

IDENTIFICACIÓN DE UNA CAPA DE CENIZA VOLCÁNICA SOMERA Y SU IMPLICANCIA EN EL CONTENIDO DEL OLIGOELEMENTO ARSÉNICO EN EL ACUÍFERO LIBRE, DPTO ROBLES, SANTIAGO DEL ESTERO ARGENTINA

**Martín Raúl Américo¹; Farías Bonifacio Modesto²; Cortes Julia Carmen³;
Thir Juan Martín⁴ & Storniolo Angel⁵**

Resumen - En el Departamento Robles, Provincia de Santiago del Estero, Republica Argentina, en un área de 200 Km², la población rural consume agua de pozos someros, con un contenido en Arsénico > 0.05 mg/l, limite máximo fijado por la Organización Mundial de la Salud, incrementándose en los últimos años los casos de hidroarsenismo

Se analizan las condiciones sedimentológicas, caracterizando la zona no-saturada, de edad Holoceno-Reciente. A poca profundidad fue identificada una capa de ceniza volcánica, miembro reconocido por su color, estructura y composición química que tiene su importancia en la hidrogeología del acuífero libre.

Esta capa de posición topográfica discontinua, ocupa un 53 % del área estudiada y su techo se ubica en la zona de oscilación de la superficie freática. Químicamente corresponde a erupciones volcánicas de tipo ácido: riolitas o riodacitas, prevaleciendo el SiO₂: en un 70.05 % y el Al₂O₃ con el 13.33 %. El Arsénico como oligoelemento presenta una concentración de 6 ppm.

La ubicación de la ceniza volcánica en el subsuelo y la dinámica del flujo de agua de naturaleza pluvial e inducida, han alterado las condiciones mineralógicas de la misma, por desvitrificación produciendo una dispersión acelerada del Arsénico y la formación de arcillas como Halloysita, Caolín y Alofana

Palabras claves - Ceniza Volcánica-Arsénico-Contaminación.

¹ UNSE Av. Belgrano (s) 1912 – 4200 Sgo. Del Estero – Argentina - ramartin@unse.edu.ar

² UNSE Av. Belgrano (s) 1912 – 4200 Sgo. Del Estero – Argentina -

³ UNSE Av. Belgrano (s) 1912 – 4200 Sgo. Del Estero – Argentina - jcortes@unse.edu.ar

⁴ UNSE Av. Belgrano (s) 1912 – 4200 Sgo. Del Estero – Argentina - thir@unse.edu.ar

INTRODUCCION

La comarca motivo de estudio, comprende una superficie de aproximadamente 200 Km². A los fines de conocer e investigar las condiciones de deposición de los materiales del subsuelo y su estratigrafía, se realizaron sondeos mecánicos con pala barreno de la zona no-saturada, en los lugares donde existían antecedentes hidrogeológicos e instalación de piezómetros, realizados en el año 1971. Se analizó texturalmente la zona seca del perfil litológico, mediante perfiles transversales en varias direcciones, ubicándose además la superficie freática o nivel saturado en todos los puntos. El muestreo de sedimentos se realizó hasta el techo de la misma, confeccionándose la columna litológica y ajustando su clasificación según los análisis texturales realizados en laboratorio. Además se reconocieron los minerales más importantes de la fracción arena. Fue identificada someramente un capa de toba (ceniza volcánica) de reducido espesor, de la cual se realizó un análisis químico y mineralógico, unidad geológica que tiene su importancia en la hidrogeología del acuífero freático y en la dispersión de oligoelementos en el agua subterránea, especialmente el Arsénico el cual se manifiesta en concentraciones importantes en el agua del acuífero libre y es motivo de su contaminación, afectando seriamente la salud de la población rural.

METODOLOGIA

Los trabajos de campo, se efectuaron con pala barreno, con un diámetro de 100 mm, lo cual permitió realizar in situ un primer reconocimiento de la naturaleza de los sedimentos existentes. Las muestras fueron recogidas en una canaleta y separadas según los cambios observables, basados en las diferencias de color, textura, dureza, etc. Posteriormente se colocaron las muestras en bolsas plásticas, con el rótulo correspondiente, para los análisis texturales y mineralógicos en laboratorio.

Se realizaron un total de 24 sondeos mecánicos, distribuidos en la zona de estudio con una separación entre ellos de 2 a 3 km de distancia, la que fue algo menor en algunos puntos de la región. En cada pozo ejecutado se tomaron alrededor de 8 a 11 muestras de sedimentos de 1 kilogramo cada una, según fuera la diferenciación realizada en campaña, que permitiera diferenciar una unidad de sedimentación, con lo cual totalizaron en general unas 250 muestras de sedimentos.

TRABAJOS DE LABORATORIO

⁵ UNSE Av. Belgrano (s) 1912 – 4200 Sgo. Del Estero – Argentina - arstorniolo@bigfoot.com

Una vez llevadas al Laboratorio Sedimentológico, se procedió a realizar un inventario de todo el material, con la ubicación en un plano realizado a escala 1: 5.000, habiéndose tomado un mapa base del año 1.971.

Cada muestra fue rotulada con la fecha de extracción, el lugar y/o el nombre del propietario donde se realizaba el sondeo y un número, que corresponde a los freáticos realizados por Agua y Energía en el año 1.971.

Los ejemplares de cada pozo, fueron secados en una estufa a una temperatura de 105 °C, disgregados mecánicamente, realizándose un cuarteo a fin de homogeneizarla para poder tamizarlas correctamente. En principio, a nivel macroscópico y en estado seco, se realizó un perfil litológico preliminar de cada punto con el fin de ir evaluando la estratigrafía de los depósitos recientes; posteriormente, se realizaron los análisis texturales, con lo cual se ajustó técnicamente la secuencia de deposición y la presencia de los horizontes de materiales que, por su contenido mineral, pudieran estar relacionados con la hidrogeoquímica del Arsénico.

Para los análisis texturales se utilizaron tamices de la serie Standard de acuerdo a normas ASTM, según técnicas sugeridas por Ingram, R.L (1971), y con las mallas cuyos intervalos de frecuencia están distanciados según grados PHI. Mecánicamente se separaron las fracciones de arena y limo grueso por un lado, de los sedimentos de naturaleza arcillosa.

Realizada la segregación textural de las arenas, se efectuaron los cálculos de los porcentajes de las diferentes fracciones, con el fin de efectuar un estudio estadístico de las arenas, mediante histogramas y con las curvas acumulativas.

El estudio se completó con el análisis de la distribución de las poblaciones sedimentológicas, su ubicación geográfica en la comarca, los parámetros genéticos y los componentes mineralógicos y de alteración de los mismos, de la fracción arena, que pudieran relacionarse con la existencia e incremento del arsénico en el agua subterránea. Además se confeccionaron 8 perfiles estratigráficos con rumbo Este-Oeste y Norte -Sur, concordante con la dirección de escurrimiento regional del curso de agua superficial más importante de la zona, como lo es el Río Dulce y en el sentido del desplazamiento de los depósitos fluviales, asociados a los cambios climáticos y a las divagaciones históricas y recientes del mencionado curso.

UBICACIÓN GEOGRAFICA

El área de estudio se ubica a unos 40 km al Sureste de la Ciudad Capital de Santiago del Estero, en el Departamento Robles, al Sur de la Ruta Nacional 34 y al Oeste del curso actual del Río Dulce, sobre una amplia llanura aluvial de escaso gradiente topográfico.

Corresponde a una región que se caracteriza por ser una zona rural, con una gran dispersión poblacional asociada a una actividad económica con un patrón agrícola y superficies cultivables de tipo minifundio.

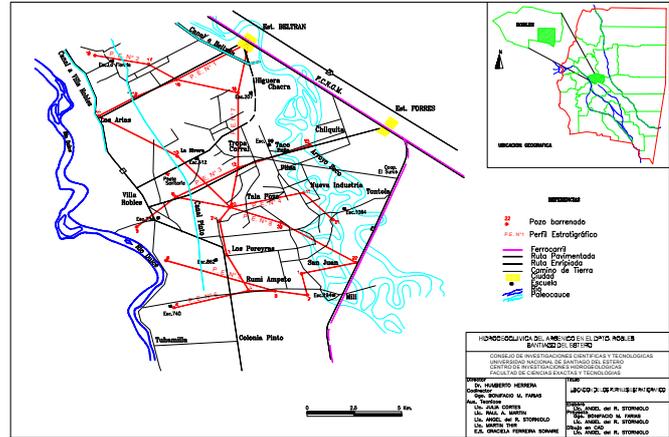


FIGURA 1

GEOLOGIA Y RELIEVE

El análisis geológico regional permite ubicar la zona de estudio dentro de la llamada “Llanura Chaco Paranaense”, formada por sedimentos recientes de carácter fluvio-eólico, de edad Cuaternaria, los que se apoyan en discordancia sobre sedimentos del Terciario. No hay referencias de afloramientos del basamento cristalino en la región.

Según la recopilación de antecedentes estratigráficos se puede resumir en forma esquemática la columna cronoestratigráfica, que corresponde al período más moderno, en el cuadro 1.

CUATERNARIO

En la zona está presente en su totalidad el Cuaternario, el cual se apoya sobre sedimentos más antiguos del Terciario. Este piso ocupa una superficie peneplanizada que se extiende al Este del curso actual del río Dulce hasta la Ruta Nacional N° 34. El piso inferior del Cuaternario, conocido

PERIODO SISTEMA	EPOCA	FORMACION	LITOLOGIA
CUATERNARIO	HOLOCENO (10.000 años)	POSPAMPEANO	Sedimentos continentales: Depósitos aluviales. Loess Margas. Médanos. Salares. Cenizas Volcánicas.
	PLEISTOCENO NO	PAMPEANO	Fanglomerados, rodados, conos de deyección. Loess y arcillas pardas calcáreas

CUADRO 1

como Formación Pampeana, esta constituido por sedimentos que corresponden a una llanura de inundación, con depósitos de loess, limos y arenas de textura media a fina, capas de tobas (cenizas volcánicas) y margas (toscas).

Existen escasos afloramientos geológicos naturales, dada la dinámica hídrica y los procesos geomórficos actuales. Los sedimentos de los puntos muestreados en el área de estudio, pertenecen a una secuencia superior más moderna, integrada por materiales cuya edad corresponde al Holoceno/Reciente.

Esta formación ha sido reconocida como unidad cronoestratigráfica, denominada: Pospampeana constituida por limos loésicos y fluviales en geoformas típicas de médanos, compuestos por arenas finas fijados por vegetación xerófitas.

El loess pospampeano, está formado por una fracción de naturaleza arcillosa: hidroargillitas y zeolitas, mientras que en el piso más antiguo prevalece el caolín. En general estos sedimentos presentan un contenido de arena fina muy variable, entre el 11 al 60 %. Desde el punto de vista químico está compuesto por silicatos dobles, hidratados de calcio y magnesio.

A los fines de una primera interpretación estratigráfica, se confeccionó un registro en tiras de algunos puntos del área donde aparece claramente una capa de espesor reducido de toba (ceniza volcánica) de color claro (blanco-grisáceo). Esta tira de cartón de 2" de ancho, a una escala de 1: 750, se confeccionó con los sedimentos extraídos de los sondeos, obteniéndose una secuencia continua donde se aprecian los cambios de textura y color del perfil, los cuales pueden ser comparados con los otros puntos de la zona y los porcentajes de cada litología presente.

PERFILES ESTRATIGRAFICOS

Determinada la clasificación textural de los diferentes horizontes para cada frentímetro o lugar de observación geológica, se confeccionó un perfil litológico para cada punto y a modo de correlación se realizaron 8 perfiles con orientación Este-Oeste, Norte-Sur y Noroeste-Sureste, los cuales se pueden observar en el plano de la Fig.Nº 1.

Perfil Estratigráfico N° 1

Este perfil, Figura 2, presenta una dirección Suroeste-Noreste, con un relieve

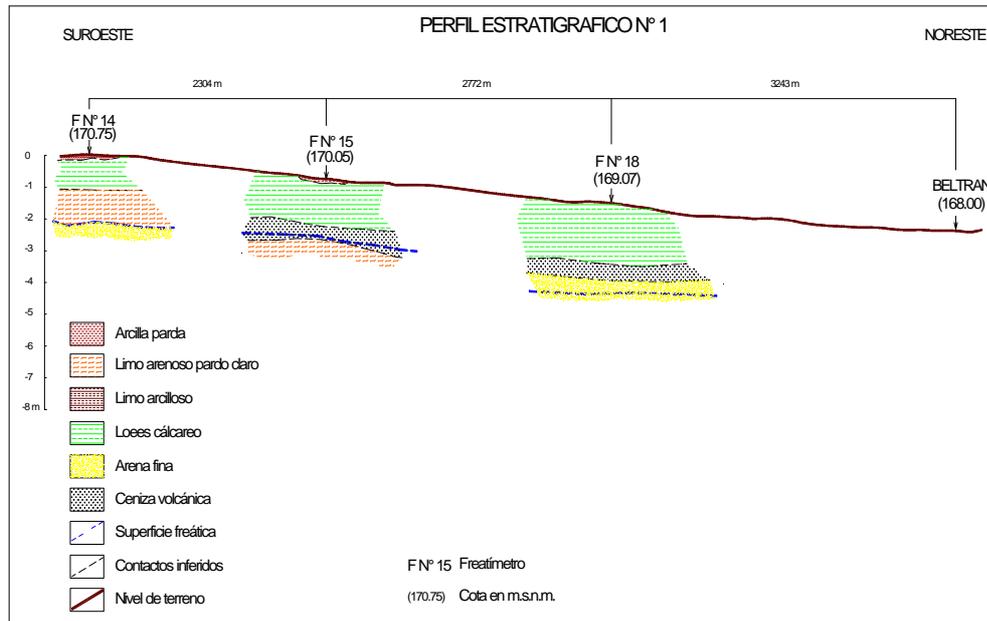


FIGURA 2

escasamente relevante, con una diferencia topográfica entre sus extremos de 2.75 m lo que representa una pendiente de 0.036 % y está compuesto por los FN° 14, 15 y 18.

La capa superficial con un espesor medio de 2 m, esta representada por loes de textura limosa, de aspecto pulverulento, pardo claro y muy carbonático. Infrayace en los FN° 15 y 18 una capa de Ceniza Volcánica, blanco-grisácea con un espesor entre 0.43 m a 0.94 m, no habiéndose ubicado en el punto del FN° 14, hacia el Suroeste, próximo al curso actual del Río Dulce.

La capa inferior alcanzada, fue una arena de textura muy fina, donde se ubica la superficie de saturación del perfil, salvo en el punto FN° 15, donde el nivel freático se localiza sobre la capa de ceniza volcánica.

Perfil Estratigráfico N° 2

Este corte longitudinal, Figura 3, de orientación Oeste -Este, presenta una mayor

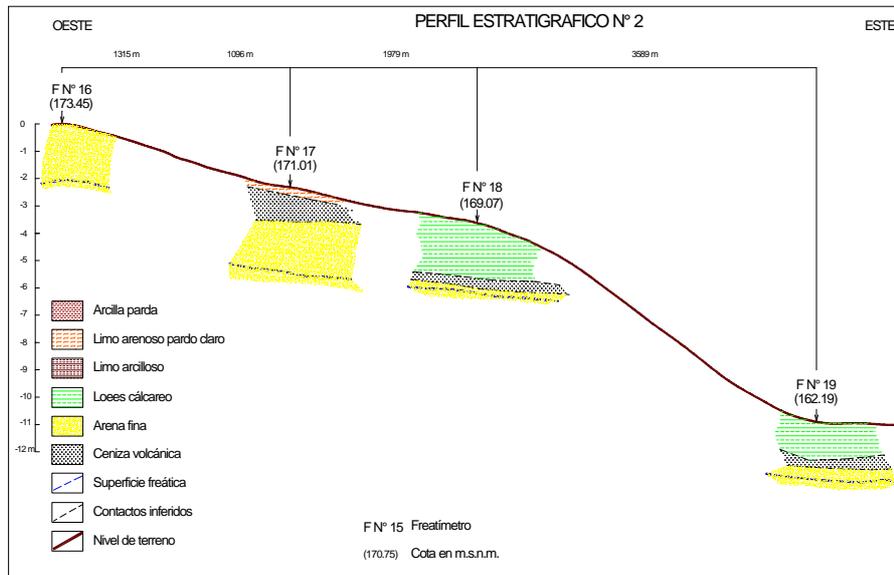


FIGURA 3

pendiente topográfica que el anterior, caracterizado por un desnivel entre los extremos de unos 8.56 m, con una pendiente del 0.10 %, reflejando claramente las condiciones de la morfología regional. Este perfil está

formado por los FN° 16, 17, 18 y 19.

El miembro superior está representado por suelos arenosos finos, próximo al cauce del río Dulce, FN° 16; hacia el Este aumenta el contenido de limo, y según las condiciones macroscópicas y observaciones de campo, la formación se hace más loésica, con un espesor variable entre los 2.50 m a 1.70 m.

La capa de toba (ceniza volcánica), fue ubicada en todo el perfil, a excepción del extremo Oeste, donde está reemplazada por material arenoso fino. Esta capa presenta un mayor desarrollo en el FN° 17 con 1.00 m de espesor, siendo menos potente hacia el Este, donde alcanza los 0.43 m y 0.30 m.

Infrayacen sedimentos de textura arenosa fina, con limo subordinado, donde se ubica la zona saturada del corte, ajustándose la misma, a la topografía existente.

Perfil Estratigráfico N° 3

Este perfil, Figura 4, de orientación Suroeste-Noreste, refleja al igual que el anterior la pendiente regional y los aspectos morfológicos locales. El desnivel entre los extremos es de unos 6.86 m, lo cual representa una pendiente general de 0.087 %. Esta integrado por los FN° 8, 9, 12 y 20.

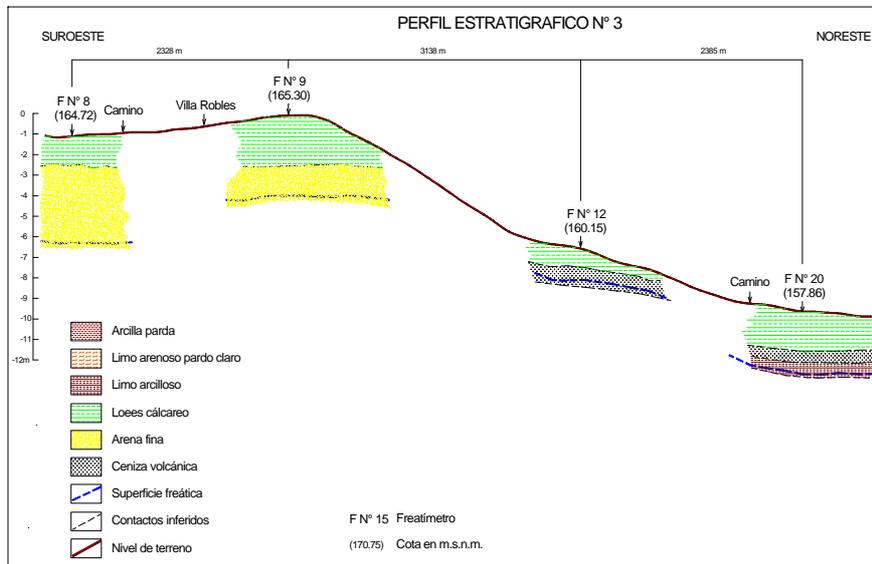


FIGURA 4

La capa superior está representada por una cubierta de loes, de aspecto pulverulento, seco, de color pardo claro y muy calcáreo, con un espesor medio de unos 2,00 m.

Esta unidad se apoya estratigráficamente,

sobre arenas finas limosas por el Suroeste, hacia el área de influencia del río Dulce, haciéndose más fina hacia el Noroeste donde prevalece el limo con arena fina, como moda secundaria. Hacia el extremo del corte aparece una capa de reducido espesor de toba, de color blanco-grisácea, bien definida siendo su potencia de 0.65 m a 0.25 m.

En el FN° 20, la toba apoya sobre un limo arcilloso pardo, algo plástico, calcáreo, ubicándose la misma, en ambos casos, cerca de la superficie de saturación del corte.

Perfil Estratigráfico N° 4

Este corte, Figura 5, esta representado por los puntos de muestreo denominados FN° 9, 10, 11 y 21, presentando una dirección Oeste-Este, con pendiente en ese sentido,

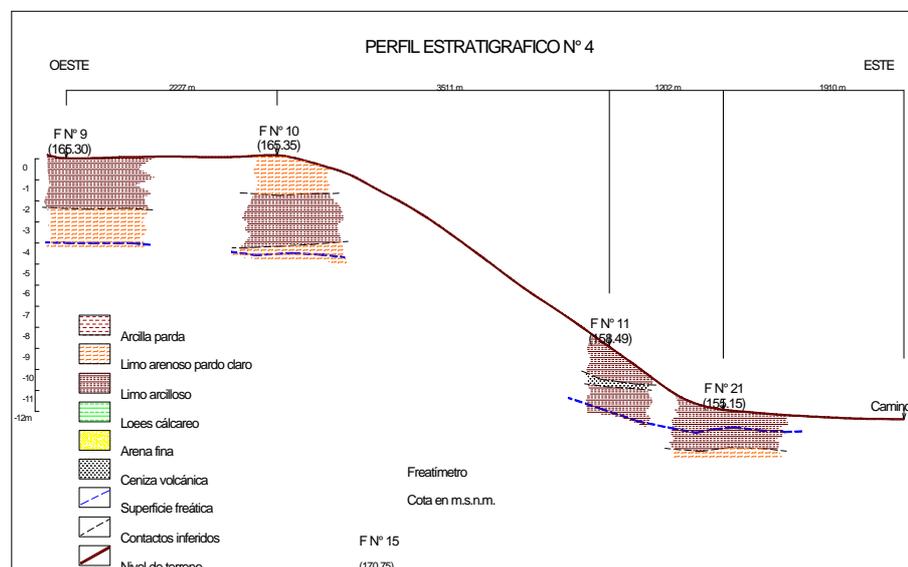


FIGURA 5

siendo su valor del 0.11 %.

Las observaciones de campo han permitido definir la primera capa como un limo arcilloso en la mayoría de los puntos, solamente en el FN^o 10, el limo presenta un mayor contenido de arena fina.

El loess en esta área, ha perdido sus características primarias, quizás por tratarse de una zona de riego, con un fuerte movimiento vertical de agua. En tal sentido se lo ha clasificado texturalmente como un típico limo, pardo claro muy calcáreo. El espesor oscila entre los 2.50 m a 1.80 m.

Infrayacen sedimentos de igual naturaleza genética, aunque se invierten las colas de finos y gruesos en algunos puntos, solamente se mantiene uniformemente en el FN^o 11, único punto donde aparece una capa delgada de toba de 0.11 m de espesor; en el resto del perfil no fueron observadas sedimentos de naturaleza volcánica.

Perfil Estratigráfico N^o 5

Este corte presenta una orientación Oeste-Este, Figura 6; el que partiendo de un área próxima al cauce actual del Río Dulce, presenta un desnivel de 5.41 m, lo cual determina una pendiente general del 0.05 %. Esta integrado por los puntos FN^o 6, 3, 2 y 1.

La formación superior esta caracterizada por sedimentos finos, inconsolidados

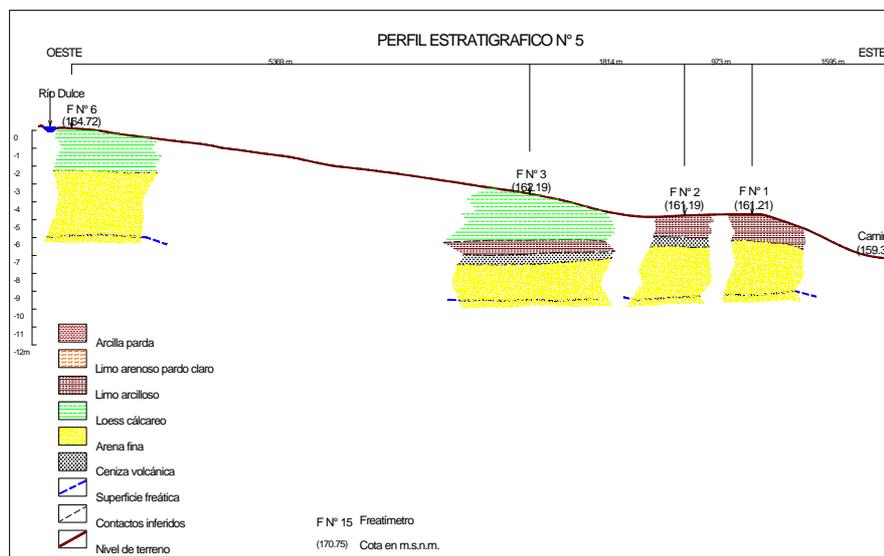


FIGURA 6

calcáreos de aspecto y textura loésica, para los primeros puntos ubicados al Oeste (FN^o 6 y 3), mientras que pierden este aspecto macroscópico hacia el Este, aunque conservan la textura limosa, con arena muy fina subordinada. El espesor reconocido es

de unos 2.40 m como máximo.

El resto del corte está conformado por una reducida capa de ceniza volcánica de 0.20 m a 0.25 m de potencia ubicada solamente en los puntos muestreados y

Perfil Estratigráfico N° 7

Este perfil, Figura 8, se construyó con los cortes litológicos de los Freatímetros N° 19, 12, 10, 24, 7 y 4, con una orientación Norte-Sur, presentando un mayor contraste morfológico, observándose una topografía de suaves lomadas en un plano ligeramente inclinado hacia el Sur, cuya pendiente general en ese sentido alcanza el 0.036 %.

La parte superior del perfil, muestra capas bien representativas de loess calcáreo, con una textura limo arcillosa y con arena fina subordinada, perdiendo el carácter de loess hacia el Sur, donde por granulometría y observaciones macroscópicas se lo define más bien, como limo arenoso y limo arcilloso, presentando nuevamente en el FN° 4 capas con aspectos de loess.

Infrayacen capas de ceniza volcánicas en todo el corte, excepto en el FN° 10, que presenta la cota más elevada del perfil (165.35 m), el espesor de esta capa de material clástico de origen volcánico es de unos 0.50 m de media, siendo su mayor desarrollo en la población de Los Pereyra, donde muestra dos capas bien definidas, de 0.23 m y otra inferior de 0.73 m, con una intercalación de limo arenoso fino, pardo claro de 0.55 m de espesor.

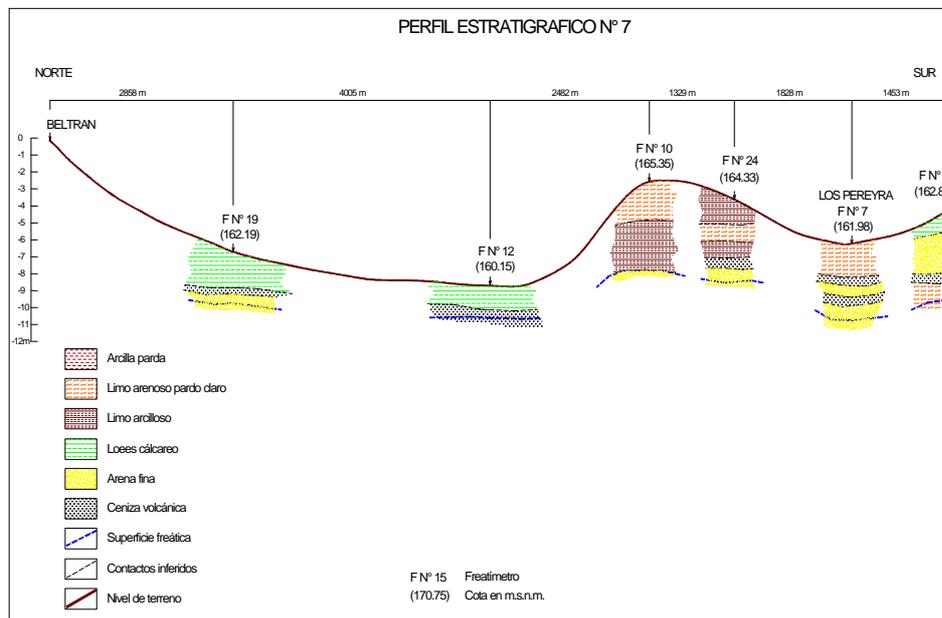


FIGURA 8

La posición topográfica de esta capa y su desarrollo areal permite inferir una secuencia de deposición homogénea en un ambiente con relieve de escasa pendiente y actividad erosiva poco marcada.

La base de esta secuencia, la componen en su mayoría, sedimentos de textura arenosa fina y limos arenosos, solamente en el punto más bajo del corte, FN° 12 (160.15 m), la superficie freática coincide con la posición de la capa de ceniza volcánica. La profundidad de investigación máxima alcanzada, es de unos 4.78 m de profundidad.

Perfil Estratigráfico N° 8

Este perfil, Figura 9, de orientación Noroeste-Sureste, presenta un desnivel topográfico, con inclinación hacia el Sureste, la que coincide con la pendiente regional de la zona, La cota máxima es el punto FN° 14 (170.75 m) y el punto mínimo es el FN° 22 (158,87 m), con lo cual determina una pendiente del 0.072 %. Este corte lo integran los FN° 14, 13, 10, 23 y 22.

Se observa una primera capa representada por loess de textura limo arcilloso, pardo claro muy calcáreo en los dos primeros puntos: FN°s 14 y 13, hacia el Sureste, las

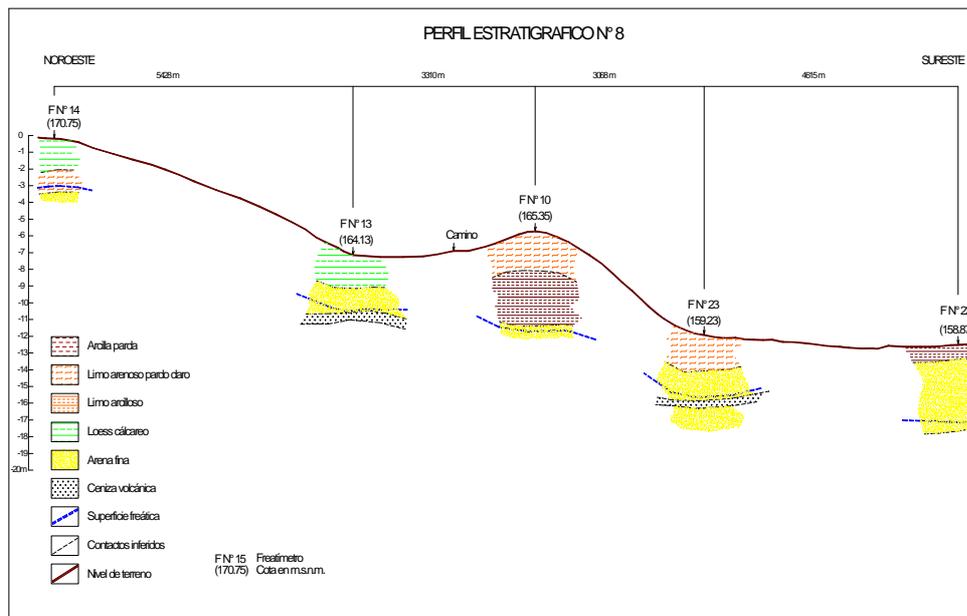


FIGURA 9

condiciones macroscópicas, lo definen más como un limo arenoso fino en FN° 23 y en el FN° 22 como limo arcilloso, siendo este el punto más bajo del perfil.

Infrayace
n sedimentos

de textura finas, como arenas con limo subordinado, solamente alterada por una capa de espesor reducido de ceniza volcánica en los FN° 13 y 23, mientras que en los otros puntos no esta presente. Esta capa de unos 0.30 m a 0.20 m, se presenta bien delimitada con un color blanco-grisáceo, ubicándose próxima a la superficie freática. La base de esta columna litológica, está integrada por arenas muy finas con limo subordinado.

ANÁLISIS PETROLOGICO DE LA CENIZA VOLCÁNICA DETERMINACIONES TEXTURALES

El análisis petrológico, consistió en el estudio de campo de las capas de ceniza volcánica, su posición estratigráfica, sus relaciones areales y análisis de laboratorio, tales como determinaciones de la secuencia granulométrica, la composición química y la observación mineralógica de la fracción gruesa.

Los histogramas elaborados permiten observar una aptitud unimodal con moda débilmente marcada en la fracción 0.053 mm, siendo las colas de finos, mayor que la fracción ubicada a la izquierda de la moda que representa los materiales de textura más gruesas. Este miembro piroclástico es denominado por algunos autores como Tefritas Eolocineritas, producido por actividad volcánica cordillerana, para la cual se infiere, una edad estimada en unos 10.800 años (Laya, H., 1970).

Desde el punto de vista genético, se la define como una **Toba Volcánica**, aunque también es de uso extendido la denominación por su granulometría de **Ceniza Volcánica**, (Pettijohn.F.J.,1963), términos que se adoptan indistintamente en este trabajo. Este miembro piroclástico, fue advertido y muestreado en un 53 % de los puntos de observación que abarca el área de estudio; para un total de 24 puntos de observación en un área de 200 km², representa una muestra cada 8,33 km².

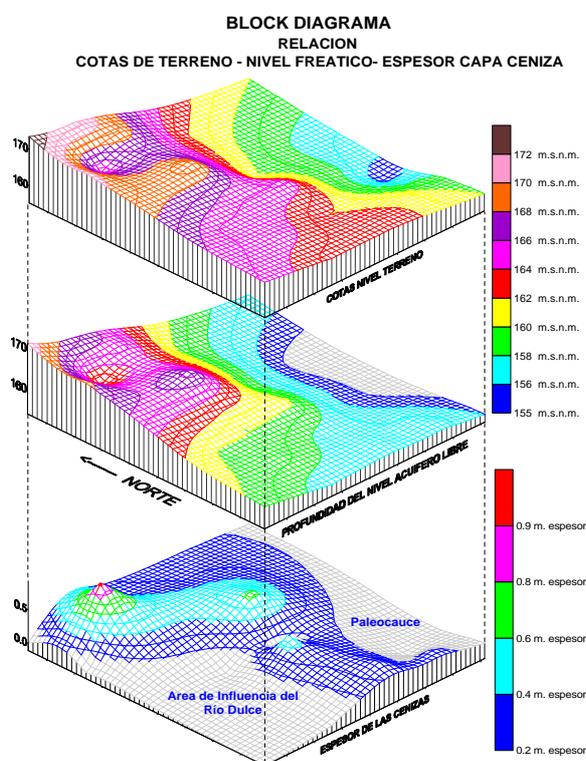
En el siguiente cuadro N° 2, se establecen los análisis granulométricos para los diferentes puntos de muestreo donde se localizó dicha capa.

Freatímetro Nº	Profundidad		Espesor de la Capa	Análisis Textural		
	Desde	Hasta		Arena % Arcilla %		Limo %
2	1.10 m	1.35 m	0.25 m	9	54	37
3	2.70 m	2.90 m	0.20 m	25	28	47
4	3.10 m	3.50 m	0.40 m	14	52	34
7	1.77 m	2.00 m	0.23 m	30	45	25
	2.55 m	3.28 m	0.73 m	22	43	33
11	1.40 m	1.60 m	0.20 m	16	52	32
12	0.90 m	1.16 m	0.26 m	19	55	26
	1.16 m	1.55 m	0.39 m	19	58	23
13	2.80 m	3.10 m	0.30 m	20	45	35
15	1.90 m	2.60 m	0.70 m	19	47	34
	2.60 m	2.84 m	0.24 m	19	42	38
17	0.55 m	1.10 m	0.55 m	30	34	35
	1.10 m	1.55 m	0.45 m	28	38	33
18	2.56 m	2.90 m	0.43 m	25	39	35
19	1.70 m	2.00 m	0.30 m	21	47	31
20	2.10 m	2.35 m	0.25 m	28	44	27
23	3.20 m	3.40 m	0.20 m	30	37	33
24	3.30 m	3.50 m	0.20 m	26	39	33
	3.50 m	3.80 m	0.30 m	27	37	35
CUADRO 2						

Los rangos texturales que se asumieron para las fracciones clásticas, fueron los siguientes, para la Arena: entre mallas 18 a 230 (1 mm de \varnothing a 0.0610 mm de \varnothing), Limo grueso a mediano, malla 230 a 270 (< 0.0610 mm de \varnothing a 0.053 mm de \varnothing) mientras que la fracción menor a malla 270 (< 0.053 mm de \varnothing) fue considerada como Arcilla, aunque incluye un cierto contenido de limo fino a muy fino.

De acuerdo a esta clasificación granulométrica y tomando un valor medio de las determinaciones texturales, de las diferentes capas de cenizas volcánicas observadas, se puede sintetizar que la textura media se ubicaría en los siguientes porcentajes, ARENA FINA: 20 % ,LIMO: 42 % , ARCILLA: 26 %, con lo cual este material piroclástico puede clasificárselo como un **limo arcilloso con arena muy fina subordinada**.

En función de los datos expresados en este cuadro, se confecciono un Block diagrama del área, relacionando la superficie topográfica, con los espesores de la capa de ceniza y el nivel superior de la zona saturada. Esto permite observar una distribución de la ceniza volcánica que presenta un patrón en el sentido Norte-Sur, con una ligera tendencia hacia el Sureste, ocupando la parte central de la comarca, indicando valores máximos de concentración de ceniza, en la zona Norte y una disminución del espesor hacia el Sur, además las zonas de mayor energía hidráulica, ubicada en ambos márgenes de este cuerpo, no registran espesores.



Esta tendencia manifiesta, podría interpretarse como que la franja ubicada a la izquierda y derecha de la zona central ha sido afectada por los movimientos fluviales del río Dulce u otras vías de escurrimiento que se observan en la cartografía temática, retransportando el material volcánico a zonas de mayor estabilidad.

El entorno de la superficie freática se corresponde con la morfología actual, indicando una posición más superficial de la misma en las zonas o áreas topográficamente más deprimidas, y donde en algunos casos presentan una relación más estrecha con la capa de ceniza.

ANÁLISIS QUÍMICOS

Con la finalidad de conocer la composición química de la ceniza volcánica, se realizó un análisis de una muestra tipo, tomada en la zona, la cual fue enviada al Laboratorio Actlab de Canadá, sintetizándose en el cuadro N° 1.

De acuerdo a las determinaciones químicas y considerando, que corresponden a un mismo evento geológico contemporáneo, con escasa movilización en un ambiente de relieve suave, se puede generalizar y establecer que la ceniza en cuestión, presenta una marcada composición ácida, con un alto componente de óxido de sílice y óxido de aluminio subordinado, sumando ambos un 73 % , es importante además la presencia de óxido de potasio con un 5.11 % y óxido de sodio con un 2,25 %, con lo cual se puede ubicar al material como proveniente de una erupción piroclástica ácida del tipo de un magma riolítico a riodacítico.

ELEMENTOS	PORCENTAJES %
SiO ₂	70.05
Al ₂ O ₃	13.33
Fe ₂ O ₃	1.54
MnO	0.09
MgO	0.56
CaO	0.91
Na ₂ O	3.25
K ₂ O	5.11
TiO ₂	0.191
P ₂ O ₅	0.07
LOI	3.94
TOTAL	99.03
CUADRO 3	

También se incluye la determinación de algunos compuestos u oligoelementos en la ceniza, los cuales se observan en el Cuadro 4.

En cuanto a los oligoelementos aparecen en mayor proporción el Bario con 139 ppm y el Zirconio con 106 ppm, el resto se presenta como subordinados. Mientras que la presencia de Arsénico (As), es de 6 ppm.

COMPUESTOS	CANTIDAD (ppm)
Ba	139
Sr	65
Y	23
Sc	7
Zr	106
Be	6
V	21
As	6

CUADRO 4

ANÁLISIS MINERALÓGICO DE LA CENIZA VOLCÁNICA.

Las determinaciones microscópicas de la fracción comprendida entre los 50 a 200 micrones, ha permitido reconocer las especies minerales más importantes. La presencia de vidrio volcánico, al cual se le asignó un índice de refracción de 1,50 a 1,52, es de carácter isótropo, siendo esta especie de vidrio fresco relativamente escaso. La mayor proporción de vidrio volcánico se presenta con un incipiente grado de alteración o desvitrificación, con componentes arcillosos complejos no determinados. Se observa también cuarzo cristalino y feldespato potásico, minerales teñidos con óxidos de hierro. Además en las fracciones menores se observan trizas vítreas, con fuerte relieve negativo, de color castaño claro.

También están presentes aunque en menor proporción minerales ferromagnesianos como hornblenda, y dentro de la familia de los piroxenos (hipersteno y augita), minerales opacos, epidoto y circón.

Se han observado fragmentos líticos no identificables por el grado de alteración química que presentan., transformándose en especies arcillosas. Al tacto la ceniza manifiesta un aspecto grasoso, lo cual podría atribuirse a la presencia de productos arcillosos hidratados como el alofano, halloysita y caolinita, que son silicatos hidratados de alúmina, con diferente proporción de agua, aunque numerosos autores han señalado que el vidrio presenta como mineral secundario de alteración, a la montmorillonita.

ANÁLISIS PETROLOGICO DE LAS CAPAS DE ARENA

De la fracción arena ubicada entre los 200 a 50 micrones, se tomaron muestras tipo de cada fracción, la cual se supone representativa del área, aunque existen diferencias marcadas en sedimentos de textura arenosa fina a materiales de igual naturaleza pero

de un ambiente de mayor energía, con lo cual los clastos manifiestan características petrológicas distintas.

Texturalmente las arenas en general, presentan un rango ubicado entre los 0.061 mm de \varnothing a 0.124 mm de \varnothing , lo cual las define como: Arena Muy fina a Arena Fina, solamente en los puntos FN^o 6 y 7, se observó arena gruesa con un espesor de unos

Composición Mineralógica (Fracción Minerales pesados)	Porcentaje %
Opacos	7,7
Hornblenda	15,0
Augita	2,2
Biotita	31,0
Muscovita	21,2
Diopsido	2,2
Hipersteno	10,0
Clorita	5,0
Circón
Granate	1,7
Turmalina	3,7
Rutilo
CUADRO 5	

0.50 m, ubicada a unos 4 m de profundidad, la que tendría relación con la llanura aluvial del río Dulce o paleocauces existentes en la zona, relacionado con divagaciones hacia el Este de este curso de gran importancia hidrogeológica en la región.

La fracción arena, fue analizada mediante observaciones con el microscopio petrográfico, por conteo por puntos, utilizándose unos 500 granos, previa diferenciación de las fracciones pesadas y livianas. Si bien la cantidad de muestras de esta fracción para los diferentes puntos de observación

es muy grande, se tomaron las más representativas que posibilitaran establecer una familia tipo de minerales existentes, por tratarse de una región que presenta una cierta homogeneidad estructural y un ambiente geomorfológico definido con escasa perturbación natural y antrópica, lo cual permitió aun con un margen de error en la generalización, tener para una aproximación las especies dominantes en la fracción clástica más gruesa y que tienen relación con los procesos edáficos, el intercambio catiónico y la estabilidad mineral, asociada a la dinámica y constitución del acuífero freático. La fracción de minerales pesados representa el 13.4 % del total de la muestra Cuadro 5

La fracción que corresponde a las especies de minerales livianos cuya densidad en < a 2.89 (densidad del bromoformo), representa el 86.6 % de la muestra y se sintetizan en el Cuadro 6, las especies minerales más importantes y reconocibles.

Composición Mineralógica (Fracción Minerales Livianos)	Porcentaje %
Ortosa	6.6
Cuarzo	40.6
Plagioclasa	22.6
Vidrios	29.2
Trozos	1.0
CUADRO 6	

Se observa que prevalece en la fracción liviana, el Cuarzo como mineral principal con un alto contenido de vidrio de origen volcánico, con plagioclasa subordinada de la cual se destacan las de composición sódica (Na): albita y oligoclasa. Mientras que en la fracción pesada las micas (biotita y muscovita) representan las especies más abundantes, por lo cual se infiere un origen mesobásico para esta fracción. Los minerales como la biotita se presentan con bajo grado de alteración, mientras que los minerales ferromagnesianos como la hornblenda e hipersteno se observan con una fuerte alteración química.

En la fracción clástica de mayor diámetro como lo son las arenas gruesas de los FN° 6 y 7, esta representada por fragmentos líticos de rocas metamórficas y en menor grado de rocas ácidas de origen plutónico.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La secuencia sedimentológica en la región, para un espesor reducido, que se ubica en la zona no saturada del perfil, presenta una marcada génesis continental, en un ambiente oxidante, caracterizado por materiales clásticos finos, donde prevalece la moda de limos arcillosos y limos arenosos subordinados y miembros de arenas finas a muy finas, asociadas a una capa de toba (ceniza volcánica) de posición topográfica somera y de reducido espesor, que ocupa y esta presente en un área que alcanza el 53 % de la superficie investigada.

La sucesión geológica corresponde a deposiciones del Holoceno-Reciente, la cual se destaca por la carencia de estratificación, una porosidad primaria similar y escasa potencia de los miembros diferenciables, no habiéndose identificado fósiles que permitan la datación cronoestratigráfica de la misma.

La capa de toba, de interés geoquímico en el proceso de contaminación hidrogeológica del agua subterránea, presenta una posición topográfica discontinua y cercana a la superficie freática. Fue identificada macroscópicamente y por su composición mineralógica. De acuerdo al análisis químico correspondería a erupciones volcánicas de composición ácida: riolitas o riodacitas, donde prevalece el contenido de SiO₂: 70.05 % y de Al₂O₃ con el 13.33 % y presenta dentro de los oligoelementos, al Arsénico con un contenido de 6 ppm.

Los análisis granulométricos, permiten ubicar a este sedimento como unimodal, caracterizado como una textura de limo arcilloso con arena muy fina como moda secundaria, presentando cierta similitud con la del loess, aunque con modas diferentes.

La génesis de esta asociación petrológica es atribuible a condiciones eólicas y ácuas de baja energía, en una región árida a semiárida, con una morfología de bajo gradiente regional.

En general los sedimentos, observados microscópicamente, de la zona no-saturada, pueden definirse como psamíticos y pelíticos de deposición continental, acumulados en un medio geológico de baja energía, puesto que los rangos texturales gruesos, no fueron observados en la zona hasta la profundidad estudiada. Este ambiente está caracterizado por la dinámica generada por una antigua llanura de inundación del río Dulce, procesos posteriores de remoción y una fuerte actividad eólica que cubrió la región con cenizas volcánicas, materiales que se ubicaron en las zonas de mayor estabilidad lo cual permitió su conservación durante el Holoceno hasta la actualidad. Esta unidad bien definida estratigráficamente en el perfil del subsuelo, representa una capa guía de correlación en la comarca de estudio, por su fácil ubicación y el color claro resulta rápidamente reconocible.

Las condiciones ambientales en esta cuenca, y la dinámica vertical del flujo del agua pluvial e inducida (agua de riego), han modificado las condiciones mineralógicas de la ceniza, ocasionando una marcada desvitrificación, afectando a los minerales más inestables, los cuales se han ajustado a las condiciones y procesos actuales, produciendo minerales secundarios como las arcillas: Halloysita, Caolin y Alofana, que inciden en la formación de suelos de la región y en los compuestos y oligoelementos presentes en el agua subterránea.

La naturaleza petrológica ácida del vidrio, en un ambiente con pH elevado, libera sodio como respuesta de los sedimentos asociados a facies fluviales, ricos en alúmina, sodio y calcio y a las condiciones del microambiente. En la región las mayores concentraciones de Arsénico en el agua freática, corresponden a las del tipo bicarbonatadas sódicas con pH medio 7.7 e i.c.b. negativo, esto posibilita la retención de Ca + Mg por las arcillas y la liberación de Na + K. La baja retención del As por los componentes mineralógicos de los sedimentos arcillosos, está relacionada con ese valor de pH.

BIBLIOGRAFIA

- Gonzalez Bonorino, F.C. y M.E.Teruggi, 1961. Léxico Sedimentológico Serie Geol. 2 Facultad Ciencias Exactas y Naturales, UNBA.164 p.

- Ingram, R.L., 1971. Sieve analysis. In Carver, R.E. (edit) Procedures in Sedimentary Petrology: 49-68. Wiley Intersci., N.York.
- Krumbein W.C. y L.L.Sloss. 1969. Estratigrafía y Sedimentación. UTEHA.México 12,D.F. pp 12, 201.
- Laya, H., 1970. Edafogénesis y Paleosuelos de la Formación Téfrica Rio Pireco (Holoceno).Revista Asociación Geológica. Argentina,XXII: 3-23.
- Nijensohn Leon. 1970. - Clasificación y Estudios de Suelos en el Area del Proyecto del Río Dulce. Corporación del Río Dulce. Santiago del Estero. 133 - 153.
- Pettijohn, F.J., 1963 - Rocas Sedimentarias. Editorial Eudeba. Buenos Aires. pp 163, 238, 336, 341, 370, 380, 381
- Russo, A., et al., 1979 - Llanura Chaco Pampeana - Segundo Simposio de Geología Regional Argentina – Academia Nacional de Ciencias de Córdoba – Volumen I – pp96-139
- Teruggi, M. E., 1957 - The nature and origin of Argentine Loess. J.Sed.Petr. 27: 322-332.