

NUEVO ESTUDIO PALEOMAGNÉTICO Y DE MAGNETISMO DE ROCAS REALIZADO EN EL ENJAMBRE DE DIQUES BÁSICOS DE NICO PÉREZ-ZAPICÁN, URUGUAY

M. Cervantes-Solano^{1*}, L. Sánchez Bettucci², C. Gogorza³, A. Goguitchaichvili⁴,
J.J. Morales-Contreras⁴, A. Rapalini⁵.

¹ Laboratorio Interinstitucional de Magnetismo Natural, Escuela Nacional de Estudios Superiores
Unidad Morelia, UNAM, México

² Facultad de Ciencias, Universidad de la República, Uruguay

³ Centro de Investigaciones en Física e Ingeniería del Centro de la Provincia de Buenos Aires,
(CIFICEN-CONICET), Tandil, Argentina

⁴ Laboratorio Interinstitucional de Magnetismo Natural, IGUM-UNAM, Morelia, México

⁵ IGEBA, Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina

*e-mail: miguel_cervantes@enesmorelia.unam.mx

ABSTRACT

We report the results of a new paleomagnetic and rock magnetism study carried out in a basic dyke swarm exposed in the surroundings of Nico Pérez and Zapicán, in Lavalleja department, Uruguay. The dykes are mainly of basaltic composition, roughly oriented E-W to NW-SE. Previous studies suggest that the principal intrusion occurred during the Jurassic period. In order to constrain the temporal and geochronological context of these dike swarms, a total of 153 samples from 21 sites were collected. Rock-magnetic experiments indicate the presence of magnetite or titanomagnetite poor in titanium as the main carrier of magnetization. Consistent palaeomagnetic directions were successfully determined in 14 of the 21 sites yielding normal, intermediate and reverse polarities. The presence of inverse and intermediate polarities indicates that the intrusion of the dykes occurred during a long period pointing an age greater than the beginning of the Cretaceous Normal Superchron. The average directions, discarding apparently intermediate polarity sites, is $Dec = 183.7^\circ$, $Inc = 50.5^\circ$, $\alpha_{95} = 9.5^\circ$, $N = 11$ corresponding to a mean virtual geomagnetic pole of $P_{Lat} = 86.1^\circ$ S, $P_{Long} = 179^\circ$ E, $A_{95} = 10.2^\circ$. This direction agrees with other poles, of similar quality, proposed for the same region and age, however, due to the high dispersion, it overlaps with the paleomagnetic directions obtained for older formations.

Keywords: Paleomagnetism, Uruguay, Dikes, Nico-Pérez

RESUMEN

Reportamos los resultados de un nuevo estudio paleomagnético y de magnetismo de rocas realizado en un ejambre de diques básicos aflorantes en las cercanías de las localidades de Nico Pérez y Zapicán, en el departamento de Lavalleja, República Oriental del Uruguay. Se trata de diques de composición basáltica, sub-verticales, y de orientación predominante E-O a NO-SE. Estudios previos sugieren que la intrusión ocurrió durante el Jurásico. Con el objetivo de aportar mayores datos que permitan acotar el contexto temporal y geocronológico de los diques se recolectaron un total de 153 muestras provenientes de 21 sitios distribuidos a lo largo del afloramiento de los diques. Los experimentos de magnetismo de rocas indican la presencia de magnetita, o titanomagnetita pobre en titanio, como los principales portadores de la magnetización. Se determinaron direcciones paleomagnéticas consistentes en 14 de los 21 sitios, presentándose tanto polaridades normales, como intermedias y reversas. La presencia de polaridades inversas e intermedias indica que la intrusión de los diques ocurrió durante un largo periodo de tiempo, asegurando una edad mayor al inicio del Súper Cron Normal Cretácico. La dirección promedio de los diques es $Dec = 183.7^\circ$, $Inc = 50.5^\circ$, $\alpha_{95} = 9.5^\circ$, $N = 11$ con un polo geomagnético virtual promedio de $P_{Lat} = 86.1^\circ$ S, $P_{Long} = 179^\circ$ E,



$A_{95} = 10.2^\circ$. Este polo coincide con otros polos propuestos para la misma región y edad, sin embargo, debido a su dispersión, se traslapa con los polos adyacentes de mayor edad.

Palabras Clave: Paleomagnetismo, Uruguay, Diques, Nico-Pérez

1. Introducción

Los terrenos tectónicos de Piedra Alta y Nico Pérez en el Uruguay están separados por la zona de cizallamiento Sarandí del Yí (Sánchez Bettucci *et al.*, 2010). Estos terrenos se tienen intrusiones por distintos enjambres de diques básicos, uno de ellos el enjambre de diques básicos Zapicán (Bossi y Schipilov, 2004) que aflora cerca de las localidades de Nico Pérez y Zapicán, del departamento de Lavalleya en Uruguay. Lossada *et al.* (2014) describen a estos diques como de tipo basáltico, sub-verticales y con una orientación predominante E-O a NO-SE. En ese mismo trabajo se reporta también una edad radiométrica de 158 ± 3 Ma ($Ar^{39} - Ar^{40}$ en plagioclasa) y concluye que la intrusión sucedió durante el Jurásico Tardío. Esta determinación radiométrica difiere sustancialmente de edades previamente reportadas. Por ejemplo, Rivalenti *et al.* (1995) proponen una edad de 665 ± 203 Ma, mientras que Teixeira *et al.* (1999) propone una edad de 581 ± 13 Ma para la intrusión. Adicionalmente, Lossada *et al.* (2014) reportan los primeros datos paleomagnéticos que registran ambas polaridades del campo magnético terrestre indicando una edad mayor a los 118 Ma, que corresponde al del Súper Crón Normal Cretácico (SCNC) (Gradstein *et al.*, 2012). Finalmente, la posición polar reportada por Lossada *et al.* (2014) es consistente con la edad radiométrica obtenida apoyando una edad jurásica media a tardía para los diques.

2. Contexto Geológico y muestreo

El afloramiento de los diques básicos de Zapicán comprende un área de 30 km de largo por 10km de ancho, los cuales presentan un rumbo E-O a ONO-ESE principalmente. Estos diques intruyen al basamento paleoproterozoico del Complejo Valentines, constituido por rocas metamórficas (grado medio y alto) y por diversos cuerpos graníticos de posible edad neoproterozoica conocidos como los Grantoides Brasileños (Oyhantçabal *et al.*, 2011). En la parte oriental los diques atraviesan a una intrusión denominada Diorita Zapicán de 2.1 Ga (Lossada *et al.*, 2014), mientras que en la parte occidental atraviesan al Batolito de Illescas de 1.7 Ga (Fig. 1). Recientemente Oriolo *et al.* (2016) presentan una edad U-Pb (Zr) de 610.4 ± 2.5 Ma para un intrusivo granodiorítico-tonalítico de Zapicán. Lossada *et al.* (2014), a partir de un estudio de anisotropía de susceptibilidad magnética (AMS), establecieron que la dirección del flujo magmático dentro de los diques fue predominantemente subvertical. A fin de robustecer los datos paleomagnéticos aportados por Lossada *et al.* (2014) e intentar llevar a cabo pruebas de determinación de paleointensidades, se llevó a cabo un nuevo muestreo paleomagnético en este enjambre de diques. Durante el muestreo se reconocieron más de cien diques expuestos, sin embargo, las muestras fueron tomadas en aquellos que no mostraron evidencia de metamorfismo y que no se encontraban en contacto con la roca encajante. En total se tomaron 160 muestras paleomagnéticas estándar provenientes de 21 diques distintos.

3. Magnetismo de rocas

Con la finalidad de reconocer la naturaleza de los minerales responsables de la magnetización en las rocas estudiadas, se llevaron a cabo experimentos de susceptibilidad en función de la temperatura (curvas K-T), los puntos de Curie fueron determinados siguiendo el método de Gromme *et al.* (1969). En la mayoría (60%) de las muestras se observan dos fases durante el calentamiento y una sola durante el enfriamiento (Fig. 2A), la primera fase con una temperatura de Curie cercana a los 360° C y una segunda componente, la más significativa, con temperaturas de Curie de 560° C, que indican la presencia de titanomagnetita con

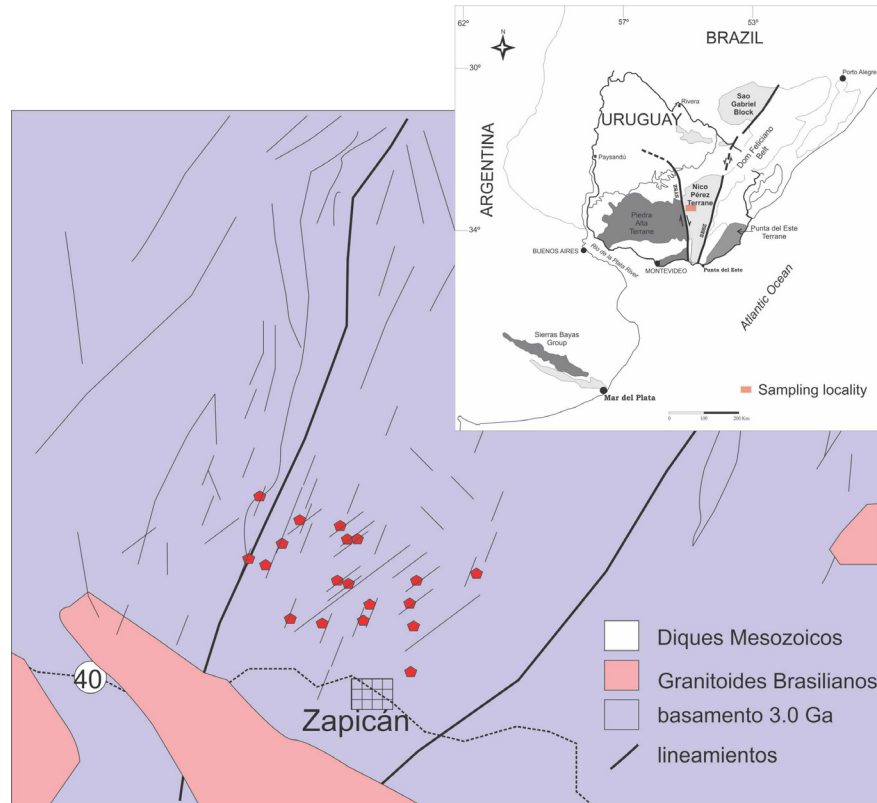


Figura 1. Mapa geológico simplificado de la región Nico Pérez-Zapicán y localización de los sitios estudiados, los polígonos de color rojo indican los sitios estudiados (adaptado de Lossada *et al.*, 2014)

alto y bajo contenido en titanio, respectivamente. Otro grupo importante de muestras (25%) presenta una sola fase ferromagnética con una temperatura de Curie alrededor de los 560° C compatible titanomagnetita con bajo contenido en titanio (Fig. 2B). En el resto de las muestras se aprecia la presencia de dos fases, una de ellas alrededor de los 260° C y otra alrededor de los 560° C, indicando posiblemente la coexistencia de titanohematita y de titanomagnetita (Fig. 2C). En todos los casos el comportamiento fue irreversible como consecuencia de la alteración producida durante el calentamiento.

También se realizaron experimentos de adquisición de magnetización remanente isotermal (IRM). Estos resultados indican que la totalidad de las muestras estudiadas tiene un comportamiento muy similar con una relativamente baja coercitividad alcanzando la saturación en campos menores a los 200mT, por lo que se confirma que los principales responsables de la magnetización en las muestras estudiadas son minerales ferrimagnéticos (titanomagnetita con bajo contenido de titanio o magnetita).

4. Medición de remanencia magnética

Después de medir la remanencia magnética natural (NRM) en todas las muestras de los 21 sitios, se realizó la desmagnetización por campos alternos y térmica. La mayoría de las muestras presentan una sola componente estable de magnetización (Fig. 3, muestra 94U098A) observada tanto en los tratamientos por campos alternos como de altas temperaturas. En otros casos se reconocen dos componentes (Fig. 3, muestra 94U069A), la primera de ellas es considerada de baja coercitividad y se alcanza a remover en los primeros pasos de la desmagnetización, la segunda componente se considera de alta coercitividad y presenta un comportamiento lineal que incluye al origen de coordenadas, lo que indica que se trata de la componente

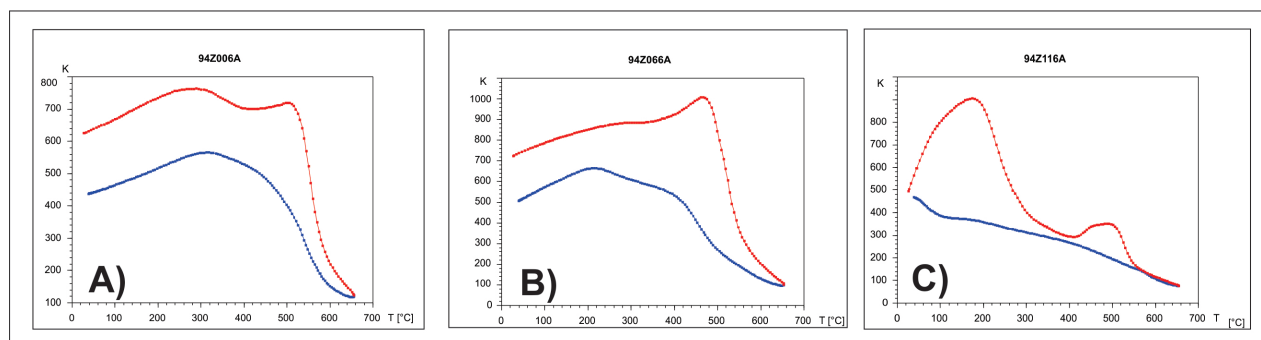


Figura 2. Curvas representativas de la susceptibilidad en función de la temperatura K-T. Las líneas de color rojo indican el comportamiento durante el calentamiento y las líneas en color azul durante el enfriamiento, la susceptibilidad se muestra en unidades arbitrarias.

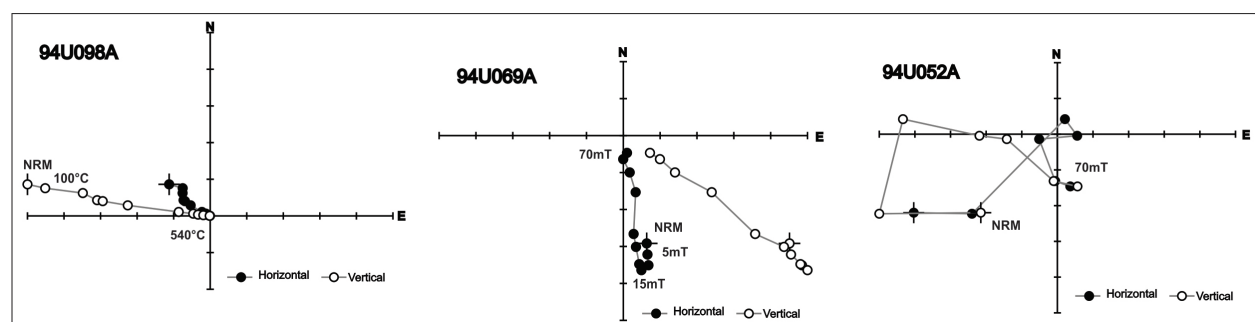


Figura 3. Diagramas de Zijderveld (1967) representativos de las muestras estudiadas.

principal. En una cantidad significativa de muestras (~20%) se observó un comportamiento incoherente durante los procesos de desmagnetización, por lo que no fue posible determinar sus componentes principales y fueron descartadas para el cálculo de los promedios (Fig. 3, muestra 994U052A).

5. Principales resultados

Luego de obtener las direcciones de la magnetización característica (ChRM) de los especímenes individuales, se obtuvieron las direcciones promedio para 14 de los sitios estudiados, de las cuales 8 son de polaridad normal, 3 de polaridad invertida y 3 de polaridad intermedia (Fig. 4A). A pesar de su significado paleomagnético, considerando la falta de un control geocronológico más preciso, los sitios de polaridad intermedia fueron descartados para el cálculo de los polos (Fig. 4B). Los sitios con polaridad invertida resultaron ser antipodales al promedio de los de polaridad normal, sin embargo, debido que solo son tres y a su elevada dispersión, el test de la inversión de McFadden y McElhinny (1990) resulta indeterminado. A pesar de esto, las direcciones de estos sitios se incluyeron tanto en el cálculo del promedio global como en el cálculo de los polos (Fig. 4C). La dirección promedio de los diques es $Dec = 183.7^\circ$, $Inc = 50.5^\circ$, $\alpha_{95} = 9.5^\circ$, $N = 11$, con una posición promedio del polo paleomagnético correspondiente de $P_{Lat} = 86.1^\circ S$, $P_{Long} = 179^\circ E$, $A_{95} = 10.2^\circ$. Esta posición es semejante a la obtenida en el estudio original de Lossada *et al.* (2014) como se puede observar en la Figura 4, donde se ubican ambos polos junto con aquellos de referencia calculados por Torsvik *et al.* (2008). Al compararlo a su vez con otros polos propuestos para la misma región y edad (Besse y Cortillot, 2002; Torsvik *et al.* 2008; Tamrat y Ernesto 2006; McElhinny y McFadden, 2000) resulta consistente, pero debido a su alto ángulo de incertidumbre, también se traslapa con otros polos de edades adyacentes. La presencia de polaridades inversas e intermedias corrobora las conclusiones de Lossada *et al.* (2014) de que la intrusión de los diques ocurrió durante un periodo extenso y una edad mayor al inicio



del Súper Cron Normal Cretácico y que la variación secular fue con alta probabilidad suficientemente promediada.

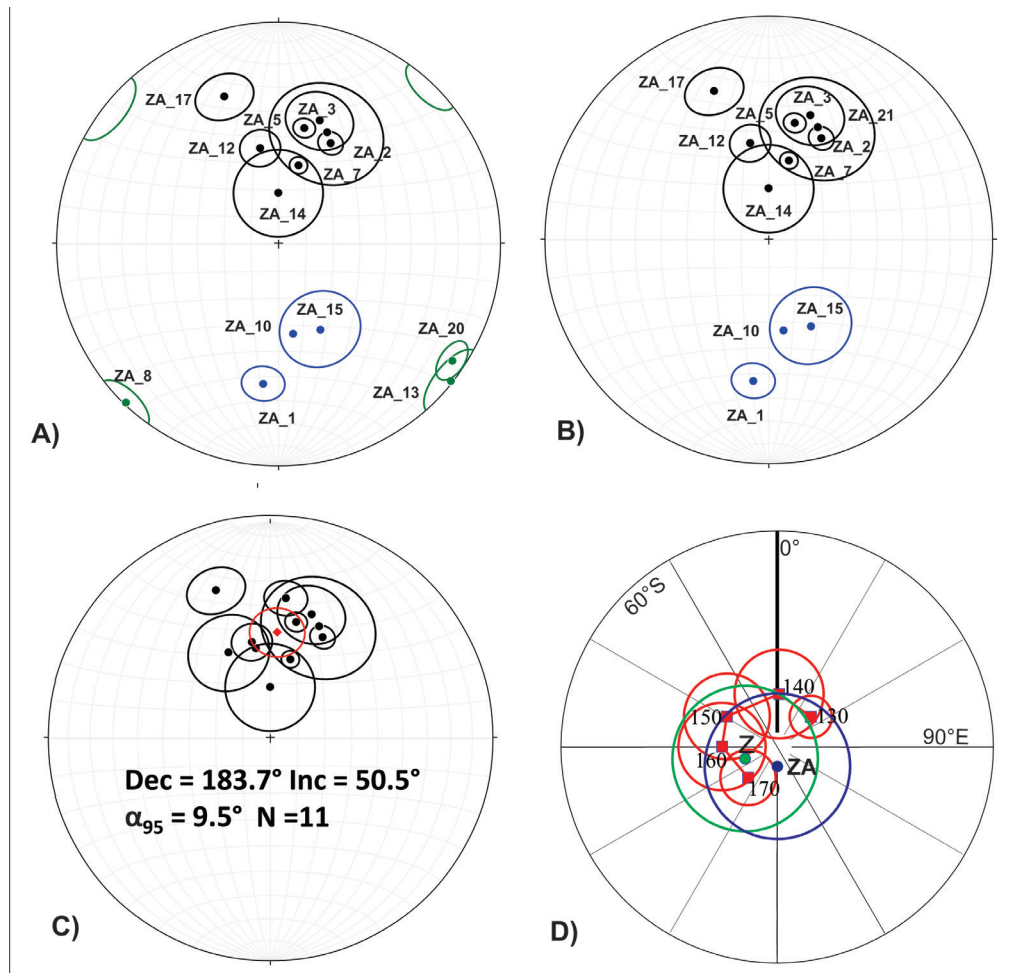


Figura 4. Direcciones características promedio por sitio. **A)** Direcciones promedio de todos los sitios, **B)** direcciones promedio descartando las polaridades intermedias, **C)** direcciones promedio de los sitios después de invertir convenientemente las polaridades, se indica también el promedio de Fisher, Dec. es la declinación magnética, Inc. es la inclinación magnética, N es el número de sitios utilizados para el promedio y α_{95} es el ángulo del 95% de confianza, **D)** Polo paleomagnético (ZA) calculado para el enjambre de diques de Zapicán, comparado con el obtenido por Lossada *et al.* (2014, Z) y los polos de referencia globales en coordenadas sudamericanas de Torsvik *et al.* (2008) en Ma.

Referencias

- Besse J. y Courtillot V., 2002. Apparent and true polar wander and the geometry of the geomagnetic field over the last 200 Myr. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth* 107, 1-31.
- Bossi J. y Schipilov A., 2003. Rocas básicas precámbricas del Uruguay. *Revista de la Sociedad Uruguaya de Geología* 10, 2-14.
- Gradstein F.M., Ogg J.G., Schmitz, M., Ogg G., (Editores), 2012. The geologic time scale 2012. Elsevier, Amsterdam, 1144 pp.
- Gromme, C. S., Wright, T. L., and Peck, D. L., 1969. Magnetic properties and oxidation of iron-titanium oxides in Alae and Makaopuhi lava lakes, Hawaii, *J. Geophys. Res.* 74, 5277-5293.



- McElhinny M.W. y McFadden, P.L., 2000. Paleomagnetism: continents and oceans, International Geophysics series, Academic Press, 73, 227-280.
- McFadden P.L. y McElhinny M.W., 1990. Classification of the reversal test in palaeomagnetism, *Geophysical Journal International* 103, 3, 725-729.
- Lossada A.C., Rapalini A.E., Sánchez Betucci L., 2014. Enjambre de diques básicos de Nico Pérez-Zapicán, Uruguay: evidencias radimétricas y paleomagnéticas sobre su edad. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 71, 3, 345-355.
- Oyhantçabal P., Siegesmund S., Wemmer K., 2011. The Río de la Plata Craton: a review of units, boundaries, ages and isotopic signature. *International Journal of Earth Sciences* 100 (2-3), 201-220.
- Oriolo S., Oyhantçabal P., Basei M.A.S., Wemmer K., Siegesmund S., 2016. The Nico Pérez Terrane (Uruguay): from Archean crustal growth and connections with the Congo Craton to late Neoproterozoic accretion to the Río de la Plata Craton. *Precambrian Research* 280, 147-160.
- Rivalenti G., Mazzucchelli M., Molesini M., Petrini R., Girardi V.A., Bossi J., Campal N., 1995. Petrology of Late Proterozoic mafic dikes in the Nico Pérez region, central Uruguay. *Mineralogy and Petrology* 55, 4, 239-263.
- Sánchez Bettucci L., Peel E., Oyhantçabal P., 2010. Precambrian geotectonic units of the Río de La Plata craton. *International Geology Review* 52, 1, 32-50.
- Tamrat E., y Ernesto M., 2006. Paleomagnetic constraints on the age of the Botucatu Formation in Rio Grande do Sul, Southern Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências* 78, 3, 591-605.
- Teixeira W., Renne P.R., Bossi J., Campal N., D'Agrella Filho M.S., 1999. ^{40}Ar - ^{39}Ar and Rb-Sr geochronology of the Uruguayan dike swarm, Rio de la Plata Craton and implications for Proterozoic intraplate activity in western Gondwana. *Precambrian Research* 93, 2, 153-180.
- Torsvik, T.H., Müller, R.D., Van der Voo, R., Steinberger, B., Gaina, C. 2008. Global Plate Motion Frames: Toward a unified model. *Reviews Geophysics* 46, RG3004, doi:10.1029/2007RG000227.
- Zijderveld, J. 1967. A.C. Demagnetization of rocks: analysis of results, en Collinson, D.W., Creer, K.M., Runcorn, S. K. (editores.), *Methods in Paleomagnetism*: Elsevier, New York, 254-286.