

## POSIBLE RIESGO DE CORROSIÓN EN GASODUCTOS ENTERRADOS EN SUELOS RESISTIVOS POR VARIACIONES DEL POTENCIAL CAÑO-SUELO ANÓMALOS

P.A. Larocca<sup>1</sup>, M.A. Arecco<sup>1,2</sup>, S.P. Barredo<sup>3</sup>

1: Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ingeniería, Instituto de Geodesia y Geofísica Aplicadas. plarocc@fi.uba.ar

2: Universidad de la Defensa Nacional, Instituto Universitario Naval, Escuela de Ciencias del Mar. marecco@fi.uba.ar

3: Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ingeniería, Instituto de Gas y Petróleo. sbarredo@fi.uba.ar

**Palabras clave:** Diferencias de potencial caño suelo, Corrosión, Anomalías geomagnéticas, Gasoducto

### ABSTRACT

One factor that can contribute to pipeline corrosion is electrical currents induced by geomagnetic disturbances. To protect them, a cathodic protection system is used that maintains the buried pipeline at a constant negative potential with respect to the surrounding soil, which inhibits corrosion reactions. However, these induced currents create anomalous variations in the pipe-soil potentials, so it is necessary to know where and how often they occur to assess and mitigate the risk.

Large variations in pipe-soil potential have been observed in a section of the General San Martín gas pipeline of Transportadora de Gas del Sur S.A., in Tierra del Fuego, Argentina. We present observations and analysis of the variations of the pipe-soil potential carried out in the period 2013-2018 when these fluctuations were recorded. The geomagnetic field recorded at the nearest Geomagnetic Observatory of Puerto Argentino (Port Stanley) was used to calculate the induced electric field at the Earth's surface. The comparison between the variation of the pipe-soil potential and the variations of the electric field yielded correlation coefficients of up to 70%. From the analysis of the types of soils that contain the gas pipeline, it is possible to exclude the influence of currents in the soil due to its low conductivity values.

We conclude that factors in the structure of the pipe and in the conductivity profile of the soils could be the cause of these localized effects in the pipe.

### INTRODUCCIÓN

El campo geomagnético (GMF, por sus siglas en inglés) protege a la Tierra de rayos cósmicos (partículas de alta energía procedentes de la galaxia) y del viento solar (gas ionizado o plasma que proviene del Sol) como una barrera. Sin esta barrera, el viento solar podría arrasar la atmósfera de la Tierra, y los rayos cósmicos podrían dañar la salud de los seres vivos y el correcto funcionamiento de los sistemas tecnológicos (Owens y Forsyth 2013).

Las corrientes telúricas que producen estos disturbios geomagnéticos en períodos de tormentas geomagnéticas provocan variaciones en las diferencias de potencial entre el caño y el suelo circundante modificando las condiciones electroquímicas de los ductos enterrados dejándolos desprotegidos temporalmente (Trichtchenko y Boteler 2001). Durante períodos de tormentas magnéticas intensas, estas variaciones pueden ser lo suficientemente grandes como para mantener una tubería en una cierta región desprotegida durante un tiempo importante, aumentando la posibilidad de corrosión, lo que puede reducir la vida útil de la misma.

El impacto del clima espacial en las infraestructuras terrestres incluye la corrosión lenta, acumulativa y excesiva de los sistemas de tuberías, entre otros. Al sur de Argentina, en Tierra del Fuego, el gasoducto San Martín de TGS (Transportadora de Gas del Sur) de unos 100 km aproximadamente de extensión, se orienta principalmente de N-S excepto en el último tercio, que mantiene una dirección O-E (Fig. 1). El gasoducto tiene alrededor de 100 puntos de control separados entre sí por 1 a 1,5 km. Las tuberías enterradas están revestidas con materiales de baja conductividad y se mantienen con una diferencia de potencial caño-suelo ligeramente negativa (PSP, pipe soil potential) con respecto a tierra de -0,85 a -1,35 voltios (rango de seguridad dado por la protección catódica). Anualmente se mide la PSP (en ON y OFF, protección catódica encendida y apagada respectivamente) para controlar que no supere el rango de seguridad. En este trabajo presentamos un análisis entre la PSP medida y el campo magnético terrestre.

Por otro lado, se analizó la posible inducción de corrientes a través de los suelos que rodean las cañerías indagando la conductividad característica de los suelos de la región donde está emplazado el gasoducto San Martín.

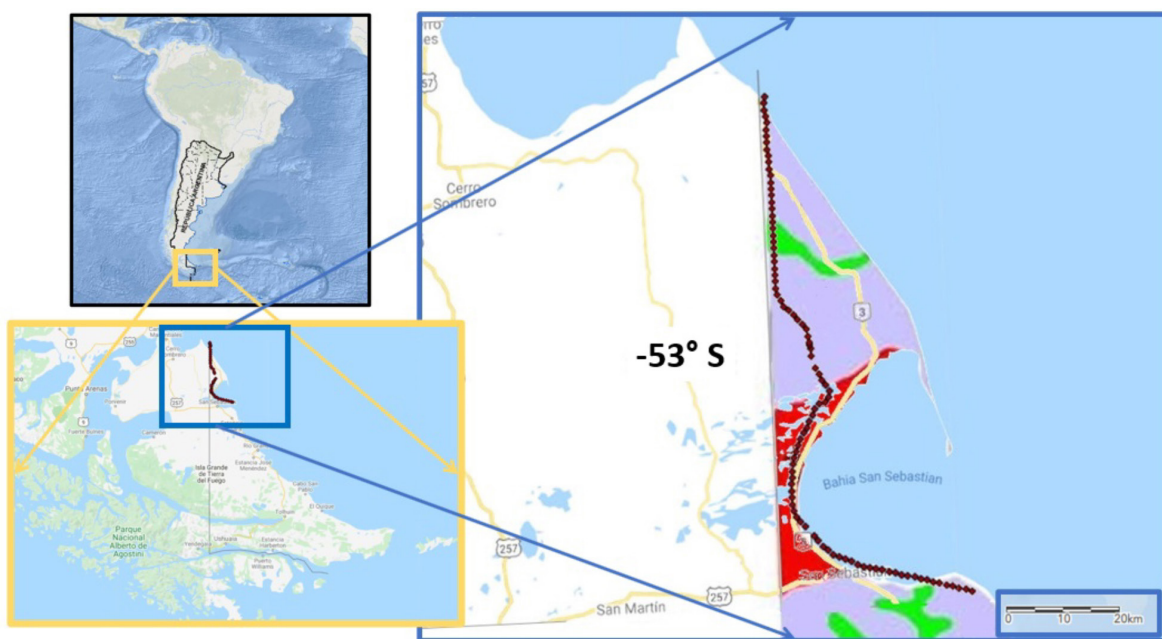


Figura 1. Mapa de ubicación del gasoducto TGS San Martín en Tierra del Fuego, Argentina (línea punteada: gasoducto). Suelos: Molisoles (violeta), Inceptisoles (verde) y Alfisoles (rojo).

## DATOS Y METODOLOGÍA

Los ductos enterrados deben estar estrechamente protegidos para disminuir los efectos de corrosión. Para mitigar este fenómeno, las tuberías tienen un recubrimiento de material de baja conductividad y se mantienen con una diferencia de potencial ligeramente negativo respecto a tierra de 850 mV. Sin embargo, la corrosión podría aumentar debido a las corrientes eléctricas que se propagan a través del suelo durante las perturbaciones magnéticas.

Este estudio se centró en el gasoducto TGS San Martín que se ubica en el extremo este de la provincia de Tierra del Fuego (Fig. 1). Se utilizaron registros de PSP de los puestos de control de 0 a 100 entre los años 2013 al 2018 proporcionados por la compañía TGS. Dichos registros de PSP fueron tomados con un instrumental cuya precisión fue de 1 mV, a partir de un electrodo de referencia Cu/CuSO<sub>4</sub> conectado en los puestos de control del gasoducto.

Las mediciones se caracterizaron por no ser continuas, es decir, que no se tomaron series temporales en un mismo puesto a lo largo del gasoducto. Estas mediciones de PSP se realizaron con la protección encendida (ON) y apagada (OFF), en forma puntual (Fig. 2).

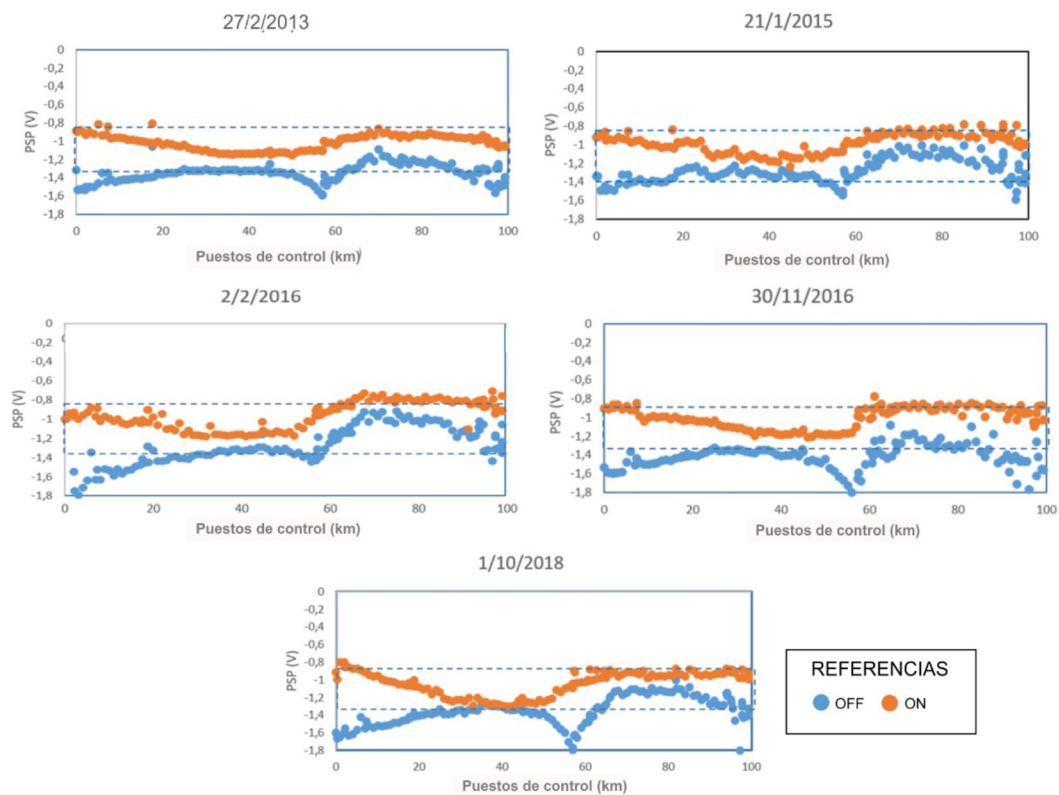


Figura 2. PSP medido en puntos de control con protección ON (puntos naranjas) y sin protección OFF (puntos azules). Límites de protección -0,85 V y -1,35 V (líneas horizontales negras). Son mediciones puntuales tomadas durante varios días.

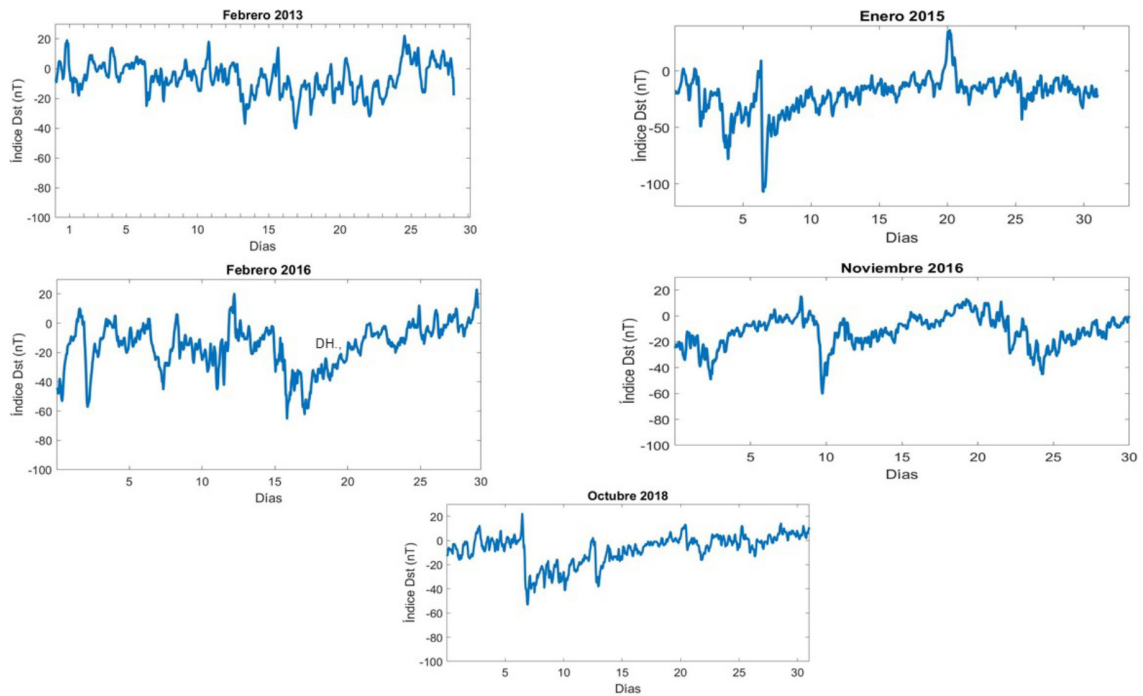


Figura 3. Índice horario Dst de los meses de días de medición de PSP. Fechas: 27/02/2013, 21/01/2015, 02/02/2016, 30/11/2016 y 1/10/2018.

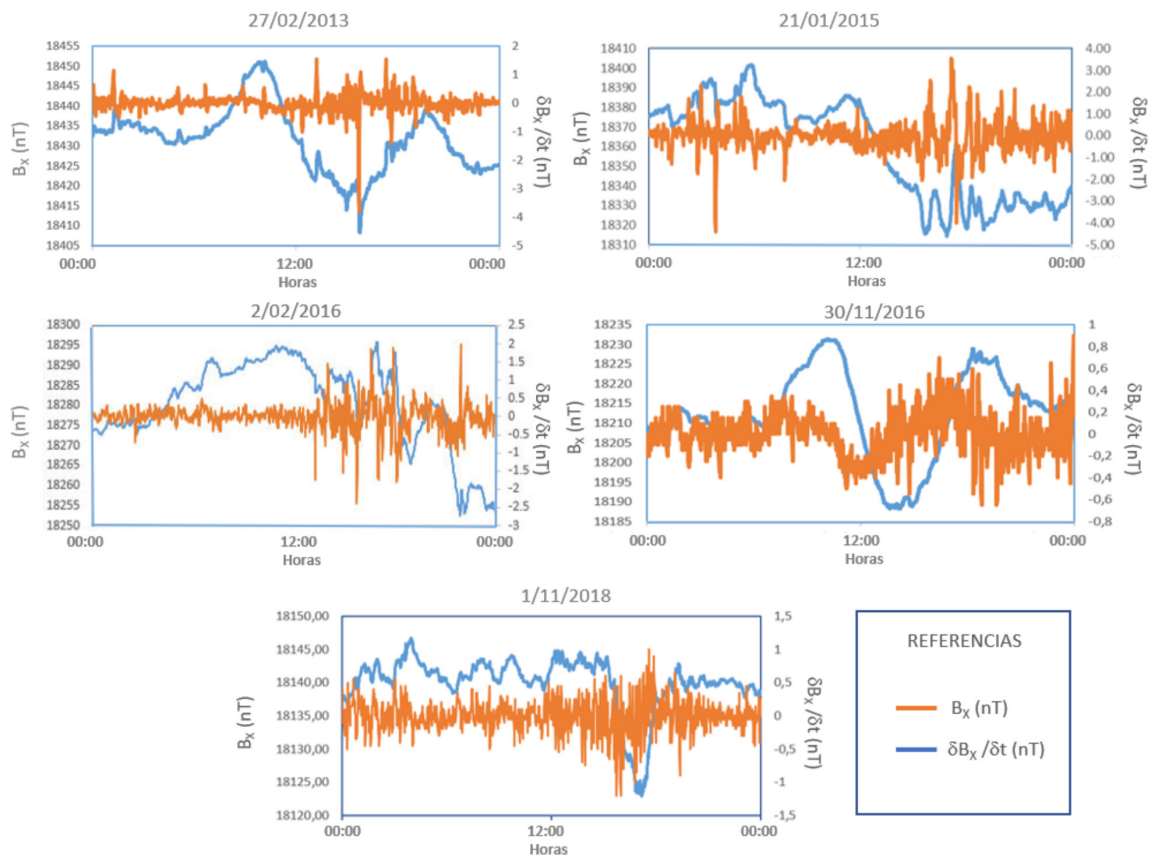


Figura 4. Componente X del GMF ( $B_x$ ) (línea azul) y derivada  $\delta B_x / \delta t$  (línea naranja).

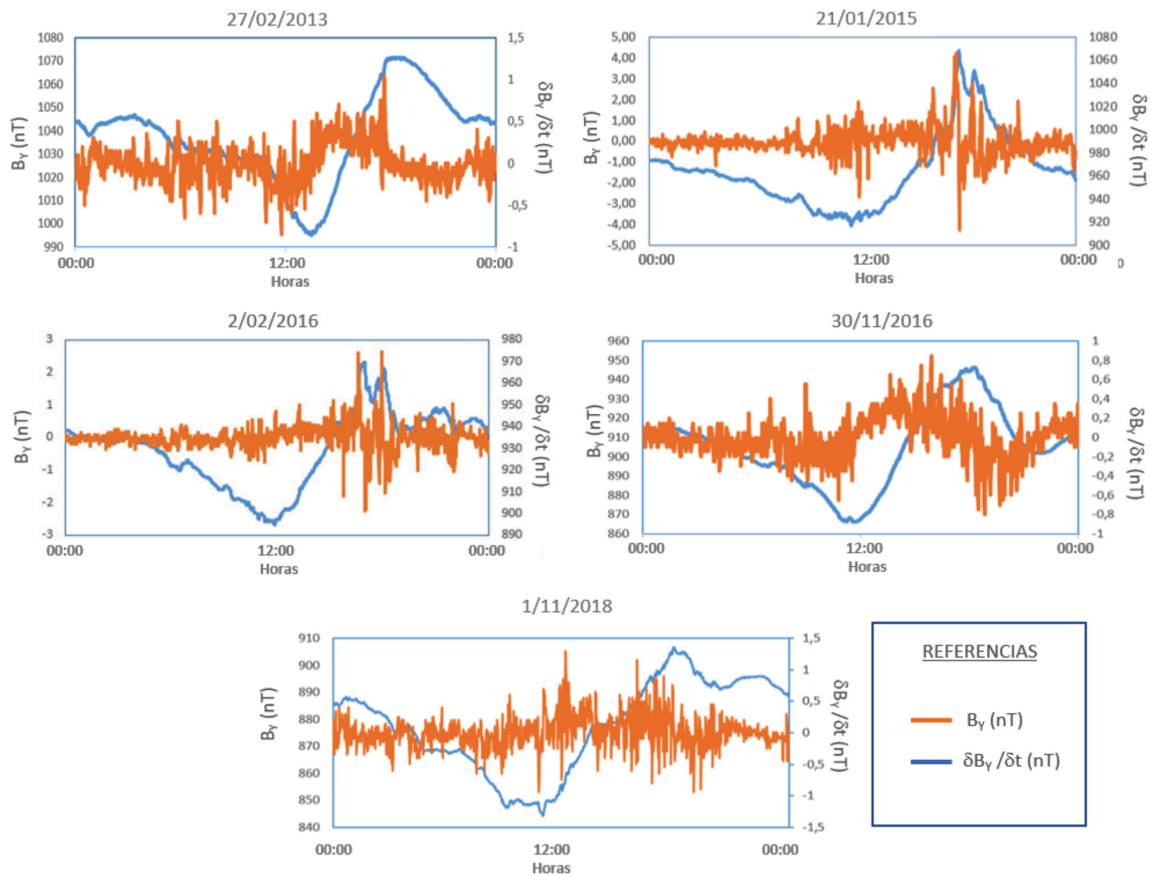


Figura 5. Componente Y del GMF (línea azul) y derivada  $\delta Y/\delta t$  (línea naranja).

Paralelamente, se analizaron los períodos de tormentas geomagnéticas que se produjeron en dicho período de tiempo a partir de los registros de índices Dst (*Disturbance Storm-Time*) (Fig. 3). Los datos del GMF utilizados en este trabajo se obtuvieron en el Observatorio de Puerto Argentino (Port Stanley), Argentina, y fueron proporcionados por el World Data Center de Kyoto (<http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/wdc/Sec3.html>) a los que se les calculó las derivadas primeras temporales de las componentes X e Y, que se corresponden con las componentes del campo eléctrico  $E_y$  y  $E_x$ , respectivamente (Fig. 4 y 5).

Las tuberías se encuentran en una zona caracterizada por la presencia de suelos del tipo Molisoles, Inceptisoles y Alfisoles (Panigatti 2010) (Fig. 1). En general estos suelos no son buenos conductores, ya que presentan conductividades eléctricas de baja frecuencia (de Hz a kHz) de corrientes continuas (sDC) que están en el rango de  $0,001\text{--}2 \text{ dS.m}^{-1}$  (Carrol y Oliver 2005; Omonode y Vyn 2006). Estas bajas conductividades se deben, en parte, a su origen como producto de desintegración (meteorización) de minerales y rocas en regiones húmedas con lluvias que lixivian las sales solubles que luego son evacuadas por las aguas subterráneas profundas o arroyos al océano, de manera que no hay acumulación importante en los horizontes del suelo.



Según Rhoades *et al.* (1999); Corwin y Lesch, (2005), entre muchos otros, la conductividad eléctrica se basa en el potencial eléctrico de tres elementos fundamentales: a) la fase sólida/líquida que corresponde a los cationes intercambiables asociados a los minerales de arcilla o materia orgánica; b) fase líquida que refiere a los sólidos disueltos contenidos en el agua que está retenida en los poros grandes del suelo y c) la fase sólida o partículas de suelo que están en contacto directo y continuo. Se descarta la fase gaseosa porque no tiene impacto sobre la conductividad ya que el aire actúa como aislante. La variación de la conductividad del suelo se atribuye a la textura, en particular a la presencia de arcillas, la humedad y los fluidos contenidos en el medio poroso, la salinidad de la solución del suelo, intercambio de cationes y finalmente la cota y pendientes regionales que controlan la distribución de los fluidos de la cuenca hídrica (McBride *et al.* 1990; Gessler *et al.* 2000; Johnson *et al.* 2001; Farahani *et al.* 2005, entre otros). Si bien los valores de los rangos de conductividad eléctrica (CE) cambian en el tiempo, los patrones de distribución de la CE en el terreno no cambian, por lo que las áreas estudiadas son repetibles en el tiempo, aún bajo distintas condiciones de humedad y de compactación de suelo.

## RESULTADOS

Los registros PSP correspondientes a los puntos de control desde el 60 al 100 del gasoducto exceden el rango de seguridad para los días en que  $dB_x/dt$  o  $dB_y/dt$  muestran una gran variabilidad (27/2/2013, 21/1/2015, 2/02/2016, 30/11/2016 y 10/1/2018) y un índice Dst por debajo de -30 nT (2/02/2016), mostrando que los períodos estudiados no correspondían a días perturbados geomagnéticamente.

Calculamos, para cada día, el coeficiente de correlación entre las diferencias de potencial ON-OFF del PSP y  $dB_x/dt$ , que se corresponde con la componente del campo geoelectrico a lo largo del ducto, lo que arrojó coeficientes de correlación mayores a 0,7 (Fig. 6).

El recorrido del ducto es a través de diferentes tipos de suelo, que se caracterizan por su variada conductividad eléctrica (<http://www.geointa.inta.gob.ar/2013/05/26/suelos-de-la-republica-argentina/>) (Fig. 1). Las tuberías se apoyan mayormente en Molisoles, que son suelos blandos y de color negro que contienen mucha materia orgánica (MO) y están bien drenados. La MO puede tornar algo conductivo a estos suelos por su capacidad de retención hídrica pero las arcillas presentes tienen alta capacidad de adsorción del carbono orgánico dando lugar a la estabilización del mismo y evitando su mineralización (Morari *et al.*, 2009). Eventualmente, también pueden saturarse con agua en zonas bajas del relieve, tornándose algo más conductivos que los suelos de la zona como los Inceptisoles y Alfisoles. Sin embargo, al ser bien drenados y no dar lugar a la acumulación importante de sales en algún horizonte, presentan baja conductividad eléctrica con valores entre 0,30 y 0,90 dS.m<sup>-1</sup>.

Alfisoles son suelos grises arcillosos de baja permeabilidad (escurrimiento lento), húmedos con moderada cantidad de materia orgánica, presentan baja conductividad asociada a la presencia

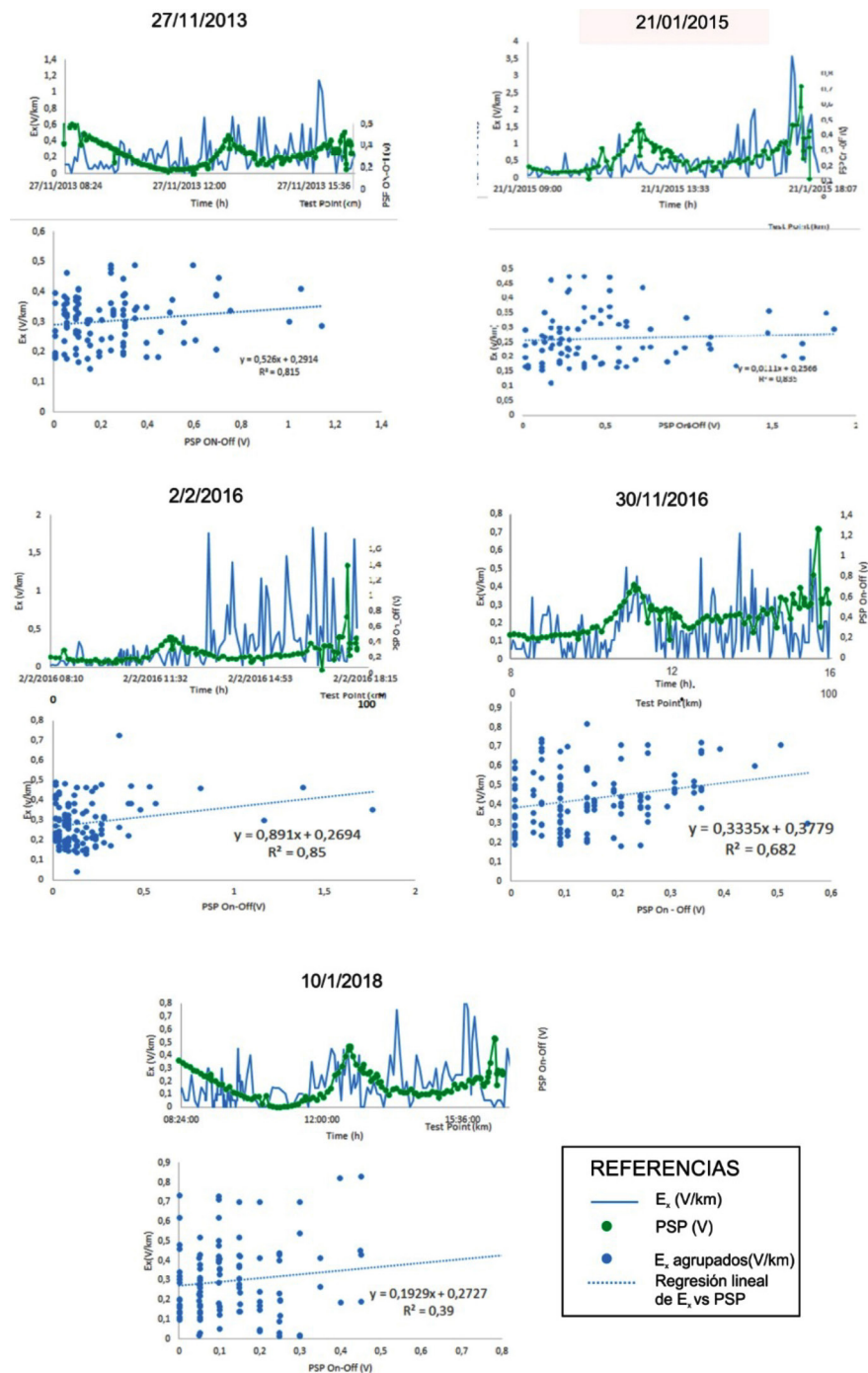


Figura 6. Análisis gráfico para cada fecha seleccionada. Arriba: Componente X del GMF (línea azul) y Diferencia de potenciales ON-OFF de PSP (línea verde). Abajo: Correlación entre la componente X del GMF con la diferencia de potenciales ON-OFF PSP (puntos azules). Línea de tendencia de la correlación.

de arcillas y a la humedad la que varía entre 0,14 a 0,19 dS.m<sup>-1</sup> (Soil Survey Staff 2010). En la región de estudio, las precipitaciones se distribuyen regularmente durante el año, oscilando entre los 300 y 430 mm anuales (Panigatti 2010), sin embargo, entre noviembre y febrero estas

disminuyen notablemente ( $< 100$  mm). Esta “estacionalidad” sumada a un relieve suave con ondulaciones pueden favorecer la presencia de zonas más húmedas con acumulación de agua lo que tornaría a estos suelos algo conductivos.

Los Inceptisoles por otro lado están desarrollados sobre material tillítico como resultado del clima húmedo de la región. Son suelos incipientes (su nombre deriva del latín “*Inseptum*” con abundante materia orgánica). Están compuestos por granulometrías francas y francoarenosas con un aumento gradual de arcilla en profundidad. Las partículas son angulosas y la textura es matriz-sostenida lo que dificulta el paso de la corriente. Las características mineralógicas del material parental y su meteorización imprimen a estos suelos propiedades ácidas con abundante aluminio intercambiable, según Martínez *et al.* (2020) la conductividad eléctrica de este suelo en la región de estudio es baja, con valores entre 0,01 y 0,36 dS.m<sup>-1</sup>.

## CONCLUSIONES

Concluimos que la correlación entre las variaciones de potencial caño-suelo y el campo geomagnético, que ha alcanzado un máximo del 70%, es sustancialmente importante. Por lo tanto, atribuimos estas anomalías a la influencia de la actividad geomagnética en el gasoducto descartando la influencia de corrientes en el suelo debido a sus bajos valores. Dado que la correlación no fue total, es posible continuar los estudios ampliando la investigación sobre la influencia de otras variables intervinientes como la topología del gasoducto, la variación temporal en la conductividad eléctrica de los suelos en los que está enterrado a lo largo del año para determinar la estacionalidad y también analizar la variación de la conductividad eléctrica en función de la topografía.

## AGRADECIMIENTOS

Las autoras agradecen los datos aportados por E.F. Lara, C.A. Deloso, D.E. Molina, D.R. Falabella, G. Avila, y S.N. Río, de Integridad/Gerencia de Gasoductos TGS.

Este trabajo fue financiado por el proyecto UBACYT 2021-2023 de la Universidad de Buenos Aires.

## REFERENCIAS CITADAS

- |   |   |
|---|---|
| <p>Carroll Z. L. y M. A. Oliver, 2005. Exploring the spatial relations between soil physical properties and apparent electrical conductivity. <i>Geoderma</i> 128:354– 374.</p> | <p>Corwin D. L. y S. M. Lesch, 2005. Characterizing soil spatial variability with apparent soil electrical conductivity. Part II. Case study. <i>Computers and Electronics in Agriculture</i> 46:135–152.</p> |
|---|---|



- Farahani H. J., G. W. Buchleiter y M. K. Brodahl, 2005. Characterization of apparent electrical conductivity variability in irrigated sandy and non-saline fields in Colorado. Transactions on the ASAE, 48 (1):155-168.
- Gessler P. E., O. A. Chadwick, F. Chamran, L. Althouse y K. Holmes, 2000. Modeling soil landscape and ecosystem properties using terrain attributes. Soil Sci. Soc. Am. J. 64:2046-2056.
- Johnson C. K., J. W. Doran, H. R. Duke, B. J. Wienhold, K. M. Eskridge y J. F. Shanahan, 2001. Field-scales electrical conductivity mapping for delineating soil condition. Soil Science Society of Am. J. 65(6): 1829-1837.
- Martínez, M., M. Gomez Samus y P. Rodríguez, 2020. Morfología y datos físico/químicos de dos inceptisoles de la zona periurbana de Ushuaia. XXVII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Suelos: Desafíos para una producción y desarrollo sustentables: 62-67 Corrientes, Argentina.
- McBride R. A., A. M. Gordon y S. C. Shrive, 1990. Estimating Forest soil quality from terrain measurements of apparent electrical conductivity. SSSA J. 54: 290–293.
- Morari F., A. Castrignano y C. Pagliarin, 2009. Application of multivariate geostatistics in delineating management zones within a gravelly vineyard using geo-electrical sensors. Computers and Electronics in Agriculture 68:97–107.
- Omonode R.A., y T.J. Vyn. 2006. Spatial dependence and relationships of electrical conductivity to soil organic matter, phosphorus and potassium, Soil Science 171(3): 223-238.
- Owens, M.J y R.J. Forsyth, 2013. The Heliospheric Magnetic Field. Living Reviews in Solar Physics, 10, 5. <https://doi.org/10.12942/lrsp-2013-5>.
- Panigatti, J. L., 2010. Argentina 200 años, 200 suelos. Buenos Aires: Ediciones INTA.
- Rhoades J. D., F. Chanduvi and S. Lesch, 1999. Soil salinity assessment: Methods and interpretation of electrical measurements. FAO Rep. 57. FAO, Rome.
- Soil Survey Staff, 2010. Keys to Soil Taxonomy. 11th Edition, USDA-NRCS, Washington DC, 338 p.
- Trichtchenko, L. y D.H. Boteler, 2001. Specification of geomagnetically induced electric fields and currents in pipelines. Journal of Geophysical Research: Space Physics, 106 (A10), 21039- 21048.

