.6.1. ARSÉNICO

El arsénico, es un elemento que se encuentra en varias formas químicas y estados de oxidación en el ambiente. En exceso es tóxico y su ingesta diaria provoca una enfermedad llamada “Hidroarsenicismo crónico regional endémico”

Según Smedley y Kinninburg (2002), Blarasín (2003), entre otros, la fuente principal de arsénico en la llanura Chaco-Pampeana son los componentes principales de los sedimentos loésicos, tales como vidrio, minerales y fragmentos líticos volcánicos, y su presencia en solución se debe a procesos de disolución de vidrio volcánico e intercambio de iones. Este elemento puede encontrarse adsorbido o coprecipitado con óxidos e hidróxidos de metales (especialmente Fe y Mn), pudiendo pasar al agua cuando los altos pH, inducen procesos de desorción.

En la zona de estudio, las concentraciones de As (figura N° 9.6.1), presentan valores extremos del orden de los 25 y 240 µg/l, con una media de 115 µg/l, concentrándose los máximos valores en pozos localizados en el sector Centro–Norte de la cuenca, asociados a la unidad llanura eólica fuertemente ondulada.

Nicolli *et al.*, (2005) menciona que para la región pampeana los valores de pH comprendidos entre 7,3 y 8,3 en aguas bicarbonatadas favorecen los fenómenos de desorción ocasionando el incremento de As en el agua subterránea. En el área, los pozos que registran las máximas concentraciones de As (1, 86, 38b), presentan pH dentro del rango y se caracterizan por ser aguas bicarbonatadas sódicas, aunque se observa que el agua del pozo N° 10 fue clasificada como sulfatada – bicarbonatada sódica.

De las 27 muestras analizadas, 4 presentan concentraciones de As por debajo del límite de aptitud para consumo humano (50 µg/l), establecido por la Subsecretaría de Recursos Hídricos de Córdoba (figura N° 9.6.1.a). Las mismas se localizan en el sector limítrofe de la cuenca, (N° 33, 34 y 26),

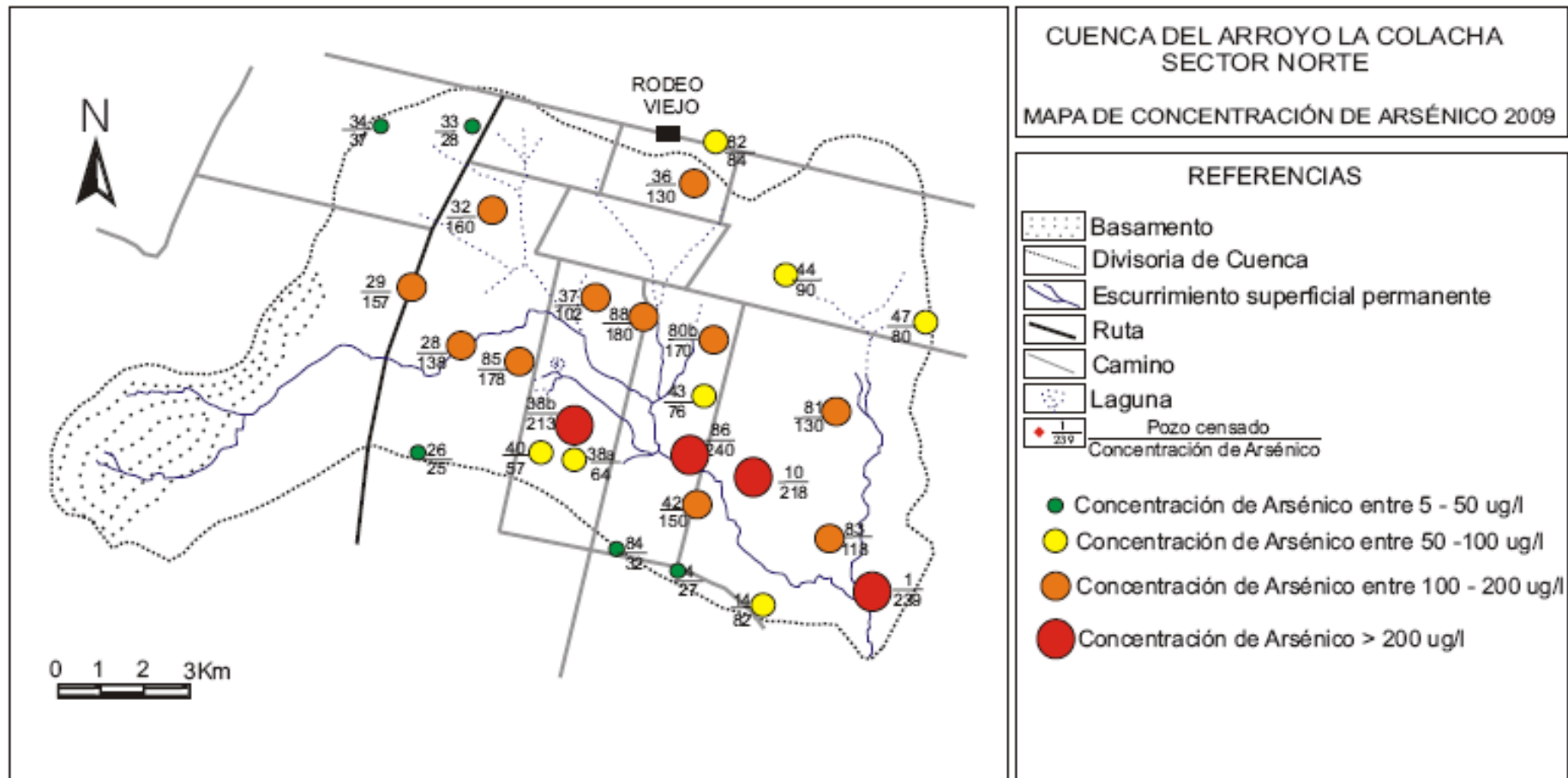


Figura Nº 9.6.1: Mapa de concentración de As. Cuenca del arroyo La Colacha – Sector Norte.

correspondiéndose con captaciones cercanas al área de recarga y a la unidad alto estructural (Nº 84).

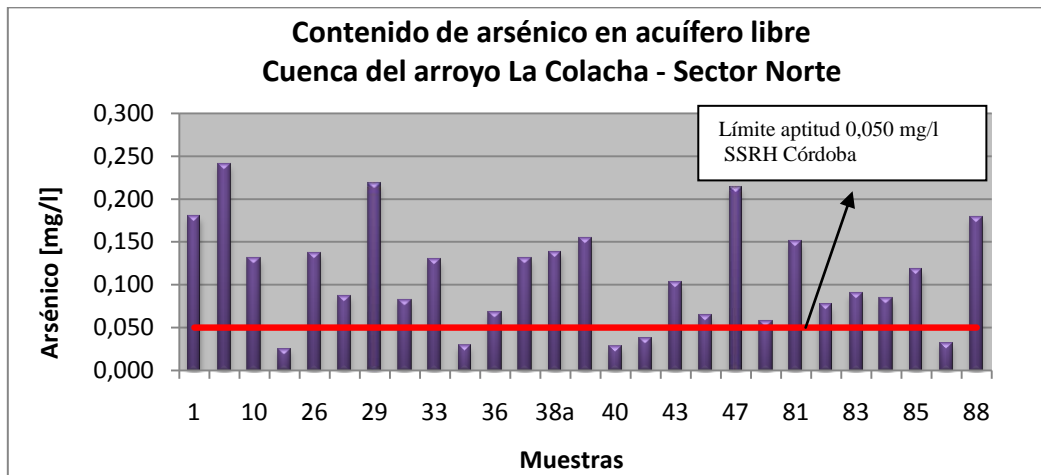


Figura Nº 9.6.1.a: Contenido de arsénico en el acuífero libre. Cuenca del arroyo La Colacha – Sector Norte.

Debido a que la distribución espacial, no presenta un patrón bien definido a lo largo de toda la cuenca, se confeccionó una serie de diagramas, a partir de las tablas Nº 9.6.1.a, con el objetivo de establecer si existe alguna correlación entre las concentraciones de As y el resto de las variables (pH, concentraciones de bicarbonatos, sulfatos, flúor, nitratos, etc.) presentes en el área de estudio, para cada una de las unidades geomorfológicas previamente establecidas; Llanura Eólica Suavemente Ondulada (I), Llanura Eólica Fuertemente Ondulada (II) y Alto Estructural (IV). En el tratamiento de los datos la Unidad Pedimento Antiguo (III) no ha de tenerse en cuenta por la escases de datos disponibles.

En la figura Nº 9.6.1.b, se estableció la distribución As en cada una de las unidades geomorfológicas, observándose que las máximas concentraciones se asocian a la Unidad Llanura Eólica Fuertemente Ondulada (II).

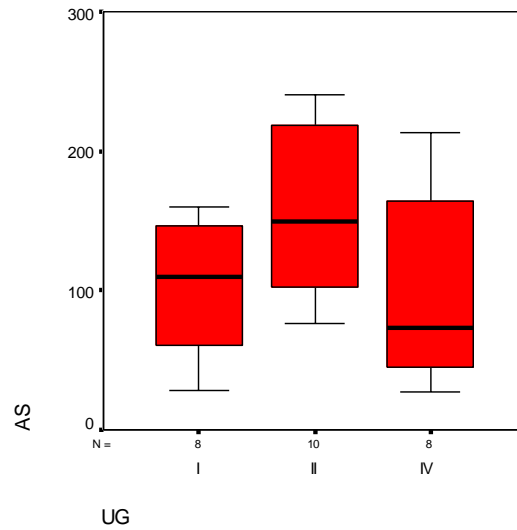


Figura N° 9.6.1.b: Concentración de As vs. Unidades geomorfológicas

Tabla Nº 9.6.1.a: Variables determinadas para cada una de las unidades geomorfológicas seleccionadas.

LLANURA EÓLICA SUAVEMENTE ONDULADA (I)													
Nº	pH	Cond.	S.D.T.	CO ₃ H ⁻	SO ₄ ⁻²	Cl ⁻	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²	As	F ⁻	NO ₃ ⁻
Muestra		[uS/cm]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]
28	8,4	721	731	445,0	43,7	11,4	186,0	5,6	15,2	2,4	0,138	4,80	14,0
29	7,9	1084	925	570,0	52,2	22,9	201,1	9,5	21,6	12,7	0,154	8,00	35,0
32	7,92	1583	1108	687,5	83,0	82,9	351,9	10,3	12,8	6,8	0,160	5,0	11,5
33	8,1	1800	1404	555,0	259,5	127,1	396,4	18,6	16,0	9,8	0,028	2,40	19,0
34	8,2	1440	1129	482,5	216,2	65,7	311,4	14,1	10,4	6,3	0,037	2,90	19,0
36	7,30	930	651	455,0	46,4	31,4	196,2	8,6	9,6	3,4	0,130	2,5	2,0
82	7,9	987	836	525,0	31,1	20,0	211,6	10,4	8,0	5,9	0,084	2,60	24,0
44	7,9	1224	987	457,5	191,2	34,3	267,4	15,1	9,6	6,8	0,090	2,20	3,0

LLANURA EÓLICA FUERTEMENT ONDULADA (II)													
Nº	pH	Cond.	S.D.T.	CO ₃ H ⁻	SO ₄ ⁻²	Cl ⁻	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²	As	F ⁻	NO ₃ ⁻
Muestra		[uS/cm]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]
1	8,2	1352	960	542,5	99,9	20	236,6	12,3	8,0	5,4	0,239	7,00	35,0
10	7,8	1860	1504	482,5	455,4	77,1	426,5	11,7	26,4	10,7	0,218	5,00	9,0
37	7,9	1607	1193	482,5	176,6	117,1	330,2	16,7	20,0	11,7	0,102	3,60	35,0
43	8,0	1321	1039	405,0	231,3	70,0	277,5	13,6	12,8	10,2	0,076	3,20	15,0
47	7,21	1550	1085	437,5	219,3	45,7	293,2	14,8	48,8	3,9	0,080	1,7	6,0
80b	7,67	1049	734	452,5	56,2	48,6	208,3	11,4	21,6	10,2	0,170	4,1	14,0
81	7,74	1825	1278	387,5	288,7	80,0	303,3	14,7	38,4	15,6	0,130	3,0	6,0
83	7,9	1920	1684	625,0	376,2	62,9	461,1	14,2	26,4	8,3	0,118	5,80	110,0
86	7,91	1883	1318	565,0	127,6	117,1	376,1	12,9	20,8	15,1	0,240	6,8	110,0
88	8,10	1558	1091	512,5	79,8	91,4	311,4	8,6	19,2	9,8	0,180	4,3	72,0

ALTO ESTRUCTURAL (IV)													
Nº	pH	Cond.	S.D.T.	CO ₃ H ⁻	SO ₄ ⁻²	Cl ⁻	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²	As	F ⁻	NO ₃ ⁻
Muestra		[uS/cm]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]
4	7,6	4970	3484	687,5	1045,8	328,6	967,6	33,1	68,0	48,3	0,027	1,90	303,0
14	7,7	4390	2464	565,0	824,3	224,3	723,2	33,7	48,0	37,1	0,082	3,70	5,0
38a	7,5	5260	3042	625,0	1206,8	228,6	768,5	40,4	82,4	65,4	0,064	3,20	25,0
38b	8,1	1362	1142	662,5	77,1	37,1	300,3	12,6	8,0	3,9	0,213	10,40	40,0
40	7,9	4380	2642	625,0	965,3	200,0	737,1	37,5	37,6	31,7	0,057	2,50	8,0
42	7,3	3150	2001	507,5	685,0	145,7	545,0	27,5	42,4	25,4	0,150	5,40	17,0
84	7,7	3710	2143	675,0	685,0	94,3	591,0	34,9	36,0	22,0	0,032	1,72	5,0
85	8,3	1179	1030	626,3	57,6	20,0	260,3	10,1	8,8	5,4	0,178	8,00	40,0

La correlación entre As y pH es baja (0,2609), si se considera la distribución de As para toda la cuenca (figura N° 9.6.1.c), mientras que si se analiza por unidades geomorfológicas (figura N° 9.6.1.d), la correlación entre estas variables es mayor, de 0,4631 y 0,4471 para las unidades Alto Estructural (AE) y Llanura Eólica Fuertemente Ondulada (LEFO) respectivamente, a la vez que se vuelve negativa y en el orden de 0,2807 para la unidad Llanura Eólica Suavemente Ondulada (LESO), este último caso difícil de explicar dado el comportamiento que habitualmente se observa en la región y en las otras unidades de la cuenca (Blarasín, 2003)

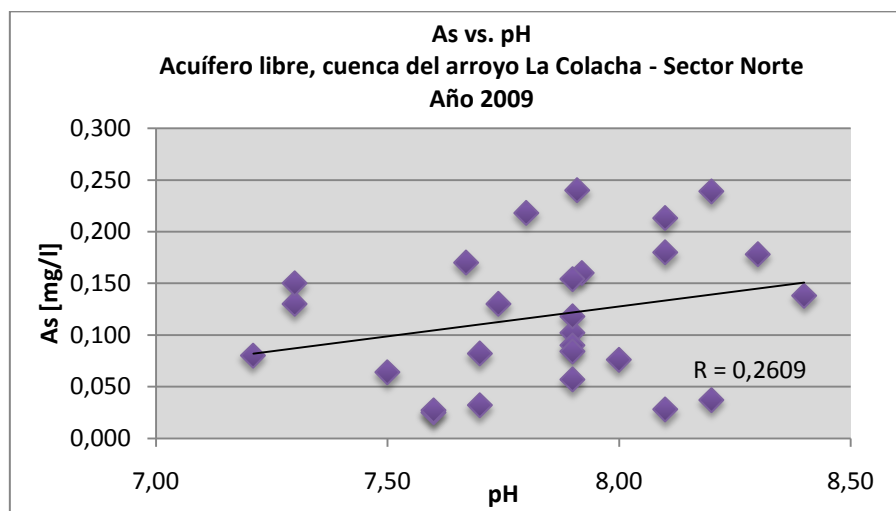


Figura N° 9.6.1.c: As vs. pH para el acuífero libre de la cuenca del arroyo La Colacha – Sector Norte.

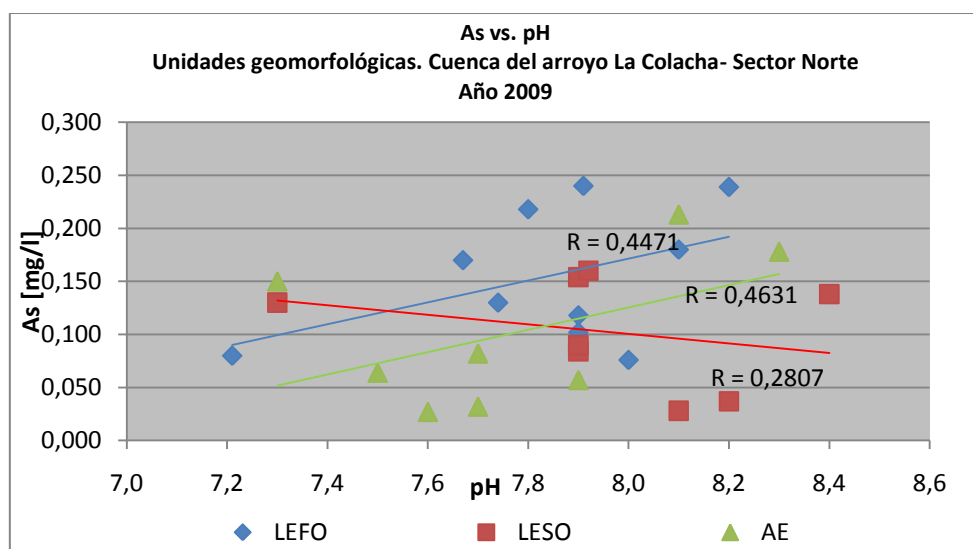


Figura N° 9.6.1.d: As vs. pH para cada una de las unidades geomorfológicas pertenecientes a La Cuenca del arroyo La Colacha – Sector Norte.

La correlación entre As y SO_4^{-2} (figura N° 9.6.1.f), presenta el mismo comportamiento que el caso anterior, analizando la totalidad de la cuenca, la correlación es baja (0,4372), mientras que si se analiza por unidades (figura N° 9.6.1.g) las máximas correlaciones se observa en la unidad Alto Estructural (0,8499) y Llanura Eólica Suavemente Ondulada (0,8015), aunque son negativas, ya que aumentos en las concentraciones de SO_4^{-2} , se corresponden con disminuciones en la concentración del ion As.

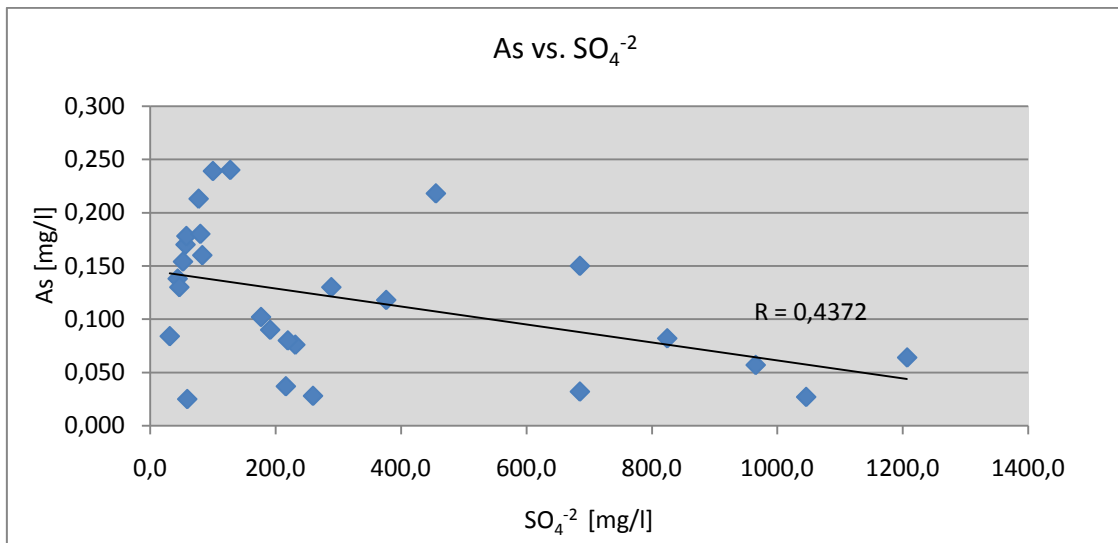


Figura N° 9.6.1.f: As vs. SO_4^{-2} , para el acuífero libre de la cuenca del arroyo La Colacha – Sector Norte.

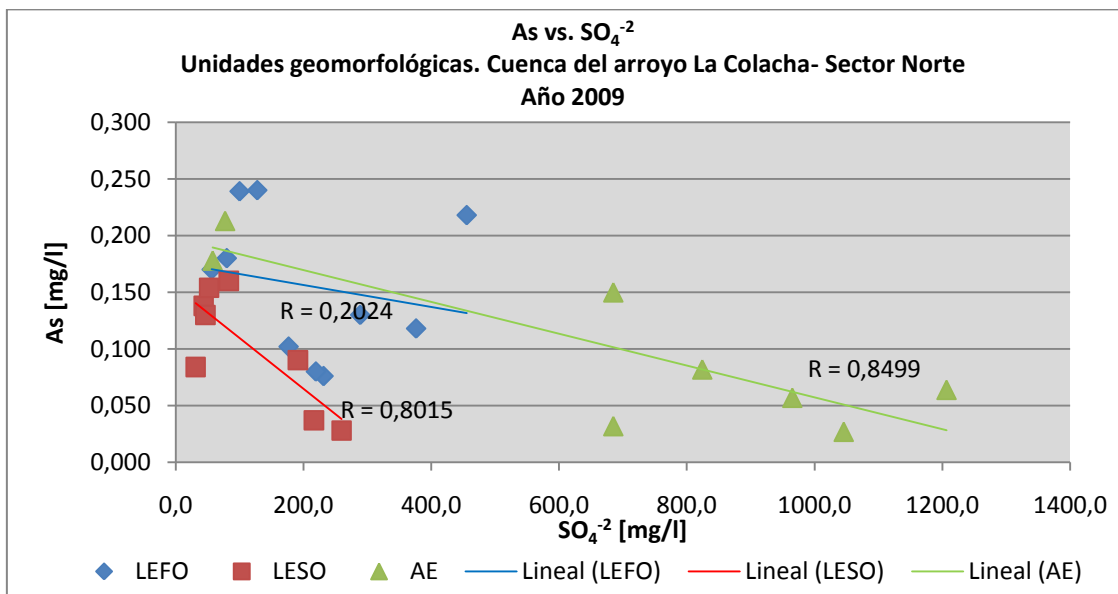


Figura N° 9.6.1.d: As vs. SO_4^{-2} para cada una de las unidades geomorfológicas pertenecientes a la cuenca del arroyo La Colacha – Sector Norte.

9.6.2. FLÚOR

El flúor se considera un elemento esencial desde el punto de vista de la nutrición humana, ya que es un oligoelemento imprescindible para la formación de huesos y dientes. A pesar de lo expresado, el flúor es tóxico cuando se lo ingiere en cantidades que superan límites establecidos (1,3 mg/l).

La fuente fundamental de flúor en las aguas subterráneas de la región, es el material loésico, el cual presenta altos porcentajes de vidrio volcánico, fluorapatita, anfíboles y piroxenos (Blarasín, 1984). Los mecanismos por los cuales éste elemento es liberado al agua, sería según Nicolli, (1980) la disolución del vidrio volcánico en los altos pH, aunque no se descarta que la fluorapatita por intercambio aniónico sea también la responsable de aportar flúor al agua, (Zack, 1980).

En el área de estudio, las concentraciones de flúor varían entre 1,7 y 10,40 mg/l, con una mediana de 3,7 mg/l. La distribución espacial no presenta un patrón bien definido (figura N° 9.6.2), aunque puede observarse que las máximas concentraciones se localizan en el centro – sur de la cuenca. Teniendo en cuenta la mediana, la cual puede considerarse representativa del valor característico del fondo natural, las concentraciones de flúor son menores en el sector periférico de la cuenca (Llanura Eólica Suavemente Ondulada I) e incrementan rápidamente hacia el sector centro–sur (unidades II, III y IV).

La totalidad de las muestras analizadas, presentan una concentración de flúor (figura N° 9.6.2.a) por encima del límite de aptitud para consumo humano (1,3 mg/l) para la provincia de Córdoba.

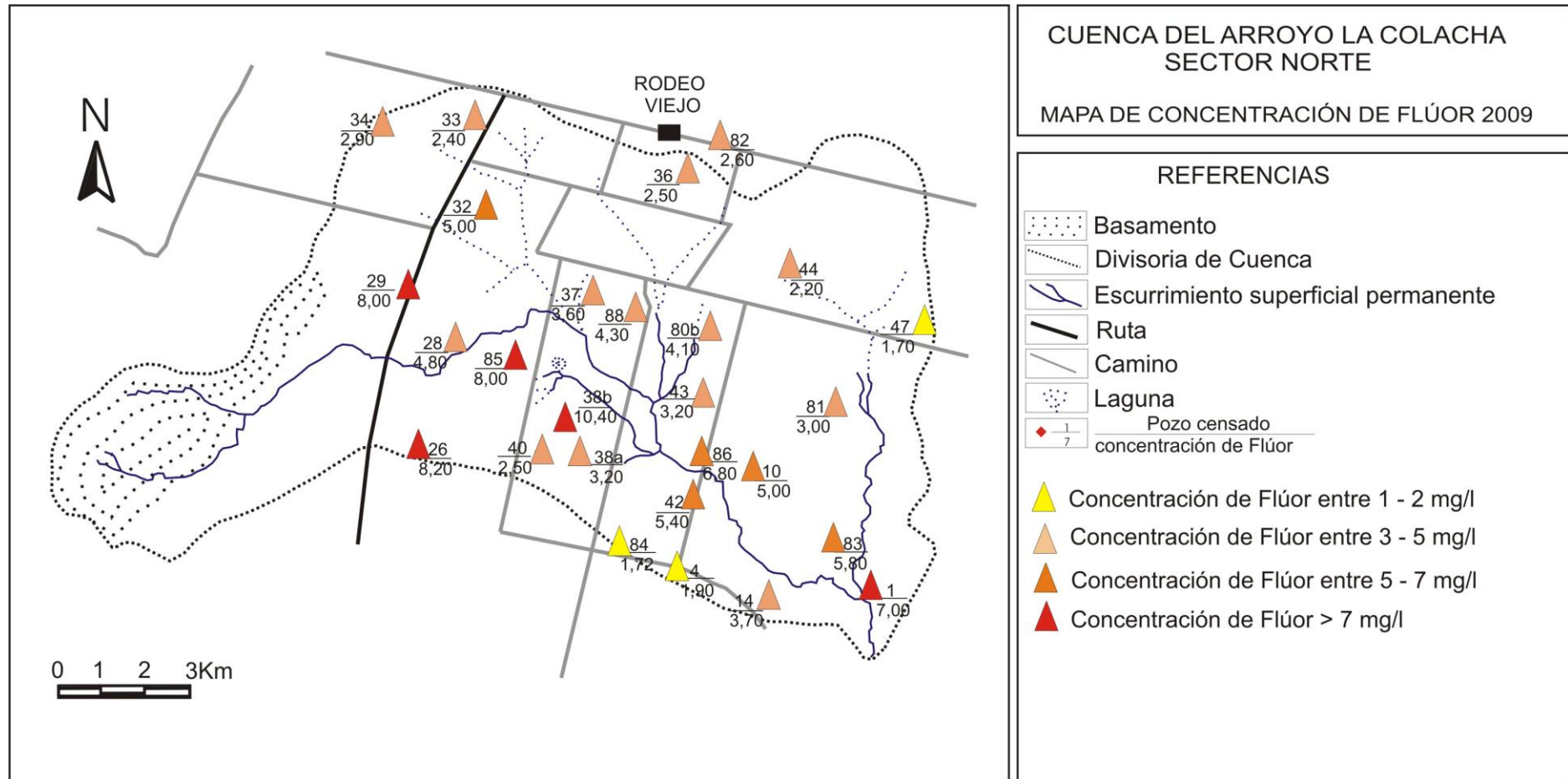


Figura N° 9.6.2: Mapa de concentración de flúor. Cuenca del arroyo La Colacha – Sector Norte.

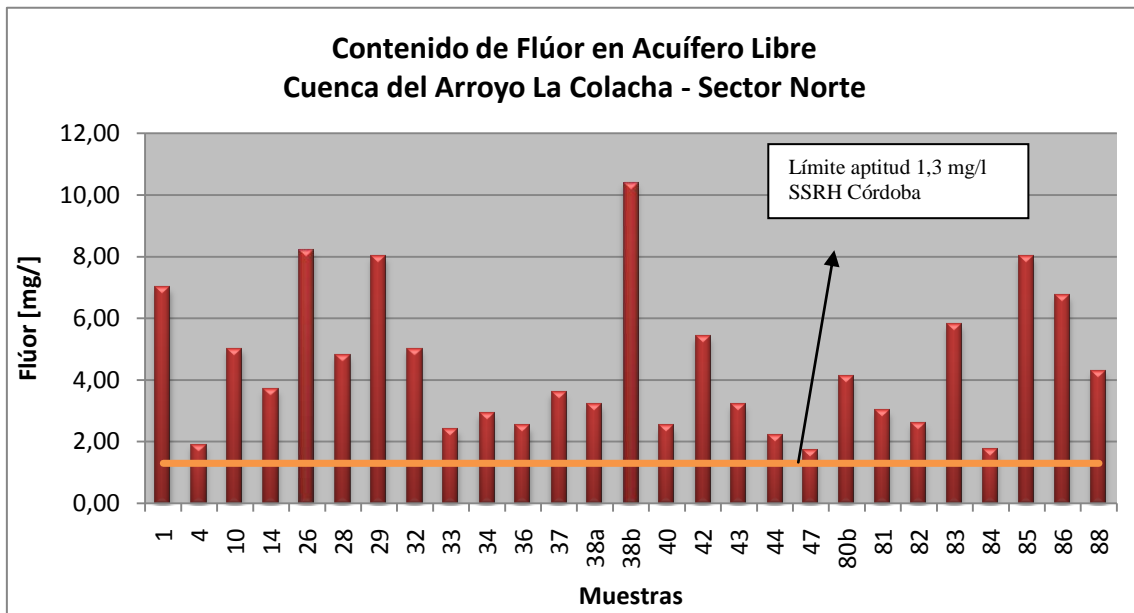


Figura N° 9.6.2.a: Contenido de flúor en el acuífero libre. Cuenca del arroyo La Colacha – Sector Norte.

En la figura N° 9.6.2.b, se puede observar la correlación positiva ($R=0,6174$) que presentan los valores de arsénico y flúor en toda la cuenca. El análisis de la correlación entre dichos elementos para cada una de las unidades geomorfológicas (Figura N° 9.6.2.c), permitió observar que a pesar de que en la unidad Alto Estructural dominan las aguas sulfatadas sódicas, es la que presenta la máxima correlación entre las variables ($R= 0,9779$), aunque cabe aclarar que los pozos con dicha composición geoquímica, presentan más bajas concentraciones de flúor (del orden de 1,9 a 5,4 mg/l). En las unidades Llanura Eólica Fuertemente Ondulada y Suavemente Ondulada (con aguas bicarbonatadas sódicas) la correlación disminuye a $R=0,8001$ y $R=0,6784$ respectivamente, aunque como se observa, en todos los casos es muy alta.

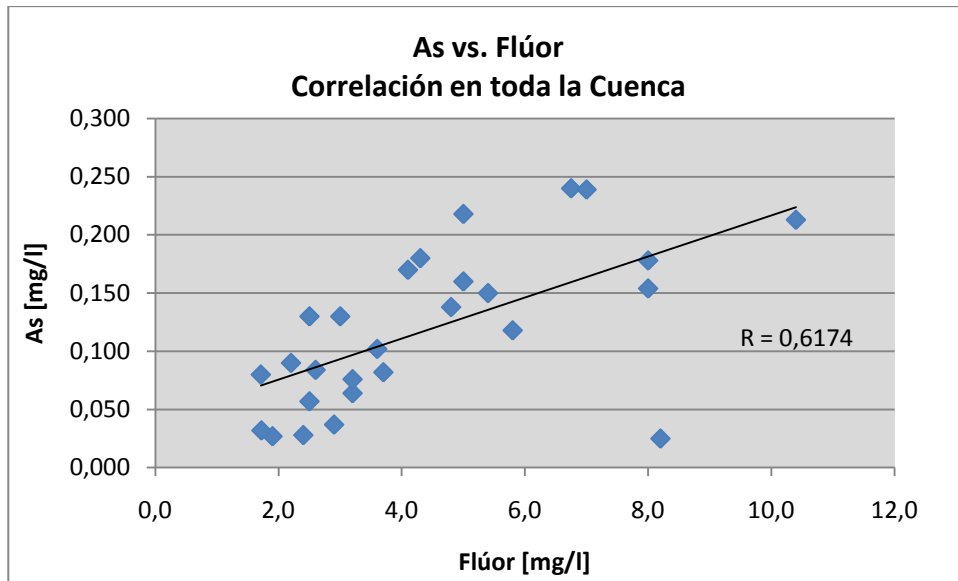


Figura Nº 9.6.2.b: Gráfico de correlación entre contenidos de As y flúor en la cuenca del arroyo La Colacha – Sector Norte.

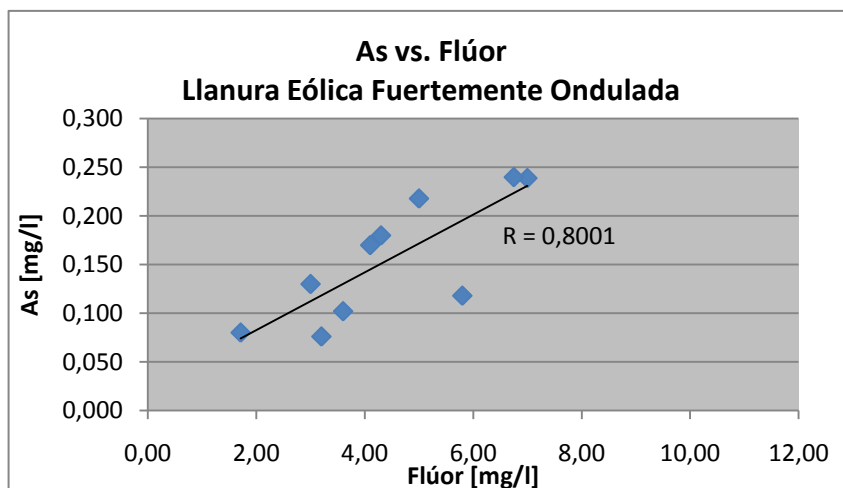


Figura Nº 9.6.2.b.I: Gráfico de correlación As y flúor en la unidad Llanura Eólica Fuertemente Ondulada.

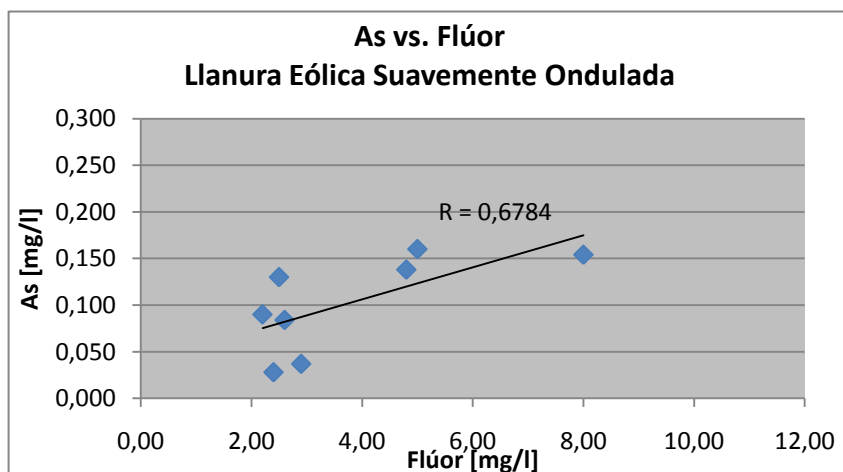


Figura Nº 9.6.2.b. II: Gráfico de correlación As y flúor en la unidad Llanura Eólica Suavemente Ondulada.

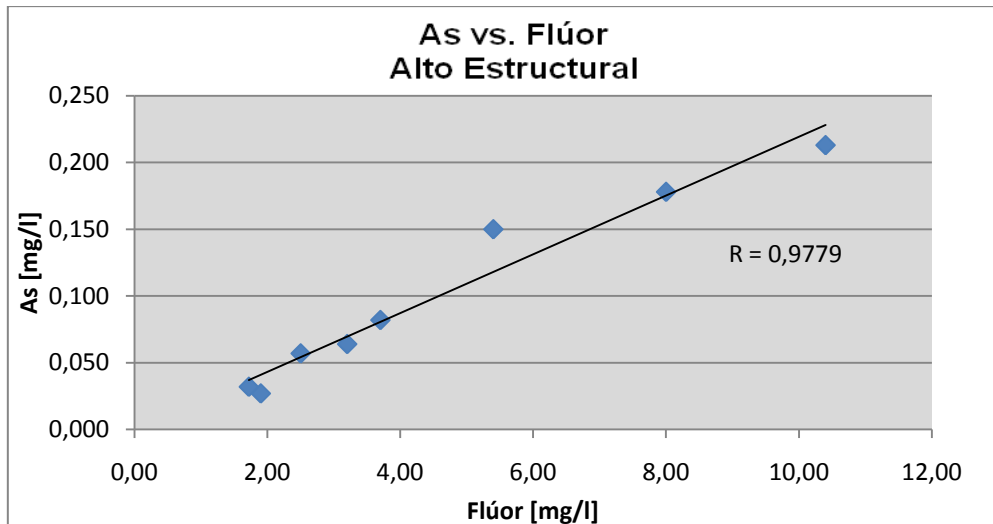


Figura N°9.6.2.b.III: Grafico de correlación As y flúor en la unidad Alto Estructural.

La relación entre flúor y HCO_3^- , es baja ($R = 0,3388$) cuando se analiza la totalidad de la cuenca, observándose un aumento en la correlación cuando se lo analiza por unidades geomorfológicas, con un $R = 0,7964$ para la Llanura Eólica Fuertemente Ondulada (LEFO). Las variables pH y Ca^{+2} presentan el mismo comportamiento que el caso anterior, siendo $R = 0,3376$ la correlación entre flúor – pH, para toda la cuenca y $R = 0,6652$ para la unidad LEFO. Mientras que la relación entre flúor y Ca^{+2} es negativa, presentando una correlación baja para ambos casos, $R = 0,3702$ en toda la cuenca y $R = 0,3772$ para la unidad LEFO, (figura N° 9.6.2.c).

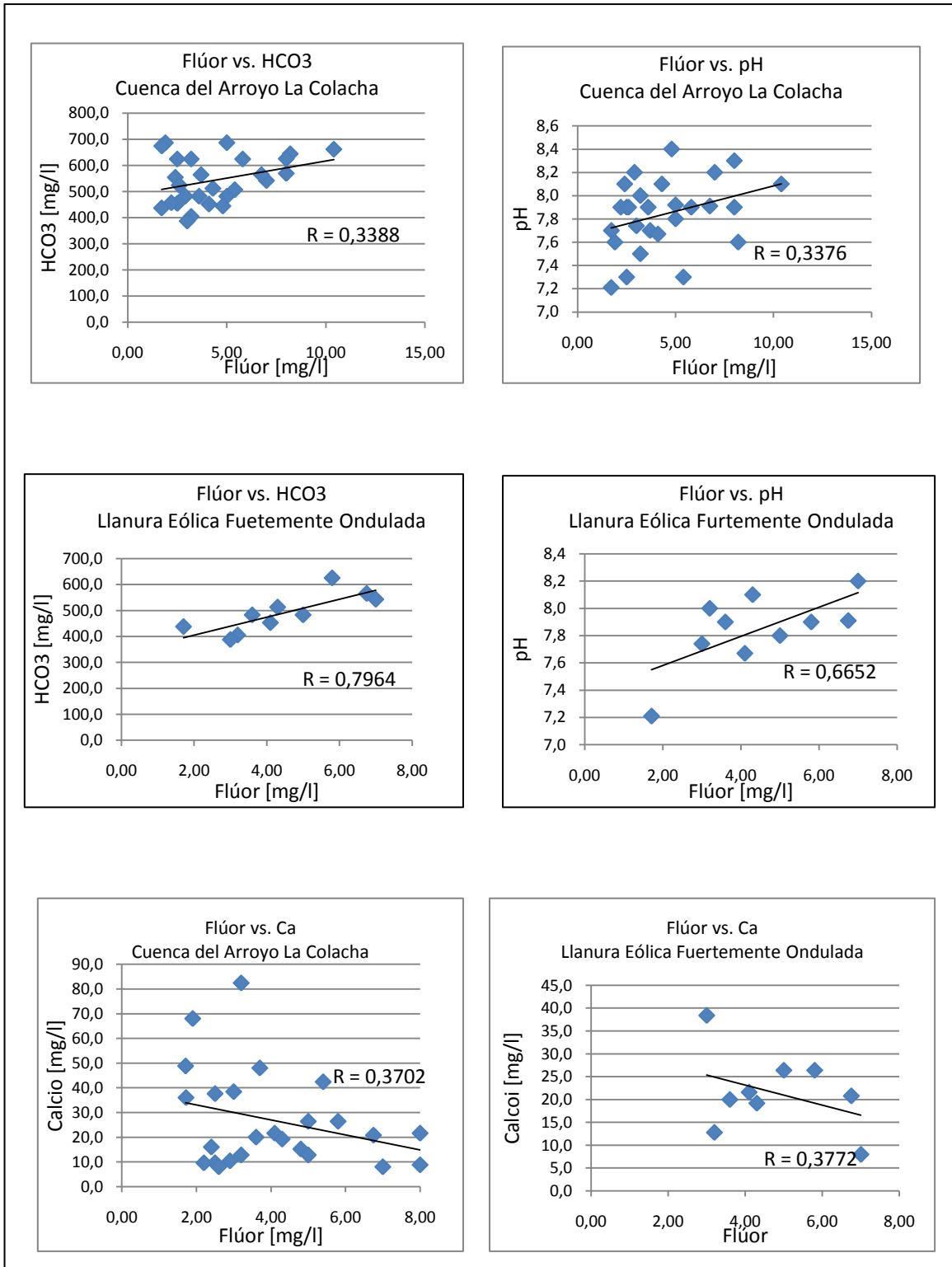


Figura N° 9.6.2.c: Gráficos de correlación entre flúor y las variables HCO₃⁻, pH, Ca⁺², para la cuenca del arroyo La Colacha y la unidad Llanura Eólica Fuertemente Ondulada.

9.6.3. NITRATOS

La presencia del ion nitrato disuelto en el agua es indicativo de contaminación, debido a que no se encuentra prácticamente en forma natural, sino que su origen es antrópico. Los valores naturales de nitratos en aguas subterráneas son muy bajo, del orden de 5 mg/l (Feitosa y Filho., 2000) y el límite de aptitud para consumo humano se localiza en los 45 mg/l según el Código Alimentario Argentino (CAA).

En el área de estudio el 15,1 % de las muestras, presentan valores de NO_3^- por encima del límite permitido (figura N° 9.6.3). Las concentraciones presentan un mínimo de 2 mg/l y un máximo de 303 mg/l, con una media de 35 mg/l.

La distribución espacial de las muestras, no presenta un patrón definido, aspecto coherente con su origen ya que las distintas fuentes que lo aportan presentan un mosaico de distribución muy diferente.

En la figura N° 9.6.2.a, puede observarse que la mayoría de los pozos de la cuenca presenta concentraciones de nitratos por debajo de los 50 mg/l y que las 5 muestras que superan dicho valor, se localizan en sectores vinculados principalmente a lixiviados locales que provienen de corrales ó cría intensiva, cercanos a las perforaciones.

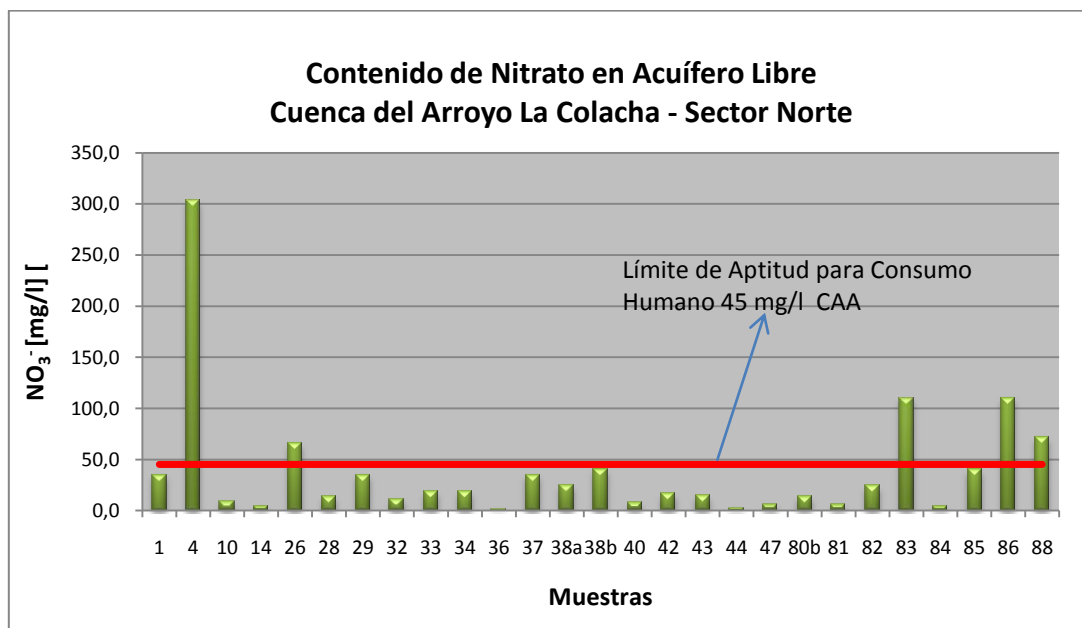


Figura N° 9.6.3: Contenido de nitratos en acuífero libre. Cuenca del arroyo La Colacha – Sector Norte.

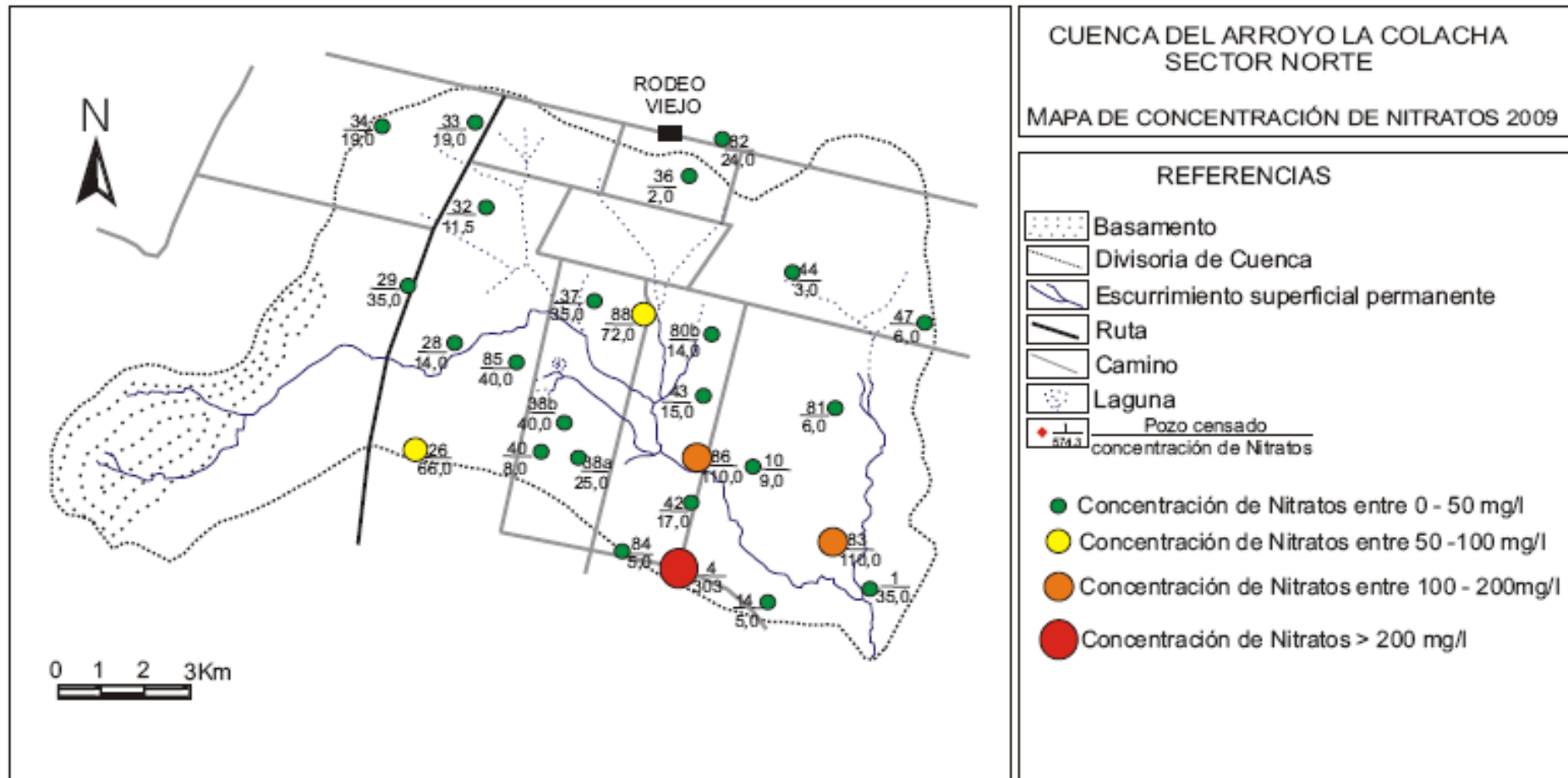


Figura Nº 9.6.3.a: Mapa de concentración de nitratos. Cuenca del arroyo La Colacha – Sector Norte.

Para comprender mejor el comportamiento del ion nitrato en la cuenca, se llevo a cabo el análisis estadístico univariado. La representación gráfica en el diagrama "box plot" (figura N° 9.6.3.b), permitió observar una distribución asimétrica de los datos, como se observa en la caja, la dispersión de los datos es mayor en aquellos ubicados por encima de la mediana, con la aparición de valores "outliers" de 303 mg/L.

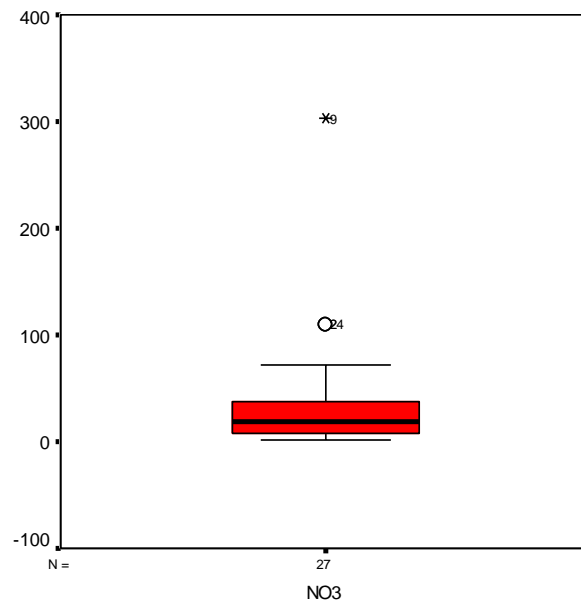


Figura N° 9.6.3. b: Diagramas box plot, indicando el comportamiento de nitratos en la zona de estudio

9.7. TRATAMIENTO ESTADÍSTICO

Para validar el modelo geoquímico conceptual se realizó un análisis estadístico multivariado, mediante el análisis cluster y el factorial por componentes principales, utilizándose para ello el paquete estadístico SPSS.

Al realizar el análisis cluster entre variables (modo R), se observa la existencia de dos grupos (figura N° 9.7.1), el primero (A) presenta un núcleo de alta correlación entre los sulfatos, sodio, cloruros, potasio, calcio y magnesio, con la conductividad eléctrica, los que en conjunto explican la salinidad natural del agua y una asociación menor que vincula a HCO_3^- con NO_3^- , que permite interpretar sitios de contaminación donde la oxidación de la materia orgánica puede elevar el valor de ambos iones, además los dos se asocian al grupo anterior dado que aportan en forma importante a la salinidad total del agua. Esta relación ya fue observada por Blarasin et al, 2005. El segundo grupo (B), integrado por arsénico y flúor, hace referencia a los elementos traza proveniente de los sedimentos que constituyen el acuífero. Este núcleo se asocia a pH, presentando un grado de correlación bajo a moderado. El dendrograma de la figura N° 9.7.b, obtenido a partir del análisis cluster entre observaciones (modo Q), permitió identificar dos grandes grupos. El grupo A reúne aquellas muestras cuyas aguas fueron caracterizadas geoquímicamente como sulfatadas sódicas y que espacialmente se localizan en el alto estructural. Las muestras que integran el segundo grupo (B), son de tipo bicarbonatadas sódicas, dentro de éste pueden observarse dos subgrupos. El subgrupo B1 reúne aquellas muestras localizadas en zona de recarga, generalmente el sector Norte de la cuenca y algunos localizados en el centro, que actúan como zona de recarga local, mientras que el subgrupo B2, está representado por las muestras localizadas en zona de descarga, ya sea las que se localizan al pie de las sierras o muy próximas a la llanura aluvial, las que presentan una mayor evolución química en sentido del flujo subterráneo, con respecto al subgrupo anterior, por encontrarse alejadas del área de aporte.

El análisis factorial por componentes principales (figura N° 9.7.c), presenta dos componentes principales ó variables latentes, las que en conjunto

explican el 75,50% de la varianza. Para realizarlo se extrajeron, utilizando rotación varimax, aquellos autovalores con valor mayor a 1.

La primera componente explica lo mismo que el dendrograma de la figura N° 9.7.a, existiendo una fuerte vinculación entre los iones SO_4^{-2} , Na^+ , Cl^- , K^+ , Ca^{+2} y Mg^{+2} , con la conductividad eléctrica y en menor medida relaciona a HCO_3^- con NO_3^- . Si bien no tienen peso, puede mencionarse que en dicha componente pH, As y F^- , presentan signo negativo, indicando una disminución de los mismos cuando el resto de las variables aumenta. Al analizar las muestras de agua de la cuenca se corrobora que, claramente las aguas sulfatadas sódicas (Alto Estructural) presentan bajos valores de pH y mínimas concentraciones de As y F^- .

La segunda componente queda fundamentalmente representada por As, F^- y pH, dada la afinidad de arsénico y flúor con aguas alcalinas y altos pH, aunque en muy bajo peso se percibe la vinculación $\text{HCO}_3^- - \text{NO}_3^-$

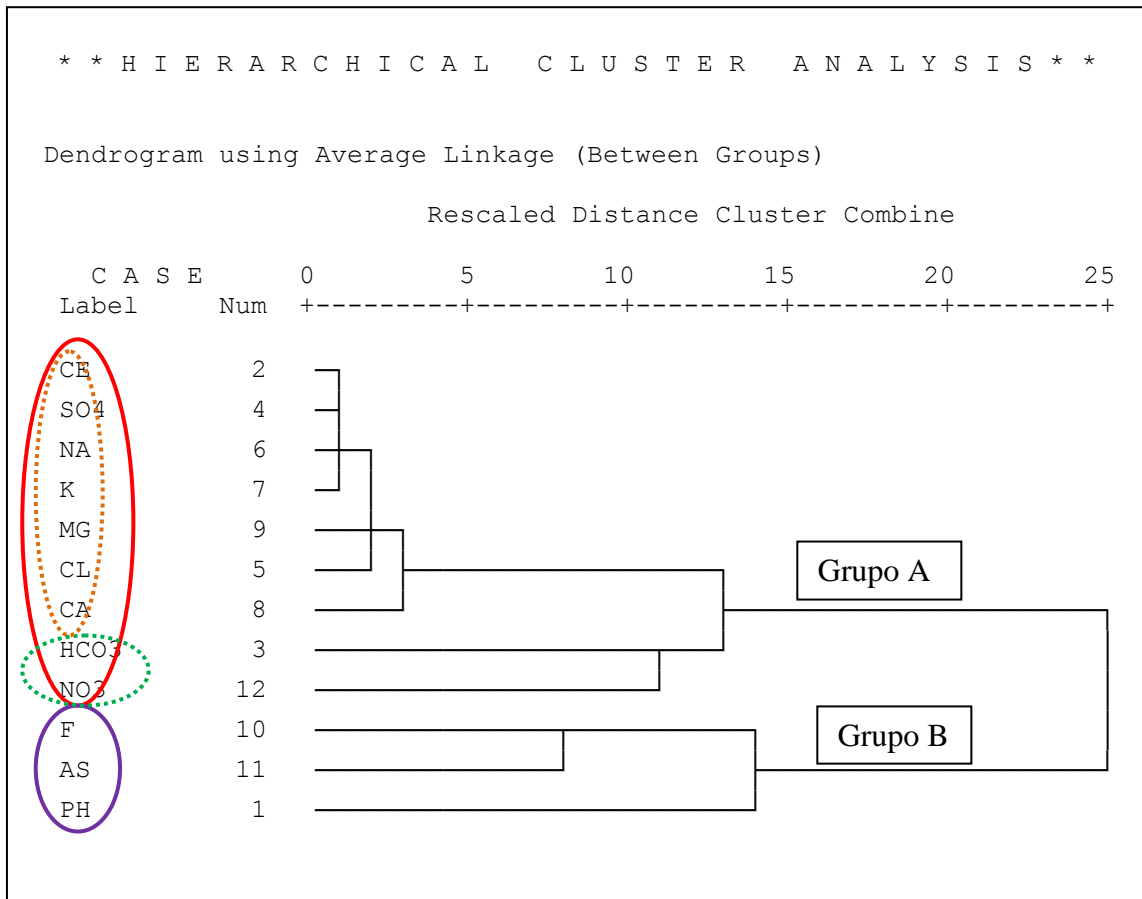


Figura N° 9.7.a: Dendrograma en modo R.

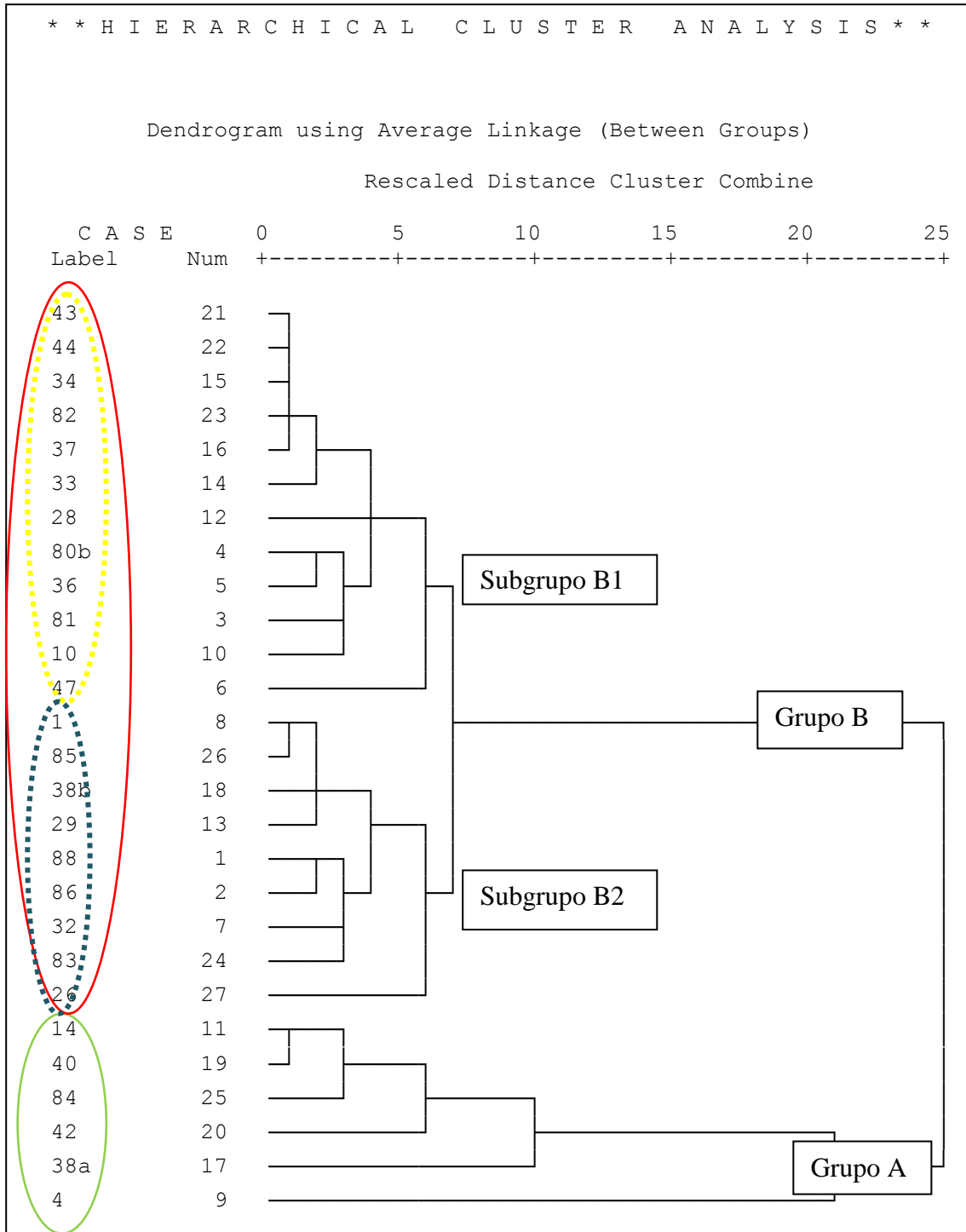


Figura Nº 9.7.b: Dendrograma en modo Q.

----- FACTOR ANALYSIS -----

Matriz de componentes rotados(a)

	Componente	
	1	2
PH	-,264	,560
CE	,938	-,299
HCO3	,658	,512
SO4	,888	-,386
CL	,896	-,265
NA	,957	-,219
K	,848	-,413
CA	,793	-,430
MG	,897	-,292
F	-,112	,868
NO3	,565	,348
AS	-,302	,592

Método de extracción: Análisis de componentes principales.
 Método de rotación: Normalización Varimax con Kaiser.
 a La rotación ha convergido en 3 iteraciones.

Gráfico de componentes en espacio rotado

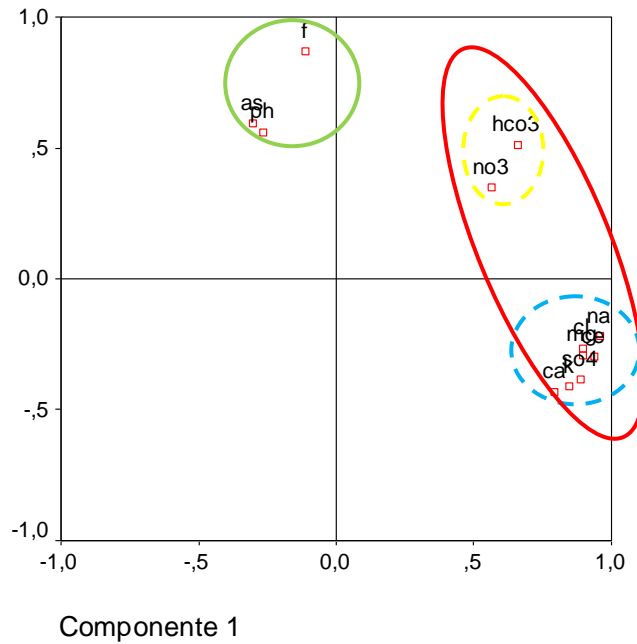


Figura Nº 9.7.d: Gráfico de Componentes en espacio Rotado

9.8. APTITUD DE USO DEL AGUA SUBTERRÁNEA

En el área de estudio, el 100% de los pobladores rurales, emplean para consumo humano, ganadero y riego, agua del acuífero freático.

Dado los altos tenores de arsénico, flúor y nitratos, encontrados en los análisis anteriores, se llevo a cabo la elaboración de los cálculos pertinentes para identificar las aptitudes que el agua subterránea presenta en la zona y en cada uno de los pozos censados.

9.8.1. APTITUD PARA CONSUMO HUMANO

A partir de los análisis físico-químicos correspondientes a las 27 muestras y las normas vigentes propuestas por el C.A.A, que establecen que el límite admisible para As es 10 ug/l, para F⁻ 1,3 mg/l y para NO₃⁻ de 45 mg/l, se procedió a la caracterización espacial de la aptitud para consumo Humano, encontrándose que del 100% de las muestras analizadas, el 100% resultaron no aptas para consumo humano por los altos tenores de As, con respecto a las concentraciones de F⁻ el 100% resultó no aptas, mientras que solo el 18,51% de las muestras, presentan valores de NO₃⁻ por encima de lo permitido por el C.A.A.

En el caso de la salinidad, teniendo en cuenta lo dispuesto por el C.A.A, cuyo límite admisible de aptitud es 1.500 mg/l, el 27,3% de las muestras analizadas no son aptas.

En función de los límites establecido por el C.A.A, para los componentes fijados (pH, SDT, SO₄⁻², Dureza Total, Cl⁻, As, F⁻, NO₃⁻ y NO₂⁻), y debido a que ninguna de las muestras, cumple la totalidad de los requisitos, se establece que las mismas no son aptas para consumo humano (figura N° 9.8.1).

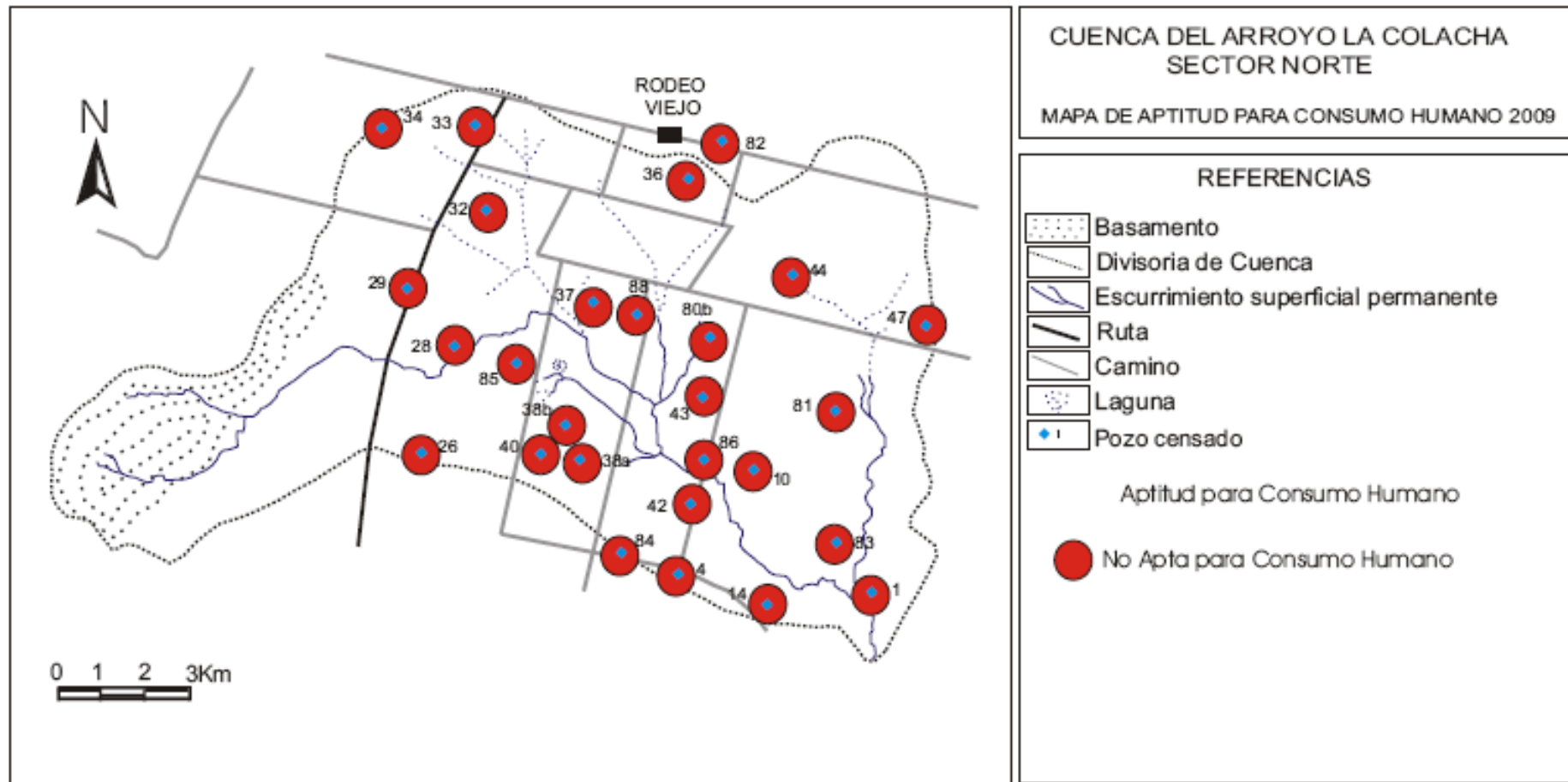


Figura Nº 9.8.1: Mapa de aptitud para consumo humano 2009.

9.8.2. APTITUD PARA CONSUMO GANADERO

Para uso ganadero (figura N° 9.8.2), y en función de las SDT, de las 27 muestras censadas, el 29,63 % resultó deficiente para bovinos de cría y bovinos de tambo e invernada. El 48,14% se categorizó como satisfactoria y muy buena para bovinos de cría y buena a muy buena para bovinos de tambo e invernada. El 22,2% restante, resultó buena para bovinos de cría y aceptable para bovinos de tambo e invernada.

Al considerar los valores de As, F⁻ y NO₃⁻, ninguna de las muestras excede los límites permitido para uso agrícola ganadero.

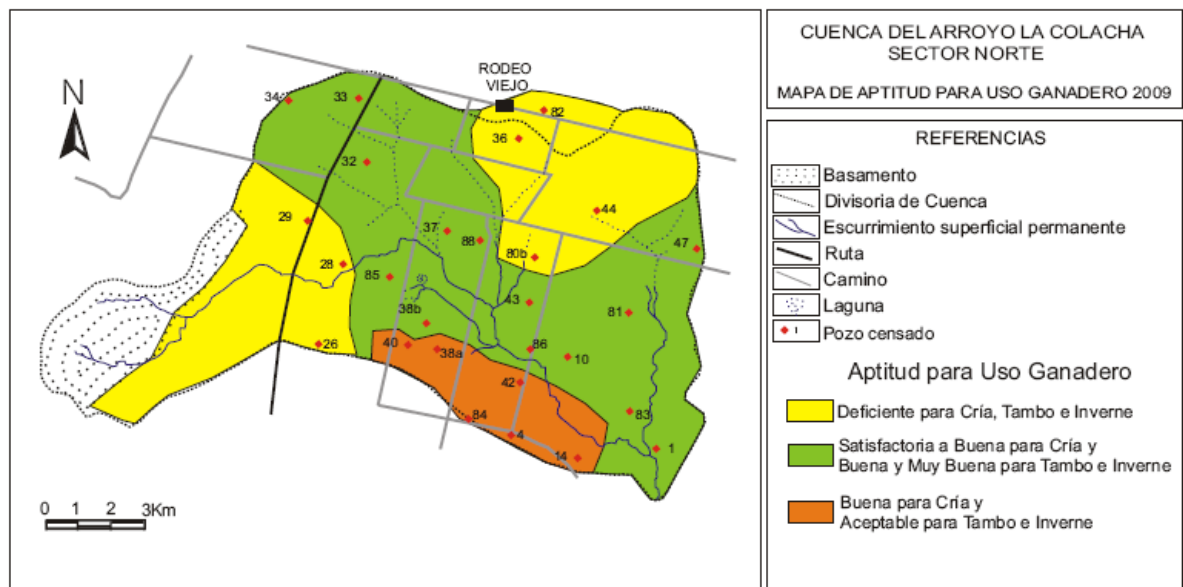


Figura N° 9.8.2: Mapa de aptitud para uso ganadero 2009.

9.8.3. APTITUD PARA RIEGO

De un total de 27 muestras analizadas (figura N° 9.8.3), el 7,40 % (2) presentó excelente aptitud para riego, debido a su baja peligrosidad salina y sódica. El 77,7 %, que representa a 21 de las muestras, fue categorizada como buena para riego, con una moderada peligrosidad salina y media peligrosidad sódica. Sólo dos de las muestras (7,40 %), localizadas en el sector centro y sur de la cuenca, presentaron una buena a regular aptitud para riego (N° 81 y N°4 respectivamente), por su moderada peligrosidad salina y alta peligrosidad sódica, mientras que el 7,40% restante (N° 40 y N° 47) por presentar una alta peligrosidad salina y muy alta peligrosidad sódica, fueron clasificadas como de regular a mala para riego.

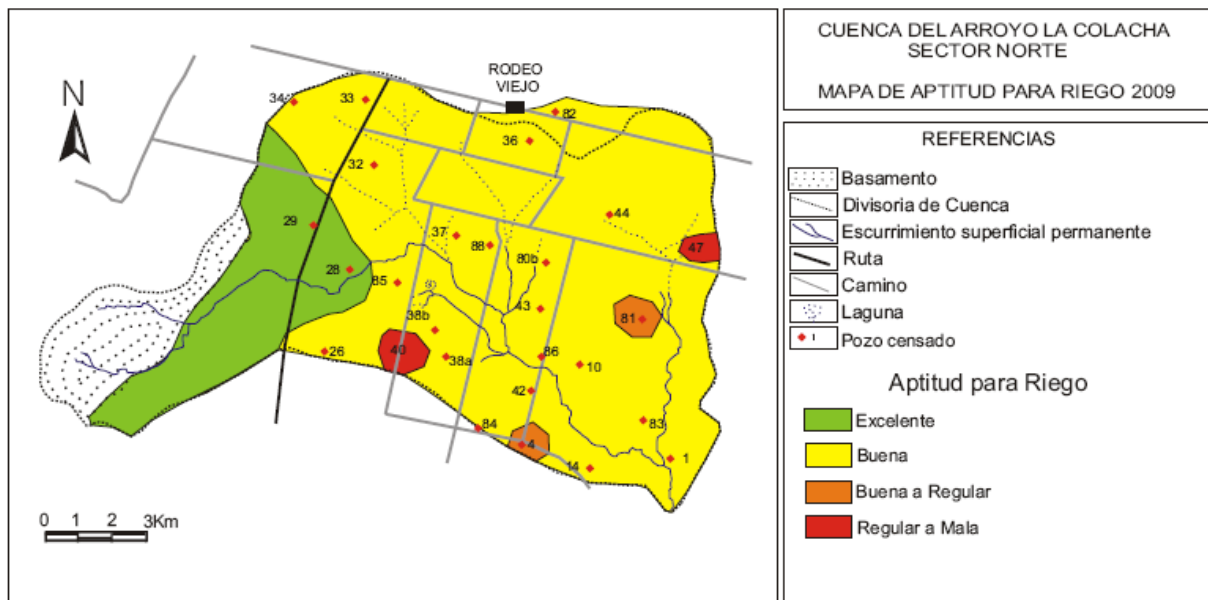


Figura N° 9.8.3: Mapa de aptitud para riego 2009.

CAPÍTULO 10
ORIGEN Y COMPORTAMIENTO
DE METALES PESADOS:
GENERALIDADES Y ASPECTOS VINCULADOS A
AGROECOSISTEMAS

10.1. ORÍGENES

Los metales pesados y elementos trazas, de importancia en el medio ambiente por su incidencia en la contaminación de suelos y acuíferos, pueden ser de origen natural o antrópico. Se habla de origen natural cuando la presencia de los mismos está relacionada a la composición de los distintos minerales presentes en los suelos, los cuales se subdividen en litogénicos (heredados de la litosfera, es decir provienen del material original) y pedogénicos (la fuente es litosférica pero los procesos pedogenéticos del suelo inducen cambios en la estructura o composición de los mismos, generando nuevos microelementos). Los de origen antrópico o también denominados antropogénicos, son los elementos que directa o indirectamente llegan al suelo y a los recursos hídricos (acuíferos, ríos, manantiales, etc.) como resultado de las diversas actividades del hombre (industrial, agrícola, agrícola-ganadera, ganadera, minera, entre otras).

10.2. PROBLEMÁTICA

El interés que representa el estudio del comportamiento de los metales pesados en el ambiente (suelo y agua), su origen y destino final, se debe a los problemas que pueden causar en la salud humana, vegetal y animal, cuando los mismos ingresan a las cadenas tróficas.

En el presente capítulo se identifican los contaminantes que derivan de actividades agrícola – ganadera (origen antrópico) y los diversos mecanismos y/o procesos que actúan sobre los contaminantes en el suelo, por debajo del espesor edafizado (en adelante se la referenciará como zona no saturada o ZNS) y zona saturada (ZS), condicionando el transporte de contaminantes.

10.3. METALES PESADOS EN SUELO Y AGUA SUBTERRÁNEA DERIVADOS DE LA ACTIVIDAD AGRÍCOLA – GANADERA.

Las prácticas agrícolas que introducen contaminantes a los suelos y agua subterránea son principalmente la adición de productos químicos, como fertilizantes y pesticidas, el uso de lodo o algún abono orgánico, gases de

combustión, etc. (Mortvedt y Beaton, 1995; Yang y Yang, 2000; Chaney *et al.*, 2001; Paseante, 2001; McBride, 2004)

La agricultura intensiva es una de las actividades humanas que tienen mayor repercusión en la contaminación del suelo por metales pesados, debido al empleo de **fertilizantes** y **plaguicidas** de forma prolongada. Los fertilizantes fosforados pueden contener Zn, As, Cd y Pb debido a su presencia en la roca fosfórica. El uso de ciertos plaguicidas han contribuido a aumentar los niveles de As, Pb, Hg, Cu, algunos poseen concentraciones de Zn que pueden superar el 25 %. Fungicidas a base de Cu o de Zn, como el CuSO_4 se utilizan con frecuencia en el cultivo de la vid en varias zonas del mundo (Adriano, 2001).

Los metales pesados también pueden estar presentes en **estiércoles** de animales (Zn y Cu) debido al uso de ciertos compuestos a base de dichos elementos en la dieta del animal para evitar ciertas enfermedades. De especial relevancia es el Cu en el purín de cerdo que limita su utilización (Ciria Ciria *et al.*, 2005).

En ambos casos, ya sea procedente de agroquímicos o de estiércoles, pueden pasar del suelo a aguas superficiales o subterráneas, dependiendo de numerosos factores ambientales.

En el cuadro de la figura N° 10.3 se muestran ejemplos de contenidos de metales pesados en fertilizantes y estiércoles.

Producto	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
----- mg kg ⁻¹ -----						
Fertilizantes⁽¹⁾						
Calcio amonio nitrato	0,31	10,5	5,0	4,7	24,6	55,0
Superfosfato	20,8	224	21,4	31,3	7,2	380
Steelwork lime	0,10	50,6	4,2	2,5	7,0	8,8
Otro fertilizante con P	7,5	147	15,4	15,4	1,8	225
Fertilizante con cal	0,33	17,0	19,5	12,5	23,8	35,0
Fertilizante con NP	10,2	84,8	24,8	17,1	2,6	116
Fertilizante con PK	4,8	388	22,9	21,4	2,7	154
Fertilizante con NPK	2,4	32,0	11,8	8,9	12,0	125
Guanos de animal (Alemania) ⁽²⁾						
Guano de cerdo	0,648	8,4	443	18,6	8,9	1035
Guano de pollo	0,25	4,4	63	8,1	7,2	430
Biosólidos (Chile)						
PTAS ⁽³⁾ El Trebal	4,74	260	377	130	67	1214
PTAS Los Andes	1,32	17,7	1303	14,3	27,9	919

Figura N° 10.3: Concentraciones de metales pesados en productos de origen agrícola – ganadera. Carrasco *et al.*, 2003.

10.4. PROCESOS QUE CONTROLAN EL TRANSPORTE DE CONTAMINANTES EN UN MEDIO POROSO.

Los procesos que controlan el transporte de contaminantes varía según éste se localice en el suelo, zona no saturada o zona saturada, generalmente se asume que todos los procesos se llevan a cabo en los tres medios, aunque la intensidad con la que se producen sea diferente.

En el cuadro de la figura N° 10.4 se resumen los procesos responsables de la dilución, retardo o eliminación de contaminantes durante el transporte, destacándose el grado de intensidad que cada uno presenta en los tres medios.

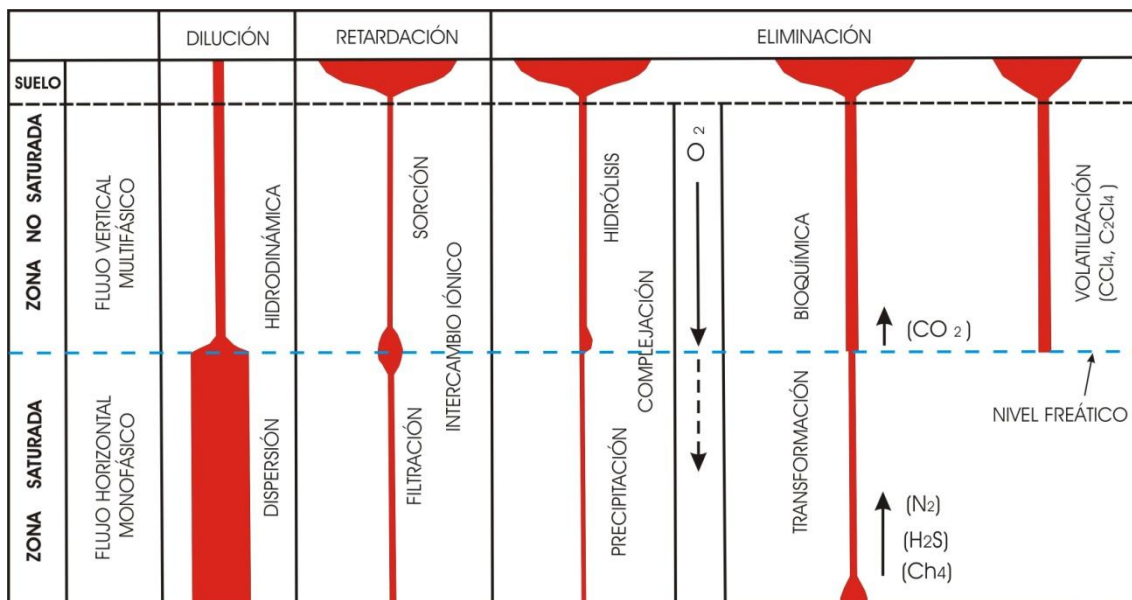


Figura N° 10.4: Mecanismos que reducen la concentración de contaminantes (Foster e Hirata, 1988)

A continuación se describen en detalle los procesos que gobiernan en cada uno de los ambientes (suelo, zona no saturada, zona saturada) y el papel que estos juegan en la contaminación.

10.5. COMPORTAMIENTO DE METALES PESADOS EN EL SUELO.

Los fertilizantes, plaguicidas, aguas residuales usadas para el riego así como también los antibióticos y excretas animales, aportan metales pesados a los suelos (como zinc, cadmio, cobre y plomo entre otros). Cambier (1994) y Lagerweff (1983) señalan que la biodisponibilidad de éstos depende no sólo del

tipo de suelo (textura), sino también de las características físico-químicas del mismo (pH, contenido de materia orgánica, capacidad de intercambio catiónico) y de las condiciones ambientales (temperatura, humedad relativa, precipitaciones).

10.5.1. BIODISPONIBILIDAD DE METALES PESADOS

En el suelo los metales se asocian con distintas fracciones:

- 1) En solución, como iones de metales libres y complejos metálicos solubles.
- 2) Adsorbida en los sitios de intercambio de los constituyentes inorgánicos del suelo (arcillas, MO, óxidos).
- 3) Ligada a la materia orgánica (complejación, quelatos)
- 4) Precipitada como carbonatos
- 5) Precipitada como óxidos e hidróxidos.
- 6) Residual en la estructura de los minerales silicatados.

Sólo los metales asociados con las fracciones 1 y 2 se encuentran biodisponibles para las plantas, lo cual indica que pueden ser desorbidos e ingresar a la solución del suelo o ya encontrarse en la misma, lo que facilita su migración hacia el acuífero (Lasat, 2001). Por lo tanto las concentraciones de metales pesados en suelos necesarias para evaluar posibles riesgos de contaminación de acuífero son aquellos presentes en la solución del suelo o los adsorbidos en las posiciones de intercambio.

Un aspecto importante a destacar es que cuando se realizan análisis de metales en suelos, para conocer el contenido de cada una de estas fracciones, se trabaja con una secuencia de extracción de los metales asociados a cada una de ellas, con diferentes metodologías de las cuales la más conocida es la de Tessier *et al.*, 1979. En esta secuencia de extracción la modalidad general es la siguiente:

- *Fracción de intercambio*: se extraen los metales con electrolitos concentrados
- *Fracción asociada a carbonatos*: se extraen con ácidos débiles

- *Fracción asociada a óxidos e hidróxidos:* se utilizan agentes reductores
- *Fracción asociada a la materia orgánica:* se usan en general agentes oxidantes
- *Fracción residual:* se extraen con ácidos fuertes

Como se verá en el próximo capítulo, los metales en suelos asociados a la fracción disponible han sido extraídos mediante EDTA (ácido) 0.05M ; pH=7,00 (Incluye metal Soluble y de Intercambio). Aquellos combinados con compuestos orgánicos fueron extraídos mediante Digestión Ácida (Sulfúrico). Luego, en ambos casos, el método de medición fue S.I.S.S.- Absorción Atómica (Laboratorio LIQA).

10.5.1.1. PROCESOS DEL SUELO INVOLUCRADOS EN LA BIODISPONIBILIDAD

10.5.1.1. A. INTERCAMBIO CATIONICO

Todos los suelos presentan cargas negativas en la superficie de sus constituyentes (Evans, 1989). La cantidad de iones que pueden quedar adsorbidos de forma intercambiable en el suelo se llama capacidad de intercambio catiónico. En la mayoría de los casos existe selectividad o preferencia de un catión por otro, por lo tanto, es un proceso competitivo y reversible (Silva, 2004). En general, la adsorción de los metales a las partículas del suelo reduce la concentración de los metales en la solución del suelo. Así, un suelo con una capacidad de intercambio catiónico (CIC) alta tiene más sitios de intercambio en la fracción coloidal, los que estarán disponibles para una mayor adsorción y posible inmovilización de los metales (Silveira *et al.*, 2003; Adriano, 2001).

10.5.1.1. B. ADSORCIÓN ESPECÍFICA

Como consecuencia de la adsorción específica, los metales son removidos de la solución suelo y retenidos en la superficie de los coloides formando moléculas estables, llamadas complejos de esfera interna. Este mecanismo muchas veces no es reversible. La adsorción específica se produce por la afinidad de algunos cationes metálicos por un sitio particular de adsorción, por esta razón los metales son adsorbidos específicamente en cierto

orden de preferencia, por ejemplo $Cd < Zn < Cu < Pb$, por lo tanto, los metales no siempre están afectados por la competencia de otros cationes. La adsorción específica es altamente dependiente del pH e involucra a los coloides orgánicos e inorgánicos (óxidos hidratados de Al, Fe y Mn y la materia orgánica principalmente) como expresara Silveira *et al.*, 2003.

10.5.1.1. C. PRECIPITACIÓN

Las reacciones de precipitación y disolución dependen del producto de solubilidad del sólido (K_{ps}) en agua. Los iones metálicos en la solución del suelo pueden precipitar con un agente químico, generalmente aniones como fosfato, carbonatos o sulfatos. También pueden precipitar como hidróxidos al reaccionar con los iones de la solución. La precipitación/disolución son procesos que, además se ven influenciados por el pH y el potencial redox del suelo (Rieuwerts *et al.*, 1998). Las reacciones de precipitación están asociadas normalmente a suelos alcalinos y calcáreos con concentraciones relativamente altas de metales pesados, y además a condiciones que favorezcan una baja solubilidad de estos metales o a la presencia de pocos sitios de adsorción específica (Silva, 2004). Es improbable que la precipitación suceda en condiciones ácidas, excepto cuando existen grandes cantidades de cationes y aniones.

10.5.1.1. D. COMPLEJACIÓN Y QUELACIÓN

La complejación de metales involucra a un ión metálico en solución que está siendo rodeado por uno o más ligandos orgánicos o inorgánicos (Hill y Colman, 1983). La quelación ocurre cuando un ligando polidentado, generalmente una molécula orgánica grande, ocupa dos o más sitios de coordinación alrededor de un ión metálico central, con un enlace de tipo covalente (Bohn *et al.*, 1979). Dentro de los ligandos complejantes orgánicos se encuentran los ácidos cítricos, oxálicos y gálicos, además de los ácidos fúlvicos y húmicos solubles (Evans, 1989).

La quelación y/o la formación de complejos orgánicos de moléculas solubles, es importante en el estudio de metales pesados debido a que contribuyen al transporte de los mismos a través del suelo.

10.5.1.2 FACTORES DEL SUELO RELACIONADOS CON LA BIODISPONIBILIDAD

La biodisponibilidad depende de la solubilidad de los metales y de su capacidad de adsorción en la fracción coloidal del suelo. La interacción entre los distintos procesos como intercambio catiónico, adsorción/desorción, precipitación/disolución y formación de complejos, afecta la distribución de los metales entre la solución del suelo y la fase sólida, siendo responsables de la dilución, atenuación o eliminación de los contaminantes presentes en el suelo y por lo tanto de su movilidad y biodisponibilidad (Silveira *et al.*, 2003; Basta, 2004).

10.5.1.2. A. pH

El pH del suelo tiene un efecto sobre la biodisponibilidad de los metales pesados, al afectar el equilibrio entre la especiación metálica, solubilidad, adsorción e intercambio de iones en el suelo. En suelos ácidos, se produce una competencia de los iones de H^+ con los cationes metálicos por los sitios de intercambio. A pH bajo se produce desorción de los metales pesados, aumentando su concentración en la solución suelo y su biodisponibilidad. Al aumentar el pH los metales pesados son removidos de la solución suelo y adsorbidos por los coloides del suelo, disminuyendo su biodisponibilidad.

10.5.1.2. B. CONTENIDO DE MATERIA ORGÁNICA

La materia orgánica del suelo (MOS) se compone de sustancias húmicas y no húmicas, siendo las sustancias húmicas los compuestos más estables del suelo (ácidos húmicos, fúlvicos y huminas), además, tienen un número relativamente grande de grupos funcionales (CO_2 , OH, C=C, COOH, SH, CO_2H) que tienen una alta afinidad por los iones metálicos, pudiendo formar complejos órgano-metálicos.

La relación entre la materia orgánica y los metales es importante en la biodisponibilidad de éstos debido a su alta capacidad de formar complejos. Los grupos carboxilatos (COO) de la materia orgánica forman complejos estables con los metales, especialmente en ambientes alcalinos, donde la afinidad es mayor. De esta forma los metales pesados quedan adsorbidos en la materia orgánica del suelo y en otras formas de materia orgánica humificada. Por lo

tanto al existir mayor cantidad de materia orgánica en el suelo también aumenta la formación de complejos órgano-metálicos.

10.5.1.2. C. CONTENIDO Y TIPO DE ARCILLA

La existencia de cargas negativas en la superficie de las arcillas, constituye un freno al movimiento de los cationes metálicos en la solución del suelo, que hace que estos permanezcan más tiempo en el suelo y disminuya su solubilidad y biodisponibilidad. El contenido y tipo de arcillas son importantes en la capacidad de retención de los iones. El tipo de arcillas es de relevancia, ya que cada una presenta una estructura particular, la cual presenta una carga permanente asociada a la sustitución isomórfica, a la vez que presenta una carga variable o dependiente del pH, la cual es generada por la adsorción o remoción de iones hidrogeno en la superficie de los coloides. Por lo tanto el tipo de arcilla afecta la CIC y el grado de retención de los cationes metálicos en el suelo.

10.5.1.2. D. POTENCIAL REDOX

Las condiciones de óxido/reducción (redox) de un suelo puede influenciar la biodisponibilidad de los metales. La condición redox afecta el tipo de especies de metales en la solución suelo alterando su solubilidad. En los suelos compactados e inundados, que tienen poca aireación, se ven favorecidas las condiciones de reducción, incrementando la biodisponibilidad de algunos metales como el Mn, Cd, Cu, Zn y Cr (Adriano, 2001).

10.5.1.2. E. ÓXIDOS DE HIERRO, MANGANESO Y ALUMINIO

Los óxidos hidratados de Fe, Mn y Al adsorben metales pesados en forma específica y determinan su biodisponibilidad. También actúan en el intercambio catiónico ya que, dependiendo del pH, pueden tener carga negativa en su superficie. Los óxidos también pueden co-precipitar a los iones metálicos. Al aumentar el contenido de óxidos hidratados en el suelo aumentan los sitios de adsorción para los metales y se reduce directamente su biodisponibilidad.

10.5.1.2. F. PRESENCIA DE CATIONES Y ANIONES EN LA SOLUCIÓN DEL SUELO

La adsorción de los cationes metálicos es un proceso selectivo que depende principalmente de la carga y radio iónico de los cationes, existiendo una competencia por los sitios de adsorción. Por ejemplo el Ca^{+2} compite efectivamente con los cationes de metales pesados por sitios de adsorción, y esta competencia puede ser mayor para Zn y Cd que para Cu y Pb. Esto ocurre porque Zn y Cd están retenidos en el suelo básicamente por reacciones de intercambio, mientras que Cu y Pb forman complejos con la materia orgánica y con los óxidos de Fe, Mn y Al (Silveira *et al.*, 2003). La concentración de aniones también puede tener efectos sobre la solubilidad de los metales; los aniones tanto inorgánicos como orgánicos pueden formar complejos con los cationes metálicos y tal reacción puede afectar la biodisponibilidad de los metales (Rieuwerts *et al.*, 1998).

10.5.1.3. OTROS FACTORES

Existen otros factores que afectan la solubilidad de los metales en el suelo y su biodisponibilidad para las plantas. Entre ellos la actividad microbiana del suelo, por ejemplo, pueden inmovilizar metales favoreciendo la precipitación de sulfatos y óxidos de Fe hidratados. Las bacterias del suelo afectan la biodisponibilidad al adsorber metales a través de grupos orgánicos funcionales de su pared celular, o al acidificar el suelo (Ernest, 1996). Las propiedades físicas del suelo también pueden afectar la biodisponibilidad, por ejemplo el anegamiento y la compactación bajan el potencial redox del suelo. La temperatura es otro factor, así la adsorción de Cd y Pb por las plantas al igual que otros iones metálicos es función de la temperatura (Reichman *et al.*, 2002).

10.6. COMPORTAMIENTO DE METALES PESADOS EN LA ZONA NO SATURADA

Si los procesos que se llevan a cabo en el suelo (responsables de la dilución, atenuación o eliminación del contaminante), no fueron lo suficientemente efectivos, el contaminante logra ingresar a la zona no saturada y la pluma contaminante puede verse afectada por los siguientes procesos que allí gobiernan:

Dispersión/dilución: Este mecanismo que causa una reducción en la concentración del contaminante sin alterar la masa, será descripto detalladamente en la zona saturada por desarrollarse con mayor efectividad en este ambiente.

Retardo: Fenómeno causado por sorción (interacción del contaminante con la superficie de los sólidos), que da lugar a que la velocidad de transporte del contaminante sea menor que las aguas subterráneas. Debido a este proceso, algunos contaminantes, mientras no existan cambios significativos de las condiciones físico-químicas del medio, pueden ser considerados inmóviles y por lo tanto de bajo impacto en acuíferos.

Degradación: Fenómeno que causa la reducción de la masa del contaminante por reacciones bio-físico-químicas. Este proceso permite una eliminación natural de contaminantes, constituyendo en sí, una vía de atenuación muy importante y efectiva del contaminante.

La zona no saturada, aunque con menor intensidad que el suelo biológicamente activo, muestra una gran capacidad de atenuación relacionada con: a) – sorción y eliminación de bacterias y virus patógenos; b) – la atenuación de metales pesados y otros compuestos orgánicos a través de adsorción, cambio catiónico y precipitación, como carbonatos, sulfatos e hidróxidos, y c) – la adsorción y biodegradación de muchos hidrocarburos y compuestos orgánicos sintéticos.

10.7. COMPORTAMIENTO DE METALES PESADOS EN ACUÍFEROS

10.7.1. TRANSPORTE DE SOLUTOS

El agua subterránea moviliza los contaminantes una vez que éstos han atravesado la zona no saturada y han alcanzado el nivel freático. A partir de aquí, el transporte de solutos en el acuífero se ve afectado por procesos hidrodinámicos (mecánicos), químicos y bioquímicos que modifican su concentración y características. En general, las sustancias disueltas no son sustancias inertes y durante el curso de su migración pueden verse

involucrados en procesos fisicoquímicos que afecten su movilidad (Fetter, 1993).

Los principales procesos de transporte son la **advección, difusión molecular y dispersión mecánica** (los dos últimos en conjunto constituyen la dispersión hidrodinámica), y aquellos que explican la **interacción con el sólido del acuífero (adsorción-desorción, y procesos de transformación (bioquímicos y radiactivos))**. Estos mecanismos afectan y condicionan el transporte de solutos en un acuífero (Appelo y Postma, 1996).

Advección o Flujo advectivo: Los contaminantes se mueven disueltos en el agua subterránea a la misma velocidad media que el líquido (Zaporozec, 2002). La velocidad real del agua en los poros del acuífero es:

$$v_a = \frac{v_D}{m_e} = \frac{K}{m_e} \frac{dh}{dl}$$

Donde v_D es la velocidad de Darcy, m_e es la porosidad eficaz, K la permeabilidad del material y dh/dl el gradiente hidráulico.

Dispersión hidrodinámica: El proceso de dispersión hidrodinámica actúa diluyendo los contaminantes y disminuyendo su concentración (Zaporozec, 2002). Es el mecanismo por el cual se producen fenómenos de dispersión o extensión de **mezcla o dilución del soluto** al moverse en el medio poroso. Consta a su vez de dos mecanismos que ocurren simultáneamente y que son claramente diferenciables, la **dispersión mecánica y la difusión molecular**. La difusión molecular en una solución es el proceso por el cual los constituyentes iónicos o moleculares se mueven bajo la influencia de su actividad cinética en la dirección de su gradiente de concentración. La difusión se da incluso en ausencia de movimiento de la masa de agua y solo cesa cuando se anulan los gradientes de concentración.

La **difusión** cobra mayor relevancia dentro de la dispersión hidrodinámica para pequeñas velocidades de flujo (Cerón *et al.*, 2005). Este proceso es descrito por la primera ley de Fick, en estado estable (p.e. la concentración no varía con el tiempo):

$$F = -D_m (\partial C / \partial x)$$

La masa de sustancia que se difunde y pasa a través de un área por unidad de tiempo es proporcional al gradiente de concentración. Donde F es el flujo difusivo (m^2/s) y el signo negativo indica que el transporte es en la dirección de decrecimiento de la concentración, D_m es coeficiente de difusión efectiva (m^2/s) para el medio poroso, C es la concentración de soluto, x es la distancia desde la fuente contaminante y $\partial C / \partial x$ es el gradiente de concentración en la dirección x (Domenico y Schwartz, 1990). En general los valores de coeficientes de difusión D_w están disponibles en la literatura, los cuales deben ser convertidos a valores de D_m para medios porosos,

$$D_m = (n/\tau) D_w$$

donde n es la porosidad (o fracción del volumen de agua en la zona saturada) y τ es la tortuosidad del medio.

La dispersión mecánica, que ocurre como consecuencia de las variaciones locales de la velocidad alrededor de la velocidad media del flujo, es un proceso advectivo mecánico y no un proceso químico (Domenico y Schwartz, 1990). La dispersión se refiere a los procesos de mezcla debido a la estructura porosa del medio, que origina variaciones locales del módulo y dirección del vector de velocidad con respecto a su valor medio. Esto a su vez es causa de mezcla y expansión del contaminante. La principal causa de las variaciones en la dirección y rangos de transportes es el medio poroso no ideal. La variable más importante que controla este proceso es la conductividad hidráulica. Generalmente, la dispersión longitudinal es mayor a la transversal, resultando en una distribución de la concentración en forma de elipsoide (pluma de contaminación). La naturaleza del fenómeno de la dispersión y su formulación matemática son temas todavía en discusión. La dispersión está afectada por lo que se llama un Factor de Escala, es decir, los valores de la dispersión varían desde unos centímetros en los experimentos de laboratorio, a algunos metros, para estudios de trazadores, y decenas o centenares de metros para problemas de contaminación regional. En general la dispersividad longitudinal es alrededor del 10% de la distancia recorrida:

$$\alpha L = 0,1 x$$

El coeficiente de dispersión hidrodinámica DL, en la dirección del flujo, es representado por el producto entre la velocidad del agua en el medio poroso y la dispersividad α , despreciando a menudo la contribución del coeficiente de difusión molecular (Domenico y Schwartz, 1990):

$$DL = v \cdot \alpha L + D_m$$

Cuando v tiende a 0, p.e. en sedimentos arcillosos o de baja permeabilidad, la dispersión hidrodinámica es igual al coeficiente de difusión. Si se combinan estos procesos en una sola ecuación que describa los cambios en la concentración debido al transporte **advectivo**, **dispersión** y las **interacciones con el medio sólido**, en medios porosos saturados, el transporte químico está gobernado por la ecuación:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D_x \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} - v_x \frac{\partial C}{\partial x} \pm \frac{r}{m}$$

donde C es la concentración del soluto (mol/l), v representa la velocidad de agua en los poros (m/s), D_x el coeficiente de dispersión hidrodinámica (m²/s) en la dirección x , r tiene en cuenta la masa de soluto degradada, adsorbida o aportada por el medio sólido por unidad de tiempo (transformaciones bioquímicas, precipitación, disolución, reducción, oxidación, radiactivas y procesos de sorción-desorción), m es la porosidad.

10.7.2. INTERACCIONES QUÍMICAS DEL AGUA SUBTERRÁNEA EN EL ACUÍFERO

10.7.2.1. INTERACCIONES CON LA FASE SÓLIDA

La litología de los acuíferos es determinante en la composición del agua subterránea, modificando la proporción de cationes y aniones. Estas interacciones pueden ocurrir ya sea con cristales (clastos), material de la matriz (arcillas), o con el “cemento” de la roca o sedimento.

En el caso de arcillas, al igual que materia orgánica activa, puede producirse cambio de bases o adsorción, donde la arcilla (preferentemente la

montmorillonita) recibe un catión metálico a cambio de H^+ o de otro catión, modificando la composición del agua.

10.7.2.2. INTERACCIONES CON LA FASE LÍQUIDA

Pueden ocurrir de dos maneras. La primera corresponde a mezclas de aguas subterráneas de distinta procedencia en un sector del acuífero. El resultado puede ser la precipitación de distintos metales y aniones, ya sea por cambio de pH o por la formación de compuestos de bajo Kps. El segundo modo corresponde a la reacción del agua del acuífero con residuos acuosos presentes en forma de inclusiones o de agua de interfase (situada como “pegamento” entre granos de arcilla). Los mecanismos son similares, siendo su efecto más restringido.

10.7.2.3. INTERACCIONES CON FASES GASEOSAS

En los acuíferos hay distintas fases gaseosas, si bien generalmente tienden a estar disueltas en el agua. Los dos gases más importantes disueltos en el agua son el oxígeno (que condiciona los procesos redox en el acuífero) y el CO_2 (que controla la geoquímica del carbono), fundamentales en todos los acuíferos. De especial interés es el caso del metano (CH_4), ya que implica un ambiente reductor afectando la solubilidad o precipitación de diversos metales (por ejemplo provoca la precipitación del uranio el cual requiere un ambiente oxidante para migrar).

10.7.3. PROCESOS DE MAYOR IMPORTANCIA EN LA DINÁMICA DE CONTAMINANTES

A pesar de la importancia de los procesos explicados, no debe dejar de mencionarse que los procesos de sorción – desorción son uno de los más importantes en el transporte de metales en los acuíferos, aspecto que normalmente es tenido en cuenta por el *Kd* o *coeficiente de partición*, que expresa la afinidad de un elemento o sustancia por quedar disuelto en la solución o adsorbido en el sólido. Dada su importancia en el transporte, este tema es retomado y explicado en el capítulo siguiente, en el que además se realiza el cálculo de *Kd* para uno de los metales estudiados.

De hecho, de todos los procesos que influyen el transporte de solutos, la disolución y precipitación son dos de los más importantes en términos de su influencia en la química de las aguas subterráneas. En general, los metales en aguas subterráneas son más móviles en ambientes ácidos o de bajo pH, bajo la forma de iones metálicos con carga. Sin embargo, existen condiciones diferentes para los distintos metales bajo las cuales éstos se presentan en solución o precipitan, lo que condiciona evidentemente la posibilidad de ser transportados en los sistemas de aguas subterráneas. De hecho, a pH muy básicos algunos metales (Se, V, As, Cr) pueden volver a movilizarse bajo la forma de aniones solubles complejos, formando hidroxicomplejos. Además, el potencial redox (Eh) influye en el estado (oxidado o reducido) del ión metálico y, por lo tanto, su mayor o menor movilidad.

10.8. ELEMENTOS DE INTERÉS EN ACTIVIDADES AGROPECUARIAS

10.8.1. COBRE

Su presencia en ambientes naturales puede ser de origen natural (como mineral se encuentra disperso en las rocas y se concentra en depósitos de Cu) o antrópico (contenido en soluciones o como parte de un sólido, derivado de actividades industriales, agrícolas o ganaderas).

El cobre es un elemento esencial para los seres humanos y animales. Aunque puede resultar potencialmente tóxico bajo ciertas concentraciones. La enfermedad de Wilson es causada por la acumulación de cobre en el hígado, sistema nervioso central, debido a la incapacidad del cuerpo para excretarlo.

El contenido promedio de Cu en los suelos del mundo, se estima en el orden de 30 ppm, en un rango que oscila entre los 2 a 250 ppm. Su presencia depende fuertemente de las características del suelo, esencialmente el contenido de materia orgánica, pH, complejos órgano-metálicos, actividad microbiana, entre otros, que se hallan en función del factor clima (Ciria Ciria *et al.*, 2005).

En el cuadro de la figura N° 10.8.1, a los fines de la presente tesis y a partir de diversas fuentes bibliográficas, se ha elaborado el ciclo biogeoquímico

del Cu en la naturaleza y los procesos que generan la movilidad al acuífero (zona saturada) o la adsorción del elemento en las partículas del suelo y/o zona no saturada.

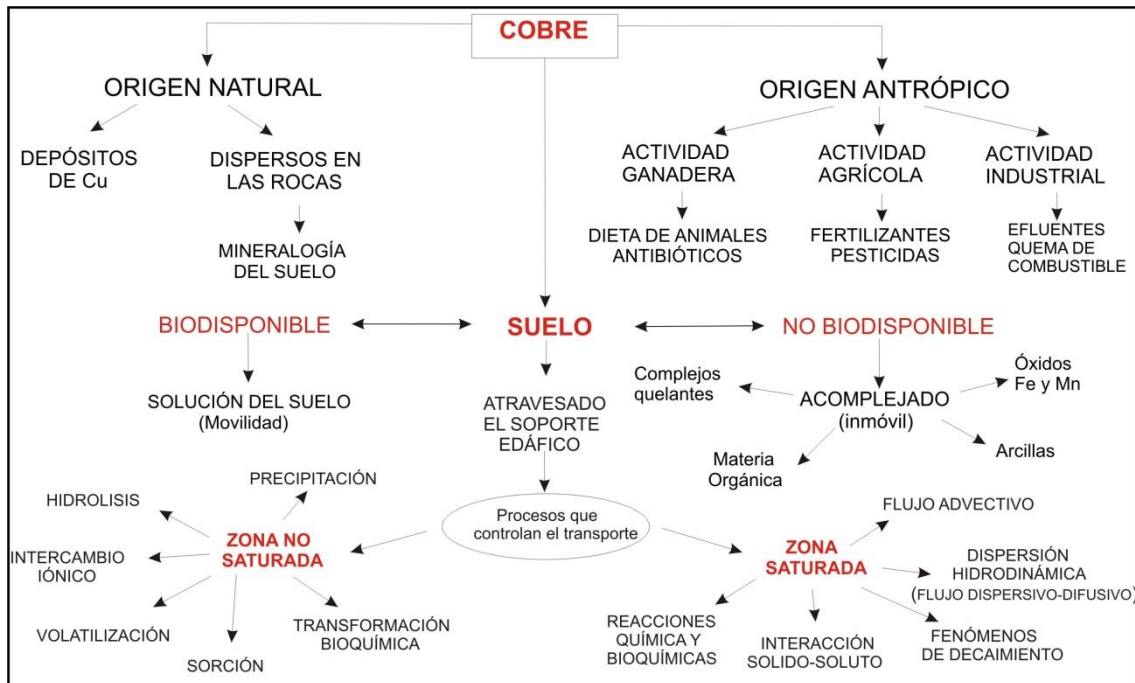


Figura Nº 10.8.1: Ciclo Biogeoquímico del Cobre.

10.8.2. ZINC

El zinc ocupa el cuarto lugar entre los metales del mundo en consumo anual, detrás de Fe, Al, y Cu. Generalmente la presencia de zinc en el medio ambiente (soporte suelo) proviene de actividades antrópicas y no tanto de la composición de la roca madre de la que deriva el suelo (origen natural).

Se trata de un mineral esencial para las plantas, los animales y los seres humanos. El zinc está asociado a una gran cantidad de procesos metabólicos importantes, por lo que es un nutriente indispensable para la salud humana y animal.

Las concentraciones más citadas para el total de Zn en condiciones normales en los suelos son de 10 a 300 ppm., aunque el rango más amplio va de 1 a 900 ppm con un promedio de 90 ppm. Su presencia depende de la roca

parental, MO, textura, contenido de arcilla, actividad microbiana y pH, entre otros, los cuales se encuentran en función del factor clima (Ciria Ciria *et al.*, 2005).

El cuadro de la figura N° 10.8.2, sintetiza el ciclo biogeoquímico elaborado para el elemento Zn en la naturaleza y los procesos que generan la movilidad al acuífero (zona saturada) o la adsorción del elemento en las partículas del suelo y/o zona no saturada.

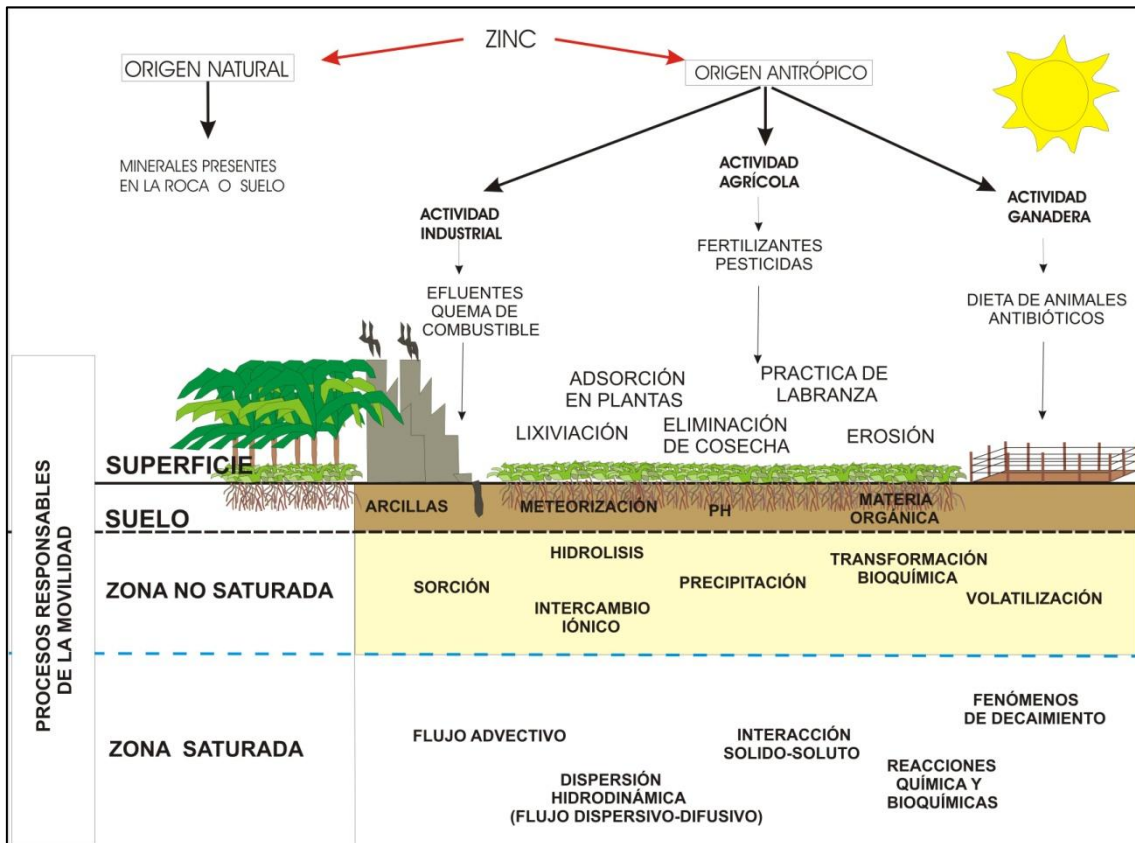


Figura N° 10.8.2: Ciclo biogeoquímico del zinc.

CAPITULO 11
METALES PESADOS
Y SU RELACIÓN CON ACTIVIDADES
AGROPECUARIAS EN EL ÁREA DE ESTUDIO

11.1. INTRODUCCIÓN

El suelo actúa en general como una barrera protectora de otros medios más sensibles (hidrológicos y biológicos), filtrando, descomponiendo, neutralizando o almacenando contaminantes y evitando en gran parte su biodisponibilidad. Esta capacidad depuradora de un suelo depende (como se mencionó con anterioridad – capítulo N° 10), de las propiedades físico-química y biológicas del mismo. Por tanto, para cada situación, el poder depurador de un suelo tiene un límite, que rara vez es superado por causas naturales. Pero cuando el origen de los contaminantes es antrópico (actividades industriales, agrícola – ganadera, etc.), los límites para una o varias sustancias, son superados con facilidad y el suelo funciona como contaminado y pasa a ser fuente de contaminantes.

El área de estudio presenta algunos establecimientos dedicados a la cría intensiva de animales (feed lots). Con el objetivo de identificar la incidencia que esta actividad genera sobre el recurso suelo y su posible afección al agua subterránea, se relevaron tres perfiles de suelos (uno natural y dos bajo actividad ganadera) y se seleccionaron 8 perforaciones de interés para la determinación de metales pesados, además de dos muestras de agua superficial en el arroyo La Colacha (ver ubicación en mapa figura N° 11.3.2).

En laboratorio y atendiendo a las metodologías y medios económicos disponibles se llevó a cabo el análisis de Zn y Cu, para cada uno de los horizontes de suelo y Zn, Cu, Fe, Mn y Co para las muestras de agua. Los datos obtenidos fueron tratados con técnicas hidroquímicas convencionales, realizándose además un análisis estadístico descriptivo uni y multivariado de tipo exploratorio, utilizándose el programa SPSS. Las metodologías empleadas y los resultados correspondientes se detallan a continuación.

11.2. METALES PESADOS EN EL PERFIL DEL SUELO

Los dos perfiles de suelo que se encuentran bajo actividad ganadera, se localizan dentro de la Unidad Cartográfica “Asociación La Aguada” y el perfil del suelo natural, dentro de la unidad “Rodeo Viejo” (figura N° 11.2.). Los primeros fueron nominados como S88 y S86, dedicados a la cría de ganado vacuno (feed lot) y porcino respectivamente. Si bien la actividad desarrollada en ambos establecimientos es la cría intensiva, la alimentación de los animales y los antibióticos suministrados son diferentes.

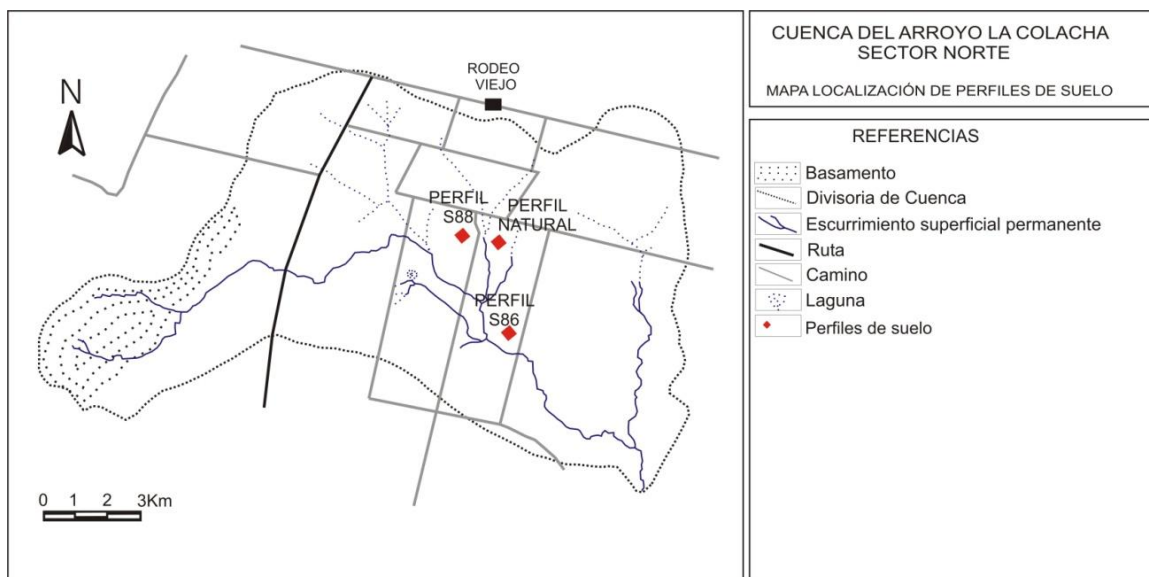


Figura N° 11.2.: Localización de los perfiles de suelo muestreados.

El establecimiento Savorgnano, del que se extrajo el perfil S88, consta de un pequeño feed lot, con 50 cabezas de ganado vacuno, alimentados a base de un suplemento proteico mineral con medicamentos, que le aportan los nutrientes requeridos para balancear la dieta de los bovinos en la etapa final del engorde a corral (tabla N° 11.2.a.). La actividad de feed lot presenta una antigüedad de 5 años, aunque antes se trataba de un corral común, cuando el productor realizaba cría extensiva, actividad familiar de más de 50 años. El sitio se ubica inmediatamente al lado de la perforación del molino, aguas abajo de la misma (figura N° 11.2.b.). Es importante destacar que este campo presenta, aguas arriba de la mencionada perforación, un sitio de cría tradicional de cerdos desde hace más de 30 años (figura N° 11.2.c.).



CONCENTRADO
Bovino-Feed Lot 15%

Suplemento proteico mineral con medicamento, que aporta los nutrientes requeridos para balancear las dietas de los bovinos en la etapa final del engorde a corral.

Composición Cualitativa: base seca

Tenor min. de Proteína Bruta	33%
EPDU	11,5%
Tenor min. de Extracto Etéreo	8%
Tenor máx. de Cerezas	20%
Tenor de Calcio (mín. - máx.)	4,1 - 5%
Tenor de Fósforo (mín. - máx.)	0,88 - 1%
Monensina	175 ppm
Humedad	10%
Energía Metabólica	1985 Kcal./Kg.

Restricciones de Uso:
No administrar a equinos u otros solípedos, podría ser fatal.

Precauciones:
Mantener en lugar fresco y seco, al resguardo de la luz solar directa y con los envases cerrados.

Temperatura de conservación:
0-25°C

PRODUCTO DE USO EXCLUSIVO EN NUTRICION ANIMAL

Firma Inscripta: 12591/A/E
Establecimiento: 9091/A/E
Producto Inscripto:

Serie:
Lote:
Fecha de Elaboración:
Vencimiento: 6 meses

Contenido Neto:
25 Kg

Av. Pte. Perón 261 - Oncativo Cba.
Tels.: (03572) 466579 - 455681

Ingredientes:
Pellet de soja, pellet de girasol, afrechillo de trigo, urea, carbonato de calcio, óxido de magnesio, sal entrefina, lasser beef standard.

Modo de Uso:
Utilizar en bovinos desde los 180 kg. PV y hasta la terminación o faena, previo acostumbramiento con fibra de alta calidad.

	Kgs.
Maíz Partido	750
Fibra Efectiva	100
Conc. Feed Lot 15%	150
Total	1000

Figura Nº 11.2.a.: Tabla de Composición Cualitativa. Concentrado Bovino Feed Lot 15%.



Figura Nº 11.2.b.: Cría intensiva de bovinos, estancia Savorgnano.



Figura N° 11.2.c.: Cría de cerdos tradicional ubicada aguas arriba del establecimiento Savorngano.

El establecimiento Zechin (perfil S86) posee un criadero desde fines de los noventa y se aboca casi exclusivamente a la cría de porcinos (50 cabezas), al que se les suministra alimento concentrado, formulado para cerdos en su etapa final de engorde, que aporta niveles adecuados de todos los nutrientes necesarios para un óptimo desarrollo de la masa muscular (tabla N° 11.2.d.). El corral de cerdos anteriormente se empleaba para la cría de bovinos (figura N° 11.2.e) mediante el sistema tradicional con pocas cabezas de ganado. En total la actividad ganadera presenta en el sector más de 50 años de antigüedad.

CONCENTRADO

Cerdo Terminación 20%

Alimento concentrado formulado para cerdo en su etapa final de engorde, que aporta niveles adecuados de los nutrientes necesarios para un óptimo desarrollo de la masa muscular.

Modo de uso:

Utilizar a discreción en cerdos desde los 60 kg hasta la faena. Mezclar 25 kg de Concentrado con 100 kg. de maíz.

Perfil de Nutrientes :	
Los valores son expresados en: %	
Proteína Bruta	38,00
H-Lisina	2,30
DL-Metionina	0,50
Grasa	2,00
Fibra cruda	6,40
Calcio	3,00
Fósforo	1,50

Nota : Consulte a nuestro departamento técnico para realizar un correcto manejo sanitario y nutricional de los animales que permita exponer todo su potencial.

Contenido Neto:
25 Kg

**PRODUCTO DE USO EXCLUSIVO
EN NUTRICIÓN ANIMAL**

Av. Pte. Perón 262 - Oncativo
Tel.: (03572) 466579 - 455681

(1)

CONCENTRADO
Cerdo Desarrollo 25%

Alimento concentrado formulado para cerdo en su etapa final de engorde que aporta niveles adecuados de todos los nutrientes necesarios para un óptimo desarrollo de la masa muscular.

Restricciones de Uso:
No administrar en rumiantes.

Precauciones:
Mantener en lugar fresco y seco, al resguardo de la luz solar directa y con los envases cerrados.

Temperatura de conservación:
0-25°C

Perfil de Nutrientos: (en valores expresados en %)

Proteína Bruta	39,00%
H-Lisina	2,50%
DL-Metionina	0,55%
Grasa	2,80%
Fibra Cruda	6,30%
Calcio	3,00%
Fósforo	1,50%

Ingredientes:
Pellet de soja, Teknamix desarrollo 20%, Sintox.

Modo de Uso:
Utilizar a discreción en cerdos desde los 20 kg. hasta los 60 kg. de peso. Mezclar 25 kg. de concentrado con 75 kg. de maíz.

Nota:
Consulte a nuestro departamento técnico para realizar un correcto manejo sanitario de los animales que permita exponer todo su potencial.

Producto de uso exclusivo EN NUTRICION ANIMAL

Firma Inscrita: 12591/A/E
Establecimiento: 9091/A/E
Producto Inscrito:

Serie:
Lote:
Fecha de Elaboración:
Vencimiento: 3 meses

Contenido Neto: 25 Kg

Av. Pta. Perón 261 - Oncativo Cba.
Tels.: (03572) 466579 - 455681

(2)

Figura Nº 11.2.d.: Tablas perfil de nutrición. (1) Concentración cerdo terminación 20%.

(2) Concentrado cerdo desarrollo 25%.



(1)



(2)

Figura Nº 11.2.e: (1) Inicialmente, cría de bovinos. (2) Actualmente, cría de porcinos y escasos bovinos.

Un aspecto a destacar es que si bien ninguna de las etiquetas de alimento para ganado conseguidas en los establecimientos, declara metales pesados, la bibliografía en general, como se indicara en el capítulo 10, indica que lo contienen. Por otro lado, las excretas poseen siempre metales pesados en cantidades pequeñas, aún sin recibir los animales suplementos alimentarios, debido a la transferencia de los iones en la cadena trófica (ver Capítulo 10).

Las descripciones morfológicas de los perfiles S88 y S86, corresponden al suelo típico del área (*Hapludol típico, limoso grueso, illítico, térmico*), descrito en el Capítulo N° 7.

Por tal motivo, sólo se analizaron pH, porcentaje de materia orgánica y/o carbono orgánico, bases intercambiables (Na^+ , K^+ , Ca^{+2} y Mg^{+2}), y CIC para cada uno de los horizontes, debido a que resultan ser las propiedades que controlan fuertemente el comportamiento de los metales pesados en el suelo y son dependientes del tipo de actividad que se desarrolla sobre el mismo.

Los perfiles S88 y S86 presentaron cierto grado de compactación y ausencia de cobertura vegetal. Las variables determinadas en los dos perfiles bajo actividad ganadera y las propiedades del suelo natural son descriptas en las tablas N° 11.2.a., b y c respectivamente (figura N° 11.2.f).

Tabla N° 11.2.a: Perfil S88 – Cría intensiva de bovinos

Horizonte	Profundidad cm	pH	MO%	CO%	Na ⁺	K ⁺	meq/100g		
							Ca ⁺²	Mg ⁺²	CIC
Ap	0-8	7,64	4,81	2,89	3,53	5,35	8,70	11,50	21,74
Bw	15-27	7,88	4,46	2,68	3,76	3,00	7,70	13,30	27,48
C	+40	9,66	0,68	0,41	4,44	3,22	14,00	19,00	11,83

Tabla N° 11.2.b: Perfil S86 – Cría intensiva de porcinos

Horizonte	Profundidad cm	pH	MO%	CO%	Na ⁺	K ⁺	meq/100g		
							Ca ⁺²	Mg ⁺²	CIC
Ap	0-8	7,97	3,89	2,34	0,71	8,28	6,00	14,00	19,48
Bw	15-25	7,52	1,37	0,63	0,55	8,13	4,00	7,60	18,61
C	+40	8,63	1,14	0,69	0,97	4,25	10,50	13,50	19,13

Tabla N° 11.2.c.: Perfil del suelo natural

Horizonte	Profundidad cm	pH	MO%	CO%	Na ⁺	meq/100g			CIC
						K ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²	
A	0-8	6.44	4,74	2,84	0.40	2.5	9.2	0.2	9.5
Bw	15-25	7.30	2,08	1,25	0.39	2.3	12.8	3.6	10.9
C	+40	7.60	1,39	0,83	0.42	2.8	12.8	3.2	11.1



(a)



(b)



(c)



(d)

Figura N° 11.2.f.: Perfiles de suelo relevados. (a) S86, horizonte Ap compactado. (b) Sitio de muestreo de S86. (c) S88, horizonte Ap compactado. (d) Sitio de muestreo de S88.

En los gráficos de la figura N° 11.2.g-h, se observa el comportamiento de las propiedades del suelo (pH, materia orgánica, Ca⁺², Mg⁺², Na⁺, K⁺ y CIC), con la profundidad, mientras que en los gráficos de la figura N° 11.2.i. se expresa la variabilidad que sufren las propiedades del suelo en los perfiles bajo actividad ganadera, en relación al perfil de suelo natural.

Establecimiento Savognano. Perfil S88

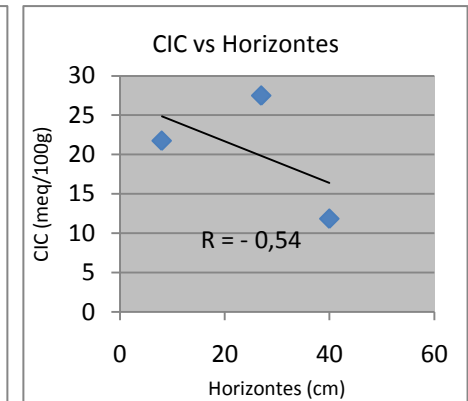
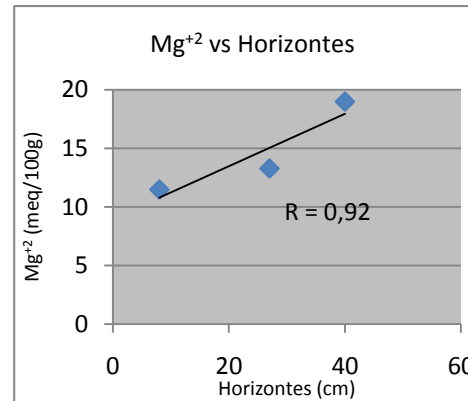
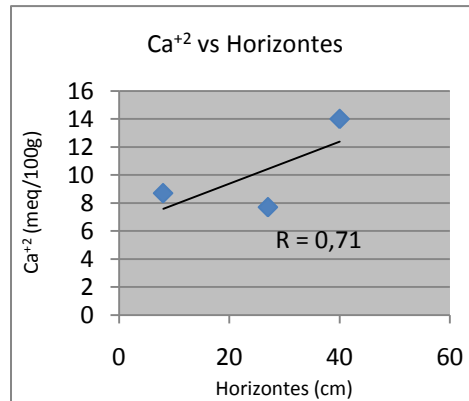
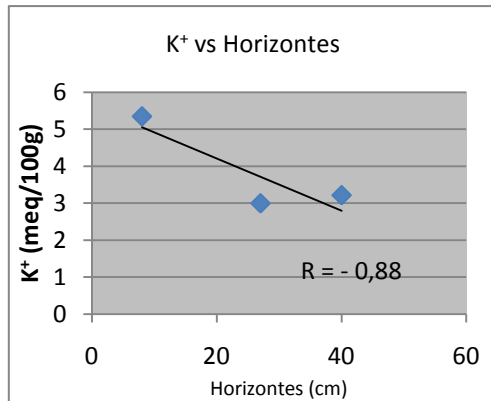
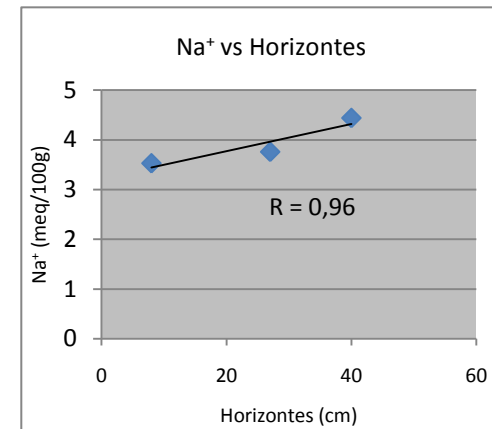
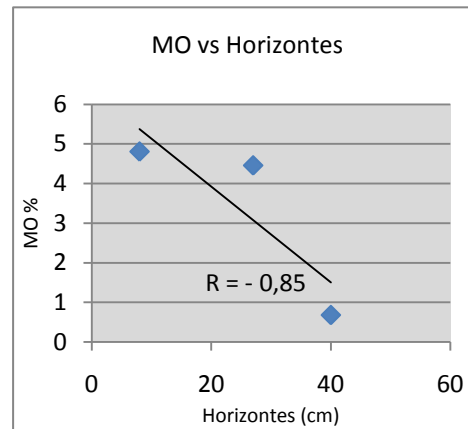
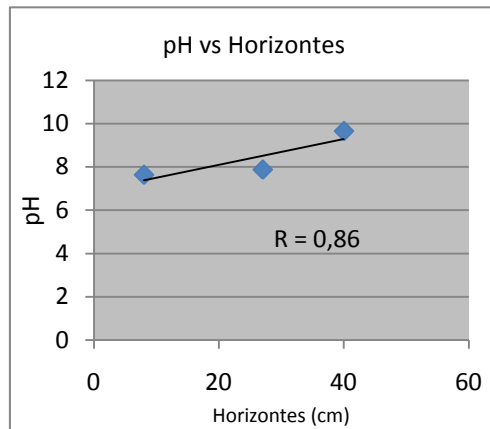


Figura N° 11.2.g.: Propiedades del suelo (pH, Materia Orgánica, Na⁺, K⁺, Ca⁺², Mg⁺² y CIC) vs. Horizontes (cm).

Establecimiento Zechin. Perfil S86.

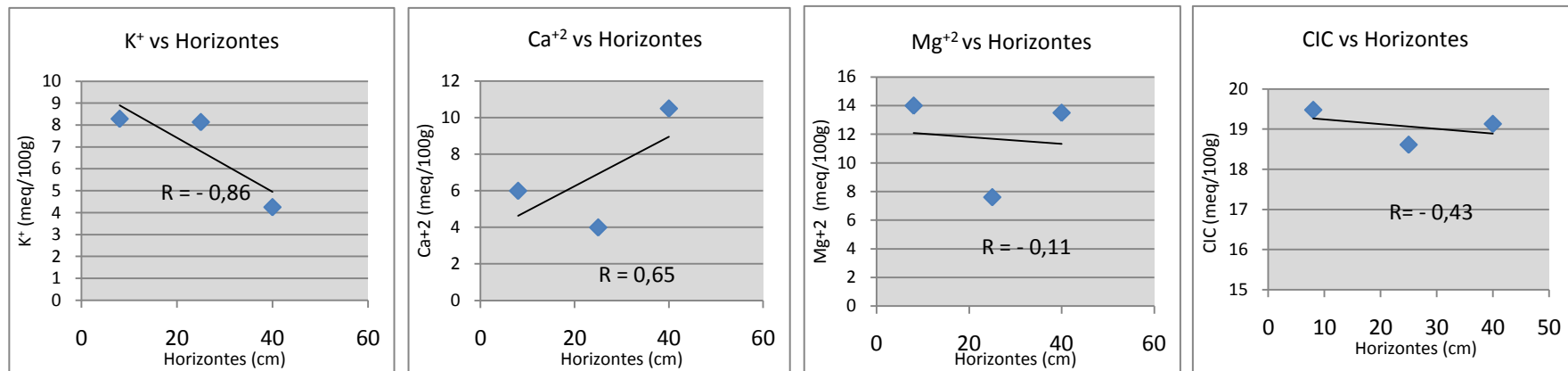
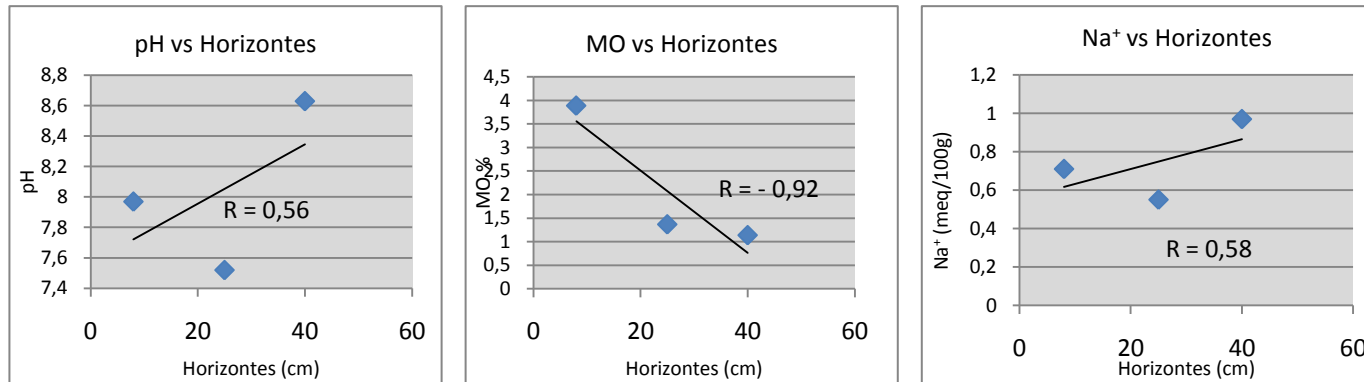


Figura N° 11.2.h.: Propiedades del suelo (pH, Materia Orgánica, Na⁺, K⁺, Ca⁺², Mg⁺² y CIC) vs. Horizontes (cm).

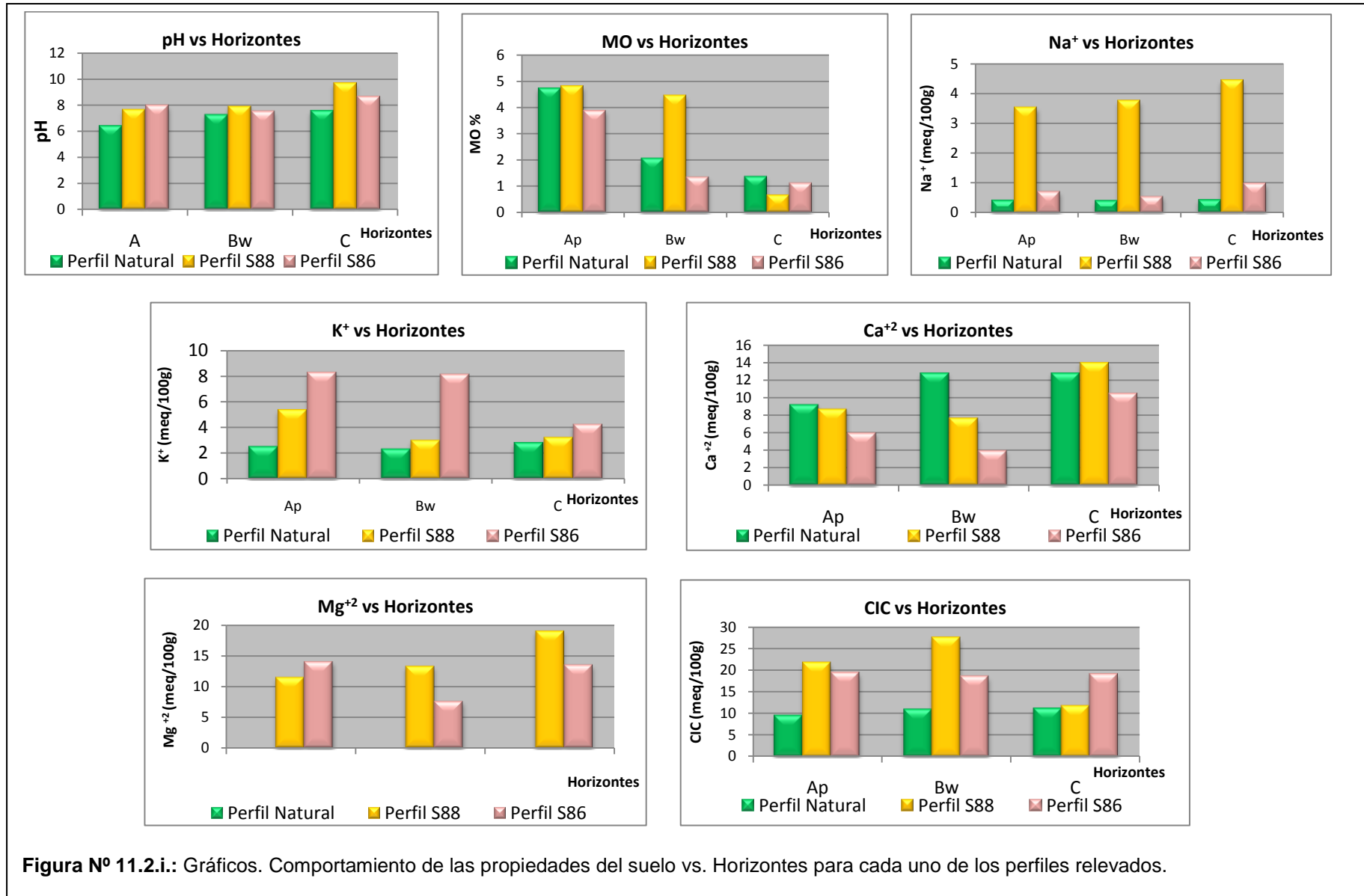


Figura N° 11.2.i.: Gráficos. Comportamiento de las propiedades del suelo vs. Horizontes para cada uno de los perfiles relevados.

En ambos perfiles, se reconoce un incremento del pH y una disminución en el contenido de materia orgánica, con la profundidad (figura N° 11.2.g-h). En el caso de las bases Na^+ y Ca^{+2} presentan un incremento con la profundidad mientras que Cl^- y K^+ son decrecientes para ambos perfiles, aunque el suelo sometido a cría de bovinos (S88) es el que posee los máximos valores y las correlaciones más altas. Por su parte, el Mg^{+2} incrementa con la profundidad para S88 y decrece para el perfil S86. Esto sería el resultado del proceso de lixiviación coincidiendo con lo observado de otros sitios del área de estudio (Becker 2006).

Del análisis de los gráficos de la figura N° 11.2.i. se interpreta que:

1- Los pH de los horizontes correspondientes a S88 y S86 incrementan con respecto a los valores del suelo natural. Por su parte el perfil S86 presenta los valores de pH más altos en el horizonte Ap, mientras que en el perfil S88 son los horizontes Bw y C los que sufren los mayores incrementos.

2- El contenido de materia orgánica (MO) presenta un incremento en el perfil S88 con respecto al suelo natural para el horizonte Ap y Bw, mientras que decrece considerablemente para el horizonte C. Las excretas de bovinos incorporan cantidades significativas de MO al suelo lo que se traduciría en un aumento de ésta en relación al perfil natural.

El perfil S86 sufre leves disminuciones (aprox. 0,5 %) en el contenido de materia orgánica en los tres horizontes en relación al perfil natural. El porcentaje es mínimo y podría deberse por un lado al lavado por escurrimiento superficial ya que en el área se ha señalado pérdida de materia orgánica en el horizonte superficial por procesos de erosión hídrica laminar (Becker 2006, Becker et al. 2008) y por otra parte a que en los 2 últimos años el propietario ha disminuido la actividad en ese sector del corral (fundamentalmente la bovina). Este último aspecto es muy notoriamente diferente a lo que ocurre en S88 donde el aporte de excretas es más significativo en los últimos años y donde la situación topográfica permite gran acumulación de excretas.

3- En los perfiles S88 y S86, las concentraciones de Na^+ , K^+ y Mg^{+2} incrementan con respecto al suelo natural. El elemento Na^+ registra los máximos valores en los horizontes Ap, Bw y C del perfil S88, mientras que para S86 los incrementos sufridos son leves. Por su parte K^+ presenta un

comportamiento inverso, encontrándose las máximas concentraciones en los horizontes del perfil S86 y menores en los horizontes de S88. En el caso de Mg^{+2} , el perfil S86 presenta los valores más altos en el horizonte Ap y S88 lo registra en los horizontes Bw y C. Analizando los concentrados que se suministran a bovinos y porcinos (figura N° 11.2.a y c) alguno de los compuestos presentes son: urea, óxido de magnesio y sal entrefina, lo que justificaría el aumento excesivo de Na^{+} , K^{+} y Mg^{+2} en ambos perfiles en relación al suelo natural.

4- Los valores de Ca^{+2} en general son superiores en los horizontes del perfil natural, destacándose el horizonte C del perfil S88 por registrar un incremento considerable y superior al del perfil natural.

5- La capacidad de intercambio catiónico (CIC) registra incrementos en ambos perfiles, con respecto al suelo natural. El perfil S88 presenta en los horizontes Ap y Bw los mayores valores de CIC, mientras que por su parte es el horizonte C del perfil S86 el de mayor concentración, aunque se destaca la uniformidad de los valores para los tres horizontes del mismo perfil.

11.2.1. ANÁLISIS DE LABORATORIO

Las muestras de suelo pertenecientes a los tres perfiles relevados (uno natural y dos bajo actividad ganadera), fueron separadas e identificadas por horizontes en campo. En el laboratorio se procedió al secado natural y mortereado de las mismas. Se extrajeron de cada horizonte que fueron cuarteadas hasta obtener una muestra de aproximadamente 500 gramos. Las mismas fueron enviadas Laboratorio (LIQA), sito en Villa María (Córdoba) donde se determinaron las concentraciones de **Zn y Cu orgánico** por el método de absorción atómica, previa digestión ácida (Sulfúrico), las que incluyen a su vez aquellos acomplexados a los compuestos orgánicos y las concentraciones de **Zn y Cu disponibles**, correspondiente a los que se encuentran en estado soluble y de intercambio, mediante el método S.I.S.S.- absorción atómica -Extracto EDTA (ác) 0.05M; pH=7,00. En los horizontes C, de los perfiles, sólo se identificó Zn y Cu disponible, debido a la escasez de complejos orgánicos a esa profundidad.

Las tablas Nº 11.2.1. a, b y c expresan las concentraciones de Zn y Cu, halladas en cada uno de los horizontes de los perfiles de suelo.

Tabla Nº 11.2.1.a.: Perfil Natural.

Horizontes	Horizonte A	Horizonte Bw	Horizonte C
Profundidad (cm)	0-8	15-25	>100
Zn Orgánico (ppm)	9,10	11,18	--
Zn Disponible(ppm)	2,57	0,38	0,45
Zn Total (ppm)	11,67	11,56	0,45
Cu Orgánico (ppm)	5,92	4,50	--
Cu Disponible (ppm)	1,40	1,54	0,48
Cu Total (ppm)	7,32	6,04	0,48

Tabla Nº 11.2.1.b.: Establecimiento Savorgnano. Perfil S88.

Horizontes	Horizonte A	Horizonte Bw	Horizonte C
Profundidad (cm)	0-8	27-32	>100
Zn Orgánico (ppm)	10,72	19,78	--
Zn Disponible(ppm)	32,59	12,88	0,48
Zn Total (ppm)	43,31	32,66	0,48
Cu Orgánico (ppm)	9,65	4,79	--
Cu Disponible (ppm)	6,17	2,14	1,31
Cu Total (ppm)	15,82	6,93	1,31

Tabla N° 11.2.1.c.: Establecimiento Zechin. Perfil S86

Horizontes	Horizonte Ap	Horizonte Bw	Horizonte C
Profundidad (cm)	0-8	15-25	>100
Zn Orgánico (ppm)	16,99	15,63	--
Zn Disponible(ppm)	5,47	5,31	0,37
Zn Total (ppm)	22,46	20,94	0,37
Cu Orgánico (ppm)	32,34	4,64	--
Cu Disponible (ppm)	2,03	2,21	1,47
Cu Total (ppm)	34,37	6,85	1,47

En la figura N° 11.2.1. se expresan las concentraciones de Zn–Cu orgánico y Zn–Cu disponible para los horizontes de cada uno de los perfiles relevados con el objetivo de dilucidar la incidencia que la actividad ganadera tiene sobre las concentraciones de Zn y Cu, tomando como referencia los valores correspondientes al perfil natural, los cuales se asumen como representativos de valores de fondo natural.

En líneas generales las concentraciones de Zn y Cu en estado orgánico y disponible son superiores en los perfiles bajo actividad ganadera en relación a los registrados en el perfil natural, para los horizontes Ap y Bw, mientras que para el horizonte C solo Zn disponible presenta valores muy próximos a los del fondo natural, incluso por debajo de éste para el perfil S86 (figura N° 11.2.1.).

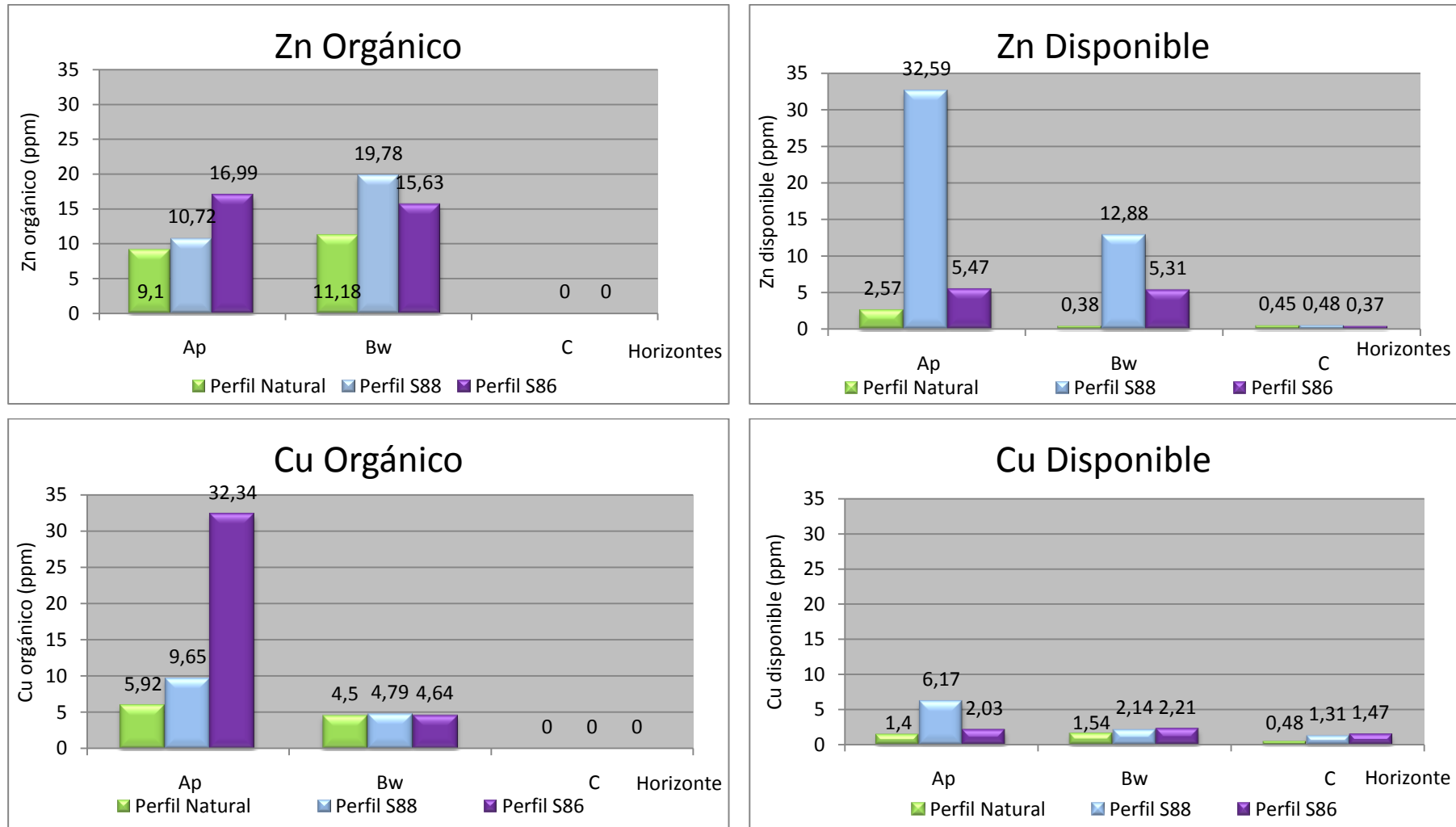


Figura Nº 11.2.1.: Gráficos. Comportamiento de los metales pesados Zn y Cu en los dos perfiles bajo actividad ganadera en relación al suelo natural.

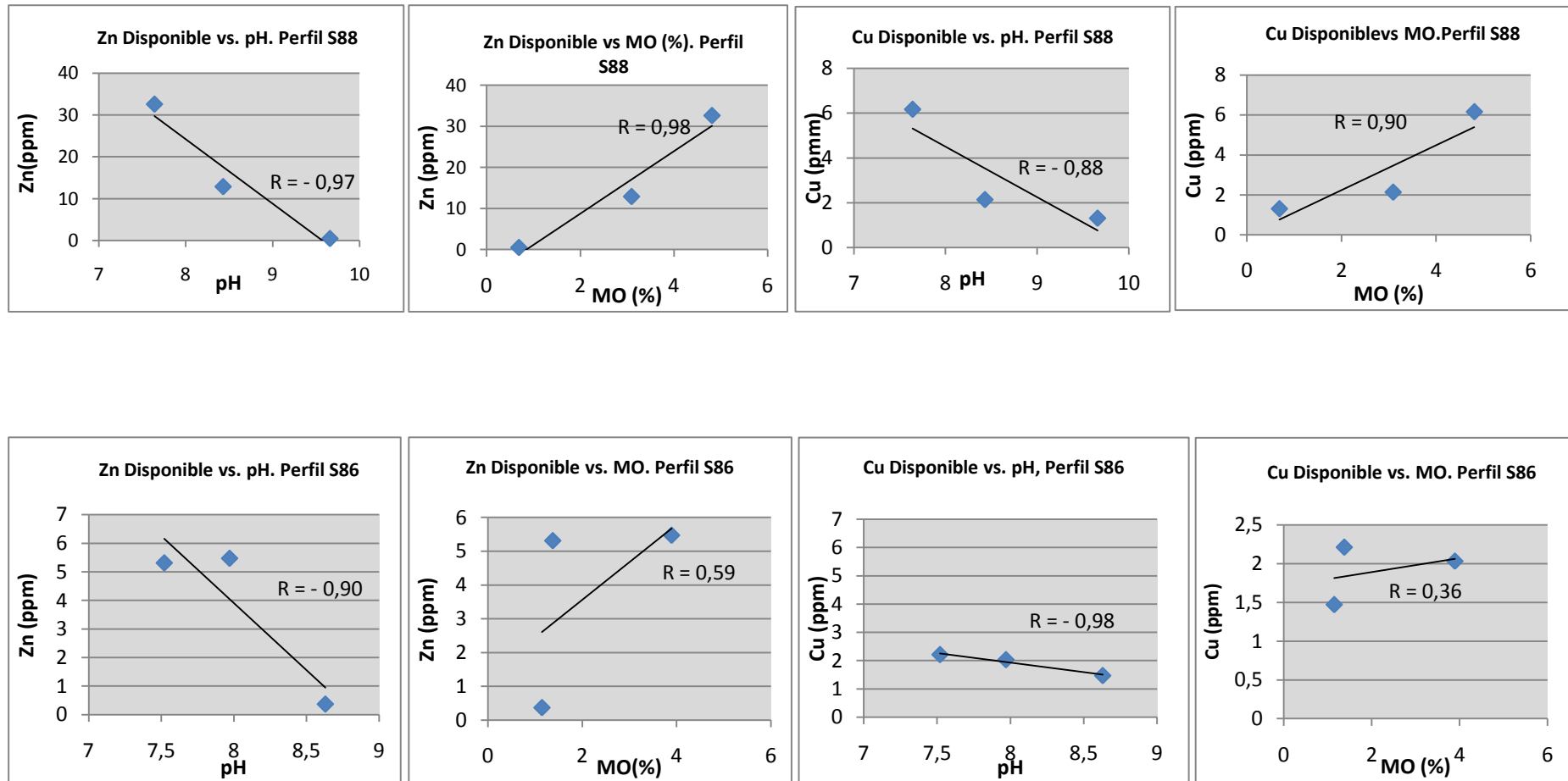


Figura N° 11.2.2.: Gráficos de Correlación. Propiedades del Suelo (pH, MO) vs. Concentraciones de Cu y Zn disponible, para los perfiles S88 y S86.

Analizando los gráficos de la figura N° 11.2.2, entre las propiedades del suelo (pH, Materia Orgánica) y las concentraciones de los metales pesados Zn y Cu en estado disponible para los perfiles bajo actividad ganadera, se observa en general el mismo comportamiento, una correlación negativa entre los Metales–pH y positiva para Metales–MO. Se destaca el perfil S88 por presentar las máximas correlaciones.

Al analizar conjuntamente los gráficos de la figura N° 11.2.1 y 11.2.2 se observa que al mismo tiempo que Zn disponible disminuye con la profundidad Zn orgánico aumenta (para los horizontes Ap y Bw), los valores de pH se vuelven más básicos y la materia orgánica decrece, lo cual es factible si se considera que los pH básicos favorecen los procesos de complejación y los ácidos incrementan las concentraciones del metal en solución. Con respecto a la materia orgánica es coherente que los metales en estado orgánico se correspondan con valores bajos de la misma, ya que en estos sistemas agropecuarios en el horizonte Ap la materia orgánica presente en el horizonte Ap está fuertemente dominada por la materia orgánica particulada o lábil, mientras que en el horizonte Bw la materia orgánica está muy asociada a la materia mineral (Becker 2006).

Por su parte Cu presenta un comportamiento diferente ya que las concentraciones en estado disponible generalmente se apartan muy poco de los valores de fondo natural y presentan uniformidad en los tres horizontes en comparación a las concentraciones de Zn, aunque en el caso de Cu orgánico se identifica un incremento elevado para el horizonte Ap del perfil S88, con un descenso brusco hacia el horizonte Bw, lo que se asume estaría relacionado a la alta capacidad de acomplejarse que presenta Cu con la materia orgánica más lábil como así también a la baja capacidad de migración.

Por lo tanto, se podría establecer que los valores de pH y el tipo materia orgánica son los responsables del estado en que se presentan Zn y Cu (orgánico–disponible) en los diferentes horizontes del perfil.

11.2.2. METALES PESADOS Y SU INFLUENCIA EN LA GEOQUÍMICA DE SUELOS.

Con el objetivo de identificar los efectos que genera la presencia de metales pesados en el perfil del suelo bajo actividad ganadera en relación al perfil natural, se realizó el estudio multivariado para cada uno de los perfiles de suelo.

El *análisis cluster* del perfil natural (figura N° 11.2.2.a.), permitió observar dos grandes grupos, el primer grupo (A) reúne las propiedades del suelo que resultan ser dependientes de los procesos edafológicos que afectan el desarrollo del mismo, (pH, Ca^{+2} , Mg^{+2} , CIC, Na^{+} y K^{+}). Dentro de éste se observa claramente dos subgrupos, el subgrupo A_1 que vincula pH, Ca^{+2} , Mg^{+2} y CIC, lo cual es correcto si se considera que en suelos normales, es decir con pH neutros, los sitios de intercambio (CIC) se encuentran ocupados principalmente por estos dos cationes y el subgrupo A_2 que reúne a Na^{+} y K^{+} , los cuales ocupan las posiciones de intercambio, pero en menor grado. El grupo B, se halla conformado por las propiedades que determinan la incidencia antrópica en el medio edáfico (MO, Zn y Cu) y es correcta su asociación debido a que los metales pesados presentan una fuerte dependencia con los contenidos de MO.

Las relaciones existentes en el perfil de suelo natural, se observan en el *análisis de componentes principales* (figura N° 11.2.2.a.i.), donde se toma como referencia las dos primeras componentes por explicar en conjunto el 100% de la varianza. La primera componente representa las propiedades intrínsecas del suelo, existiendo una mayor correlación entre pH, Ca^{+2} , Mg^{+2} y CIC, todos oponiéndose negativamente a MO y Zn, que puede interpretarse como la vinculación que aparece entre el metal y la MO, aún en condiciones naturales. La segunda componente, presenta una alta correlación positiva entre los cationes Na^{+} - K^{+} y una correlación negativa entre estos y Cu. Tal comportamiento podría estar indicando la competencia por los sitios de intercambio que se produce entre Cu y los cationes Na^{+} - K^{+} .

DENDROGRAMA

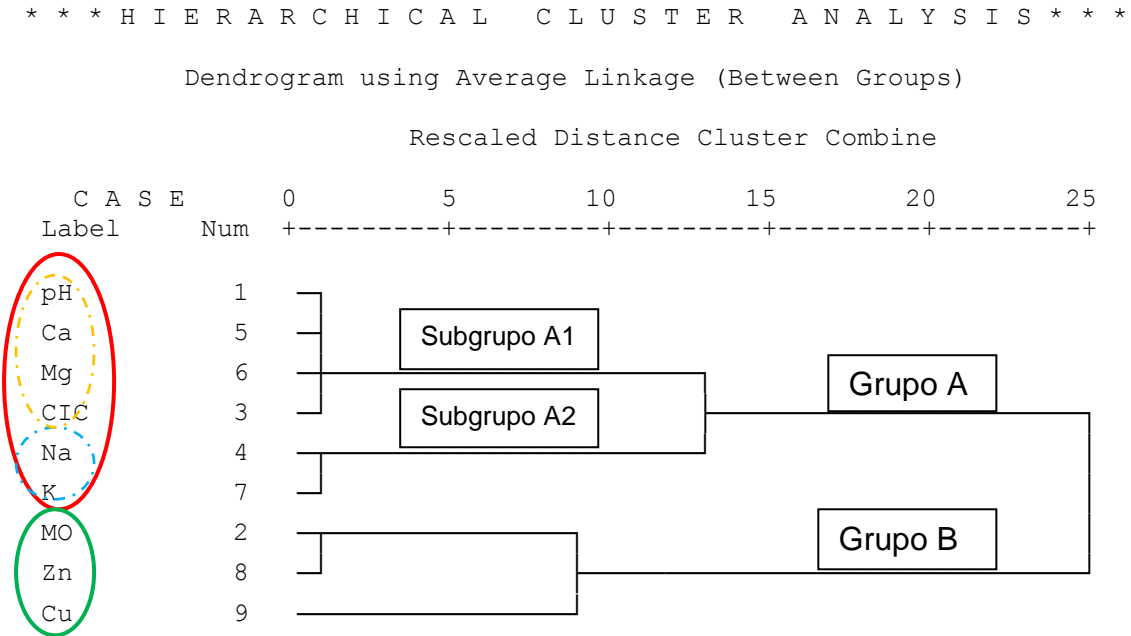


Figura Nº 11.2.2.a.: Dendrograma en modo R. Perfil Natural del Suelo.

Matriz de componentes rotados(a)

	Componente	
	1	2
PH	,995	,105
MO	-,965	-,262
CIC	,976	,218
NA	,085	,996
CA	,995	,105
MG	1,000	-,003
K	,010	1,000
ZN	-,997	-,077
CU	-,293	-,956

Método de extracción: Análisis de componentes principales.
 Método de rotación: Normalización Varimax con Kaiser.
 a La rotación ha convergido en 3 iteraciones.

Gráfico de componentes en espacio rotado

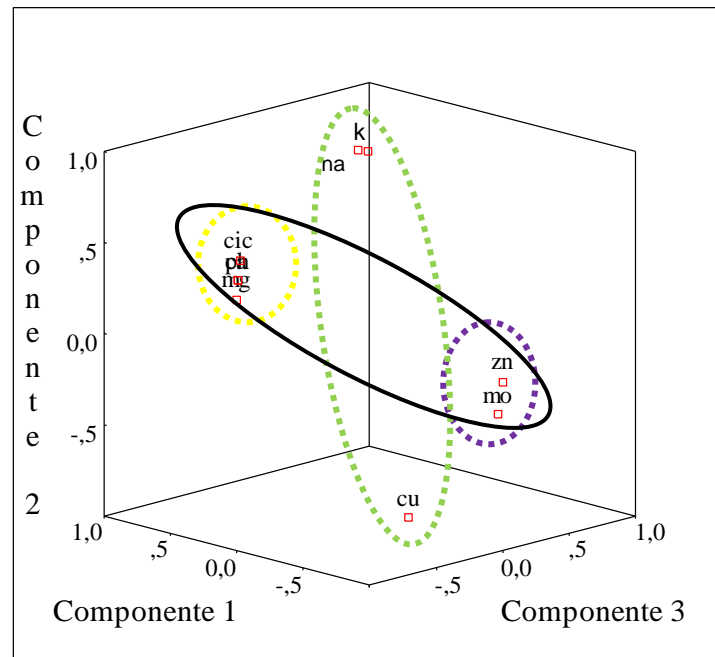


Figura N° 11.2.2.a.i.: Análisis de componentes principales. Perfil Natural del Suelo

El análisis cluster del perfil S88 (figura N° 11.2.2.b.), presenta dos grandes grupos, el primero (A) presenta una fuerte asociación entre Na^+ , Mg^{+2} , pH y Ca^{+2} , lo que podría indicar que el pH de la solución del suelo se halla controlado por el desplazamiento de las bases de los sitios de intercambio. El grupo B reúne los elementos MO, Zn, K^+ , Cu y CIC, presentando una alta correlación entre MO y Zn, el cual indica la fuerte capacidad de acomplejarse que éste metal presenta con MO, mientras que la asociación K^+ -Cu revela la incidencia directa que la actividad ganadera produce sobre el perfil del suelo indicando que los incrementos de K^+ están relacionados con dicha actividad, mientras que la vinculación de CIC con el resto de las variables podría deberse a que la cría intensiva está generando que los elementos Zn, Cu y K^+ compitan ahora por los sitios de intercambio, a la vez que MO contribuyen principalmente a la capacidad de intercambio cationico total.

En el análisis de componentes principales (figura N° 11.2.2.b.i.) se han seleccionado las dos primeras componentes que explican en conjunto el 100% de la varianza. En análisis permite corroborar en general el mismo comportamiento que en el cluster. La primera componente vincula K^+ , Cu, Zn y

MO, a la vez que dicho proceso se halla condicionado fuertemente (y con relación inversa) por los valores de pH. En la segunda componente se observa una alta correlación entre Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^{+} y pH, a la vez que CIC y MO se presentan con elevado grado de correlación pero negativo, interpretándose que cuando la capacidad de intercambio catiónico y materia orgánica disminuyen las bases se encuentran libres elevando así el pH de la solución del suelo.

DENDROGRAMA

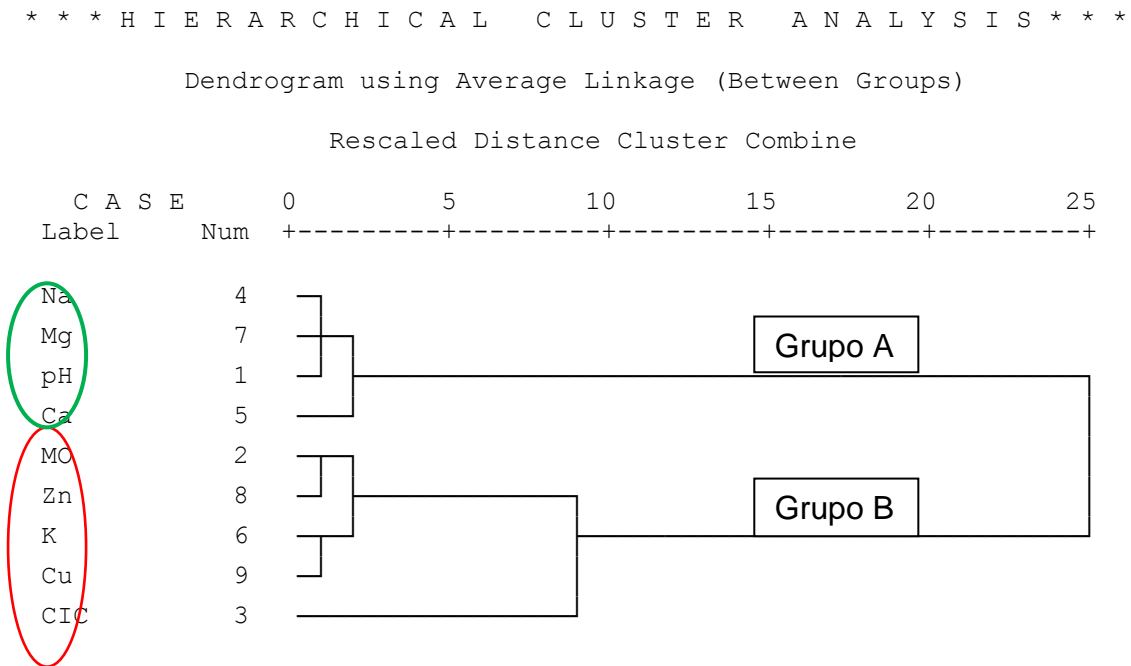


Figura Nº 11.2.2.b: Dendrograma en modo R. Perfil S88

Matriz de componentes rotados(a)

	Componente	
	1	2
PH	,721	,692
MO	,741	-,671
CIC	,036	-,999
NA	-,607	,794
CA	-,256	,967
K	1,000	-,031
MG	-,597	,803
ZN	,873	-,487
CU	,962	-,273

Método de extracción: Análisis de componentes principales.
 Método de rotación: Normalización Varimax con Kaiser.
 a La rotación ha convergido en 3 iteraciones.

Gráfico de componentes en espacio rotado

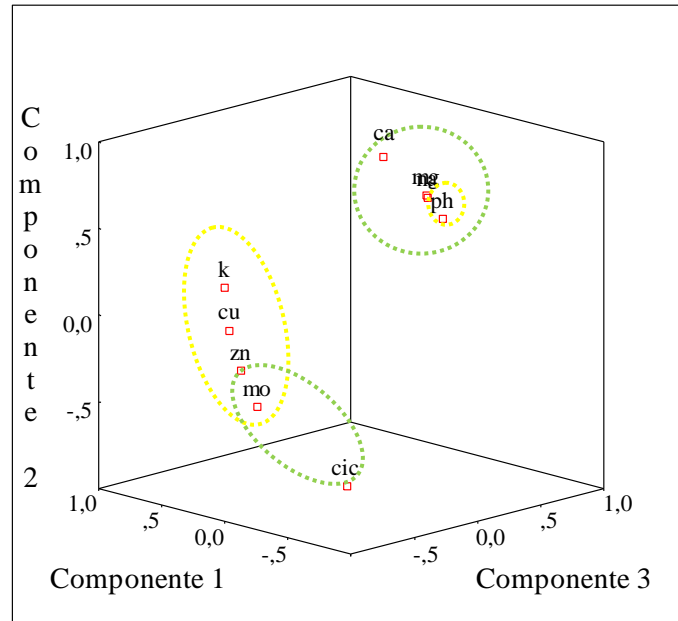


Figura N° 11.2.2.b.i: Análisis de componentes principales. Perfil S88

En el análisis cluster del perfil S86 (figura N° 11.2.2.c.), se observan dos grandes grupos. El primer grupo (A) asocia las variables K^+ , Zn y Cu que en conjunto representan la incidencia de la actividad ganadera sobre el medio edáfico. El grupo B que expresa las propiedades intrínseca del suelo presenta dos subgrupos, B₁ que vincula pH, Na^+ y Ca^{+2} , mientras que B₂ asocia CIC, Mg^{+2} y MO. La forma en que las variables se asocian (subgrupos B₁ y B₂) dentro de éste grupo y considerando la relación observable para las mismas en el perfil natural (figura N° 11.2.2.a.), se asume cierto grado de incidencia ganadera sobre las propiedades intrínsecas del suelo.

En el Análisis de componentes principales (figura N° 11.2.2.c.i.), se han tomado como referencia las dos primeras componentes por explicar en conjunto el 100% de la varianza. La primera componente expresa la alta correlación positiva entre pH, Na^+ y Ca^{+2} , al mismo tiempo que K^+ , Cu y Zn presentan una fuerte correlación pero negativa, aspecto coherente con los datos y el comportamiento esperable para la actividad antrópica analizada. La segunda componente vincula fuertemente CIC- Mg^{+2} y en menor grado MO, indicando que los incrementos de Mg^{+2} , asociados a los complejos orgánicos

suministrados a los cerdos, que ocasionaría un aumento del mismo en la solución del suelo y por lo tanto en los sitios de intercambio de la fase sólida (CIC) y en menor proporción acomplejados con la MO.

DENDROGRAMA

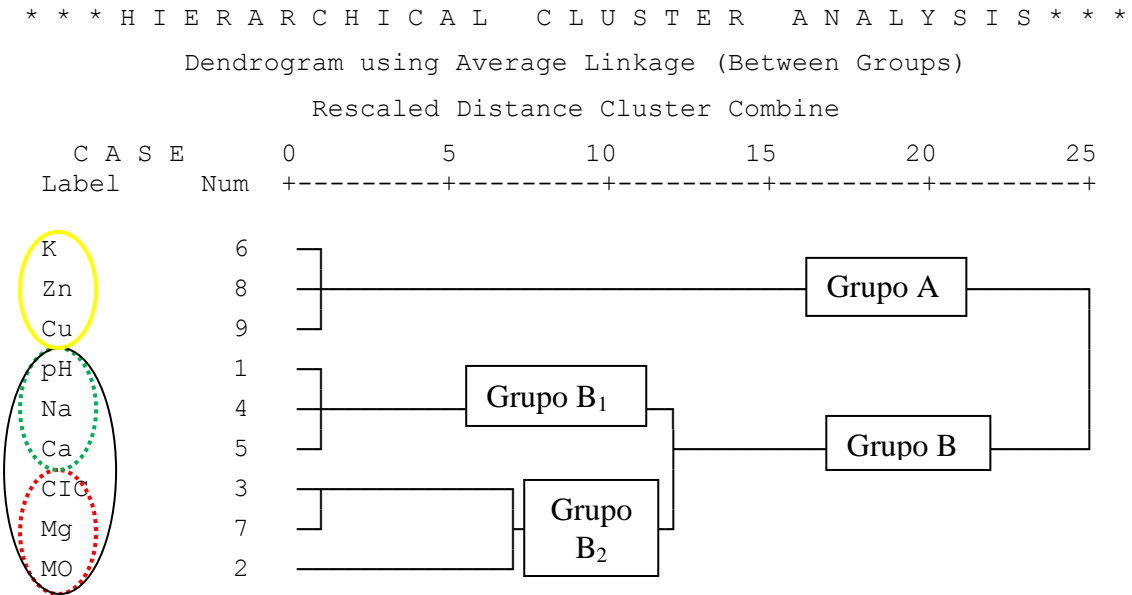


Figura Nº 11.2.2.c: Dendrograma en modo R. Perfil S86.

Matriz de componentes rotados(a)

	Componente	
	1	2
PH	,954	,301
MO	-,470	,882
CIC	,219	,976
NA	,962	,275
CA	,981	,195
K	-,990	,141
MG	,533	,846
ZN	-,991	,136
CU	-,992	-,126

Método de extracción: Análisis de componentes principales.
 Método de rotación: Normalización Varimax con Kaiser.
 a La rotación ha convergido en 3 iteraciones.

Gráfico de componentes en espacio rotado

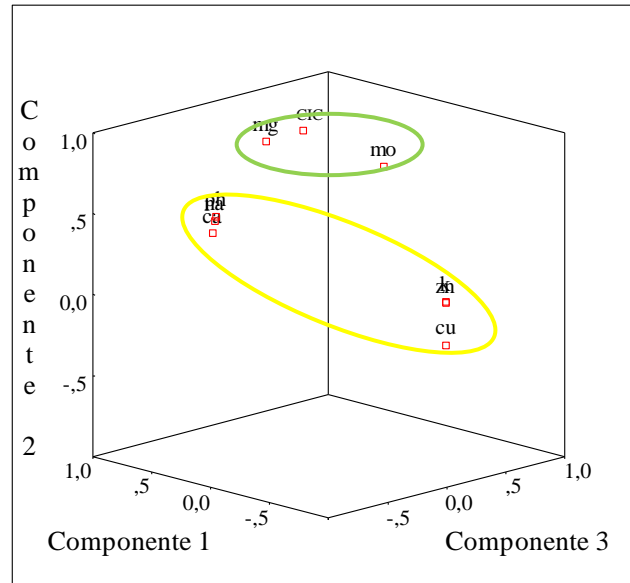


Figura Nº 11.2.2.c.i: Análisis de componentes principales. Perfil S86

11.2.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los dos perfiles de suelo bajo actividad ganadera y el perfil natural presentaron concentraciones de metales pesados por debajo de los límites considerados normales para Zn = 10 a 300 ppm (Swaine, 1955) y Cu = 2 a 250 ppm de acuerdo a Ciria Ciria *et al.* (2005).

En los perfiles bajo actividad ganadera, las concentraciones de Zn y Cu aumentaron con respecto a los valores de fondo natural (perfil natural). Las concentraciones de Zn y Cu en estado orgánico y disponible, se hallan en función de los valores de pH y del tipo de materia orgánica presente (lábil o mineralizada). Dado que ambos perfiles pertenecen al mismo suelo, la diferencia en las concentraciones de Zn y Cu halladas para cada uno de ellos, se debe claramente a la actividad ganadera impuesta al suelo y a la diferencia del uso (tipo y cantidad de animales, cantidad de tiempo en corral, composición de los complejos de engorde suministrados, entre otros), a lo que se suman factores naturales como disponibilidad de agua en el suelo, excesos hídricos, etc.

Los análisis multivariados (Cluster y Componentes principales), deben analizarse en función de los agrupamientos y componentes obtenidos. Así, en el suelo natural, el 1º grupo cluster y 1º componente en el CP, están fundamentalmente expresados por las asociaciones que dominan en un suelo natural. De este modo el perfil del suelo bajo condiciones naturales presenta dos grandes grupos, uno representado por los elementos que controlan la acidez del suelo (pH) y la CIC del mismo, siendo para este caso, $Ca^{+2} > Mg^{+2} > Na^{+} > K^{+}$, el orden de importancia que presentan los cationes en los sitios de intercambio y un segundo grupo (o 2º componente en el CP) que explica más bajo porcentaje de varianza, vincula fuertemente los metales pesados con los contenidos de MO.

Dicho comportamiento cambia cuando el suelo se ve afectado por actividades agropecuarias, debido a que la misma introduce cantidades significativas de K^{+} y metales pesados, alterando así el estado de equilibrio del suelo, el cual queda de manifiesto al analizar los perfiles de suelo bajo actividad ganadera, observándose un cambio en los grupos preexistentes. Si bien los dos perfiles presentan comportamientos diferentes, ambos muestran la incidencia de la actividad humana. A diferencia del suelo natural, el ubicado bajo cría intensiva de bovinos (S88), muestra el 2º grupo del cluster y la 1º componente del CP, que expresan mayor % de la varianza, ligados a la MO y metales pesados, asociación de variables que expresan la alteración ganadera. El perfil S86, con menor intensidad de cría, el 1º grupo cluster y la 1º componente CP queda representada por una asociación de K^{+} con los metales que también expresa las diferencias con el suelo natural y la relación con la actividad ganadera.

Los análisis del perfil S88 indican que la actividad ganadera aporta niveles significativos de MO y metales pesados al soporte edáfico como así también genera incrementos en los contenidos de K^{+} , los que en conjunto producen alteraciones en el equilibrio natural del suelo. Por su parte el criadero de cerdos incorpora mayormente cantidades apreciables de metales pesados y K^{+} , pero no de materia orgánica lo cual queda de manifiesto al no existir una asociación tan clara entre las variables antes mencionadas.

En general los resultados hallados indican claramente que la actividad ganadera, produce alteraciones en las condiciones de equilibrio del soporte edáfico, lo cual podría resolverse en una disminución o pérdida de sus propiedades como sumidero, pasando a ser fuente de contaminantes y permitir la llegada de los mismos al acuífero freático.

11.3. METALES PESADOS EN EL ACUÍFERO FREÁTICO

En el apartado anterior, se determinó la presencia de metales pesados en el soporte edáfico y las concentraciones de los mismos para cada horizonte. La superación de ciertos umbrales en determinadas ocasiones puede ocasionar que el suelo deje de actuar como sumidero para pasar a ser fuente y permitir la llegada de los metales al acuífero freático. Con el objetivo de identificar la presencia de metales pesados en el agua subterránea, producto de la actividad agrícola – ganadera, se seleccionaron 8 perforaciones y muestrearon dos tramos del arroyo La Colacha (agua superficial) figura N° 11.3, determinándose las concentraciones de los metales Zn, Cu, Fe, Mn y Co, a través del método de absorción atómica (laboratorio LIQA, Villa María). Los resultados fueron procesados a partir de análisis estadístico descriptivo uni y multivariado de tipo exploratorio, utilizándose el programa SPSS.

11.3.1. ANÁLISIS DE LABORATORIO

Los resultados del análisis de laboratorio de las 10 muestras seleccionadas (8 de agua subterránea del acuífero freático y 2 del agua superficial del arroyo La Colacha), se expresan en la tabla N° 11.3.1.a.

Muestras	Zn (µg/L)	Cu (µg/L)	Fe Total (µg/L)	Mn (µg/L)	Co (µg/L)
88	31	22	53	1	11
86	38	23	359	4	9
80b	38	4	10	3	4
47	316	23	57	2	8
81	19	4	38	2	8
36	16	6	65	5	4
26	20	3	25	2	7
32	7	7	27	3	6
A1	14	4	75	5	8
A2	5	3	137	2	3

Tabla N° 11.3.1.a.: Metales Pesados en aguas subterráneas.

11.3.2. METALES PESADOS VS. GEOQUÍMICA DEL AGUA

En la figura N° 11.3.2., se representa mediante diagramas circulares, las concentraciones de metales pesados para cada una de las perforaciones seleccionadas. Los metales Fe y Zn son los que se encuentran en mayor proporción en el acuífero freático. La tabla N° 11.3.2.a., expresa los estadísticos descriptivos para las 10 muestras (metales pesados y restantes iones mayoritarios en mg/l).

	Media	Mínimo	Percentil 25	Mediana	Percentil 75	Máximo	Rango	Desv. típico	Varianza
PH	7,84	7,21	7,53	7,83	8,03	8,95	1,74	0,49	0,24
CE	1358,9	919,0	1019,2	1357,0	1643,50	1883,	964,0	362,5	131457
HCO ₃ ⁻	483,23	7,30	425,00	520,00	618,75	687,50	680,20	192,12	36908,7
SO ₄ ⁻²	105,29	30,30	53,75	71,20	150,53	288,70	258,40	84,16	7083,15
Cl ⁻	55,71	11,40	27,13	47,15	85,03	117,10	105,70	35,36	1250,01
Na ⁺	267,13	145,60	205,28	269,95	321,52	376,10	230,50	72,65	5277,90
K ⁺	10,64	7,30	8,60	9,60	13,35	14,80	7,50	2,69	7,24
Ca ⁺²	25,60	9,60	15,20	21,20	40,00	48,80	39,20	13,60	185,03
Mg ⁺²	11,11	3,40	6,08	10,00	15,23	23,90	20,50	6,35	40,29
AS	0,127	0,008	0,066	0,140	0,173	0,240	0,232	0,071	0,005
F ⁻	4,18	1,70	2,40	4,10	5,45	8,20	6,50	2,07	4,27
NO ₃ ⁻	28,93	0,90	1,73	8,75	67,50	110,00	109,10	38,98	1519,60
Zn	0,05	0,01	0,01	0,02	0,04	0,32	0,31	0,09	0,01
Cu	0,02	0,00	0,00	0,01	0,02	0,04	0,04	0,01	0,00
Fe	0,06	0,01	0,01	0,03	0,06	0,36	0,35	0,11	0,01
Mn	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
Co	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00
OD	4,92	2,52	3,63	4,80	5,92	8,23	5,71	1,68	2,83

Tabla N° 11.3.a.: Estadísticos descriptivos para 8 muestras de agua subterránea (metales pesados y restantes iones en mg/l).

El análisis estadístico univariado (figura N° 11.3.2.a.), expresado a través de diagramas de caja, representa la caracterización geoquímica de las 10 muestras seleccionadas (las dos muestras de agua superficial, son tenidas en cuenta dentro de los análisis estadísticos uni y multivariado porque en la época en que se relevaron, los arroyos se encontraban evacuando el caudal de base) y los contenidos de metales pesados analizados.

El carácter geoquímico de las muestras seleccionadas es bicarbonatada sódica y desde el punto de vista de la salinidad, son aguas dulces, con pH neutros a básicos (7-8,9), destacándose que los pH más básicos (8-8,9) corresponden a las dos muestras de agua superficial.

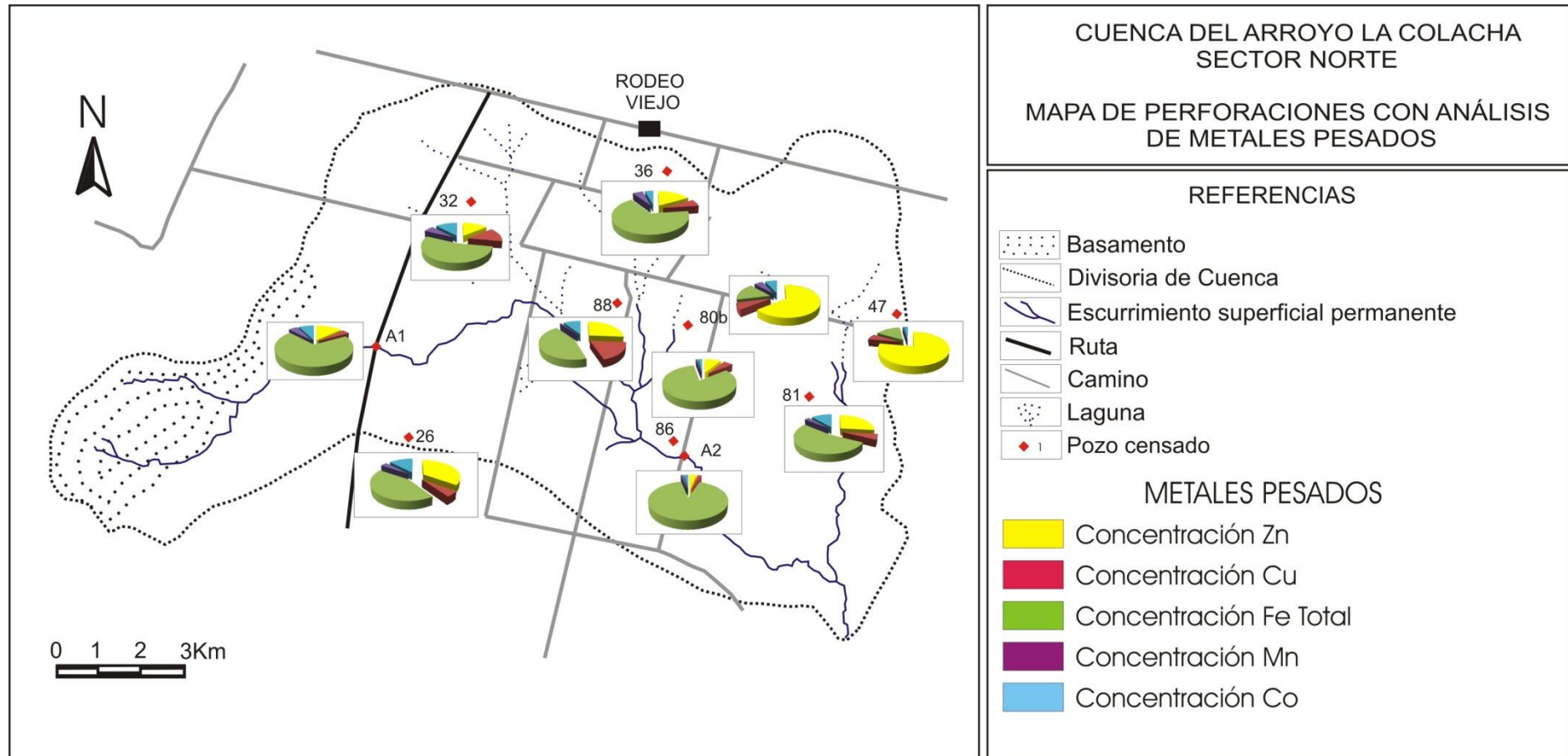


Figura Nº 11.3.2.: Mapa de perforaciones con análisis de metales pesados en el acuífero freático. Cuenca del arroyo La Colacha – Sector Norte.

El OD presenta en general valores por encima de la mediana (4,8), típicos de ambientes naturales con buena oxigenación, aunque se destaca que la presencia de las dos muestras de agua superficial por encontrarse en contacto directo con la atmósfera presentan valores por encima de 8 mg/L podría estar generando interferencia en los resultados hallados. Los valores localizados por debajo de la media corresponden con perforaciones localizadas en sectores bajo actividad ganadera.

Los metales pesados analizados (Zn, Cu, Fe, Mn y Co) presentan valores por debajo del límite admisible para consumo humano, con concentraciones bajas, que se localizan por debajo de los 0,100 mg/L. En el caso de Zn, la perforación 47 presenta un valor anómalo (outlier) de 0,320 mg/L, mientras que para Fe el dato outlier se registra en la perforación 86 con un valor de 0,360 mg/L.

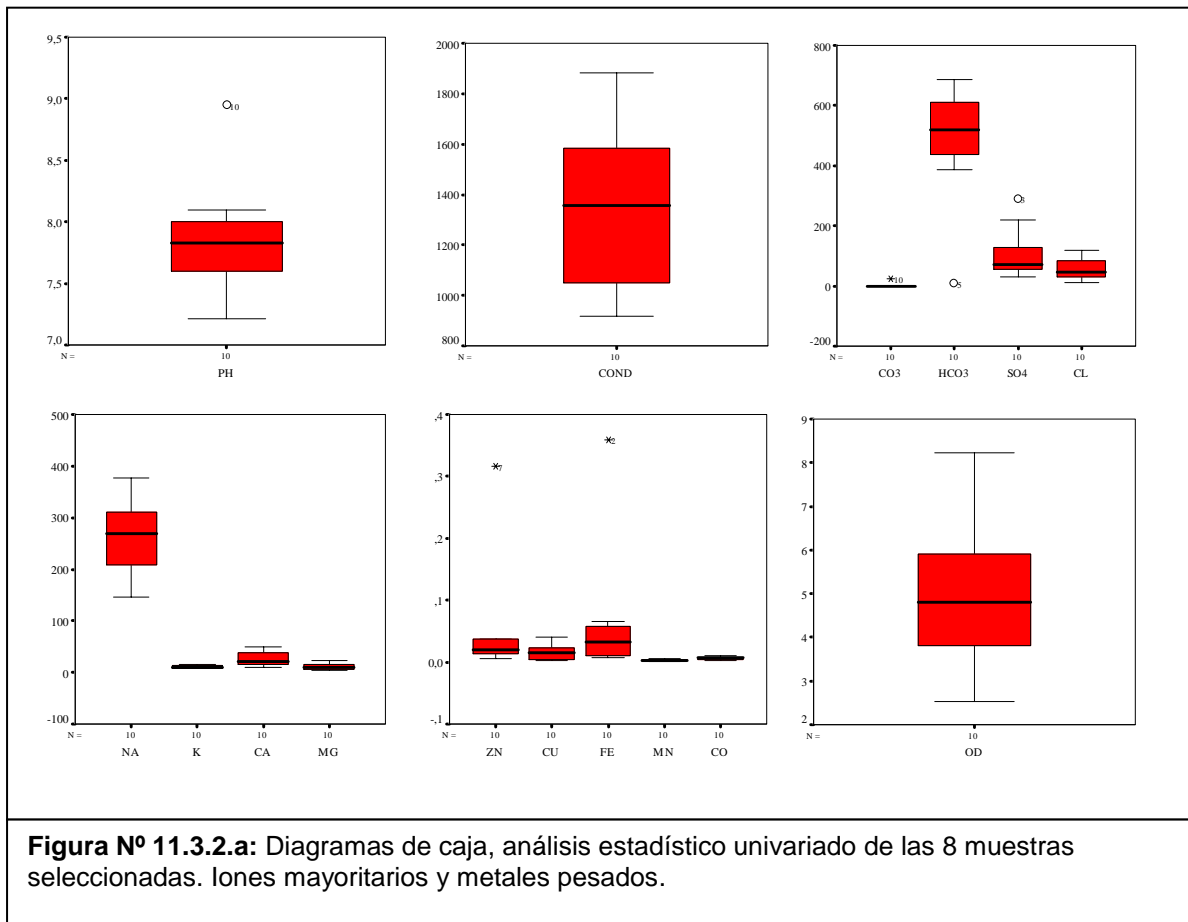


Figura Nº 11.3.2.a: Diagramas de caja, análisis estadístico univariado de las 8 muestras seleccionadas. Iones mayoritarios y metales pesados.

Con el objetivo de determinar posibles asociaciones hidroquímicas se llevó a cabo el análisis multivariado de las 10 muestras seleccionadas, considerando los iones mayoritarios y metales pesados en mg/L.

En el *análisis cluster* entre variables (figura N° 11.3.2.b.), se observan dos grandes grupos. El A que presenta dos núcleos principales, uno que asocia Na^+ , Cl^- , SO_4^- , K^+ , Ca^{+2} y Zn con la conductividad, explica la salinidad del agua destacándose una asociación de Zn con Ca que puede estar asociada a los carbonatos que se agregan con la actividad ganadera y/o agrícola que poseen en su composición metales pesados y el otro HCO_3^- , NO_3^- , (asociación ya observable en el capítulo 9, muy vincula a contaminación por MO) que también aportan en forma importante a la salinidad total del agua. El B agrupa los elementos Fe, Co, Mg^{+2} , Cu y Mn vinculados directamente al núcleo pH-OD, indicando la fuerte incidencia que estos últimos presentan en el comportamiento de los metales pesados en el acuífero freático. La asociación de Mg^{+2} con los metales podría indicar un origen común, lo cual es coherente si se considera que los complejos proteicos suministrados a los animales en la cría intensiva aportan además de metales pesados cantidades significativas de óxido de magnesio.

En el *análisis factorial de componentes principales* (figura N° 11.3.2.c.), se han tomado las cuatro primeras componentes, ya que explican en conjunto el 79% de la varianza. La primera componente asocia fuertemente Mg^{+2} , Cu, Fe, Co y en menor grado Mn, lo que podría indicar que dichos elementos provienen de la misma actividad. La segunda componente vincula SO_4^- , Cl^- , Na^+ y K^+ con la conductividad, explicando al igual que el análisis cluster la salinidad del agua. La tercera componente relaciona negativamente a OD con NO_3^- , esto podría vincularse a que los aumentos de oxígeno disuelto en el acuífero freático provocan la disminución en los contenidos de nitratos, aspecto coherente con los típicos procesos de reducción de nitratos si baja el OD en un acuífero. La cuarta componente explica un bajo porcentaje de varianza pero muestra la correlación positiva entre Zn y Ca^{+2} , presentando ambos una relación directa como se observara en cluster, pero negativa con pH mostrando

que los pH ácidos aumentan los valores en solución de Zn y Ca⁺² en el acuífero freático.

Dendrograma

* * * H I E R A R C H I C A L C L U S T E R A N A L Y S I S * * *

Dendrogram using Average Linkage (Between Groups)

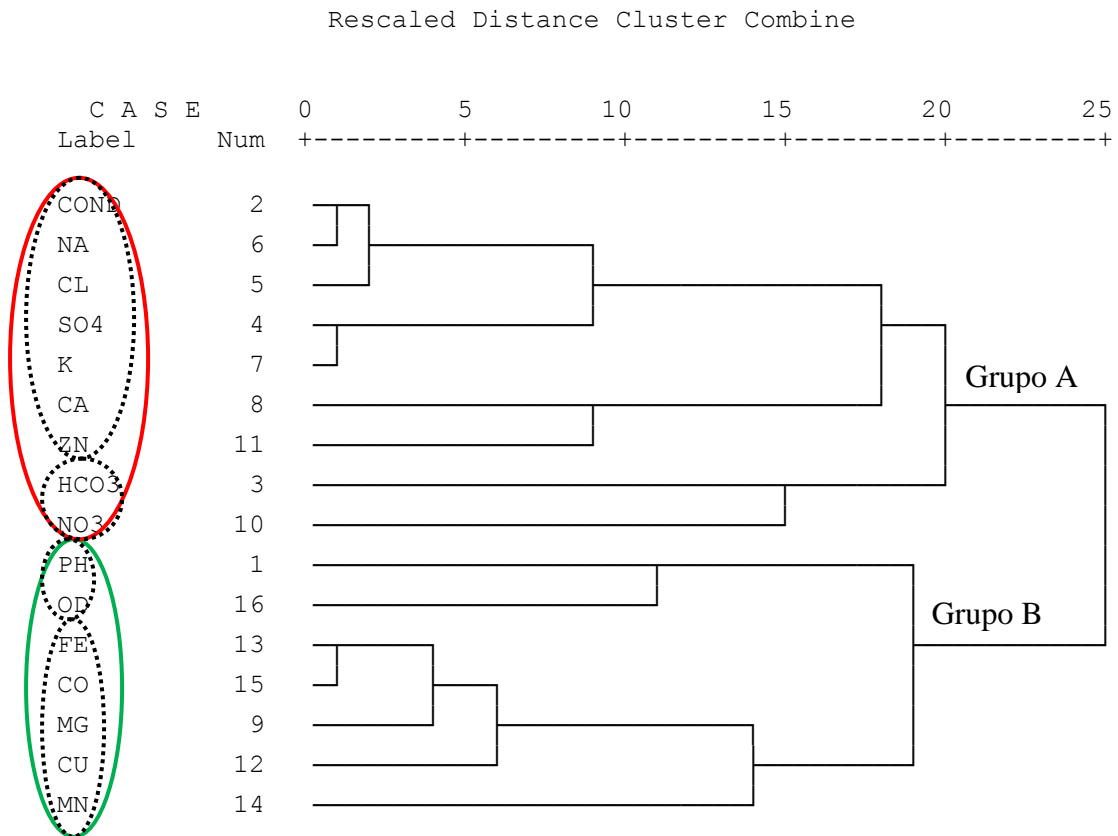


Figura Nº 11.3.2.b: Dendrograma en modo R.

Matriz de componentes rotados(a)

	Componente			
	1	2	3	4
PH	,334	-,017	,280	-,625
COND	-,050	,947	-,183	,076
HCO3	,334	,087	-,173	-,045
SO4	-,083	,815	,327	,391
CL	-,088	,836	-,360	-,212
NA	-,250	,796	-,369	,000
K	-,169	,799	,178	,455
CA	,582	,214	,462	,614
MG	,870	,101	,194	-,351
NO3	-,005	,295	-,788	-,100
ZN	-,071	,153	,102	,948
CU	,826	-,134	,047	,136
FE	,963	-,174	-,165	-,028
MN	,440	-,295	-,284	-,130
CO	,890	-,381	,182	-,052
OD	,126	-,063	,915	,031

Método de extracción: Análisis de componentes principales.
 Método de rotación: Normalización Varimax con Kaiser.
 a La rotación ha convergido en 13 iteraciones.

Gráfico de componentes en espacio rotado

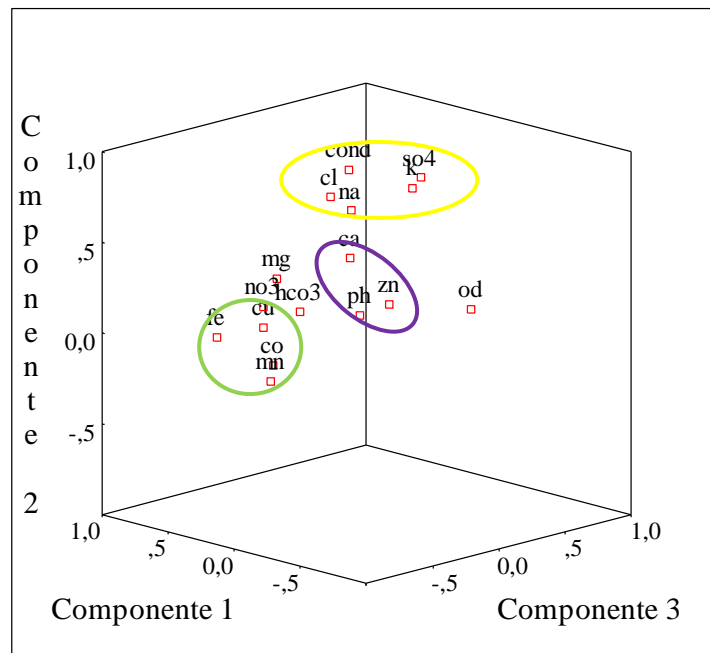


Figura Nº 11.3.2.c: Análisis de Componentes Principales.

Dado que el comportamiento de metales pesados (Zn, Cu, Fe, Mn y Co) en el acuífero freático se halla altamente condicionado por los niveles de oxígeno disuelto (OD) y pH, se realizó el análisis cluster y de componentes principales entre las variables antes mencionadas, con el fin de reconocer asociaciones más directas.

En el análisis cluster (Figura N° 11.3.2.d.) se reconocen dos grandes grupos, el A que presenta dos núcleos importantes, uno que vincula los metales pesados Fe, Co y Cu, mientras que el segundo grupo asocia pH y OD, en conjunto ambos núcleos explican el control que pH y OD tienen en el comportamiento de dichos metales. El Zn se presenta prácticamente desvinculado de los restantes, como ya se mostrara en la geoquímica general.

Las asociaciones antes descritas se observan nuevamente en el análisis de componentes principales (figura N° 11.3.2.e.), donde se han seleccionado las tres primeras componentes por explicar en conjunto el 89,68% de la varianza. La primera componente asocia fuertemente los metales pesados Fe, Co, Cu y en menor grado Mn. La segunda componente explica la asociación positiva entre pH y OD y ambos opuestos al Mn, indicando que para valores más bajos de estas variables, aumentará el contenido en Mn. La tercera componente asocia negativamente pH y Zn, justificando que los valores más altos de Zn se encuentran en aquellos sitios con más bajos pH.

Dendrograma

* * * H I E R A R C H I C A L C L U S T E R A N A L Y S I S * * *

Dendrogram using Average Linkage (Between Groups)

Rescaled Distance Cluster Combine

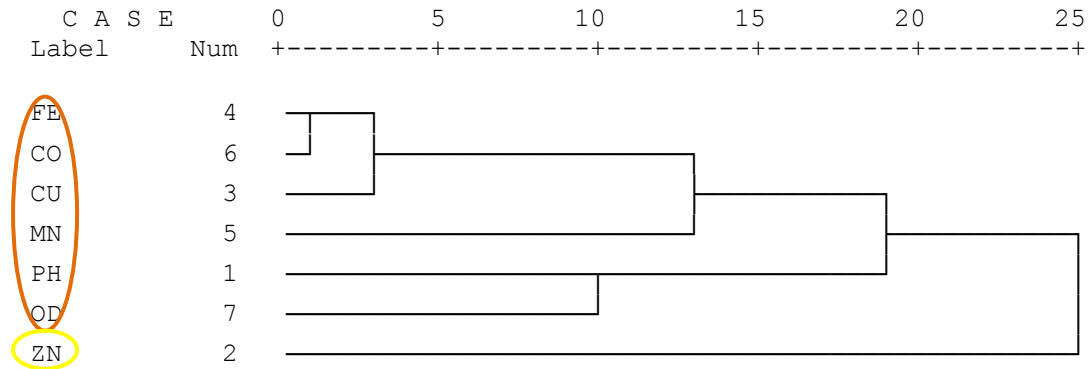


Figura Nº 11.3.2.d.: Dendrograma en modo R.

Matriz de componentes rotados(a)

	Componente		
	1	2	3
PH	,326	,649	-,632
ZN	,000	,147	,981
CU	,893	,295	,098
FE	,948	-,230	-,112
MN	,507	-,741	-,142
CO	,938	,085	-,154
OD	,182	,857	,055

Método de extracción: Análisis de componentes principales.
 Método de rotación: Normalización Varimax con Kaiser.
 a La rotación ha convergido en 5 iteraciones.

Gráfico de componentes en espacio rotado

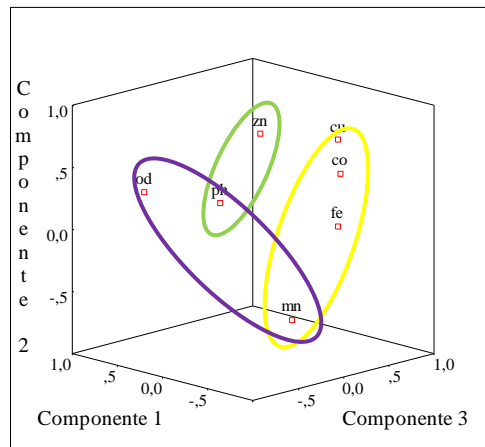


Figura Nº 11.3.2.e.: Análisis de Componentes Principales.

11.3.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis multivariado de agrupamiento y factorial por componentes principales para las 10 muestras de agua, permiten identificar fundamentalmente 2 grupos: iones mayoritarios que permiten explicar la salinidad del agua (donde además Zn se encuentra vinculado) asociados al núcleo HCO_3^- , NO_3^- que muestra la incidencia de la actividad ganadera sobre el agua subterránea y el segundo que indica la asociación entre los metales pesados (derivados de dicha actividad) y los valores de pH y OD presentes en el medio acuífero. Cuando se analiza por separado los metales pesados y pH-OD en el análisis de componentes principales se observa un comportamiento diferencial entre los metales, siendo Fe, Co, Cu y Mn los que mayormente dependen de los niveles de pH y OD, mientras que Zn se ve condicionado solamente por los bajos valores de pH.

Según Blarasín *et al.* (2007), los valores de fondo natural en el área de estudio para Zn presenta un rango de 0,2 hasta 8,5 y valor característico de 3,04 $\mu\text{g/l}$, mientras que para Cu el rango es de 0,29 hasta 4,03 $\mu\text{g/L}$ y valor característico de 2,03 $\mu\text{g/L}$. El análisis de las 10 muestras de agua indica que varias de ellas se encuentran por encima de estos rangos aunque, especialmente las superficiales están por debajo, en particular en el caso del Cu. Podría destacarse que los más altos valores de Cu y Zn se corresponden con las muestras de agua subterránea correspondientes a las perforaciones 88, 86 y 47 (para Cu) y 88, 86, 47 y 80 b para Zn. En todos los casos se trata de captaciones que poseen al lado cría intensiva, aunque en el caso de la muestra 47 (Campo La Aguada) la anomalía podría vincularse a la actividad agropecuaria en general que se desarrolla en su entorno desde hace varios años. Con excepción de las 4 mencionadas, las restantes muestras, y dada la escasez de datos, podrían en principio no incluirse como anomalías, hasta tanto se disponga de más información. De los tres metales restantes (Fe, Co y Mn) no se disponen datos de fondo natural, pero se destaca la elevada concentración que Fe presente por sobre el resto de los metales en el 80% de las muestras y sólo dos perforaciones (47 y 80b) presentan al elemento Zn como dominante. Los valores altos de Fe en el acuífero se asocian a los bajos

valores de oxígeno disuelto, que genera una anaerobiosis moderada, favorable para la desorción de metales o la entrada de los mismos en solución, mientras que los de Zinc se vinculan a pH algo más bajos y a su mayor movilidad en general (Ciria Ciria *et al.*, 2005).

En el caso de las dos perforaciones bajo actividad ganadera, además de presentar a Fe y Zn como los metales dominantes en solución, poseen elevadas concentraciones de NO_3^- y Cl^- (ambos iones por encima de valores de fondo natural, como se explicará más adelante), evidenciando la llegada de contaminantes al acuífero por parte de dicha actividad.

Los análisis de laboratorio, indican que las concentraciones de metales pesados en el agua subterránea se encuentran por debajo del límite admisible para consumo humano. Atendiendo a que los suelos, dada la actividad ganadera, presentan aumento en los valores de Zn y Cu, asociados a MO, y que en el acuífero en las dos perforaciones que se encuentran al lado del muestreo de suelos, se observa aumento de Zn y Cu respecto al fondo natural, puede inferirse que, si bien en muy pequeña magnitud, hay una migración de los metales hacia el acuífero, como se demuestra más adelante.

11.4. ENSAYOS BATCH – COEFICIENTE DE PARTICIÓN (K_d)

Con el objetivo de analizar el comportamiento de los metales que eventualmente lleguen al acuífero, se realizaron ensayos específicos por primera vez para esta región del Sur de Córdoba.

11.4.1. INTRODUCCIÓN

Las reacciones entre los solutos y la superficie de los sólidos juegan un importante rol en el control de la composición química de las aguas subterráneas. Pueden retardar e incluso minimizar el transporte de contaminantes.

Las relaciones de equilibrio entre el agua que contiene un elemento traza y los sólidos granulares que conforman el acuífero se representan a través de isotermas de adsorción, que se pueden determinar experimentalmente a través de Ensayos Batch.

Una vez que el equilibrio químico se ha alcanzado, son los procesos de adsorción y desorción los que controlan la migración de contaminantes como metales pesados (Krupka et al., 1999). Como resultado de la adsorción, una parte o toda en algunos casos del contaminante es retenida por las partículas del sólido, la fracción que no se adsorbe queda en solución. La relación entre las concentraciones adsorbidas y en solución se denomina coeficiente de partición o de distribución K_d y se expresa como (Appelo y Postma, 1993)

$$K_d = C_{ads} / C_{sol} \quad (1)$$

donde C_{ads} es la concentración adsorbida expresada en mg/g de sedimento y C_{sol} la concentración en solución en mg/L.

En la ecuación de transporte:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = -v \left(\frac{\partial C}{\partial x} \right) + DL \left(\frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \right) - S \quad (2)$$

donde C es la concentración, t el tiempo, x la trayectoria de flujo recorrida, v la velocidad de Darcy, DL el coeficiente de dispersión longitudinal y S la concentración adsorbida, de modo tal que el primero es el término advectivo, el

segundo el término dispersivo y el tercero el término fuente sumidero (Appelo y Postma, 1993), el término fuente/sumidero puede ser expresado por el K_d

$$S = (\partial q / \partial t) \times x = K_d (\partial C / \partial t) \times x \quad (3)$$

El coeficiente de partición K_d aparece entonces como un factor de suma importancia en el transporte reactivo, representando el término fuente-sumidero y explicando la diferencia de velocidad en el desplazamiento de los elementos con valores de $K_d > 0$ (no conservativos) con respecto a la velocidad del agua. Esto se expresa en el coeficiente de retardo según el cual

$$V_c = v_a / (1 + (\rho\beta/\eta) \cdot K_d) \quad (4)$$

donde V_c es la velocidad del contaminante, v_a la velocidad del agua, $\rho\beta$ es el peso específico del sedimento y η su porosidad, siendo $v_a/V_c = R = 1 + (\rho\beta/\eta) \cdot K_d$, donde R resulta ser el **coeficiente de retardo**, el cual indica la cantidad de veces que el metal analizado se retrasa con respecto a la velocidad real del agua.

El análisis de metales pesados en los dos sitios dedicados a la cría intensiva de animales, ha indicado la presencia de metales pesados en suelo y se interpreta la llegada de los mismos aunque mínima al acuífero freático. Con el fin de determinar la simulación de transporte reactivo en el acuífero freático del área y realizar un aporte a los conocimientos hidrodinámicos ya descritos, se llevó a cabo la determinación del coeficiente de partición (K_d). Para dicho estudio, se seleccionó al elemento Zn, por ser el de mayor concentración en las aguas subterráneas (316 $\mu\text{g/l}$) y por no ser un metal afectado por procesos redox, lo cual simplifica la interpretación de los resultados.

11.4.2. METODOLOGIAS DEL ENSAYO

CALIBRACIÓN DE FOTÓMETRO MULTIPARÁMETRO C99 – C200 (HANNA)

El *Fotómetro Multiparámetro C99-C200 (Hanna)*, fue empleado para determinar las concentraciones de Zn en el extracto de saturación, lo cual requirió su previa calibración, puesto que era la primera vez que se utilizaba en

el Laboratorio de Geoquímica de Aguas del Departamento de Geología–UNRC, para la determinación de dicho metal.

La calibración del instrumento se llevo a cabo en dos etapas:

- 1- Preparación de las soluciones patrón del elemento Zn. Las soluciones se prepararon con agua destilada y el reactivos $ZnCl_2$. Las concentraciones empleadas para Zinc, fueron 1, 2, 3, 10, 50, 70, y 100 ppm.
- 2- Obtenidas las soluciones patrón, se procedió a la medición de cada una de ellas en el *Fotómetro multiparámetro C99-C200 (Hanna)*. Los resultados obtenidos se expresan en la tabla N° 11.4.2.a.

Muestras	Concentración de Zn Solución Patrón (ppm)	Concentración de Zn Fotómetro Hanna (ppm)
1	1	1
2	2	2
3	3	3
4	10	10
5	50	50,2
6	70	71,5
7	100	98

Tabla N° 11.4.2.a.: Concentración de Zn para Calibración del Fotómetro Multiparámetro C99-C200 (Hanna).

En la figura N° 11.4.2., se observan la curva de regresión del elemento zinc, encontrándose una alta correlación $R = 0,99$. Los resultados indican que el Fotómetro está calibrado correctamente para proceder a la lectura del elemento zinc en las 8 muestras seleccionadas de agua subterránea.

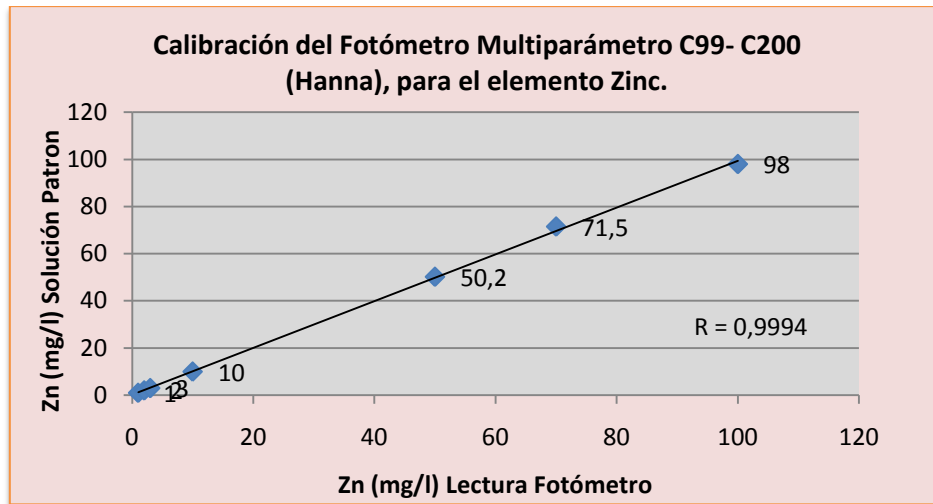


Figura Nº 11.4.2.: Curva de Regresión del elemento Zn, entre la Solución Patrón y la Lectura del Fotómetro Multiparámetro C99- C200 (Hanna)

Los resultados obtenidos, a partir del Fotómetro Multiparámetro C99- C200 (Hanna) se encuentran en la tabla Nº 11.4.2.b. Las mediciones de Zinc para las 8 muestras fueron realizadas mediante diversas técnicas, las cuales consistieron en la determinación del elemento en muestras de agua:

- 1- Sin filtrar.
- 2- Filtradas (trama 45 μ)
- 3- Filtradas (trama 589 μ) y centrifugadas.
- 4- Filtradas (trama 45 μ) y centrifugadas.
- 5- Filtradas (trama 45 μ) y acidificadas.

Muestras	No Filtradas	Filtradas 45 μ	Filtradas (45 μ) y centrifugadas	Filtradas (45 μ) y acidificadas	Filtradas (589) y centrifugadas
88	0,00	0,03	0,00	0,06	0,12
86	0,00	0,02	0,00	0,18	0,06
80b	0,04	0,01		0,05	0,15
47	0,58	0,54	0,44	0,51	0,74
81	0,00	0,00	0,02	0,00	0,16
36	0,00	0,00			0,08
26	0,05	0,01			0,16
32	0,00	0,00			0,14

Tabla Nº 11.4.2.b.: Concentración de Zn obtenidas mediante el Fotómetro Multiparámetro C99-C200 (Hanna), a través de diversas técnicas.

Los datos resultantes de los dos métodos empleados (Adsorción Atómica – LIQA y Fotómetro Multiparámetro C99 – C200 Hanna), fueron correlacionados con el fin de obtener una curva de regresión que permita determinar la precisión de lectura del fotómetro (figura N° 11.4.2.a.). Para el caso se utilizó el elemento Zinc por ser el único que se determinó con ambos métodos, considerando los resultados del fotómetro correspondientes a las muestras filtradas con trama de 45 μ .

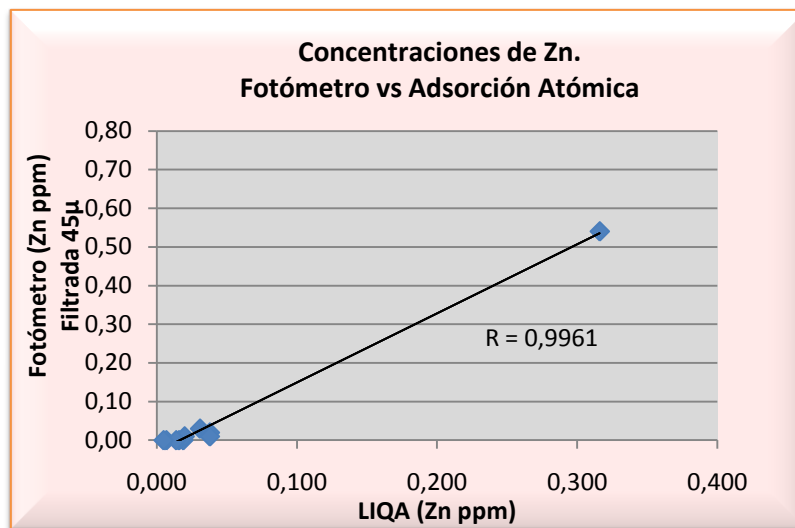


Figura N° 11.4.2.a.: Gráfico de Correlación. Concentración de Zn – Fotómetro (Filtrada 45 μ) vs Adsorción Atómica.

La curva de regresión muestra una alta correlación ($R= 0,9961$) entre los valores obtenidos por ambos instrumentos, al igual que la curva realizada para las concentraciones de zinc por debajo de 0,040 mg/l (es decir para valores muy bajos que son los más difíciles de detectar) donde se obtuvo una correlación del orden de $R=0,70$ (figura N° 11.4.2.b.). A partir de ambas gráficas se deduce que el Fotómetro Multiparámetro C99 – C200 Hanna lee con buena precisión los tenores de zinc presentes en las 8 muestras de agua subterránea.

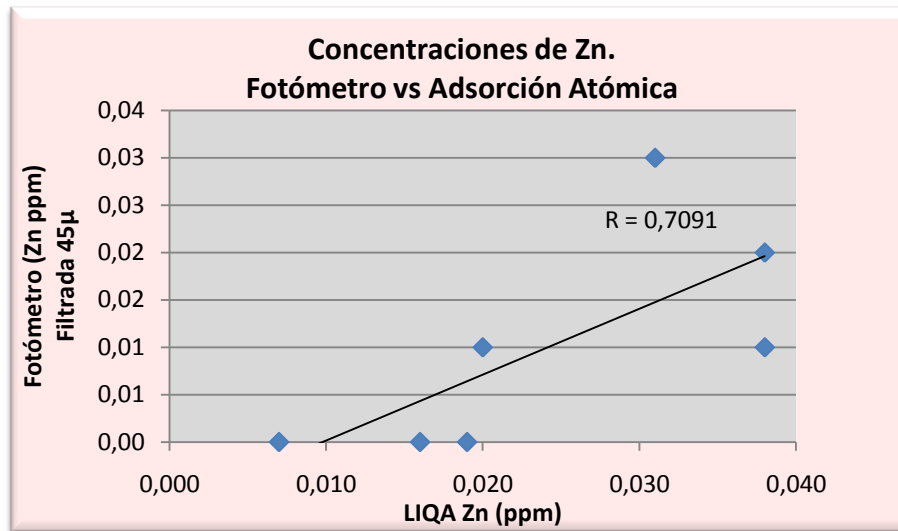


Figura Nº 11.4.2.b: Gráfico de Correlación para valores por debajo de 0,040 mg/l. Concentración de Zn – Fotómetro (Filtrada 45µ) vs Absorción Atómica.

11.4.3. DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE PARTICIÓN (K_d) Y COEFICIENTE DE RETARDO (R)

Una vez calibrado el fotómetro se procedió a la determinación del K_d , utilizando ensayos tipo Batch. Los ensayos Batch consisten en poner en contacto una masa de sedimento en estado natural (no contaminado) con soluciones con distinta concentración del metal a estudiar, sin renovación de la solución, pero con agitación constante por un período determinado y a un pH definido, a temperatura constante. Los sedimentos empleados para tal fin se corresponden a sedimentos loésicos de la Formación Pampiano, por ser estos de similares características a los que constituyen el acuífero de acuerdo a datos de perforaciones, aunque en algunos casos parte del espesor acuífero presenta menos cementación carbonática.

El análisis consistió en poner en contacto una masa de sedimento conocida con una serie de soluciones de $ZnCl_2$ de concentraciones crecientes. Las concentraciones de las soluciones utilizadas fueron 0, 1, 2, 3, 10, 50, 70 y 100 ppm ó mg de $ZnCl_2$. Para la preparación de los ensayos se utilizó una relación suelo-agua 1-10; colocando 2,5 g del sedimento y 25 ml de solución de Zn (con concentración conocida) en cada uno de los 7 vasos de precipitado. Se les incorporó un buzo metálico y se llevaron las muestras a un agitador termomagnético (marca “Arcano” como se observa en la Figura 11.4.3.a., con

calefacción y sonda de contacto que permite la regulación de la velocidad entre 0 y 1500 rpm y de la temperatura con rango desde 5 °C hasta 100 °C.) a temperatura constante de 25 °C durante 24 horas. Los ensayos se realizaron a valores de pH del orden de 8,4 que fue el adquirido por la solución bajo las condiciones del experimento.

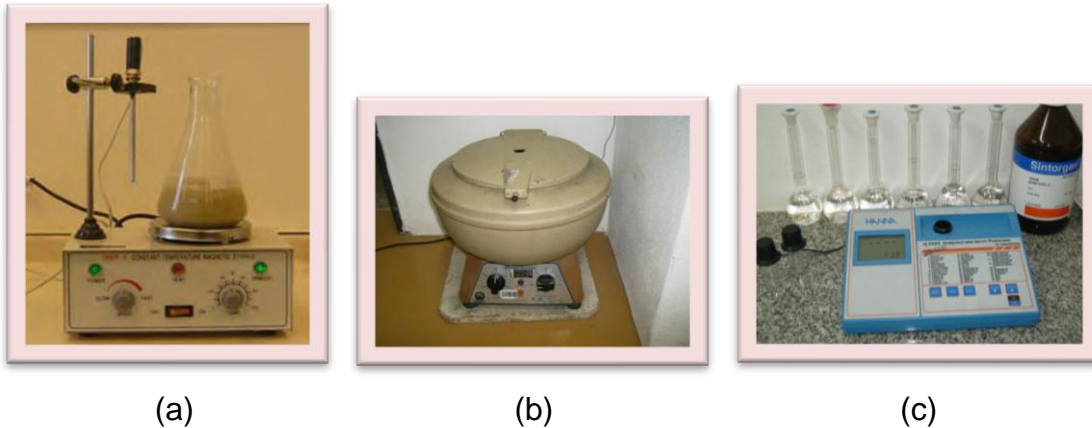


Figura Nº 11.4.3.a – b – c: a – Agitador termomagnético “Arcano”. b – Centrifuga “Rolco” modelo CM 2036. c – Fotómetro Multiparámetro C99 – C200 Hanna

Para poder separar la fase sólida de la líquida, se colocaron las soluciones en una centrifuga marca “Rolco” modelo CM 2036 (figura Nº 11.4.3.b.). El tiempo de centrifugación fue de 20 minutos a 1500 rpm. Se extrajo la solución líquida sobrenadante y se le determinó la concentración de Zinc mediante el uso del Fotómetro Multiparámetro C99 – C200 Hanna (figura Nº 11.4.3.c.). Conocidas la concentración inicial y final de Zn en la fase líquida, se determinó por diferencia la concentración de Zn presente en el sólido. Los valores se expresan en la tabla Nº 11.4.3.a.

Muestras	CC Inicial mg/L	CC final mg/L Solución	CC mg/kg Solido
1	0	0	0
2	1	0	10
3	2	0	20
4	3	0	30
5	10	0,1	99
6	50	0,74	492,6
7	70	0,83	691,7
8	100	2,74	942,6

Tabla Nº 11.4.3.a: Concentración inicial de Zn en solución, en cada ensayo Batch y concentraciones finales medidas en solución y en el sedimento. CC: Concentración.

Con los datos de concentración de Zn determinados en la solución y las concentraciones halladas en el sedimento, se graficó la isoterma de adsorción (figura N° 11.4.3). La curva obtenida se corresponde con la isoterma de Freundlich cuya ecuación general es:

$$S = KF * C^b \quad (5)$$

donde S es la masa de la sustancia adsorbida por unidad de masa del adsorbente, KF es el coeficiente de partición o distribución, C es la concentración del soluto cuando la adsorción se ha completado y b es la constante.

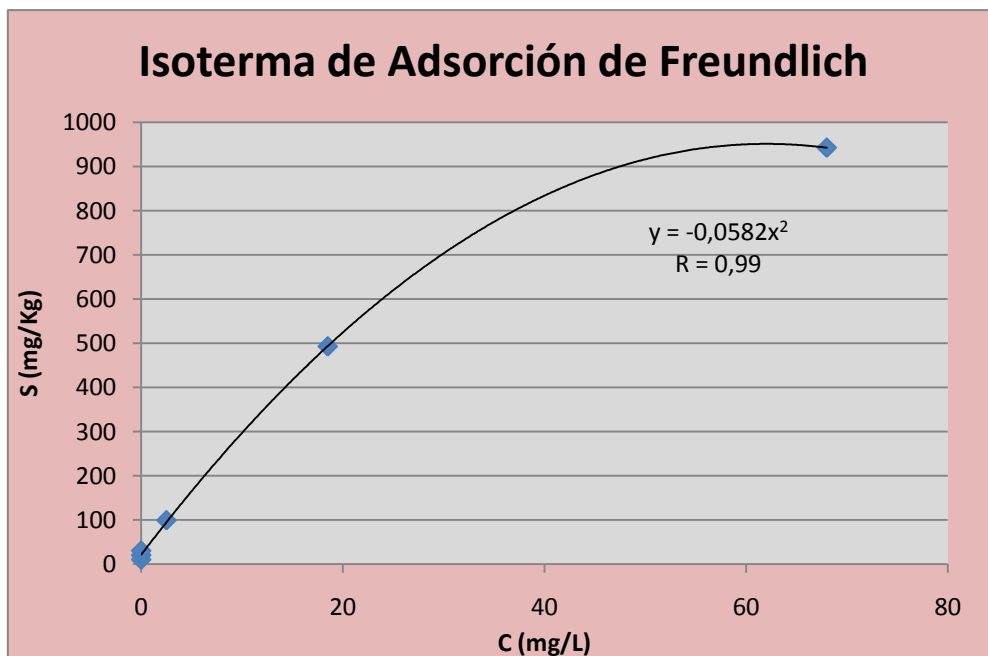


Figura N° 11.4.3: Isoterma de Adsorción de Freundlich o relación entre la concentración de Zn^{+2} en el sedimento (S) y la concentración de Zn^{+2} en solución (C).

A partir de esta ecuación es posible estimar el valor del coeficiente de partición Kd. La ecuación de Freundlich puede expresarse en forma logarítmica como:

$$\text{Log } S = \text{Log } Kd + b \text{ Log } C \quad (6)$$

de manera tal que un gráfico que tenga Log S como ordenada y Log C como abcisa determina una recta que tiene como ordenada al origen a Log Kd (figura

Nº 11.4.3.1). De acuerdo con esta ecuación el valor de K_d obtenido para los sedimentos del área de estudio fue 78,15 l/kg.

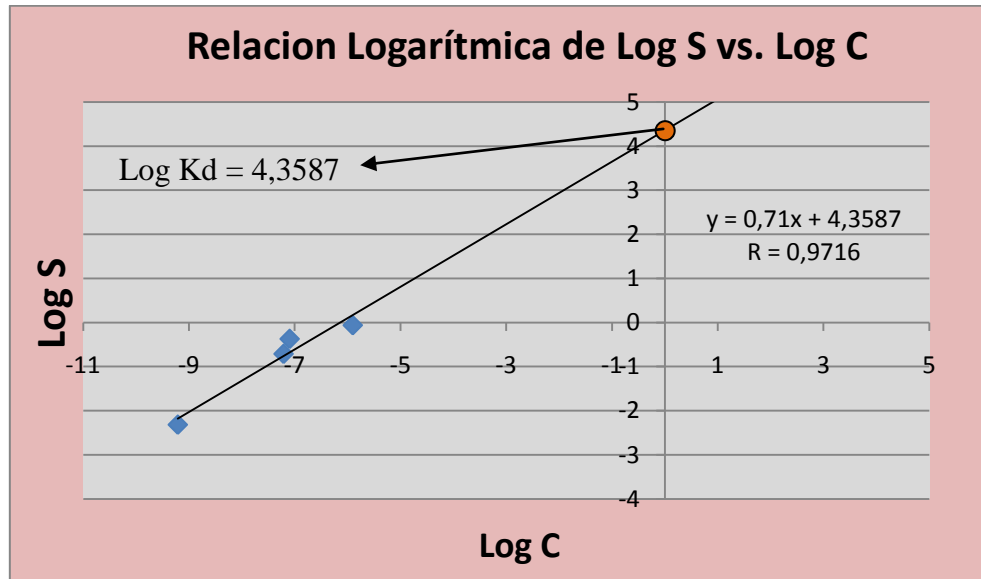


Figura Nº 11.4.3.1: Relación entre el Log de la concentración de Zn^{+2} en el sedimento (S) y el Log de la concentración de Zn^{+2} en solución (C).

La isoterma de Freundlich indica que el comportamiento de Zn^{+2} , en la fase líquida (C) y Sólida (S), no es lineal, ya que los incrementos paulatinos en las concentraciones aplicadas, se traducen en una primera instancia en la rápida adsorción por parte de la fase sólida, hasta alcanzar un valor límite, a partir del cual, las concentraciones iniciales comienzan a ser lentamente retenidas por las partículas sólidas, quedando mayor porcentaje de Zn^{+2} en solución.

El valor del coeficiente de partición (K_d), obtenido experimentalmente, fue empleado para el cálculo del Retardo, con el fin de obtener la diferencia de velocidad existente entre el desplazamiento de los elementos con valor de $K_d > 0$ y la velocidad del agua.

Dado que Zn^{+2} , ajusta su coeficiente de partición a la Isoterma de Freundlich, el coeficiente de retardo se obtiene a partir de la siguiente ecuación:

$$R = 1 + (\rho\beta/\eta) * Kd \quad (7)$$

donde R es el factor de retardo, $\rho\beta$ es el peso específico del sedimento, η su porosidad y Kd el coeficiente de partición.

Considerando un peso específico de 1,9 (kg/dm³), una porosidad de 0,25 y el valor de Kd ya obtenido (78,15 L/kg), se obtiene un R = 594. El resultado indica que Zn⁺² se retarda 594 veces, con respecto a la velocidad del agua, presentando una gran afinidad por la fase sólida.

A partir del cálculo de los coeficientes de partición (Kd) y retardo (R) y considerando la velocidad del agua, calculada a través de la Ley de Darcy para un elemento conservativo como "Cloruro" dado que este ion no sufre procesos de sorción, precipitación ni oxido-reducción manteniéndose inalterado en la solución, se determinó de forma teórica la simulación de transporte reactivo.

Los resultados hallados, indican que para una velocidad del agua de 0,14 m/día (ver Capítulo 9) y un tiempo estipulado de un año (365 días) el elemento conservativo recorre una distancia de 51,1 metros, mientras que para las mismas condiciones, el elemento no conservativo Zn⁺², se transporta 0,085 metros. Los valores indican que Zn⁺² además de transportarse advectivamente en el acuífero freático y verse afectado por mecanismos dispersivos y en menor grado difusivos (dispersión hidrodinámica), se halla sujeto a procesos de sorción por parte de los sedimentos presentes que ocasionan su retardo y justifican los valores pequeños hallados en solución. Así, con la información obtenida del Batch, puede indicarse que el Zn no se desplaza a la misma velocidad que el agua (0,14 m/día), sino que lo hace 594 veces menos, es decir con una velocidad de 0,0002 m/día. Debe aclararse que el pH del acuífero condiciona fuertemente el comportamiento de los metales pesados, por lo que se destaca que a pH menores que los usados en el ensayo Batch, del orden de los medidos en el acuífero, la adsorción del metal en el sedimento sería aún algo menor a lo calculado.

11.4.4. DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE TRANSITO DE ZINC EN UN ESTABLECIMIENTO DEL AREA.

En el establecimiento Zechin el corral de cerdos se localiza aguas arriba de la perforación de la que se abastecen. El objetivo de este apartado es determinar si los lixiviados producidos por el corral están generando una posible pluma contaminante y si la misma alcanza la perforación. Debido a la falta de perforaciones en el sector que permitan seguir la evolución espacial de las concentraciones de los elementos SDT, Cl^- , NO_3^- , OD, Zn y Cu, los que bajo situación de posible contaminación presentarían valores anómalos, se realizó una comparación entre los valores medidos en la perforación N° 86 para dichas variables y los correspondientes al fondo natural de los mismos para el área de estudio y además considerando los valores de retardo previamente calculados para Zn se determinó la velocidad de transito del mismo en el sector.

En la tabla N° 11.4.4.a. se expresan los valores correspondientes a las variables SDT, Cl^- , NO_3^- , OD, Zn y Cu medidas en la perforación N° 86. Los valores de fondo natural correspondientes a las variables Zn, Cu y NO_3^- fueron tomados de los datos calculados con anterioridad en el área de estudio, por Blarasín *et al.*, 2007), OD se compara con los valores característicos del acuífero freático en ausencia de procesos de contaminación determinado por (Blarasín *et al.*, 2005), mientras que los valores de SDT y Cl^- serán calculados en el siguiente trabajo empleando el método propuesto por Walter (2006), el que se basa en la exclusión de valores anómalos con valores superiores a un percentil determinado (por lo general el del 90%) considerando el supuesto distribucional escogido en cada caso. De las variables químicas analizadas se estudió el ajuste a diferentes distribuciones estadísticas normal, Laplace y lognormal, encontrándose que esta última es la que mejor ajusta.

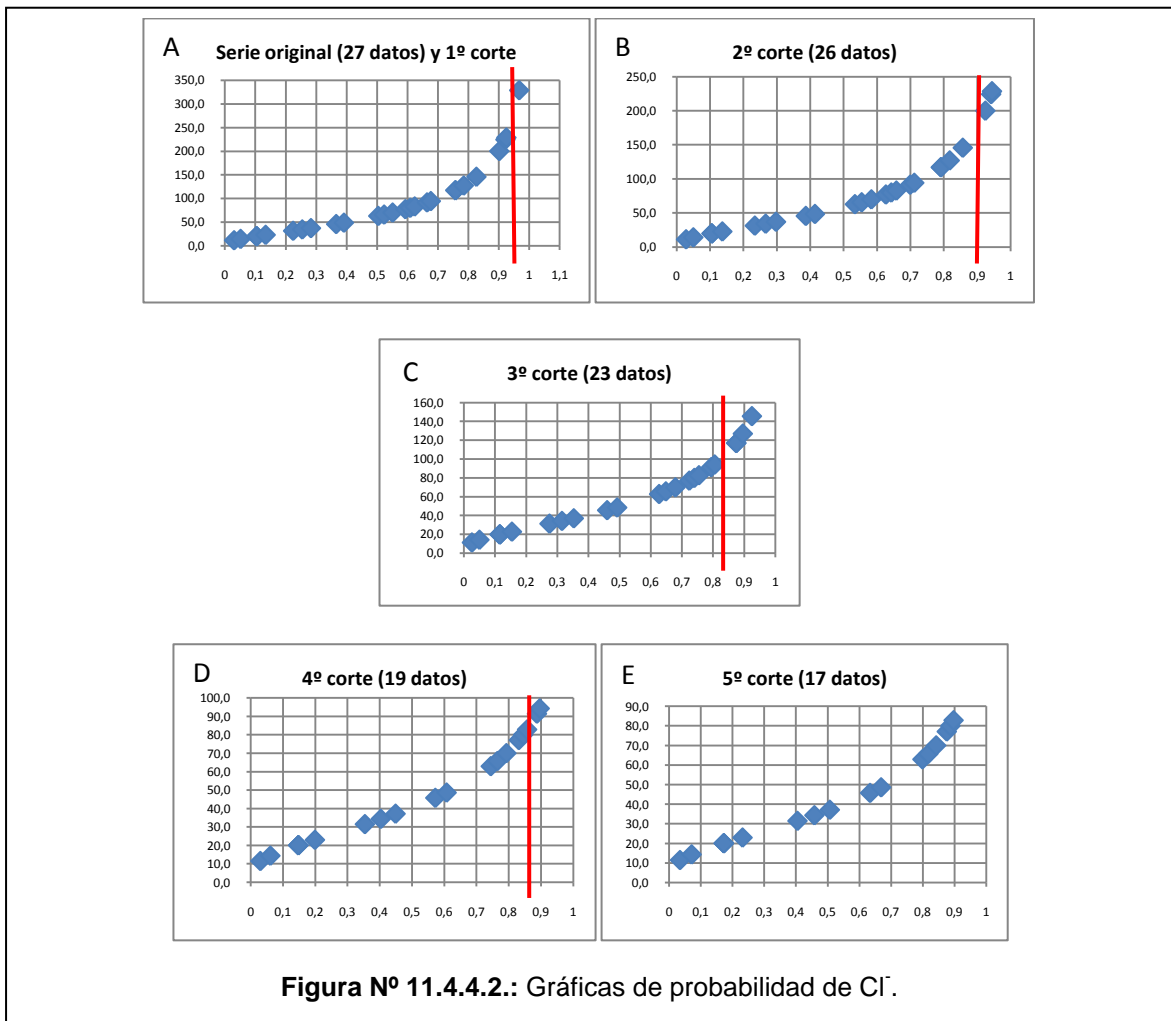
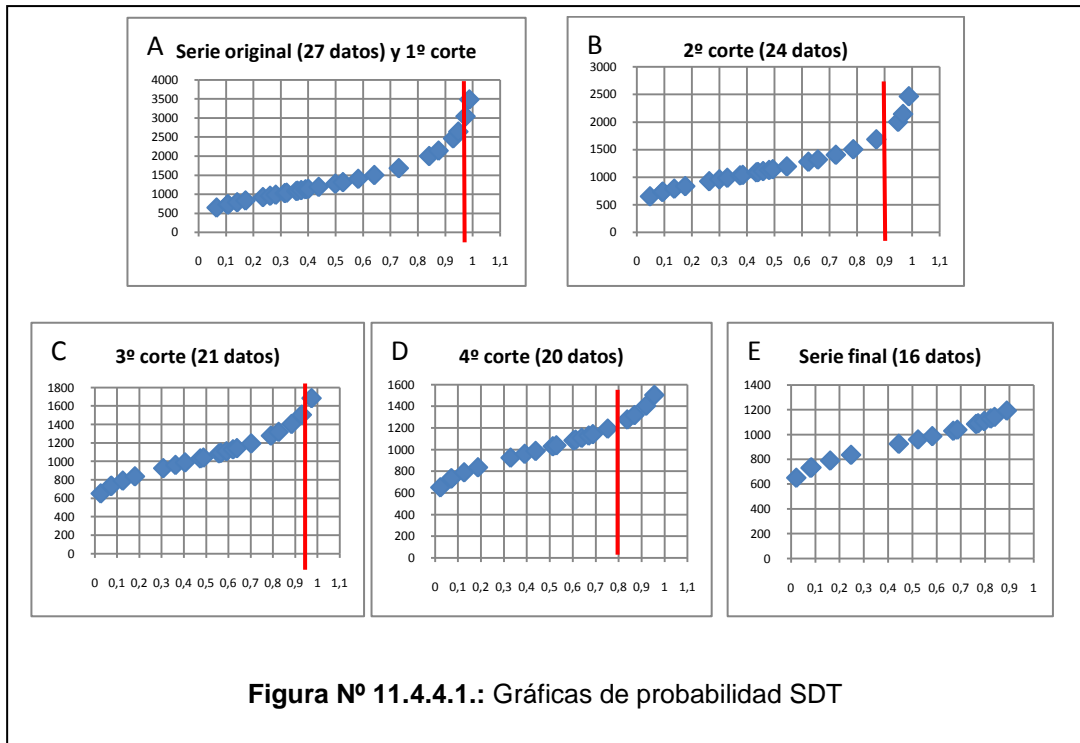
	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	µg/L	
	SDT	OD	NO ₃ ⁻	Cl ⁻	Zn	Cu
Nº 86	1.318	2,52	110,0	117,1	38	23

Tabla Nº 11.4.4.a: Datos pertenecientes a la perforación de agua subterránea (acuifero freático) Nº 86.

De acuerdo a la metodología de Walter y utilizando el total de las muestras (27), se procede a realizar la representación de los percentiles para las variables SDT y Cl⁻.

En el caso de SDT se considera como un primer punto de corte en el percentil del 94%, excluyéndose por lo tanto las observaciones que presentan valores superiores a 2.642 mg/L (Figura Nº 11.4.4.1.A.). Se realiza nuevamente el proceso de estimación pero sólo con las 24 observaciones restantes. Realizando el gráfico de los percentiles se observa que debería hacerse un nuevo corte al 90% (figura Nº 11.4.4.1.B.), es decir, eliminar los valores superiores a 1.684 mg/L. Se continúa con este proceso iterativo hasta que se alcanza un estado estable, es decir que se han eliminado los valores más atípicos. Como se observa en la figura Nº 11.4.4.2.E., luego del 4º corte los datos resultantes (n=16) representarían la población que Walter denomina “normal”, que en este caso considerando que no se han excluido los valores más pequeños de la serie, constituyen el rango de fondo natural, que va de 651 a 1.193 mg/L, cuyo valor característico de fondo, correspondientes al promedio de la serie final de 16 datos, es de 964 mg/L de SDT.

Con el mismo procedimiento que el caso anterior se llevó a cabo el cálculo de fondo natural para Cl⁻, hasta alcanzar un estado estable luego del 5º corte (figura Nº 11.4.4.2.E.), donde los datos resultantes (n=17) constituyen la población normal nominada según Walter, sin la exclusión de los valores más pequeños de la serie, constituyen el rango de fondo natural, que va de 11,4 a 82,9 mg/L, cuyo valor característico de fondo, correspondiente al promedio de la serie final de 17 datos, es de 43,8 mg/L de Cl⁻.



En la tabla N° 11.4.4.b. se expresan los valores característicos del fondo natural para los elementos antes mencionados.

	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	µg/L	
	SDT	OD	NO ₃ ⁻	Cl ⁻	Zn	Cu
Valores de fondo natural característicos	964	6	10,6	43,8	3,04	2,03
Valores de N° 86	1318	2,52	110,0	117,1	38	23

Tabla N° 11.4.4.b.: Datos pertenecientes al fondo natural del área de estudio para las variables seleccionadas.

Para el cálculo del tiempo de transito de Zn en el acuífero freático para el sitio en cuestión se consideró la velocidad de zinc previamente calculada ($v=0,0002$ m/día) y el espacio que dista entre el corral y la perforación ($e = 5$ m), a partir de la ecuación de velocidad $v = e/t$ donde: v es la velocidad del contaminante, e el espacio que recorre y t el tiempo que tarda en realizarlo. Del cálculo se obtuvo que deben transcurrir aproximadamente 58,21 años para Zn alcance la perforación de agua.

En función de los datos disponibles, se concluye que:

1- Los valores de SDT, Cl⁻, NO₃⁻, OD, Zn y Cu que pertenecen a la perforación N° 86 superan ampliamente a los valores de fondo natural, por lo que la actividad ganadera sería la responsable de la anomalía en dichas variables.

2- En el caso de Zn, el tiempo calculado (58,21 años) es suficiente para que el metal alcance la perforación, dado que la actividad presenta casi un siglo de antigüedad.

Por lo tanto se establece que la cría de porcinos y en menor grado bovinos en dicho establecimiento, está desarrollando una pluma contaminante que se expresa como un aumento de sales, Cloruros y Nitratos respecto al fondo natural, y pequeñas anomalías de metales y que la misma ya ha

alcanzado la perforación de agua. Dado el alto contenido de F y As del agua, la familia ha dejado de usarla para el consumo humano.

Con el fin de hacer más práctica la comprensión de la situación problema, se llevó a cabo la construcción de un esquema (figura N° 11.4.4.3.) el cual muestra la localización espacial del corral y la perforación, como así también la dirección de flujo de agua subterránea del acuífero freático y la evolución de la pluma contaminante.

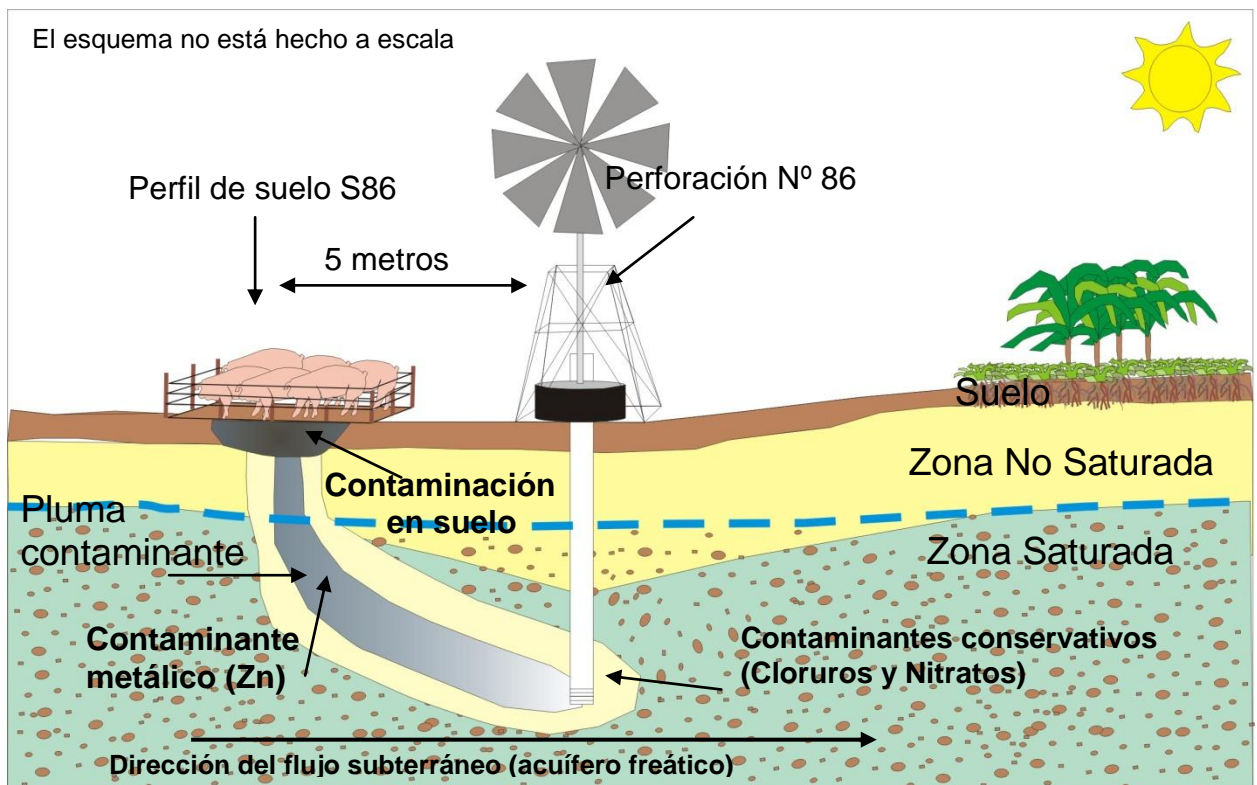


Figura N° 11.4.4.3.: Escenario de contaminación establecimiento Zechin.

CAPITULO 12

CONCLUSIONES

12. 1. CONCLUSIONES

La Cuenca del Arroyo La Colacha, está caracterizada por la presencia de una zona serrana, donde aflora basamento cristalino compuesto por rocas ígneas-metamórficas y un área extraserrana cubierta por sedimentos cuaternarios, predominantemente eólicos y aluviales, aunque especialmente en el pedemonte, aparecen subordinados depósitos coluviales.

El alto control estructural que presenta la cuenca, define una serie de bloques de distinta magnitud, ascensos y basculamientos, lo que sumado a la acción de los procesos exógenos, son responsables del modelado actual del relieve que fue diferenciado en 5 unidades geomorfológicas principales I- Sierra de Los Chañares; II- Llanura Eólica; III- Llanura Aluvial; IV- Alto Estructural y V- Pedimento Antiguo Cubierto que condicionan fuertemente la dinámica y calidad del agua superficial y subterránea.

El clima en la región es de tipo Mesotermal, Subhúmedo-Seco, con nulo a pequeño exceso de agua, concentrándose las máximas precipitaciones en los meses de primavera-verano. Dichas precipitaciones constituyen la principal entrada de agua al sistema fluvial y subterráneo (acuífero), siendo la P media anual de 933 mm. Realizado el balance hídrico seriado pudo establecerse que las precipitaciones se reparten en 88,42 % como agua devuelta a la atmosfera por ETR y que 11,68 % son excesos hídricos que escurren superficialmente y/o infiltran en forma efectiva alcanzando el acuífero. Los excesos hídricos muestran marcados ciclos a lo largo de la serie, presentando en general una tendencia creciente.

Los arroyos que integran la red de drenaje presentan en general un diseño rectilíneo, de fondo plano y paredes verticales altas, poseen un carácter efímero en cabecera, drenando caudales de tormenta, al llegar a la cuenca media adquieren un carácter permanente por evacuar además el caudal de base. En toda la cuenca los caminos rurales se incorporan a la red de drenaje por actuar como verdaderos colectores, particularmente aquellos en sentido general de la pendiente (NW-SE).

Desde el punto de vista hidrológico, se distinguen en la cuenca dos ambientes: El *medio fracturado* y el *medio poroso sedimentario*. El primero localizado en la Sierra los Chañares, presenta una serie de fracturas y diaclasas que se interconectan dando origen a un acuífero libre de bajo rendimiento debido a las bajas permeabilidades del sistema. El segundo, abarca el resto de la cuenca y según los estudios geológicos se asume que, en general, presenta al basamento como hidroapoyo. En este ambiente, y teniendo en cuenta la granulometría de los sedimentos (lo que permitió asumir valores de conductividad hidráulica) y los espesores (que permite calcular Transmisividad), se reconocieron 3 subambientes: la zona del pedimento antiguo, donde dada la baja transmisividad por la cercanía del basamento, pueden extraerse pequeños caudales (acuífero pobre), el área perteneciente a la faja fluvial, considerada un buen acuífero dados los aumentos de los espesores y las K y, finalmente, el que abarca la mayor extensión de la cuenca, la llanura eólica, considerada en general un acuífero moderadamente bueno, con ciertas limitaciones en el alto estructural.

En cuanto a la dinámica, el acuífero freático presenta una dirección de flujo de escurrimiento NW-SE coincidente en general con el sentido del flujo superficial, con pequeñas variaciones locales producto del alto control estructural. La morfología de la capa freática es de tipo radial, levemente ondulada y coincidente con la morfología del terreno. Los gradientes Hidráulicos son del orden de 0,5 a 1,5%, localizándose los mayores valores en el sector periserrano y disminuyendo hacia el centro de la cuenca. La velocidad real de escurrimiento se encuentra entre los 0,1-0,2 m/día.

En relación a la calidad del agua subterránea se determinó que la conductividad eléctrica alcanzó valores entre los 721 y 5.260 $\mu\text{S}/\text{cm}$, encontrándose las más dulces en el perímetro occidental y Norte de la cuenca (áreas de recarga) y las más saladas en el alto estructural y en la parte distal de la planicie eólica (área de descarga). De acuerdo a la clasificación de Piper Hill, las muestras de agua resultaron Bicarbonatadas Sódicas (66,7%), Bicarbonatadas Sulfatadas Sódicas (7,4%), Sulfatadas Bicarbonatadas Sódicas (3,7%) y Sulfatadas Sódicas (22,2%).

La presencia de arsénico y flúor en las muestras de agua se asocia al tipo de material que constituye el acuífero (loess pampeano). Arsénico presenta valores entre 25 y 240 µg/L y F⁻ entre 1,7 y 10,40 mg/l, superando ambos los límites de aptitud para consumo humano. Los valores de nitratos presentes se encuentran en el orden de 2 a 303 mg/L, estando asociados los máximos valores a contaminación puntual de origen ganadera, quedando un 18,51 % de las muestras extraídas por encima del fondo natural de nitratos (10,6 mg/L) en el agua de la región, lo que da indicios de la afectación humana sobre el recurso hídrico.

Con respecto a la utilización del agua para uso ganadero y en función de las SDT, el 29,63 % resultó deficiente para bovinos de cría y bovinos de tambo e invernada. El 48,14% se categorizó como satisfactoria y muy buena para bovinos de cría y buena a muy buena para bovinos de tambo e invernada. El 22,2% restante, resultó buena para bovinos de cría y aceptable para bovinos de tambo e invernada. Por su parte la utilización del agua para riego es considerada excelente en un 7,40%, buena el 77,7 %, de buena a regular el 7,40% y de regular a mala el 7,40% restante.

En relación a los suelos, en los dos perfiles bajo actividad ganadera, las concentraciones de Zn y Cu aumentaron con respecto a los valores de fondo natural (perfil natural), aunque no superan los umbrales establecidos. Las concentraciones de Zn y Cu en estado orgánico y disponible, se hallan en función de los valores de pH y del tipo de materia orgánica presente (lábil o mineralizada). Dado que ambos perfiles pertenecen al mismo tipo de suelo, la diferencia en las concentraciones de Zn y Cu halladas para cada uno de ellos se debe claramente a la actividad ganadera impuesta al suelo y a la diferencia del uso.

El análisis multivariado de agrupamiento y factorial por componentes principales, permitió validar el modelo conceptual de los metales pesados en suelo, de este modo se corroboró que los suelos bajo actividad ganadera muestran anomalías en el comportamiento de los grupos hallados, destacándose principalmente el grupo metales pesados ligados a la MO, el cual

explica no sólo el mayor % de la varianza, sino que demuestra la alteración derivada de la actividad ganadera.

Los análisis del perfil S88 y S86 indican que la actividad ganadera aporta niveles significativos de MO y metales pesados al soporte edáfico, con incrementos en los contenidos de K^+ , los que en conjunto producen alteraciones en las condiciones naturales del suelo.

En relación al agua subterránea y desde un punto de vista utilitario, los análisis de laboratorio, indican que las concentraciones de metales pesados en el agua subterránea se encuentran por debajo del límite admisible para consumo humano.

El modelo hidrogeoquímico conceptual muestra en general aguas dulces bicarbonatadas en zona de recarga y mixtas (bicarbonatada-sulfatadas o sulfatadas-bicarbonatadas) en áreas distales o en el alto estructural, todas con importantes tenores de As y F^- . El NO_3^- mostró un comportamiento variable dado su origen diverso. El análisis multivariado de agrupamiento y factorial por componentes principales, permitió validar tal modelo, observándose fundamentalmente 2 grupos: iones mayoritarios que explican la salinidad del agua (con un núcleo de la CE asociados a Na^+ y Cl^- , correspondientes a las aguas mas salinas) asociados al núcleo $HCO_3^- - NO_3^-$ que permiten interpretar sitios de contaminación puntual cuando se presentan con valores elevados y que a su vez contribuyen a la salinidad total. Por su parte, otro grupo exhibe la relación As- F^- asociados débilmente a pH y hace referencia a los elementos traza provenientes de los sedimentos que constituyen el acuífero. Cuando se agregan al análisis los metales pesados, el primer grupo se mantiene explicando la salinidad del agua, pero aparece una relación estrecha entre los metales pesados y pH-OD para el grupo dos, coherente con la influencia que estos dos parámetros tienen sobre los elementos traza.

Mediante los Ensayos tipo Batch, realizados por primera vez para el Sur de Córdoba, se ha podido obtener la isoterma de adsorción correspondiente a Zn en sedimentos loésicos pertenecientes a la Formación Pampiano, los cuales constituyen o son muy similares a los materiales presentes en al

acuífero freático. La misma se corresponde con el modelo de isoterma de Freundlich. El valor de K_d obtenido de 78,15 l/kg, el que permitió calcular el coeficiente de retardo ($R = 594$) indicando que el desplazamiento de este elemento en el acuífero es mucho más lento que el agua. La velocidad de tránsito obtenida para Zn es de 0,0002 m/día.

Para poder evaluar más específicamente la existencia de una pluma contaminante derivada de los lixiviados del corral de cerdos (establecimiento Zechin, Perforación 86) y la posible llegada a la perforación localizada a 5 metros aguas abajo del mismo, se realizaron cálculos con el K_d y se definieron en el presente trabajo valores de fondo natural de SDT y Cl^- en agua subterránea, resultando los valores en 964 mg/L y 43,8 mg/L respectivamente, calculados con el método de Walter. Teniendo además en cuenta valores de fondo natural ya existentes de otros elementos químicos, se comprobó que los valores de SDT, Cl^- , NO_3^- , OD, Zn y Cu encontrados en esa perforación superan a los de fondo natural. Además el tiempo de tránsito de Zn entre el corral y la perforación es de 58,21 años (lo que se inserta y ajusta en la centuria de actividad agropecuaria de la región). Todos estos resultados indican que la actividad ganadera está originando, mediante los lixiviados del corral, una pluma contaminante de elementos disueltos de carácter conservativo (Cl^- , NO_3^-) que se transportan en forma advectiva-dispersiva y que alcanza la perforación ubicada en las inmediaciones. En menor medida, la captación es alcanzada levemente por los metales pesados (dadas las anomalías pequeñas de los valores) y retrasada respecto a los conservativos (dado el retardo obtenido). Similares consideraciones podrían aplicarse a P88 donde la actividad ganadera actual es más importante.

La actividad ganadera no sólo introduce cantidades significativas de metales pesados al suelo, sino que también modifica alguna de las propiedades intrínsecas del suelo ocasionando procesos de desorción que inducen la migración de los mismos, aunque en pequeñas cantidades hacia el acuífero freático. El hecho de que los valores hallados en el acuífero sean bajos indica la importancia del propio suelo y la ZNS como sumidero y como área de protección del acuífero freático.

12.2 RECOMENDACIONES

Se hace necesaria la extracción de mayor cantidad de muestras de agua para determinar valores de fondo natural local para estos metales y profundizar el estudio del impacto de las actividades agropecuarias en el medio natural.

Para el cálculo del coeficiente de partición (K_d) mediante los ensayos tipo Batch, dado la importancia del pH en los proceso de sorción, se debería en futuros estudios trabajar con diferentes pH, por ejemplo del orden 7,5–8 que son los que dominan en el acuífero, además de determinar el coeficiente de partición (K_d) en cada horizonte del suelo.

En lo que respecta al transporte de contaminantes, se hace necesario contar con mayor número de perforaciones (mínimas 3), para determinar con exactitud el comportamiento de la pluma contaminante, una localizada en el sitio, otra ubicada aguas abajo pero alejada varias decenas de metros, como así también una tercera perforación aguas arriba (sin incidencia de actividad humana) para evaluar los valores de fondo natural en el sitio en concreto.

ANEXO I
DATOS HIDROMETEOROLÓGICOS

BALANCE HIDRICO SERIADO. ESTACIÓN LOS CHAÑARES. SERIE 1941-2005

PERIODO: 1941-2005

Agua Utilizada en la Capa Superior: 25 MM

Agua Utilizada en la Capa Inferior: 125 MM

Diccionario de Variables:

P: Precipitación

ETP: Evapotranspiración Potencial

ALMAC: Almacenaje

RP: Recarga Potencial

R: Recarga

APE: Agua potencial extraíble

ETR: Evapotranspiración Real

ESC: Escurrimiento

AÑO	MES	P	ETP	ALMAC	RP	R	APE	AE	ETR	ESC,
1941	Enero	40	136	0	150	0	0	0	40	0
	Febrero	125	96	29	150	29	0	0	96	0
	Marzo	225	92	150	121	121	26,8	0	92	12
	Abril	79	56	150	0	0	50,8	0	56	23
	Mayo	66	36	150	0	0	34,2	0	36	30
	Junio	8	22	136	0	0	22	14	22	0
	Julio	10	19	127	14	0	17,7	9	19	0
	Agosto	23	30	120,8	23	0	25,3	6,2	29,2	0
	Septiembre	11	41	96,7	29,2	0	33	24,2	35,2	0
	Octubre	83	77	102,7	53,3	6	49,6	0	77	0
	Noviembre	124	94	132,7	47,3	30	62,7	0	94	0
	Diciembre	78	126	91,2	17,3	0	97,5	41,5	119,5	0
1942	Enero	135	136	90,6	58,8	0	82,6	0,6	135,6	0
	Febrero	100	96	94,6	59,4	4	58	0	96	0
	Marzo	35	92	58,6	55,4	0	57,1	36	71	0
	Abril	33	56	49,6	91,4	0	21,9	9	42	0
	Mayo	57	36	70,6	100,4	21	11,9	0	36	0
	Junio	30	22	78,6	79,4	8	21,3	0	22	0
	Julio	12	19	71,6	71,4	0	19	7	19	0
	Agosto	7	30	51,8	78,4	0	22,3	19,8	26,8	0
	Septiembre	17	41	43,5	98,2	0	14,2	8,3	25,3	0
	Octubre	37	77	31,9	106,5	0	22,3	11,6	48,6	0
	Noviembre	101	94	38,9	118,1	7	20	0	94	0
	Diciembre	97	126	27,2	111,1	0	32,3	11,7	108,7	0
1943	Enero	79	136	16,9	122,8	0	24,7	10,3	89,3	0
	Febrero	49	96	11,6	133,1	0	10,8	5,3	54,3	0
	Marzo	183	92	102,6	138,4	91	7,1	0	92	0
	Abril	50	56	96,6	47,4	0	41	6	56	0
	Mayo	56	36	116,6	53,4	20	27,8	0	36	0
	Junio	32	22	126,6	33,4	10	22	0	22	0
	Julio	153	19	150	23,4	23,4	19	0	19	110,6
	Agosto	15	30	135	0	0	29,2	15	30	0
	Septiembre	9	41	106,7	15	0	35,8	28,3	37,3	0
	Octubre	245	77	150	43,3	43,3	54,8	0	77	124,7
	Noviembre	146	94	150	0	0	82,5	0	94	52
	Diciembre	120	126	144	0	0	109,2	6	126	0

1944	Enero	176	136	150	6	6	116,5	0	136	34
	Febrero	118	96	150	0	0	84,2	0	96	22
	Marzo	109	92	150	0	0	80,8	0	92	17
	Abril	82	56	150	0	0	50,8	0	56	26
	Mayo	0	36	115,8	0	0	34,2	34,2	34,2	0
	Junio	11	22	107,3	34,2	0	17	8,5	19,5	0
	Julio	0	19	93,7	42,7	0	13,6	13,6	13,6	0
	Agosto	0	30	75	56,3	0	18,7	18,7	18,7	0
	Septiembre	0	41	54,5	75	0	20,5	20,5	20,5	0
	Octubre	212	77	150	95,5	95,5	28	0	77	39,5
	Noviembre	30	94	92,5	0	0	82,5	57,5	87,5	0
	Diciembre	75	126	61	57,5	0	77,7	31,4	106,4	0
1945	Enero	101	136	46,8	89	0	55,4	14,2	115,2	0
	Febrero	130	96	80,8	103,2	34	30	0	96	0
	Marzo	153	92	141,8	69,2	61	49,9	0	92	0
	Abril	120	56	150	8,2	8,2	49,1	0	56	55,8
	Mayo	0	36	115,8	0	0	34,2	34,2	34,2	0
	Junio	8	22	105	34,2	0	17	10,8	18,8	0
	Julio	9	19	98	45	0	13,3	7	16	0
	Agosto	0	30	78,4	52	0	19,6	19,6	19,6	0
	Septiembre	40	41	77,9	71,6	0	21,4	0,5	40,5	0
	Octubre	45	77	61,3	72,1	0	40	16,6	61,6	0
	Noviembre	45	94	41,3	88,7	0	38,4	20	65	0
	Diciembre	241	126	150	108,7	108,7	34,7	0	126	6,3
1946	Enero	79	136	98,3	0	0	117,5	51,7	130,7	0
	Febrero	32	96	56,4	51,7	0	62,9	42	74	0
	Marzo	52	92	41,3	93,6	0	34,6	15	67	0
	Abril	110	56	95,3	108,7	54	15,4	0	56	0
	Mayo	63	36	122,3	54,7	27	30,2	0	36	0
	Junio	17	22	117,3	27,7	0	22	5	22	0
	Julio	6	19	104,3	32,7	0	19	13	19	0
	Agosto	39	30	113,3	45,7	9	21,9	0	30	0
	Septiembre	20	41	94,1	36,7	0	32,2	19,2	39,2	0
	Octubre	36	77	68,4	55,9	0	48,3	25,7	61,7	0
	Noviembre	147	94	121,4	81,6	53	42,9	0	94	0
	Diciembre	101	126	96,4	28,6	0	89,9	25	126	0
1947	Enero	98	136	72	53,6	0	87,4	24,4	122,4	0
	Febrero	132	96	108	78	36	46,1	0	96	0
	Marzo	54	92	75,8	42	0	62,1	32,2	86,2	0
	Abril	140	56	150	74,2	74,2	28,3	0	56	9,8
	Mayo	0	36	115,8	0	0	34,2	34,2	34,2	0
	Junio	16	22	111,2	34,2	0	17	4,6	20,6	0
	Julio	5	19	100,8	38,8	0	14,1	10,4	15,4	0
	Agosto	23	30	96,1	49,2	0	20,2	4,7	27,7	0
	Septiembre	64	41	119,1	53,9	23	26,3	0	41	0
	Octubre	78	77	120,1	30,9	1	57,6	0	77	0
	Noviembre	57	94	87,8	29,9	0	68,9	32,3	89,3	0
	Diciembre	21	126	26,3	62,2	0	73,7	61,5	82,5	0

1948	Enero	212	136	102,3	123,7	76	23,9	0	136	0
	Febrero	81	96	87,3	47,7	0	61,6	15	96	0
	Marzo	161	92	150	62,7	62,7	52,3	0	92	6,3
	Abril	26	56	120,8	0	0	50,8	29,2	55,2	0
	Mayo	16	36	104,7	29,2	0	29	16,1	32,1	0
	Junio	0	22	89,4	45,3	0	15,4	15,4	15,4	0
	Julio	3	19	79,8	60,6	0	11,3	9,5	12,5	0
	Agosto	2	30	64,9	70,2	0	16	14,9	16,9	0
	Septiembre	20	41	55,8	85,1	0	17,7	9,1	29,1	0
	Octubre	32	77	39,1	94,2	0	28,7	16,8	48,8	0
	Noviembre	46	94	26,6	110,9	0	24,5	12,5	58,5	0
	Diciembre	229	126	129,6	123,4	103	22,3	0	126	0
1949	Enero	73	136	78,1	20,4	0	102,4	51,5	124,5	0
	Febrero	135	96	117,1	71,9	39	50	0	96	0
	Marzo	46	92	79,2	32,9	0	66,1	37,9	83,9	0
	Abril	104	56	127,2	70,8	48	29,6	0	56	0
	Mayo	23	36	114,2	22,8	0	32,5	13	36	0
	Junio	0	22	95,4	35,8	0	18,8	18,8	18,8	0
	Julio	31	19	107,4	54,6	12	12,1	0	19	0
	Agosto	44	30	121,4	42,6	14	23,4	0	30	0
	Septiembre	27	41	107,4	28,6	0	35,3	14	41	0
	Octubre	106	77	136,4	42,6	29	53,4	0	77	0
	Noviembre	66	94	109,2	13,6	0	76,2	27,2	93,2	0
	Diciembre	117	126	102,6	40,8	0	91,7	6,5	123,5	0
1950	Enero	91	136	71,8	47,4	0	93	30,8	121,8	0
	Febrero	59	96	54,1	78,2	0	46	17,7	76,7	0
	Marzo	77	92	48,7	95,9	0	33,2	5,4	82,4	0
	Abril	11	56	34,1	101,3	0	18,2	14,6	25,6	0
	Mayo	19	36	30,2	115,9	0	8,2	3,9	22,9	0
	Junio	1	22	26	119,8	0	4,4	4,2	5,2	0
	Julio	5	19	23,6	124	0	3,3	2,4	7,4	0
	Agosto	0	30	18,9	126,4	0	4,7	4,7	4,7	0
	Septiembre	43	41	20,9	131,1	2	5,2	0	41	0
	Octubre	141	77	84,9	129,1	64	11,4	0	77	0
	Noviembre	170	94	150	65,1	65,1	52,5	0	94	10,9
	Diciembre	68	126	97,5	0	0	109,2	52,5	120,5	0
1951	Enero	83	136	63,1	52,5	0	88,4	34,5	117,4	0
	Febrero	89	96	60,1	86,9	0	40,4	2,9	91,9	0
	Marzo	68	92	50,5	89,9	0	36,9	9,6	77,6	0
	Abril	6	56	33,7	99,5	0	18,8	16,8	22,8	0
	Mayo	22	36	30,5	116,3	0	8,1	3,1	25,1	0
	Junio	7	22	27,5	119,5	0	4,5	3,1	10,1	0
	Julio	0	19	24	122,5	0	3,5	3,5	3,5	0
	Agosto	9	30	20,6	126	0	4,8	3,4	12,4	0
	Septiembre	3	41	15,4	129,4	0	5,6	5,2	8,2	0
	Octubre	21	77	9,7	134,6	0	7,9	5,8	26,8	0
	Noviembre	97	94	12,7	140,3	3	6	0	94	0
	Diciembre	188	126	74,7	137,3	62	10,9	0	126	0

1952	Enero	107	136	48,3	75,3	0	61,7	26,3	133,3	0
	Febrero	113	96	65,3	101,7	17	30,9	0	96	0
	Marzo	77	92	50,3	84,7	0	41,2	15	92	0
	Abril	8	56	33,5	99,7	0	19,4	16,8	24,8	0
	Mayo	12	36	28,1	116,5	0	8	5,4	17,4	0
	Junio	55	22	61,1	121,9	33	4,1	0	22	0
	Julio	15	19	57,1	88,9	0	19	4	19	0
	Agosto	4	30	34,9	92,9	0	23,2	22,2	26,2	0
	Septiembre	36	41	33,8	115,1	0	9,6	1,2	37,2	0
	Octubre	95	77	51,8	116,2	18	17,3	0	77	0
	Noviembre	87	94	44,8	98,2	0	35,1	7	94	0
	Diciembre	223	126	141,8	105,2	97	36,9	0	126	0
1953	Enero	87	136	98,1	8,2	0	111,4	43,7	130,7	0
	Febrero	110	96	112,1	51,9	14	62,8	0	96	0
	Marzo	174	92	150	37,9	37,9	65	0	92	44,1
	Abril	32	56	126	0	0	50,8	24	56	0
	Mayo	9	36	103,3	24	0	30,2	22,7	31,7	0
	Junio	47	22	128,3	46,7	25	15,2	0	22	0
	Julio	0	19	109,3	21,7	0	19	19	19	0
	Agosto	0	30	86,8	40,7	0	22,5	22,5	22,5	0
	Septiembre	0	41	63,1	63,2	0	23,7	23,7	23,7	0
	Octubre	89	77	75,1	86,9	12	32,4	0	77	0
	Noviembre	99	94	80,1	74,9	5	46,5	0	94	0
	Diciembre	273	126	150	69,9	69,9	62,8	0	126	77,1
1954	Enero	52	136	75,8	0	0	117,5	74,2	126,2	0
	Febrero	17	96	35,9	74,2	0	48,5	39,9	56,9	0
	Marzo	103	92	46,9	114,1	11	22	0	92	0
	Abril	124	56	114,9	103,1	68	21,8	0	56	0
	Mayo	1	36	83,9	35,1	0	31,6	31	32	0
	Junio	21	22	83,3	66,1	0	12,3	0,6	21,6	0
	Julio	25	19	89,3	66,7	6	10,6	0	19	0
	Agosto	52	30	111,3	60,7	22	19,3	0	30	0
	Septiembre	39	41	109,3	38,7	0	34,2	2	41	0
	Octubre	49	77	83,5	40,7	0	54,1	25,9	74,9	0
	Noviembre	90	94	81,2	66,5	0	52,3	2,2	92,2	0
	Diciembre	95	126	64,4	68,8	0	68,2	16,8	111,8	0
1955	Enero	110	136	53,3	85,6	0	58,4	11,2	121,2	0
	Febrero	131	96	88,3	96,7	35	34,1	0	96	0
	Marzo	84	92	80,3	61,7	0	53,3	8	92	0
	Abril	63	56	87,3	69,7	7	33,5	0	56	0
	Mayo	65	36	116,3	62,7	29	29,1	0	36	0
	Junio	17	22	111,3	33,7	0	22	5	22	0
	Julio	8	19	100,3	38,7	0	19	11	19	0
	Agosto	0	30	78,5	49,7	0	21,8	21,8	21,8	0
	Septiembre	0	41	57	71,5	0	21,5	21,5	21,5	0
	Octubre	178	77	150	93	93	29,3	0	77	8
	Noviembre	147	94	150	0	0	82,5	0	94	53
	Diciembre	121	126	145	0	0	109,2	5	126	0

1956	Enero	162	136	150	5	5	116,7	0	136	21
	Febrero	82	96	136	0	0	84,2	14	96	0
	Marzo	67	92	113,3	14	0	78,5	22,7	89,7	0
	Abril	64	56	121,3	36,7	8	42,3	0	56	0
	Mayo	14	36	102,8	28,7	0	29,2	18,6	32,6	0
	Junio	53	22	133,8	47,2	31	15,1	0	22	0
	Julio	20	19	134,8	16,2	1	19	0	19	0
	Agosto	5	30	109,8	15,2	0	28,7	25	30	0
	Septiembre	32	41	103,2	40,2	0	30	6,6	38,6	0
	Octubre	276	77	150	46,8	46,8	53	0	77	152,2
	Noviembre	122	94	150	0	0	82,5	0	94	28
	Diciembre	91	126	116,7	0	0	109,2	33,3	124,3	0
1957	Enero	75	136	69,2	33,3	0	105,8	47,4	122,4	0
	Febrero	133	96	106,2	80,8	37	44,3	0	96	0
	Marzo	111	92	125,2	43,8	19	61,3	0	92	0
	Abril	96	56	150	24,8	24,8	45,7	0	56	15,2
	Mayo	44	36	150	0	0	34,2	0	36	8
	Junio	16	22	144	0	0	22	6	22	0
	Julio	0	19	125	6	0	19	19	19	0
	Agosto	0	30	100	25	0	25	25	25	0
	Septiembre	36	41	96,7	50	0	27,3	3,3	39,3	0
	Octubre	14	77	56,1	53,3	0	49,6	40,6	54,6	0
	Noviembre	188	94	150	93,9	93,9	35,1	0	94	0,1
	Diciembre	179	126	150	0	0	109,2	0	126	53
1958	Enero	70	136	90,8	0	0	117,5	59,2	129,2	0
	Febrero	132	96	126,8	59,2	36	58,1	0	96	0
	Marzo	63	92	99,1	23,2	0	70,5	27,7	90,7	0
	Abril	42	56	89,9	50,9	0	37	9,3	51,3	0
	Mayo	10	36	74,3	60,1	0	21,6	15,6	25,6	0
	Junio	41	22	93,3	75,7	19	10,9	0	22	0
	Julio	47	19	121,3	56,7	28	19	0	19	0
	Agosto	93	30	150	28,7	28,7	28,2	0	30	34,3
	Septiembre	52	41	150	0	0	38,3	0	41	11
	Octubre	75	77	148	0	0	68,3	2	77	0
	Noviembre	96	94	150	2	2	82,2	0	94	0
	Diciembre	160	126	150	0	0	109,2	0	126	34
1959	Enero	133	136	147	0	0	117,5	3	136	0
	Febrero	69	96	120,8	3	0	83,7	26,2	95,2	0
	Marzo	108	92	136,8	29,2	16	74,1	0	92	0
	Abril	192	56	150	13,2	13,2	48,2	0	56	122,8
	Mayo	64	36	150	0	0	34,2	0	36	28
	Junio	37	22	150	0	0	22	0	22	15
	Julio	10	19	141	0	0	19	9	19	0
	Agosto	68	30	150	9	9	27,7	0	30	29
	Septiembre	14	41	123,3	0	0	38,3	26,7	40,7	0
	Octubre	85	77	131,3	26,7	8	63,3	0	77	0
	Noviembre	82	94	120	18,7	0	78,7	11,3	93,3	0
	Diciembre	220	126	150	30	30	100,8	0	126	64

1960	Enero	99	136	115	0	0	117,5	35	134	0
	Febrero	48	96	78,2	35	0	73,6	36,8	84,8	0
	Marzo	86	92	75,1	71,8	0	48	3,1	89,1	0
	Abril	0	56	47	74,9	0	28	28	28	0
	Mayo	30	36	45,2	103	0	11,3	1,9	31,9	0
	Junio	0	22	38,5	104,8	0	6,6	6,6	6,6	0
	Julio	26	19	45,5	111,5	7	4,9	0	19	0
	Agosto	0	30	32,6	104,5	0	12,9	12,9	12,9	0
	Septiembre	24	41	28,9	117,4	0	8,9	3,7	27,7	0
	Octubre	141	77	92,9	121,1	64	14,9	0	77	0
	Noviembre	145	94	143,9	57,1	51	56,2	0	94	0
	Diciembre	152	126	150	6,1	6,1	105,1	0	126	19,9
1961	Enero	85	136	103,3	0	0	117,5	46,7	131,7	0
	Febrero	31	96	58,6	46,7	0	66,1	44,8	75,8	0
	Marzo	180	92	146,6	91,4	88	35,9	0	92	0
	Abril	55	56	145,6	3,4	0	50,1	1	56	0
	Mayo	70	36	150	4,4	4,4	33,7	0	36	29,6
	Junio	5	22	133	0	0	22	17	22	0
	Julio	0	19	115,8	17	0	17,2	17,2	17,2	0
	Agosto	17	30	105,8	34,2	0	23,2	10	27	0
	Septiembre	29	41	97,3	44,2	0	28,9	8,5	37,5	0
	Octubre	254	77	150	52,7	52,7	50	0	77	124,3
	Noviembre	181	94	150	0	0	82,5	0	94	87
	Diciembre	140	126	150	0	0	109,2	0	126	14
1962	Enero	205	136	150	0	0	117,5	0	136	69
	Febrero	116	96	150	0	0	84,2	0	96	20
	Marzo	127	92	150	0	0	80,8	0	92	35
	Abril	21	56	116,7	0	0	50,8	33,3	54,3	0
	Mayo	13	36	98,8	33,3	0	28	17,9	30,9	0
	Junio	1	22	84,9	51,2	0	14,5	13,8	14,8	0
	Julio	48	19	113,9	65,1	29	10,8	0	19	0
	Agosto	41	30	124,9	36,1	11	28	0	30	0
	Septiembre	0	41	89,3	25,1	0	35,7	35,7	35,7	0
	Octubre	64	77	81,5	60,7	0	45,8	7,7	71,7	0
	Noviembre	123	94	110,5	68,5	29	51,1	0	94	0
	Diciembre	243	126	150	39,5	39,5	82,6	0	126	77,5
1963	Enero	150	136	150	0	0	117,5	0	136	14
	Febrero	167	96	150	0	0	84,2	0	96	71
	Marzo	113	92	150	0	0	80,8	0	92	21
	Abril	32	56	126	0	0	50,8	24	56	0
	Mayo	28	36	119,2	24	0	30,2	6,8	34,8	0
	Junio	2	22	103,3	30,8	0	17,5	15,9	17,9	0
	Julio	19	19	103,3	46,7	0	13,1	0	19	0
	Agosto	0	30	82,6	46,7	0	20,7	20,7	20,7	0
	Septiembre	42	41	83,6	67,4	1	22,6	0	41	0
	Octubre	47	77	66,6	66,4	0	42,9	17	64	0
	Noviembre	191	94	150	83,4	83,4	41,8	0	94	13,6
	Diciembre	78	126	105,8	0	0	109,2	44,2	122,2	0

1964	Enero	219	136	150	44,2	44,2	96	0	136	38,8
	Febrero	62	96	117,5	0	0	84,2	32,5	94,5	0
	Marzo	222	92	150	32,5	32,5	72,1	0	92	97,5
	Abril	85	56	150	0	0	50,8	0	56	29
	Mayo	8	36	122,5	0	0	34,2	27,5	35,5	0
	Junio	48	22	148,5	27,5	26	18	0	22	0
	Julio	0	19	129,5	1,5	0	19	19	19	0
	Agosto	0	30	103,7	20,5	0	25,8	25,8	25,8	0
	Septiembre	115	41	150	46,3	46,3	28,4	0	41	27,7
	Octubre	125	77	150	0	0	68,3	0	77	48
	Noviembre	142	94	150	0	0	82,5	0	94	48
	Diciembre	208	126	150	0	0	109,2	0	126	82
1965	Enero	92	136	109,2	0	0	117,5	40,8	132,8	0
	Febrero	114	96	127,2	40,8	18	69,9	0	96	0
	Marzo	96	92	131,2	22,8	4	71,9	0	92	0
	Abril	24	56	101,9	18,8	0	46,7	29,3	53,3	0
	Mayo	15	36	87,6	48,1	0	24,5	14,3	29,3	0
	Junio	13	22	82,4	62,4	0	12,9	5,3	18,3	0
	Julio	2	19	73	67,6	0	10,4	9,3	11,3	0
	Agosto	8	30	62,3	77	0	14,6	10,7	18,7	0
	Septiembre	53	41	74,3	87,7	12	17	0	41	0
	Octubre	93	77	90,3	75,7	16	39	0	77	0
	Noviembre	66	94	64	59,7	0	55	26,3	92,3	0
	Diciembre	75	126	42,2	86	0	53,8	21,8	96,8	0
1966	Enero	256	136	150	107,8	107,8	38,3	0	136	12,2
	Febrero	78	96	132	0	0	84,2	18	96	0
	Marzo	114	92	150	18	18	77,8	0	92	4
	Abril	192	56	150	0	0	50,8	0	56	136
	Mayo	2	36	117,5	0	0	34,2	32,5	34,5	0
	Junio	1	22	101	32,5	0	17,2	16,5	17,5	0
	Julio	4	19	90,9	49	0	12,8	10,1	14,1	0
	Agosto	3	30	74,6	59,1	0	18,2	16,4	19,4	0
	Septiembre	13	41	60,7	75,4	0	20,4	13,9	26,9	0
	Octubre	0	77	29,5	89,3	0	31,1	31,1	31,1	0
	Noviembre	227	94	150	120,5	120,5	18,5	0	94	12,5
	Diciembre	94	126	119,2	0	0	109,2	30,8	124,8	0
1967	Enero	141	136	124,2	30,8	5	108	0	136	0
	Febrero	116	96	144,2	25,8	20	77,3	0	96	0
	Marzo	159	92	150	5,8	5,8	78,2	0	92	61,2
	Abril	60	56	150	0	0	50,8	0	56	4
	Mayo	23	36	137	0	0	34,2	13	36	0
	Junio	2	22	118,3	13	0	20,3	18,7	20,7	0
	Julio	18	19	117,5	31,7	0	15	0,8	18,8	0
	Agosto	13	30	104,2	32,5	0	23,5	13,3	26,3	0
	Septiembre	98	41	150	45,8	45,8	28,5	0	41	11,2
	Octubre	144	77	150	0	0	68,3	0	77	67
	Noviembre	104	94	150	0	0	82,5	0	94	10
	Diciembre	35	126	70	0	0	109,2	80	115	0

1968	Enero	63	136	35,9	80	0	63,5	34,1	97,1	0
	Febrero	100	96	39,9	114,1	4	23	0	96	0
	Marzo	187	92	134,9	110,1	95	25,1	0	92	0
	Abril	26	56	106,3	15,1	0	47,7	28,7	54,7	0
	Mayo	0	36	80,8	43,7	0	25,5	25,5	25,5	0
	Junio	48	22	106,8	69,2	26	11,8	0	22	0
	Julio	4	19	91,8	43,2	0	19	15	19	0
	Agosto	41	30	102,8	58,2	11	20,9	0	30	0
	Septiembre	36	41	97,8	47,2	0	31,9	5	41	0
	Octubre	71	77	91,8	52,2	0	49,3	6	77	0
	Noviembre	62	94	69,8	58,2	0	55,8	22	84	0
	Diciembre	295	126	150	80,2	80,2	58,6	0	126	88,8
1969	Enero	67	136	88,3	0	0	117,5	61,7	128,7	0
	Febrero	69	96	72,4	61,7	0	56,5	15,9	84,9	0
	Marzo	94	92	74,4	77,6	2	44,4	0	92	0
	Abril	51	56	71	75,6	0	28,1	3,4	54,4	0
	Mayo	66	36	101	79	30	17	0	36	0
	Junio	39	22	118	49	17	22	0	22	0
	Julio	3	19	102	32	0	19	16	19	0
	Agosto	7	30	84,3	48	0	22	17,7	24,7	0
	Septiembre	19	41	71,9	65,7	0	23	12,4	31,4	0
	Octubre	8	77	38,8	78,1	0	36,9	33,1	41,1	0
	Noviembre	145	94	89,8	111,2	51	24,3	0	94	0
	Diciembre	96	126	62,7	60,2	0	68,7	27,2	123,2	0
1970	Enero	198	136	124,7	87,3	62	56,8	0	136	0
	Febrero	63	96	94,4	25,3	0	72,2	30,3	93,3	0
	Marzo	39	92	61	55,6	0	57,9	33,3	72,3	0
	Abril	0	56	38,2	89	0	22,8	22,8	22,8	0
	Mayo	54	36	56,2	111,8	18	9,2	0	36	0
	Junio	2	22	37,7	93,8	0	19	18,5	20,5	0
	Julio	0	19	33	112,3	0	4,8	4,8	4,8	0
	Agosto	0	30	26,4	117	0	6,6	6,6	6,6	0
	Septiembre	10	41	20,9	123,6	0	7,2	5,4	15,4	0
	Octubre	49	77	17	129,1	0	10,7	3,9	52,9	0
	Noviembre	86	94	16,1	133	0	10,7	0,9	86,9	0
	Diciembre	81	126	11,3	133,9	0	13,5	4,8	85,8	0
1971	Enero	184	136	59,3	138,7	48	10,2	0	136	0
	Febrero	196	96	150	90,7	90,7	41,2	0	96	9,3
	Marzo	99	92	150	0	0	80,8	0	92	7
	Abril	33	56	127	0	0	50,8	23	56	0
	Mayo	5	36	100,8	23	0	30,3	26,2	31,2	0
	Junio	9	22	92,1	49,2	0	14,8	8,7	17,7	0
	Julio	6	19	84,1	57,9	0	11,7	8	14	0
	Agosto	4	30	69,5	65,9	0	16,8	14,6	18,6	0
	Septiembre	10	41	55,2	80,5	0	19	14,4	24,4	0
	Octubre	36	77	40,1	94,8	0	28,3	15,1	51,1	0
	Noviembre	30	94	23	109,9	0	25,1	17,1	47,1	0
	Diciembre	27	126	7,8	127	0	19,3	15,2	42,2	0

1972	Enero	130	136	7,5	142,2	0	7,1	0,3	130,3	0
	Febrero	79	96	6,7	142,5	0	4,8	0,9	79,9	0
	Marzo	110	92	24,7	143,3	18	4,1	0	92	0
	Abril	63	56	31,7	125,3	7	19,7	0	56	0
	Mayo	3	36	6,3	118,3	0	25,5	25,4	28,4	0
	Junio	10	22	5,8	143,7	0	0,9	0,5	10,5	0
	Julio	4	19	5,2	144,2	0	0,7	0,6	4,6	0
	Agosto	50	30	25,2	144,8	20	1	0	30	0
	Septiembre	93	41	77,2	124,8	52	20,7	0	41	0
	Octubre	146	77	146,2	72,8	69	43,1	0	77	0
	Noviembre	196	94	150	3,8	3,8	80,8	0	94	98,2
	Diciembre	242	126	150	0	0	109,2	0	126	116
1973	Enero	64	136	85,8	0	0	117,5	64,2	128,2	0
	Febrero	156	96	145,8	64,2	60	54,9	0	96	0
	Marzo	209	92	150	4,2	4,2	79	0	92	112,8
	Abril	63	56	150	0	0	50,8	0	56	7
	Mayo	15	36	129	0	0	34,2	21	36	0
	Junio	19	22	126	21	0	19	3	22	0
	Julio	32	19	139	24	13	16	0	19	0
	Agosto	0	30	111,7	11	0	27,3	27,3	27,3	0
	Septiembre	12	41	90,1	38,3	0	30,5	21,6	33,6	0
	Octubre	58	77	78,7	59,9	0	46,2	11,4	69,4	0
	Noviembre	42	94	51,4	71,3	0	49,3	27,3	69,3	0
	Diciembre	114	126	47,3	98,6	0	43,2	4,1	118,1	0
1974	Enero	76	136	28,4	102,7	0	42,9	18,9	94,9	0
	Febrero	119	96	51,4	121,6	23	18,2	0	96	0
	Marzo	126	92	85,4	98,6	34	36,1	0	92	0
	Abril	2	56	48,7	64,6	0	37,5	36,7	38,7	0
	Mayo	74	36	86,7	101,3	38	11,7	0	36	0
	Junio	5	22	69,7	63,3	0	22	17	22	0
	Julio	36	19	86,7	80,3	17	12,5	0	19	0
	Agosto	10	30	66,7	63,3	0	27,1	20	30	0
	Septiembre	27	41	58	83,3	0	19,8	8,7	35,7	0
	Octubre	43	77	44,9	92	0	29,8	13,1	56,1	0
	Noviembre	81	94	41	105,1	0	28,1	3,9	84,9	0
	Diciembre	122	126	39,9	109	0	34,4	1,1	123,1	0
1975	Enero	204	136	107,9	110,1	68	36,2	0	136	0
	Febrero	138	96	149,9	42,1	42	64,2	0	96	0
	Marzo	162	92	150	0,1	0,1	80,8	0	92	69,9
	Abril	49	56	143	0	0	50,8	7	56	0
	Mayo	10	36	118,3	7	0	33	24,7	34,7	0
	Junio	28	22	124,3	31,7	6	17,4	0	22	0
	Julio	4	19	111,2	25,7	0	16,3	13,1	17,1	0
	Agosto	59	30	140,2	38,8	29	22,2	0	30	0
	Septiembre	58	41	150	9,8	9,8	37,3	0	41	7,2
	Octubre	81	77	150	0	0	68,3	0	77	4
	Noviembre	57	94	115	0	0	82,5	35	92	0
	Diciembre	25	126	37,6	35	0	96,6	77,4	102,4	0

1976	Enero	31	136	11,3	112,4	0	34,1	26,3	57,3	0
	Febrero	179	96	94,3	138,7	83	7,2	0	96	0
	Marzo	7	92	41,6	55,7	0	55,9	52,7	59,7	0
	Abril	51	56	40,2	108,4	0	15,5	1,4	52,4	0
	Mayo	38	36	42,2	109,8	2	9,6	0	36	0
	Junio	7	22	36,7	107,8	0	7,4	5,5	12,5	0
	Julio	0	19	32	113,3	0	4,6	4,6	4,6	0
	Agosto	45	30	47	118	15	6,4	0	30	0
	Septiembre	44	41	50	103	3	20,6	0	41	0
	Octubre	56	77	31,4	100	0	30,6	18,6	74,6	0
	Noviembre	165	94	102,4	118,6	71	19,7	0	94	0
	Diciembre	198	126	150	47,6	47,6	77,1	0	126	24,4
1977	Enero	178	136	150	0	0	117,5	0	136	42
	Febrero	91	96	145	0	0	84,2	5	96	0
	Marzo	93	92	146	5	1	80	0	92	0
	Abril	31	56	121,7	4	0	50,2	24,3	55,3	0
	Mayo	12	36	102,2	28,3	0	29,2	19,5	31,5	0
	Junio	19	22	100,2	47,8	0	15	2	21	0
	Julio	2	19	88,8	49,8	0	12,7	11,4	13,4	0
	Agosto	20	30	82,9	61,2	0	17,8	5,9	25,9	0
	Septiembre	7	41	64,1	67,1	0	22,7	18,8	25,8	0
	Octubre	82	77	69,1	85,9	5	32,9	0	77	0
	Noviembre	35	94	41	80,9	0	43	28,1	63,1	0
	Diciembre	256	126	150	109	109	34,5	0	126	21
1978	Enero	125	136	139	0	0	117,5	11	136	0
	Febrero	133	96	150	11	11	82,3	0	96	26
	Marzo	148	92	150	0	0	80,8	0	92	56
	Abril	10	56	107,5	0	0	50,8	42,5	52,5	0
	Mayo	3	36	83,8	42,5	0	25,8	23,7	26,7	0
	Junio	13	22	78,8	66,2	0	12,3	5	18	0
	Julio	5	19	71,5	71,2	0	10	7,4	12,4	0
	Agosto	0	30	57,2	78,5	0	14,3	14,3	14,3	0
	Septiembre	127	41	143,2	92,8	86	15,6	0	41	0
	Octubre	34	77	104	6,8	0	66	39,2	73,2	0
	Noviembre	91	94	101,9	46	0	65,2	2,1	93,1	0
	Diciembre	241	126	150	48,1	48,1	85,6	0	126	66,9
1979	Enero	201	136	150	0	0	117,5	0	136	65
	Febrero	268	96	150	0	0	84,2	0	96	172
	Marzo	91	92	149	0	0	80,8	1	92	0
	Abril	100	56	150	1	1	50,7	0	56	43
	Mayo	15	36	129	0	0	34,2	21	36	0
	Junio	35	22	142	21	13	19	0	22	0
	Julio	57	19	150	8	8	18,7	0	19	30
	Agosto	1	30	121,7	0	0	29,2	28,3	29,3	0
	Septiembre	40	41	120,9	28,3	0	33,3	0,8	40,8	0
	Octubre	30	77	83	29,1	0	62	37,9	67,9	0
	Noviembre	180	94	150	67	67	52	0	94	19
	Diciembre	211	126	150	0	0	109,2	0	126	85

1980	Enero	123	136	137	0	0	117,5	13	136	0
	Febrero	203	96	150	13	13	82	0	96	94
	Marzo	125	92	150	0	0	80,8	0	92	33
	Abril	103	56	150	0	0	50,8	0	56	47
	Mayo	17	36	131	0	0	34,2	19	36	0
	Junio	25	22	134	19	3	19,3	0	22	0
	Julio	0	19	116,7	16	0	17,3	17,3	17,3	0
	Agosto	0	30	93,3	33,3	0	23,3	23,3	23,3	0
	Septiembre	7	41	72,2	56,7	0	25,5	21,2	28,2	0
	Octubre	119	77	114,2	77,8	42	37,1	0	77	0
	Noviembre	91	94	111,2	35,8	0	66	3	94	0
	Diciembre	146	126	131,2	38,8	20	83,8	0	126	0
1981	Enero	260	136	150	18,8	18,8	103,6	0	136	105,2
	Febrero	95	96	149	0	0	84,2	1	96	0
	Marzo	134	92	150	1	1	80,7	0	92	41
	Abril	90	56	150	0	0	50,8	0	56	34
	Mayo	0	36	115,8	0	0	34,2	34,2	34,2	0
	Junio	0	22	98,8	34,2	0	17	17	17	0
	Julio	4	19	89	51,2	0	12,5	9,9	13,9	0
	Agosto	0	30	71,2	61	0	17,8	17,8	17,8	0
	Septiembre	15	41	58,8	78,8	0	19,5	12,3	27,3	0
	Octubre	77	77	58,8	91,2	0	30,2	0	77	0
	Noviembre	167	94	131,8	91,2	73	36,9	0	94	0
	Diciembre	298	126	150	18,2	18,2	96,9	0	126	153,8
1982	Enero	57	136	80	0	0	117,5	70	127	0
	Febrero	194	96	150	70	70	51,2	0	96	28
	Marzo	87	92	145	0	0	80,8	5	92	0
	Abril	187	56	150	5	5	50	0	56	126
	Mayo	0	36	115,8	0	0	34,2	34,2	34,2	0
	Junio	20	22	114,3	34,2	0	17	1,5	21,5	0
	Julio	26	19	121,3	35,7	7	14,5	0	19	0
	Agosto	2	30	98,3	28,7	0	24,5	23	25	0
	Septiembre	95	41	150	51,7	51,7	26,9	0	41	2,3
	Octubre	11	77	90,8	0	0	68,3	59,2	70,2	0
	Noviembre	180	94	150	59,2	59,2	56,9	0	94	26,8
	Diciembre	69	126	98,3	0	0	109,2	51,7	120,7	0
1983	Enero	325	136	150	51,7	51,7	89,2	0	136	137,3
	Febrero	78	96	132	0	0	84,2	18	96	0
	Marzo	58	92	102,5	18	0	77,8	29,5	87,5	0
	Abril	66	56	112,5	47,5	10	38,3	0	56	0
	Mayo	28	36	104,5	37,5	0	27,8	8	36	0
	Junio	0	22	88,8	45,5	0	15,7	15,7	15,7	0
	Julio	25	19	94,8	61,2	6	11,3	0	19	0
	Agosto	30	30	94,8	55,2	0	20,2	0	30	0
	Septiembre	45	41	98,8	55,2	4	26,7	0	41	0
	Octubre	117	77	138,8	51,2	40	49,7	0	77	0
	Noviembre	108	94	150	11,2	11,2	77,4	0	94	2,8
	Diciembre	138	126	150	0	0	109,2	0	126	12

1984	Enero	150	136	150	0	0	117,5	0	136	14
	Febrero	228	96	150	0	0	84,2	0	96	132
	Marzo	188	92	150	0	0	80,8	0	92	96
	Abril	31	56	125	0	0	50,8	25	56	0
	Mayo	6	36	100	25	0	30	25	31	0
	Junio	15	22	95,3	50	0	14,7	4,7	19,7	0
	Julio	0	19	83,3	54,7	0	12,1	12,1	12,1	0
	Agosto	13	30	73,8	66,7	0	16,7	9,4	22,4	0
	Septiembre	94	41	126,8	76,2	53	20,2	0	41	0
	Octubre	22	77	81,5	23,2	0	60,3	45,4	67,4	0
	Noviembre	139	94	126,5	68,5	45	51	0	94	0
	Diciembre	286	126	150	23,5	23,5	93,3	0	126	136,5
1985	Enero	208	136	150	0	0	117,5	0	136	72
	Febrero	89	96	143	0	0	84,2	7	96	0
	Marzo	87	92	138	7	0	79,7	5	92	0
	Abril	17	56	103,3	12	0	48,8	34,7	51,7	0
	Mayo	0	36	78,5	46,7	0	24,8	24,8	24,8	0
	Junio	41	22	97,5	71,5	19	11,5	0	22	0
	Julio	125	19	150	52,5	52,5	19	0	19	53,5
	Agosto	2	30	122,5	0	0	29,2	27,5	29,5	0
	Septiembre	20	41	105,3	27,5	0	33,5	17,2	37,2	0
	Octubre	200	77	150	44,7	44,7	54,1	0	77	78,3
	Noviembre	112	94	150	0	0	82,5	0	94	18
	Diciembre	228	126	150	0	0	109,2	0	126	102
1986	Enero	86	136	104,2	0	0	117,5	45,8	131,8	0
	Febrero	77	96	91	45,8	0	66,7	13,2	90,2	0
	Marzo	46	92	63,1	59	0	55,8	27,9	73,9	0
	Abril	27	56	50,9	86,9	0	23,5	12,2	39,2	0
	Mayo	6	36	40,7	99,1	0	12,2	10,2	16,2	0
	Junio	7	22	36,6	109,3	0	6	4,1	11,1	0
	Julio	19	19	36,6	113,4	0	4,6	0	19	0
	Agosto	29	30	36,4	113,4	0	7,3	0,2	29,2	0
	Septiembre	61	41	56,4	113,6	20	9,9	0	41	0
	Octubre	62	77	41,4	93,6	0	33,8	15	77	0
	Noviembre	47	94	26,2	108,6	0	26,6	15,2	62,2	0
	Diciembre	254	126	150	123,8	123,8	22	0	126	4,2
1987	Enero	152	136	150	0	0	117,5	0	136	16
	Febrero	73	96	127	0	0	84,2	23	96	0
	Marzo	173	92	150	23	23	77	0	92	58
	Abril	83	56	150	0	0	50,8	0	56	27
	Mayo	62	36	150	0	0	34,2	0	36	26
	Junio	0	22	128	0	0	22	22	22	0
	Julio	20	19	129	22	1	16,3	0	19	0
	Agosto	17	30	117,5	21	0	25,7	11,5	28,5	0
	Septiembre	0	41	85,4	32,5	0	32,1	32,1	32,1	0
	Octubre	84	77	92,4	64,6	7	43,8	0	77	0
	Noviembre	103	94	101,4	57,6	9	56,5	0	94	0
	Diciembre	227	126	150	48,6	48,6	78,6	0	126	52,4

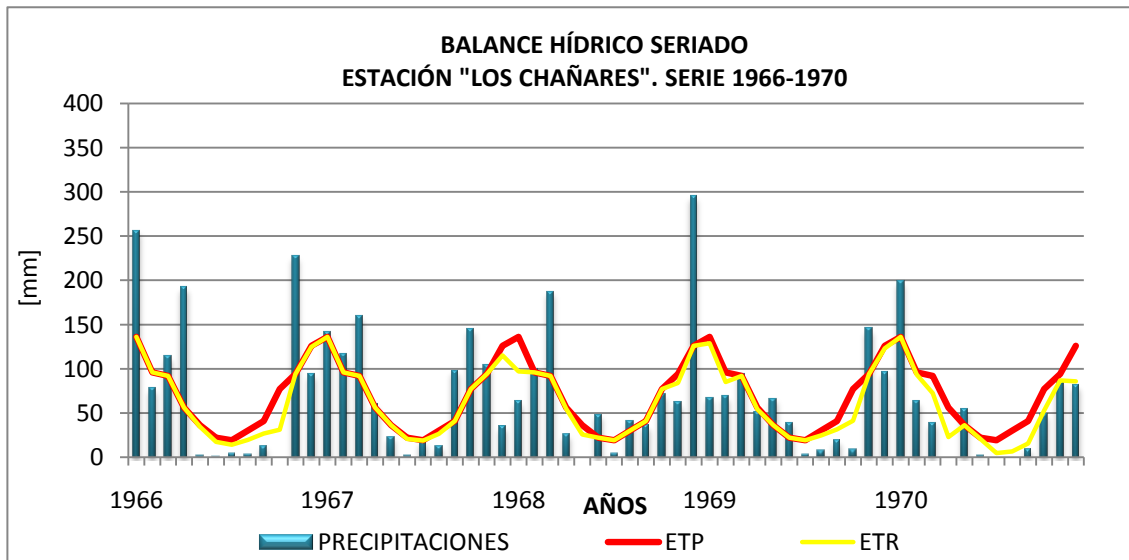
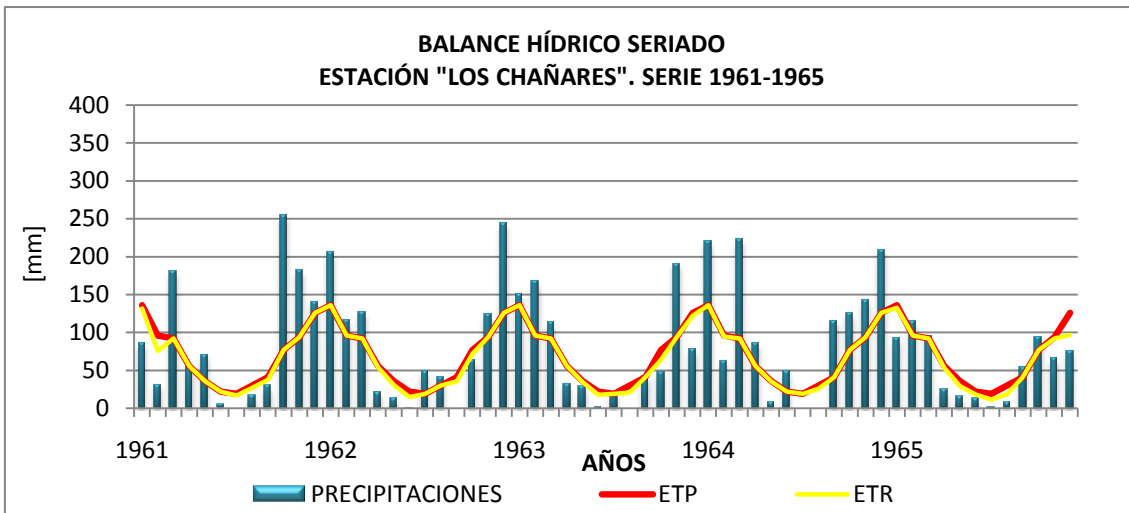
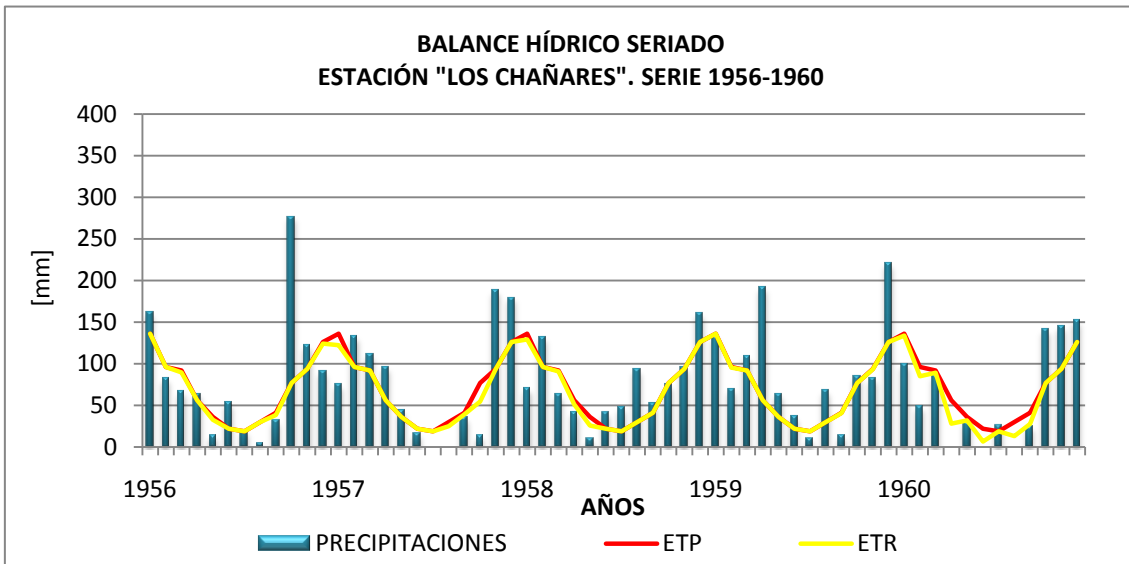
1988	Enero	99	136	115	0	0	117,5	35	134	0
	Febrero	143	96	150	35	35	73,6	0	96	12
	Marzo	202	92	150	0	0	80,8	0	92	110
	Abril	57	56	150	0	0	50,8	0	56	1
	Mayo	0	36	115,8	0	0	34,2	34,2	34,2	0
	Junio	2	22	100,4	34,2	0	17	15,4	17,4	0
	Julio	0	19	87,7	49,6	0	12,7	12,7	12,7	0
	Agosto	0	30	70,1	62,3	0	17,5	17,5	17,5	0
	Septiembre	50	41	79,1	79,9	9	19,2	0	41	0
	Octubre	0	77	38,3	70,9	0	40,8	40,8	40,8	0
	Noviembre	50	94	27,1	111,7	0	24	11,2	61,2	0
	Diciembre	255	126	150	122,9	122,9	22,8	0	126	6,1
1989	Enero	81	136	100	0	0	117,5	50	131	0
	Febrero	126	96	130	50	30	64	0	96	0
	Marzo	317	92	150	20	20	71,9	0	92	205
	Abril	15	56	111,7	0	0	50,8	38,3	53,3	0
	Mayo	80	36	150	38,3	38,3	26,8	0	36	5,7
	Junio	39	22	150	0	0	22	0	22	17
	Julio	0	19	131	0	0	19	19	19	0
	Agosto	0	30	105	19	0	26	26	26	0
	Septiembre	31	41	98	45	0	28,7	7	38	0
	Octubre	53	77	82,3	52	0	50,3	15,7	68,7	0
	Noviembre	220	94	150	67,7	67,7	51,6	0	94	58,3
	Diciembre	257	126	150	0	0	109,2	0	126	131
1990	Enero	92	136	109,2	0	0	117,5	40,8	132,8	0
	Febrero	128	96	141,2	40,8	32	69,9	0	96	0
	Marzo	158	92	150	8,8	8,8	76,9	0	92	57,2
	Abril	81	56	150	0	0	50,8	0	56	25
	Mayo	15	36	129	0	0	34,2	21	36	0
	Junio	5	22	114,2	21	0	19	14,8	19,8	0
	Julio	28	19	123,2	35,8	9	14,5	0	19	0
	Agosto	10	30	105,8	26,8	0	25	17,4	27,4	0
	Septiembre	12	41	85,3	44,2	0	28,9	20,5	32,5	0
	Octubre	159	77	150	64,7	64,7	43,8	0	77	17,3
	Noviembre	175	94	150	0	0	82,5	0	94	81
	Diciembre	102	126	126	0	0	109,2	24	126	0
1991	Enero	217	136	150	24	24	113,5	0	136	57
	Febrero	116	96	150	0	0	84,2	0	96	20
	Marzo	123	92	150	0	0	80,8	0	92	31
	Abril	102	56	150	0	0	50,8	0	56	46
	Mayo	52	36	150	0	0	34,2	0	36	16
	Junio	12	22	140	0	0	22	10	22	0
	Julio	26	19	147	10	7	18,3	0	19	0
	Agosto	29	30	146	3	0	28,7	1	30	0
	Septiembre	40	41	145	4	0	37,7	1	41	0
	Octubre	123	77	150	5	5	67,5	0	77	41
	Noviembre	168	94	150	0	0	82,5	0	94	74
	Diciembre	222	126	150	0	0	109,2	0	126	96

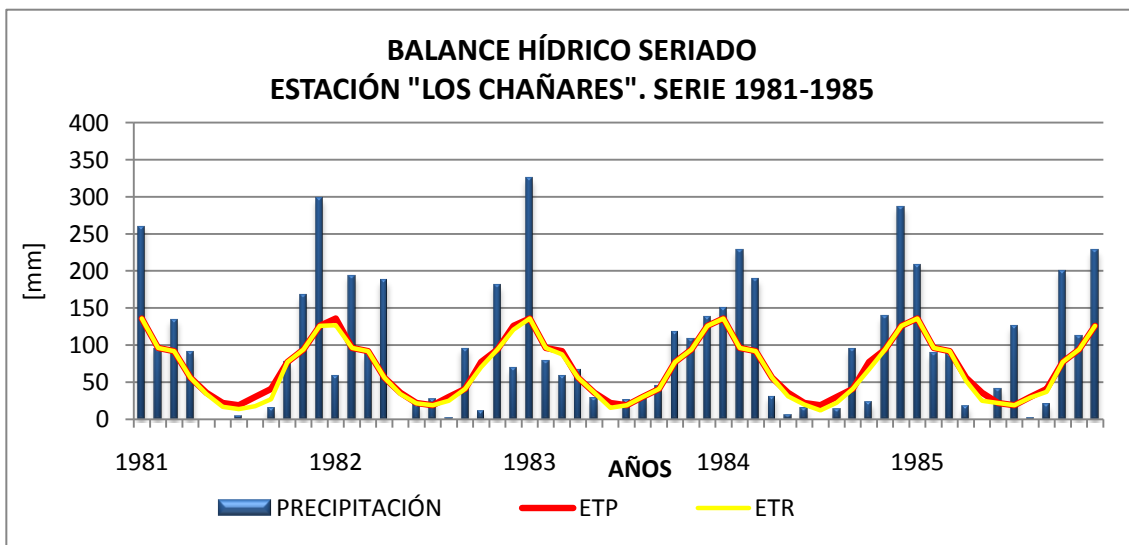
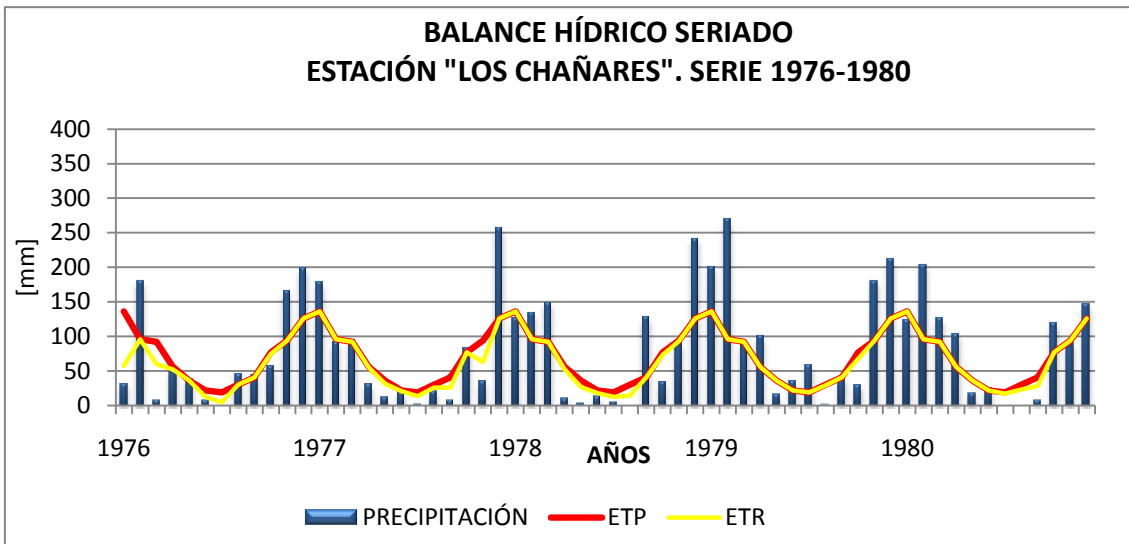
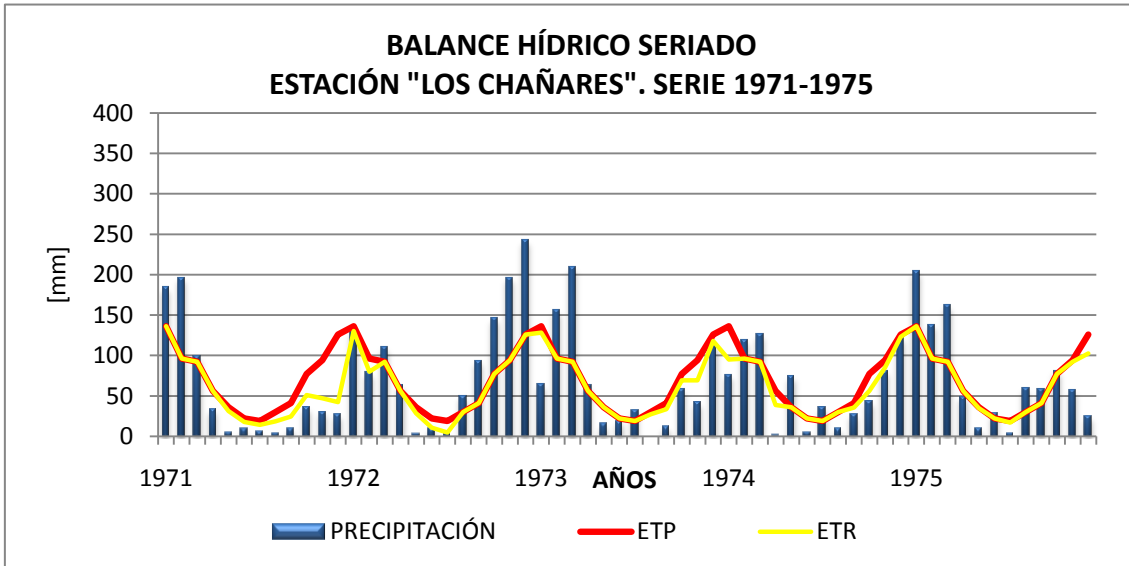
1992	Enero	206	136	150	0	0	117,5	0	136	70
	Febrero	178	96	150	0	0	84,2	0	96	82
	Marzo	228	92	150	0	0	80,8	0	92	136
	Abril	30	56	124,2	0	0	50,8	25,8	55,8	0
	Mayo	10	36	102,6	25,8	0	29,8	21,5	31,5	0
	Junio	0	22	87,6	47,4	0	15,1	15,1	15,1	0
	Julio	18	19	87	62,4	0	11,1	0,6	18,6	0
	Agosto	32	30	89	63	2	17,4	0	30	0
	Septiembre	67	41	115	61	26	24,6	0	41	0
	Octubre	43	77	84,6	35	0	56,2	30,4	73,4	0
	Noviembre	165	94	150	65,4	65,4	53	0	94	5,6
	Diciembre	225	126	150	0	0	109,2	0	126	99
1993	Enero	220	136	150	0	0	117,5	0	136	84
	Febrero	76	96	130	0	0	84,2	20	96	0
	Marzo	176	92	150	20	20	77,5	0	92	64
	Abril	44	56	138	0	0	50,8	12	56	0
	Mayo	35	36	137	12	0	32,2	1	36	0
	Junio	35	22	150	13	13	20,3	0	22	0
	Julio	0	19	131	0	0	19	19	19	0
	Agosto	19	30	120,8	19	0	26	10,2	29,2	0
	Septiembre	18	41	102,3	29,2	0	33	18,5	36,5	0
	Octubre	133	77	150	47,7	47,7	52,5	0	77	8,3
	Noviembre	260	94	150	0	0	82,5	0	94	166
	Diciembre	166	126	150	0	0	109,2	0	126	40
1994	Enero	142	136	150	0	0	117,5	0	136	6
	Febrero	185	96	150	0	0	84,2	0	96	89
	Marzo	233	92	150	0	0	80,8	0	92	141
	Abril	49	56	143	0	0	50,8	7	56	0
	Mayo	83	36	150	7	7	33	0	36	40
	Junio	17	22	145	0	0	22	5	22	0
	Julio	22	19	148	5	3	19	0	19	0
	Agosto	38	30	150	2	2	28,8	0	30	6
	Septiembre	20	41	129	0	0	38,3	21	41	0
	Octubre	100	77	150	21	21	64,8	0	77	2
	Noviembre	212	94	150	0	0	82,5	0	94	118
	Diciembre	91	126	116,7	0	0	109,2	33,3	124,3	0
1995	Enero	288	136	150	33,3	33,3	105,8	0	136	118,7
	Febrero	82	96	136	0	0	84,2	14	96	0
	Marzo	83	92	127	14	0	78,5	9	92	0
	Abril	10	56	88,3	23	0	47	38,7	48,7	0
	Mayo	52	36	104,3	61,7	16	21,2	0	36	0
	Junio	0	22	84,8	45,7	0	19,5	19,5	19,5	0
	Julio	5	19	76,9	65,2	0	10,7	7,9	12,9	0
	Agosto	3	30	63	73,1	0	15,4	13,8	16,8	0
	Septiembre	8	41	49,2	87	0	17,2	13,9	21,9	0
	Octubre	19	77	30,2	100,8	0	25,2	19	38	0
	Noviembre	277	94	150	119,8	119,8	18,9	0	94	63,2
	Diciembre	50	126	82,5	0	0	109,2	67,5	117,5	0

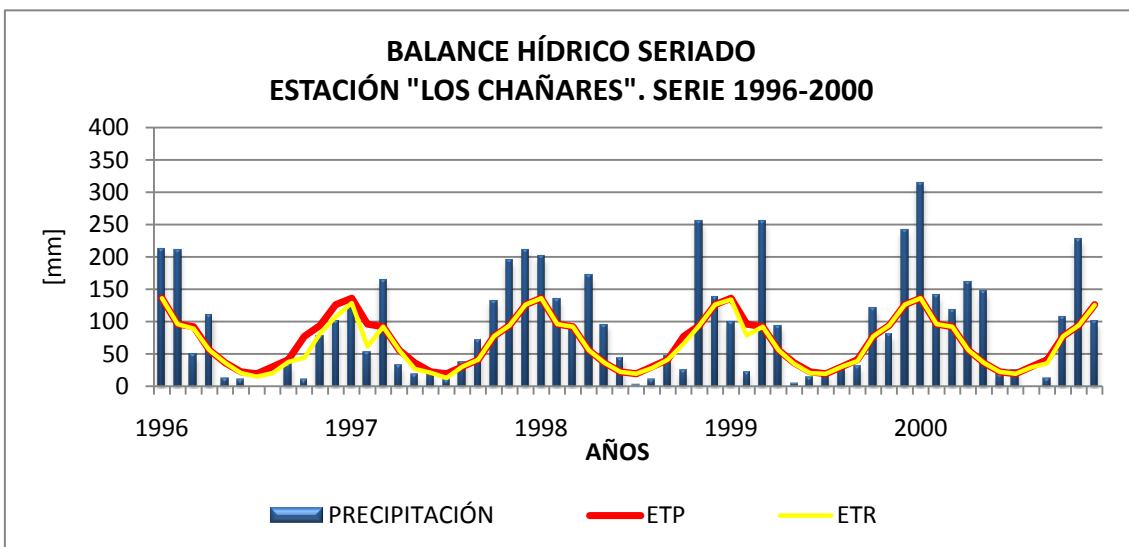
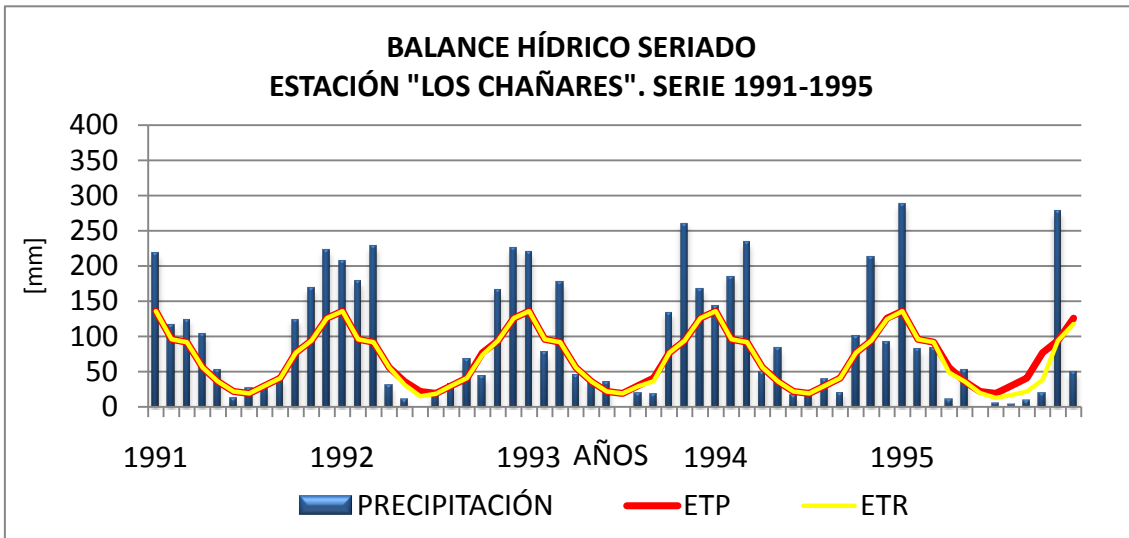
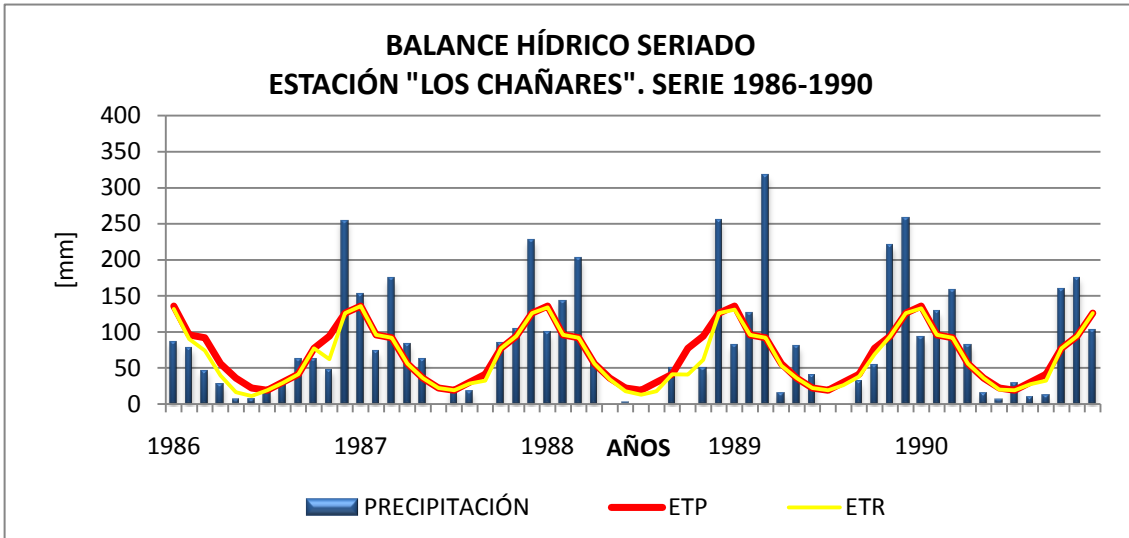
1996	Enero	212	136	150	67,5	67,5	74,8	0	136	8,5
	Febrero	211	96	150	0	0	84,2	0	96	115
	Marzo	49	92	110	0	0	80,8	40	89	0
	Abril	109	56	150	40	40	41,1	0	56	13
	Mayo	12	36	126	0	0	34,2	24	36	0
	Junio	10	22	115,8	24	0	18,5	10,2	20,2	0
	Julio	0	19	101,2	34,2	0	14,7	14,7	14,7	0
	Agosto	0	30	80,9	48,8	0	20,2	20,2	20,2	0
	Septiembre	33	41	76,6	69,1	0	22,1	4,3	37,3	0
	Octubre	10	77	42,4	73,4	0	39,3	34,2	44,2	0
	Noviembre	77	94	37,6	107,6	0	26,6	4,8	81,8	0
	Diciembre	101	126	31,3	112,4	0	31,6	6,3	107,3	0
1997	Enero	127	136	29,4	118,7	0	28,4	1,9	128,9	0
	Febrero	53	96	21	120,6	0	18,8	8,4	61,4	0
	Marzo	164	92	93	129	72	12,9	0	92	0
	Abril	32	56	69	57	0	39,1	24	56	0
	Mayo	18	36	60,3	81	0	16,9	8,7	26,7	0
	Junio	20	22	59,5	89,7	0	8,8	0,8	20,8	0
	Julio	9	19	55,5	90,5	0	7,5	4	13	0
	Agosto	37	30	62,5	94,5	7	11,1	0	30	0
	Septiembre	70	41	91,5	87,5	29	19,6	0	41	0
	Octubre	132	77	146,5	58,5	55	48,1	0	77	0
	Noviembre	194	94	150	3,5	3,5	80,9	0	94	96,5
	Diciembre	211	126	150	0	0	109,2	0	126	85
1998	Enero	201	136	150	0	0	117,5	0	136	65
	Febrero	134	96	150	0	0	84,2	0	96	38
	Marzo	92	92	150	0	0	80,8	0	92	0
	Abril	171	56	150	0	0	50,8	0	56	115
	Mayo	95	36	150	0	0	34,2	0	36	59
	Junio	43	22	150	0	0	22	0	22	21
	Julio	2	19	133	0	0	19	17	19	0
	Agosto	10	30	115	17	0	26,3	18	28	0
	Septiembre	46	41	120	35	5	31,4	0	41	0
	Octubre	24	77	78,2	30	0	60,2	41,8	65,8	0
	Noviembre	255	94	150	71,8	71,8	49	0	94	89,2
	Diciembre	137	126	150	0	0	109,2	0	126	11
1999	Enero	99	136	115	0	0	117,5	35	134	0
	Febrero	22	96	58,3	35	0	73,6	56,7	78,7	0
	Marzo	255	92	150	91,7	91,7	35,7	0	92	71,3
	Abril	93	56	150	0	0	50,8	0	56	37
	Mayo	4	36	119,2	0	0	34,2	30,8	34,8	0
	Junio	14	22	112,8	30,8	0	17,5	6,4	20,4	0
	Julio	20	19	113,8	37,2	1	14,3	0	19	0
	Agosto	30	30	113,8	36,2	0	22,8	0	30	0
	Septiembre	31	41	106	36,2	0	31,1	7,8	38,8	0
	Octubre	120	77	149	44	43	54,4	0	77	0
	Noviembre	79	94	134	1	0	82,1	15	94	0
	Diciembre	241	126	150	16	16	105,9	0	126	99

2000	Enero	315	136	150	0	0	117,5	0	136
	Febrero	140	96	150	0	0	84,2	0	96
	Marzo	116	92	150	0	0	80,8	0	92
	Abril	161	56	150	0	0	50,8	0	56
	Mayo	147	36	150	0	0	34,2	0	36
	Junio	18	22	146	0	0	22	4	22
	Julio	25	19	150	4	4	19	0	19
	Agosto	0	30	120,8	0	0	29,2	29,2	29,2
	Septiembre	12	41	97,5	29,2	0	33	23,4	35,4
	Octubre	107	77	127,5	52,5	30	50	0	77
	Noviembre	226	94	150	22,5	22,5	72,1	0	94
	Diciembre	100	126	124,2	0	0	109,2	25,8	125,8
2001	Enero	142	136	115	0	0	117,5	0	136
	Febrero	69	96	106,8	19,8	0	80,5	23,4	92,4
	Marzo	215	92	150	43,2	43,2	65,5	0	92
	Abril	194	56	150	0	0	50,8	0	56
	Mayo	0	36	115,8	0	0	34,2	34,2	34,2
	Junio	8	22	105	34,2	0	17	10,8	18,8
	Julio	21	19	107	45	2	13,3	0	19
	Agosto	15	30	95,9	43	0	21,6	11,1	26,1
	Septiembre	164	41	150	54,1	54,1	26,2	0	41
	Octubre	160	77	150	0	0	68,3	0	77
	Noviembre	72	94	128	0	0	82,5	22	94
	Diciembre	134	126	136	22	8	105,5	0	126
2002	Enero	109	136	111,7	14	0	115,2	24,3	133,3
	Febrero	279	96	150	38,3	38,3	71,5	0	96
	Marzo	91	92	149	0	0	80,8	1	92
	Abril	247	56	150	1	1	50,7	0	56
	Mayo	56	36	150	0	0	34,2	0	36
	Junio	0	22	128	0	0	22	22	22
	Julio	6	19	116,7	22	0	16,3	11,3	17,3
	Agosto	67	30	150	33,3	33,3	23,3	0	30
	Septiembre	0	41	111,7	0	0	38,3	38,3	38,3
	Octubre	60	77	99	38,3	0	57,3	12,7	72,7
	Noviembre	57	94	74,6	51	0	62	24,4	81,4
	Diciembre	182	126	130,6	75,4	56	62,7	0	126
2003	Enero	140	136	134,6	19,4	4	103,1	0	136
	Febrero	66	96	105,9	15,4	0	76,9	28,7	94,7
	Marzo	76	92	94,6	44,1	0	65	11,3	87,3
	Abril	139	56	150	55,4	55,4	35,3	0	56
	Mayo	10	36	124,2	0	0	34,2	25,8	35,8
	Junio	0	22	106	25,8	0	18,2	18,2	18,2
	Julio	65	19	150	44	44	13,4	0	19
	Agosto	1	30	121,7	0	0	29,2	28,3	29,3
	Septiembre	0	41	88,4	28,3	0	33,3	33,3	33,3
	Octubre	18	77	53,6	61,6	0	45,4	34,8	52,8
	Noviembre	16	94	25,7	96,4	0	33,6	27,9	43,9
	Diciembre	168	126	67,7	124,3	42	21,6	0	126

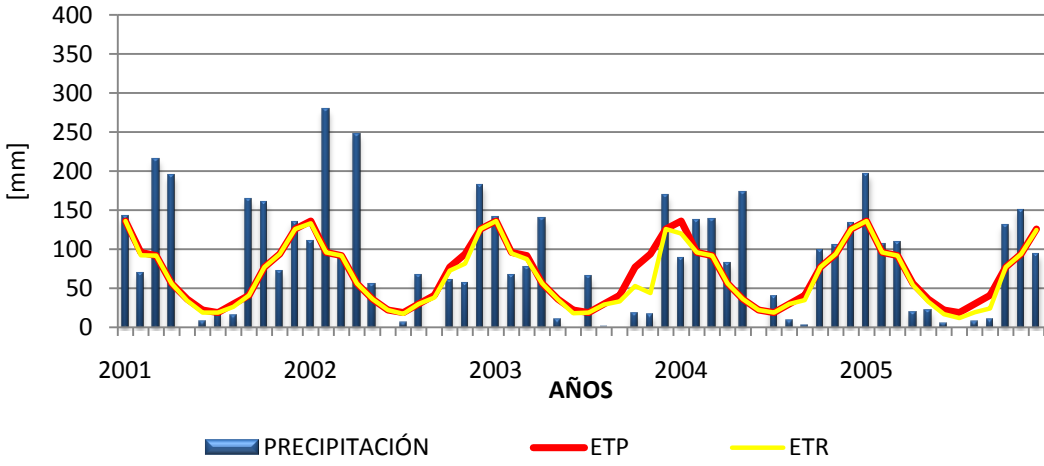
2004	Enero	89	136	36,5	82,3	0	56,6	31,3	120,3	0
	Febrero	137	96	77,5	113,5	41	23,3	0	96	0
	Marzo	138	92	123,5	72,5	46	48,4	0	92	0
	Abril	82	56	149,5	26,5	26	45,4	0	56	0
	Mayo	174	36	150	0,5	0,5	34,1	0	36	137,5
	Junio	0	22	128	0	0	22	22	22	0
	Julio	39	19	148	22	20	16,3	0	19	0
	Agosto	9	30	127	2	0	28,8	21	30	0
	Septiembre	3	41	95	23	0	34,5	32	35	0
	Octubre	99	77	117	55	22	48,8	0	77	0
	Noviembre	105	94	128	33	11	67,6	0	94	0
	Diciembre	133	126	135	22	7	94,4	0	126	0
2005	Enero	196	136	150	15	15	106,4	0	136	45
	Febrero	106	96	150	0	0	84,2	0	96	10
	Marzo	108	92	150	0	0	80,8	0	92	16
	Abril	20	56	115,8	0	0	50,8	34,2	54,2	0
	Mayo	22	36	105	34,2	0	27,8	10,8	32,8	0
	Junio	5	22	93,1	45	0	15,4	11,9	16,9	0
	Julio	0	19	81,3	56,9	0	11,8	11,8	11,8	0
	Agosto	7	30	68,9	68,7	0	16,3	12,5	19,5	0
	Septiembre	10	41	54,6	81,1	0	18,8	14,2	24,2	0
	Octubre	131	77	108,6	95,4	54	28	0	77	0
	Noviembre	150	94	150	41,4	41,4	63,5	0	94	14,6
	Diciembre	93	126	118,3	0	0	109,2	31,7	124,7	0







BALANCE HÍDRICO SERIADO
ESTACIÓN "LOS CHAÑARES". SERIE 2001-2005



BALANCE HIDRICO SERIADO. ESTACIÓN LA AGUADA. SERIE 1994-2007

PERIODO: 1994-2007

Agua Utilizada en la Capa Superior: 25 MM

Agua Utilizada en la Capa Inferior: 125 MM

Diccionario de Variables:

P: Precipitación

ETP: Evapotranspiración Potencial

ALMAC: Almacenaje

RP: Recarga Potencial

R: Recarga

APE: Agua potencial extraíble

ETR: Evapotranspiración Real

ESC: Escurrimiento

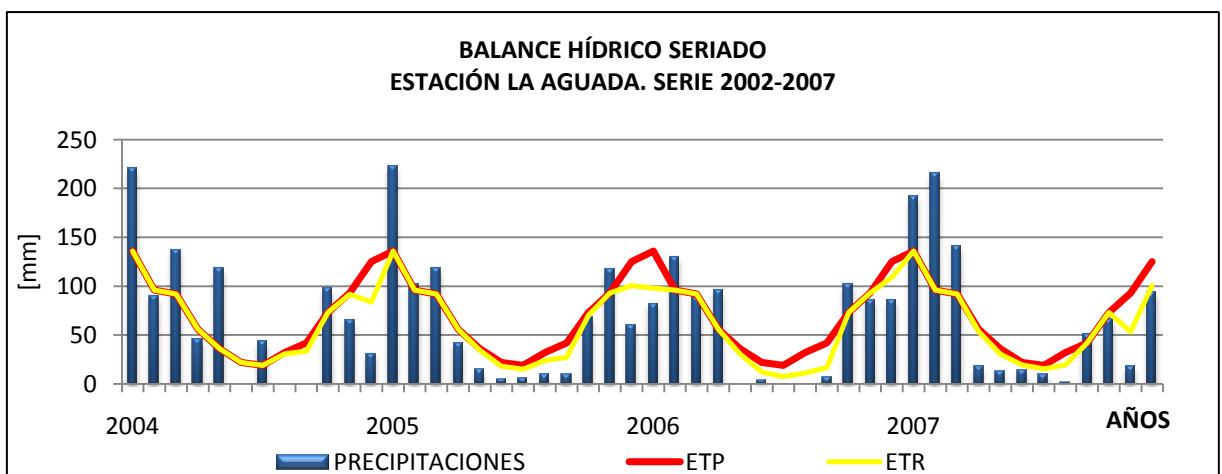
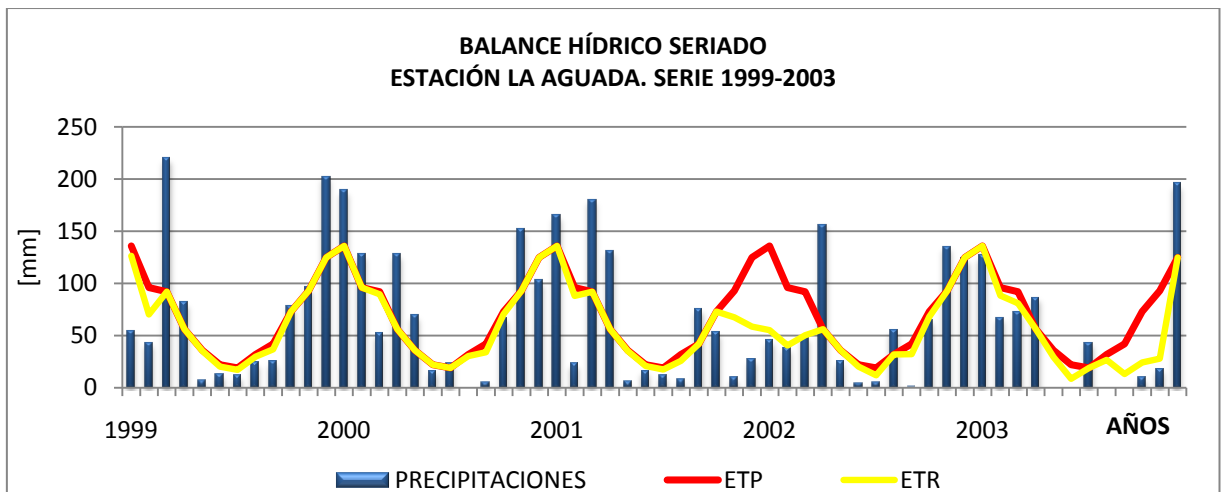
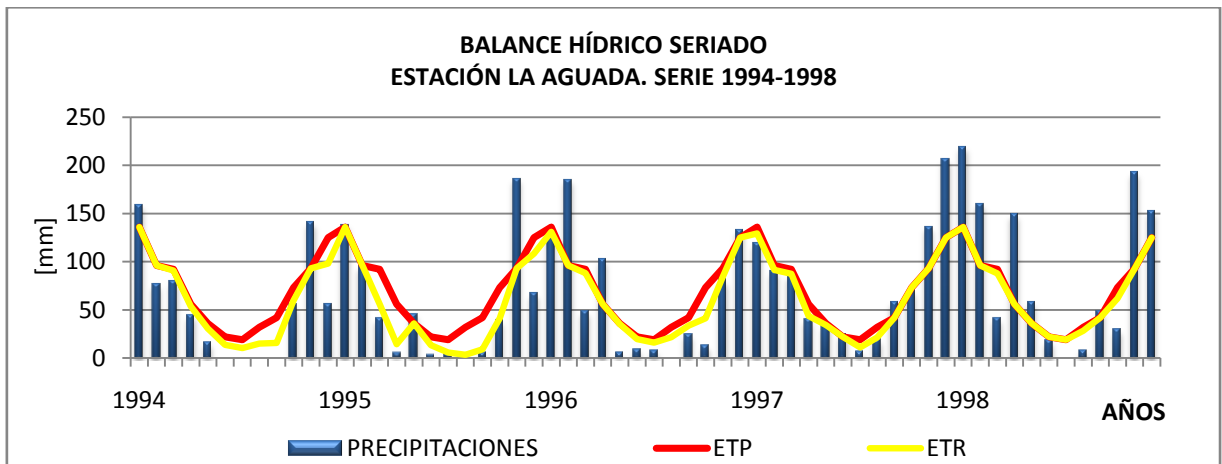
	MESES	P	ETP	ALMAC	RP	R	APE	AE	ETR	ESC.	DEFICIT
1994	Enero	159	136	150	0	0	117,5	0	136	23	0
	Febrero	76	96	130	0	0	84,2	20	96	0	0
	Marzo	79	92	118,3	20	0	77,5	11,7	90,7	0	1,3
	Abril	44	56	108,9	31,7	0	44,2	9,5	53,5	0	2,5
	Mayo	16	36	94,4	41,1	0	26,1	14,5	30,5	0	5,5
	Junio	0	22	80,5	55,6	0	13,8	13,8	13,8	0	8,2
	Julio	0	19	70,3	69,5	0	10,2	10,2	10,2	0	8,8
	Agosto	0	32	55,3	79,7	0	15	15	15	0	17
	Septiembre	0	42	39,8	94,7	0	15,5	15,5	15,5	0	26,5
	Octubre	55	73	35	110,2	0	19,4	4,8	59,8	0	13,2
	Noviembre	141	93	83	115	48	21,7	0	93	0	0
	Diciembre	56	125	41	67	0	63,7	42	98	0	27
1995	Enero	138	136	43	109	2	37,2	0	136	0	0
	Febrero	95	96	42	107	0	27,7	1	96	0	0
	Marzo	41	92	27,3	108	0	25,9	14,7	55,7	0	36,3
	Abril	5	56	18	122,7	0	10,2	9,3	14,3	0	41,7
	Mayo	45	36	27	132	9	4,3	0	36	0	0
	Junio	3	22	16,8	123	0	10,6	10,2	13,2	0	8,8
	Julio	4	19	15,2	133,2	0	2,1	1,7	5,7	0	13,3
	Agosto	0	32	11,9	134,8	0	3,2	3,2	3,2	0	28,8
	Septiembre	6	42	9,1	138,1	0	3,3	2,9	8,9	0	33,1
	Octubre	39	73	7	140,9	0	4,4	2,1	41,1	0	31,9
	Noviembre	186	93	100	143	93	4,3	0	93	0	0
	Diciembre	67	125	58,5	50	0	75	41,5	108,5	0	16,5

1996	Enero	128	136	55,4	91,5	0	53	3,1	131,1	0	4,9
	Febrero	185	96	144,4	94,6	89	35,4	0	96	0	0
	Marzo	48	92	104,3	5,6	0	78,3	40,1	88,1	0	3,9
	Abril	102	56	150	45,7	45,7	38,9	0	56	0,3	0
	Mayo	6	36	120,8	0	0	34,2	29,2	35,2	0	0,8
	Junio	9	22	110,4	29,2	0	17,7	10,5	19,5	0	2,5
	Julio	8	19	102,3	39,6	0	14	8,1	16,1	0	2,9
	Agosto	0	32	80,5	47,7	0	21,8	21,8	21,8	0	10,2
	Septiembre	24	42	70,8	69,5	0	22,5	9,7	33,7	0	8,3
	Octubre	13	73	42,5	79,2	0	34,5	28,3	41,3	0	31,7
	Noviembre	81	93	39,1	107,5	0	26,3	3,4	84,4	0	8,6
	Diciembre	133	125	47,1	110,9	8	32,6	0	125	0	0
1997	Enero	119	136	36,7	102,9	0	41,3	10,3	129,3	0	6,7
	Febrero	90	96	35,3	113,3	0	23,5	1,5	91,5	0	4,5
	Marzo	86	92	33,9	114,7	0	21,6	1,4	87,4	0	4,6
	Abril	40	56	30,2	116,1	0	12,6	3,6	43,6	0	12,4
	Mayo	34	36	29,8	119,8	0	7,3	0,4	34,4	0	1,6
	Junio	24	22	31,8	120,2	2	4,4	0	22	0	0
	Julio	7	19	27,9	118,2	0	5,4	4	11	0	8
	Agosto	19	32	25,4	122,1	0	5,9	2,4	21,4	0	10,6
	Septiembre	58	42	41,4	124,6	16	7,1	0	42	0	0
	Octubre	70	73	38,4	108,6	0	25,7	3	73	0	0
	Noviembre	136	93	81,4	111,6	43	26,6	0	93	0	0
	Diciembre	206	125	150	68,6	68,6	62,6	0	125	12,4	0
1998	Enero	219	136	150	0	0	117,5	0	136	83	0
	Febrero	160	96	150	0	0	84,2	0	96	64	0
	Marzo	41	92	103,3	0	0	80,8	46,7	87,7	0	4,3
	Abril	149	56	150	46,7	46,7	38,6	0	56	46,3	0
	Mayo	58	36	150	0	0	34,2	0	36	22	0
	Junio	18	22	146	0	0	22	4	22	0	0
	Julio	0	19	127	4	0	19	19	19	0	0
	Agosto	8	32	106,7	23	0	27	20,3	28,3	0	3,7
	Septiembre	48	42	112,7	43,3	6	29,9	0	42	0	0
	Octubre	29	73	79,6	37,3	0	53,6	33	62	0	11
	Noviembre	193	93	150	70,4	70,4	49,4	0	93	29,6	0
	Diciembre	152	125	150	0	0	108,3	0	125	27	0
1999	Enero	54	136	77,5	0	0	117,5	72,5	126,5	0	9,5
	Febrero	43	96	50,1	72,5	0	49,6	27,4	70,4	0	25,6
	Marzo	220	92	150	99,9	99,9	30,7	0	92	28,1	0
	Abril	82	56	150	0	0	50,8	0	56	26	0
	Mayo	7	36	121,7	0	0	34,2	28,3	35,3	0	0,7
	Junio	13	22	114,4	28,3	0	17,8	7,3	20,3	0	1,7
	Julio	12	19	109	35,6	0	14,5	5,3	17,3	0	1,7
	Agosto	24	32	103,2	41	0	23,3	5,8	29,8	0	2,2
	Septiembre	25	42	91,5	46,8	0	28,9	11,7	36,7	0	5,3
	Octubre	78	73	96,5	58,5	5	44,5	0	73	0	0
	Noviembre	96	93	99,5	53,5	3	58,7	0	93	0	0
	Diciembre	202	125	150	50,5	50,5	79,4	0	125	26,5	0

2000	Enero	189	136	150	0	0	117,5	0	136	53	0
	Febrero	128	96	150	0	0	84,2	0	96	32	0
	Marzo	52	92	112,5	0	0	80,8	37,5	89,5	0	2,5
	Abril	128	56	150	37,5	37,5	42	0	56	34,5	0
	Mayo	69	36	150	0	0	34,2	0	36	33	0
	Junio	16	22	144	0	0	22	6	22	0	0
	Julio	23	19	148	6	4	19	0	19	0	0
	Agosto	0	32	117,5	2	0	30,5	30,5	30,5	0	1,5
	Septiembre	5	42	88,5	32,5	0	32,9	29	34	0	8
	Octubre	67	73	85	61,5	0	43,1	3,5	70,5	0	2,5
	Noviembre	152	93	144	65	59	52,7	0	93	0	0
	Diciembre	103	125	122	6	0	104,3	22	125	0	0
2001	Enero	165	136	150	28	28	108,5	0	136	1	0
	Febrero	23	96	85	0	0	84,2	65	88	0	8
	Marzo	180	92	150	65	65	52,1	0	92	23	0
	Abril	131	56	150	0	0	50,8	0	56	75	0
	Mayo	6	36	120,8	0	0	34,2	29,2	35,2	0	0,8
	Junio	16	22	116	29,2	0	17,7	4,8	20,8	0	1,2
	Julio	12	19	110,6	34	0	14,7	5,4	17,4	0	1,6
	Agosto	8	32	92,9	39,4	0	23,6	17,7	25,7	0	6,3
	Septiembre	75	42	125,9	57,1	33	26	0	42	0	0
	Octubre	53	73	105,9	24,1	0	57,3	20	73	0	0
	Noviembre	10	93	48,4	44,1	0	64,2	57,5	67,5	0	25,5
	Diciembre	27	125	16,8	101,6	0	40,4	31,6	58,6	0	66,4
2002	Enero	45	136	6,6	133,2	0	15,2	10,2	55,2	0	80,8
	Febrero	38	96	4,1	143,4	0	4,2	2,6	40,6	0	55,4
	Marzo	49	92	2,9	145,9	0	2,5	1,2	50,2	0	41,8
	Abril	156	56	102,9	147,1	100	1,1	0	56	0	0
	Mayo	25	36	91,9	47,1	0	30,7	11	36	0	0
	Junio	4	22	75,8	58,1	0	18,2	16,1	20,1	0	1,9
	Julio	5	19	68,7	74,2	0	9,6	7,1	12,1	0	6,9
	Agosto	55	32	91,7	81,3	23	14,7	0	32	0	0
	Septiembre	1	42	60,5	58,3	0	31,7	31,2	32,2	0	9,8
	Octubre	65	73	57,3	89,5	0	29,4	3,2	68,2	0	4,8
	Noviembre	135	93	99,3	92,7	42	35,5	0	93	0	0
	Diciembre	124	125	98,3	50,7	0	74,5	1	125	0	0
2003	Enero	126	136	88,3	51,7	0	79,4	10	136	0	0
	Febrero	67	96	66,8	61,7	0	54,6	21,4	88,4	0	7,6
	Marzo	72	92	57,9	83,2	0	41	8,9	80,9	0	11,1
	Abril	86	56	87,9	92,1	30	21,6	0	56	0	0
	Mayo	0	36	58,3	62,1	0	29,6	29,6	29,6	0	6,4
	Junio	0	22	49,8	91,7	0	8,6	8,6	8,6	0	13,4
	Julio	43	19	73,8	100,2	24	6,3	0	19	0	0
	Agosto	0	32	47,1	76,2	0	26,7	26,7	26,7	0	5,3
	Septiembre	0	42	33,9	102,9	0	13,2	13,2	13,2	0	28,8
	Octubre	10	73	19,7	116,1	0	16,5	14,2	24,2	0	48,8
	Noviembre	18	93	9,8	130,3	0	12,2	9,8	27,8	0	65,2
	Diciembre	195	125	79,8	140,2	70	8,2	0	125	0	0

2004	Enero	220	136	150	70,2	70,2	65,6	0	136	13,8	0
	Febrero	90	96	144	0	0	84,2	6	96	0	0
	Marzo	137	92	150	6	6	79,8	0	92	39	0
	Abril	45	56	139	0	0	50,8	11	56	0	0
	Mayo	118	36	150	11	11	32,3	0	36	71	0
	Junio	0	22	128	0	0	22	22	22	0	0
	Julio	43	19	150	22	22	16,3	0	19	2	0
	Agosto	0	32	119,2	0	0	30,8	30,8	30,8	0	1,2
	Septiembre	0	42	85,8	30,8	0	33,4	33,4	33,4	0	8,6
	Octubre	98	73	110,8	64,2	25	41,8	0	73	0	0
	Noviembre	65	93	84,1	39,2	0	63,9	26,7	91,7	0	1,3
	Diciembre	31	125	31,4	65,9	0	70,1	52,7	83,7	0	41,3
2005	Enero	223	136	118,4	118,6	87	28,5	0	136	0	0
	Febrero	102	96	124,4	31,6	6	69,2	0	96	0	0
	Marzo	118	92	150	25,6	25,6	69,4	0	92	0,4	0
	Abril	41	56	135	0	0	50,8	15	56	0	0
	Mayo	15	36	115,8	15	0	31,7	19,2	34,2	0	1,8
	Junio	5	22	102,7	34,2	0	17	13,1	18,1	0	3,9
	Julio	6	19	93,8	47,3	0	13	8,9	14,9	0	4,1
	Agosto	10	32	80	56,2	0	20	13,8	23,8	0	8,2
	Septiembre	10	42	63	70	0	22,4	17,1	27,1	0	14,9
	Octubre	68	73	60,9	87	0	30,6	2,1	70,1	0	2,9
	Noviembre	117	93	84,9	89,1	24	37,7	0	93	0	0
	Diciembre	60	125	44,2	65,1	0	65	40,6	100,6	0	24,4
2006	Enero	82	136	28,3	105,8	0	40,1	15,9	97,9	0	38,1
	Febrero	130	96	62,3	121,7	34	18,1	0	96	0	0
	Marzo	89	92	59,3	87,7	0	41,7	3	92	0	0
	Abril	95	56	98,3	90,7	39	30,5	0	56	0	0
	Mayo	0	36	67,9	51,7	0	30,4	30,4	30,4	0	5,6
	Junio	4	22	59,8	82,1	0	10	8,2	12,2	0	9,8
	Julio	0	19	52,2	90,2	0	7,6	7,6	7,6	0	11,4
	Agosto	0	32	41,1	97,8	0	11,1	11,1	11,1	0	20,9
	Septiembre	7	42	31,5	108,9	0	11,5	9,6	16,6	0	25,4
	Octubre	102	73	60,5	118,5	29	15,3	0	73	0	0
	Noviembre	86	93	53,5	89,5	0	41,1	7	93	0	0
	Diciembre	86	125	30,5	96,5	0	43,3	23	109	0	16
2007	Enero	192	136	86,5	119,5	56	27,7	0	136	0	0
	Febrero	215	96	150	63,5	63,5	54,1	0	96	55,5	0
	Marzo	141	92	150	0	0	80,8	0	92	49	0
	Abril	18	56	114,2	0	0	50,8	35,8	53,8	0	2,2
	Mayo	13	36	96,7	35,8	0	27,4	17,5	30,5	0	5,5
	Junio	14	22	91,5	53,3	0	14,2	5,2	19,2	0	2,8
	Julio	10	19	86	58,5	0	11,6	5,5	15,5	0	3,5
	Agosto	2	32	68,8	64	0	18,3	17,2	19,2	0	12,8
	Septiembre	51	42	77,8	81,2	9	19,3	0	42	0	0
	Octubre	66	73	70,8	72,2	0	38,4	7	73	0	0
	Noviembre	18	93	35,3	79,2	0	43,7	35,5	53,5	0	39,5
	Diciembre	93	125	27,8	114,7	0	29,4	7,5	100,5	0	24,5

**GRÁFICOS RESULTANTES DEL BALANCE HÍDRICO SERIADO
PARA LA ESTACIÓN "LA AGUADA". SERIE 1994-2007**



ANEXO II
ANÁLISIS DE LABORATORIO

ANÁLISIS FÍSICO – QUÍMICO DE AGUAS

Identificación: Fecha de Extracción: Octubre/07
Muestra N° 1 Profundidad al agua:
Origen: Acuífero: Libre
Procedencia: Cuenca
Arroyo La Colacha

Análisis Físico Químico

Color: Incolora Olor: Inodora
Conductividad a 25° C: 1352 μ S/cm SDT: 960mg/l
pH: 8,20

Determinaciones Básicas

Elementos	Concentración	Unidad	Concentración	Unidad
Carbonatos	0,0	mg/l	0,00	meq/l
Bicarbonatos	542,5	mg/l	8,89	meq/l
Sulfatos	99,9	mg/l	2,08	meq/l
Cloruros	20,0	mg/l	0,56	meq/l
Sodio	236,6	mg/l	10,29	meq/l
Potasio	12,3	mg/l	0,31	meq/l
Calcio	8,0	mg/l	0,40	meq/l
Magnesio	5,4	mg/l	0,44	meq/l
Nitratos	35,0	mg/l	0,56	meq/l
Nitritos	0,0	mg/l	0,00	meq/l
Flúor	7,0	mg/l	0,37	meq/l
Arsénico	239	ug/l		

Determinaciones Complementarias

Dureza Total: 0,8 meq/l 42 ppm CO₃Ca
Alcalinidad TA: 0,0 meq/l
Alcalinidad TAC: 8,9 meq/l 444,5 ppm CO₃Ca
RAS: 15,9 CSR: 8,05 meq/l

Observaciones: Las determinaciones realizadas en el presente análisis, permiten obtener las siguientes conclusiones.

Agua Bicarbonatada sódica, dulce y blanda, no apta para consumo Humano por exceso de Flúor, Arsénico (C.A.A).

Uso ganadero: Deficiente para cría y Deficiente para tambo e invernada, según el contenido salino

Aptitud para Riego (RAS): Clase II. Buena por su moderada peligrosidad salina y media peligrosidad sódica

ANÁLISIS FÍSICO – QUÍMICO DE AGUAS

Identificación: Fecha de Extracción: Octubre/07
Muestra N° 4 Profundidad al agua:
Origen: Acuífero: Libre
Procedencia: Cuenca
Arroyo La Colacha

Análisis Físico Químico

Color: Incolora Olor: Inodora
Conductividad a 25° C: 4970 μ S/cm SDT: 3484 mg/l
pH: 7,6

Determinaciones Básicas

Elementos	Concentración	Unidad	Concentración	Unidad
Carbonatos	0,0	mg/l	0,00	meq/l
Bicarbonatos	687,5	mg/l	11,27	meq/l
Sulfatos	1045,8	mg/l	21,77	meq/l
Cloruros	328,6	mg/l	9,27	meq/l
Sodio	967,6	mg/l	42,09	meq/l
Potasio	33,1	mg/l	0,85	meq/l
Calcio	68,0	mg/l	3,39	meq/l
Magnesio	48,3	mg/l	3,97	meq/l
Nitratos	303,0	mg/l	4,89	meq/l
Nitritos	0,0	mg/l	0,00	meq/l
Flúor	1,9	mg/l	0,10	meq/l
Arsénico	27	ug/l		

Determinaciones Complementarias

Dureza Total: 7,4 meq/l 368 ppm CO₃Ca
Alcalinidad TA: 0,0 meq/l
Alcalinidad TAC: 11,3 meq/l 563,5 ppm CO₃Ca
RAS: 21,9 CSR: 3,9 meq/l

Observaciones: Las determinaciones realizadas en el presente análisis, permiten obtener las siguientes conclusiones.

Agua Sulfatada sódica, salobre y muy dura, no apta para consumo Humano por exceso de Flúor, Arsénico y Nitratos (C.A.A).

Uso ganadero: Buena para cría y Aceptable para tambo e internada, según el contenido salino

Aptitud para Riego: Clase III. Buena a Regular por su media peligrosidad salina y alta peligrosidad sódica.

ANÁLISIS FÍSICO – QUÍMICO DE AGUAS

Identificación: Fecha de Extracción: Octubre/07
Muestra N° 10 Profundidad al agua:
Origen: Acuífero: Libre
Procedencia: Cuenca
Arroyo La Colacha

Análisis Físico Químico

Color: Incolora Olor: Inodora
Conductividad a 25° C: 1860 μ S/cm SDT: 1504 mg/l
pH: 7,8

Determinaciones Básicas

Elementos	Concentración	Unidad	Concentración	Unidad
Carbonatos	0,0	mg/l	0,00	meq/l
Bicarbonatos	482,5	mg/l	7,91	meq/l
Sulfatos	455,4	mg/l	9,48	meq/l
Cloruros	77,1	mg/l	2,18	meq/l
Sodio	426,5	mg/l	18,55	meq/l
Potasio	11,7	mg/l	0,30	meq/l
Calcio	26,4	mg/l	1,32	meq/l
Magnesio	10,7	mg/l	0,88	meq/l
Nitratos	9,0	mg/l	0,15	meq/l
Nitritos	0,0	mg/l	0,00	meq/l
Flúor	5,0	mg/l	0,26	meq/l
Arsénico	218,0	ug/l		

Determinaciones Complementarias

Dureza Total: 2,2 meq/l 110 ppm CO₃Ca
Alcalinidad TA: 0,0 meq/l
Alcalinidad TAC: 7,9 meq/l 395,5 ppm CO₃Ca
RAS: 17,7 CSR: 5,7 meq/l

Observaciones: Las determinaciones realizadas en el presente análisis, permiten obtener las siguientes conclusiones.

Agua Sulfatada Bicarbonatada sódica, dulce y dura, no apta para consumo Humano por exceso de Flúor, Arsénico (C.A.A).

Uso ganadero: Satisfactoria para cría y Muy buena para tambo e invernada, según el contenido salino

Aptitud para Riego: Clase II. Buena por su moderada peligrosidad salina y media peligrosidad sódica

ANÁLISIS FÍSICO – QUÍMICO DE AGUAS

Identificación: Fecha de Extracción: Octubre/07
Muestra N° 14 Profundidad al agua:
Origen: Acuífero: Libre
Procedencia: Cuenca
Arroyo La Colacha

Análisis Físico Químico

Color: Incolora Olor: Inodora
Conductividad a 25° C: 4390 μ S/cm SDT: 2464 mg/l
pH: 7,7

Determinaciones Básicas

Elementos	Concentración	Unidad	Concentración	Unidad
Carbonatos	0,0	mg/l	0,00	meq/l
Bicarbonatos	565,0	mg/l	9,26	meq/l
Sulfatos	824,3	mg/l	17,16	meq/l
Cloruros	224,3	mg/l	6,33	meq/l
Sodio	723,2	mg/l	31,46	meq/l
Potasio	33,7	mg/l	0,86	meq/l
Calcio	48,0	mg/l	2,40	meq/l
Magnesio	37,1	mg/l	3,05	meq/l
Nitratos	5,0	mg/l	0,08	meq/l
Nitritos	0,0	mg/l	0,00	meq/l
Flúor	3,7	mg/l	0,19	meq/l
Arsénico	82	ug/l		

Determinaciones Complementarias

Dureza Total: 5,5 meq/l 272,5 ppm CO₃Ca
Alcalinidad TA: 0,0 meq/l
Alcalinidad TAC: 9,3 meq/l 463 ppm CO₃Ca
RAS: 19,1 CSR: 3,81meq/l

Observaciones: Las determinaciones realizadas en el presente análisis, permiten obtener las siguientes conclusiones.

Agua Sulfatada sódica, salobre y muy dura, no apta para consumo Humano por exceso de Flúor, Arsénico (C.A.A).

Uso ganadero: Buena para cría y Aceptable para tambo e invernada, según el contenido salino

Aptitud para Riego: Clase II. Buena por su moderada peligrosidad salina y media peligrosidad sódica

ANÁLISIS FÍSICO – QUÍMICO DE AGUAS

Identificación:

Muestra N° 26

Origen:

Procedencia: Cuenca
Arroyo La Colacha

Acuífero: Libre

Fecha de Extracción: 20/10/09

Profundidad al agua:

Análisis Físico Químico

Color: Incolora

Olor: Inodora

Conductividad a 25° C: 1128 μ S/cm

SDT: 1071 mg/l

pH: 7,60

Determinaciones Básicas

Elementos	Concentración	Unidad	Concentración	Unidad
Carbonatos	0,0	mg/l	0,00	meq/l
Bicarbonatos	645,0	mg/l	10,32	meq/l
Sulfatos	59,0	mg/l	1,24	meq/l
Cloruros	14,3	mg/l	0,40	meq/l
Sodio	246,7	mg/l	10,61	meq/l
Potasio	8,9	mg/l	0,22	meq/l
Calcio	16,0	mg/l	0,80	meq/l
Magnesio	7,3	mg/l	0,60	meq/l
Nitratos	66,0	mg/l	1,06	meq/l
Nitritos	0,0	mg/l	0,00	meq/l
Flúor	8,2	mg/l	0,43	meq/l
Arsénico	25	ug/l		

Determinaciones Complementarias

Dureza Total:	1,4	meq/l	70 ppm CO ₃ Ca
Alcalinidad TA:	0,0	meq/l	
Alcalinidad TAC:	10,3	meq/l	516 ppm CO ₃ Ca
RAS: 12,7		CSR: 8,9 meq/l	

Observaciones: Las determinaciones realizadas en el presente análisis, permiten obtener las siguientes conclusiones.

Agua Bicarbonatada sódica, dulce y algo dura, no apta para consumo Humano por exceso de Flúor, Arsénico y Nitratos (C.A.A).

Uso ganadero: Deficiente para cría y Deficiente para tambo e invernada, según el contenido salino

Aptitud para Riego: Clase II. Buena por su moderada peligrosidad salina y media peligrosidad sódica

ANÁLISIS FÍSICO – QUÍMICO DE AGUAS

Identificación: Fecha de Extracción: Octubre/07
Muestra N° 28 Profundidad al agua:
Origen: Acuífero: Libre
Procedencia: Cuenca
Arroyo La Colacha

Análisis Físico Químico

Color: Incolora Olor: Inodora
Conductividad a 25° C: 721 μ S/cm SDT: 731 mg/l
pH: 8,40

Determinaciones Básicas

Elementos	Concentración	Unidad	Concentración	Unidad
Carbonatos	2,4	mg/l	0,08	meq/l
Bicarbonatos	445,0	mg/l	7,29	meq/l
Sulfatos	43,7	mg/l	0,91	meq/l
Cloruros	11,4	mg/l	0,32	meq/l
Sodio	186,0	mg/l	8,09	meq/l
Potasio	5,6	mg/l	0,14	meq/l
Calcio	15,2	mg/l	0,76	meq/l
Magnesio	2,4	mg/l	0,20	meq/l
Nitratos	14,0	mg/l	0,23	meq/l
Nitritos	0,0	mg/l	0,00	meq/l
Flúor	4,8	mg/l	0,25	meq/l
Arsénico	138	ug/l		

Determinaciones Complementarias

Dureza Total: 1,0 meq/l 48 ppm CO₃Ca
Alcalinidad TA: 0,1 meq/l
Alcalinidad TAC: 7,4 meq/l 368,5 ppm CO₃Ca
RAS: 11,7 CSR: 6,40 meq/l

Observaciones: Las determinaciones realizadas en el presente análisis, permiten obtener las siguientes conclusiones.

Agua Bicarbonatada sódica, dulce y blanda, no apta para consumo Humano por exceso de Flúor, Arsénico (C.A.A).

Uso ganadero: Satisfactoria para cría y Muy buena para tambo e internada, según el contenido salino

Aptitud para Riego: Clase I. Excelente por su baja peligrosidad salina y baja peligrosidad sódica.

ANÁLISIS FÍSICO – QUÍMICO DE AGUAS

Identificación: Fecha de Extracción: Octubre/07
Muestra N° 29 Profundidad al agua:
Origen: Acuífero: Libre
Procedencia: Cuenca
Arroyo La Colacha

Análisis Físico Químico

Color: Incolora Olor: Inodora
Conductividad a 25° C: 1084 μ S/cm SDT: 925 mg/l
pH: 7,90

Determinaciones Básicas

Elementos	Concentración	Unidad	Concentración	Unidad
Carbonatos	0,0	mg/l	0,00	meq/l
Bicarbonatos	570,0	mg/l	9,34	meq/l
Sulfatos	52,2	mg/l	1,09	meq/l
Cloruros	22,9	mg/l	0,84	meq/l
Sodio	201,1	mg/l	8,75	meq/l
Potasio	9,5	mg/l	0,24	meq/l
Calcio	21,6	mg/l	1,08	meq/l
Magnesio	12,7	mg/l	1,04	meq/l
Nitratos	35,0	mg/l	0,56	meq/l
Nitritos	0,0	mg/l	0,00	meq/l
Flúor	8,0	mg/l	0,42	meq/l
Arsénico	157,0	ug/l		

Determinaciones Complementarias

Dureza Total: 2,1 meq/l 106 ppm CO₃Ca
Alcalinidad TA: 0,0 meq/l
Alcalinidad TAC: 9,3 meq/l 467 ppm CO₃Ca
RAS: 8,5 CSR: 7,20 meq/l

Observaciones: Las determinaciones realizadas en el presente análisis, permiten obtener las siguientes conclusiones.

Agua Bicarbonatada sódica, dulce y dura, no apta para consumo Humano por exceso de Flúor, Arsénico (C.A.A).

Uso ganadero: Satisfactoria para cría y Muy buena para tambo e internada, según el contenido salino

Aptitud para Riego: Clase I. Excelente por su baja peligrosidad salina y baja peligrosidad sódica.

ANÁLISIS FÍSICO – QUÍMICO DE AGUAS

Identificación:

Muestra N° 32

Origen: Perforación

Procedencia: Cuenca

Arroyo La Colacha

Acuífero: Libre

Fecha de Extracción: 20/10/09

Profundidad al agua:

Análisis Físico Químico

Color: Incolora

Conductividad a 25° C: 1583 μ S/cm

pH: 7,92

Olor: Inodora

SDT: 1252 mg/l

Determinaciones Básicas

Elementos	Concentración	Unidad	Concentración	Unidad
Carbonatos	0,0	mg/l	0,00	meq/l
Bicarbonatos	687,5	mg/l	11,00	meq/l
Sulfatos	83,0	mg/l	1,74	meq/l
Cloruros	82,9	mg/l	2,32	meq/l
Sodio	351,9	mg/l	15,13	meq/l
Potasio	10,3	mg/l	0,26	meq/l
Calcio	12,8	mg/l	0,64	meq/l
Magnesio	6,8	mg/l	0,56	meq/l
Nitratos	11,5	mg/l	0,18	meq/l
Nitritos	0,0	mg/l	0,00	meq/l
Flúor	5,0	mg/l	0,26	meq/l
Arsénico	160	ug/l		

Determinaciones Complementarias

Dureza Total:	1,2	meq/l	60 ppm CO ₃ Ca
Alcalinidad TA:	0,0	meq/l	
Alcalinidad TAC:	11,0	meq/l	550 ppm CO ₃ Ca
RAS: 19,5		CSR: 9,80 meq/l	

Observaciones: Las determinaciones realizadas en el presente análisis, permiten obtener las siguientes conclusiones.

Agua Bicarbonatada sódica, dulce y algo dura, no apta para consumo Humano por exceso de Flúor, Arsénico (C.A.A).

Uso ganadero: Satisfactoria para cría y Muy buena para tambo e invernada, según el contenido salino

Aptitud para Riego: Clase II. Buena por su moderada peligrosidad salina y media peligrosidad sódica

ANÁLISIS FÍSICO – QUÍMICO DE AGUAS

Identificación: Fecha de Extracción: Octubre/07
Muestra N° 33 Profundidad al agua:
Origen: Acuífero: Libre
Procedencia: Cuenca
Arroyo La Colacha

Análisis Físico Químico

Color: Incolora Olor: Inodora
Conductividad a 25° C: 1800 μ S/cm SDT: 1404 mg/l
pH: 8,10

Determinaciones Básicas

Elementos	Concentración	Unidad	Concentración	Unidad
Carbonatos	0,0	mg/l	0,00	meq/l
Bicarbonatos	555,0	mg/l	9,10	meq/l
Sulfatos	259,5	mg/l	5,40	meq/l
Cloruros	127,1	mg/l	3,59	meq/l
Sodio	396,4	mg/l	17,24	meq/l
Potasio	18,6	mg/l	0,48	meq/l
Calcio	16,0	mg/l	0,80	meq/l
Magnesio	9,8	mg/l	0,80	meq/l
Nitratos	19,0	mg/l	0,31	meq/l
Nitritos	0,0	mg/l	0,00	meq/l
Flúor	2,40	mg/l	0,13	meq/l
Arsénico	28,0	ug/l		

Determinaciones Complementarias

Dureza Total: 1,6 meq/l 80 ppm CO₃Ca
Alcalinidad TA: 0,0 meq/l
Alcalinidad TAC: 9,1 meq/l 455 ppm CO₃Ca
RAS: 19,3 CSR: 7,5 meq/l

Observaciones: Las determinaciones realizadas en el presente análisis, permiten obtener las siguientes conclusiones.

Agua Bicarbonatada sódica, dulce y algo dura, no apta para consumo Humano por exceso de Flúor, Arsénico (C.A.A).

Uso ganadero: Satisfactoria para cría y Muy buena para tambo e invernada, según el contenido salino

Aptitud para Riego: Clase II. Buena por su moderada peligrosidad salina y media peligrosidad sódica

ANÁLISIS FÍSICO – QUÍMICO DE AGUAS

Identificación: Fecha de Extracción: Octubre/07
Muestra N° 34 Profundidad al agua:
Origen: Acuífero: Libre
Procedencia: Cuenca
Arroyo La Colacha

Análisis Físico Químico

Color: Incolora Olor: Inodora
Conductividad a 25° C: 1440 μ S/cm SDT: 1129 mg/l
pH: 8,20

Determinaciones Básicas

Elementos	Concentración	Unidad	Concentración	Unidad
Carbonatos	0,0	mg/l	0,00	meq/l
Bicarbonatos	482,5	mg/l	7,91	meq/l
Sulfatos	216,2	mg/l	4,50	meq/l
Cloruros	65,7	mg/l	1,85	meq/l
Sodio	311,4	mg/l	13,55	meq/l
Potasio	14,1	mg/l	0,36	meq/l
Calcio	10,4	mg/l	0,52	meq/l
Magnesio	6,300	mg/l	0,52	meq/l
Nitratos	19,0	mg/l	0,31	meq/l
Nitritos	0,0	mg/l	0,00	meq/l
Flúor	2,90	mg/l	0,15	meq/l
Arsénico	37,0	ug/l		

Determinaciones Complementarias

Dureza Total: 1,0 meq/l 52 ppm CO₃Ca
Alcalinidad TA: 0,0 meq/l
Alcalinidad TAC: 7,9 meq/l 395,5 ppm CO₃Ca
RAS: 18,8 CSR: 6,87 meq/l

Observaciones: Las determinaciones realizadas en el presente análisis, permiten obtener las siguientes conclusiones.

Agua Bicarbonatada sódica, dulce y algo dura, no apta para consumo Humano por exceso de Flúor, Arsénico (C.A.A).

Uso ganadero: Satisfactoria para cría y Muy buena para tambo e internada, según el contenido salino

Aptitud para Riego: Clase II. Buena por su moderada peligrosidad salina y media peligrosidad sódica

ANÁLISIS FÍSICO – QUÍMICO DE AGUAS

Identificación:

Muestra N° 36

Origen:

Procedencia: Cuenca
Arroyo La Colacha

Acuífero: Libre

Fecha de Extracción: 20/10/09

Profundidad al agua:

Análisis Físico Químico

Color: Incolora

Olor: Inodora

Conductividad a 25° C: 930 μ S/cm

SDT: 755 mg/l

pH: 7,3

Determinaciones Básicas

Elementos	Concentración	Unidad	Concentración	Unidad
Carbonatos	0,0	mg/l	0,00	meq/l
Bicarbonatos	455,0	mg/l	7,28	meq/l
Sulfatos	46,4	mg/l	0,97	meq/l
Cloruros	31,4	mg/l	0,88	meq/l
Sodio	196,2	mg/l	8,43	meq/l
Potasio	8,6	mg/l	0,22	meq/l
Calcio	9,6	mg/l	0,48	meq/l
Magnesio	3,4	mg/l	0,28	meq/l
Nitratos	2,0	mg/l	0,03	meq/l
Nitritos	0,0	mg/l	0,00	meq/l
Flúor	2,5	mg/l	0,13	meq/l
Arsénico	130	ug/l		

Determinaciones Complementarias

Dureza Total:	0,8	meq/l	38 ppm CO ₃ Ca
Alcalinidad TA:	0,0	meq/l	
Alcalinidad TAC:	7,3	meq/l	364 ppm CO ₃ Ca
RAS: 13,7		CSR: 6,5 meq/l	

Observaciones: Las determinaciones realizadas en el presente análisis, permiten obtener las siguientes conclusiones.

Agua Bicarbonatada sódica, dulce y blanda, no apta para consumo Humano por exceso de Flúor, Arsénico (C.A.A).

Uso ganadero: Deficiente para cría y Deficiente para tambo e invernada, según el contenido salino

Aptitud para Riego: Clase II. Buena por su moderada peligrosidad salina y media peligrosidad sódica

ANÁLISIS FÍSICO – QUÍMICO DE AGUAS

Identificación: Fecha de Extracción: Octubre/07
Muestra N° 37 Profundidad al agua:
Origen: Acuífero: Libre
Procedencia: Cuenca
Arroyo La Colacha

Análisis Físico Químico

Color: Incolora Olor: Inodora
Conductividad a 25° C: 1607 μ S/cm SDT: 1193 mg/l
pH: 7,90

Determinaciones Básicas

Elementos	Concentración	Unidad	Concentración	Unidad
Carbonatos	0,0	mg/l	0,00	meq/l
Bicarbonatos	482,5	mg/l	7,91	meq/l
Sulfatos	176,6	mg/l	3,66	meq/l
Cloruros	117,1	mg/l	3,30	meq/l
Sodio	330,2	mg/l	14,36	meq/l
Potasio	16,7	mg/l	0,43	meq/l
Calcio	20,0	mg/l	1,00	meq/l
Magnesio	11,700	mg/l	0,96	meq/l
Nitratos	35,0	mg/l	0,56	meq/l
Nitritos	0,0	mg/l	0,00	meq/l
Flúor	3,60	mg/l	0,19	meq/l
Arsénico	102,0	ug/l		

Determinaciones Complementarias

Dureza Total: 2,0 meq/l 98 ppm CO₃Ca
Alcalinidad TA: 0,0 meq/l
Alcalinidad TAC: 7,9 meq/l 395,5 ppm CO₃Ca
RAS: 14,5 CSR: 5,95 meq/l

Observaciones: Las determinaciones realizadas en el presente análisis, permiten obtener las siguientes conclusiones.

Agua Bicarbonatada sódica, dulce y algo dura, no apta para consumo Humano por exceso de Flúor, Arsénico (C.A.A).

Uso ganadero: Satisfactoria para cría y Muy buena para tambo e internada, según el contenido salino

Aptitud para Riego: Clase II. Buena por su moderada peligrosidad salina y media peligrosidad sódica

ANÁLISIS FÍSICO – QUÍMICO DE AGUAS

Identificación: Fecha de Extracción: Octubre/07
Muestra N° 38a Profundidad al agua:
Origen: Acuífero: Libre
Procedencia: Cuenca
Arroyo La Colacha

Análisis Físico Químico

Color: Incolora Olor: Inodora
Conductividad a 25° C: 5260 μ S/cm SDT: 3042 mg/l
pH: 7,50

Determinaciones Básicas

Elementos	Concentración	Unidad	Concentración	Unidad
Carbonatos	0,0	mg/l	0,00	meq/l
Bicarbonatos	625,0	mg/l	10,24	meq/l
Sulfatos	1206,8	mg/l	25,13	meq/l
Cloruros	228,6	mg/l	6,45	meq/l
Sodio	768,5	mg/l	33,43	meq/l
Potasio	40,4	mg/l	4,03	meq/l
Calcio	82,4	mg/l	4,11	meq/l
Magnesio	65,4	mg/l	5,38	meq/l
Nitratos	25,0	mg/l	0,40	meq/l
Nitritos	0,0	mg/l	0,00	meq/l
Flúor	3,20	mg/l	0,17	meq/l
Arsénico	64,0	ug/l		

Determinaciones Complementarias

Dureza Total: 9,5 meq/l 474,5 ppm CO₃Ca
Alcalinidad TA: 0,0 meq/l
Alcalinidad TAC: 10,2 meq/l 512 ppm CO₃Ca
RAS: 15,3 CSR: 0,75 meq/l

Observaciones: Las determinaciones realizadas en el presente análisis, permiten obtener las siguientes conclusiones.

Agua Sulfatada sódica, salobre y muy dura, no apta para consumo Humano por exceso de Flúor, Arsénico (C.A.A).

Uso ganadero: Buena para cría y Aceptable para tambo e invernada, según el contenido salino

Aptitud para Riego: Clase II. Buena por su moderada peligrosidad salina y media peligrosidad sódica

ANÁLISIS FÍSICO – QUÍMICO DE AGUAS

Identificación:

Muestra N° 38b

Origen:

Acuífero: Libre

Procedencia: Cuenca

Arroyo La Colacha

Fecha de Extracción: Octubre/07

Profundidad al agua:

Análisis Físico Químico

Color: Incolora

Olor: Inodora

Conductividad a 25° C: 1362 μ S/cm

SDT: 1142 mg/l

pH: 8,10

Determinaciones Básicas

Elementos	Concentración	Unidad	Concentración	Unidad
Carbonatos	0,0	mg/l	0,00	meq/l
Bicarbonatos	662,5	mg/l	10,86	meq/l
Sulfatos	77,1	mg/l	1,61	meq/l
Cloruros	37,1	mg/l	1,05	meq/l
Sodio	300,3	mg/l	13,06	meq/l
Potasio	12,6	mg/l	0,32	meq/l
Calcio	8,0	mg/l	0,40	meq/l
Magnesio	3,9	mg/l	0,32	meq/l
Nitratos	40,0	mg/l	0,65	meq/l
Nitritos	0,0	mg/l	0,00	meq/l
Flúor	10,40	mg/l	0,55	meq/l
Arsénico	213,0	ug/l		

Determinaciones Complementarias

Dureza Total:	0,7	meq/l	36 ppm CO ₃ Ca
Alcalinidad TA:	0,0	meq/l	
Alcalinidad TAC:	10,9	meq/l	543 ppm CO ₃ Ca
RAS: 21,8		CSR: 10,14 meq/l	

Observaciones: Las determinaciones realizadas en el presente análisis, permiten obtener las siguientes conclusiones.

Agua Bicarbonatada sódica, dulce y blanda, no apta para consumo Humano por exceso de Flúor, Arsénico (C.A.A).

Uso ganadero: Satisfactoria para cría y Muy buena para tambo e invernada, según el contenido salino

Aptitud para Riego: Clase II. Buena por su moderada peligrosidad salina y media peligrosidad sódica

ANÁLISIS FÍSICO – QUÍMICO DE AGUAS

Identificación: Fecha de Extracción: Octubre/07
Muestra N° 40 Profundidad al agua:
Origen: Acuífero: Libre
Procedencia: Cuenca
Arroyo La Colacha

Análisis Físico Químico

Color: Incolora Olor: Inodora
Conductividad a 25° C: 4380 μ S/cm SDT: 2642 mg/l
pH: 7,90

Determinaciones Básicas

Elementos	Concentración	Unidad	Concentración	Unidad
Carbonatos	0,0	mg/l	0,00	meq/l
Bicarbonatos	625,0	mg/l	10,24	meq/l
Sulfatos	965,3	mg/l	20,10	meq/l
Cloruros	200,0	mg/l	5,64	meq/l
Sodio	737,1	mg/l	32,06	meq/l
Potasio	37,5	mg/l	0,96	meq/l
Calcio	37,6	mg/l	1,88	meq/l
Magnesio	31,7	mg/l	2,61	meq/l
Nitratos	8,0	mg/l	0,13	meq/l
Nitritos	0,0	mg/l	0,00	meq/l
Flúor	2,50	mg/l	0,13	meq/l
Arsénico	57,0	ug/l		

Determinaciones Complementarias

Dureza Total: 4,5 meq/l 224,5 ppm CO₃Ca
Alcalinidad TA: 0,0 meq/l
Alcalinidad TAC: 10,2 meq/l 512 ppm CO₃Ca
RAS: 21,4 CSR: 5,75 meq/l

Observaciones: Las determinaciones realizadas en el presente análisis, permiten obtener las siguientes conclusiones.

Agua Sulfatada sódica, salobre y muy dura, no apta para consumo Humano por exceso de Flúor, Arsénico (C.A.A).

Uso ganadero: Buena para cría y Aceptable para tambo e invernada, según el contenido salino

Aptitud para Riego: Clase IV. Regular a Mala por su alta peligrosidad salina y muy alta peligrosidad sódica

ANÁLISIS FÍSICO – QUÍMICO DE AGUAS

Identificación: Fecha de Extracción: Octubre/07
Muestra N° 42 Profundidad al agua:
Origen: Acuífero: Libre
Procedencia: Cuenca
Arroyo La Colacha

Análisis Físico Químico

Color: Incolora Olor: Inodora
Conductividad a 25° C: 3150 μ S/cm SDT: 2001 mg/l
pH: 7,30

Determinaciones Básicas

Elementos	Concentración	Unidad	Concentración	Unidad
Carbonatos	0,0	mg/l	0,00	meq/l
Bicarbonatos	507,5	mg/l	8,32	meq/l
Sulfatos	685,0	mg/l	14,26	meq/l
Cloruros	145,7	mg/l	4,11	meq/l
Sodio	545,0	mg/l	23,71	meq/l
Potasio	27,5	mg/l	0,70	meq/l
Calcio	42,4	mg/l	2,12	meq/l
Magnesio	25,4	mg/l	2,09	meq/l
Nitratos	17,0	mg/l	0,27	meq/l
Nitritos	0,0	mg/l	0,00	meq/l
Flúor	5,40	mg/l	0,28	meq/l
Arsénico	150,0	ug/l		

Determinaciones Complementarias

Dureza Total: 4,2 meq/l 210,5 ppm CO₃Ca
Alcalinidad TA: 0,0 meq/l
Alcalinidad TAC: 8,3 meq/l 416 ppm CO₃Ca
RAS: 16,3 CSR: 4,11meq/l

Observaciones: Las determinaciones realizadas en el presente análisis, permiten obtener las siguientes conclusiones.

Agua Sulfatada sódica, salobre y muy dura, no apta para consumo Humano por exceso de Flúor, Arsénico (C.A.A).

Uso ganadero: Buena para cría y Aceptable para tambo e invernada, según el contenido salino

Aptitud para Riego: Clase II. Buena por su moderada peligrosidad salina y media peligrosidad sódica

ANÁLISIS FÍSICO – QUÍMICO DE AGUAS

Identificación: Fecha de Extracción: Octubre/07
Muestra N° 43 Profundidad al agua:
Origen: Acuífero: Libre
Procedencia: Cuenca
Arroyo La Colacha

Análisis Físico Químico

Color: Incolora Olor: Inodora
Conductividad a 25° C: 1321µS/cm SDT: 1039 mg/l
pH: 8,0

Determinaciones Básicas

Elementos	Concentración	Unidad	Concentración	Unidad
Carbonatos	0,0	mg/l	0,00	meq/l
Bicarbonatos	405,0	mg/l	6,64	meq/l
Sulfatos	231,3	mg/l	4,82	meq/l
Cloruros	70,0	mg/l	1,97	meq/l
Sodio	277,5	mg/l	12,07	meq/l
Potasio	13,6	mg/l	0,35	meq/l
Calcio	12,8	mg/l	0,64	meq/l
Magnesio	10,200	mg/l	0,84	meq/l
Nitratos	15,0	mg/l	0,24	meq/l
Nitritos	0,0	mg/l	0,00	meq/l
Flúor	3,20	mg/l	0,17	meq/l
Arsénico	76,0	ug/l		

Determinaciones Complementarias

Dureza Total: 1,5 meq/l 74 ppm CO₃Ca
Alcalinidad TA: 0,0 meq/l
Alcalinidad TAC: 6,6 meq/l 332 ppm CO₃Ca
RAS: 14 CSR: 5,16 meq/l

Observaciones: Las determinaciones realizadas en el presente análisis, permiten obtener las siguientes conclusiones.

Agua Bicarbonatada Sulfatada sódica, dulce y algo dura, no apta para consumo Humano por exceso de Flúor, Arsénico (C.A.A).

Uso ganadero: Satisfactoria para cría y Muy buena para tambo e invernada, según el contenido salino

Aptitud para Riego: Clase II. Buena por su moderada peligrosidad salina y media peligrosidad sódica

ANÁLISIS FÍSICO – QUÍMICO DE AGUAS

Identificación: Fecha de Extracción: Octubre/07
Muestra N° 44 Profundidad al agua:
Origen: Acuífero: Libre
Procedencia: Cuenca
Arroyo La Colacha

Análisis Físico Químico

Color: Incolora Olor: Inodora
Conductividad a 25° C: 1224 μ S/cm SDT: 987 mg/l
pH: 7,9

Determinaciones Básicas

Elementos	Concentración	Unidad	Concentración	Unidad
Carbonatos	0,0	mg/l	0,00	meq/l
Bicarbonatos	457,5	mg/l	7,50	meq/l
Sulfatos	191,2	mg/l	3,98	meq/l
Cloruros	34,3	mg/l	0,97	meq/l
Sodio	267,4	mg/l	11,63	meq/l
Potasio	15,1	mg/l	0,39	meq/l
Calcio	9,6	mg/l	0,48	meq/l
Magnesio	6,800	mg/l	0,56	meq/l
Nitratos	3,0	mg/l	0,05	meq/l
Nitritos	0,0	mg/l	0,00	meq/l
Flúor	2,20	mg/l	0,12	meq/l
Arsénico	90,0	ug/l		

Determinaciones Complementarias

Dureza Total: 1,0 meq/l 52 ppm CO₃Ca
Alcalinidad TA: 0,0 meq/l
Alcalinidad TAC: 7,5 meq/l 375 ppm CO₃Ca
RAS: 16,1 CSR: 6,46 meq/l

Observaciones: Las determinaciones realizadas en el presente análisis, permiten obtener las siguientes conclusiones.

Agua Bicarbonatada sódica, dulce y algo dura, no apta para consumo Humano por exceso de Flúor, Arsénico (C.A.A).

Uso ganadero: Satisfactoria para cría y Muy buena para tambo e internada, según el contenido salino

Aptitud para Riego: Clase II. Buena por su moderada peligrosidad salina y media peligrosidad sódica

ANÁLISIS FÍSICO – QUÍMICO DE AGUAS

Identificación:

Muestra N° 47

Origen:

Procedencia: Cuenca
Arroyo La Colacha

Acuífero: Libre

Fecha de Extracción: 20/10/09

Profundidad al agua:

Análisis Físico Químico

Color: Incolora

Olor: Inodora

Conductividad a 25° C: 1550 μ S/cm

SDT: 1071mg/l

pH: 7,21

Determinaciones Básicas

Elementos	Concentración	Unidad	Concentración	Unidad
Carbonatos	0,0	mg/l	0,00	meq/l
Bicarbonatos	437,5	mg/l	7,00	meq/l
Sulfatos	219,3	mg/l	4,61	meq/l
Cloruros	45,7	mg/l	1,28	meq/l
Sodio	293,2	mg/l	12,61	meq/l
Potasio	14,8	mg/l	0,37	meq/l
Calcio	48,8	mg/l	2,44	meq/l
Magnesio	3,9	mg/l	0,32	meq/l
Nitratos	6,0	mg/l	0,10	meq/l
Nitritos	0,0	mg/l	0,00	meq/l
Flúor	1,7	mg/l	0,09	meq/l
Arsénico	80	ug/l		

Determinaciones Complementarias

Dureza Total:	2,8	meq/l	138 ppm CO ₃ Ca
Alcalinidad TA:	0,0	meq/l	
Alcalinidad TAC:	7,0	meq/l	350 ppm CO ₃ Ca
RAS: 10,7		CSR: 4,2 meq/l	

Observaciones: Las determinaciones realizadas en el presente análisis, permiten obtener las siguientes conclusiones.

Agua Bicarbonatada sódica, dulce y dura, no apta para consumo Humano por exceso de Flúor, Arsénico (C.A.A).

Uso ganadero: Satisfactoria para cría y Muy buena para tambo e internada, según el contenido salino

Aptitud para Riego: Clase IV. Regular a Mala por su alta peligrosidad salina y muy alta peligrosidad sódica

ANÁLISIS FÍSICO – QUÍMICO DE AGUAS

Identificación:

Muestra N° 80b

Origen:

Acuífero: Libre

Procedencia: Cuenca

Arroyo La Colacha

Fecha de Extracción: 20/10/09

Profundidad al agua:

Análisis Físico Químico

Color: Incolora

Olor: Inodora

Conductividad a 25° C: 1049 μ S/cm

SDT: 827mg/l

pH: 7,67

Determinaciones Básicas

Elementos	Concentración	Unidad	Concentración	Unidad
Carbonatos	0,0	mg/l	0,00	meq/l
Bicarbonatos	452,5	mg/l	7,24	meq/l
Sulfatos	56,2	mg/l	1,18	meq/l
Cloruros	48,6	mg/l	1,36	meq/l
Sodio	208,3	mg/l	8,96	meq/l
Potasio	11,4	mg/l	0,29	meq/l
Calcio	21,6	mg/l	1,08	meq/l
Magnesio	10,2	mg/l	0,84	meq/l
Nitratos	14,0	mg/l	0,22	meq/l
Nitritos	0,0	mg/l	0,00	meq/l
Flúor	4,1	mg/l	0,21	meq/l
Arsénico	170	ug/l		

Determinaciones Complementarias

Dureza Total:	1,92	meq/l	96 ppm CO ₃ Ca
Alcalinidad TA:	0,0	meq/l	
Alcalinidad TAC:	7,2	meq/l	362 ppm CO ₃ Ca
RAS: 9,1		CSR: 5,32 meq/l	

Observaciones: Las determinaciones realizadas en el presente análisis, permiten obtener las siguientes conclusiones.

Agua Bicarbonatada sódica, dulce y algo dura, no apta para consumo Humano por exceso de Flúor, Arsénico (C.A.A).

Uso ganadero: Satisfactoria para cría y Muy buena para tambo e invernada, según el contenido salino

Aptitud para Riego: Clase I. Excelente por su baja peligrosidad salina y baja peligrosidad sódica.

ANÁLISIS FÍSICO – QUÍMICO DE AGUAS

Identificación:

Muestra N° 81

Origen:

Procedencia: Cuenca
Arroyo La Colacha

Acuífero: Libre

Fecha de Extracción: 20/10/09

Profundidad al agua:

Análisis Físico Químico

Color: Incolora

Olor: Inodora

Conductividad a 25° C: 1825 μ S/cm

SDT: 1278 mg/l

pH: 7,74

Determinaciones Básicas

Elementos	Concentración	Unidad	Concentración	Unidad
Carbonatos	0,0	mg/l	0,00	meq/l
Bicarbonatos	387,5	mg/l	6,20	meq/l
Sulfatos	288,7	mg/l	6,06	meq/l
Cloruros	80,0	mg/l	2,24	meq/l
Sodio	303,3	mg/l	13,04	meq/l
Potasio	14,7	mg/l	0,37	meq/l
Calcio	38,4	mg/l	1,92	meq/l
Magnesio	15,6	mg/l	1,28	meq/l
Nitratos	6,0	mg/l	0,10	meq/l
Nitritos	0,0	mg/l	0,00	meq/l
Flúor	3,0	mg/l	0,16	meq/l
Arsénico	130	ug/l		

Determinaciones Complementarias

Dureza Total:	3,2	meq/l	160 ppm CO ₃ Ca
Alcalinidad TA:	0,0	meq/l	
Alcalinidad TAC:	6,2	meq/l	310 ppm CO ₃ Ca
RAS: 10,3		CSR: 3,0 meq/l	

Observaciones: Las determinaciones realizadas en el presente análisis, permiten obtener las siguientes conclusiones.

Agua Bicarbonatada sódica, dulce y dura, no apta para consumo Humano por exceso de Flúor, Arsénico (C.A.A).

Uso ganadero: Satisfactoria para cría y Muy buena para tambo e internada, según el contenido salino

Aptitud para Riego: Clase III. Buena a Regular por su media peligrosidad salina y alta peligrosidad sódica.

ANÁLISIS FÍSICO – QUÍMICO DE AGUAS

Identificación: Fecha de Extracción: Octubre/07
Muestra N° 82 Profundidad al agua:
Origen: Acuífero: Libre
Procedencia: Cuenca
Arroyo La Colacha

Análisis Físico Químico

Color: Incolora Olor: Inodora
Conductividad a 25° C: 987 μ S/cm SDT: 836 mg/l
pH: 7,9

Determinaciones Básicas

Elementos	Concentración	Unidad	Concentración	Unidad
Carbonatos	0,0	mg/l	0,00	meq/l
Bicarbonatos	525,0	mg/l	8,60	meq/l
Sulfatos	31,1	mg/l	0,85	meq/l
Cloruros	20,0	mg/l	0,56	meq/l
Sodio	211,6	mg/l	9,21	meq/l
Potasio	10,4	mg/l	0,27	meq/l
Calcio	8,0	mg/l	0,40	meq/l
Magnesio	5,900	mg/l	0,48	meq/l
Nitratos	24,0	mg/l	0,39	meq/l
Nitritos	0,0	mg/l	0,00	meq/l
Flúor	2,60	mg/l	0,14	meq/l
Arsénico	84,0	ug/l		

Determinaciones Complementarias

Dureza Total: 0,9 meq/l 44 ppm CO₃Ca
Alcalinidad TA: 0,0 meq/l
Alcalinidad TAC: 8,6 meq/l 430 ppm CO₃Ca
RAS: 13,9 CSR: 7,72 meq/l

Observaciones: Las determinaciones realizadas en el presente análisis, permiten obtener las siguientes conclusiones.

Agua Bicarbonatada sódica, dulce y blanda, no apta para consumo Humano por exceso de Flúor, Arsénico (C.A.A).

Uso ganadero: Satisfactoria para cría y Muy buena para tambo e invernada, según el contenido salino

Aptitud para Riego: Clase II. Buena por su moderada peligrosidad salina y media peligrosidad sódica

ANÁLISIS FÍSICO – QUÍMICO DE AGUAS

Identificación: Fecha de Extracción: Octubre/07
Muestra N° 83 Profundidad al agua:
Origen: Acuífero: Libre
Procedencia: Cuenca
Arroyo La Colacha

Análisis Físico Químico

Color: Incolora Olor: Inodora
Conductividad a 25° C: 1920 μ S/cm SDT: 1684 mg/l
pH: 7,9

Determinaciones Básicas

Elementos	Concentración	Unidad	Concentración	Unidad
Carbonatos	0,0	mg/l	0,00	meq/l
Bicarbonatos	625,0	mg/l	10,24	meq/l
Sulfatos	376,2	mg/l	7,83	meq/l
Cloruros	62,9	mg/l	1,77	meq/l
Sodio	461,1	mg/l	20,06	meq/l
Potasio	14,2	mg/l	0,36	meq/l
Calcio	26,4	mg/l	1,32	meq/l
Magnesio	8,300	mg/l	0,68	meq/l
Nitratos	110,0	mg/l	1,77	meq/l
Nitritos	0,0	mg/l	0,00	meq/l
Flúor	5,80	mg/l	0,31	meq/l
Arsénico	11,8	ug/l		

Determinaciones Complementarias

Dureza Total: 2,0 meq/l 100 ppm CO₃Ca
Alcalinidad TA: 0,0 meq/l
Alcalinidad TAC: 10,2 meq/l 512 ppm CO₃Ca
RAS: 20,1 CSR: 8,24 meq/l

Observaciones: Las determinaciones realizadas en el presente análisis, permiten obtener las siguientes conclusiones.

Agua Bicarbonatada sódica, dulce y algo dura, no apta para consumo Humano por exceso de Flúor, Arsénico y Nitratos (C.A.A).

Uso ganadero: Muy Buena para cría y Buena para tambo e invernada, según el contenido salino

Aptitud para Riego: Clase II. Buena por su moderada peligrosidad salina y media peligrosidad sódica

ANÁLISIS FÍSICO – QUÍMICO DE AGUAS

Identificación: Fecha de Extracción: Octubre/07
Muestra N° 84 Profundidad al agua:
Origen: Acuífero: Libre
Procedencia: Cuenca
Arroyo La Colacha

Análisis Físico Químico

Color: Incolora Olor: Inodora
Conductividad a 25° C: 3710 μ S/cm SDT: 2143 mg/l
pH: 7,7

Determinaciones Básicas

Elementos	Concentración	Unidad	Concentración	Unidad
Carbonatos	0,0	mg/l	0,00	meq/l
Bicarbonatos	675,0	mg/l	11,06	meq/l
Sulfatos	685,0	mg/l	14,26	meq/l
Cloruros	94,3	mg/l	2,66	meq/l
Sodio	591,0	mg/l	25,71	meq/l
Potasio	34,9	mg/l	0,88	meq/l
Calcio	36,0	mg/l	1,80	meq/l
Magnesio	22,000	mg/l	1,81	meq/l
Nitratos	5,0	mg/l	0,08	meq/l
Nitritos	0,0	mg/l	0,00	meq/l
Flúor	1,72	mg/l	0,09	meq/l
Arsénico	32,0	ug/l		

Determinaciones Complementarias

Dureza Total:	3,6	meq/l	180,5 ppm CO ₃ Ca
Alcalinidad TA:	0,0	meq/l	
Alcalinidad TAC:	11,1	meq/l	553 ppm CO ₃ Ca
RAS: 19,1		CSR: 7,45 meq/l	

Observaciones: Las determinaciones realizadas en el presente análisis, permiten obtener las siguientes conclusiones.

Agua Sulfatada sódica, salobre y dura, no apta para consumo Humano por exceso de Flúor, Arsénico (C.A.A).

Uso ganadero: Buena para cría y Aceptable para tambo e invernada, según el contenido salino

Aptitud para Riego: Clase II. Buena por su moderada peligrosidad salina y media peligrosidad sódica

ANÁLISIS FÍSICO – QUÍMICO DE AGUAS

Identificación: Fecha de Extracción: Octubre/07
Muestra N° 85 Profundidad al agua:
Origen: Acuífero: Libre
Procedencia: Cuenca
Arroyo La Colacha

Análisis Físico Químico

Color: Incolora Olor: Inodora
Conductividad a 25° C: 1179 μ S/cm SDT: 1030 mg/l
pH: 8,3

Determinaciones Básicas

Elementos	Concentración	Unidad	Concentración	Unidad
Carbonatos	1,2	mg/l	0,04	meq/l
Bicarbonatos	626,3	mg/l	10,26	meq/l
Sulfatos	57,6	mg/l	1,20	meq/l
Cloruros	20,0	mg/l	0,56	meq/l
Sodio	260,3	mg/l	11,32	meq/l
Potasio	10,1	mg/l	0,26	meq/l
Calcio	8,8	mg/l	0,44	meq/l
Magnesio	5,400	mg/l	0,44	meq/l
Nitratos	40,0	mg/l	0,65	meq/l
Nitritos	0,0	mg/l	0,00	meq/l
Flúor	8,00	mg/l	0,42	meq/l
Arsénico	178,0	ug/l		

Determinaciones Complementarias

Dureza Total: 0,9 meq/l 44 ppm CO₃Ca
Alcalinidad TA: 0,0 meq/l
Alcalinidad TAC: 10,3 meq/l 515 ppm CO₃Ca
RAS: 17,1 CSR: 9,42 meq/l

Observaciones: Las determinaciones realizadas en el presente análisis, permiten obtener las siguientes conclusiones.

Agua Bicarbonatada sódica, dulce y blanda, no apta para consumo Humano por exceso de Flúor, Arsénico (C.A.A).

Uso ganadero: Satisfactoria para cría y Muy buena para tambo e invernada, según el contenido salino

Aptitud para Riego: Clase II. Buena por su moderada peligrosidad salina y media peligrosidad sódica

ANÁLISIS FÍSICO – QUÍMICO DE AGUAS

Identificación:

Muestra N° 86

Origen:

Procedencia: Cuenca
Arroyo La Colacha

Acuífero: Libre

Fecha de Extracción: 20/10/09

Profundidad al agua:

Análisis Físico Químico

Color: Incolora

Olor: Inodora

Conductividad a 25° C: 1883 μ S/cm

SDT: 1318 mg/l

pH: 7,91

Determinaciones Básicas

Elementos	Concentración	Unidad	Concentración	Unidad
Carbonatos	0,0	mg/l	0,00	meq/l
Bicarbonatos	565,0	mg/l	9,04	meq/l
Sulfatos	127,6	mg/l	2,68	meq/l
Cloruros	117,1	mg/l	3,28	meq/l
Sodio	376,1	mg/l	16,17	meq/l
Potasio	12,9	mg/l	0,32	meq/l
Calcio	20,8	mg/l	1,04	meq/l
Magnesio	15,1	mg/l	1,24	meq/l
Nitratos	110,0	mg/l	1,76	meq/l
Nitritos	0,0	mg/l	0,00	meq/l
Flúor	6,8	mg/l	0,35	meq/l
Arsénico	240	μ g/l		

Determinaciones Complementarias

Dureza Total:	2,3	meq/l	114 ppm CO ₃ Ca
Alcalinidad TA:	0,0	meq/l	
Alcalinidad TAC:	9,0	meq/l	452 ppm CO ₃ Ca
RAS: 15,1		CSR: 6,76 meq/l	

Observaciones: Las determinaciones realizadas en el presente análisis, permiten obtener las siguientes conclusiones.

Agua Bicarbonatada sódica, dulce y dura, no apta para consumo Humano por exceso de Flúor, Arsénico y Nitratos (C.A.A).

Uso ganadero: Satisfactoria para cría y Muy buena para tambo e invernada, según el contenido salino

Aptitud para Riego: Clase II. Buena por su moderada peligrosidad salina y media peligrosidad sódica

ANÁLISIS FÍSICO – QUÍMICO DE AGUAS

Identificación:

Muestra N° 88

Origen: Molino

Procedencia: Cuenca

Arroyo La Colacha

Fecha de Extracción: 20/10/09

Profundidad al agua:

Acuífero: Libre

Análisis Físico Químico

Color: Incolora

Conductividad a 25° C: 1558 μ S/cm

pH: 8,10

Olor: Inodora

SDT: 1091 mg/l

Determinaciones Básicas

Elementos	Concentración	Unidad	Concentración	Unidad
Carbonatos	0,0	mg/l	0,00	meq/l
Bicarbonatos	512,5	mg/l	8,20	meq/l
Sulfatos	79,8	mg/l	1,68	meq/l
Cloruros	91,4	mg/l	2,56	meq/l
Sodio	311,4	mg/l	13,39	meq/l
Potasio	8,6	mg/l	0,22	meq/l
Calcio	19,2	mg/l	0,96	meq/l
Magnesio	9,8	mg/l	0,80	meq/l
Nitratos	72,0	mg/l	1,15	meq/l
Nitritos	0,0	mg/l	0,00	meq/l
Flúor	4,3	mg/l	0,22	meq/l
Arsénico	180,0	ug/l		

Determinaciones Complementarias

Dureza Total:	1,8	meq/l	88 ppm CO ₃ Ca
Alcalinidad TA:	0,0	meq/l	
Alcalinidad TAC:	8,2	meq/l	410 ppm CO ₃ Ca
RAS: 14,3		CSR: 6,4 meq/l	

Observaciones: Las determinaciones realizadas en el presente análisis, permiten obtener las siguientes conclusiones.

Agua Bicarbonatada sódica, dulce y algo dura, no apta para consumo Humano por exceso de Flúor, Arsénico y Nitratos (C.A.A).

Uso ganadero: Satisfactoria para cría y Muy buena para tambo e invernada, según el contenido salino

Aptitud para Riego: Clase II. Buena por su moderada peligrosidad salina y media peligrosidad sódica