



## Aplicación de la tomografía eléctrica en la determinación del hidroapoyo de un mallín

### INDICE

Resumen	2
Introducción	3
Metodología	6
Resultados	11
Discusión	19
Conclusiones	21
Bibliografía	22
Anexos	24



## Aplicación de la tomografía eléctrica en la determinación del hidroapoyo de un mallín

### RESUMEN

En Patagonia, Argentina, la presencia de mallines en el campo incrementa su valor considerando el potencial forrajero, caracterizarlos permitirá optimizar su uso.

El alcance de este trabajo consistió en obtener un método de trabajo alternativo en mallines para determinar la profundidad freática y el hidroapoyo, sin la necesidad de perturbarlos con calicatas aumentando su susceptibilidad a degradarse.

En una transecta perpendicular al cauce medio se utilizó el método de Tomografía Eléctrica para obtener una imagen resistiva, la cual fue controlada con freatímetros. Al construirlos se determinó estratigrafía, nivel freático e hidroapoyo. Al estabilizarse se midió conductividad, pH y temperatura.

### SUMMARY

In Patagonia, Argentina, the presence of meadows in a field increases its value considering the forage potential, characterizing it will improve its use.

The scope of this work was to obtain an alternative work method in which the water table depth data and the base level data can be known without the need to disturb the wetland with pits and not to increase the degradation.

In a perpendicular transect from the central channel of the wetland, the electrical tomography method was used to obtain a profile.

Control wells were built to determine the stratigraphy, and the water table depth base level. Conductivity measurements, pH and temperature were performed.



## Aplicación de la tomografía eléctrica en la determinación del hidroapoyo de un mallín

### INTRODUCCION

Mallín es definido por diversos autores, según lengua mapuche tierra pantanosa, bañado o estero (Erize 1960), Casamiquela, 1987 postula que deriva del vocablo araucano malliñ , en algunos sectores de Santa Cruz y Tierra del Fuego se utiliza para definirlos el término español "vega" (López y Bran, 1997). En los diccionarios enciclopédicos enunciados como parte de tierra baja, llana y fértil, terreno muy húmedo. Estos ambientes húmedos pueden incluirse entre los definidos como "humedales" o wetlands según la bibliografía internacional (Mitsch y Gosselink, 1996). Según el objeto de estudio estas definiciones pueden ampliarse y ajustarse.

Es el cuerpo sedimentario (a veces de algunos metros de espesor) que rellena los cañadones patagónicos de génesis postglacial o actual cubierto por un suelo húmico, propicio para el crecimiento de una asociación vegetal típica (Del Valle, 1993). Su localización indica la presencia de sedimentos con formación de suelos mal drenados (Douchaufour, 1975) por la presencia de una napa de agua cercana a la superficie en forma continua o temporal.

La potencialidad forrajera de un campo ganadero patagónico, está determinada por la superficie ocupada por mallines (Cassola, 1988) utilizados con sistemas intensivos de pastoreo, optimizando su uso como reservas forrajeras en épocas desfavorables del año (Paz y Buffoni, 1986; Solmo y Siffredi, 1993).

Tienen una producción de pastos 20 a 30 veces superior a la meseta árida. Estas pequeñas áreas son estratégicas para el desarrollo zonal pues hacen rentables inversiones productivas; sin embargo, por su misma productividad, están sujetas a la sobrecarga animal, degradación del ecosistema (Oesterheld y Sala, 1984) y consecuentemente erosión del cauce central, afectando la dinámica hídrica del mallín. (Horne, 2010)

Desde el punto de vista agronómico, son ambientes de relieve normal a ligeramente cóncavo, en los que el agua de escurrimiento y el dificultoso drenaje interno, producen condiciones de suelo y vegetación más favorables que la estepa que los rodea, con forraje abundante y de buena calidad. (Marcolin, *et al*, 1978; Cassola, *op cit.*).

Los mallines, al igual que las turberas, son formaciones netamente diferenciadas de las áreas circundantes por su tipo de suelo altamente orgánico, en cuencas con alto contenido hídrico y flora característica (Raffaele 1993). En Patagonia, los mallines son ambientes típicos, de alta productividad de especies palatables para el ganado vacuno y ovino y, por lo



#### Aplicación de la tomografía eléctrica en la determinación del hidroapoyo de un mallín

tanto, son de alto interés económico en la región. Se localizan a lo largo de todo el gradiente ambiental Oeste-Este, desde la cordillera de los Andes (2000 mm de precipitación) hasta la estepa (300 mm de precipitación).

Geográficamente, se extienden, en nuestro país, desde Tierra del Fuego hasta Mendoza, y desde la Cordillera de los Andes hasta el Océano Atlántico, ocupando una superficie de 4.000.000 de has, lo que equivale al 4% de la Patagonia (Horne, *et al*, 1998), distribuidas en las áreas ecológicas: Cordillera, Precordillera, Sierras y Mesetas, Región del Golfo, Estepa magallánica (Bran, 1992).

Desde el punto de vista hidrológico, los mallines se asocian a zonas de concentración de humedad en el suelo, con napa freática alimentada por la precipitación directa más el escurrimiento superficial, subsuperficial y subterráneo, provenientes de vastas áreas colindantes (Mazzoni 1984) y pertenecientes o no a la misma cuenca.

La distribución espacial de estos pequeños ecosistemas de pastizales húmedos se halla asociada con afloramientos de agua subterránea como también con sectores bajos del terreno donde la napa freática se encuentra cerca de la superficie del suelo o el agua pluvial se concentra estacionalmente. Este aporte diferencial de humedad permite el crecimiento de una densa cobertura de pastos hidrófitos (juncos) y gramíneas que crecen sobre suelos afectados por un grado variable de hidromorfismo (Mazzoni, 1987a).

El aporte hídrico, cualquiera sea su origen, se almacena en el acuífero libre, cuyo nivel freático fluctúa estacionalmente en función del balance entre entradas y salidas de agua al mallín, desde la freática, se produce un flujo de agua ascendente (Horne, 2010).

Marcolín (com. pers. 1992) propone una definición exclusivamente hidrológica: “ecosistema natural con características hidromórficas más o menos acentuadas debidas al escurrimiento superficial y subsuperficial del agua de lluvia y al aporte de acuíferos, por recarga ascensional y lateral”.

Si el balance hídrico es favorable las sales (si existieran) son lavadas quedando el suelo desprovisto de ellas. En caso contrario, las sales se acumulan determinando condiciones edáficas de salinidad y/o alcalinidad.

La tomografía eléctrica es una técnica geofísica para el estudio del subsuelo que consiste en determinar la distribución de un parámetro físico característico del mismo dentro de un ámbito espacial limitado, a partir de un número muy elevado de medidas realizadas desde la superficie del terreno o desde perforaciones.



### Aplicación de la tomografía eléctrica en la determinación del hidroapoyo de un mallín

Esta última tiene por objetivo específico determinar la distribución real de la resistividad del subsuelo a partir de los valores de resistividad aparente obtenidos mediante mediciones realizadas por métodos convencionales de corriente continua.

La medición de la diferencia de potencial eléctrico en la vecindad del flujo de corriente así como también la corriente inyectada, hace posible determinar la resistividad aparente del subsuelo (Telford, *et al.*, 1990). La resistividad eléctrica propia del terreno se relaciona con varios parámetros tales como la naturaleza y arreglo de los constituyentes sólidos del suelo, el contenido de agua y su composición y la temperatura (Loke, 2004; Samouëlian, *et al.*, 2005) y puede ser considerada como una forma de acceder al conocimiento de la variabilidad de las propiedades físicas del mismo.

El uso de la tomografía eléctrica es una herramienta importante en la caracterización del suelo y procesos de infiltración y/o contaminación. Su desarrollo constante a través de la mejora de los equipos para la obtención de los datos, así como de los programas de inversión para la interpretación, hace que su utilización sea cada vez más frecuente en el estudio de suelos y acuíferos. (Weinzettel, P., *et al.*, 2009).

Schlumberger y Wenner poseen una tendencia a adquirir datos menos ruidosos que dipolo-dipolo, el cual requiere de un muy buen contacto entre los electrodos y el suelo. Los dispositivos Wenner y Schlumberger muestran similares resultados en lo que concierne a la resolución vertical de los horizontes del suelo (Weinzettel, P., *et al.*, 2009).

El objeto del presente trabajo es determinar en primera instancia el nivel freático e hidroapoyo de un perfil transversal al cauce principal de un mallín, mediante una técnica geofísica indirecta denominada tomografía eléctrica. Los datos e imágenes generados con este método serán comparados con la descripción del cutting, obtenido de la construcción de freatómetros de control, y los niveles freáticos medidos.



## Aplicación de la tomografía eléctrica en la determinación del hidroapoyo de un mallín

### **METODOLOGIA**

Se seleccionó un mallín, en área petrolera denominada yacimiento “El Tordillo”, sobre la ruta provincial N° 54 a 30km de la ruta provincial N° 26, este camino conduce hacia la estación Holdich ubicada en la ruta provincial N° 37. El campo en el cual se encuentra ubicado este mallín es propiedad del ingeniero Ezequiel Pires.

Mediante un trabajo de gabinete, que consistió en el estudio de imágenes satelitales, se definió el sitio más apropiado para la realización de la tomografía y los freáticos de control.

Los criterios de elección del lugar fueron los siguientes:

- Buena definición de sus partes constitutivas
- Ubicación media
- Poseer un cauce central con presencia de agua
- No presentar alteraciones antrópicas significativas
- No estar naturalmente salinizado
- Tener fácil acceso
- Tener un ancho promedio respecto a toda la superficie del mallín

Una vez seleccionado el sitio se concurrió al campo para realizar las labores ya mencionadas.

Valiéndose de un GPS convencional se determinó la ubicación geoespacial de los puntos de inicio y final del perfil.

Coordenadas Geográficas – WGS 84		
	Inicio	Final
Latitud(S)	45°53'09,5"	45°53'12,6"
Longitud(W)	68°03'03"	68°03'02,9"

Tabla 1- Ubicación geográfica del sitio de estudio

El inicio y el final de la sección transversal se fijaron en el sector adyacente fuera de los límites del mallín, a fin de observar en la imagen resistiva el contraste con los laterales del



Aplicación de la tomografía eléctrica en la determinación del hidroapoyo de un mallín mismo. Estos puntos se determinaron considerando los límites laterales del mallín, ambos reconocibles por los cambios de vegetación y de relieve.

Utilizando un nivel óptico, una regla graduada y una cinta métrica se obtuvieron los datos para trazar el perfil topográfico.

Para la obtención de datos para la realización de una imagen resistiva se realizaron las siguientes tareas:

- Se hincaron en el terreno de 441 electrodos de acero de 30 cm de largo a lo largo de todo el perfil, el espaciamiento entre ellos fue de 25 cm.
- Se humedeció el suelo con una solución salina al 10% en los sectores laterales secos, a fin de mejorar el contacto entre el electrodo y el mismo.
- Se realizó la medición con un resistivímetro marca Metrel, el cual solamente está configurado para medir el dispositivo tetraelectródico Wenner.

En estos dispositivos la profundidad del dato está directamente relacionada al distanciamiento entre electrodos, como en el ejemplo:

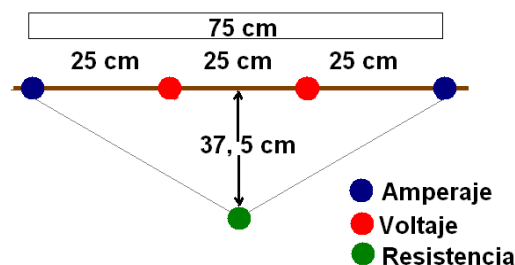


Figura 1- Distanciamiento de electrodos y profundidad de medición

En este caso se observan cuatro electrodos (rojos y azules) siendo su distancia máxima 75 cm. El punto en el cual se está midiendo la resistividad se encuentra a la mitad del arreglo a una profundidad teórica igual al distanciamiento máximo dividido dos (37,5 cm).

- Al contar con 441 electrodos alineados en forma transversal al cauce central del mallín se puede obtener la resistividad 437 puntos a 37,5 cm de profundidad, si solamente se hubiese realizado esta medición se habría obtenido una calicata eléctrica.



### Aplicación de la tomografía eléctrica en la determinación del hidroapoyo de un mallín

- Se realizaron en total ocho calicatas en los siguientes niveles: 0,375m- 0,75m- 1,125m-1,50m-1,875m-2,25m-2,625-3m, donde los valores de “a” fueron: 25cm-50cm-75cm-100cm-125cm-150cm-175cm-200cm.

La combinación de todas las calicatas eléctricas superpuestas generó un Tomograma, imagen conocida como Tomografía Eléctrica.

Esta imagen que se obtuvo de la lectura global de los datos procesados, nos permitió observar a través de la respuesta de los materiales del suelo la resistividad del mismo, en diferentes posiciones y profundidades del perfil.

Se denominaron niveles 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 y 8 a las profundidades alcanzadas producto de la separación interna del dispositivo tetraelectródico.

En la siguiente tabla se indican para cada nivel los distanciamientos entre electrodos, la profundidad correspondiente a ese distanciamiento y la cantidad de mediciones realizadas para cada combinación de electrodos.

Nivel	Distancia entre electrodos (m)	Profundidad (m)	Mediciones realizadas
1	0,25	0,375	437
2	0,50	0,75	433
3	0,75	1,125	429
4	1	1,5	425
5	1,25	1,875	421
6	1,50	2,25	417
7	1,75	2,625	413
8	2	3	409

Tabla 2- Nivel, distanciamiento, profundidad y cantidad de mediciones

Si consideramos que el perfil seleccionado tiene 110 m, que se colocaron 441 electrodos, un total de 3384 combinaciones, en una jornada de trabajo se obtuvieron manualmente hasta 850 datos, esto involucró cuatro días de labor, los cuales no pudieron ser sucesivos, haciendo que la técnica sea impráctica por las fluctuaciones físicas normales que afectan al mallín como presencia de lluvia o nieve, lo que implicó diferencias en el nivel freático por ascenso y descenso, diferencias de temperatura ambiente, heliofanía, evapotranspiración, etc.

Por todo ello con los datos obtenidos, para la generación de la imagen, se realizaron en gabinete, distintos grillados en la componente horizontal con diferentes mallas obteniendo la misma imagen resistiva con el 10% de los datos, 340 mediciones aproximadamente. En





### Aplicación de la tomografía eléctrica en la determinación del hidroapoyo de un mallín

ella se observó que no se produce afectación en la calidad de la misma, esto se debe a que las variaciones laterales de la imagen resistiva del mallín son graduales y un volumen excesivo de datos no aporta mayor información.

Una semana después se realizó una nueva medición en el mismo perfil en una sola jornada, tomando en cuenta las consideraciones anteriores, la nueva imagen fue generada con el 10% de información, obteniéndose un resultado de similar calidad al anterior tomograma.

Por otro lado, esta nueva imagen fue reflejo casi “instantáneo” de las condiciones de resistividad de los diferentes niveles del subsuelo del mallín realizada solamente en cuatro horas de trabajo.

Considerando la imagen obtenida, se seleccionaron puntos en la transecta en los que se construyeron siete freaímetros, basados en los espesores aparentes de suelo, profundidad del hidroapoyo y anomalías resistivas. (Ver Tabla 3)

Durante su construcción se realizó el control geológico efectuando un muestreo continuo hasta alcanzar el nivel basal del mallín definido por un nivel de rodados, por debajo de estos continúan las areniscas limosas correspondientes a la Formación Santa Cruz (hidroapoyo).

Estos siete freaímetros se construyeron realizando un pozo con pala vizcachera (hoyadora), posteriormente se entubó, y el espacio anular se engravaró, rellenó y selló con bentonita hasta el nivel del suelo. Para entubarlos se utilizó un caño de PVC con tapa ciega en el fondo, ranurado a mano con sierra para que actúe como filtro hasta 0,5 metros por debajo del nivel del suelo.

		Norte					Sur		
		7	6	5	Cauce central	4	3	2	1
Coordenadas	Latitud (S)	45°53'09,5"	45°53'09,7"	45°53'10"	45°53'10,3"	45°53'10,8"	45°53'11,5"	45°53'12,1"	45°53'12,6"
	Longitud (W)	68°03'03"	68°03'02,9"	68°03'03"	68°03'02,8"	68°03'02,8"	68°03'02,7"	68°03'02,8"	68°03'02,9"
Distancia (metros)		3	14	25	40	50	70	90	105

Tabla 3-Ubicación espacial de los freaímetros



### Aplicación de la tomografía eléctrica en la determinación del hidroapoyo de un mallín

Una vez que se estabilizó el nivel freático, se procedió a purgarlos y limpiarlos. Cuando se recuperó nuevamente el nivel se extrajeron muestras y se realizaron mediciones in situ utilizando un instrumento multiparamétrico marca Hanna, obteniéndose datos instantáneos de conductividad, salinidad, temperatura y pH.

		Norte					Sur			
		7	6	5	Cauce central	4	3	2	1	
Nivel freático	m	-0,7	-0,4	-0,25	0	-0,4	-0,45	-0,55	-0,46	
pH		6,89	6,79	6,9	7,34	7	7,13	6,87	6,69	
Temperatura	°C	12,8	8	7,01	10	8,5	7,6	8,6	7,1	
Conductividad	$\mu\text{S}/\text{cm}$	0,64	0,86	1,25	1,14	1,3	0,33	0,52	0,84	
Resistividad	$\Omega.\text{cm}$	1,56E+06	1,16E+06	8,00E+05	8,77E+05	7,69E+05	3,03E+06	1,92E+06	1,19E+06	
TSD	ppm	0,35	0,47	0,63	0,58	0,69	0,17	0,25	0,43	

Tabla 4-Datos de mediciones en freáticos obtenidos “in situ”

Finalmente, con los datos obtenidos en campo de temperatura, sólidos totales, pH, conductividad y resistividad del agua extraída de los freáticos, se realizó un análisis multivariante. El análisis multivariante es un método estadístico utilizado para determinar la contribución de varios factores en un simple evento o resultado. En este caso la información provenía de múltiples variables, aunque éstas no eran linealmente independientes.

En el caso de los valores obtenidos de medición de resistividad en todos de los niveles medidos, se realizó un análisis de regresión polinomial (Sokal & Rohlf, 1995), se llevó a cabo para las variables nivel y resistividad. Los datos fueron analizados con el programa BIOMSTAT.



## Aplicación de la tomografía eléctrica en la determinación del hidroapoyo de un mallín RESULTADOS

### Topografía

Se observó en la representación gráfica del relieve que el sector más bajo estaría ubicado a los treinta y cinco metros, medido de Norte a Sur, el mismo se visualiza en imágenes satelitales del sector de estudio.

La diferencia de nivel entre los límites externos y el sector más bajo del mallín es de 170 cm, como se observa en la Figura 2.

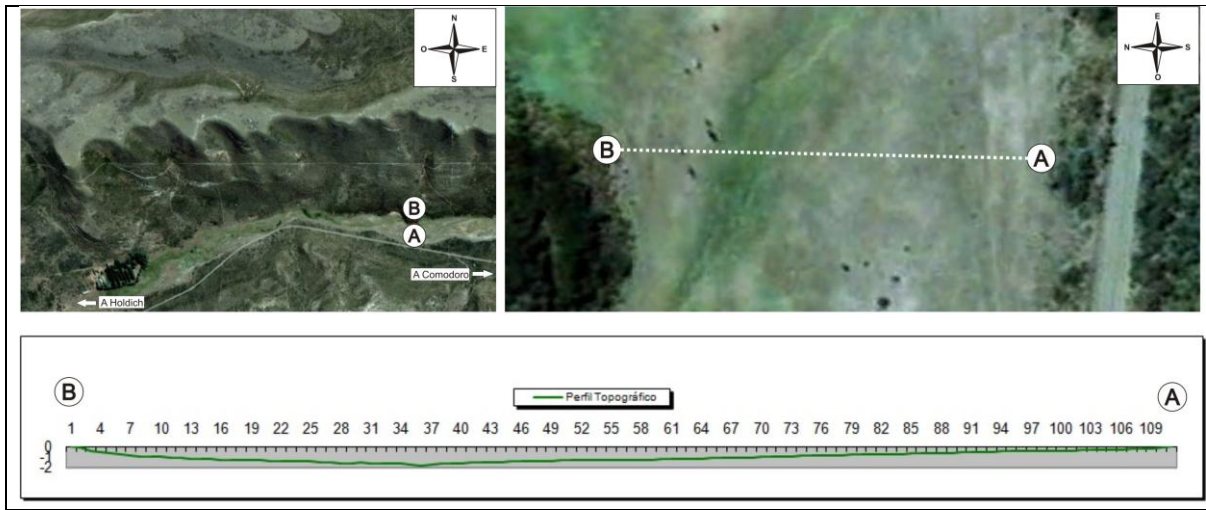


Figura 2- Representación gráfica del relieve a escala

En la siguiente figura se observa el relieve exagerando la escala vertical para permitir una visualización más clara del perfil topográfico.

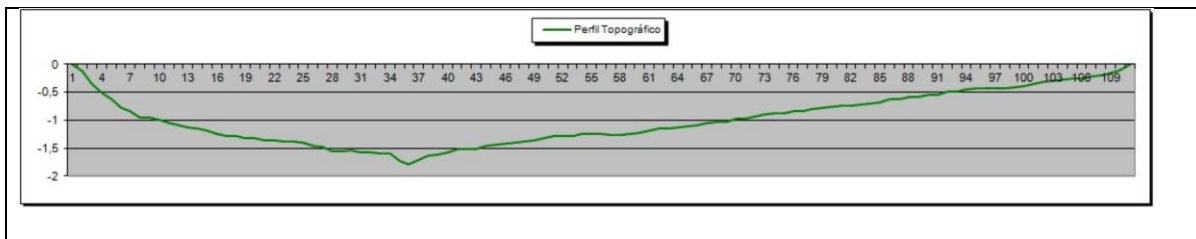


Figura 3- Representación gráfica del relieve a escala vertical exagerada(3x)



## Aplicación de la tomografía eléctrica en la determinación del hidroapoyo de un mallín

### **Estratigrafía**

Se identificaron 5 facies, diferenciables entre sí por su color, granulometría, textura y características particulares, mejor definidos y representados hacia la zona central.

La primera corresponde a un suelo castaño oscuro fino a mediano, con presencia de raíces, reactivo con HCl, con un espesor de hasta 30cm.

La segunda facie, desde los 30 a 60 cm de profundidad, con una granulometría fina a muy fina que se corresponde con una arenisca limo arcillosa, de color gris castaño clara, con presencia de raíces. Reaccionó al HCl indicando presencia de carbonatos. Este cuerpo se acuña a ambos lados del cauce central alcanzando los 30 metros desde el mismo en forma simétrica.

La tercer facie diferenciable, entre los 30 a 90 cm, está compuesto por una arenisca, de color gris clara a castaño clara, con presencia de óxidos rojizos, subangulosa, subredondeada, también presenta reacción carbonática.

La cuarta facie, desde los 90 a 145 cm, está formado por una arenisca castaño clara a media, con presencia de óxidos, no presenta reacción carbonática.

La quinta facie se encuentra definido por gravas, polimicticas, cuya granulometría varía de mediana a gruesa, hacia los laterales se encuentran a menor profundidad e interdigitadas con sedimentos coluviales. Estas gravas estarían indicando la base del acuífero, ya que las mismas se apoyan sobre las areniscas grisáceas de la Formación Santa Cruz (hidrapoyo).

### **Resistividad**

Las áreas de menor resistividad se observan entorno al cauce central a una distancia del mismo de hasta 30 m. Los valores de resistividad aumentan en profundidad de manera gradual, como también hacia los laterales del mallín.

La base del mallín estaría marcada por los sedimentos modernos que se depositaron sobre los preexistentes erosionados (Formación Santa Cruz).

Los datos de resistividad, junto a los parámetros profundidad y distancia se ingresaron en el software SURFER a fin de generar la imagen resistiva del perfil (tomograma).



### Aplicación de la tomografía eléctrica en la determinación del hidroapoyo de un mallín

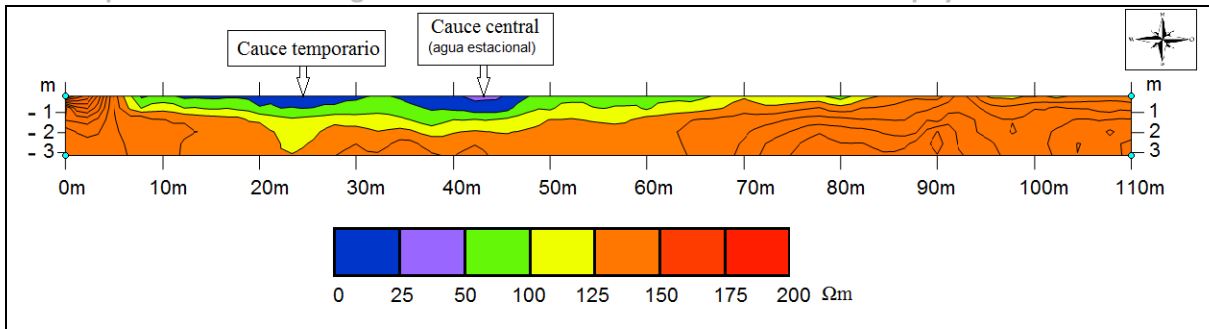


Figura 4- Imagen resistiva aparente obtenida con los datos de campo.

En las figuras a escala 4 y 5 se observan las imágenes resistivas, obtenidas mediante el empleo del método de tomografía eléctrica. La escala vertical de la figura 5 ha sido exagerada (3x) para su mejor interpretación.

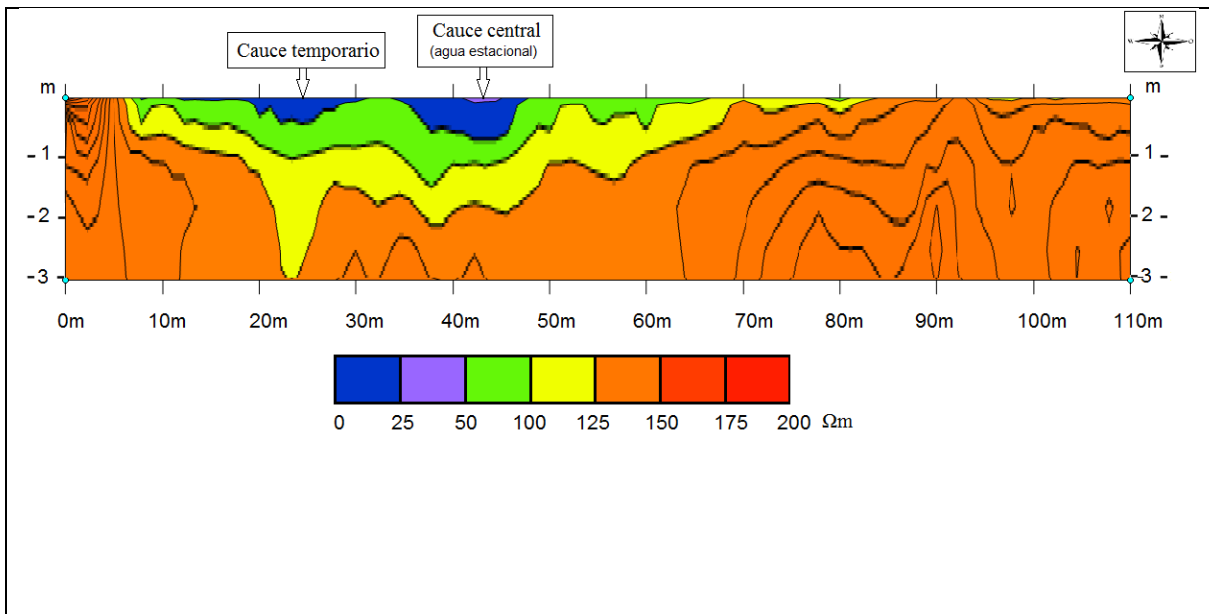


Figura 5- Imagen resistiva aparente con escala vertical exagerada (3x).



Aplicación de la tomografía eléctrica en la determinación del hidroapoyo de un mallín  
**Análisis de superposición de datos: topografía /resistividad/nivel freático**

En el siguiente gráfico está compuesto por la superposición de las Figuras 2 , 4 y los niveles freáticos medidos.

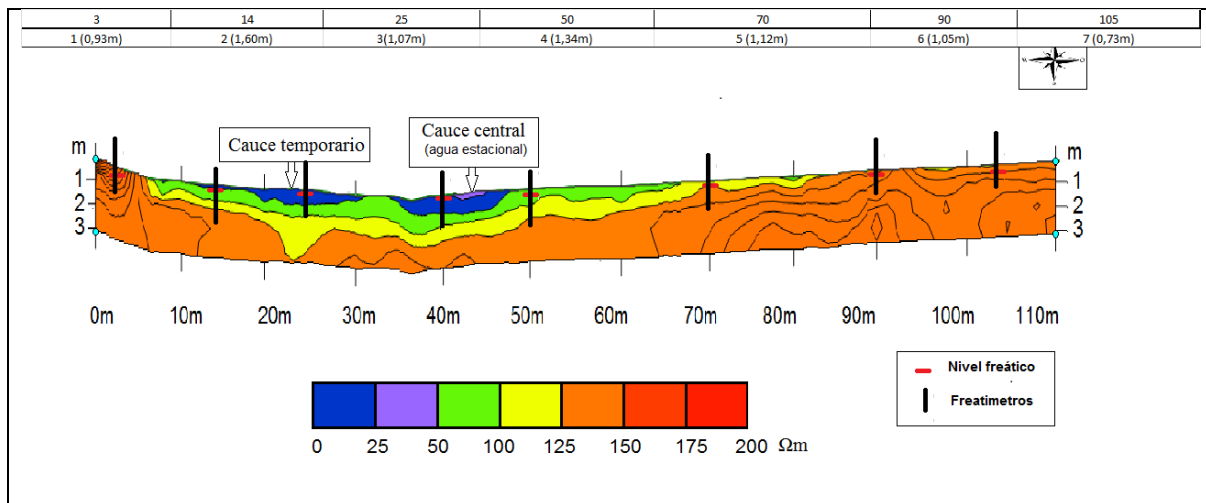


Figura 6-Superposición de topografía/resistividad/nivel freático



Aplicación de la tomografía eléctrica en la determinación del hidroapoyo de un mallín

**Análisis de regresión polinomial de los valores de resistividad**

Se realizó un análisis de regresión polinomial de los distintos niveles y la resistividad. En primera instancia se realizó un análisis de regresión simple, pero los resultados indicaron que existía regresión pero de tipo no lineal, y en este caso de segundo grado altamente significativo, ( $p < 0,05$ )  $Y = 149,67 - 46,5X + 3,98X^2$ , esto explicaría la variación de resistividad en el mallín para los distintos niveles. A continuación se expresa en la tabla 5 la significación de los términos del modelo de regresión polinomial y en la tabla 6 mediante un ANOVA, la significación del modelo de regresión polinomial de segundo grado.

Término	Coefficiente	Error estándar	Prueba de t	Probabilidad
Ordenada al origen	149,67	3,09	48,37	$4,86 \cdot 10^{-299}$
Grado 1	-46,50	1,60	-29,10	$1,68 \cdot 10^{-145}$
Grado 2	3,98	0,17	22,80	$7,26 \cdot 10^{-98}$

Tabla 5- Significación de los términos del modelo de regresión polinomial.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de los cuadrados	Cuadrados medios	Valor de la prueba F	Probabilidad
Regresión	2	1323825,41	661912,70	751,78	$2,51 \cdot 10^{-221}$
Grado 1	1	866107,04	866107,04	983,70	$2,47 \cdot 10^{-163}$
Grado 2	1	457718,37	457718,37	519,86	$7,26 \cdot 10^{-98}$
Error	1375	1210629,99	880,46	----	----

Tabla 6- Valores de ANOVA

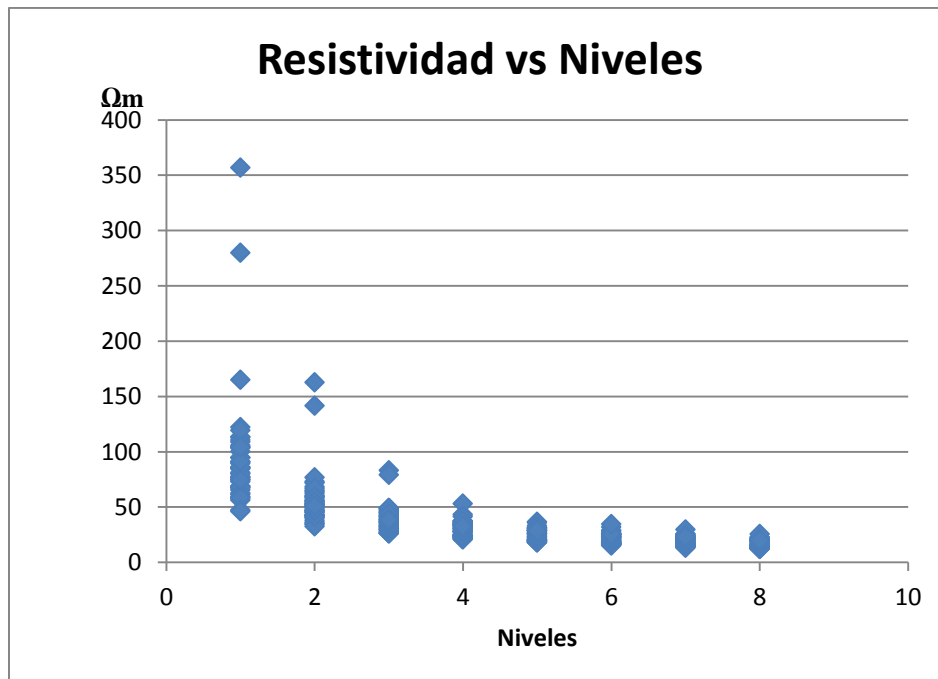


Figura 7- Variación de la resistividad en el mallín para los distintos niveles.



#### Aplicación de la tomografía eléctrica en la determinación del hidroapoyo de un mallín

Se puede observar en el gráfico una gran variabilidad de resistividades en el nivel 1, más superficial (0,375m), obviamente condicionado por factores externos, entre los que se incluye los climáticos (heliofanía, viento, humedad ambiente, precipitaciones, nieve) como así también el ecosistema propio de la superficie, presencia de animales (compactación por pisoteo, cuevas, orina, fecas), canales de escorrentía y las raíces de la vegetación presente.

En los niveles 2, 3 y 4 medidos a profundidades desde 0,750 m, 1,125m y 1,5m, las fluctuaciones en los datos de resistividad, presentan variabilidad en un rango de 150  $\Omega$ m.

A medida que los registros obtenidos son de una profundidad mayor (1,875m- 2,25m- 2,625m) niveles 5, 6 y 7, se puede observar que las resistividades tienden a igualarse en un rango de 35 $\Omega$ m, indicando condiciones similares. La saturación de agua en estos niveles, su carga iónica y su movilidad podría ser quien determine el rango y valor de las resistividades.

En el nivel 8 (3m) la tendencia anteriormente mencionada se hace más evidente, el rango de variabilidad se minimiza a 20  $\Omega$ m.

#### **Análisis de agua in situ**

Considerando la confluencia del agua hacia el cauce central, sitio en que aflora, se observó que las variables de temperatura, pH, sólidos totales disueltos del agua subterránea disminuyen hacia los límites laterales del mallín.

Los gráficos de las variables se representaron en un diagrama simple (denominado biplot), a la misma escala y con los ejes superpuestos. En estos gráficos las variables con flechas dispuestas en ángulo agudo se hallan correlacionadas positivamente, en tanto que aquellas dispuestas en ángulos obtusos indican correlaciones negativas. Las flechas correspondientes a variables cuantitativas se orientan en el sentido del máximo cambio de los parámetros respectivos en el diagrama.





### Aplicación de la tomografía eléctrica en la determinación del hidroapoyo de un mallín

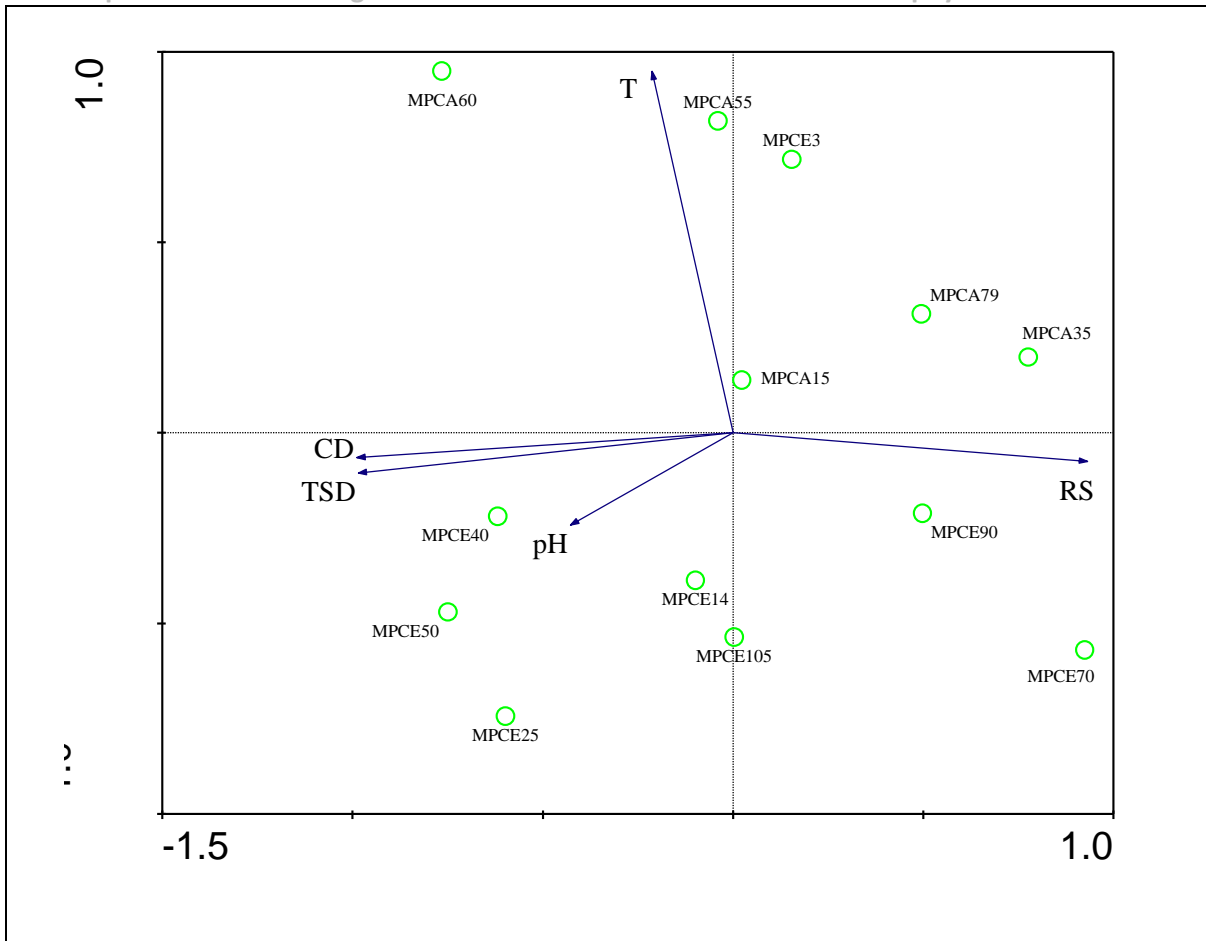


Figura 8- Diagrama del análisis de Componentes Principales (biplot). Variables (flecha azul; T: temperatura, etc. Muestras, MPCE25: mallín pires centro distancia 25m, etc.

El análisis de ordenación mediante la técnica de Análisis de componentes principales señaló dos asociaciones con un porcentaje acumulado de la varianza para la relación variables descriptivas del 60,9 % para el primer eje y 80,5 % para el segundo eje de ordenación. La ordenación que se ilustra en el biplot de la **Figura** señaló un alto grado de correlación positiva entre las variables temperatura, pH, TSD y CD. Además estas tres últimas variables se asociaron en forma positiva con la T y en forma negativa con RS.

Las muestras MPCA60, MPCA55, MPCA79, MPCA35, MPCA15 y MPCE3 se hallaron asociadas entre sí y a la variable temperatura. Las muestras MPCA60, MPCA55 y



**Aplicación de la tomografía eléctrica en la determinación del hidroapoyo de un mallín**

MPCE3 se asociaron a valores altos de temperatura el resto de las muestras se hallaron asociadas a valores bajos de temperatura. La segunda asociación estuvo formada por las muestras MPCE40, MPCE50, MPCE25, MPCE14, MPCE105, MPCE90 y MPCE70. Las muestras MPCE40, MPCE50, MPCE25, MPCE14 y MPCE105 se correlacionaron a valores altos de CD, TSD y pH. Las muestras MPCE90 y MPCE70 se encontraron asociadas a altos valores de RS.



## Aplicación de la tomografía eléctrica en la determinación del hidroapoyo de un mallín

### DISCUSIÓN

Las áreas lindantes al cauce central, aproximadamente cinco metros hacia ambos lados, en el momento en que se realizó el ensayo se encontraban anegadas, lo cual se demuestra con una lectura de datos de resistividad inferiores a  $10 \Omega\text{m}$ .

En el cauce subparalelo temporario, se observa el mismo fenómeno, baja resistividad en el sector adyacente.

En el noveno metro del perfil se observa un sendero de animales, cuya compactación del terreno por pisoteo y presencia de orines provocan la variación de resistividad, en los primeros centímetros del perfil midiéndose entre 0 y  $5 \Omega\text{m}$ .

El nivel 1 es la zona superficial del mallín, presenta gran variabilidad de resistividad, está influenciada por los factores climáticos, la presencia de vegetación, actividad de animales, etc. Presenta importante reacción al ácido clorhídrico lo cual indica presencia de carbonato. Los datos de resistividades presentan la mayor dispersión, debido a factores externos.

Los niveles 2, 3 y 4 están sujetos a la movilidad de agua ya sea por infiltración de agua y/o fluctuaciones del nivel freático esto se puede inferir a partir de la presencia de carbonatos y de óxidos observados en el análisis estratigráfico. Además, se puede observar en el análisis estadístico realizado a las mediciones de resistividad una evidente variabilidad en los datos leídos lo que indicaría la mencionada movilidad.

Los niveles 5, 6 y 7 corresponderían al hidroapoyo, según la estabilidad de los valores demostrados en el ensayo. En estos tres niveles los valores de resistividad son prácticamente constantes, indicando una litología similar en todo el perfil.

El nivel 8 presenta una disminución en la resistividad, variabilidad que probablemente demuestre cambio en la concentración de iones que podría estar asociada a cambio en la litología.

En el análisis comparativo del cutting se han encontrado horizontes coincidentes (comparables) con la imagen resistiva obtenida, se observa una disposición geométrica lenticular del perfil en torno la zona central del mallín. Esta disposición se manifiesta hacia ambos extremos, norte y sur de manera similar. Se correspondería a la depositación de diferentes materiales de manera sucesiva, en distintos eventos y a la evolución temporal del cuerpo del mallín.



### Aplicación de la tomografía eléctrica en la determinación del hidroapoyo de un mallín

En cuanto a la variabilidad de la calidad del agua en la línea de instalación de los freáticos:

1. Existe una relación directa entre la presencia de sólidos totales disueltos en las muestras de agua y su conductividad.
2. La concentración los sólidos totales disueltos se relacionan con el sentido de la descarga subterránea incrementándose hacia el centro del cauce.
3. La variabilidad de la temperatura está relacionada con la proximidad a la superficie y posiblemente al aporte de agua subterránea proveniente del sector adyacente norte.
4. Los valores de pH medidos en los freáticos son ligeramente más ácidos que aquellos obtenidos en el cauce principal ( $\text{pH} = 7,34$ ).
5. Los valores de conductividad guardan relación con los valores de pH, es decir que el incremento de conductividad, se observa hacia el cauce principal.



Aplicación de la tomografía eléctrica en la determinación del hidroapoyo de un mallín

## **CONCLUSIONES**

Utilizando la tomografía eléctrica se obtiene una imagen resistiva que permite observar distintas estructuras, coincidente con el análisis estratigráfico.

El tomograma obtenido posibilita distinguir una zona subsaturada de una saturada e interpretar el hidroapoyo.

Los resultados obtenidos son fundamentalmente cualitativos, dependen del contraste entre las propiedades físicas a mapear y es un complemento de otros estudios, no un reemplazo, pero brindan una mejor visualización de las estructuras del subsuelo.



Aplicación de la tomografía eléctrica en la determinación del hidroapoyo de un mallín

## **BIBLIOGRAFIA**

BRAN, D. 1992. Regiones ecológicas de la Patagonia y sus principales formaciones vegetales. En: Primer curso de planificación integral de campo. Tomo I. PRECODEPA. INTA. EEA Bariloche. Río Negro.

CASAMIQUELA, R. 1987. Toponimia indígena del Chubut. Publicación del gobierno de la Provincia del Chubut. Rawson. 170 p.

CASSOLA, A. 1988. Los Mallines. Rev. Presencia INTA 16: 11-14.

DEL VALLE, H. F. 1993. Mallines de ambiente árido. Pradera salina y estepa arbustivo-graminosa en el NW del Chubut. En: Paruelo, J. M.; Bertiller, M. B.; Schlichter, T. M.; y F. R. Coronato. Proyecto lucha contra la desertificación en Patagonia. Ed. INTA - GTZ. Buenos Aires. pp. 31-39.

DOUCHAUFOR, P., 1975. Manual de Edafología. Editorial Toray Masson, S.A. Barcelona. 478 p.

ERIZE, E. 1960. Diccionario comentado Mapuche-Español. Cuadernos del Sur. Instituto de Humanidades. Universidad Nacional del Sur.

GANDULLO, R.; SCHMID, P.; 2001. Análisis ecológico de mallines del Parque Provincial Copahue, Neuquén, Argentina. Facultad de Ciencias Agrarias-Universidad Nacional del Comahue.

GRANDA SANZ, A; CAMBERO, J.;2000. Introducción al método de la tomografía eléctrica, Ingeopres: Actualidad técnica de ingeniería civil, minería, geología y medio ambiente, ISSN 1136-4785, N°. 80, 2000 , págs. 68-70

HORNE, F. , 2010. Manejo hidrológico de mallines: aplicación al manejo sustentable del mallín Genoa. Ed. Universidad Nacional del Comahue. Neuquén. 2010

HORNE, F. E.; DUFILHO, A. C.; BRUCE, A. y G. POLLA. 1998. Programa de Desarrollo Forestal. Proyecto de Ecosistemas Desérticos en Patagonia. Recursos Hídricos y Mallines. Facultad de Ciencias Agrarias - U.N. Comahue, Cinco Saltos, Río Negro. 66 p.

LOKE, MH. 2004. Tutorial 2D and 3D electrical imaging surveys. 128 p.

LÓPEZ, C. y BRAN, D. 1997. Caracterización y tipificación de mallines. En: Jornadas de actualización de mallines. Proyecto Mallines. EEA INTA Bariloche; Centro Regional Patagonia Norte. pp 3-8.



#### Aplicación de la tomografía eléctrica en la determinación del hidroapoyo de un mallín

MARCOLIN, A., G. DURAÑONA, R. ORTIZ, M. SOURRUILLE, M. LATOUR Y G. LARRANA. 1978. Caracterización de mallines en un área del sudoeste de la Provincia de Río Negro. 8a. Reunión Argentina de la Ciencia del Suelo. Rev. INTA.

MAZZONI, E.; 1984. Estudio de las relaciones geomorfológicas e hidrológicas entre escoriales basálticos y mallines en dos áreas tipo de la provincia del Neuquén. Universidad Nacional del Comahue, Facultad de Humanidades, Departamento de Geografía. Neuquen. 112pp. Tesis de Licenciatura

MAZZONI, E.; 1987a. Propuesta metodológica para el estudio de mallines vinculados a escoriales basálticos. Actas XII Congreso de Geografía. Sociedad Argentina de Estudios Geográficos GAEA, pp 155 a 166. San Carlos de Bariloche.

MITSCH, W. J. & GOSSELINK, J. G. 1986. Hydrology of wetlands. En: Wetlands. Van Nostrand Reinhold, New York. 539 p.

PAZ, C. & BUFFONI, H. 1986. Manejo de las "vegas" en el sur de Santa Cruz. Rev. Presencia INTA 8: 40-44

RAFFAELE, E. Mallines: Aspectos generales y problemas particulares [www.unesco.org/uy/ci/fileadmin/ciencias%20naturales/mab/3.pdf](http://www.unesco.org/uy/ci/fileadmin/ciencias%20naturales/mab/3.pdf)

RAFFAELE, E. 1993. Estructura y dinámica de la vegetación de un mallín de altura sometido a perturbaciones experimentales. Tesis Doctoral, Universidad Nacional de La Plata, La Plata, Argentina.

SAMOUËLIAN, A.; I COUSIN; TABBAGH, A.; BRUAND, A. & RICHARD, G. 2005. Electrical resistivity survey in soil science: a review. Soil Till Res 83: 173-193.

SOKAL, R. R. Y ROHLF, F. J. (1995). Biometry. 3ª ed. W. H. Freeman and Co. New York

SOLMO, R. & SIFFREDI, G. 1993. Algo más sobre henos de mallines de Precordillera. Rev. Presencia INTA 27: 12-13.

TELFORD, W.M.; GELDART, L.P. & SHERIFF, R.E. 1990. Applied geophysics. Cambridge University Press. 770 p.

WEINZETTEL, P; VARNI, M; DIETRICH, S & USUNOFF, E ; 2009. Evaluación de tres dispositivos de tomografía eléctrica para la identificación de horizontes petrocálcicos en el suelo. Ciencia del suelo vol.27 no.1 Ciudad Autónoma de Buenos Aires ene./jun. 2009



Aplicación de la tomografía eléctrica en la determinación del hidroapoyo de un mallín  
**ANEXOS**



Imagen 1- Localización zona de estudio extraído de Imágenes@2015DataSIO,NOAA,U.S.Navy,NGA,GEBCO, DigitalGlobe-Google





## Aplicación de la tomografía eléctrica en la determinación del hidroapoyo de un mallín



Imagen 2-Determinación de topografía



Imagen3-Colocación de cinta métrica y electrodos



Imagen 4-Cauce central



### Aplicación de la tomografía eléctrica en la determinación del hidroapoyo de un mallín

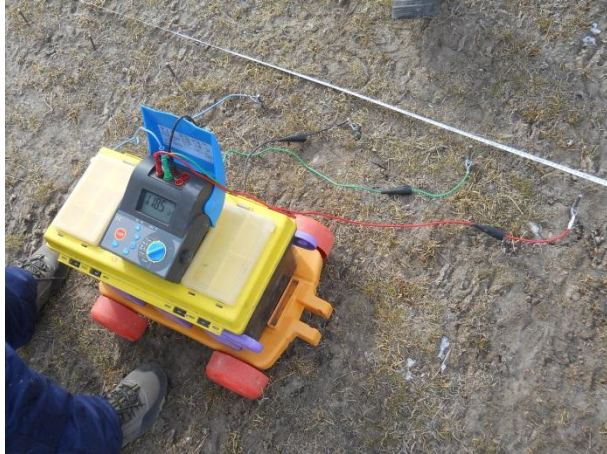


Imagen 5-Utilización de Telurímetro Metrel



Imagen 6-Lectura de datos de resistividad



Imagen 7-Realización de pozo freático con pala vizcachera



## Aplicación de la tomografía eléctrica en la determinación del hidroapoyo de un mallín