

# Mineralogía magnética y registros de susceptibilidad en sedimentos cuaternarios de polaridad normal (Brunhes) y reversa (Matuyama) de la cantera de Juárez, provincia de Buenos Aires

Juan C. BIDEGAIN y Yamile RICO

CIC-LEMIT Dirección postal: calle 52 e/ 121 y 122, La Plata (1900), Buenos Aires  
E-mail: jcbidegain@way.com.ar

**RESUMEN.** Los sedimentos expuestos en la cantera de Juárez, situada en el partido de La Plata, provincia de Buenos Aires, (34°57'0''S y 57°53'00'' O) son del Pleistoceno y Holoceno. Las unidades sedimentarias corresponden a la Formación Ensenada, a la Formación Buenos Aires y al post-Pampeano. La primera, es de polaridad reversa (Matuyama) en la base y normal (Brunhes) en la parte superior, la Formación Buenos Aires y los sedimentos del post-Pampeano son de polaridad normal (Brunhes). Los valores de susceptibilidad más elevados se obtienen en el loess de la Formación Ensenada ( $189 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$ ), los más bajos en los sedimentos de la Formación Buenos Aires ( $11 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$ ) y en paleosuelos hidromórficos de la Formación Ensenada ( $30$  y  $50 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$ ), en ambos casos, asociados a condiciones climáticas de mayor humedad relativa. El incremento de los valores magnéticos en la fracción limo mediano a grueso, refleja el predominio de fuertes vientos como agente de transporte de los minerales ferromagnéticos en períodos de mayor aridez de los períodos glaciales. La susceptibilidad dependiente de la frecuencia (factor F) varía entre 0 % y 6,45 %. Los registros del factor F más elevados se obtienen en horizontes con mayor grado de meteorización de períodos interglaciales, no obstante, están en una posición intermedia con respecto a los de Siberia y China. Esta particularidad nos permite sugerir la existencia de un tercer modelo de comportamiento de la susceptibilidad en relación a los climas del Cuaternario: el modelo de los fuertes vientos modificado por los procesos pedológicos en latitudes medias.

**Palabras clave:** Formación Buenos Aires, Formación Ensenada, Paleomagnetismo, Paleoclima, Paleoambiente

**ABSTRACT.** Magnetic mineralogy and susceptibility records in Quaternary sediments of normal (Brunhes) and reverse (Matuyama) polarity in the Juárez quarry, Buenos Aires Province. Sediments exposed in the Juárez quarry of Buenos Aires Province (34°57'10''S and 57°53'00'' W), belong to the Pleistocene and Holocene. The sedimentary units are those of the Ensenada and Buenos Aires formations and the so-called Post-Pampean. The Ensenada Formation has reversed polarity (Matuyama) at the bottom of the exposed sequence and normal polarity (Brunhes) at the upper part, while the Buenos Aires Formation and Post-pampean sediments are of normal polarity (Brunhes). The highest susceptibility values were obtained in loess of the Ensenada Formation ( $189 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$ ), and the lowest in sediments belonging to the Buenos Aires Formation ( $11 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$ ) and in hydromorphic paleosols of the Ensenada Formation ( $30$  to  $50 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$ ), both associated with climatic conditions of higher relative humidity. An increase in magnetic values in the coarse- to medium-silt fractions reflects the dominance of vigorous winds as the main carrier of ferromagnetic minerals during arid periods (glacial periods). The frequency-dependent susceptibility (F factor) varies between 0 % and 6,45 %. The highest values, obtained in intensively weathered horizons (interglacial periods), are, however, intermediate compared with those of Siberia and China. This property allows us to suggest the existence of a third model of susceptibility behaviour related to changes of Quaternary paleoclimate: that of strong winds modified by pedological processes at middle latitudes.

**Key words:** Buenos Aires Formation, Ensenada Formation, Paleomagnetism, Paleoclimate, Paleoenvironment

## Introducción

La cantera de Juárez, se halla ubicada en el sector suroeste del partido de La Plata, provincia de Buenos Aires, a una cota de 15 m s.n.m. (Fig.1). Las calles 614, 619, 1 y 115, definen los límites de la cantera, la cual tiene una superficie de apertura de unos 50.000 m<sup>2</sup> y una profundidad promedio de 13 metros.

La unidad geológica más antigua, Formación Ensenada, está constituida esencialmente por limos, con cantidades subordinadas de arena y arcilla. En los horizontes de paleosuelos y facies paleolagunares se produce un incremento de la fracción más fina, la parte cuspidal está representada por un paleosuelo (horizonte Bt) bioturbado. La Formación Buenos Aires sobreyace en discordancia erosiva a la anterior. Riggi *et al.* (1986), consideran que el

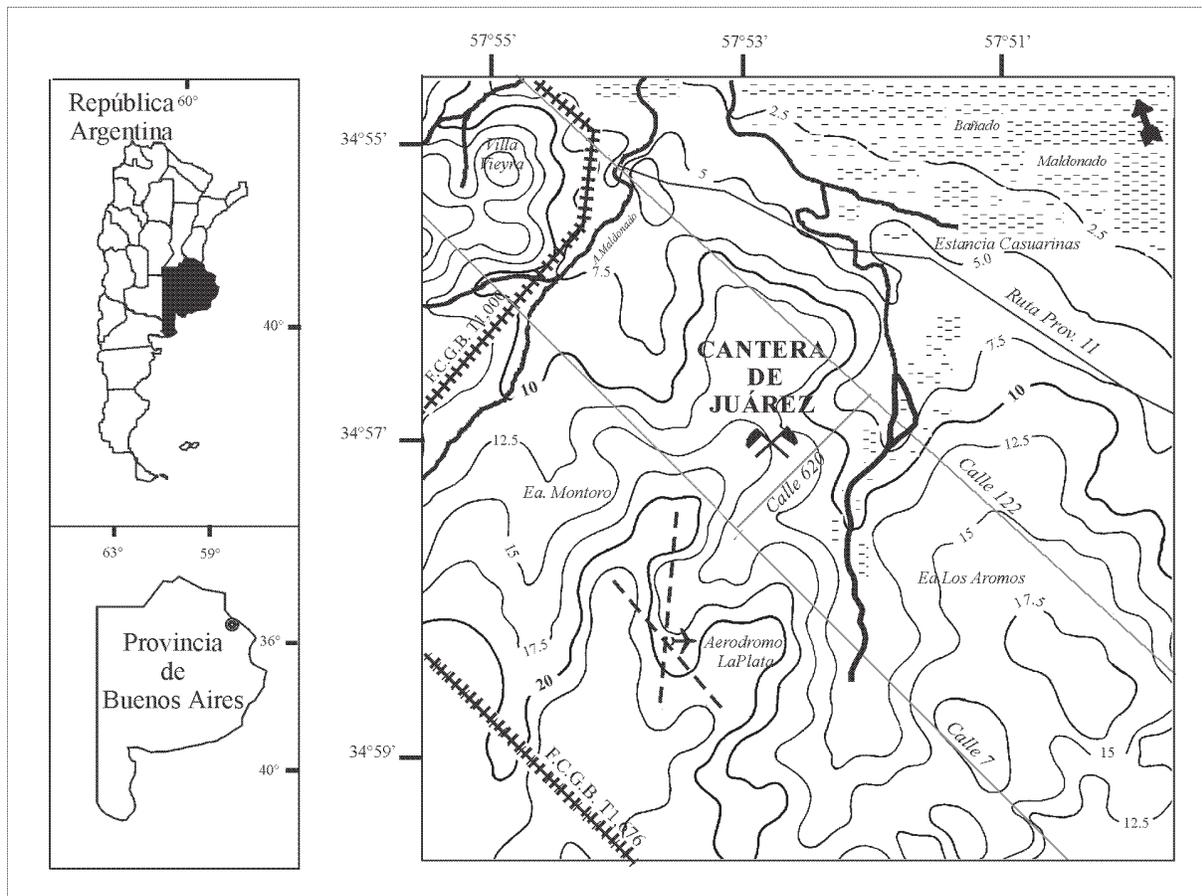


Figura 1: Mapa de ubicación de la cantera de Juárez, provincia de Buenos Aires.

pasaje entre ambas formaciones también puede ser transicional, no obstante, nuestras investigaciones evidencian que la discordancia erosiva es muy clara si existe el paleosuelo del tope de la Formación Ensenada (Bidegain y Rico 2002). En los lugares donde el paleosuelo fue erosionado, queda un relicto de tosca muy dura, que dificulta la visualización de la discordancia. De acuerdo a Pascual *et al.* (1965), la unidad más antigua del Pampeano es de edad mamífero Ensenadense y la más joven de edad mamífero Lujanense.

Los resultados obtenidos -zonaciones de magnetopolaridad Brunhes / Matuyama y registros de susceptibilidad magnética- en la cantera de Juárez, son consistentes con los de otras localidades estudiadas en la región (Bidegain 1991, 1998; Bidegain *et al.* 2001, 2003).

### Metodología del trabajo

A partir de la observación de campo se diferenciaron las distintas unidades geológicas que fueron muestreadas para realizar análisis magnéticos, sedimentológicos, mineralógicos y químicos.

Mediante utilización de brújula geológica y saca-testigos de sección cuadrada de hidrobronce, se obtuvieron muestras orientadas y representativas de cada horizonte

sedimentario, excepto de la unidad J5 indicada en el perfil geológico de la figura 2, que no pudo ser muestreada. El material se colocó en cubos de plástico de 8 cm<sup>3</sup> para posteriormente realizar las mediciones del magnetismo remanente natural (m.r.n) y la desmagnetización por campos alternos (c.m.a), a los fines de evitar el movimiento de las partículas, se adicionó un pegamento no magnético (plasticola). Paralelamente, mediante el hincado de tubos de hidrobronce sobre la pared del perfil geológico, se extrajeron muestras para desmagnetización térmica. El trabajo de campaña, se hizo con ayuda de un susceptibilímetro marca Bartington MS2 que proporciona los valores de susceptibilidad volumétrica en unidades CGS y en unidades SI. Estas mediciones se efectuaron a equidistancias de 5 y 10 centímetros. También, se extrajo material para medición de la susceptibilidad en relación a la masa, en alta y baja frecuencia. Un juego de muestras paleomagnéticas fue medido en la Universidad de Buenos Aires y otro en la de Edmonton en Alberta, Canadá.

### Perfil geológico y magnetoestratigrafía

La secuencia geológica está constituida por una alternancia de loess y paleosuelos con facies paleolagunares, tanto en el Ensenadense como en el Bonaerense, en el

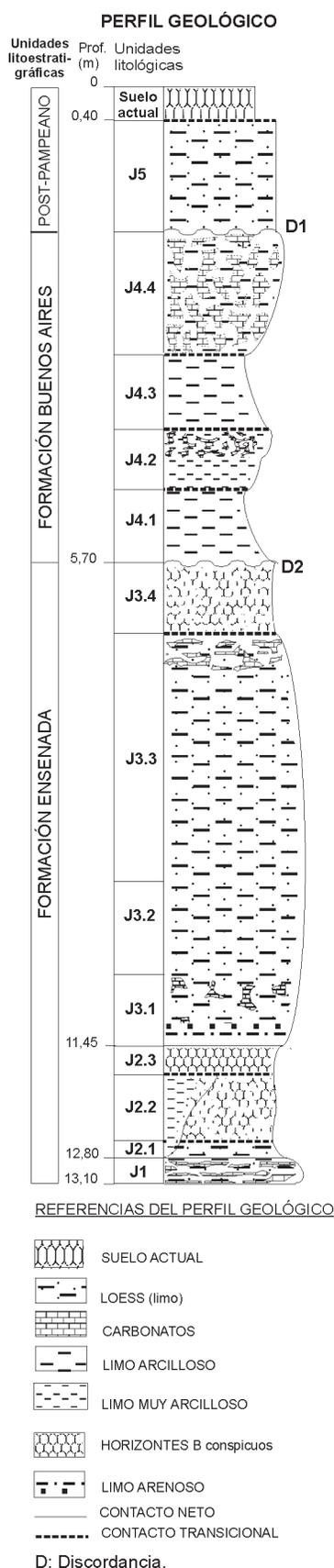


Figura 2: Perfil geológico de la cantera de Juárez.

sentido de Frenguelli (1957). Las facies carbonáticas presentan niveles de tosca silicificados, muy duros en el Ensenadense y concreciones de diferente tamaño, forma y dureza, aunque generalmente más blandas, en el Bonaerense. En primer lugar, se diferenciaron las formaciones geológicas y los ciclos depositacionales y post-depositacionales (Fig. 2). Las unidades informales (u) y subunidades (su) se designaron con letras y números, conforme se indica en la misma figura. Las u se encuentran separadas entre sí por contactos netos concordantes, a excepción del contacto entre las u J3-J4 y J4-J5, donde es neto discordante. Las subunidades están separadas por contactos transicionales y difusos.

La u J1 (basal), está compuesta por un limo arenoso de color castaño claro y costras calcáreas, laminares, subhorizontales, de gran dureza, generadas por variaciones en los niveles freáticos.

La u J2, integrada por sedimentos limo arcillosos, constituye un paleosuelo en el que es posible diferenciar tres horizontes, Bt<sub>1</sub>, Bt<sub>2</sub> y BC (J2.3, J2.2 y J2.1 respectivamente), frecuentemente reemplazados lateralmente por facies paleolagunares con nódulos de arcilla gris-verdosos, con tintes anaranjados.

La u J3, está constituida por un sedimento básicamente limoso (loess), muy potente (5,75 m), escasamente meteorizado, de color castaño claro. La su J3.1, es un paleosuelo limo arcilloso de escaso desarrollo pedogenético (horizonte BC), con concreciones de carbonato de calcio muy duras y de distinta forma y tamaño. La su J3.2 es un loess (horizonte C), limo arenoso, masivo y sin carbonatos. La su J3.3, es más compacta debido a un incremento en el contenido de arcilla y presenta niveles carbonáticos en la parte superior. La su J3.4, es un horizonte Bt de paleosuelo, estructurado en prismas grandes, bioturbado, parcialmente erosionado, de color castaño rojizo y con barnices de óxidos ferromanganesíferos. La Formación Buenos Aires, se apoya en discordancia erosiva sobre la su J3.4 de la Formación Ensenada. Está integrada por sedimentos limo arcillosos loessoides, con estructura superficial en poliedros, de color castaño rojizo, aunque también se observan, niveles más arcillosos de facies paleolagunares con coloración gris verdosa (su J4.2), con abundantes pátinas y concreciones de hierro y manganeso. En el tope de J4.2 y en J4.4, se diferencian dos niveles carbonáticos bien definidos, de color blanquecino, poco compactos y de aspecto pulverulento. La u J5 corresponde a los sedimentos del post-pampeano que se apoyan en discordancia sobre los sedimentos pampeanos. Es un material loésico de color castaño claro, de textura limo arcillosa, muy duro, estructurado en prismas grandes, ligeramente más arenoso hacia el techo y con carbonato de calcio diseminado. La presencia de pátinas, moteados y concreciones de óxidos de hierro y manganeso (pisolitas), es frecuente en las u J1, J2, J4 y ambientes paleolagunares. En la su J4.2, se hallaron pisolitas de hasta 5 mm de diámetro, que fueron estudiadas por microscopía. Estas concreciones poseen en su interior, granos de magnetita de tamaños variables, de 7 µm de diámetro los menores y 31,35 µm los mayores.

Los paleosuelos no presentan el perfil completo, ya que en todos los casos los horizontes eluviales se encuentran ausentes. No se descarta el enmascaramiento del horizonte A en ciertos niveles. Según Birkeland (1984), en suelos enterrados, la materia orgánica generalmente se pierde, lo cual hace que el horizonte A no pueda ser reconocido ni por su color, ni por su contenido orgánico. Se interpreta que los procesos pedogenéticos que tuvieron lugar luego de la depositación del sedimento, afectaron tanto a la totalidad de dicho material, como así también, a la parte superior del paleosuelo subyacente.

En la figura 3a se indica el perfil geológico, la declinación, inclinación e intensidad del m.r.n y la magnetoestratigrafía obtenida. Las direcciones magnéticas tienen escasa dispersión en la parte superior del perfil (zona normal de Brunhes) y gran dispersión en la base, parte superior de la zona reversa de Matuyama, donde la intensidad del m.r.n decrece en los niveles más afectados por la meteorización.

El comportamiento de las direcciones del m.r.n, previo a la desmagnetización, en el perfil de Juárez, es común a todos los perfiles paleomagnéticos realizados en la región, por lo cual constituye una primera aproximación a la determinación del límite Brunhes / Matuyama.

La desmagnetización por c.m.a se realizó a partir de 5 mT y el campo pico aplicado varió entre 60 y 100 mT. Las redes estereográficas de la figura 3b, indican las direcciones de muestras de polaridad reversa de la base de la cantera (u J1 y J2). En los diagramas de Zijderveld, se observa la presencia de componentes magnéticas viscosas, blandas, que se eliminaron a campos bajos de 5 y 10 mT.

### Susceptibilidad magnética, estado de oxidación del hierro, ambientes

Mediante el empleo de un susceptibilímetro de campo, se efectuaron mediciones a equidistancias de 5 y 10 cm a lo largo de todo el perfil. De esta manera, los valores de susceptibilidad volumétrica ( $k$ ) obtenidos durante el trabajo de campaña, permitieron definir con mayor exactitud el contacto entre las distintas unidades litológicas. En la figura 4, se indican los valores de susceptibilidad másica ( $\chi$ ), del factor F ( $\chi_{df}$ ) y las curvas de variación del contenido en % de  $Fe_2O_3$  y de FeO.

En la u J1, los valores de  $\chi$  son elevados y disminuyen paulatinamente hacia el techo desde  $140$  a  $50 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$ . En la u J2, varían entre 34 (horizonte Bt) y  $50 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$  (horizonte BC). La u J3, presenta los valores de  $\chi$  más elevados de todo el perfil, registrándose el pico máximo ( $189 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$ ) dentro de la su J3.2. El paleosuelo J3.4 (horizonte Bt), muestra valores más bajos en la base y parte media (entre  $90$  y  $110 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$ ) y más elevados en el techo (entre  $150$  y  $165 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$ ). En la Formación Buenos Aires, los valores oscilan entre  $11 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$  (valores mínimos) y  $80 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$  (valores máximos). Los mínimos, se registraron en la su J4.2, los máximos, en la base de la su J4.1 y en la del suelo actual. El comporta-

miento de la curva de susceptibilidad magnética, refleja una menor dispersión de los valores en la Formación Buenos Aires.

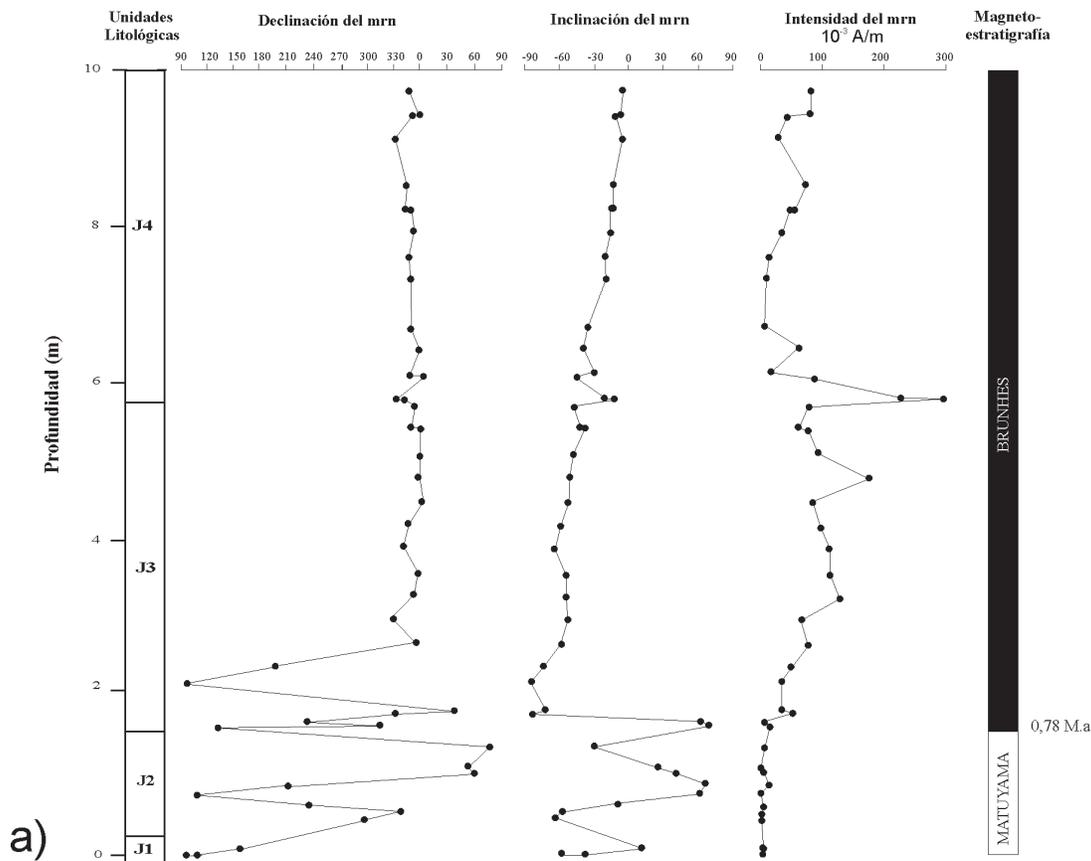
La susceptibilidad dependiente de la frecuencia, o factor F, se define como:  $\chi_{f=} (\chi_{470 \text{ Hz}} - \chi_{4700 \text{ Hz}} / \chi_{470 \text{ Hz}}) \times 100$ . El incremento de este factor ha sido utilizado en la estimación de la presencia de magnetita superparamagnética, en tamaños menores a 30 nm (Maher y Thompson 1991). En las distintas capas analizadas de la cantera de Juárez, dicho factor, varía entre 0 % y 6,45 %, en algunos niveles con granulometría más fina (B arcillosos) existirían minerales magnéticos muy pequeños a quienes podríamos atribuir el incremento de F por encima del 4 %. Contrariamente, los horizontes menos afectados por meteorización (horizontes BC a C) tienen menor diferencia de registro en alta y baja frecuencia y se ubican por debajo de 2 %.

El porcentaje de  $Fe_2O_3$  a lo largo de todo el perfil varía entre 3,35 y 6,44 %, y el de FeO entre 0,05 y 0,89 %. Las concentraciones de FeO en los sedimentos asignados a la Formación Buenos Aires son bajas e indican condiciones de humedad elevada. En la base expuesta de la Formación Ensenada, la concentración de  $Fe^{+2}$  decrece a valores similares a los de la Formación Buenos Aires en relación con el desarrollo de un paleosuelo. Las variaciones de las concentraciones de  $Fe_2O_3$  se contraponen generalmente a las de FeO, las menores corresponden a los niveles de loess con menor grado de pedogénesis (tope de la subunidad J3.2) que a su vez coinciden con las concentraciones mayores de FeO.

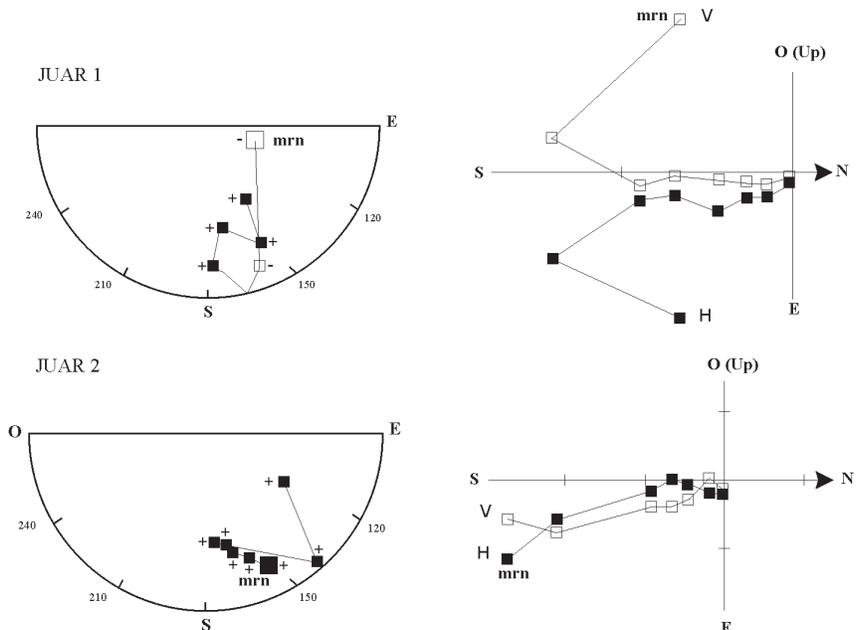
Se constata la estrecha relación entre la concentración de FeO, valores de susceptibilidad, grado de pedogénesis e intensidad de intemperismo, conforme a lo establecido en trabajos anteriores (Bidegain 1995, Bidegain *et al.* 2001). A medida que avanza la pedogénesis, el material parental (loess) se empobrece en hierro en su forma reducida, comportamiento que es más evidente en niveles intensamente meteorizados.

Parte del material recolectado fue utilizado en la separación granulométrica para análisis de minerales magnéticos, de acuerdo a la técnica propuesta por Walden *et al.* (1999).

La técnica consiste en separar al sedimento en tres fracciones granulométricas (mayor que 4 phi, entre 4 y 6 phi y más fina que 6 phi) y tiene por objeto, lograr que la mayor cantidad de pseudo-arenas y pseudo-limos formados por agregados de arcilla, sean disgregados antes de comenzar con el proceso de decantación. Por ello, propone la utilización de un equipo de ultrasonido que permite desagregar el sedimento sin romper los minerales y de una solución débil de amoníaco que actúa como dispersante químico y no destruye a los minerales de hierro, como ocurre con el HCL. Al concluir con la etapa de desagregación y dispersión, el sedimento se tamiza, vía húmeda, por tamiz 230 (0,062 mm), utilizando agua destilada. La fracción más gruesa que 4 phi (arenas = A) queda retenida, el pasante se recoge en un vaso de precipitado y se somete a una serie de decantaciones para obtener las fracciones entre 4 y 6 phi (limos gruesos y medianos = B) y más fina que 6 phi (limos finos, muy finos, arcillas y coloides = C), utilizando los tiempos de la ley de Stokes.



a)

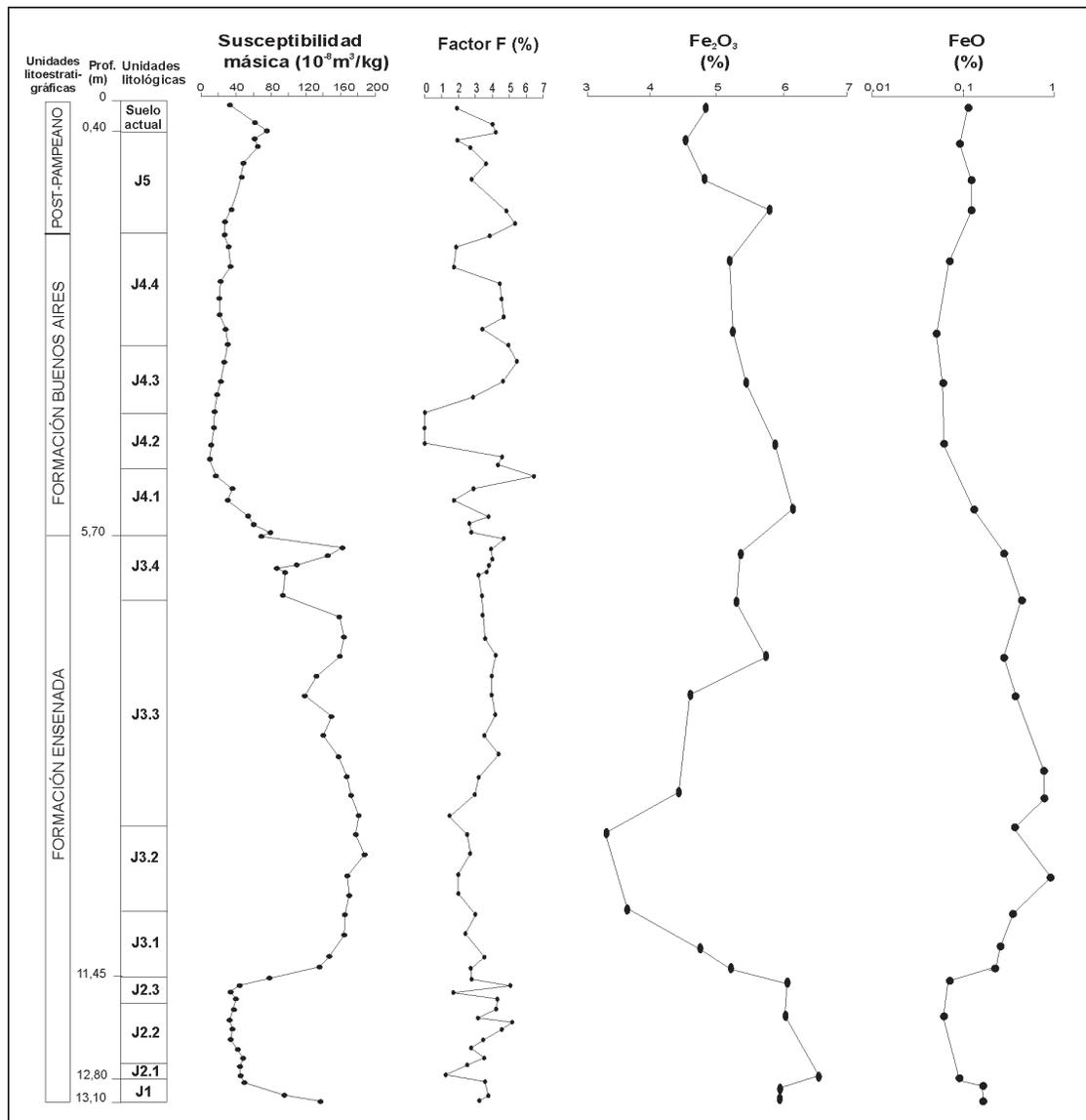


**Referencias:**

b)

- inclinación negativa
- + inclinación positiva
- V componente vertical
- H componente horizontal
- mrn: magnetismo remanente natural

**Figura 3:** a) Magnetoestratigrafía de la cantera de Juárez. Valores direccionales (declinación e inclinación) y no direccionales (intensidad) del magnetismo remanente natural (mrn) en relación con el perfil geológico. b) Redes estereográficas y diagramas de Zijderveld de dos muestras de polaridad reversa de la cantera de Juárez.



**Figura 4:** Cuadro comparativo entre valores de susceptibilidad máscica ( $\text{m}^3/\text{kg}$ ), factor F (%) y porcentajes de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  y FeO del perfil geológico de la cantera de Juárez.

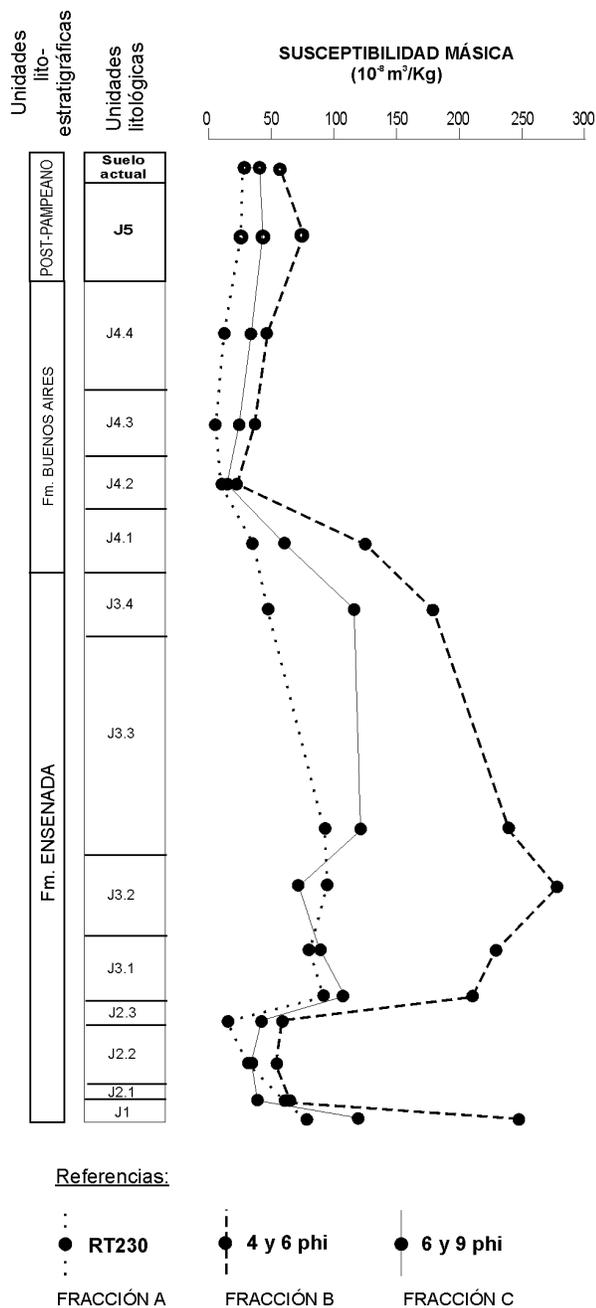
De cada fracción, se midió la  $\chi$  en alta y baja frecuencia y se determinó el factor F. En todas las muestras, los valores más elevados de  $\chi$  en baja frecuencia se registraron en la fracción que denominamos B, y a su vez, la diferencia entre la fracción B y las otras dos (A y C) es más significativa en los sedimentos menos pedogenizados (Fig. 5). En el loess (u J1 y J3), los valores de  $\chi$  más elevados varían entre  $182$  y  $275 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$  en la fracción B, y los más bajos, entre  $83$  y  $94 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$  en la fracción A, es decir, en las arenas. En J2 se produce un decrecimiento marcado de los valores de las tres fracciones, los más bajos ( $16 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$ ) se registraron en el horizonte  $\text{Bt}_1$  (fracción A), un comportamiento similar se constata en todos los niveles analizados de la Formación Buenos Aires.

A partir de estos análisis, se deduce que la mayor cantidad de los granos magnéticos presentes en loess y

paleosuelos de las formaciones loésicas de la región de La Plata, tienen un tamaño de grano entre 4 y 6  $\phi$ .

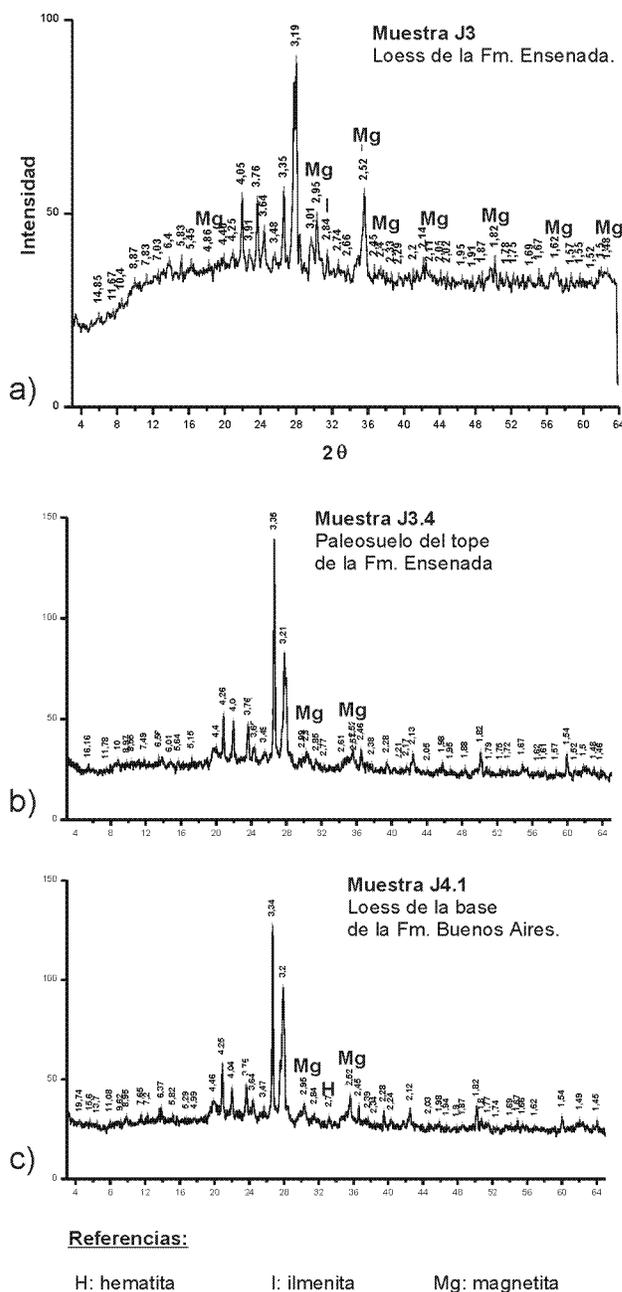
### Los minerales magnéticos de las secuencias loésicas de la región pampeana

Los difractogramas de rayos x (DRx) del concentrado magnético de muestras totales (Fig. 6), indican la existencia de magnetita, ilmenita y hematita. La figura 6a, corresponde al material parental (loess) menos pedogenizado de la Formación Ensenada, la figura 6b, al paleosuelo del tope de la misma y la figura 6c, a los niveles limo arcillosos de la base de la Formación Buenos Aires. De los resultados obtenidos surgen similitudes y diferencias entre los sedimentos de una y otra formación y entre los distintos



**Figura 5:** Valores de susceptibilidad másica de las tres fracciones granulométricas separadas según el método propuesto por Walden *et al.* (1999). Fracción A: menor a 4 phi (retenido tamiz 230); fracción B: entre 4 y 6 phi; fracción C: mayor a 6 phi.

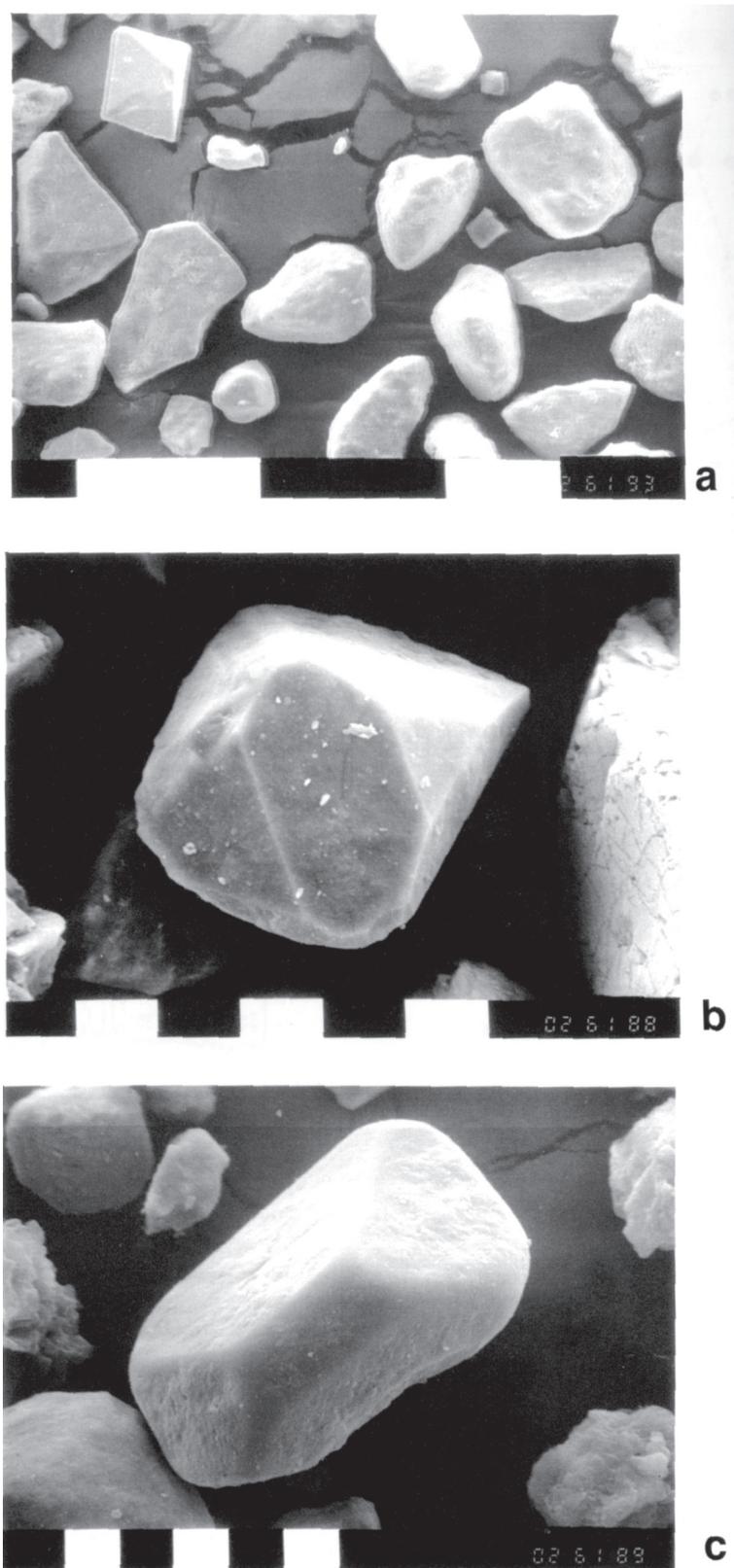
ambientes sedimentarios. La mejor definición de los picos de la magnetita se obtuvo en el loess de la Formación Ensenada (Fig. 6a), en los mismos niveles en que los valores de susceptibilidad magnética son más elevados, al igual que la concentración del hierro en su forma reducida (FeO 0,89 %) conforme a lo establecido en trabajos anteriores (Bidegain *et al.* 1995 y Bidegain 1998). Este comportamiento se debe a un mejor grado de cristalinidad de la magnetita. La hematita, ilmenita y goethita, pueden ser determinados por DRx y en menor medida otros oxihidró-



**Figura 6:** Difractogramas de rayos x del concentrado magnético de tres muestras representativas de la cantera de Juárez. **a)** DRx del loess de la Formación Ensenada. **b)** DRx del paleosuelo del tope de la Formación Ensenada. **c)** DRx del loess de la base de la Formación Buenos Aires.

xidos del tipo lepidocrocita, akaganeita o ferrihidrita, aunque generalmente constituyen formas metaestables. La gran variación vertical y lateral en la concentración de estos oxihidróxidos genera la diferencia de registro mediante cualquier tipo de técnica aplicada (Bidegain *et al.* 1996). Los espectros Mössbauer (Terminiello *et al.* 2001), en sedimentos de la cantera de Gorina, también indican una mejor definición de la magnetita en loess que en paleosuelos.

Mediante microscopio electrónico de barrido (SEM 505) y microanalizador de rayos X dispersivo en energías



**Figura 7:** Cristales de magnetita e ilmenita observados mediante microscopía electrónica de barrido, SEM 505. **a)** Cristal octaédrico de magnetita hacia el ángulo superior izquierdo (350 aumentos, escala 100 μm); **b)** cristal rombododecaédrico de magnetita (1500 aumentos, escala 10 μm); **c)** cristal romboédrico de ilmenita (1000 aumentos, escala 10 μm).

(EDAX), se analizaron concentrados magnéticos de la facción limos gruesos a medianos. Por esta vía, se determinó la presencia de cristales de magnetita ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) y también de ilmenita ( $\text{FeTiO}_3$ ). En la figura 7a, se observan cristales de magnetita, algunos de ellos con formas octaédricas bien definidas (ángulo superior izquierdo) y otros redondeados. En la figura 7b, un cristal rombododecaédrico de magnetita y en 7c uno de ilmenita. Los elementos metálicos que forman parte de la estructura cristalina de los minerales concentrados magnéticamente, son fundamentalmente el hierro (Fe) y el titanio (Ti), como se indica en las figuras 8a y 8b. La primera, corresponde al espectro EDAX sobre un cristal de ilmenita y la segunda, sobre uno de magnetita. Mediante la técnica empleada, se observó que la mayoría de los cristales magnéticos concentrados son de forma octaédrica. Éstos evidencian un pico predominante de Fe, acompañado por otro muy pequeño de titanio (Fig. 8b), por tal razón, se infiere que la composición de los minerales magnéticos predominantes corresponde a la serie de las titanomagnetitas, aunque muy próximos al extremo de la serie (magnetita).

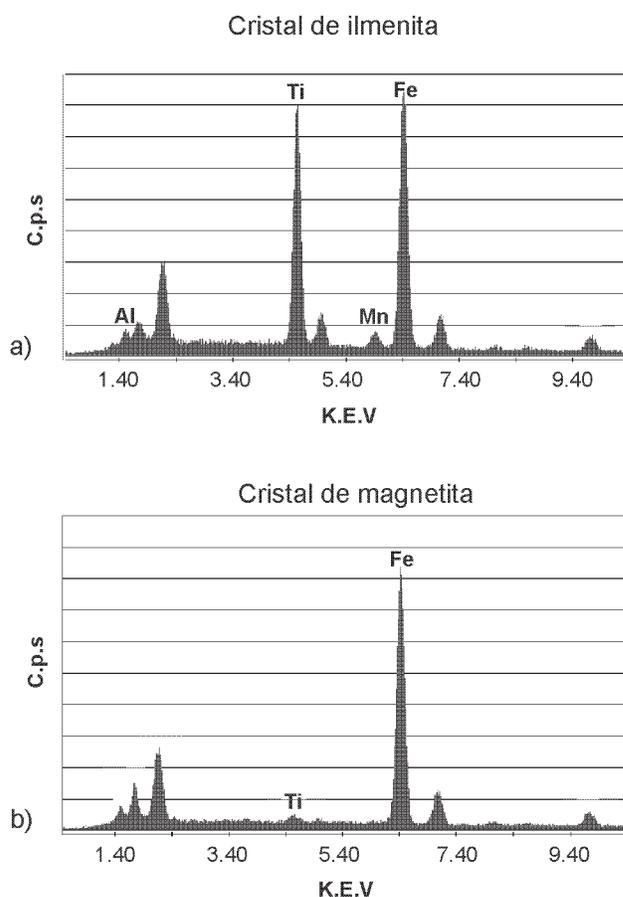
## Discusión

Los registros de susceptibilidad magnética en la cantera de Juárez, son consistentes con los de otras localidades estudiadas en la región (Bidegain 1998, Bidegain *et al.* 2001, 2003).

Orgeira *et al.* (1998) y Vásquez *et al.* (1998), en loess de la provincia de Buenos Aires, así como Schellenberger *et al.* (2002) en loess de la provincia de Tucumán, consideran que el comportamiento de la susceptibilidad sería opuesto al modelo de China (Maher y Thompson 1991, Heller *et al.* 1991, Heller y Evans 1995). En una primera aproximación, podemos decir, que esa sería la tendencia debido al aporte eólico de minerales magnéticos en períodos de clima seco. No obstante, los estudios realizados en las canteras de Gorina, El Cristo (Bidegain *et al.* 2003) y en la presente de Juárez, evidencian que los valores de la susceptibilidad dependiente de la frecuencia, se encuentran en una posición intermedia entre los de China (valores altos) y Siberia (valores bajos). Los primeros, indicados como resultado de los procesos pedogenéticos (*pedogenesis model*) y los segundos, como resultado de los vientos fuertes (*wind vigorous model*).

En el plateau de loess de la Argentina, se daría una combinación de ambos modelos, que en realidad sería el resultado de tres procesos distintos sobre el material eólico (loess). Por un lado, un importante aporte ferromagnético eólico en períodos glaciales (tipo modelo de los fuertes vientos), por otro, pedogénesis bajo condiciones de humedad, y tercero, pedogénesis (moderada) durante períodos de clima relativamente más seco (glaciales). Esto último, generaría valores elevados de susceptibilidad en horizontes B y BC, no muy diferentes a los valores del horizonte C.

En el presente trabajo, se establece la relación de los valores de susceptibilidad con las concentraciones de



## Referencias:

**Fe:** Hierro  
**Ti:** Titanio  
**C.p.s:** cuentas por segundo  
**K.E.V:** kilo electrón volt

**Figura 8:** Espectros EDAX de minerales de hierro de la cantera de Juárez. a) Espectro EDAX de un cristal de ilmenita; b) espectro EDAX de un cristal de magnetita.

$\text{FeO}$ . Al igual que en trabajos anteriores (Bidegain 1998, Bidegain *et al.* 1995, 1996, 2001), se observa que los horizontes gris verdosos (*gley*) tienen los valores de susceptibilidad e intensidad más bajos del perfil. Esto se atribuye a la descomposición de silicatos y óxidos de hierro con pérdida del  $\text{Fe}^{+2}$  por lixiviación. Los resultados obtenidos en dichos trabajos, que se fundan en datos concretos derivados del análisis químico, contradicen conceptos anteriores.

Los análisis químicos realizados en los perfiles de La Plata y Mar del Plata, indican que el  $\text{Fe}^{+2}$  determinado químicamente como  $\text{FeO}$  se incrementa en los sedimentos castaños (loess) menos meteorizados y decrece en los sedimentos más intensamente meteorizados por acción del agua. Los mayores contrastes en susceptibilidad y en concentración de  $\text{FeO}$  se evidencian entre el material parental y los ambientes hidromórficos gris verdosos

(gley), en tanto que los horizontes B de paleosuelos presentan valores algo más elevados que los niveles gley (Bidegain *et al.* 2001). Por lo tanto, inferir el estado de oxidación del Fe en estos sedimentos, a partir del color, se convierte en lo que Bachelard (2000) considera obstáculo epistemológico. El cual, dificulta la profundización de la investigación de los factores geoquímicos que generaron la permanencia del color, a pesar del estado de oxidación del hierro en la actualidad.

Esta disminución del Fe<sup>2+</sup> está íntimamente relacionada con la descomposición de la magnetita, por el contrario, el incremento de la misma en los loess menos pedogenizados, siempre se relaciona con el aumento del FeO determinado químicamente. Por otra parte, mediante espectroscopía Mössbauer en sedimentos del Pleistoceno de la cantera de Gorina (La Plata), Terminiello *et al.* (2001) encuentran que existe una mejor definición del espectro de los minerales magnéticos en el loess que en el paleosuelo. Los autores arriban a esos resultados a partir de utilizar un equipo INPROSYS® Modelo L/P 10-30, que permite separar el sedimento en tres fracciones: magnética, paramagnética y diamagnética.

## Conclusiones

- Los sedimentos de la Formación Buenos Aires son de polaridad normal (cron Brunhes) y los sedimentos de la Formación Ensenada son de polaridad reversa en la base (cron Matuyama) y normal en el tope (Brunhes).

- Los minerales portadores de la remanencia en los sedimentos pampeanos de la región de La Plata, son las titanomagnetitas. En todas las muestras analizadas mediante EDAX, la participación del hierro es predominante, el segundo lugar en importancia lo ocupa el titanio.

- El modelo de comportamiento de los parámetros magnéticos es generado en primera instancia por los fuertes vientos. El material parental (loess) presenta los valores más elevados de susceptibilidad ( $\chi = 189 \times 10^{-8} \text{ m}^3 / \text{kg}$ ).

- La mayor cantidad de los granos magnéticos en loess y paleosuelos de las formaciones loésicas de la región de La Plata, tienen un tamaño de grano entre 4 y 6  $\phi$ . Esta fracción posee los valores más elevados de susceptibilidad másica ( $275 \times 10^{-8} \text{ m}^3 / \text{kg}$ ), lo cual se asocia con un período seco (glacial).

- Los valores más bajos, inferiores a  $50 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$ , se registran en los sedimentos sometidos a meteorización intensa (interglacial).

- En el loess de la Argentina, existiría un tercer modelo de comportamiento de la susceptibilidad que no se corresponde con el modelo de Siberia ni con el de China: el modelo de los fuertes vientos modificado por los procesos pedogenéticos en latitudes medias.

## Agradecimientos

Los autores agradecen a la Comisión de Investigaciones Científicas de la provincia de Buenos Aires y al labo-

ratorio de Paleomagnetismo de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la UBA.

## TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- Bachelard, G., 2000. La Formación del Espíritu Científico. Contribución a un Psicoanálisis del Conocimiento Objetivo, 23ª Edición, Editorial Siglo XXI, 302 p. México.
- Bidegain, J.C., 1991. Sedimentary development, magnetostratigraphy and sequence of events of the Late Cenozoic in Entre Ríos and surrounding areas in Argentina. Ph.D. thesis, Stockholms University. Akademityck AB, 128 p., Edsbruk.
- Bidegain, J.C., 1998. New evidence of the Brunhes/Matuyama polarity boundary in the Hernández-Gorina Quarries, north-west of the city of La Plata, Buenos Aires Province, Argentina. Quaternary of South America and Antarctic Peninsula 11(12): 207-229.
- Bidegain, J.C. y Rico, Y., 2002. Geología y registros de susceptibilidad magnética en sedimentos de polaridad normal (Brunhes) y reversa (Matuyama) de la cantera de Juárez, Partido de La Plata, Provincia de Buenos Aires. XV Congreso Geológico Argentino (El Calafate) Actas 1: 139-143.
- Bidegain, J.C., Pavlicevic, R., Iasi, R. y Pérez, R. H., 1995. Correlación de parámetros magnéticos con la concentración de óxido ferroso en sedimentos Cuaternarios de la localidad de Hernández, La Plata, Pcia. de Buenos Aires. IV Jornadas Geológicas y Geofísicas Bonaerenses, Actas: 177-185, Junín.
- Bidegain, J.C.; Pavlicevic, R.; Iasi, R.R. y Pérez, R.H. 1996. Susceptibilidad Magnética y Concentraciones de FeO en Loess y Paleosuelos Cuaternarios como Indicadores de Cambios Paleoambientales y Paleoclimáticos. XIII Congreso Geológico Argentino y III Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Actas 2: 521-535.
- Bidegain, J.C., van Velzen A. y Rico Y., 2001. Parámetros magnéticos en una secuencia de Loess y Paleosuelos del Cenozoico tardío en la Cantera de Gorina, La Plata: su relevancia en el estudio de los cambios paleoclimáticos y paleoambientales. Revista de la Asociación Geológica Argentina 56(4): 503-516.
- Bidegain, J.C., Evans, T. y Rutter, N., 2003. Magnetoclimatological Investigations in Argentinian loess, UNESCO, WAC, Conference, Camberra, Australia (15-18 Jan).
- Birkeland, P.W., 1984. Soil and Geomorphology. Oxford University press. 372 p. New York.
- Frenguelli, J., 1957. Geografía de la República Argentina. Neozoico. Sociedad Argentina de Estudios Geográficos. GAEA II, Tercera Parte: 1-218, Buenos Aires.
- Heller, F. y Evans, M.E., 1995. Loess magnetism. Reviews of Geophysics 33(2): 211-240.
- Heller, F., Liu, X., Liu, T.S. y Tongchun, X., 1991. Magnetic susceptibility of loess in China. Earth and Planetary science Letters 103: 301-310.
- Maher, A.B. y Thompson, R., 1991. Mineral magnetic records of the Chinese loess and paleosols. Geology 19: 3-6.
- Orgeira, M.J., Walter, A.M., Vásquez, C.A., Di Tommasi, I., Alonso, S., Sherwood, G., Hu, Y. y Vilas, J.F., 1998. Mineral magnetic record of paleoclimate variation in loess and paleosol from the Buenos Aires formation (Buenos Aires, Argentina), Journal of South American Earth Sciences 11(6): 561-570.
- Pascual, R., Ortega Hinojosa, E.J., Gondar, D. y Tonni, E., 1965. Las edades del Cenozoico mamalífero de la Argentina con especial atención a aquellas del territorio bonaerense. Anales Comisión Investigaciones Científicas Provincia Buenos Aires 6: 165-193.
- Riggi, J.L., Fidalgo, F., Martínez, O.R. y Porro, N.E., 1986. Geología de los "Sedimentos Pampeanos" en el Partido de La Plata. Revista de la Asociación Geológica Argentina 41(3-4): 316-333.

- Schellenberger, A., Heller, F. y Veit, H., 2002. Magnetostratigraphy and Magnetic Susceptibility of the La Carreras Loess-Paleosol Sequence in Valle de Tafi, Tucumán, NW Argentina, Paleoclimatic Significance. XV Congreso Geológico Argentino (El Calafate), Actas. Actas 1: 248-251.
- Walden, J., Oldfield, F. y Smith, J., 1999. Environmental Magnetism, a Practical Guide. Technical Guide 6. 243 p.
- Terminiello, L., Bidegain, J.C., Rico, Y. y Mercader R.C., 2001. Characterization of Argentine Loess and Paleosols by Mössbauer Spectroscopy. *Hyperfine Interactions* 136: 97-104.
- Vásquez, C., Walter, A.M., Orgeira, M.J., Di Tommaso, I.M., Lippai, H., Alonso, S. y Vilas, J.F.A., 1998. Magnetismo de rocas y su aplicación a paleosuelos: estudio piloto en una secuencia loess-paleosuelo de la región chaco-pampeana. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 53 (1): 83-90.

**Recibido:** 14 de abril, 2003

**Aceptado:** 7 de julio, 2004