

ANÁLISIS HIDROGEOQUÍMICO DE AGUAS  
SUBTERRÁNEAS SOMERAS EN LA REGIÓN  
SURESTE DE LA PROVINCIA DEL CHUBUT.



*Burgos Alejandro César*

## ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN-----	3
2. OBJETIVOS-----	4
3. MARCO GEOLÓGICO – HIDROGEOLÓGICO-----	4
4. MATERIALES Y MÉTODOS-----	7
5. ACTIVIDADES Y CRONOGRAMA-----	8
6. RESULTADOS ESPERADOS-----	9
7. RESULTADOS OBTENIDOS-----	9
Zona 1-----	13
Zona 2A-----	19
Zona 2B-----	28
Zona 3-----	33
8. CONCLUSIONES-----	38
9. BIBLIOGRAFÍA-----	39

# ANÁLISIS HIDROGEOQUÍMICO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS SOMERAS EN LA REGIÓN SURESTE DE LA PROVINCIA DEL CHUBUT.

## 1. INTRODUCCIÓN

El área de estudio se ubica al sureste de la provincia del Chubut, se caracteriza por una geomorfología dominada por una meseta de grava de elongación Noreste – Suroeste y cota de 600 a 700 msnm, conocida como Pampa Castillo, la misma tiene un ancho variable de 9,5 a 22 kilómetros aproximadamente.

Inmediatamente en el límite oriental de la misma sobre el faldeo, se generan numerosos cañadones muchos de los cuales tienen nombre, por ejemplo es el caso del Cañadón perdido y Cañadón central, que han sido producto de la gran escorrentía generada a partir de la ablación glaciaria que tuvo lugar durante el Cuaternario, la misma generó además, un diseño superficial subdendrítico pobremente integrado que se pierde hacia la costa. Los mismos tienen una orientación hacia el este, y sureste. Pocos cañadones alcanzan el mar, en su mayoría se desvanecen en una zona plana horizontal a subhorizontal dominada por sedimentitas de la Formación Sarmiento.

Esta zona relativamente plana culmina en el mar en forma de acantilados mayormente o bien como playas donde algunos cañadones alcanzaron la costa. Hacia el extremo noroeste de la zona de estudio, en el límite occidental de la meseta Pampa Castillo, también se observan cañadones de menor envergadura con pendientes hacia el noroeste; por lo tanto podría considerarse a Pampa Castillo, además de una zona de recarga, como una divisoria de aguas.

Cabe mencionar que en el área de estudio se encuentra incluida la ciudad de Comodoro Rivadavia, ubicada en el extremo sureste, (Imagen 1).

Estructuralmente la zona de estudio se halla afectada por una tectónica que produce un fallamiento directo e inverso, con suaves plegamientos que afectan a todas las unidades de más edad (Ej F. Río Chico).

Las más modernas, solo evidencian una respuesta esencialmente plástica, sin llegar a producir rechazos considerables, y sin manifestaciones en la topografía actual, por lo tanto no afectan la circulación de aguas subterráneas someras.



Imagen 1: Imagen Google earth, que muestra la zona de estudio, el sentido de flujo y el nombre de los cañadones principales y la meseta central.

## 2. OBJETIVOS

Definir las características hidrodinámicas e hidrogeoquímicas de la región y analizar su evolución desde la zona de recarga hasta la zona de descarga.

## 3. MARCO GEOLÓGICO - HIDROGEOLÓGICO

La cuenca del golfo San Jorge es considerada de génesis intracratónica, ya que está ubicada entre el Macizo Nordpatagónico en el norte y el Macizo del Deseado en el sur, zonas que habrían permanecido relativamente estables durante su relleno. Se le asigna un origen por procesos extensionales a partir del Jurásico superior, que es cuando se produce la rotura del continente de Gondwana, apertura del océano Atlántico y la deriva de la placa Sudamericana hacia el oeste. Se genera así un depocentro importante de sedimentos, sobre un fondo posiblemente de corteza continental o incipiente oceánica, aunque ningún sondeo en el centro de la cuenca ha perforado la totalidad de la columna sedimentaria, como para constatar el tipo de roca subyacente.

Inicialmente la cuenca se forma por hundimiento escalonado hacia su centro, ubicado al sur del paralelo de 46° de latitud sur. En ella se acumularon varias unidades estratigráficas, bien diferenciadas

entre sí, tanto desde el punto de vista litológico como ambiental. A continuación se describen brevemente aquellas que toman protagonismo en la zona de estudio.

**Formación Río Chico (continental). Paleoceno Superior (Terciario):** La unidad está constituida fundamentalmente por areniscas, tobas, conglomerados, y arcillitas varicolores. Hacia el techo grada a una sección mas consolidada piroclástica y silicificada, con abundantes inclusiones de nódulos limoníticos (tobas de Koluel Kaike).

Respecto al ambiente deposicional se le asigna en general un origen fluvial, con participación volcánica piroclástica.

**Formación Sarmiento (Continental). Eoceno - Oligoceno (Terciario Medio):** Esta unidad está constituida por bancos espesos de rocas tobáceas blanquesinas, amarillentas, castañas y rosadas, poco consolidadas, terrosas, con intercalaciones de tobas arcillosas y areniscas con clastos de tobas, también se aprecian concreciones de calcedonias. Se caracteriza por una gran homogeneidad composicional en todo su espesor.

Se habría formado en un ambiente continental, con acumulaciones loessicas, que incluyen en su tramo medio una sedimentación consumada por circulación superficial de aguas. Los materiales piroclásticos fueron transportados por el viento desde centros explosivos ubicados al oeste, realizándose la sedimentación fundamentalmente en forma subaérea.

**Formación Patagonia (marina). Eoceno - Mioceno inferior (Terciario Superior):** Esta unidad está constituida por areniscas, pelitas, coquinas, conglomerados y areniscas tobáceas.

Son comunes las estructuras tales como ondulantes, lenticulares, flaser, entrecruzamientos por oleaje y mareas. Presenta alto contenido fosilífero marino.

El ambiente deposicional marino corresponde a oleaje y mareas.

**Formación Santa Cruz (continental). Mioceno medio (Terciario Superior):** Los afloramientos son muy extensos y están claramente expuestos. La litología involucrada consiste en sedimentitas epiclásticas predominantes y piroclásticas subordinadas. Son comunes las estructuras de estratificación entrecruzada eólicas en areniscas, como así también los restos fósiles de mamíferos y de troncos silicificados.

La acumulación de esta sedimentación continental se produjo luego de un progresivo retroceso del mar atlántico, durante el mioceno temprano. La sedimentación comenzó con depósitos estuarios controlados por mareas haciéndose progresivamente más fluviales y eólicos.

**Depósitos aterrazados de Pampa Castillo (continental). Plioceno (Terciario Superior):** Corresponde al nivel de gravas más elevado de toda la zona, están constituidos por gravas arenosas que han estado durante mucho tiempo expuestas a la deflación, que consiguió remover parte de la matriz arenosa superficial, aumentándose así la concentración de los clastos mayores. La composición de los



rodados es principalmente de rocas volcánicas porfíricas, que habrían provenído desde la zona cordillerana.

La importante acumulación de gravas se generó a consecuencia del derretimiento de los hielos acumulados durante un gran período glacial que afectó a la cordillera patagónica. Estas gravas consideradas como depósitos fluvio-glaciales, fueron depositadas mediante un régimen de flujo alto, de tipo entrelazado, y rellenaron las zonas topográficamente deprimidas. Con posterioridad se produjo la inversión del relieve topográfico, debido a que ese manto espeso de gravas se constituyó como coraza protectora de los agentes erosivos, los que actuaron con más facilidad sobre las sedimentitas de edad cretácica y terciarias aledañas.

**Depósitos sobre pedimentos (continental). Pleistoceno (Cuaternario inferior):** Algunos planos de erosión, con pendiente hacia el valle hermoso, el río chico y otros bajos topográficos, labrados sobre las sedimentitas de las formaciones Santa Cruz, Patagonia, Sarmiento, Río Chico, Salamanca y sobre el grupo Chubut, tienen una cubierta de gravas arenosas. Estos depósitos provienen de la erosión de las gravas de los depósitos aterrizados de la Pampa del Castillo.

**Depósitos aluviales - coluviales (continental). Holoceno (Cuaternario superior):** Estos depósitos tapizan las laderas de las elevaciones. Su composición varía entre gravas, arenas, limos y arcillas. Se los encuentra en los bajos topográficos, muchas veces endorreicos, donde la sedimentación y la erosión coetáneas se producen por una interacción eólico-hídrica.

En los frentes de mesetas, especialmente en las de gravas, los materiales coluviales enmascaran las sedimentitas de las unidades infrayacentes.

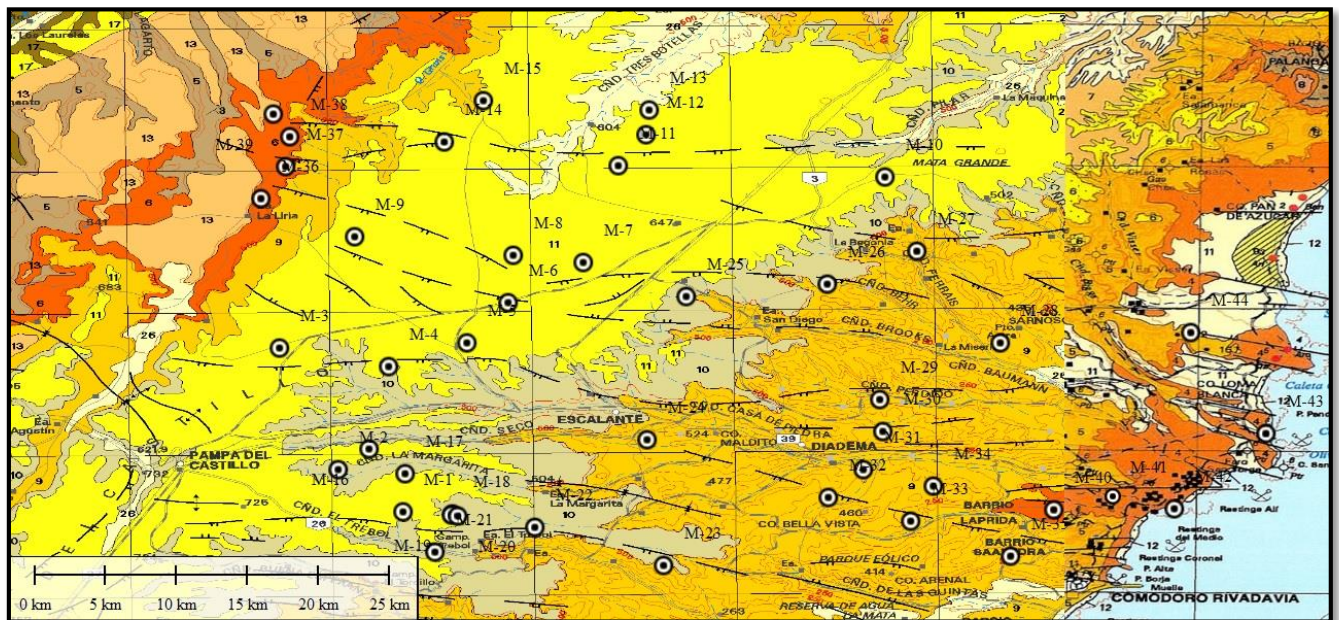


Imagen 2: Geología de la zona de estudio y distribución general de los puntos de muestreo.

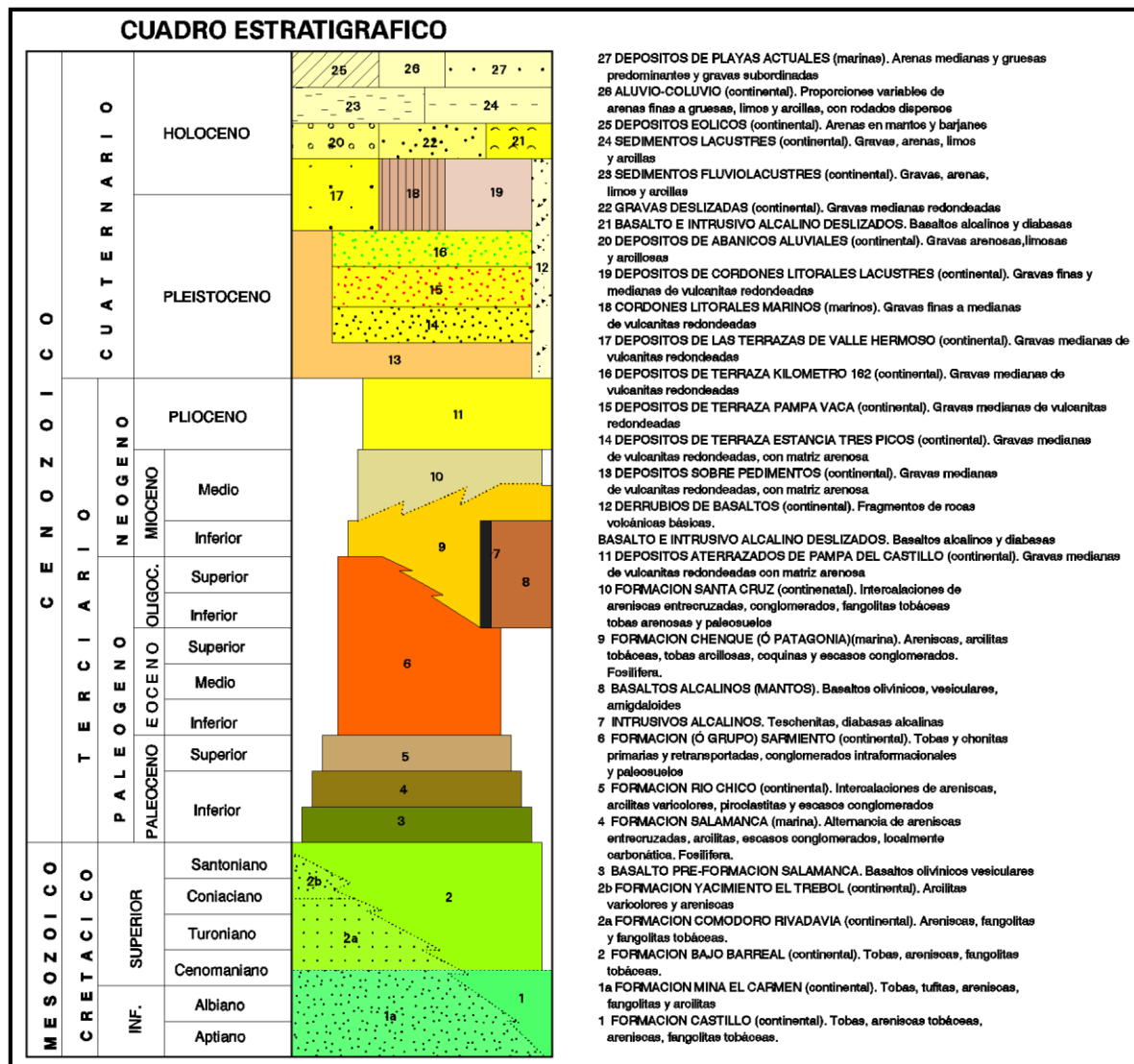


Imagen 3: Cuadro Estratigráfico.

#### 4. MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizarán datos de 44 freáticos perforados durante 2011, 2012 y 2013, a una profundidad máxima de 42 metros, aproximadamente.

Los mismos han sido muestreados en su mayoría en 2013 y forman parte de un plan de monitoreo anual de instalaciones petroleras como baterías, plantas, repositorios, canteras, purgas de gasoductos, tendidos de gasoductos, etc.

Por cada instalación se realizan tres freáticos como mínimo, de los cuales uno se ubica aguas arriba de la misma y los otros dos aguas abajo, teniendo en cuenta el sentido estimado del flujo

subterráneo somero. Anualmente se toman muestras de agua de cada frentímetro y se envían al laboratorio solicitando determinaciones como hidrocarburos totales de petróleo, aceites y grasas, metales pesados, análisis físico-químico, volátiles (BTEX), aromáticos, etc.

En el presente trabajo, cada muestra corresponde a un frentímetro elegido por instalación.

De los 44 frentímetros, 15 se ubican en la Meseta Pampa Castillo (Zona 1), 19 en los cañadones y serranías del faldeo oriental de la meseta, (Zona 2a), 4 en el faldeo occidental (Zona 2b), y 5 en la zona plana adyacente al mar (Zona 3).

Se analizarán las zonas por separado teniendo en cuenta: nivel freático en los frentímetros, profundidad de los mismos, litologías atravesadas, y proporciones de aniones y cationes obtenidos de análisis químicos realizados a los mismos, conductividades y sólidos totales disueltos.

A partir de estos datos se podrán clasificar hidrogeoquímicamente las aguas de los frentímetros mediante el software Easy Quim, y visualizar la distribución de conductividad mediante mapas de curvas de isovalores confeccionados con el software Surfer 10; además podrán determinarse sus aptitudes para consumo humano y riego como datos complementarios.

Luego, el resultado de cada zona se integrará para así obtener una interpretación regional y esperablemente coherente sobre la evolución de las aguas subterráneas someras desde la zona de recarga hacia la zona de descarga.

Los materiales a utilizar constan de sonda, para medir los niveles de los frentímetros y sus respectivos fondos, cámara de foto, para mostrar zonas relevantes del área, conductímetro y peachímetro, para obtener datos que verifiquen las conclusiones, el uso de imágenes satelitales y confección de mapas.

## 5. ACTIVIDADES Y CRONOGRAMA

Mes 1 y 2: Se recopiló la información obtenida de las perforaciones de frentímetros realizados durante 2012 y 2013 en el área de estudio, con la autorización de la empresa responsable y garantizando el resguardo de información confidencial.

Mes 3: Se seleccionaron una serie de frentímetros representativos de las zonas de estudio

Mes 4: Mediante imágenes satelitales y mapas se estudió la geomorfología y litología del área, diferenciando claramente tres zonas. Se realizaron salidas de campo para una mejor interpretación de lo observado en las imágenes.

Mes 5: Se analizaron los niveles, profundidades, litologías atravesadas, quimismo de las aguas y calidad de las mismas para riego.



Mes 6: Se obtuvieron resultados y se integraron los correspondientes de cada zona (1,2 y3).

Mes 7: Se confeccionaron los mapas, imágenes y tablas que componen este informe, en base a los resultados obtenidos.

Mes 8: Trabajo de edición del informe definitivo.

Mes 9: Informe finalizado.

## 6. RESULTADOS ESPERADOS

Se estima que en la zona de la meseta Pampa castillo las aguas subterráneas someras tengan un quimismo preponderantemente bicarbonatado ya que es característico de zonas de recarga donde las aguas han tenido poca circulación y contacto a través del acuífero.

En la zona de faldeos y cañadones se esperaría que las aguas subterráneas sean más sulfatadas, es decir más evolucionadas ya que han estado circulando un cierto tiempo a través del acuífero, en los cañadones además, se esperaría que el nivel freático esté próximo a la superficie.

En la zona considerada de descarga las aguas tendrían que mostrar una composición mas clorurada ya que han tenido un considerable tiempo de circulación a través del acuífero, a este tipo de aguas se las conoce como evolucionadas, y se asocian a zonas de descarga.

## 7. RESULTADOS OBTENIDOS

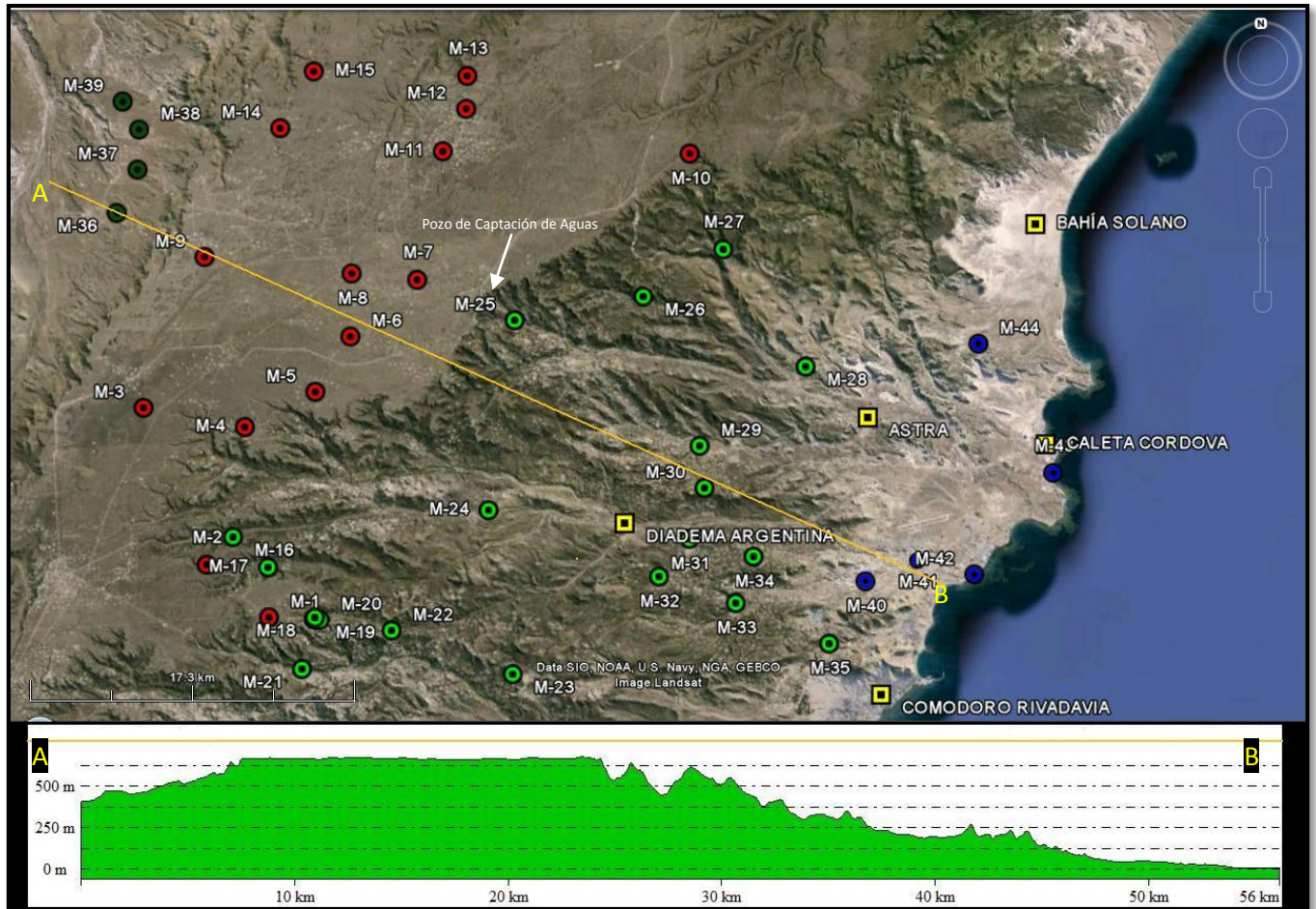
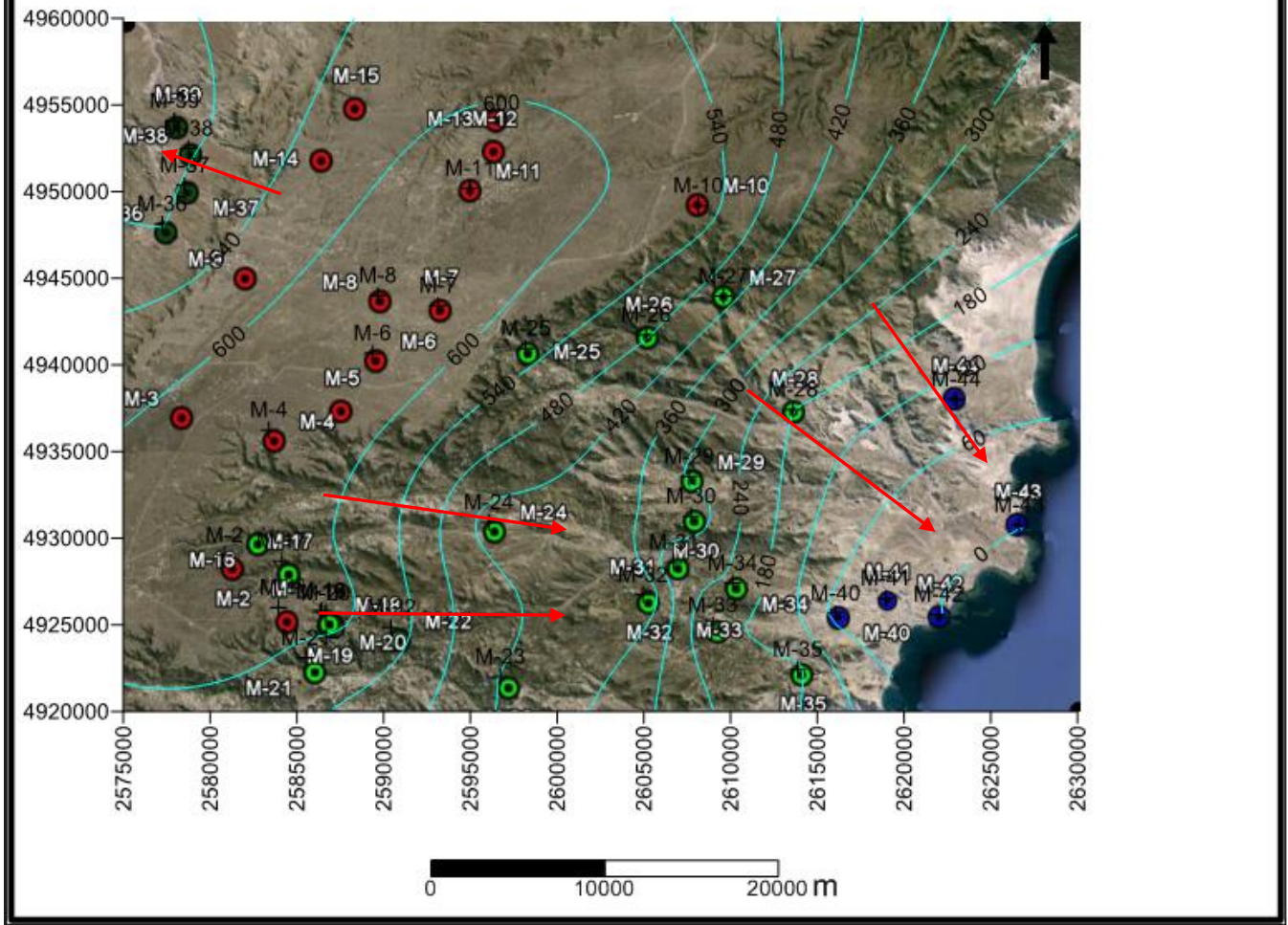


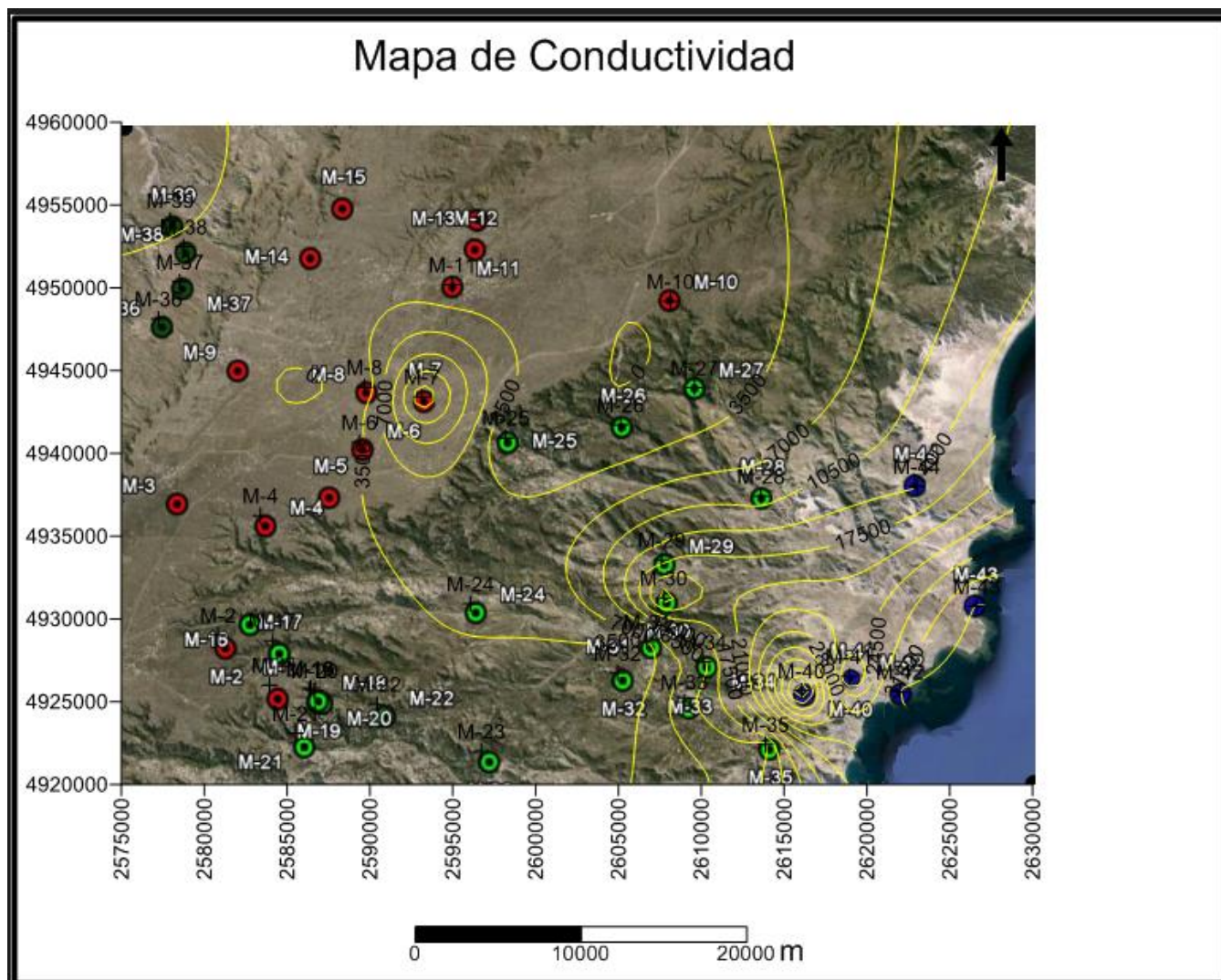
Imagen 4: Imagen Landsat obtenida de Google Earth, donde se aprecia la posición relativa de las muestras en la zona de estudio. Zona 1 en rojo, zona 2a en verde claro, zona 2b en verde oscuro, zona 3 en azul. En amarillo se observa el corte del perfil representado, donde se distingue claramente la meseta, la zona de faldeos y cañadones, y la zona plana distal.

# Mapa equipotencial de nivel freático



Mapa equipotencial de nivel freático.





Mapa de isovalores de conductividad.

El análisis de cada zona se realizó teniendo en cuenta el nivel estático, fondo del pozo, cota, conductividad (o sólidos totales disueltos), hidroquímica, (interpretando los gráficos de Piper, Schoeller – Berkaloff), litología, (utilizando perfiles litoestratigráficos tipo), y aptitud para riego, (interpretando el gráfico SAR vs Conductividad eléctrica).

La clasificación SAR (Razón Adsorción Sodio) para determinar la aptitud de las aguas para riego, se basa en la concentración total de sales solubles expresada en términos de conductividad eléctrica y en la concentración relativa del sodio con respecto al calcio y al magnesio, mediante la fórmula:

$$SAR = \frac{r Na}{\sqrt{\frac{r Ca + r Mg}{2}}} \quad r = \text{meq} / l$$

El resultado se vuelca en un gráfico SAR vs Conductividad eléctrica, que presenta campos denominados C<sub>n</sub> S<sub>n</sub>, que a continuación se describen:

Tipos	Calidad y normas de uso
C <sub>1</sub>	Agua de baja salinidad, apta para el riego en todos los casos. Pueden existir problemas sólo en suelos de muy baja permeabilidad.
C <sub>2</sub>	Agua de salinidad media, apta para el riego. En ciertos casos puede ser necesario emplear volúmenes de agua en exceso y utilizar cultivos tolerantes a la salinidad.
C <sub>3</sub>	Agua de salinidad alta que puede utilizarse para el riego de suelos con buen drenaje, empleando volúmenes de agua en exceso para lavar el suelo y utilizando cultivos muy tolerantes a la salinidad.
C <sub>4</sub>	Agua de salinidad muy alta que en muchos casos no es apta para el riego. Sólo debe usarse en suelos muy permeables y con buen drenaje, empleando volúmenes en exceso para lavar las sales del suelo y utilizando cultivos muy tolerantes a la salinidad.
C <sub>5</sub>	Agua de salinidad excesiva, que sólo debe emplearse en casos muy contados, extremando todas las precauciones apuntadas anteriormente.
C <sub>6</sub>	Agua de salinidad excesiva, no aconsejable para riego.
S <sub>1</sub>	Agua con bajo contenido en sodio, apta para el riego en la mayoría de los casos. Sin embargo, pueden presentarse problemas con cultivos muy sensibles al sodio.
S <sub>2</sub>	Agua con contenido medio en sodio, y por lo tanto, con cierto peligro de acumulación de sodio en el suelo, especialmente en suelos de textura fina (arcillosos y franco-arcillosos) y de baja permeabilidad. Deben vigilarse las condiciones físicas del suelo y especialmente el nivel de sodio cambiante del suelo, corrigiendo en caso necesario
S <sub>3</sub>	Agua con alto contenido en sodio y gran peligro de acumulación de sodio en el suelo. Son aconsejables aportaciones de materia orgánica y empleo de yeso para corregir el posible exceso de sodio en el suelo. También se requiere un buen drenaje y el empleo de volúmenes copiosos de riego.
S <sub>4</sub>	Agua con contenido muy alto de sodio. No es aconsejable para el riego en general, excepto en caso de baja salinidad y tomando todas las precauciones apuntadas.

Cuadro que muestra tipos, calidad y normas de uso de aguas para riego, útil para interpretar el gráfico SAR vs Conductividad Eléctrica



## ZONA 1:

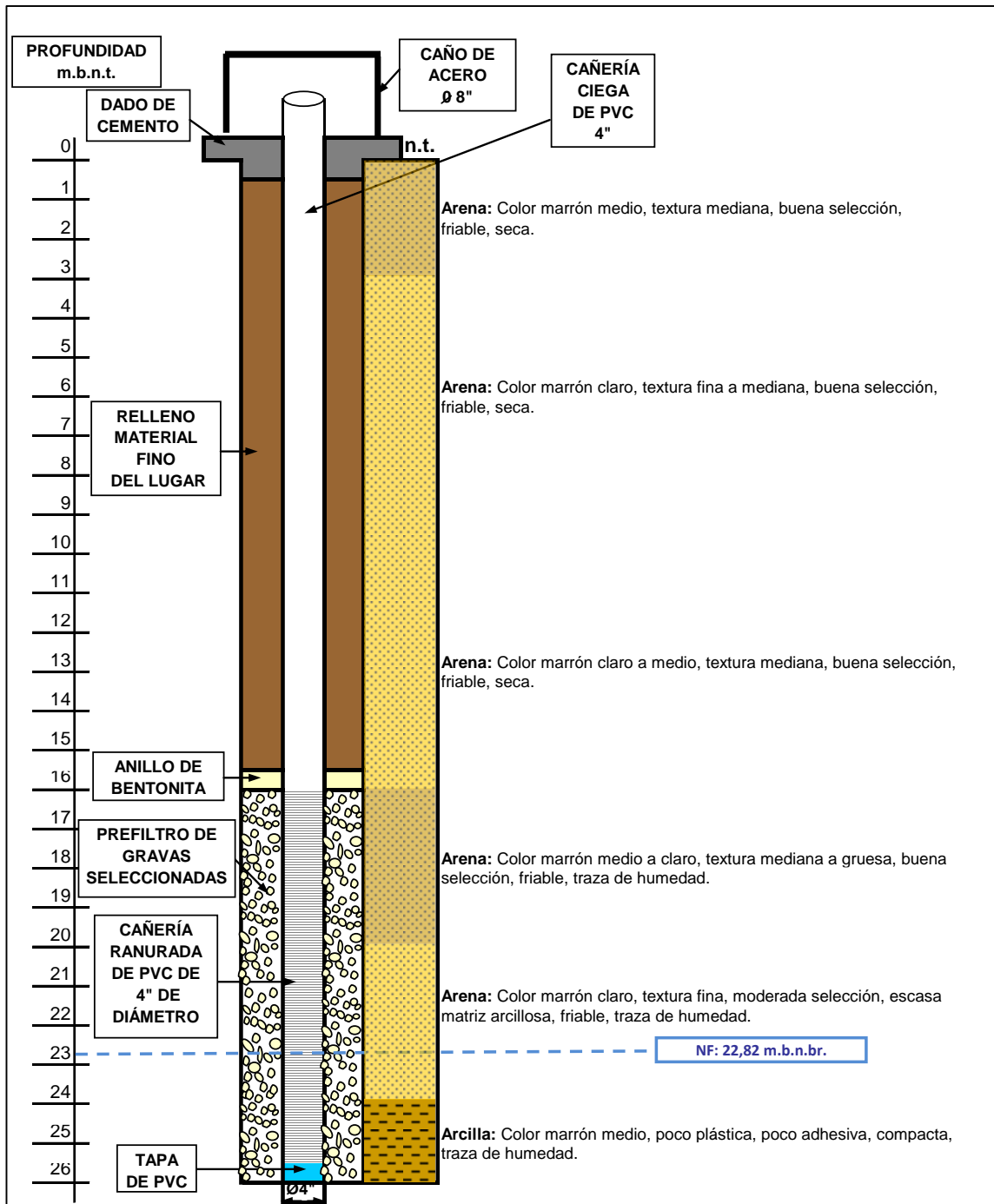
ZONA 1							
MUESTRA	NIVEL (mbbb)	FONDO	COTA	COND	TSD	HIDROQUÍMICA	SAR
M-1	24,12	28,62	685	1040	816,8	SULFATADA SODICA	C3S2
M-2	21,51	24,24	670	570	501,9	BICARBONATADA SÓDICA	C2S1
M-3	AUSENTE	29,72	714	-	-	-	-
M-4	25,18	30,18	675	1345	1040	BICARBONATADA MAGNÉSICA	C3S1
M-5	AUSENTE	37,98	687	-	-	-	-
M-6	23,63	27,86	676	2698	1628,9	CLORURADA SODICO CALCICA	C4S1
M-7	19,61	20,06	657	20535	13505,3	CLORURADA SULFATADA SODICO CALCICA	-----
M-8	33,68	36,05	669	830	560,8	BICARBONATADA CALCICA SODICA	C2S1
M-9	AUSENTE	30,38	668	-	-	-	-
M-10	27,78	29,11	602	355	321,3	BICARBONATADA CÁLCICA	C2S1
M-11	20,62	24,17	650	860	614,4	CLORURADA BICARBONATADA SODICO CALCICA	C3S1
M-12	AUSENTE	30	648	-	-	-	-
M-13	AUSENTE	30,49	668	-	-	-	-
M-14	AUSENTE	30,51	659	-	-	-	-
M-15	AUSENTE	27,89	653	-	-	-	-

El nivel estático está representado en metros bajo boca de brocal (mbbb); mientras que la conductividad está expresada como microgramos / centímetros.

- Las muestras se distribuyen sobre los niveles aterrizados de Pampa Castillo que conforman la meseta, a una cota variable entre 600 a 700 msnm.
- La litología consiste en arenas con escasa a nula matriz arcillosa hasta los 20 metros de profundidad, en promedio, por debajo continúan arcillas (Perfil 1).
- Sobre esta zona se han analizado 15 frentímetros de referencia, de los cuales, en 8 el nivel estático varía de 19,61 a 33,68 metros, mientras que en los 7 restantes no se han encontrado evidencias de agua a profundidades de hasta 38 mbbp.
- En cuanto a las conductividades, las mismas varían en un rango de 355 a 2698 uS/cm, existiendo un valor anómalo de 20535 uS/cm (la traducción a sólidos totales disueltos se puede apreciar en la tabla adjunta, al igual que los detalles de los demás parámetros que se están analizando).
- Con respecto a la tendencia hidroquímica se observa que las muestras M-2, M-4, M-8 y M-10, se ajustan a un resultado esperado, siendo bicarbonatadas predominantemente, pudiendo interpretarse como características de la zona de recarga identificada. En cambio las muestras M-6, M-7 y M-10, son predominantemente cloruradas. Esta tendencia puede explicarse considerando que las aguas bicarbonatadas de recarga directa (Precipitaciones, nieve), se mezclan con aguas de purga, que son aquellas utilizadas y descartadas por la industria petrolera. Estas aguas residuales, en los inicios de la actividad, se vertían sobre el terreno formando grandes lagunas, y cursos efímeros en los cañadones; una vez que se entendió el impacto ambiental ocasionado, estas prácticas dejaron de realizarse. Este tipo de aguas presenta altas salinidades, que al mezclarse con aguas bicarbonatadas, generan aguas sulfatadas a cloruradas con conductividades elevadas. Se descarta que estas aguas correspondan a un flujo regional con

recarga autóctona, debido a que por debajo de este nivel salino somero se encuentran aguas de muy buena calidad química, es decir bicarbonatadas, como puede apreciarse en los datos del pozo de captación de agua para uso doméstico (pozo C-60).

- Con respecto al uso del agua para riego las muestras M-2, M-8 y M-10 corresponden al campo C2-S1, es decir que presentan una salinidad media y bajo contenido en sodio correspondiéndose con aguas aptas para riego en la mayoría de los cultivos. Las muestras M-1, M-4, M-6 y M-11, si bien presentan un bajo (moderado en el caso de M-1), contenido en sodio, la salinidad es alta, no siendo aconsejable para riego en general.



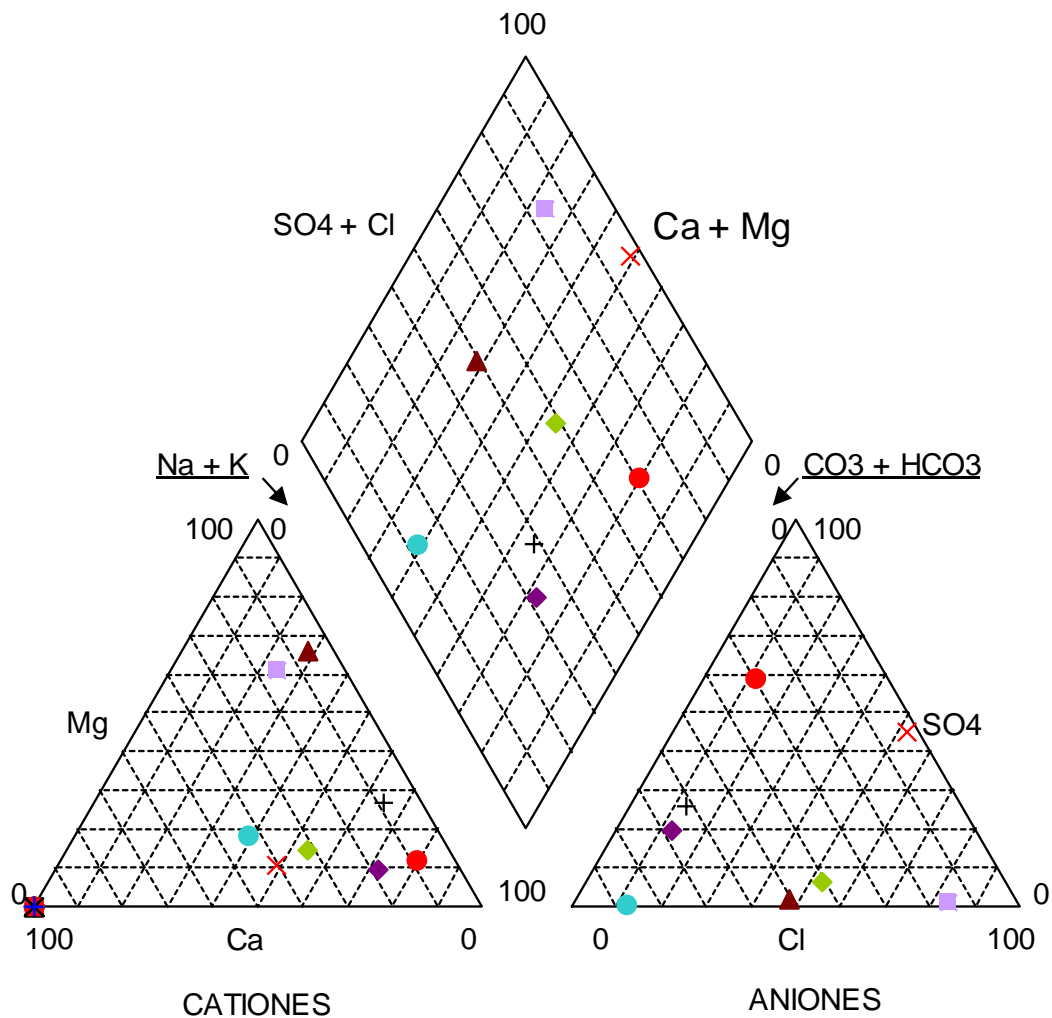
Perfil litológico característico de la Zona 1, correspondiente al freatómetro denominado M-6. Puede apreciarse además el diseño constructivo del freatómetro.

Datos de Pozo de captación de Aguas	
Cota	532m
CE uS/cm	475,00
TSD	386,00
Hidroquímica	Bicarbonatada Sódica
SAR	C2-S2

Resultados de análisis químicos, correspondiente a un Pozo de captación de aguas subterráneas.

# DIAGRAMA DE PIPER

## ZONA 1



● M-1    
 ◆ M-2    
 ▲ M-4    
 ■ M-6    
 × M-7    
 + M-8    
 ● M-10    
 ◆ M-11

Diagrama de Piper para la zona 1. Se muestra una amplia dispersión en el rombo clasificatorio.



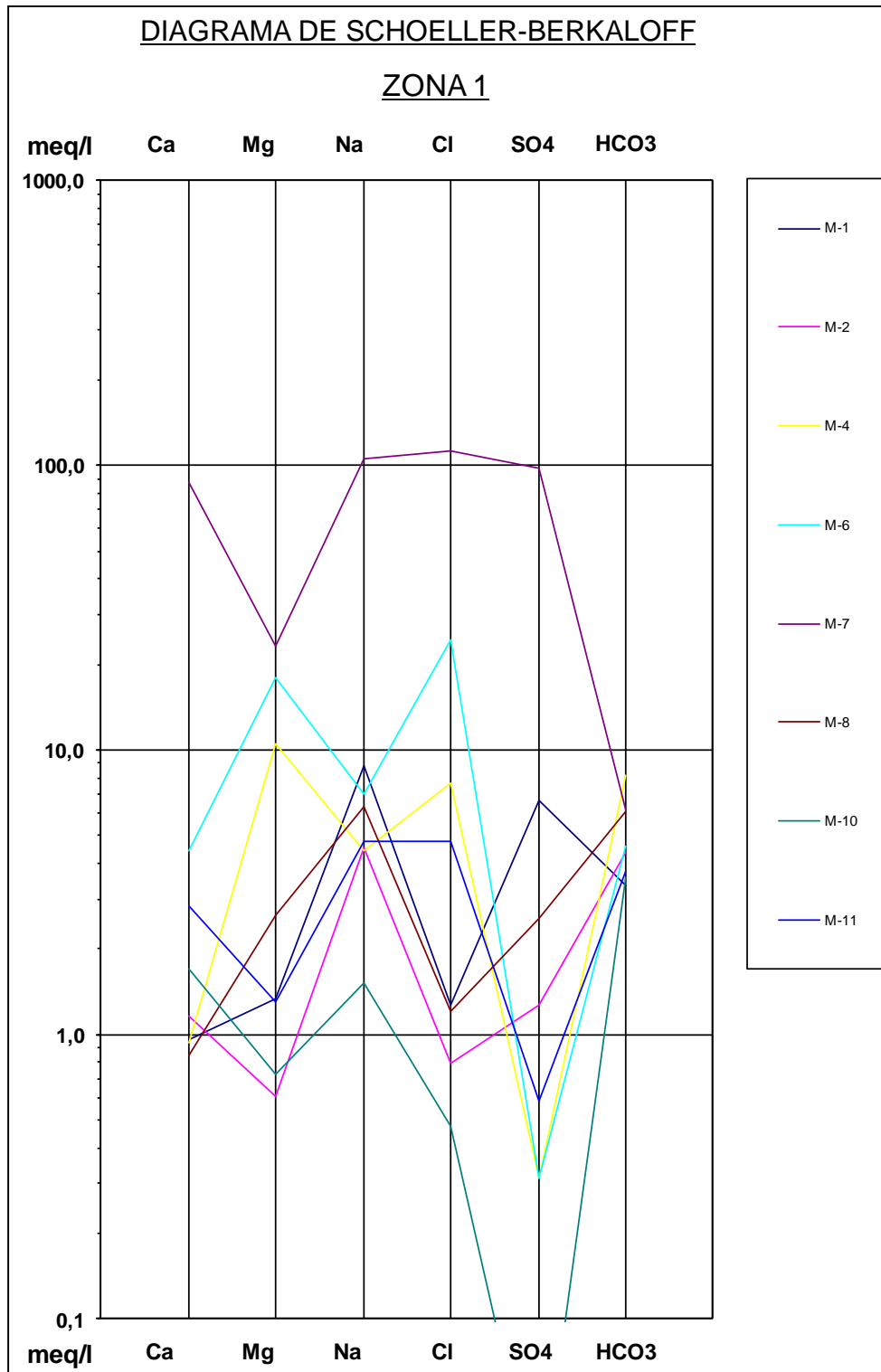


Diagrama Schoeller Berkaloff para la zona 1. Se observa una amplia dispersión no pudiendo asimilarse a una tendencia específica.

# CLASIFICACION DE LAS AGUAS PARA RIEGO

## ZONA 1

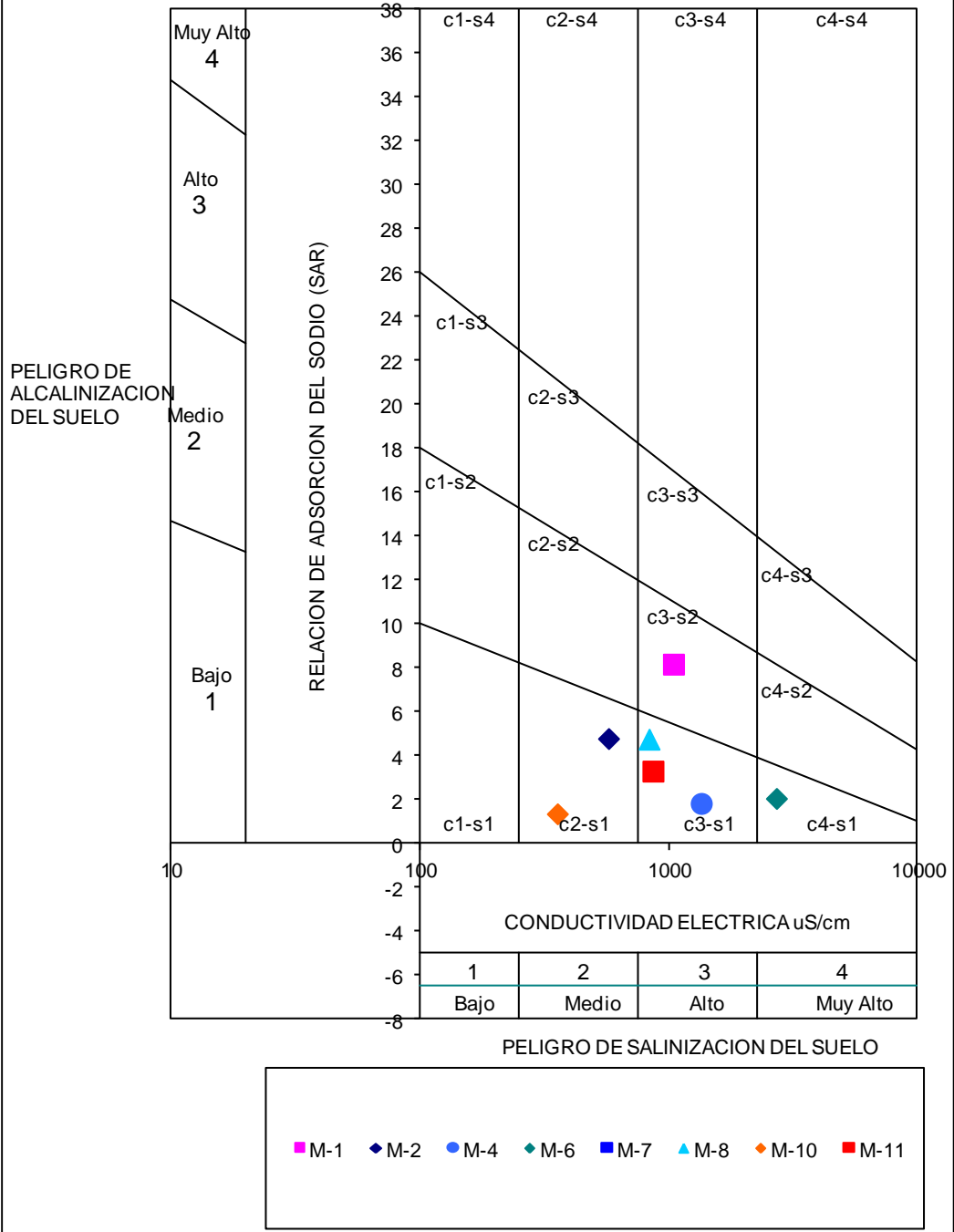


Gráfico de clasificación de aguas para riego para la zona 1. Se observa que la mayoría de las muestras presentan bajo peligro de alcalinización del suelo.

## ZONA 2A:

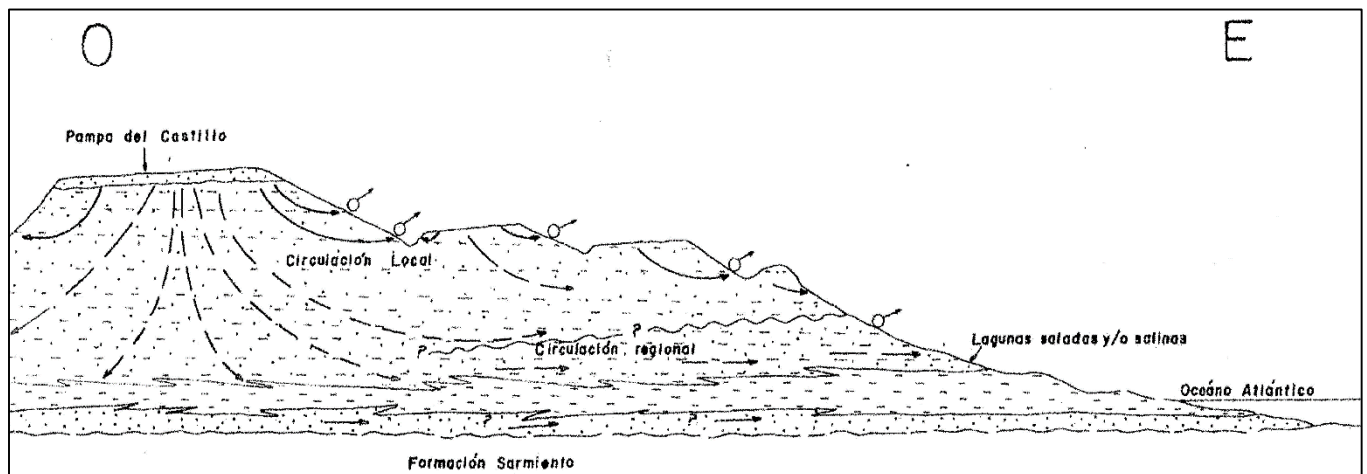
ZONA 2a							
MUESTRA	NIVEL (mbbb)	FONDO	COTA	COND	TSD	HIDROQUÍMICA	SAR
M-16	AUSENTE	41,35	664	-	-	-	-
M-17	12,99	17,95	621	840	504,1	BICARBONATADA MAGNÉSICA SÓDICA	C3S1
M-18	31,22	36,03	657	690	597,1	BICARBONATADA SULFATADA SÓDICA	C4S3
M-19	26,88	30,12	650	675	581,5	BICARBONATADA SULFATADA SÓDICA	C2S1
M-20	16,21	21,5	643	2415	1840,5	SULFATADA SODICA	C4S3
M-21	3,77	8,75	573	2070	1449,1	CLORURADA BICARBONATADA SODICA	C3S2
M-22	18,37	22,66	590	465	395,2	BICARBONATADA SODICA CALCICA	C2S1
M-23	33,5	36,12	451	540	433,9	BICARBONATADA CLORURADA SÓDICA	C2S1
M-24	5,17	11,22	400	4900	3309,4	CLORURADA SODICA	C4S4
M-25	23,89	30	584	480	380,1	BICARBONATADA CLORURADA SODICA	C2S1
M-26	26,63	27,93	513	440	360,1	BICARBONATADA SÓDICA	C2S1
M-27	12,8	23,53	456	872	733	BICARBONATADA SODICA	C3S4
M-28	24,88	33,94	204	9085	6236,5	CLORURADA SODICA	-----
M-29	11,17	23,83	300	16195	11429,7	SULFATADA CLORURADA SODICA	-----
M-30	11,43	16,07	363	26955	21898,8	SULFATADA SODICA	-----
M-31	13,03	25,32	260	2210	1939,3	SULFATADA BICARBONATADA SÓDICA	C4S4
M-32	7,21	14,06	428	1073	892,9	BICARBONATADA SODICA	C3S3
M-33	8,57	12,59	187	9790	5939	CLORURADA SULFATADA SÓDICA	-----
M-34	14,97	26,02	252	8668	6161,9	SULFATADA SODICA	C4S4
M-35	15,93	20,16	207	9830	6733,7	SULFATADA SÓDICA MAGNÉSICA	C4S4

El nivel estático está representado en metros bajo boca de brocal (mbbb); mientras que la conductividad está expresada como microgramos / centímetros.

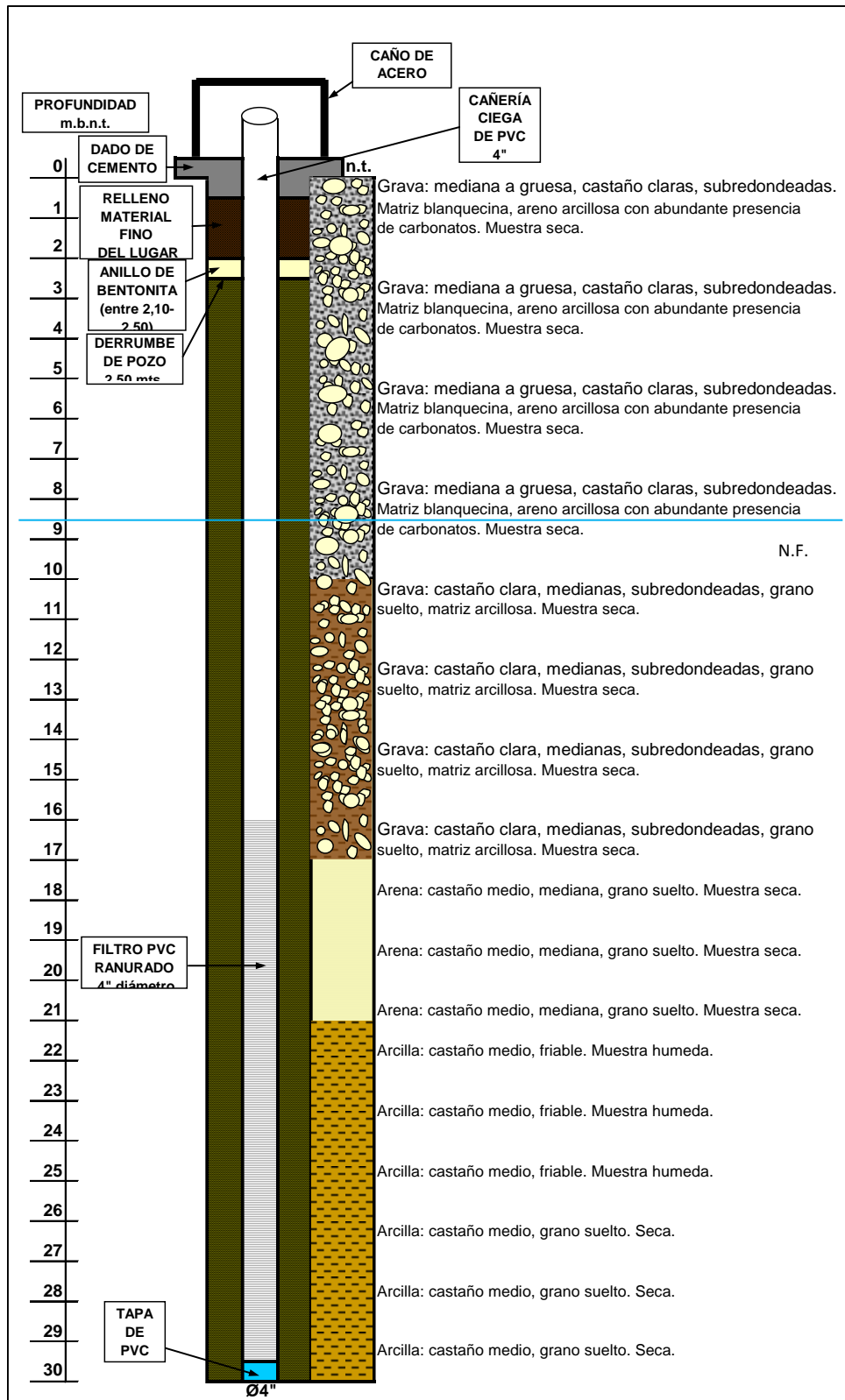
- Esta zona corresponde al faldeo Oriental de la meseta Pampa Castillo; se caracteriza por un conjunto de serranías y cañadones de orientación noroeste – sureste principalmente, donde en épocas de lluvia se generan cauces efímeros e intermitentes, de configuración subdendrítica y pobremente integrada que desaparecen por evaporación y/o infiltración.
- La columna litológica consta de unos 15 metros de gravas con matriz arenosa-arcillosa y presencia de carbonatos, por debajo continúan entre 4 y 5 metros de arenas y finalizan con arcillas.
- Se han analizado 20 freáticos de referencia. El nivel estático en los mismos presenta un rango muy amplio que va desde 3,77 a 26,88 mbbp, entendible, si se tiene en cuenta que algunos freáticos se ubican en serranías y otros en cañadones, en donde las diferencias de cota a veces superan los 100 metros. Existe un solo freático M-16, donde el nivel se encuentra ausente hasta una profundidad de 41,35 metros.
- Las conductividades, son muy variables por lo que se podrían discriminar varios grupos: las muestras M-17, M-18, M-19, M-22, M-23, M-25, M-26 y M-27 en un rango de 440 - 872 uS/cm; M-20, M-21, M-24, M-31 y M-32 en un rango de 1073 -2415 uS/cm; M-28, M-33, M-34 y M-

35 en un rango de 8668-9790 uS/cm; y algunos resultados aislados extremadamente elevados: M-24: 4900 uS/cm, M-29: 16195 uS/cm y M-30: 26955 uS/cm.

- La tendencia hidroquímica esperable en una zona de transición es de bicarbonatada a sulfatada y sulfatada a clorurada como es el caso de las muestras M-20, M-21, M-24, M-28, M-29, M-30, M-31, M-33, Sin embargo un gran número de muestras M-17, M-18, M-19, M-22, M-23, M-25, M-26, M-27, M-32, se clasifican como bicarbonatadas. Esta disparidad podría explicarse a partir de flujos locales, que tienen lugar cuando las aguas de recarga que se infiltran, tienen un corto recorrido a través del acuífero, manifestándose como manantiales, mallines, o cuerpos de agua locales.
- El gráfico SAR, muestra en el campo C2-S1 una concentración de las muestras M-19, M-22, M-23, M-25 y M-26, es decir que presentan una salinidad moderada (alta en el caso de M-17), y bajo contenido en sodio, aptas para riego en general y cultivos que no sean muy sensibles a la salinidad y al sodio. En contraposición, el resto de las muestras presentan una elevada a excesiva salinidad y contenido en sodio, por lo tanto sería conveniente que no se utilicen para fines de riego.



Corte esquemático, de la zona de estudio donde se representa la circulación del agua subterránea, en flujos locales y regionales. (Contribución al conocimiento geohidrológico de los alrededores de Comodoro Rivadavia, Chubut. 1984).

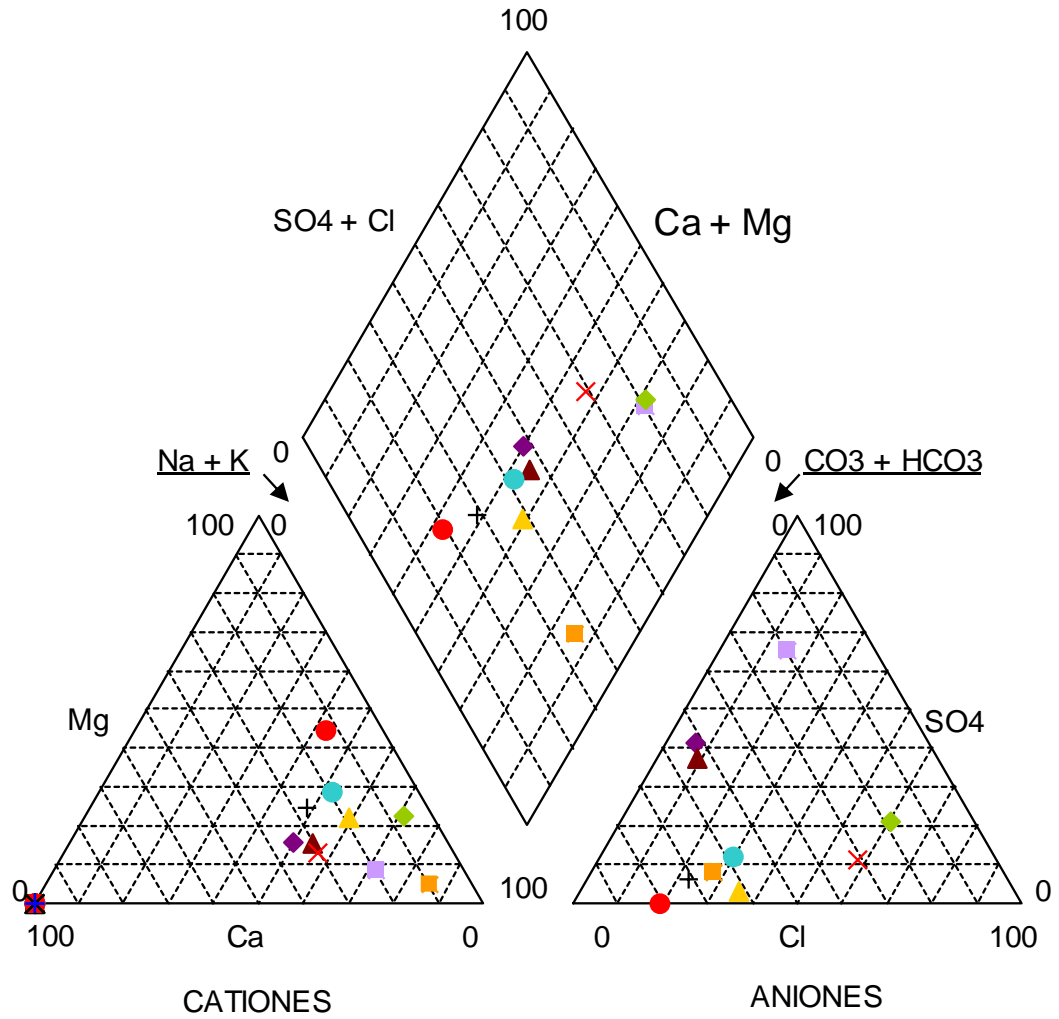


Perfil litológico característico de la Zona 2A, correspondiente al freático denominado M-33. Puede apreciarse además el diseño constructivo del freático.



# DIAGRAMA DE PIPER

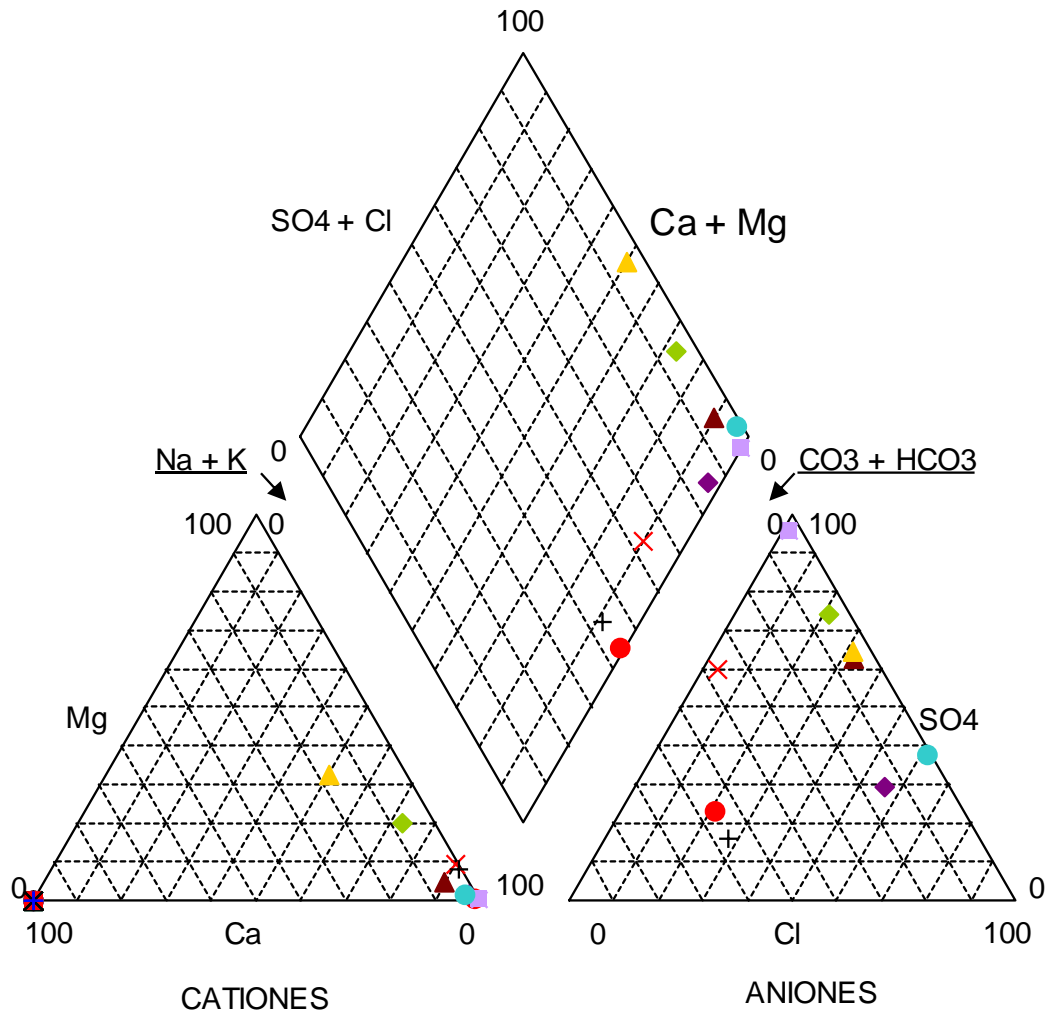
## ZONA 2 (A)



● M-17   ◆ M-18   ▲ M-19   ■ M-20   × M-21   + M-22   ● M-23   ◆ M-24   ▲ M-25   ■ M-26

# DIAGRAMA DE PIPER

## ZONA 2 (A)

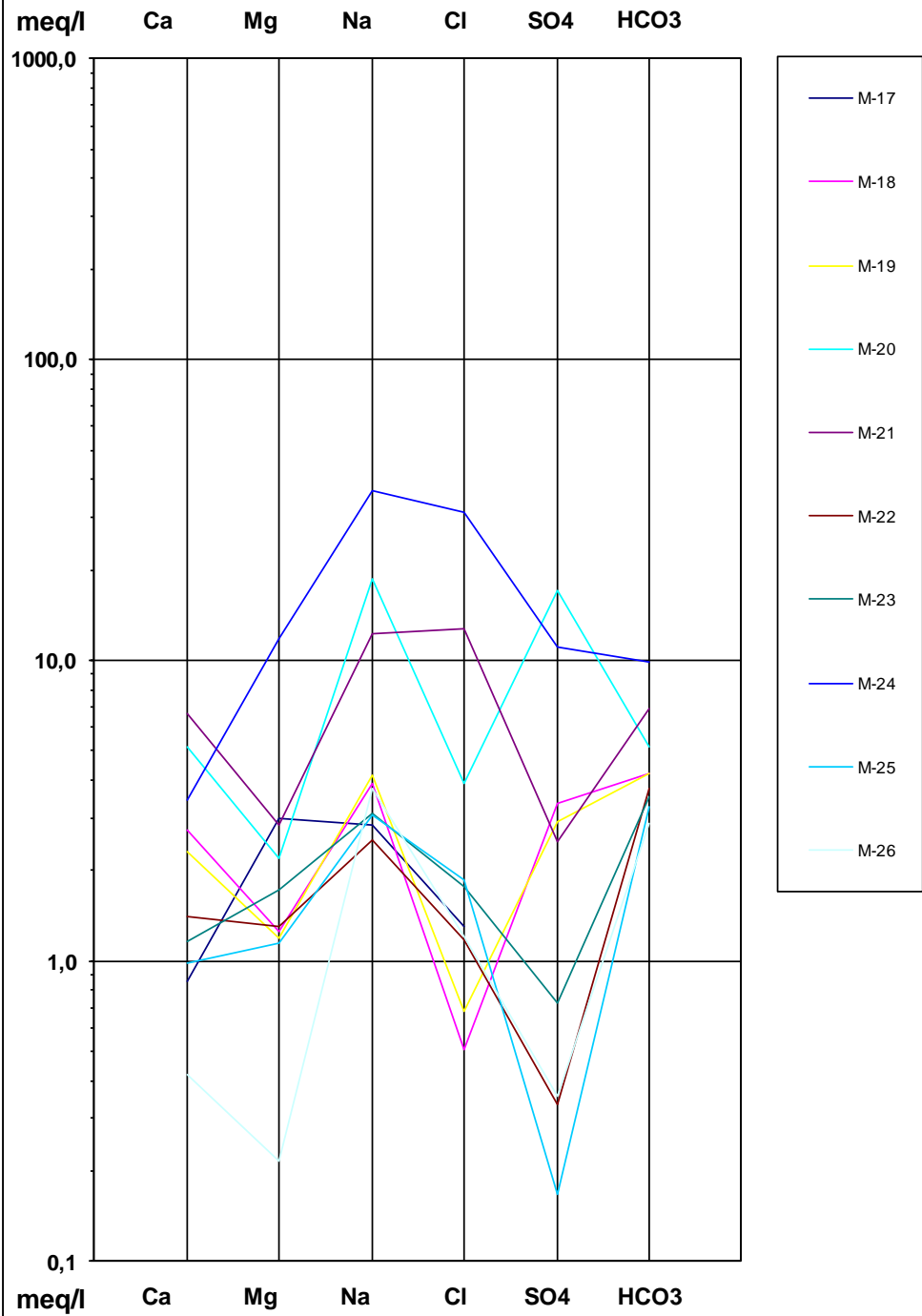


● M-27    ◆ M-28    ▲ M-29    ■ M-30    × M-31    + M-32    ● M-33    ◆ M-34    ▲ M-35

Diagrama de Piper para la zona 2A. Se muestra una concentración de los resultados en el centro y a la derecha del rombo clasificatorio.

**DIAGRAMA DE SCHOELLER-BERKALOFF**

**ZONA 2 (A)**



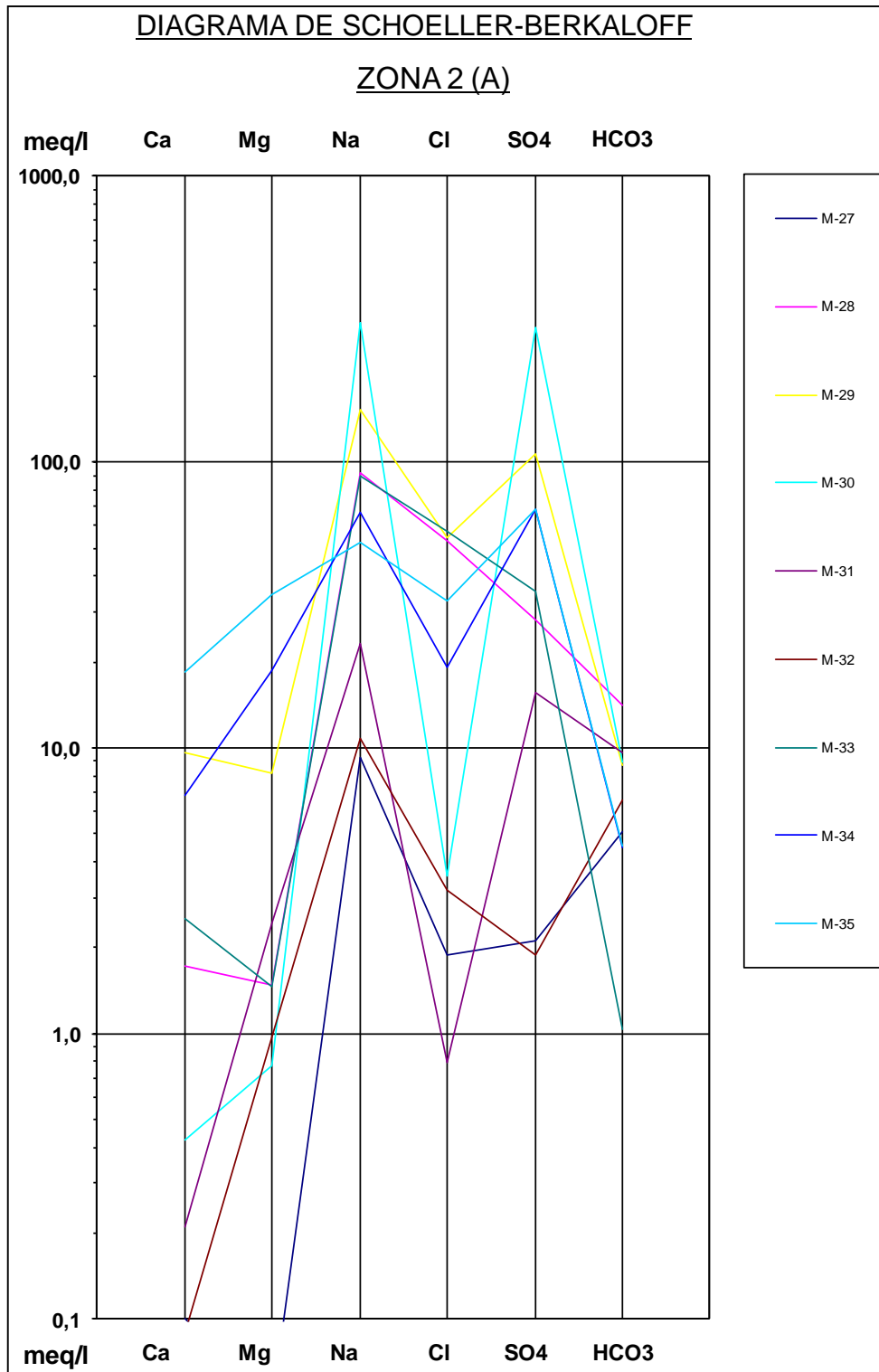
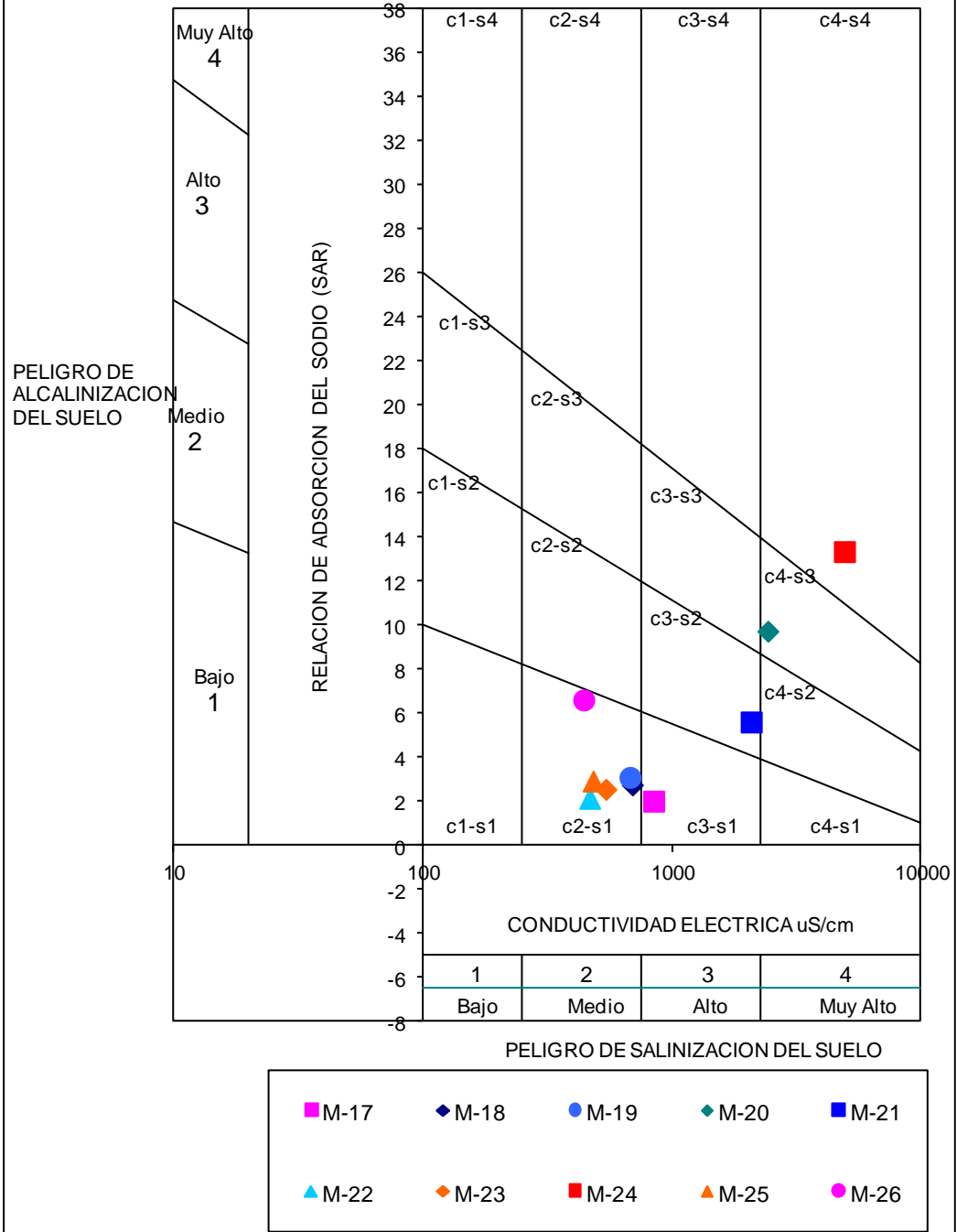


Diagrama Schoeller Berkaloff para la zona 2A. Se observa una amplia dispersión, pero con valores altos en sodio y sulfato marcando una tendencia específica.

# CLASIFICACION DE LAS AGUAS PARA RIEGO

## ZONA 2 (A)





# CLASIFICACION DE LAS AGUAS PARA RIEGO

## ZONA 2 (A)

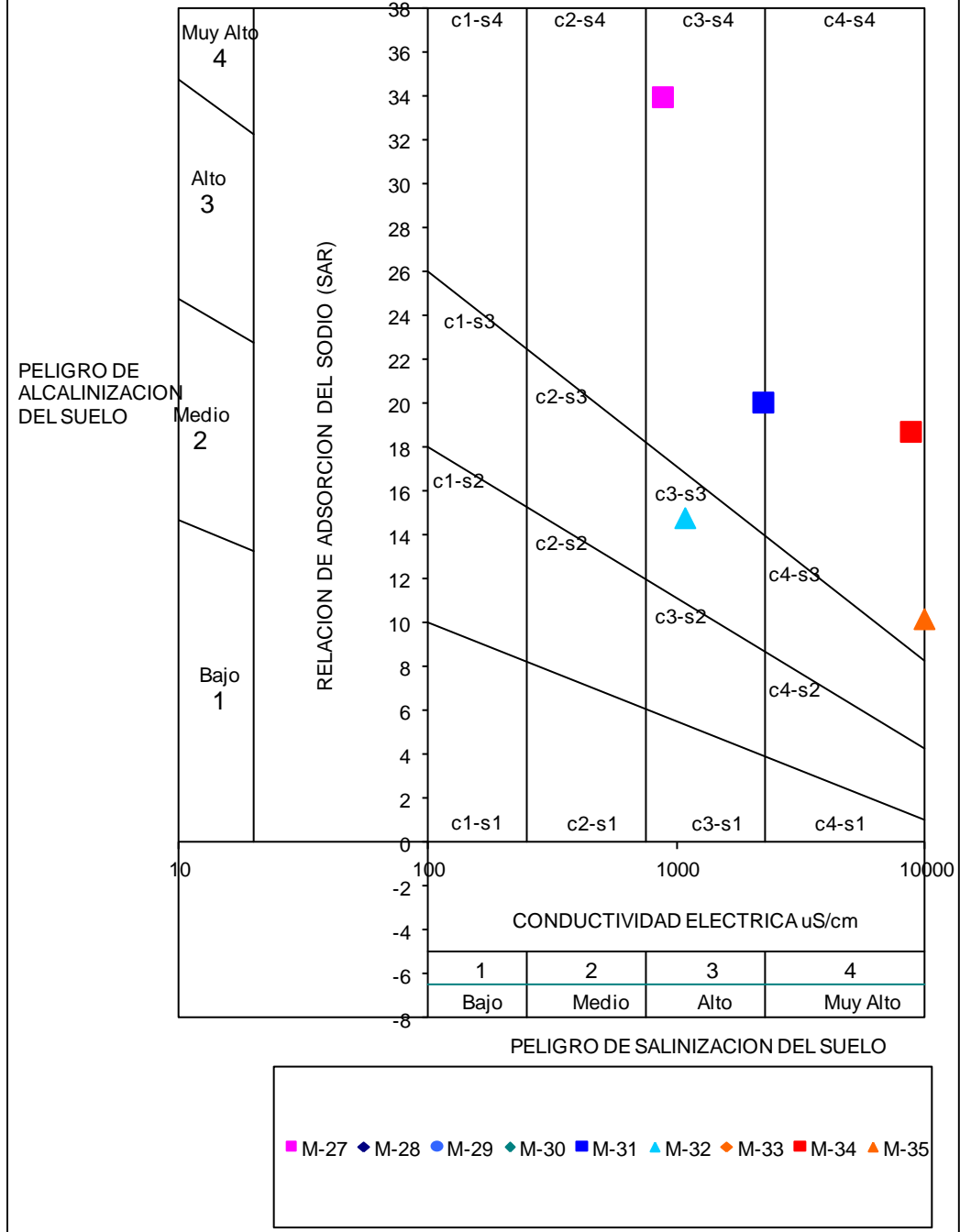
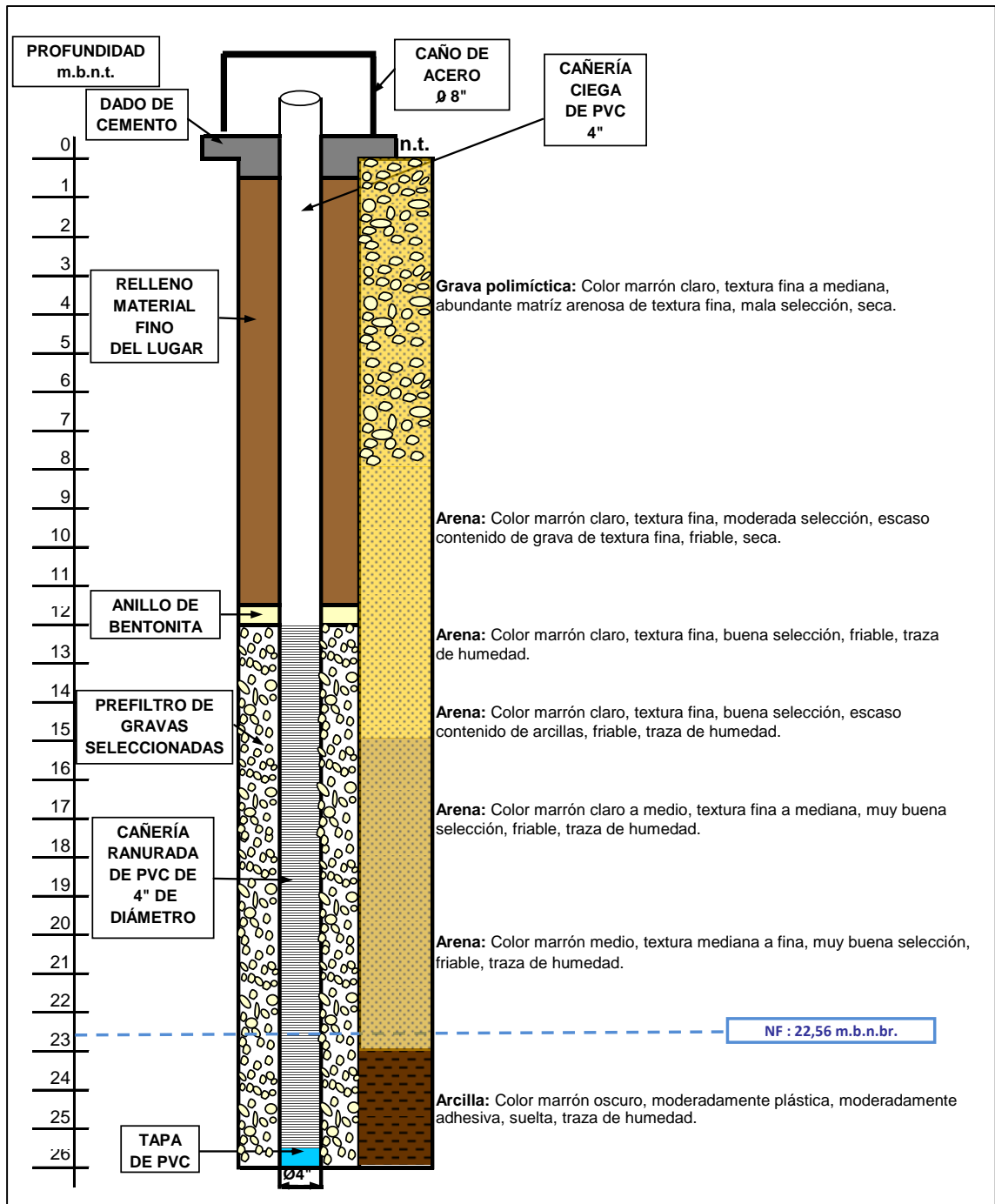


Gráfico de clasificación de aguas para riego para la zona 2A. Se observa a la mayoría de las muestras concentradas en el campo C2-S1.

## ZONA 2B:

ZONA 2b							
MUESTRA	NIVEL (mbbb)	FONDO	COTA	COND	TSD	HIDROQUÍMICA	SAR
M-36	18,62	23,17	496	2004	1263,4	CLORURADA SODICA	C3S3
M-37	25,18	36,07	508	1340	567,8	BICARBONATADA SULFATADA SODICA	C324
M-38	17,11	22,53	492	1820	1412,6	SULFATADA BICARBONATADA SODICA	C3S4
M-39	18,07	22,89	471	5280	2808,4	SULFATADA CLORURADA SODICA	C4S4

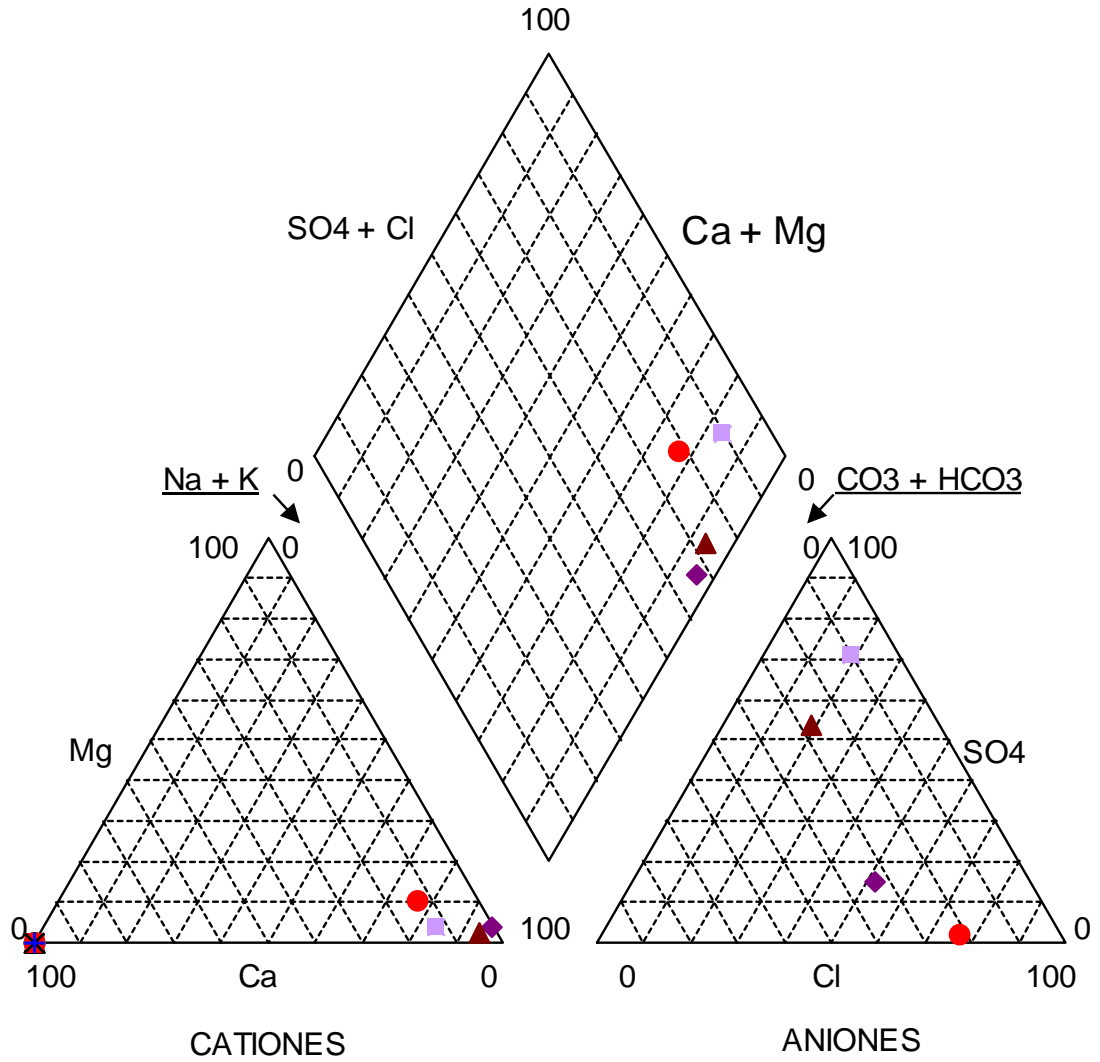
- Esta zona corresponde al faldeo Occidental de la meseta Pampa Castillo; se caracteriza por una pendiente con escasos y poco desarrollados cañadones que presentan un sentido de escurrimiento hacia el noroeste. Al igual que el faldeo Oriental, en épocas de lluvia se generan cauces efímeros e intermitentes, que desaparecen por evaporación y/o infiltración. Sobre el faldeo, se han analizado 4 freáticos de referencia. El comportamiento es asimilable a una zona de transición.
- La columna litológica en general está constituida por unos 10 metros de gravas, continuadas por unos 15 metros de arenas, y finalizando con arcillas.
- El nivel estático en los mismos es bastante similar, quedando comprendido entre 17 y 19 metros a excepción del freático M-37, cuyo nivel se encuentra a 25,18 metros, este nivel es esperable dado que se encuentra a una cota mayor que el resto.
- Las conductividades, son muy parecidas quedando comprendidas entre 1340 y 2004 uS/cm, a excepción de la muestra M-39 cuyo valor es de 5280 uS/cm.
- La tendencia hidroquímica se ajusta a los resultados esperados en una zona de transición, presentando una importante proporción de sulfatos.
- Con respecto al uso del agua para riego las muestras presentan una elevada a excesiva salinidad y contenido en sodio, por lo tanto no se consideran aptas para riego en general.



Perfil litológico característico de la Zona 2B, correspondiente al frentómetro denominado M-37. Puede apreciarse además el diseño constructivo del frentómetro.

# DIAGRAMA DE PIPER

## ZONA 2 (B)



● M-36

◆ M-37

▲ M-38

■ M-39

Diagrama de Piper para la zona 2B. Se muestra una concentración de los resultados a la derecha del rombo clasificatorio.

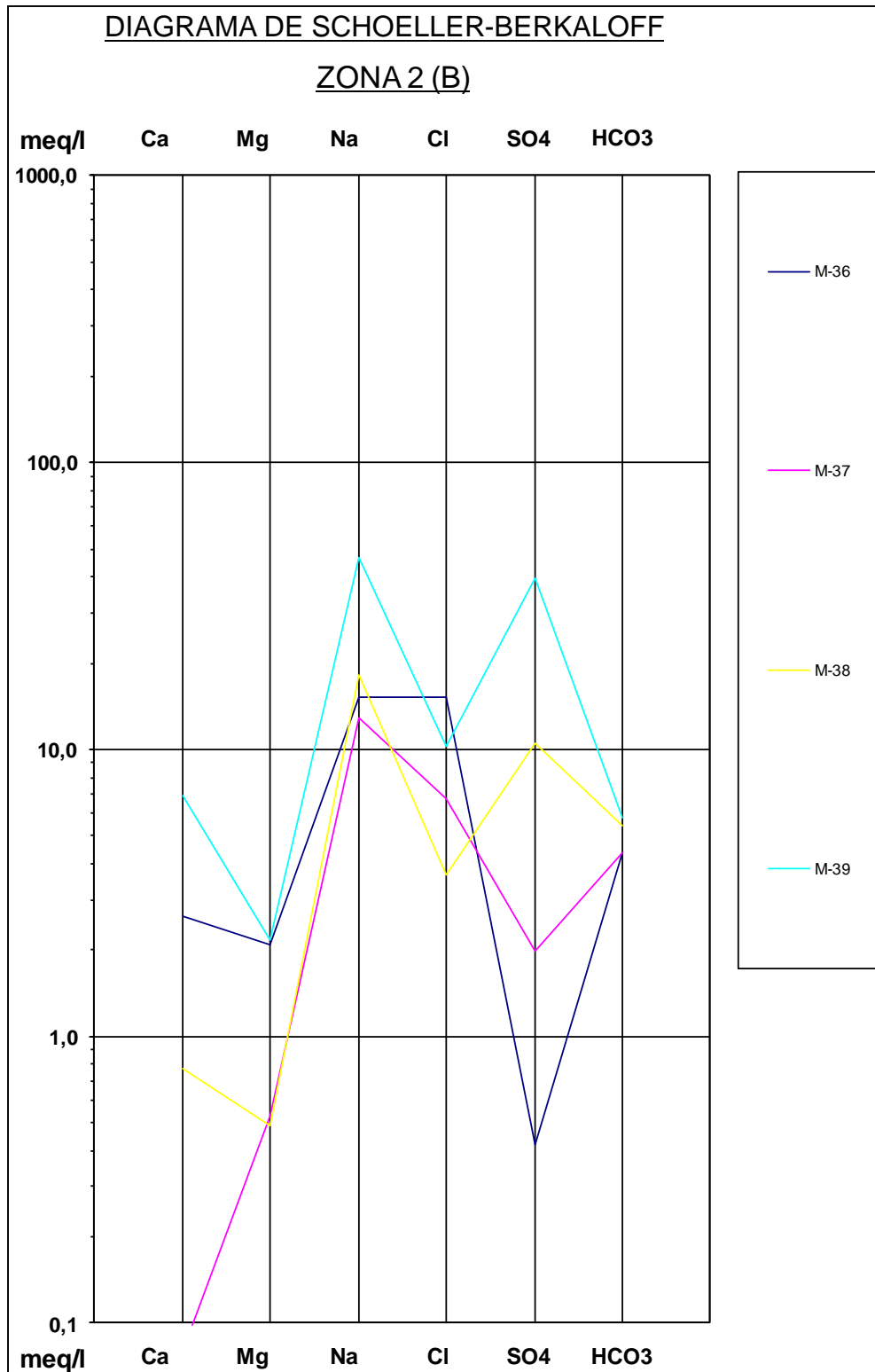


Diagrama Schoeller Berkaloff para la zona 2B. Se observan valores altos de sodio y disparidad en los sulfatos.

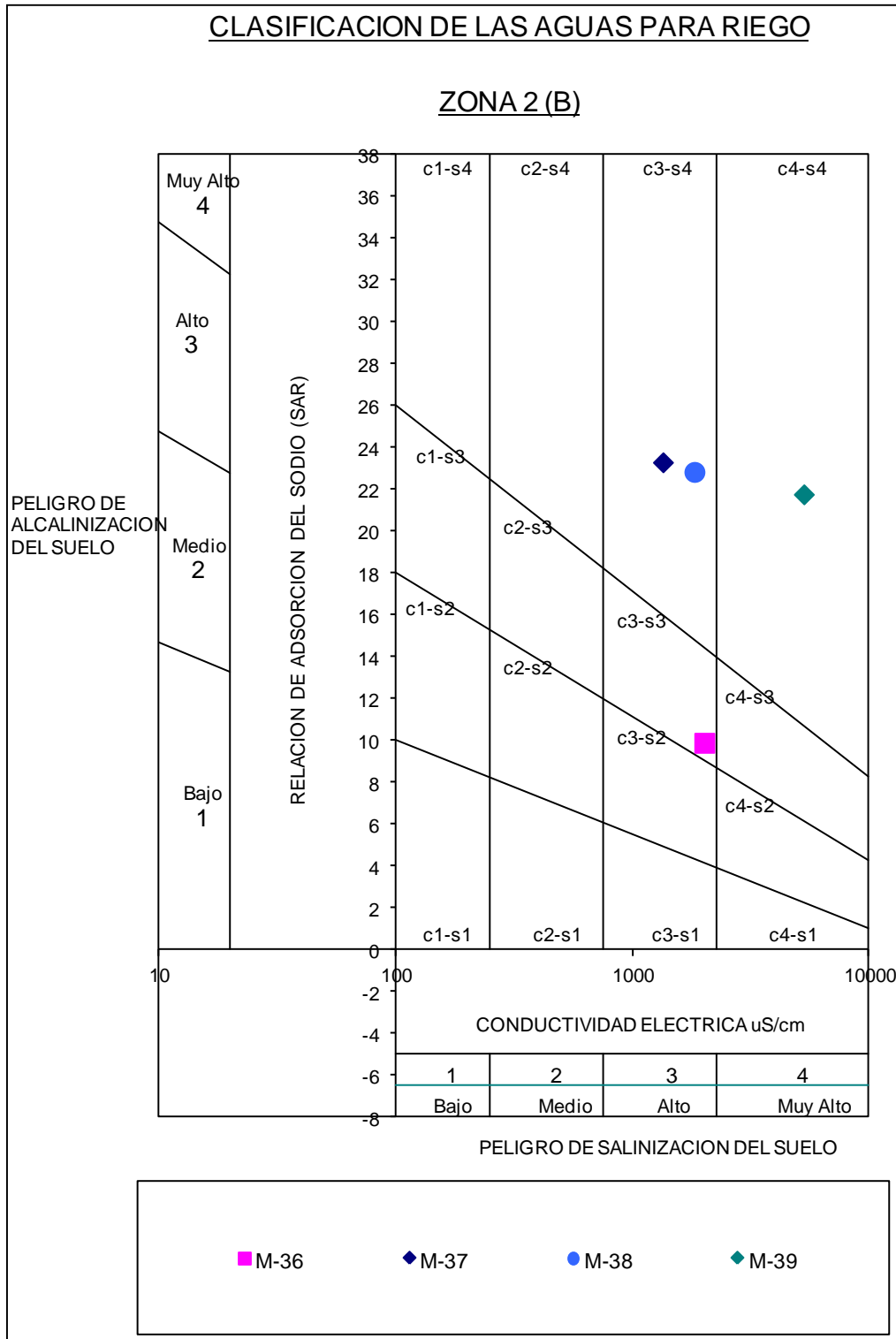


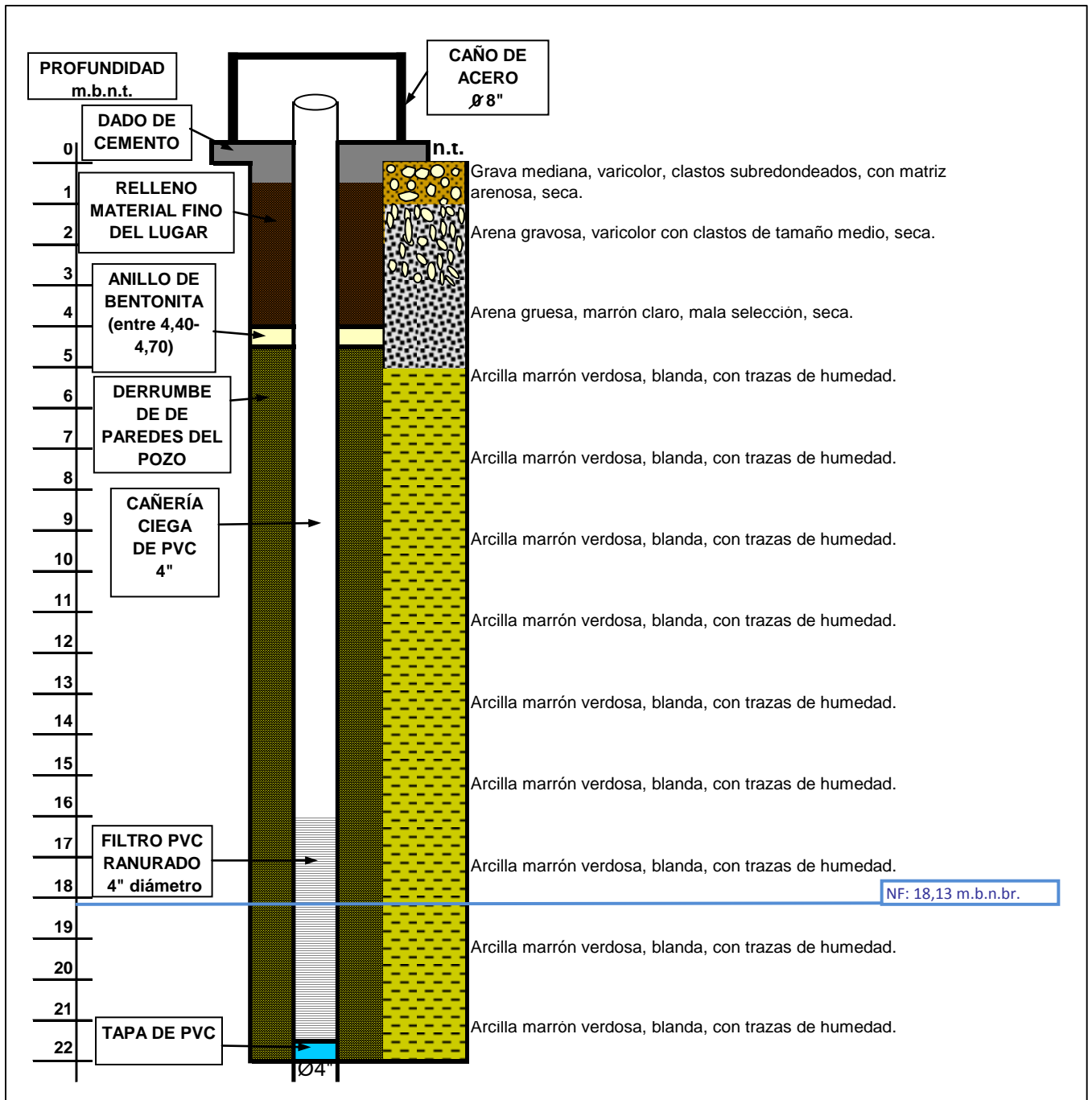
Gráfico de clasificación de aguas para riego para la zona 2B. Se observa la mayoría de las muestras con altos valores de salinidad.



### ZONA 3:

ZONA 3							
MUESTRA	NIVEL (mbbb)	FONDO	COTA	COND	TSD	HIDROQUÍMICA	SAR
M-40	9,9	23,7	53	50330	31554,7	CLORURADA SÓDICA	-----
M-41	17,53	36,09	38	15340	9741,1	CLORURADA SULFATADA SODICA	-----
M-42	16,61	20,3	17	35655	21633	CLORURADA SODICA	-----
M-43	8,25	24,04	9	35320	22682,6	CLORURADA SULFATADA SODICA	-----
M-44	17,13	18,03	113	13675	10086,6	SULFATADA SODICA	-----

- En esta zona desembocan los cañadones, y se observan acantilados adyacentes a la playa, que se van labrando con el oleaje en las sucesivas mareas altas. Los Freatímetros se asientan sobre Formación Sarmiento; que se caracteriza en este sector por ser bastante plana, subhorizontal a horizontal.
- La columna litológica muestra una predominancia de arcillas, aunque siguen apareciendo en algunos sectores algo de gravas y arenas, en los metros superficiales.
- El nivel estático en las muestras varía de 8,25 a 17,53 metros.
- Las conductividades, son muy elevadas, alcanzando los 50330 uS/cm, tal como se espera que sean en esta zona distal al área de recarga.
- La tendencia hidroquímica en todas las muestras también se ajusta a los resultados esperados, presentando una predominancia de Cloruros.
- Con respecto al uso del agua para riego las muestras presentan una excesiva salinidad y contenido en sodio, por lo tanto no se pueden representar en el gráfico y no se consideran aptas para riego en general.



Perfil litológico característico de la Zona 3, correspondiente al freático denominado M-43. Puede apreciarse además el diseño constructivo del freático.

# DIAGRAMA DE PIPER

## ZONA 3

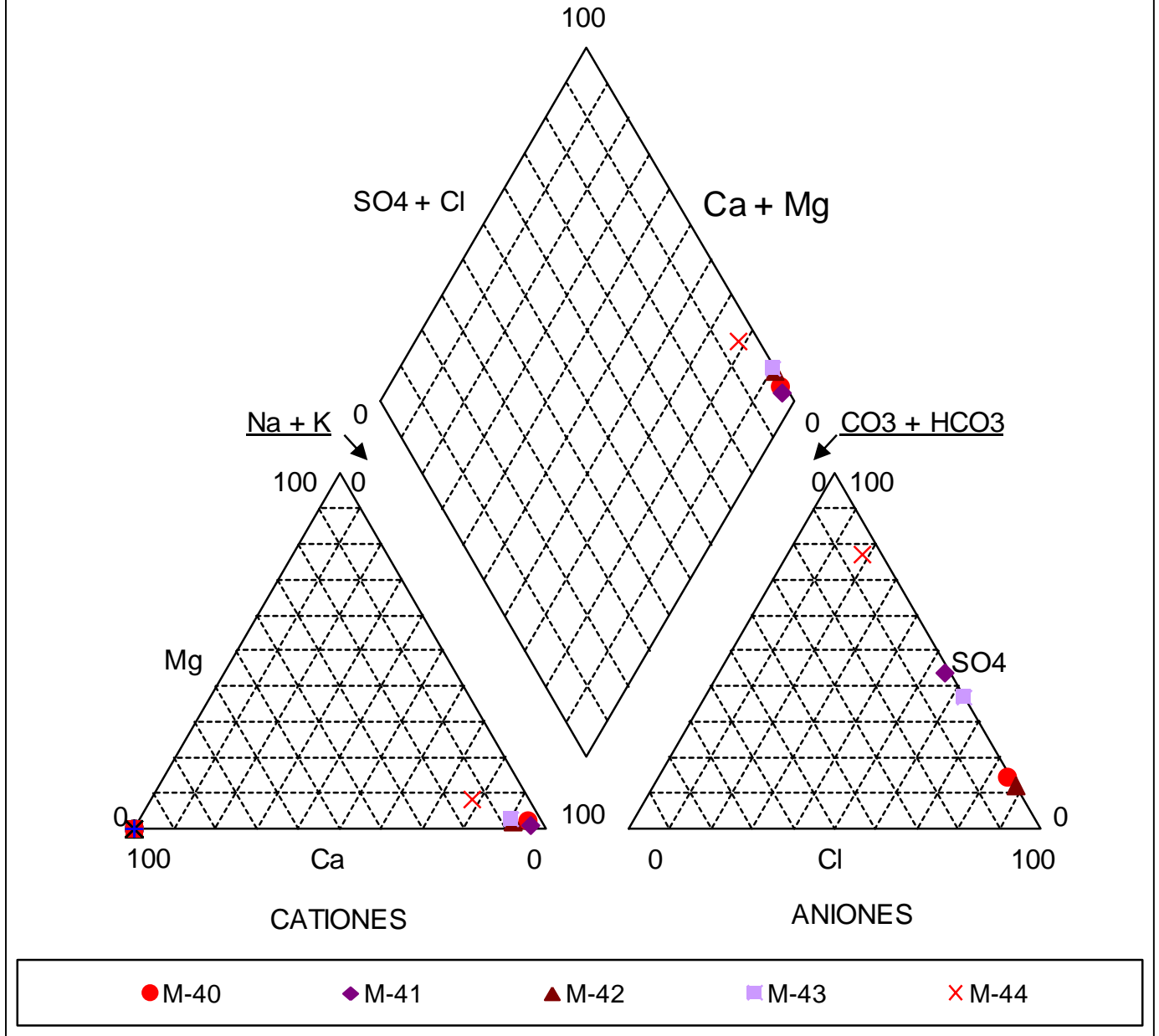


Diagrama de Piper para la zona 3. Se muestra una concentración de los resultados a la derecha del rombo clasificatorio.

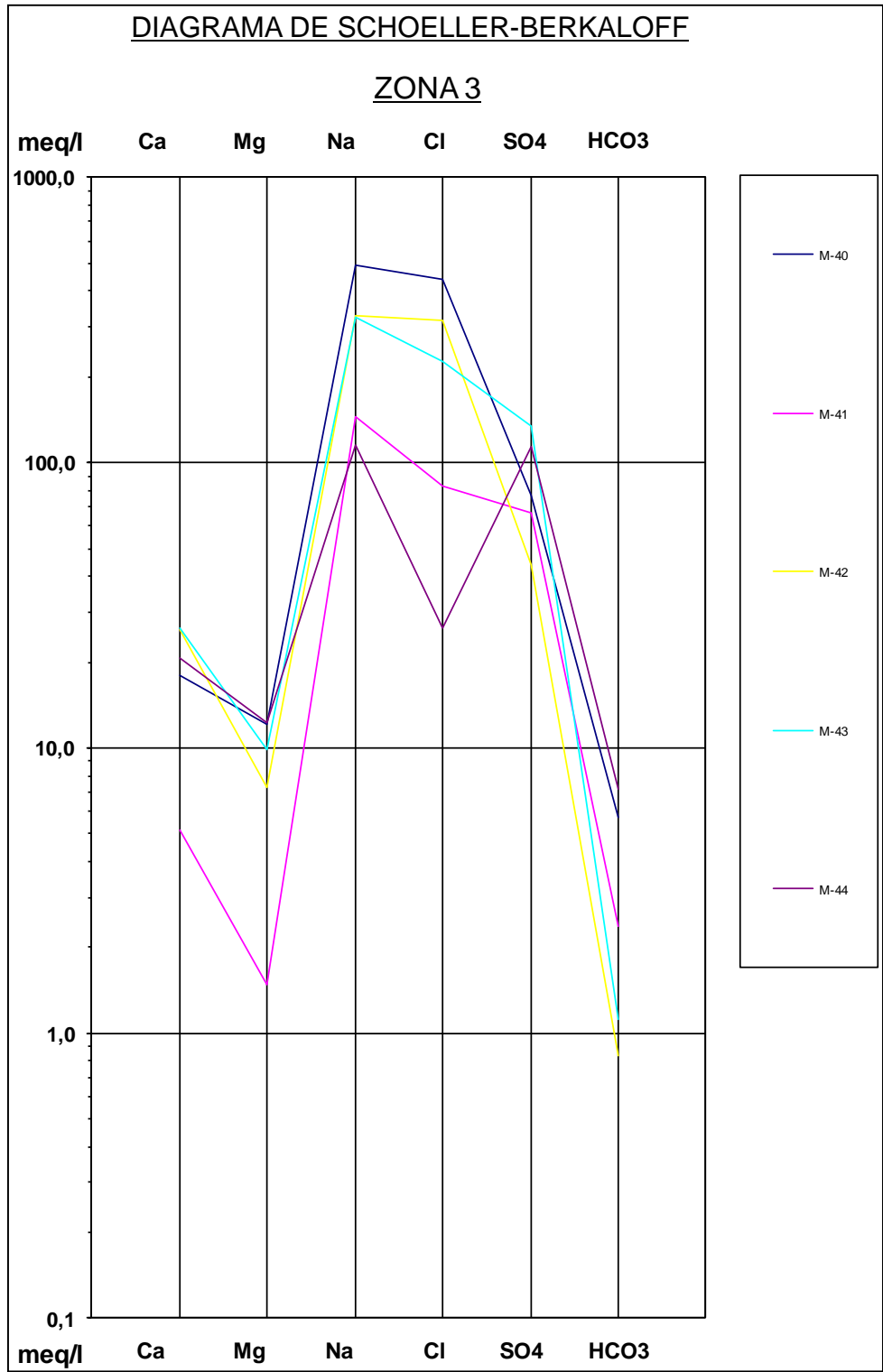


Diagrama Schoeller Berkaloff para la zona 3. Se observan valores altos de sodio, cloruros y sulfatos.

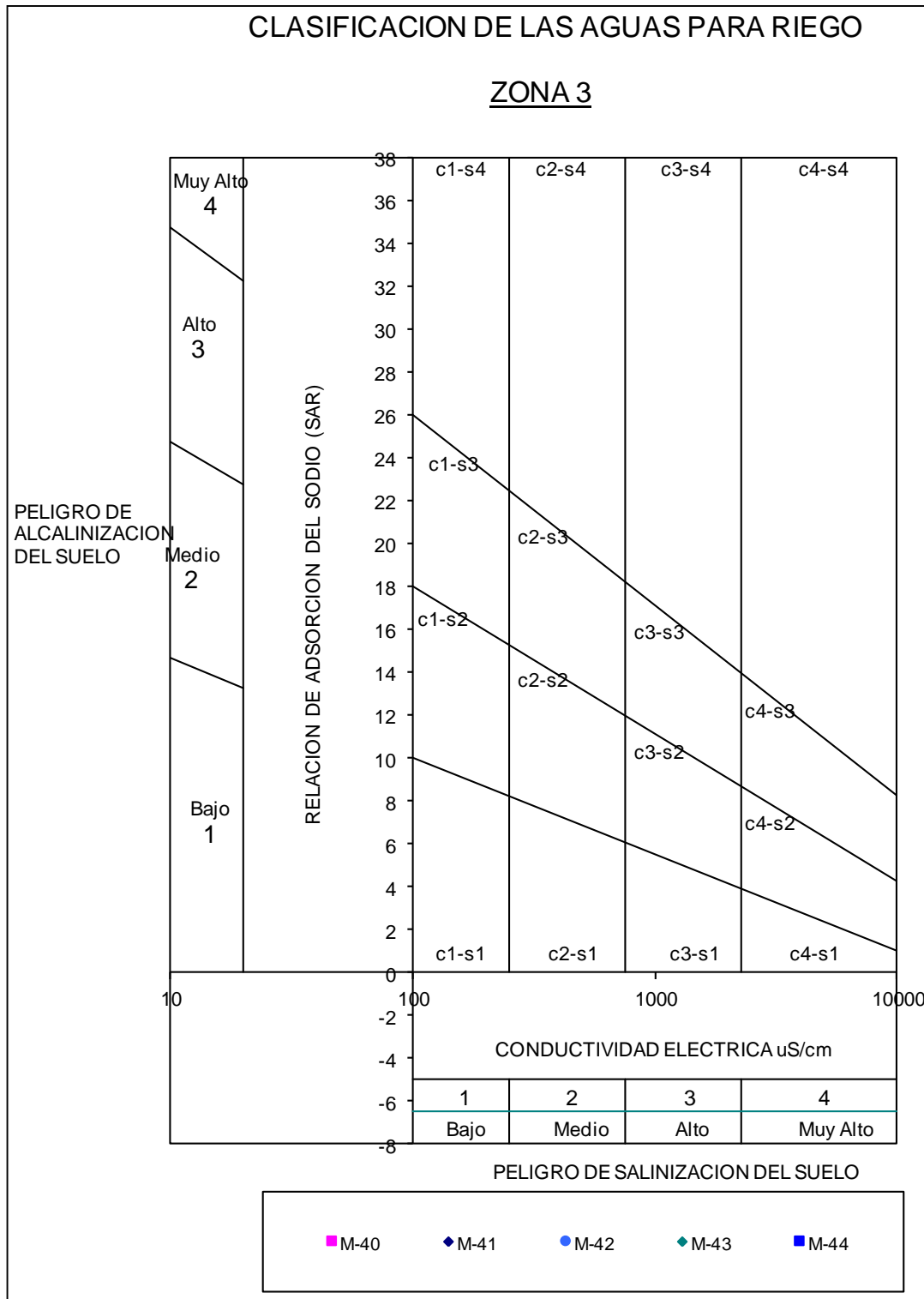


Gráfico de clasificación de aguas para riego para la zona 3. Se observa que los valores de las muestras exceden los límites del gráfico.

## 8. CONCLUSIONES

El análisis de la información permitió establecer la presencia de 4 zonas con características hidrogeoquímicas particulares. La mayoría de las muestras responden al comportamiento evolutivo esperado del acuífero superficial, a excepción de algunas muestras afectadas por eventos puntuales.

La profundidad de los niveles freáticos, el sentido estimado de flujo y el uso para aguas de riego, también son coherentes con el quimismo de las aguas.

- Zona 1: Con respecto a la tendencia hidroquímica se observa que las muestras M-2, M-4, M-8 y M-10, se ajustan a un resultado esperado, siendo bicarbonatadas predominantemente, pudiendo interpretarse como características de la zona de recarga identificada. En cambio las muestras M-6, M-7 y M-10, son predominantemente cloruradas. Esta tendencia puede explicarse considerando que las aguas bicarbonatadas de recarga directa (Precipitaciones, nieve), se mezclan con aguas de purga.

Con respecto al uso del agua para riego las muestras M-2, M-8 y M-10 presentan una salinidad media y bajo contenido en sodio correspondiéndose con aguas aptas para riego en la mayoría de los cultivos. Las muestras M-1, M-4, M-6 y M-11, si bien presentan bajo, contenido en sodio, la salinidad es alta, no siendo aconsejable para riego en general.

- Zona 2A: La tendencia hidroquímica esperable en una zona de transición es de bicarbonatada a sulfatada y sulfatada a clorurada como es el caso de las muestras M-20, M-21, M-24, M-28, M-29, M-30, M-31, M-33, Sin embargo un gran número de muestras M-17, M-18, M-19, M-22, M-23, M-25, M-26, M-27, M-32, se clasifican como bicarbonatadas. Esta disparidad podría explicarse a partir de flujos locales, que tienen lugar cuando las aguas de recarga que se infiltran, tienen un corto recorrido a través del acuífero, manifestándose como manantiales, mallines, o cuerpos de agua locales.

Las muestras M-19, M-22, M-23, M-25 y M-26, presentan una salinidad moderada y bajo contenido en sodio, aptas para riego en general y cultivos que no sean muy sensibles a la salinidad y al sodio. En contraposición, el resto de las muestras presentan una elevada a excesiva salinidad y contenido en sodio, por lo tanto sería conveniente que no se utilicen para fines de riego.

- Zona 2B: La tendencia hidroquímica se ajusta a los resultados esperados en una zona de transición, presentando una importante proporción de sulfatos.

Con respecto al uso del agua para riego las muestras presentan una elevada a excesiva salinidad y contenido en sodio, por lo tanto no se consideran aptas para riego en general.

- Zona 3: Las conductividades, son muy elevadas, alcanzando los 50330 uS/cm, tal como se espera que sean en esta zona distal al área de recarga.

La tendencia hidroquímica en todas las muestras también se ajusta a los resultados esperados, presentando una predominancia de Cloruros.

Con respecto al uso del agua para riego las muestras presentan una excesiva salinidad y contenido en sodio, por lo tanto no se pueden representar en el gráfico y no se consideran aptas para riego en general.

En general, las zonas definidas se corresponden con un tipo de flujo presente en el modelo de circulación regional, (desde la zona de recarga a la zona de descarga), con variaciones locales producto de mezclas con aguas de diferente salinidad y flujos de corta circulación.

## 9. BIBLIOGRAFÍA

J. Sciutto, O. Cesari. Hoja Geológica 4569-IV Escalante, Chubut. Escala 1:250.000. Edición 2005.

J. Sciutto, O. Cesari. Hoja Geológica 4566-III Comodoro Rivadavia. Escala 1:250.000.

M. Griznik, E. Castrillo Amoroso. Contribución al conocimiento Geohidrológico de los alrededores de Comodoro Rivadavia, Chubut. IX Congreso Geológico Argentino, Bariloche 1984.

Comisión docente Curso Internacional de Hidrología Subterránea. Hidrogeología: Conceptos Básicos de Hidrología Subterránea. Barcelona, España. Edición 2009.

Programa Surfer 10.

Programa Global Mapper 10.

Programa Google Earth.

Programa Easy Quim, actualización año 2001.