



SERIE CONTRIBUCIONES TÉCNICAS - GEOQUÍMICA N° 123

**INTERPRETACIÓN GEOQUÍMICA  
DE DATOS MULTIELEMENTO DE  
SEDIMENTOS.**

**MUESTREO DE BAJA DENSIDAD EN LA  
PROVINCIA DE CORRIENTES**

Andrea Vilma Turel<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Servicio Geológico Minero Argentino - Dirección Nacional de Geología y Recursos Minerales

*Validación:* Pablo E. Johanis  
*Corrección editorial:* Lidia Inés Korzeniewski  
*Edición:* Marcos Vila Nina

ISSN 2618-5008

BUENOS AIRES 2026

## SERVICIO GEOLÓGICO MINERO ARGENTINO

*Presidente:* Dr. Julio M. Bruna Novillo

### DIRECCIÓN NACIONAL DE GEOLOGÍA Y RECURSOS MINERALES

*Director:* Dr. Martín R. Gozalvez

### DIRECCIÓN DE RECURSOS-MINEROS

*Director:* Lic. Pablo E. Johanis

#### REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

*Esta publicación debe citarse como:*

Turel, A.V. 2026. Interpretación geoquímica de datos multielemento de sedimentos. Muestreo de baja densidad en la provincia de Corrientes. Dirección Nacional de Geología y Recursos Minerales. Servicio Geológico Minero Argentino. Contribución Técnica Geoquímica N° 123, 31 pp. Buenos Aires.

Descargo de responsabilidad: Esta información es de carácter preliminar o provisional y puede estar sujeta a cambios tras una revisión posterior. Se comparte con el propósito de ofrecer la mejor información científica disponible en el momento. El Servicio Geológico Minero Argentino (SEGEMAR) no ha validado esta información de manera definitiva y la proporciona bajo la condición de que ni el SEGEMAR ni el Gobierno de la República Argentina serán responsables por cualquier daño que pueda derivarse del uso autorizado o no autorizado de la misma.

ISSN 2618-5008

ES PROPIEDAD DEL INSTITUTO DE GEOLOGÍA Y RECURSOS MINERALES - SEGEMAR  
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN



Av. General Paz 5445 (Colectora provincia) 1650 - San Martín - Buenos Aires - República Argentina

Edificios 14 y 25 | (11) 5670-0100

[www.segemar.gov.ar](http://www.segemar.gov.ar)

## CONTENIDO

<b>RESUMEN</b>	.....	1
<b>ABSTRACT</b>	.....	1
<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	.....	2
1.1. Relieve y síntesis geológica	.....	2
<b>2. ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA UNIVARIADA</b>	.....	3
2.1. Indicios de carbonato de calcio	.....	4
2.2. Indicios de titanio	.....	4
2.3. Indicios de cobre	.....	4
2.4. Indicios de oro	.....	4
2.5. Indicios de plata	.....	9
<b>3. ANÁLISIS FACTORIAL DE COMPONENTES PRINCIPALES</b>	.....	10
3.1. Factor 1 <small>basáltico</small>	.....	11
3.2. Factor 2 <small>loésico</small>	.....	11
3.3. Factor 3 <small>superficies residuales</small>	.....	11
3.4. Factor 4 <small>materia orgánica</small>	.....	14
3.5. Factor 5 <small>oólico cretácico</small>	.....	15
<b>4. ÍNDICES DE MINERALIZACIÓN</b>	.....	16
4.1. Índice de depósitos asociados a sistemas alcalinos (22b)	.....	18
4.2. Índice de metales base	.....	19
4.3. Índice de depósitos asociados a sedimentos clásticos	.....	20
4.4. Índice de depósitos de óxidos de Ti asociados a sistemas alcalinos	.....	21
4.5. Índice de carbonitas	.....	22
4.6. Índice de metales epitermales preciosos	.....	22
4.7. Índice de elementos calcófilos (CHI4)	.....	22
4.8. Índice de elementos calcófilos (CHI6)	.....	23
4.9. Sumatoria de óxidos de elementos de tierras raras	.....	24
<b>5. CONCLUSIONES</b>	.....	26
<b>6. TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO</b>	.....	28
<b>7. ANEXO</b>	.....	30
Cuadro 1. Estadísticos descriptivos	.....	30
Cuadro 2. Varianza total explicada	.....	30
Cuadro 3. Matriz de componentes rotados	.....	30
Cuadro 4. Correlación bivariada C con N, Ca y Br	.....	30

## RESUMEN

El muestreo geoquímico regional de baja densidad, de carácter multielemental y multipropósito, constituye una herramienta fundamental para la caracterización del sustrato geológico y la identificación de provincias metalogenéticas. En la provincia de Corrientes (Argentina), este tipo de estudio ha permitido generar el Atlas Geoquímico provincial a partir de 237 muestras de sedimentos de corriente analizadas para 69 elementos químicos. El presente trabajo tiene como objetivo procesar esta base de datos mediante técnicas estadísticas de análisis multivariado (Análisis Factorial) con el fin de: (1) establecer la distribución de abundancias elementales en el territorio provincial; (2) relacionar la variabilidad geoquímica con las litologías aflorantes y subsuperficiales; y (3) generar Índices de Mineralización que se correspondan con los modelos metalogenéticos de depósitos regionalmente conocidos.

El análisis factorial permitió definir cinco asociaciones elementales (factores) que explican la variabilidad composicional del sustrato geológico y de los materiales superficiales. Cuatro de estos factores se relacionan con la geoquímica de las rocas que integran la cuenca del Paraná, discriminando entre basaltos, andesitas basálticas, lavas toleíticas y sedimentitas continentales. El quinto factor evidencia la influencia antrópica (actividades agrícolas) y la contribución de materia orgánica natural derivada de la cobertura vegetal. Las asociaciones metalogenéticas obtenidas se vinculan con sistemas geológicos alcalinos, intrusiones máficas-ultramáficas en contextos tectónicamente estables, muestran afinidad con metales preciosos, tierras raras (REE) y elementos calcófilos, entre otros. Los resultados del mapeo geoquímico de baja densidad complementan la cartografía geológica provincial al permitir la delimitación geográfica de dominios composicionales característicos de las diferentes unidades litológicas. Esta aproximación multivariante constituye una herramienta eficaz para la exploración mineral y la comprensión de los procesos geológicos regionales, aportando vectores potenciales para la prospección de depósitos asociados a magmatismo alcalino y máfico-ultramáfico.

**Palabras clave:** Geoquímica regional; Análisis factorial; Sedimentos de corriente; Metalogenia; Cuenca del Paraná; Provincia de Corrientes.

## ABSTRACT

Low-density, multi-element, multi-purpose regional geochemical sampling is a fundamental tool for characterizing the geological substrate and identifying metallogenic provinces. In the province of Corrientes (Argentina), this type of study has enabled the creation of the Provincial Geochemical Atlas from 237 stream sediment samples analyzed for 69 chemical elements. This work aims to process this database using multivariate statistical analysis techniques (Factor Analysis) in order to: (1) establish the distribution of elemental abundances across the province; (2) relate geochemical variability to outcropping and subsurface lithologies; and (3) generate Mineralization Indices that correspond to metallogenic models of regionally known deposits.

The factor analysis allowed the definition of five elemental associations (factors) that explain the compositional variability of the geological substrate and surface materials. Four of these factors are related to the geochemistry of the rocks that make up the Paraná Basin, distinguishing between basalts, basaltic andesites, tholeiitic lavas, and continental sedimentary rocks. The fifth factor reveals the anthropogenic influence (agricultural activities) and the contribution of natural organic matter derived from vegetation cover. The resulting metallogenic assemblages are linked to alkaline geological systems, mafic-ultramafic intrusions in tectonically stable contexts, and show an affinity for precious metals, rare earth elements (REEs), and chalcophile elements, among others.

The results of the low-density geochemical mapping complement the provincial geological cartography by allowing the geographic delimitation of compositional domains characteristic of the different lithological units. This multivariate approach constitutes an effective tool for mineral exploration and the understanding of regional geological processes, providing potential vectors for prospecting for deposits associated with alkaline and mafic-ultramafic magmatism.

**Keywords:** Regional geochemistry; Factor analysis; Stream sediments; Metallogeny; Paraná Basin; Corrientes Province

## 1. INTRODUCCIÓN

Sobre la base de datos de análisis químicos de 237 muestras de sedimentos de corriente analizados por 69 elementos que integran el Atlas geoquímico de la provincia de Corrientes (Ferpozzi *et al.* 2024) se presenta en esta contribución la interpretación geoquímica de los factores que explicarían la distribución geográfica de abundancias de los elementos. El muestreo cubre la totalidad de la provincia de Corrientes (Fig.1), diseñado sobre la base de una grilla regular de 20 x 20 km de lado (400 km<sup>2</sup>).

Este documento sintetiza y analiza los patrones geoquímicos identificados mediante la aplicación de un enfoque que combina el análisis univariado (estadísticos descriptivos y distribución de elementos), para caracterizar la variabilidad fundamental de cada elemento; el Análisis Factorial de Componentes Principales (AF), para comprender las asociaciones elementales y los procesos geológicos subyacentes que gobiernan la distribución de los datos; y la evaluación de Índices de Mineralización (IM), con el objetivo de discriminar y priorizar anomalías con potencial económico.

Se propone esta interpretación de la variabilidad de los datos a lo largo del territorio provincial, de forma consistente con los procesos geológicos que han dado lugar a los tipos litológicos aflorantes o subaflorantes, suelos, material no consolidado superficial, así como también al registro del impacto de la actividad antrópica en el territorio provincial.

El objetivo último de este proceso interpretativo es transformar el conjunto de datos multivariantes en un conocimiento geológico aplicado, delineando áreas de interés y proporcionando una herramienta para la exploración mineral y la toma de decisiones.

### 1.1. RELIEVE Y SÍNTESIS DE LA GEOLOGÍA

El paisaje de la provincia de Corrientes se caracteriza por la presencia de sabanas, humedales y selvas discontinuas, con sistemas de esteros, bañados, lagunas y cursos fluviales interconectados. La red hídrica, dominada por los ríos Paraná y Uruguay, sus afluentes y los humedales del Iberá, controla el transporte, la sedimentación y la distribución de los sedimentos superficiales, lo que, combinado con la litología aflorante, explica los patrones geoquímicos y permite identificar áreas de interés mineralógico.

El relieve provincial presenta diversas unidades: la meseta de Mercedes, en el centro sur, constituye un sector suavemente elevado que actúa como divisoria de aguas, mientras que la máxima elevación corresponde a la serranía de Tres Cerros (179 m s.n.m.).

Al nordeste afloran mantos basálticos continuos. La geología está controlada por lineamientos de dirección NE y NO, destacándose la Dorsal Asunción–Río Grande (DARG), un anticlinorio regional que interrumpe las fosas de Corrientes y Curuzú Cuatiá, generando altos y bajos estructurales y condicionando el desarrollo de fallas de dirección NO (Lizuain Fuentes y Panza 2018). La región registra hasta ocho fases deformacionales a lo largo de su historia tectónica (Zalán *et al.* 1990, Riccomini 1995, Strieder *et al.* 2015, Rossello *et al.* 2006, Mira *et al.* 2015).

Geológicamente, Corrientes se encuentra en la transición entre las cuencas sedimentarias Chaco-paranense y Paraná, que abarcan aproximadamente 1.400.000 km<sup>2</sup>. En la provincia, los depósitos alcanzan un espesor máximo de ~4.000 m, con un promedio cercano a 2.000 m, comprendiendo secuencias desde el Paleozoico hasta el Holoceno (Zalán *et al.* 1990; Mira *et al.* 2015, Mira Carrión *et al.* 2016).

La estratigrafía aflorante desde el Jurásico Superior hasta el Holoceno, documenta la actividad volcánica temprana, la acumulación de sedimentos lacustres y continentales, la formación de terrazas fluviales y los procesos de deflación. Los basaltos del Grupo Serra Geral y las areniscas de la Formación Solari ó Botucatú constituyen los registros más antiguos, mientras que unidades Cretácicas y Cenozoicas, como Puerto Yerúa, Pay Ubre y Fray Bentos, registran ambientes lacustres y continentales. Durante el Pleistoceno y Holoceno, las formaciones fluviales, palustres y eólicas —Hernandarias, El Palmar, Oberá, Tapebicuá, Ituzaingó, Toropí-Yupoí, Concordia y San Guillermo— evidencian variaciones climáticas recientes y la dinámica de terracedo y deflación.

Casanova *et al.* (2025) reconocen numerosas unidades geomorfológicas en la provincia, resultado de la interacción de procesos fluviales, eólicos y tectónicos sobre coladas basálticas y depósitos aluviales:

- Originadas por procesos fluviales: terrazas y planicies de los ríos Paraná y Uruguay, planicies de divagación fluvial de los ríos Corrientes y Sarandí- Barrancas, las unidades de paleocauces I, II y III, el relieve poligenético noroccidental y las fajas aluviales de las vertientes oriental y occidental.
- Originadas por procesos estructurales y litológicos: Superficies de Planación Apóstoles II y III, superficie estructural Ayuí-Cuay y superficies estructurales Tres Cerros y Mercedes- Curuzú Cuatiá.
- Originadas en procesos poligénicos o complejos, como superficies de pedimentación.
- Originadas en procesos fluviales y eólicos, como los interfluvios arenosos.

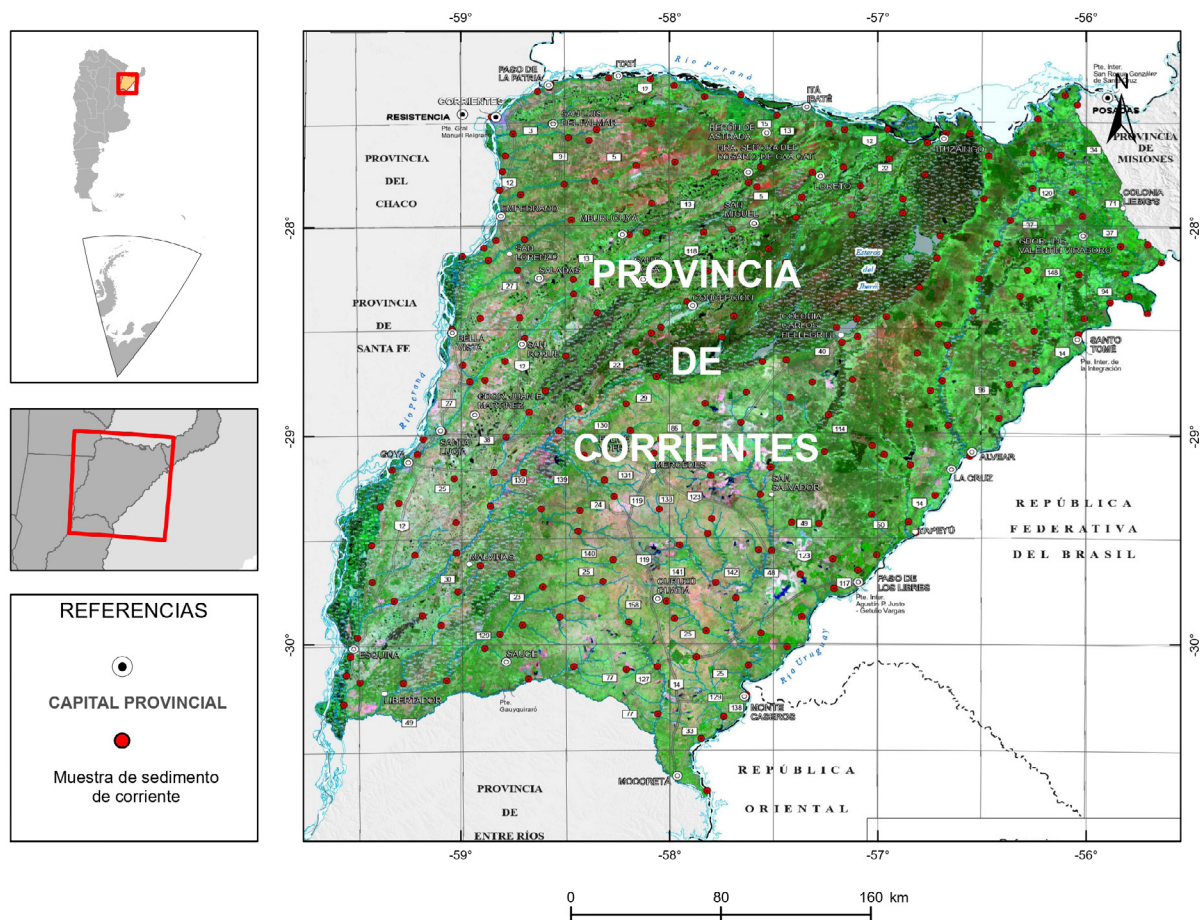


Figura 1. Ubicación del área de estudio y sitios de muestreo de sedimentos de corriente.

## 2. ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA UNIVARIADA

Los sedimentos analizados son típicos de cuencas con aportes silíceos y basálticos, donde predominan arenas cuarzosas y loess. El alto contenido promedio de Si (39,51 %) revela la naturaleza arenosa y silícica de los sedimentos, con un aporte material que contribuye a la dilución de la abundancia de los restantes elementos en las muestras. Los contenidos significativos de Al (3,97 %), Fe (3,91 %), Mg (0,26 %) reflejan la influencia de minerales ferromagnesianos y plagioclasas, típicos de basaltos erosionados. El contenido promedio de Ti (0,50 %) es elevado, particularmente indicativo de fuentes máficas. Elementos traza tales como V (112 ppm), Cr (40,55 ppm) y Ni (7,64 ppm) presentan valores moderados a altos en comparación con promedios de la corteza terrestre superior, coherentes con la alteración de piroxenos, olivino, anfíboles y magnetita. El Mn muestra una media alta (594 ppm) y gran dispersión, compatible con la liberación desde óxidos e hidróxidos en secuencias basálticas.

Las muestras se encuentran notoriamente enriquecidas en materia orgánica. El carbono es el

cuarto elemento más abundante en promedio en las muestras (0,98 %), pero es el más enriquecido (por un factor aproximado de x15) con relación al contenido promedio en la corteza superior. Puede inferirse la distinción entre carbono orgánico e inorgánico en muestras individuales a partir de la asociación con otros elementos (Wang *et al.* 2022, Liu *et al.* 2021) y el contexto geológico. Existe una alta correlación en las muestras entre el contenido de carbono, nitrógeno y bromo (Cuadro 4 – Anexo); en cambio, es débil la relación entre los contenidos de calcio y carbono. El nitrógeno es el décimo elemento más abundante en el promedio de las muestras (775 ppm), pero es el segundo elemento más enriquecido con relación a valores de referencia en la corteza superior. Los sedimentos fluviales se enriquecen en carbono y nitrógeno principalmente mediante el transporte y la deposición preferencial de partículas orgánicas de grano fino y la descomposición de materia orgánica de mayor tamaño. El enriquecimiento también se produce por la descomposición de la materia orgánica en los arroyos, que puede ocurrir a un ritmo diferente al de los suelos, y por la entrada de aguas residuales o escorrentías agrícolas, que pueden alterar la relación carbono-nitrógeno (C:N) de los sedimentos. Las par-

tículas finas de sedimentos, como las arcillas, poseen una gran superficie que fija y transporta eficazmente nutrientes orgánicos, como el carbono y el nitrógeno. Estas partículas finas se transportan aguas abajo y se depositan, dando lugar a sedimentos enriquecidos.

Circonio (Zr) y hafnio (Hf) presentan contenidos elevados (215 ppm y 6,15 ppm), probablemente asociados a circones resistentes en arenas. Las tierras raras (ETR) como cerio (Ce), lantano (La) y neodimio (Nd) muestran enriquecimiento moderado, consistente con la presencia de minerales accesorios en loess y sedimentos fluviales.

La firma geoquímica refleja: herencia de rocas máficas (altos Fe, Mg, Ti, V, Cr); minerales resistentes (Zr, Hf) y fracciones finas (Al, K) en loess; baja alteración química, con elementos móviles (Ca, Na) en concentraciones moderadas.

Los estadísticos descriptivos de cada variable (Cuadro 1 – Anexo) que se reportan (valor mínimo, máximo, media, mediana, desviación típica y cuartiles) permiten en términos generales observar que los elementos presentan una distribución de frecuencias de tipo asimétrica, desplazada hacia la derecha.

### 2.1. INDICIOS DE CARBONATOS DE CALCIO

La distribución de Ca (%) alcanza el decil superior con valores de entre 2,12 % y 7,15 % en el centro-sur provincial, coincidiendo con los máximos valores del Factor  $F_{loésico}$ , reflejo de los afloramientos de la Formación Fray Bentos. Los máximos valores de contenido de Ca en los sedimentos de corriente muestreados (Fig. 2) se disponen conformando un arco que rodea por el oeste, sur y este al eje Mercedes – Curuzú Cuatiá, y llega al límite sur provincial en las cercanías de la localidad de Sauce.

### 2.2. INDICIOS DE TITANIO

Los valores de Ti (%) medidos en basaltos de la Formación Serra Geral en la provincia de Misiones y Corrientes oscilan entre 0,8 y 2,2 % (Lagorio y Vizán 2011, Madsen *et al.* 2018). Los máximos en los sedimentos de corriente de la región noreste de la provincia de Corrientes (Fig. 3) llegan a triplicar o incluso cuadruplicar esos valores (0,8 a 9,5 %,  $P_{90}$ -Máx). El valor medio en corteza es de 0,42 % (Rudnick *et al.* 2003). La concentración mecánica de los minerales resistentes por acción de las corrientes de agua puede resultar en valores superiores a su concentración original en la roca madre. A la distribución de máximos concentrada en el corredor Santo Tomé – Ing. Virasoro – Posadas, se agregan también muestras ricas en titanio en Alvear y Yapeyú.

### 2.3. INDICIOS DE COBRE

Los valores máximos de Cu se asocian con la presencia de los basaltos de la Formación Serra Geral. En las áreas donde estos afloran, en el noreste de la provincia, los sedimentos de corriente presentan concentraciones de Cu que alcanzan los valores más altos, entre 57 y 359 ppm ( $P_{90}$ -Máx; Fig. 4). En zonas aledañas a Mercedes, Curuzú Cuatiá, Monte Caseros, Felipe Yofre y San Salvador, los valores de cobre varían entre 19 y 146 ppm ( $P_{75}$ - $P_{95}$ ), concentraciones más bajas que son coincidentes con áreas de basaltos subaflorantes y alternados con sedimentitas fluviales y eólicas de la cuenca mesozoica del Paraná, además de los materiales superficiales posteriores. Estos últimos valores indicarían la dilución del Cu presente en los basaltos debido a la presencia del material sedimentario que forma parte de la secuencia mesozoica. En esta región los basaltos han sido estudiados por mineralización de cobre en canteras de Corrientes (Herrmann *et al.* 2013) y en subsuelo (Curuzú Cuatiá, Pesce *et al.* 2016). En las canteras los basaltos han sido explotados a cielo abierto para su uso como agregados pétreos triturados en la fabricación de hormigón. La expresión en superficie de estos afloramientos, a través de la medición en sedimentos de corriente parecieran reflejar valores medios de abundancia en basaltos relativos a su abundancia en las litologías circundantes (la media de Cu en basaltos es 87 ppm, según Turekian *et al.* 1961). Se destaca además la correspondencia geográfica con el Factor  $I_{basáltico}$ .

### 2.4. INDICIOS DE ORO

Los valores máximos de Au en los sedimentos de corriente se encuentran en el noreste provincial (Fig. 5) y en cercanías de Mercedes, Curuzú Cuatiá y Monte Caseros, donde se distribuyen los valores del decil superior: 1,24 a 3,62 ppb de Au ( $P_{90}$ -Máx). Las máximas concentraciones de oro en la muestra son comparables con valores medios de Au en la corteza terrestre (1,3 ppb, Rudnick *et al.* 2003).

Las máximas concentraciones de oro se corresponden con los valores más elevados registrados por dos índices de mineralización (IM): el definido para el modelo metalogenético vinculado a sistemas alcalinos (22b, Fig. 13) y el asociado a metales epitermales preciosos (EPMI, Fig. 18), ambos localizados en el sector noreste provincial (véanse 4.1. Índice de depósitos asociados a sistemas alcalinos y 4.6. Índice de metales epitermales preciosos).

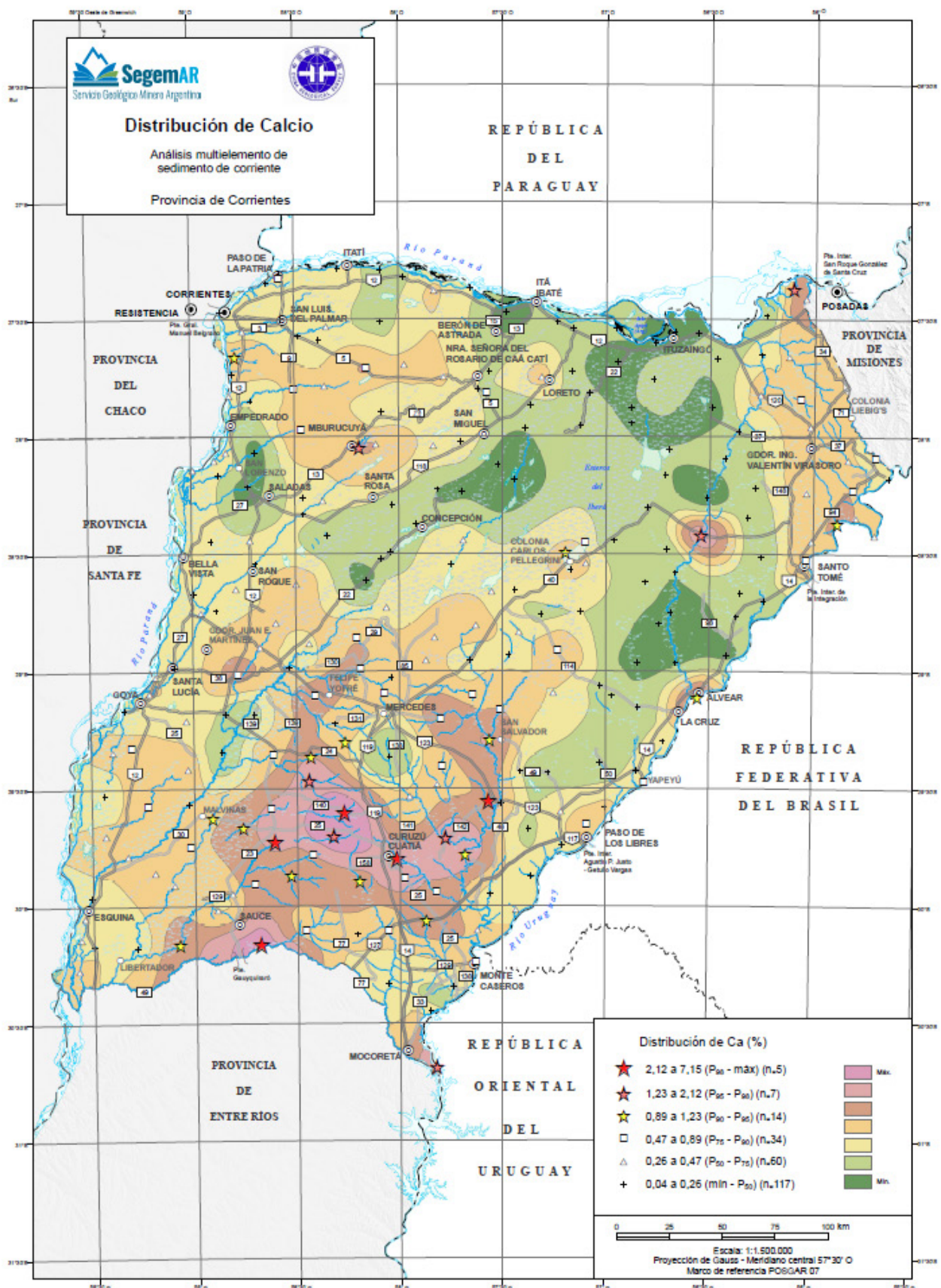


Figura 2: Distribución de Ca (%).



Figura 3: Distribución de Ti (%).

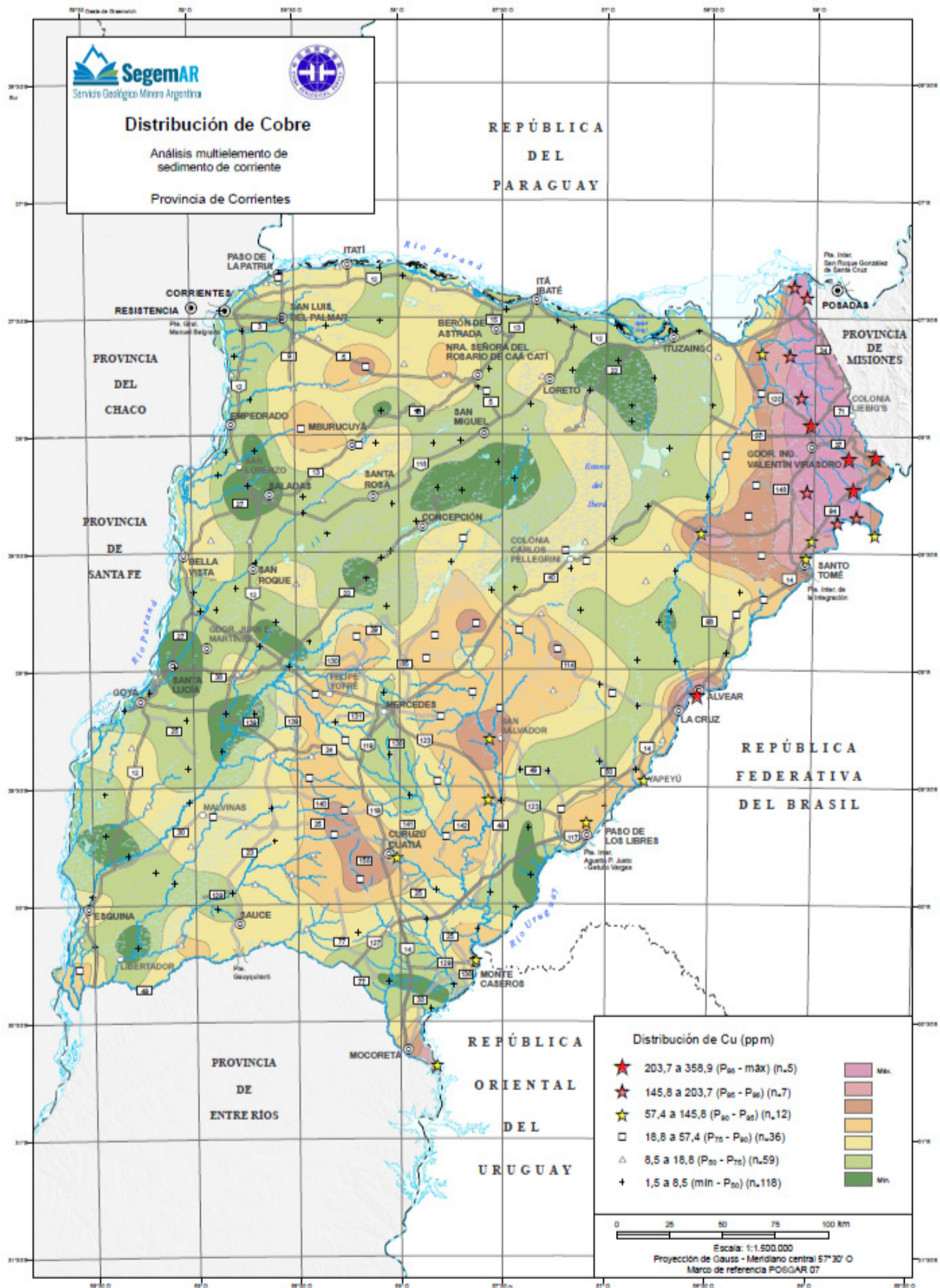


Figura 4: Distribución de Cu (ppm).

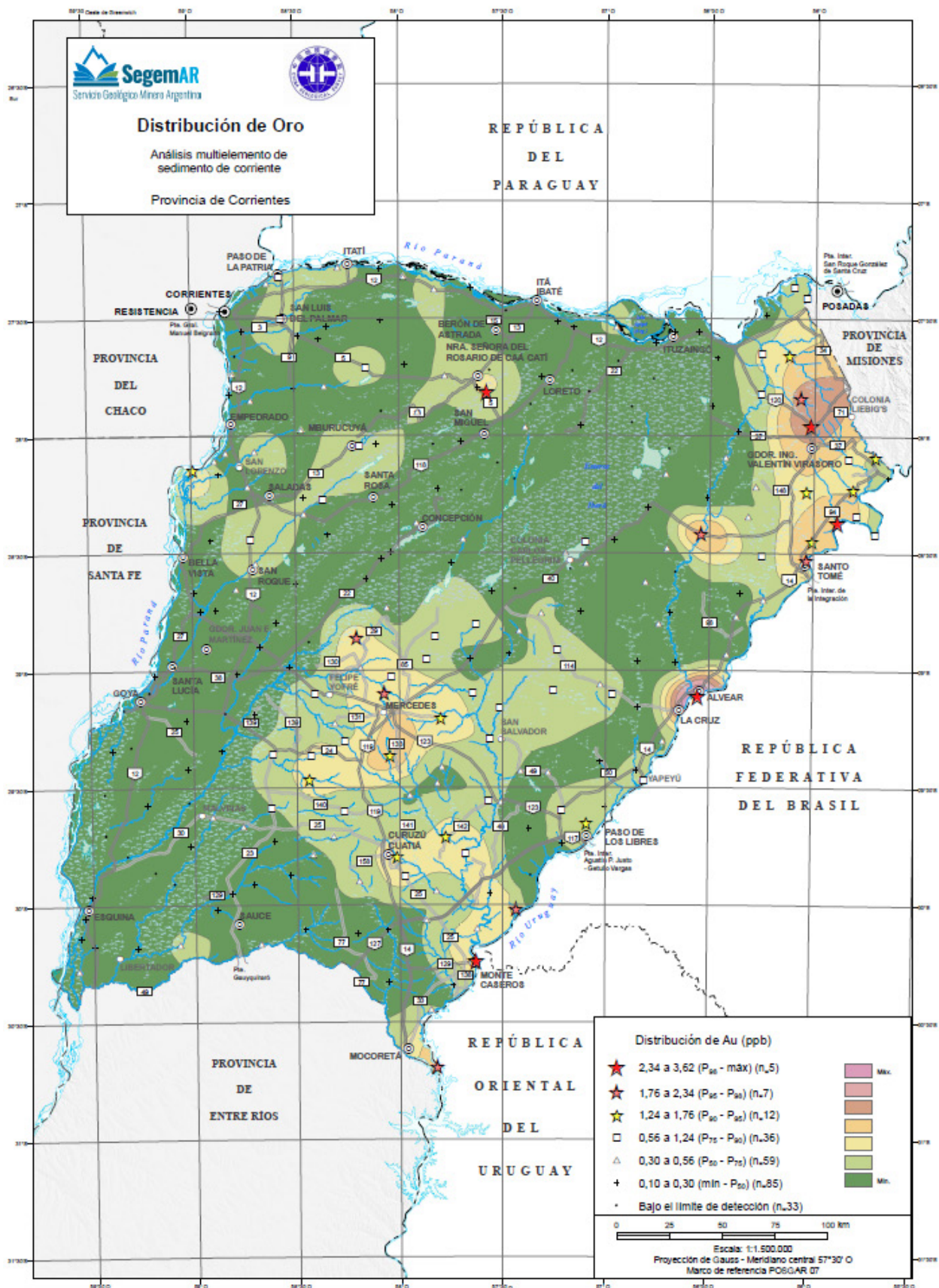


Figura 5: Distribución de Au (ppb).

2.5. INDICIOS DE PLATA

La concentración media de Ag en la corteza es 0,056 ppm (Rudnick *et al.* 2003). Los valores máximos de la distribución de frecuencias de Ag en los sedimentos de corriente arrojan un 2 percentil superior ( $P_{98}$ -Máx) que solo duplica ese valor (Máx= 0,142

ppm). Los valores máximos de plata (Fig. 6) también coinciden con los valores máximos del índice de mineralización del modelo metalogénico IM-22b, en cercanías de Ing. Virasoro (Fig. 13); a la vez, también hay correspondencia con los valores máximos del IM-EPMI en cercanías de Ing. Virasoro, Mercedes, Curuzú Cuatía y al norte de Santo Tomé (Fig. 18).



Figura 6: Distribución de Ag (ppm).

### 3. ANÁLISIS FACTORIAL DE COMPONENTES PRINCIPALES

La caracterización geoquímica de las 237 muestras de sedimentos de corriente del estudio y de las 69 variables de abundancia elemental genera de forma inherente un conjunto de datos complejo y multivariado. Si bien la estadística descriptiva univariada (medias, desviaciones estándar, rangos, percentiles) proporciona información individual para cada variable, la interpretación simultánea de 69 dimensiones resulta abrumadora y poco intuitiva, dificultando la identificación de las relaciones subyacentes que gobiernan el sistema. Muchas de estas variables se comportan de manera correlacionada como resultado de procesos geológicos comunes. Por ejemplo, elementos que integran los sedimentos fluviales por ser resultado de la meteorización y erosión de los afloramientos de determinada unidad geológica tenderán a mostrar patrones de variación similares a lo largo del conjunto de muestras, es decir, estarán correlacionados entre sí. Esta covarianza entre variables implica que la información total del sistema contiene redundancias, lo que a su vez significa que su complejidad aparente puede ser simplificada.

Para lograr esta simplificación y extraer las señales geoquímicas fundamentales, se aplicó la técnica de análisis factorial (AF) con extracción de componentes principales y rotación varimax. El AF es un método estadístico de análisis multiva-

riado que permite reducir el número de variables correlacionadas en un número menor de variables no correlacionadas entre sí, denominadas factores, o componentes principales.

Estos factores se construyen como combinaciones lineales de las variables originales, ordenados de manera que cada uno capture la máxima varianza posible en los datos. El primer factor representa la dirección de máxima variación, en tanto el segundo factor explica la mayor varianza restante no correlacionada con el primero, y así sucesivamente. De esta manera, los factores se ordenan según la proporción de varianza total que explican, de mayor a menor. La utilidad del AF radica en que los primeros dos o tres factores suelen concentrar la mayor parte de la información contenida en todas las variables originales (Cuadro 2 - Anexo), permitiendo así reducir la dimensionalidad del conjunto de los datos sin perder contenido relevante.

El examen de las cargas factoriales (Cuadro 3 - Anexo) revela qué variables originales contribuyen de manera más significativa en cada factor. De este modo, es posible identificar asociaciones elementales que pueden ser interpretadas como firmas geoquímicas de procesos genéticos específicos. Simplifica la complejidad multivariable inicial y revela controles subyacentes que gobiernan la composición de los sedimentos de corriente estudiados.

De esta manera, en la región se reconocieron cinco factores:

FACTOR	Elementos que lo integran	Varianza total explicada (%)	Varianza rotada explicada (%)
1 <sub>basáltico</sub>	V, Fe, Cu, Co, Te, -Si, Ni, Mo, Sc, Cr, Sb, Ti, Zn, Mn, In, Pb, As, Be, ETR, Se, P, Ga, Y, Sn, Ta, Nb, U, Ag, Li, Bi, Cd, Tl, Cs, Al (Mg, Th, I)	73,6	43,2
2 <sub>loésico</sub>	Na, Sr, Ca, K, Mg, Ba, Rb (F, ETR, Y, Cd)	7,0	15,7
3 <sub>superficies residuales</sub>	Hf, Zr, B, Th (Ta, W, Nb, Ti, Sn, ETRL, Cr)	3,6	12,7
4 <sub>materia orgánica</sub>	C, N, Br, S, Hg, Cl, I (Cs, Rb, Cd, Se)	3,4	11,8
5 <sub>eólico cretácico</sub>	As, Cs, Li, Bi, Tl, Pb (Sb, W, B)	1,9	6,0

### 3.1. FACTOR 1 BASÁLTICO

El Factor 1 basáltico por sí solo explica el 43,2% de la varianza total de la muestra, lo que evidencia su predominancia en el conjunto de datos. Este factor agrupa a la mayoría de las variables analizadas, formando el denominado Factor 1 basáltico, con altas cargas factoriales. Esto indica que gran parte de la variabilidad de los datos puede atribuirse a una fuente común dominante, mientras que los demás factores tienen un papel menor en la explicación global. Los elementos que integran este factor son: V, Fe, Cu, Co, Te, -Si, Ni, Mo, Sc, Cr, Sb, Ti, Zn, Mn, In, Pb, As, Be, ETR, Se, P, Ga, Au, Ge, Y, Sn, Ta, Nb, U, Ag, Li, Bi, Cd, Tl, Cs, Al (Mg, Th, I). Destacan especialmente los elementos que reflejan la herencia de rocas máficas, y se observa una correlación inversa con el contenido de sílice, atribuible al aporte de los grandes sistemas fluviales, la que se incrementa con la longitud de transporte.

Este factor ha sido interpretado como un factor litológico, vinculado directamente al afloramiento o subafloramiento de rocas basálticas, e inversamente a la de sedimentos silíceos neógenos y cuaternarios.

La distribución geográfica del Factor 1 basáltico (Fig. 7) se concentra en el extremo noreste de la provincia, y con menor intensidad en el centro sur. Una faja diagonal que atraviesa la provincia desde Yacyretá hasta Esquina delimita un área de mínimos valores del factor.

Los afloramientos rocosos vinculados al Factor 1 basáltico incluyen a la Formación Serra Geral de edad cretácica, formada por basaltos, andesitas basálticas, lavas toleíticas. Incluye también las formaciones Botucatu, Misiones y Puerto Yeraú, depósitos sedimentarios de *sinrift* y de relleno del *rift* intercalados con los basaltos y facies de subsidencia térmica (SAG). En el sur de la provincia, parte de la Formación Fray Bentos, cobertura de loess del Oligoceno-Mioceno, también integra esta asociación de elementos. El Factor 1 basáltico expresa alta correlación inversa (-Si) con los depósitos neógenos del mega abanico del Paraná incluyendo las lomadas arenosas pliocenas de la Formación Ituzaingó, los depósitos lacustres holocenos y los depósitos de limos y arenas fluviales pleistocenos que configuran la mitad noroccidental del territorio provincial.

La Formación Serra Geral es la que tiene más amplia distribución superficial y subsuperficial en la provincia de Corrientes. Los basaltos dominan arealmente en el noreste de la provincia extendiéndose hacia la provincia de Misiones. Constituyen

a su vez los lechos de los ríos Aguapey y Miriñay, a veces cubiertos por los sedimentos modernos, y afloran -aunque discontinuamente- rodeando toda la meseta de Mercedes (Folguera *et al.* 2023).

La observación del mapa geológico regional (Fig. 8) revela una correlación espacial evidente entre la distribución areal de ciertas unidades litológicas y la disposición geográfica de los factores principales 1, 2, 3 y 5 identificados en el análisis factorial. Esta correspondencia sugiere que los procesos geológicos fundamentales que controlaron la formación y distribución de las rocas quedan capturados de forma cuantitativa como la varianza principal en el conjunto de datos. Así, el modelo factorial valida y cuantifica la influencia de ese control litológico subyacente.

### 3.2. FACTOR 2 LOÉSSICO

El Factor 2 loésico contribuye con el 15,7 % de la varianza total de la muestra. Lo integran los elementos Na, Sr, Ca, K, Mg, Ba, Rb (F, ETR, Y, Cd).

Ha sido interpretado como un factor litológico, vinculado directamente al afloramiento de limos loésicos y limolitas.

La distribución geográfica de los valores máximos se extiende en el sur y sudoeste provincial (Fig. 9).

Los afloramientos vinculados al Factor 2 loésico incluyen limos loésicos, limolitas arenosas a arcillosas a veces cementadas por carbonato de calcio y ocasionalmente silicificadas de la Formación Fray Bentos, de edad oligoceno-mioceno. Son propios de un ambiente continental peridesértico, y el material original es loess de proveniencia andina. Sobre éste se desarrollan los Vertisoles y Molisoles vérticos, suelos de texturas franco arcillo limosa y franco arcillosas.

### 3.3. FACTOR 3 SUPERFICIES RESIDUALES

El Factor 3 superficies residuales contribuye con el 12,7 % de la varianza total de la muestra. Lo integran los elementos Hf, Zr, B, Th (Ta, W, Nb, Ti, Sn, ETRL, Cr).

Ha sido interpretado como un factor litológico, donde dominan los elementos *High Field Strength Elements* (HFSEs). Estos elementos integran minerales que comúnmente se concentran en suelos y sedimentos residuales (Railsback 2003).

La distribución geográfica de los valores máximos del Factor 3 superficies residuales (Fig. 10) abarca el

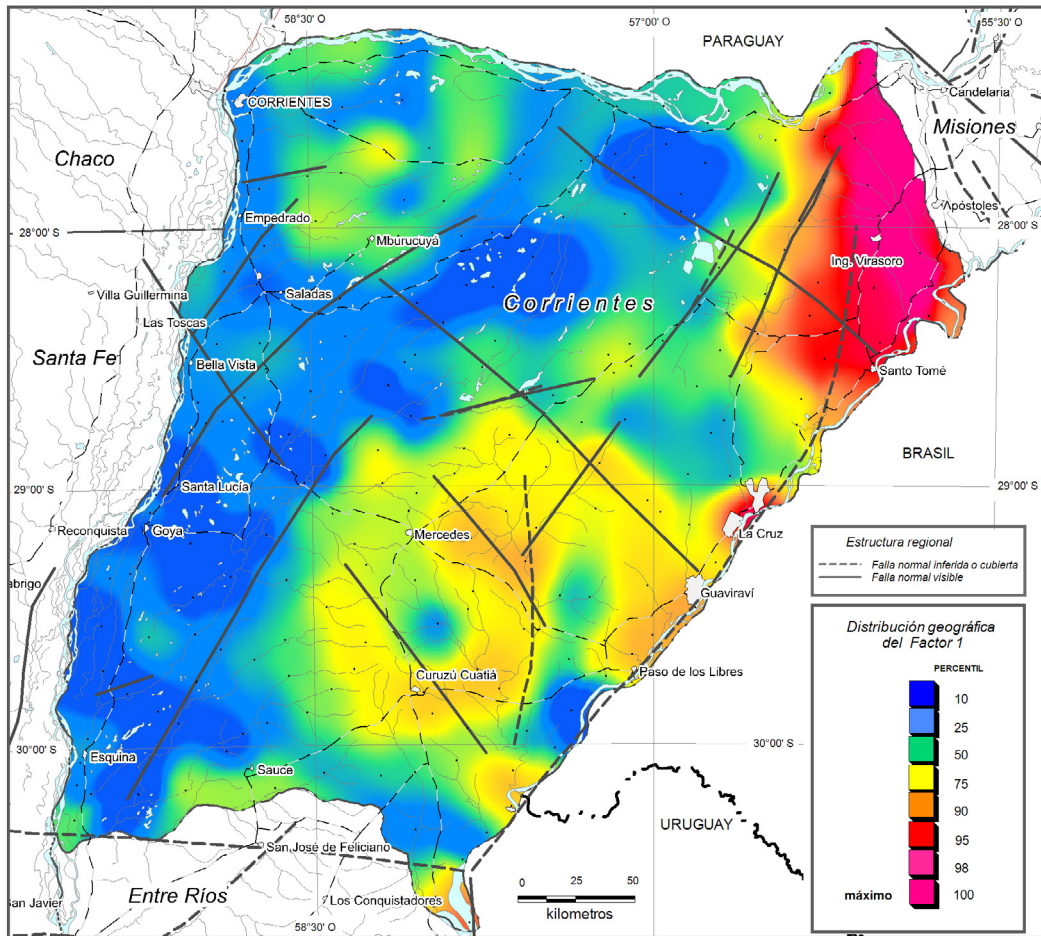


Figura 7. Distribución geográfica del Factor 1<sub>basáltico</sub>.

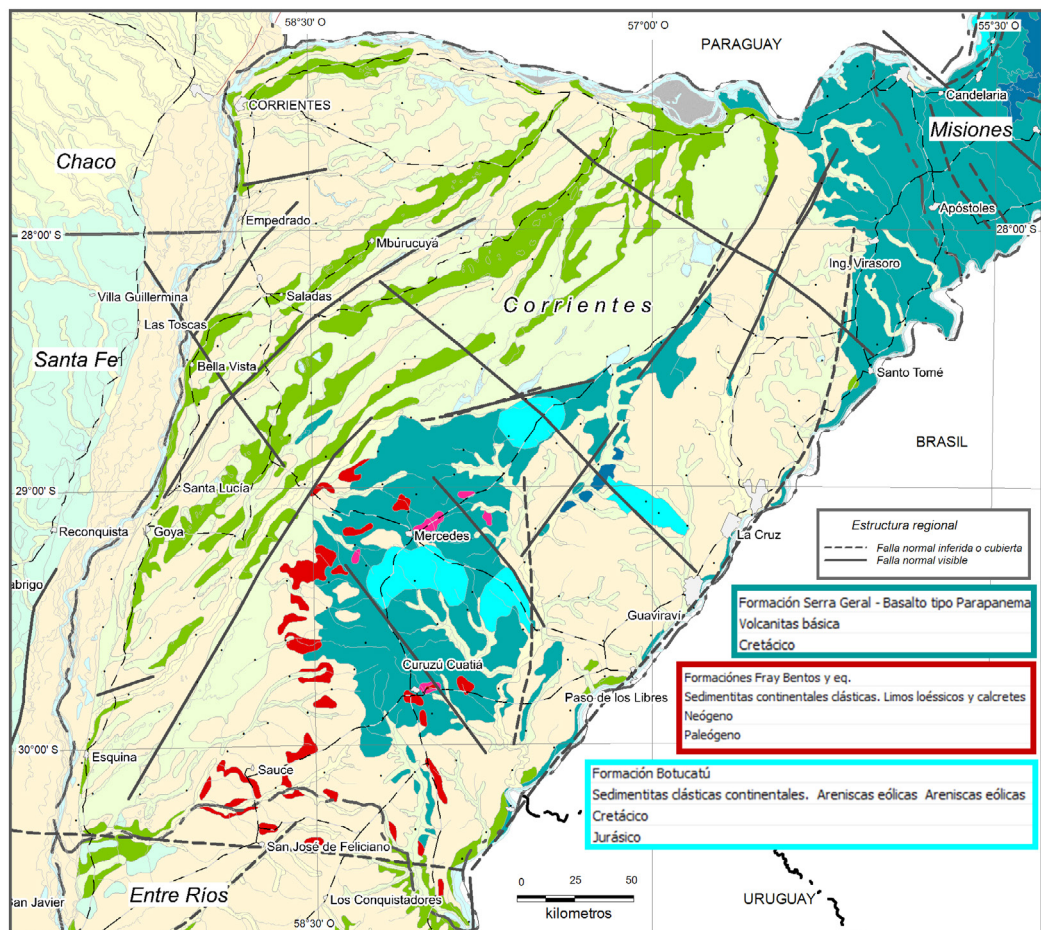


Figura 8. Esquema geológico regional que destaca las unidades asociadas con factores principales (Lizuin Fuentes y Panza 2018).

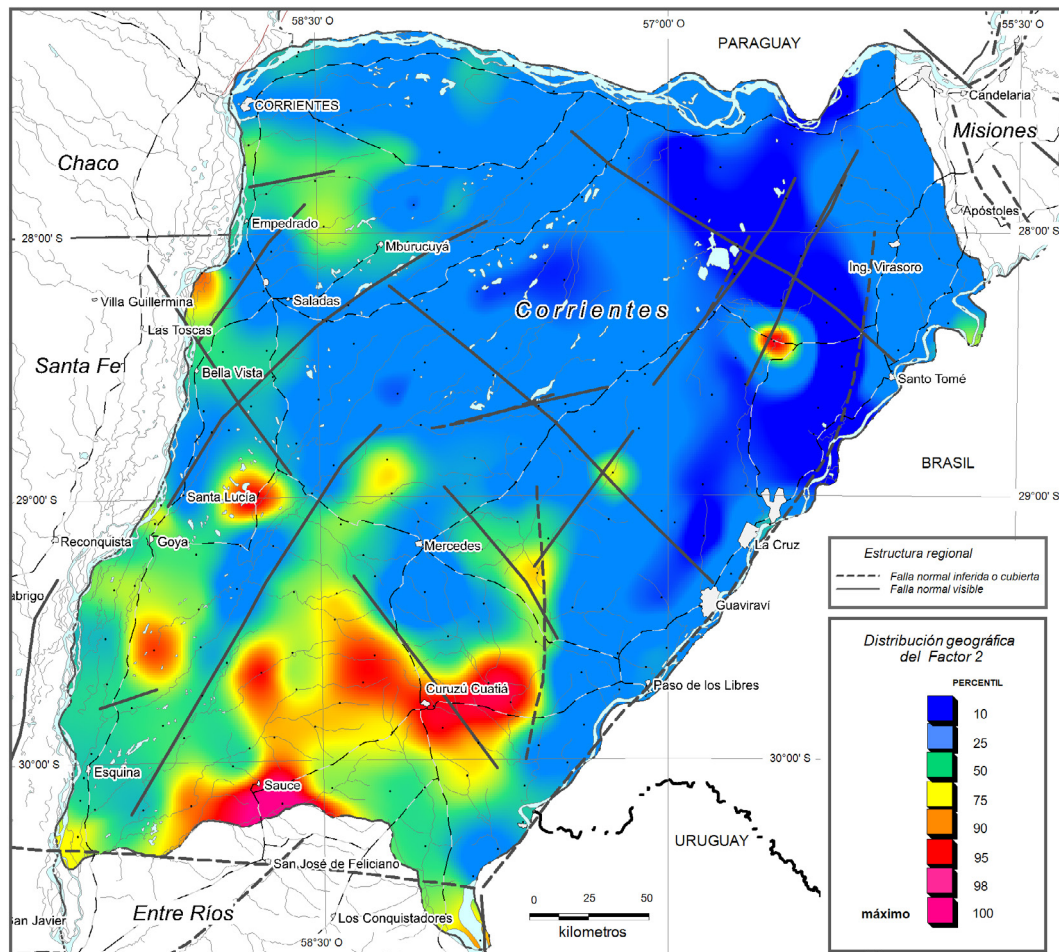


Figura 9. Distribución geográfica del Factor 2<sub>loésico</sub>.

centro y centro este de la provincia, en un sector ubicado al sudoeste de Colonia Carlos Pellegrini y noreste de Mercedes. La distribución de sus valores mínimos en la franja Mercedes – Curuzú Cuatiá, yuxtapuestos a los máximos, revelan la influencia de bloques estructurales limitados por fallas en la expresión de este factor.

Los valores máximos se relacionan con afloramientos basálticos muy meteorizados (Folguera *et al.* 2023) que asoman en distintas superficies estructurales o de pedimentación (Casanova *et al.* 2025) desarrolladas sobre bloques tectónicos (Mira *et al.* 2016). Los bloques están limitados por fallas verticales y exponen en superficie distintos niveles estructurales (por ejemplo, el graben de Curuzú Cuatiá, respecto del bloque inmediatamente contiguo al este). Si bien fueron originalmente estudiadas y definidas para la provincia de Misiones y la cuenca superior del río Uruguay en Brasil (Kröhling *et al.* 2014), las superficies estructurales denominadas Velhas-Aristóbulo 1 y Apóstoles, así como las superficies posteriores labradas sobre el *plateau* basáltico Paraná, podrían exponer estas volcanitas

desde el Cretácico superior - Paleógeno (Locati *et al.* 2022). Desde entonces, los minerales presentes resistentes a la meteorización fueron concentrados *in situ* por intemperización, reforzando la asociación de elementos del Factor 3<sub>superficies residuales</sub>.

Las volcanitas básicas de la Formación Serra Geral se pueden distribuir en dos grandes grupos, las de “alto titanio” y las de “bajo titanio”, ambas presentes en esta región (Madsen *et al.* 2018). Entre otros indicadores, las de alto Ti muestran enriquecimiento relativo en  $TiO_2$ , Zr, Ta, Hf, La, Nb, Y y Ce (Romanini 2000) similares a los elementos agrupados en el Factor 3<sub>superficies residuales</sub>, además de  $P_2O_5$ , U, K, Ba y Sr (Machado *et al.* 2005). La apatita es uno de los minerales accesorios dominantes en estas rocas y sería el portador de Sr, U, Th, Y y elementos de tierras raras; entre los opacos, la ilmenita presente puede tener trazas de Nb y Ta, así como el rutilo presencia de Nb, Ta, Sn y W, además de Sb.

Rocas con un mayor grado de diferenciación magmática también podría favorecer la concentración de estos elementos, pero no han sido descriptas ni mapeadas en esta región.

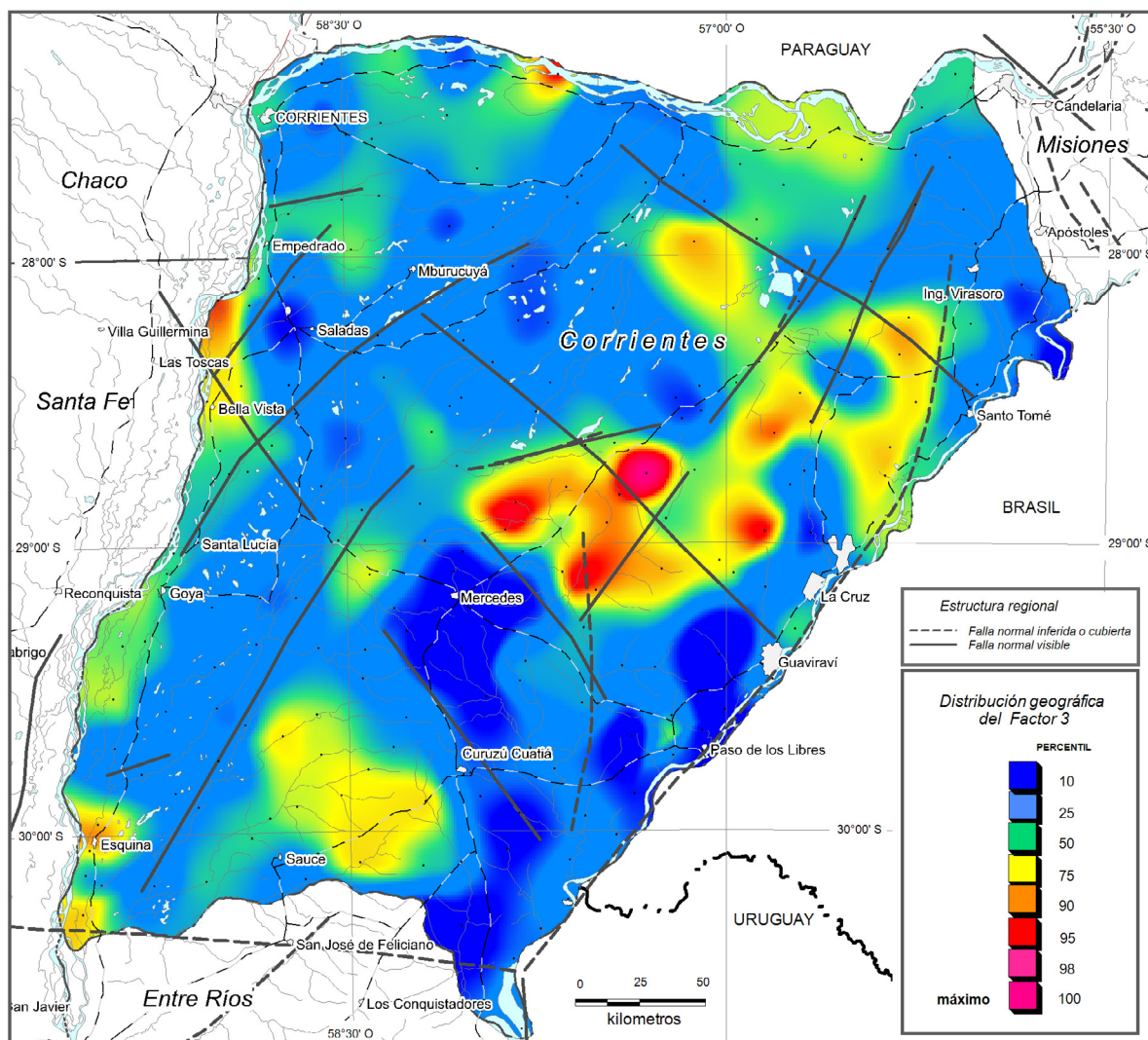


Figura 10. Distribución geográfica del Factor 3 superficies residuales

### 3.4. FACTOR 4 MATERIA ORGÁNICA

El Factor 4 materia orgánica contribuye con el 11,8 % de la varianza total de la muestra. Lo integran los elementos C, N, Br, S, Hg, Cl, I (Cs, Rb, Cd, Se).

Ha sido interpretado como un factor asociado a la abundancia de materia orgánica de los suelos y a la influencia de la actividad agrícola.

La distribución geográfica de los valores máximos del Factor 4 materia orgánica (Fig. 11) define una franja central de dirección longitudinal que atraviesa la provincia, quedando excluidos los sectores oriental y occidental. Se destacan, asimismo, concentraciones elevadas en áreas correspondientes a los Esteros del Iberá y al curso inferior del río Corrientes.

El muestreo de sedimentos de baja densidad realizado en la provincia de Corrientes se ha caracterizado por un enriquecimiento marcado en materia orgánica, evidenciado por las elevadas concentraciones de C ( $P_{50} = 0,37\%$ ) y N ( $P_{50} = 320$  ppm), las

que superan ampliamente los valores promedio de la corteza continental superior (0,025 % para C y 56 ppm para N; Rudnick *et al.* 2003). Se ha observado una alta correlación entre C y N (Cuadro 4 - Anexo) lo que, junto a la presencia del resto de los elementos integrantes del factor, sugiere un aporte vinculado a la actividad antrópica y al incremento de materia orgánica en los suelos.

La baja correlación de abundancia entre C y Ca ha permitido descartar un origen predominantemente inorgánico del carbono (vinculado a carbonatos de Ca). Por otro lado, la alta correlación entre C y Br podría explicarse por procesos de absorción de Br en suelos o sedimentos (Wang *et al.* 2022).

Asociaciones similares han sido identificadas en análisis geoestadísticos de muestreos geoquímicos regionales, vinculadas a la actividad agropecuaria, la abundancia de materia orgánica y la actividad biológica en suelos (Factor 5: TC-N-S-Br-I-Se en Wang *et al.* 2022; Liu *et al.* 2021).

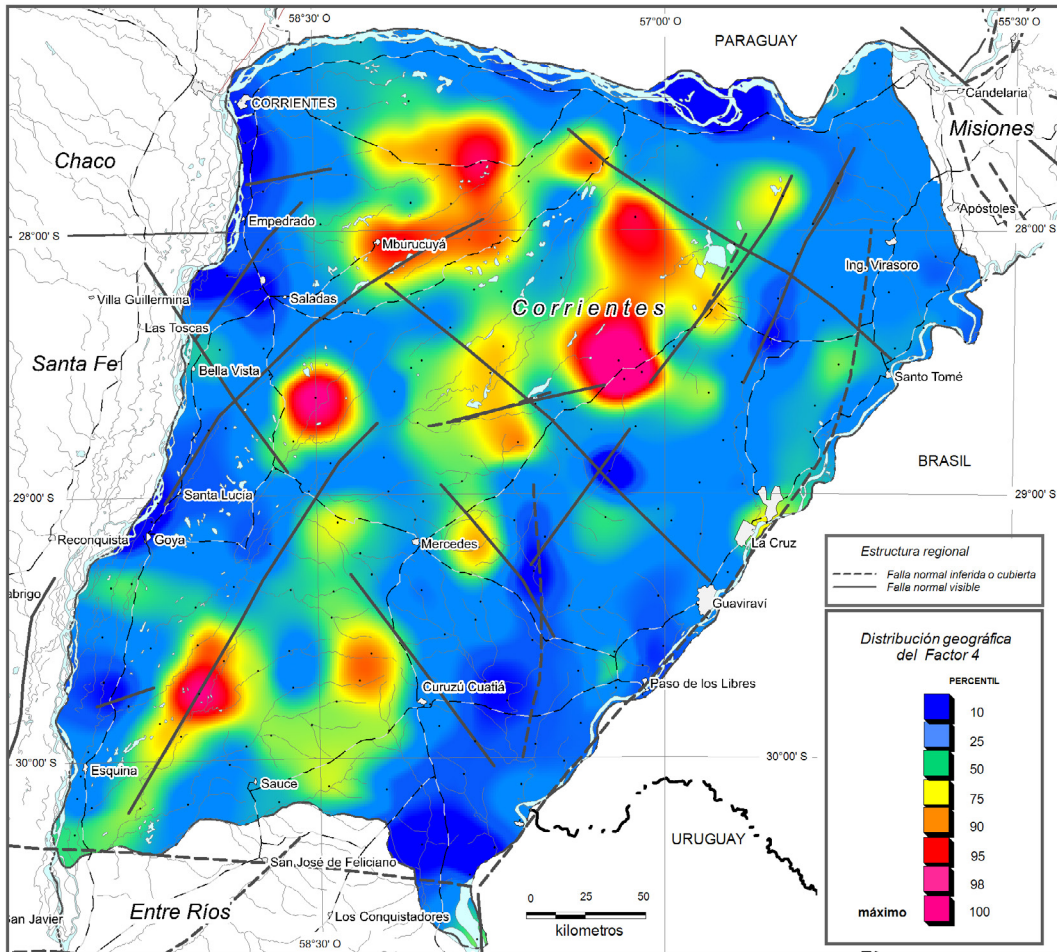


Figura 11. Distribución geográfica del Factor 4 materia orgánica

### 3.5. FACTOR 5 EÓLICO CRETÁCICO

El Factor 5 eólico cretácico contribuye con el 6,0 % de la varianza total de la muestra. Lo integran los elementos As, Cs, Li, Bi, Tl, Pb (Sb, W, B).

Este factor ha sido interpretado como litológico, en vinculación con el afloramiento de areniscas eólicas cretácicas.

La distribución geográfica de los valores máximos del Factor 5 eólico cretácico (Fig. 12) se manifiesta en el corredor Guaviraví – San Gabriel, localizado en el sector centro este de la provincia. Los valores mínimos se registran en las áreas de esteros extendiéndose hacia el sudoeste provincial.

Este factor se asocia con afloramientos de areniscas finas a gruesas de ambiente desértico, correspondientes a dunas eólicas cretácicas de la Formación Botucatú o Formación Misiones (Mira *et al.* 2015), expuestas en la región de Tres Cerros y en las cercanías de Mariano Loza. También comprende areniscas finas a medianas con matriz pelítica y conglomerados polimícticos de ambiente fluvial con influencia eólica de la Formación Puerto Yerú (Cretácico Superior), aflorantes en los alrededores de Mercedes y a lo largo de la ruta provincial 40 hacia Colonia Carlos Pellegrini.

Estas unidades integran parcialmente la meseta o Alto de Mercedes, donde se disponen arealmente —y en ocasiones intercaladas— con los basaltos de la Formación Serra Geral.

Sobre muestras procedentes de los afloramientos de la Formación Solari en Tres Cerros y Isidro Loza (ex Estación Solari), se realizaron análisis de la fracción de minerales pesados (Santa Cruz *et al.* 2019). En dicha fracción fueron identificados minerales opacos (muy abundantes), agregados de micas (comunes) y minerales transparentes, representados principalmente por turmalina (abundante), circones y rutilos (escasos a comunes), así como granates verdosos, anfíboles (hornblenda), piroxenos (augita/diópsido) y cianita (muy escasos), además de la presencia de alteritas.

La asociación elemental evidenciada en este factor ha sido atribuida a la actividad hidrotermal regional, generada por el calentamiento de los acuíferos arenosos de Botucatú durante la extrusión del volcanismo cretácico (Locati *et al.* 2022). Este proceso habría favorecido la removilización de elementos como As, Sb, Cs y Tl, junto con la presencia de Pb y W. Las anomalías puntuales identificadas se superponen y quedan parcialmente enmascaradas por los valores medios del Factor 1 basáltico, asociado a los afloramientos basálticos.

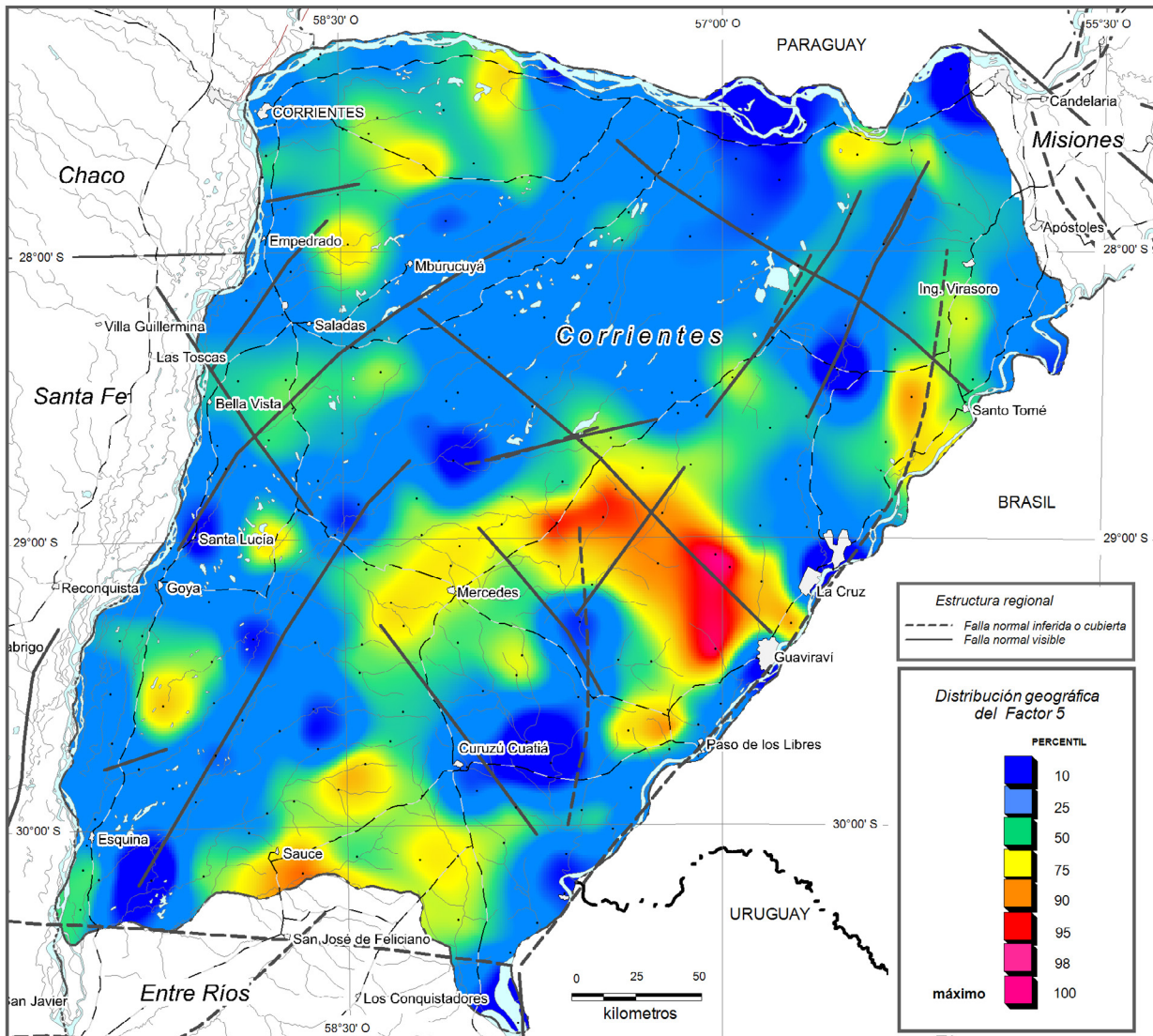


Figura 12. Distribución geográfica del Factor 5<sub>eólico cretácico</sub>

#### 4. ÍNDICES DE MINERALIZACIÓN

Un índice de mineralización es un algoritmo multivariable derivado de datos geoquímicos, diseñado para cuantificar la probabilidad de ocurrencia de un modelo de depósito mineral específico dentro de un área de estudio. Se basa en el principio de que los procesos metalogénicos modifican de manera sistemática y reconocible la composición geoquímica tanto de los depósitos minerales como de sus rocas de caja. Estos algoritmos no constituyen modelos predictivos directos, sino clasificadores probabilísticos que sintetizan relaciones elementales complejas en un valor escalar.

La base conceptual de los índices más avanzados reside en los fenómenos de asociaciones paragenéticas y zonación geoquímica. Las asociaciones paragenéticas son los conjuntos de elementos carac-

terísticos de cada tipo de depósito mineral, ya sea por su enriquecimiento como componentes de la mena o minerales asociados, o por su empobrecimiento debido a procesos de alteración y meteorización. La zonación geoquímica, por su parte, refleja la distribución espacial típica de los elementos en un sistema mineralizado, definiendo núcleos internos, halos externos y sectores periféricos con asociaciones elementales diferenciadas.

La construcción de un índice implica la combinación matemática de las concentraciones de elementos guía (*pathfinders*) y sus relaciones. Cada índice se calibra para un modelo de depósito específico, seleccionando los elementos que representen el núcleo del sistema, las zonas de alteración y los halos distales. Las concentraciones suelen normalizarse —mediante transformaciones logarítmicas o clasificaciones— para reducir la asimetría de los datos y

estabilizar la varianza. Las variables se integran en una función que puede involucrar cocientes, sumas o productos; y en algunos casos se aplican operadores de zonación para restar la señal periférica y aislar la firma geoquímica del núcleo mineralizado. La separación entre áreas mineralizadas y estériles puede requerir técnicas más complejas, tales como análisis discriminante, componentes principales o máquinas de vectores de soporte.

El uso de índices de mineralización presenta ventajas notables frente al análisis univariado, que se basa en la interpretación de un solo elemento a la vez. Estos índices permiten detectar firmas geoquímicas complejas, integrando en una sola variable la naturaleza multivariante de los sistemas mineralizados. Al depender de relaciones elementales, resultan más robustos ante efectos de atenuación, dispersión o enmascaramiento de la firma geoquímica ocasionados por procesos de meteorización, dilución o cobertura post mineralización. Cuando el índice logra definir una zonación o un gradiente, puede incluso establecer un vector de exploración directo hacia el núcleo del sistema.

En relevamientos geoquímicos exploratorios de tipo regional los IM han sido ampliamente utilizados (Garret y Geddes 1991, Steenfelt 2012, Garret y Grunsky 2001, Smith y Perdrix 1983, Lafebure *et al.* 2001).

Los muestreos geoquímicos de baja densidad carecen de la posibilidad de identificar patrones de zonación. Asimismo, en regiones con espesas secuencias sedimentarias que además incluyen potentes sucesiones de derrames basálticos, y que tienen una cobertura de suelos bien desarrollada, como es el área de estudio, las eventuales asociaciones geoquímicas vinculadas a procesos metalogénicos generadas por debajo de ellas podrían eventualmente ser detectadas a modo de fuga o dispersión. En el análisis de sedimentos de corriente, en todos los casos, debe entrar en consideración la dimensión de la red de drenaje situada aguas arriba del punto de muestreo, como foco del origen de la firma geoquímica detectada.

Los índices de mineralización mejoran la eficiencia en la interpretación geoquímica: proporcionan una capa de información unificada que permite evaluar de forma rápida grandes volúmenes de datos multivariados y priorizar áreas para estudios más detallados. En última instancia, transforman datos elementales crudos en modelos de probabilidad espacial sustentados en la comprensión genética de los depósitos minerales.

Existe una cantidad prácticamente ilimitada de posibles índices de mineralización, dado que cualquier combinación algebraica de elementos puede definirse como algoritmo. No obstante, en este estudio la selección de índices se realizó en función de modelos de depósitos minerales previamente caracterizados en áreas análogas y geológicamente próximas en Brasil y Paraguay, identificados en el Mapa Metalogénico de América del Sur (Zappettini 2005). Este criterio garantiza que los algoritmos empleados estén calibrados para detectar firmas geoquímicas relevantes en el contexto regional, optimizando la interpretación y la identificación de ambientes mineralizados similares.

La aplicación de índices de mineralización en programas de sedimentos de corriente de baja densidad de muestreo conlleva importantes consideraciones interpretativas. La resolución espacial inherentemente baja de este diseño muestral implica que, en la mayoría de los casos, no se podrá capturar la zonación geoquímica interna de un posible sistema mineralizado, ya que los sedimentos representan una mezcla homogeneizada de materiales erosionados de una cuenca de drenaje extensa. En este contexto, un índice de mineralización debe ser reinterpretado no como un vector de proximidad al núcleo, sino como un indicador de la presencia potencial de un evento metalogénico dentro de la cuenca. La firma geoquímica detectada será, por tanto, una señal promediada y atenuada. Una anomalía significativa en un índice bajo estas condiciones no delimita el blanco, sino que identifica una cuenca de drenaje anómala que justifica una investigación posterior con métodos de mayor resolución, como un muestreo de suelo o roca en una malla más densa.

Se calcularon los siguientes índices de mineralización (IM):

- Índice de depósitos asociados a sistemas alcalinos (22b)
- Índice de metales base
- Índice de depósitos asociados a sedimentos clásticos
- Índice de depósitos de óxidos de titanio asociados a sistemas alcalinos
- Índice de metales epitermales preciosos
- Índice de elementos calcófilos (CHI4)
- Índice de elementos calcófilos (CHI6)
- Índice de carbonatitas
- Sumatoria de óxidos de elementos de tierras raras

#### 4.1. ÍNDICE DE DEPÓSITOS ASOCIADOS A SISTEMAS ALCALINOS

Este algoritmo se generó para identificar indicios de potencialidad para depósitos pertenecientes al modelo 22b en el Mapa Metalogénico de América del Sur (Zappettini 2005). Es un índice normalizado, es decir que integra en la sumatoria la abundancia de cada elemento, al que previamente se le resta la media y se lo divide por la desviación estándar. Dicho valor mide entonces, cuántas desviaciones estándar un punto de datos se encuentra por encima o por debajo de la media del conjunto. Por lo tanto, el índice permite comparar la abundancia relativa

de elementos en distintas localidades, independientemente de sus magnitudes absolutas:

$$IM_{22b} = Au_{(n)} + Ag_{(n)} + Cu_{(n)} + As_{(n)} + Se_{(n)} + Te_{(n)} + Hg_{(n)}$$

Los depósitos próximos se desarrollan en un ambiente de volcanismo extensional de la Provincia ígnea de Paraná, de edad cretácica. Entre ellos se encuentran las brechas auríferas Paso Yobái (PAR-034) y Sapucay (PAR-033), en Paraguay.

Los elementos que componen este índice, excepto el mercurio, integran el Factor 1<sub>basáltico</sub> vinculado a afloramientos basálticos. En consecuencia, la distribución geográfica (Fig. 13) de los valores más destacados del  $IM_{22b}$  es muy similar a la del componente principal predominante, y se concentra en el extremo noreste de la provincia.

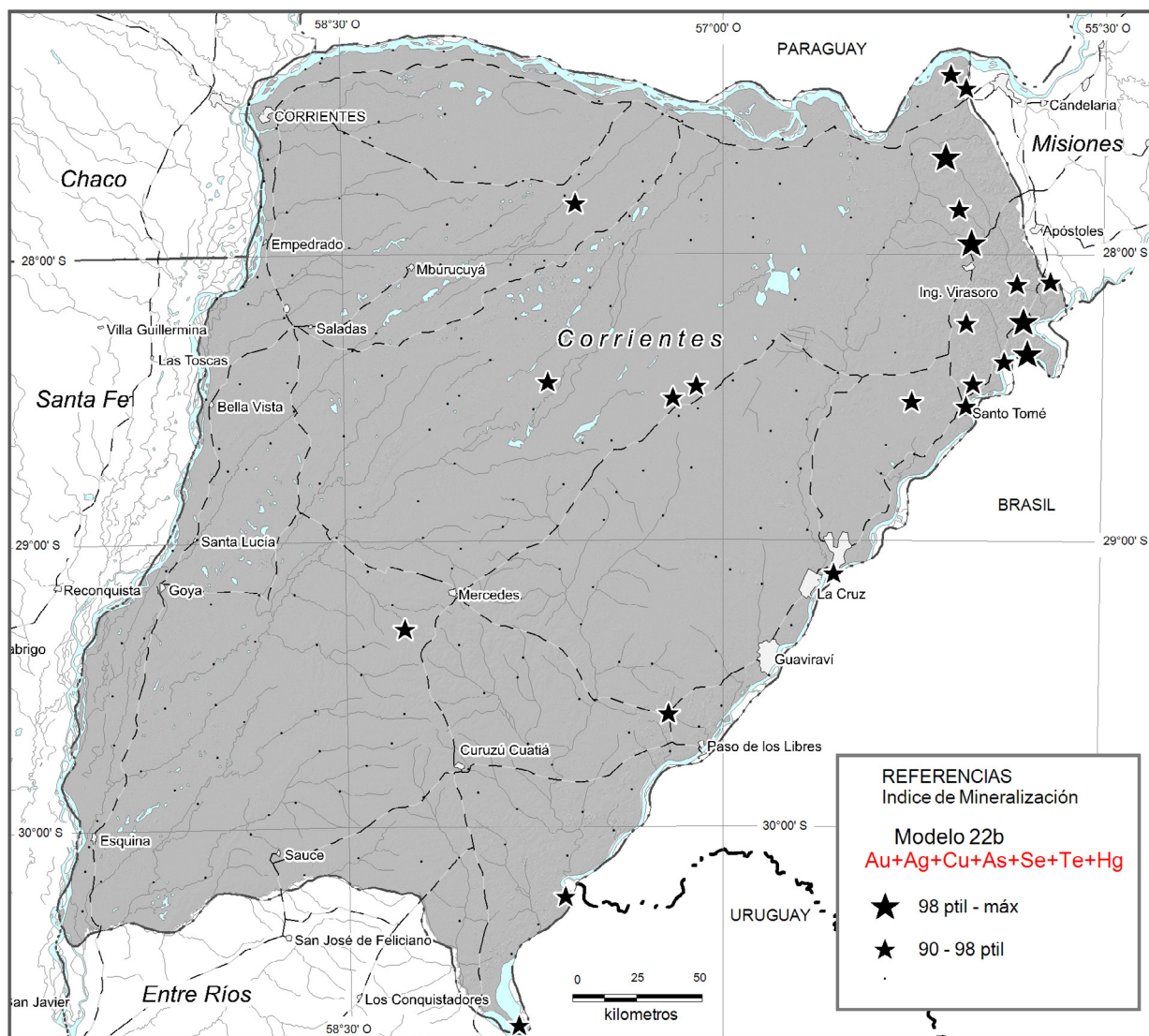


Figura 13: Índice de mineralización en depósitos asociados a sistemas alcalinos (22b): Au+Ag+Cu+As+Se+Te+Hg.

4.2. **ÍNDICE DE METALES BASE**

Este algoritmo está destinado a identificar indicios de potencialidad para depósitos asociados a intrusiones máficas y ultramáficas en ambientes tectónicamente estables. Es un índice normalizado que suma las concentraciones de metales base, y plata. El depósito de referencia más próximo es Andradas (BRA-388), de tipo diseminado, con Cu y Ag, situado en Brasil. Estos depósitos se emplazan en sucesiones de cuenca intracratónica del Paleozoico superior y metavolcanitas del Neoproterozoico.

$$IM_{MB} = Cu_{(n)} + Pb_{(n)} + Zn_{(n)} + Ag_{(n)}$$

Los elementos que componen este índice integran el Factor  $1_{\text{basáltico}}$  con carga factorial elevada (Cu) a moderada, que se vincula a afloramientos basálticos. En consecuencia, la distribución geográfica (Fig. 14) de los valores más destacados del  $IM_{MB}$  es muy similar a la del componente principal predominante, y se concentra en el extremo noreste de la provincia.

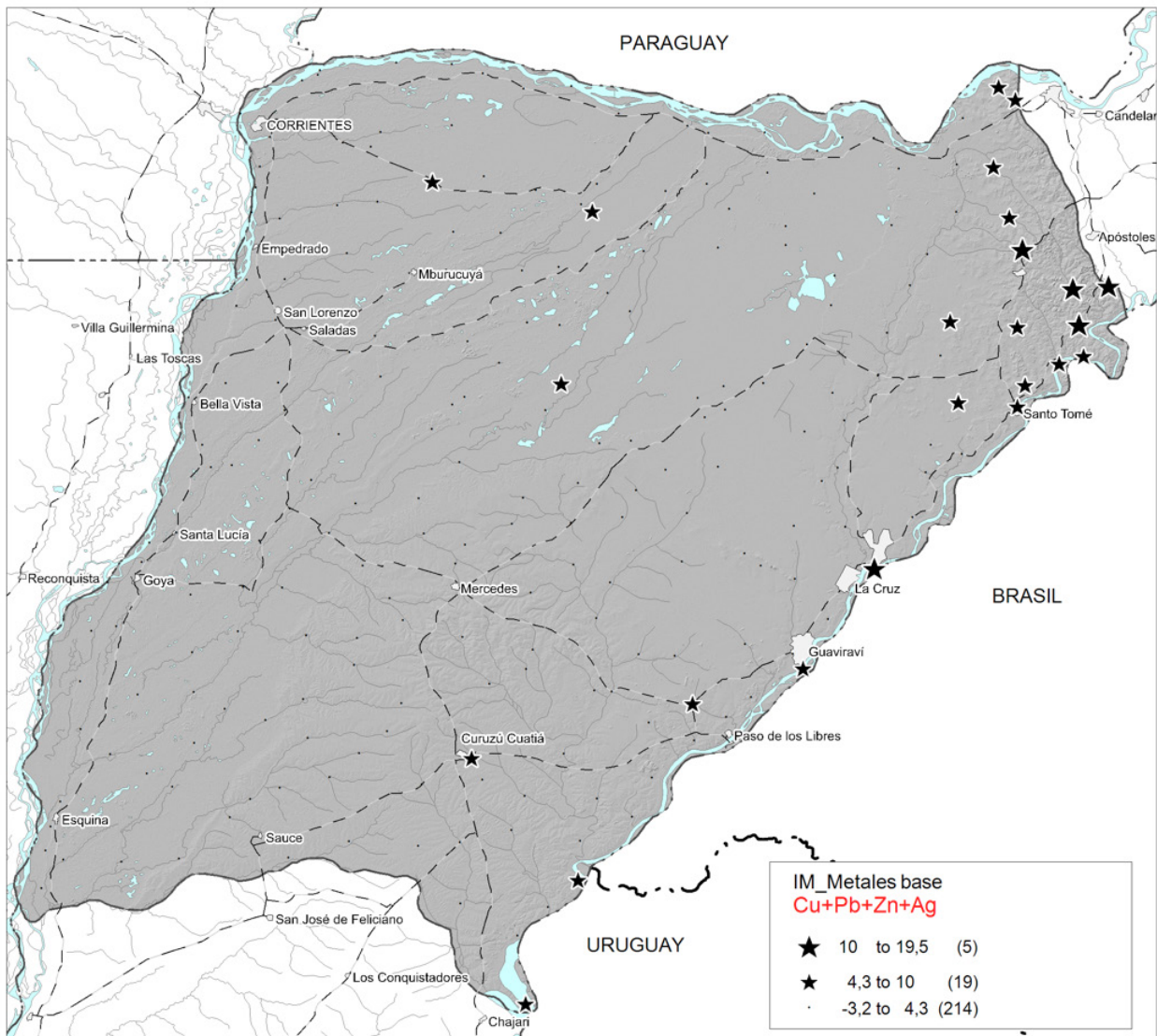


Figura 14: Índice de mineralización en depósitos asociados a metales base: Cu+Pb+Zn+Ag.

### 4.3. ÍNDICE DE DEPÓSITOS ASOCIADOS A SEDIMENTOS CLÁSTICOS

Este algoritmo está destinado a identificar indicios de potencialidad para depósitos asociados a sedimentos clásticos identificados como modelo 30c en el Mapa Metalogénico de América del Sur (Zappettini 2005). Es un índice normalizado que suma las concentraciones de uranio, vanadio, cobre, torio, elementos de tierras raras, niobio, tantalio, berilio, litio y circonio. Los depósitos de referencia más próximos son estratos uraníferos Yaratrí (PAR-043) y San Antonio (PAR-045) en Paraguay. Se emplazan en sucesiones de cuenca intracratónica de edad Carbonífero.

$$IM_{30c} = U_{(n)} + V_{(n)} + Cu_{(n)} + Th_{(n)} + ETR_{(n)} + Nb_{(n)} + Ta_{(n)} + Be_{(n)} + Li_{(n)} + Zr_{(n)}$$

Los elementos que componen este índice integran el Factor 1<sub>basáltico</sub> con carga factorial elevada a moderada, excepto Th y Zr que integran el Factor 3<sub>superficies residuales</sub> también vinculado a los basaltos y en cercanías de afloramientos de las formaciones Puerto Yerúa y Misiones relacionadas con afloramientos fluviales y eólicos. En consecuencia, la distribución geográfica (Fig. 15) de los valores más destacados del  $IM_{30c}$  combina ambos aspectos, y concentra en el extremo noreste y en el centro sur de la provincia.

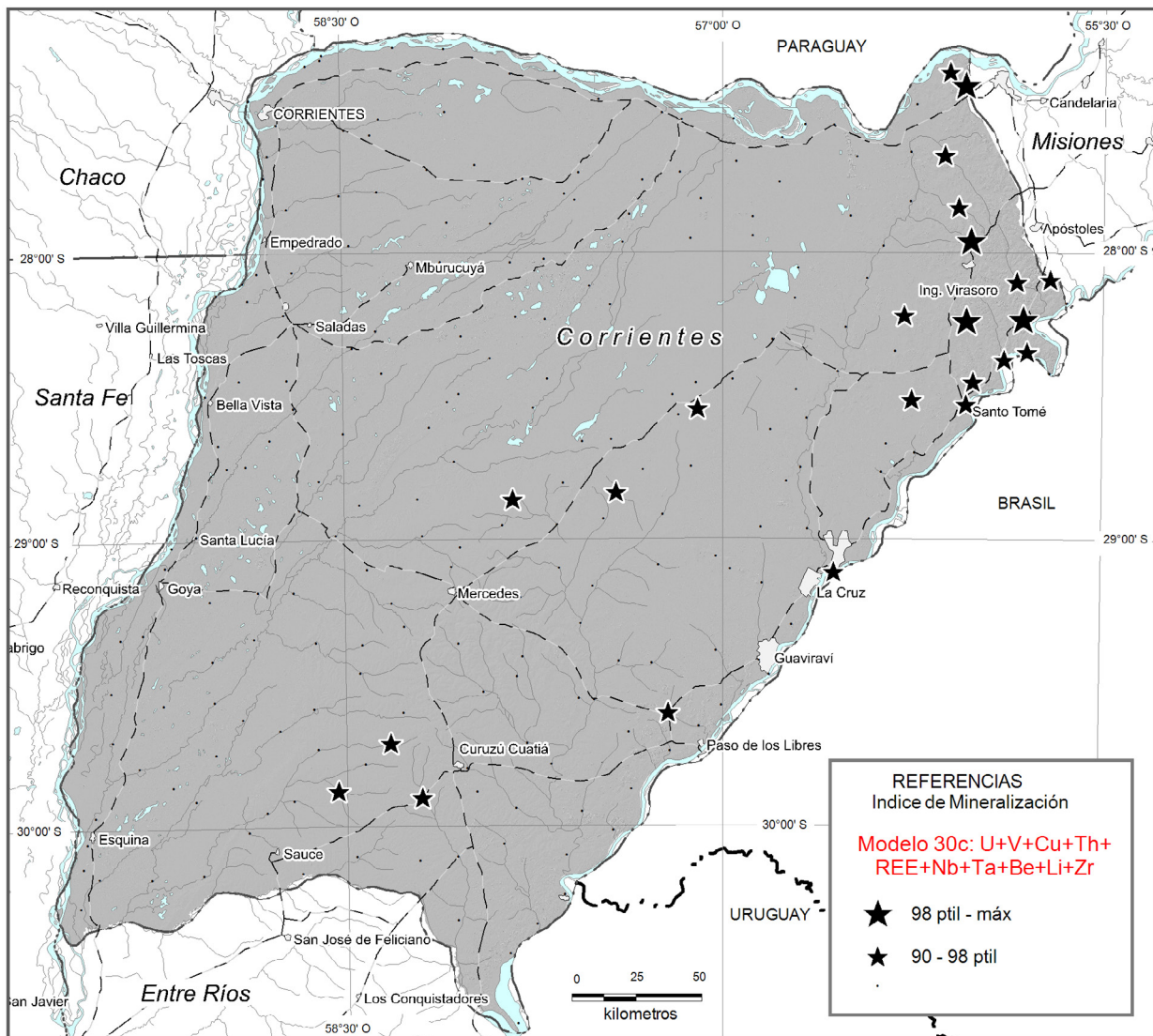


Figura 15: Índice de mineralización en depósitos asociados a sedimentos clásticos (30c): U + V + Cu + Th + REE + Nb + Ta + Be + Li + Zr (Sucesiones de cuenca intracratónica- Carbonífero).

4.4. *ÍNDICE DE DEPÓSITOS DE ÓXIDOS DE TITANIO ASOCIADOS A SISTEMAS ALCALINOS*

Este algoritmo está destinado a identificar indicios de potencialidad para depósitos de óxidos de titanio asociados a sistemas alcalinos, identificados como modelo 3 en el Mapa Metalogenético de América del Sur (Zappettini 2005). Es un índice normalizado que suma las concentraciones de cromo, níquel, cobalto, titanio, hierro, vanadio y cobre. La ocurrencia de referencia más próxima es ilmenita diseminada en Pirapó (PAR-046)

en Paraguay. Se emplazan en basaltos toleíticos y latitas cretácicas que integran la Provincia ígnea de Paraná.

$$IM_{Tiox} = Cr + Ni + Co + Ti + Fe + V + Cu$$

Los elementos que componen este índice integran el Factor 1<sub>basáltico</sub> con las más elevadas cargas factoriales. En consecuencia, la distribución geográfica (Fig. 16) de los valores más destacados del IM<sub>Tiox</sub> resulta prácticamente idéntica al componente principal fundamental, y se concentra en el extremo noreste de la provincia.

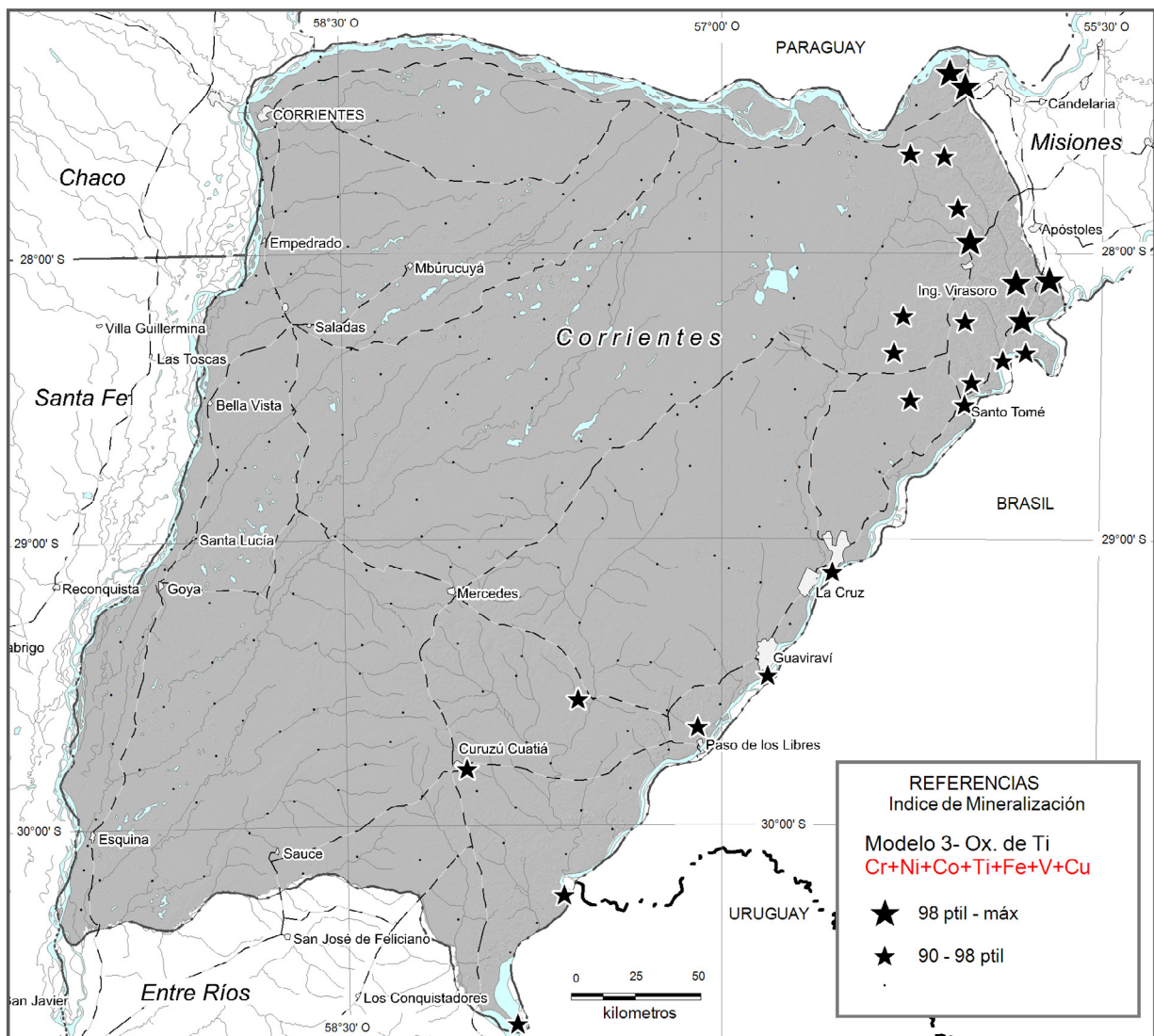


Figura 16: Índice de mineralización en depósitos de óxidos de titanio asociados a sistemas alcalinos: Cr + Ni + Co + Ti + Fe + V + Cu.

#### 4.5. ÍNDICE DE CARBONATITAS

Este algoritmo está destinado a identificar indicios de potencialidad para carbonatitas. Es un índice normalizado que suma las concentraciones de niobio, elementos de tierras raras y fósforo expresadas como óxidos. El potencial emplazamiento de depósitos de este modelo se vincularía con sistemas alcalinos.

$$IM_{\text{carbonatitas}} = Nb_2O_{5(n)} + ETRT_{ox(n)} + P_2O_{5(n)}$$

Los elementos que componen este índice integran el Factor 1<sub>basáltico</sub> con carga factorial moderada. En consecuencia, la distribución geográfica (Fig. 17) de los valores más destacados del  $IM_{\text{carbonatitas}}$  es semejante a la del componente principal predominante, y se concentra en el extremo noreste de la provincia.

#### 4.6. ÍNDICE DE METALES EPITERMALES PRECIOSOS

Este algoritmo está destinado a identificar indicios de potencialidad para depósitos epitermales de minerales preciosos. Es un índice normalizado que suma las concentraciones de oro, arsénico, antimonio, mercurio y plata.

$$IM_{\text{EPMI}} = Au_{(n)} + As_{(n)} + Sb_{(n)} + Hg_{(n)} + Ag_{(n)}$$

Los elementos que componen este índice integran el Factor 1<sub>basáltico</sub> con carga factorial moderada, excepto el mercurio que integra el Factor 4<sub>materia orgánica</sub>, vinculado a afloramientos loésicos. La distribución geográfica (Fig. 18) de los valores más destacados del  $IM_{\text{EPMI}}$  concentra sus valores máximos en el extremo noreste y en el centro de la provincia.

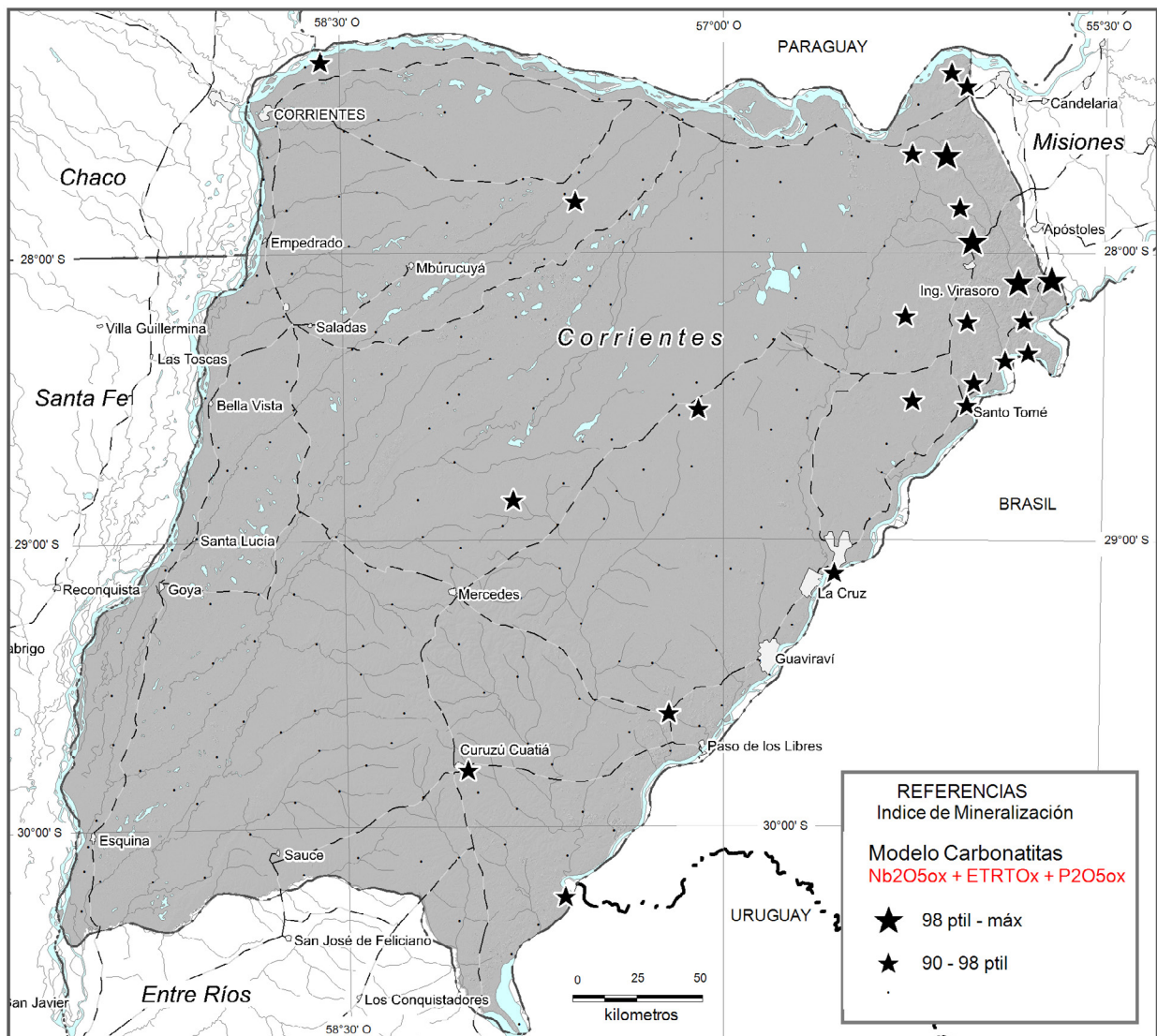


Figura 17: Índice de mineralización en depósitos asociados a carbonatitas:  $Nb_2O_5 + ETRT_{ox} + P_2O_5$ .

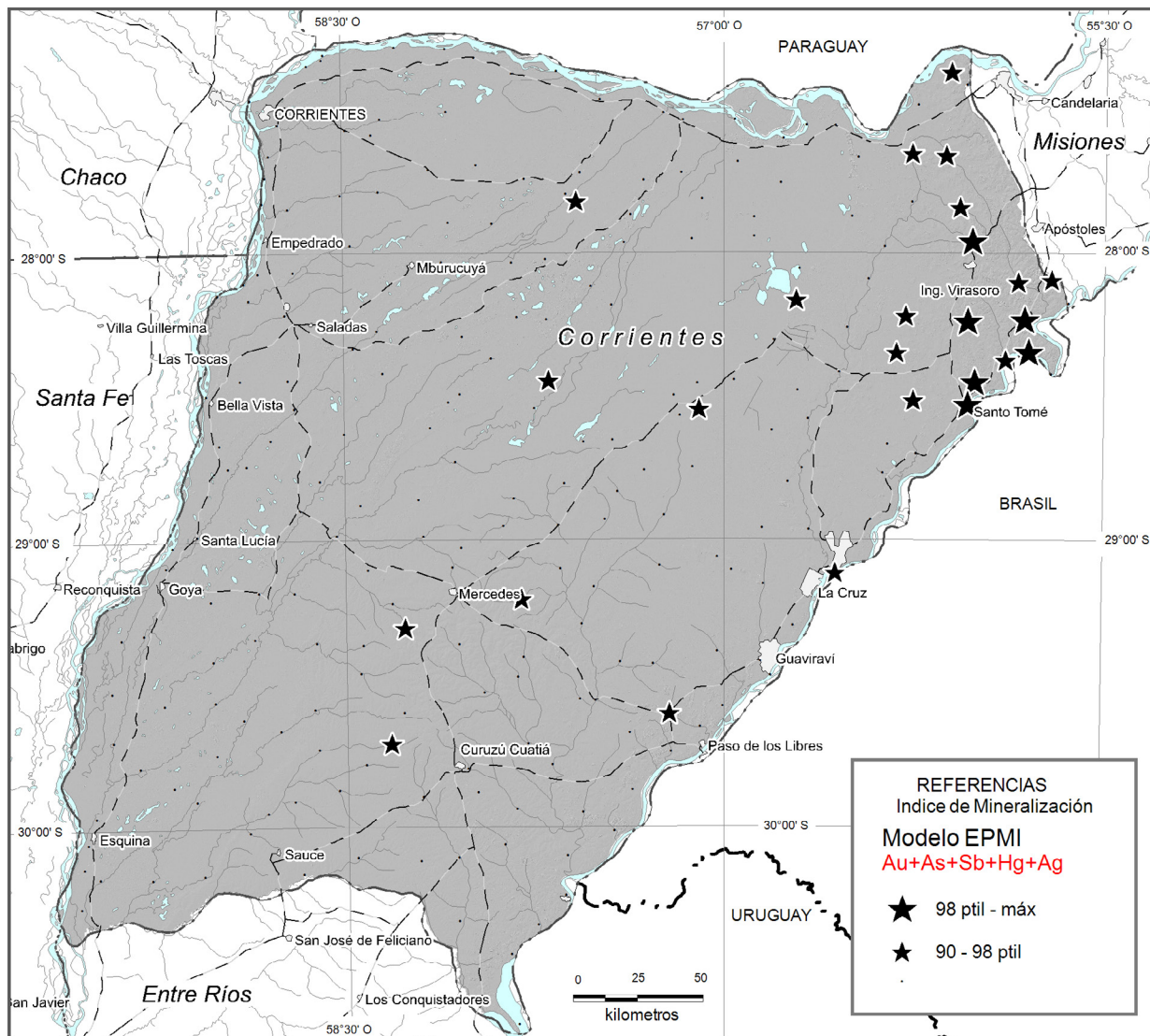


Figura 18: Índice de mineralización en depósitos epitermales de metales preciosos (EPMI): Au + As + Sb + Hg + Ag.

#### 4.7. ÍNDICE DE ELEMENTOS CALCÓFILOS (CHIA)

La aplicación del índice CHIA (Smith y Perdrix 1983) se fundamenta en el principio geoquímico de que los elementos calcófilos (como As, Sb, Bi, Hg, Mo, entre otros) presentan una marcada afinidad por fases sulfuradas y son movilizados de manera sinérgica en sistemas hidrotermales. Su utilización en la evaluación regional del potencial metalífero se justifica teóricamente por su capacidad para integrar y ponderar las anomalías de un conjunto de estos elementos *pathfinders* los que, debido a su alta movilidad iónica y volatilidad, suelen formar halos geoquímicos más extensos que los elementos metalíferos económicos principales. En consecuencia, este índice tiende a amplificar señales débiles y dispersas, sintetizando en un único valor numérico la probabilidad de la

presencia de un sistema mineralizante en las proximidades. En una cuenca con amplia cobertura basáltica y sedimentaria, el índice deja de ser un indicador directo y pasa a funcionar como una herramienta para sintetizar la eventual tenue señal multielemental de los elementos calcófilos móviles, que son los que tienen mayor probabilidad de atravesar la cobertura.

Es un índice ponderado, donde las concentraciones de elementos calcófilos son multiplicadas por diversos coeficientes y sumadas.

$$CHIA = Cu + 3Pb + 5Zn + 3As + 5Sb + 10(Bi + Cd + In) + 30Mo + 100Ag + 30Sn$$

Todos los elementos que componen este índice integran el Factor  $I_{basáltico}$ . En consecuencia, la distribución geográfica (Fig. 19) de los valores más destacados de CHIA se concentra en el extremo noreste de la provincia.

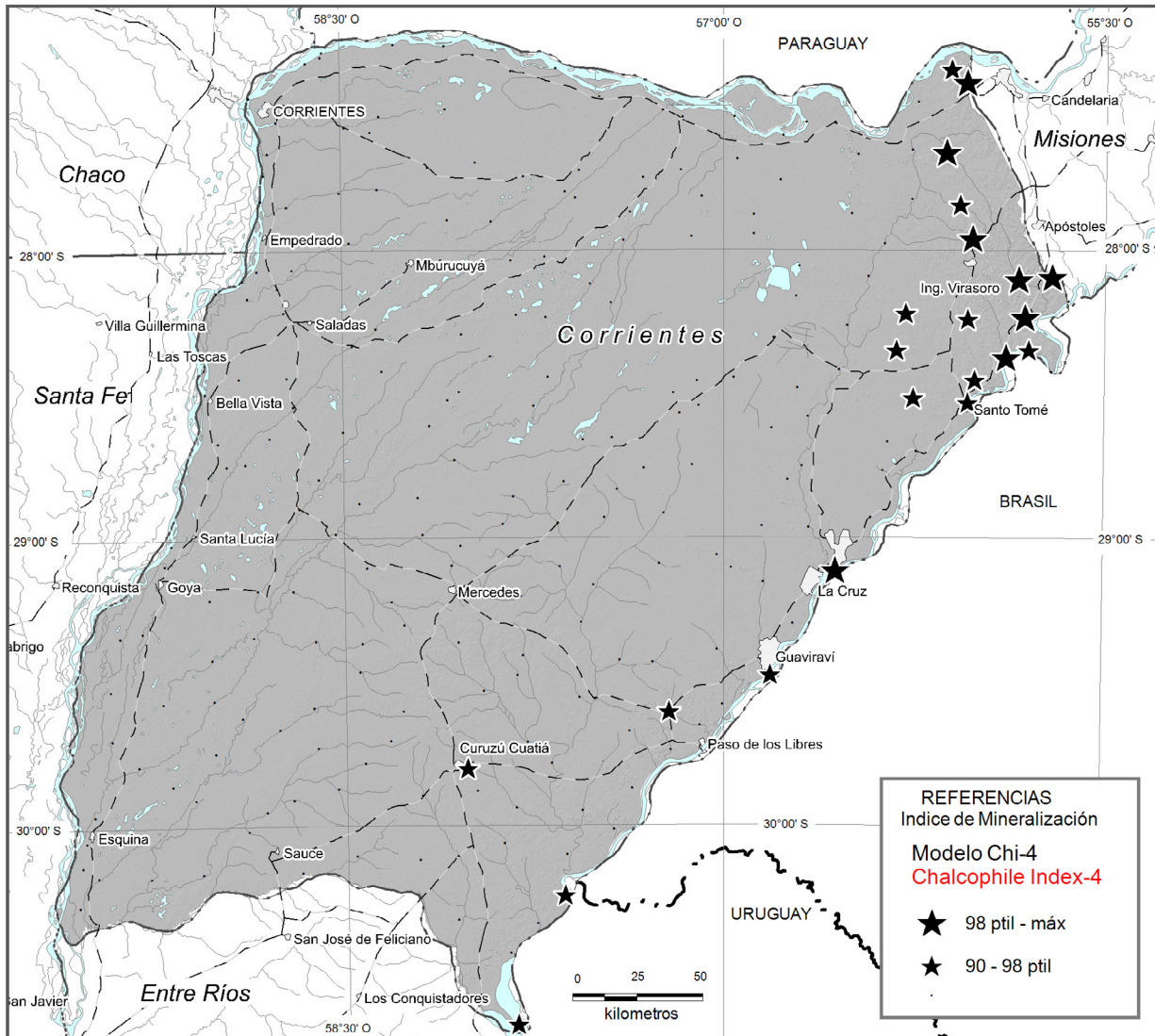


Figura 19: Distribución geográfica de los valores del índice CHI4 (Smith y Perdrix, 1983), calculado a partir de la ponderación de elementos calcófilos integrantes del Factor 1<sub>basáltico</sub>.

#### 4.8. ÍNDICE DE ELEMENTOS CALCÓFILOS CHI6

La aplicación del índice CHI6 (Grunsky 2000) se basa en idénticos fundamentos que la de CHI4. Es un índice ponderado, donde las concentraciones de elementos calcófilos son multiplicadas por diversos coeficientes y sumadas.

$$\text{CHI6} = \text{As} + 3,56\text{Sb} + 10\text{Bi} + 3\text{Mo} + 30\text{Ag} + 30\text{Sn} + 10\text{W} + 3,5\text{Se}$$

Los elementos que componen éste índice integran el Factor 1<sub>basáltico</sub>, con cargas factoriales moderadas, excepto el W que integra el Factor 5<sub>volcánico cretácico</sub>. En consecuencia, la distribución geográfica (Fig. 20) de los valores más destacados de CHI6 combina ambos aspectos, y concentra en el extremo noreste y en el centro este de la provincia.

#### 4.9. SUMATORIA DE ÓXIDOS DE ELEMENTOS DE TIERRAS RARAS

La determinación de la sumatoria de óxidos de tierras raras ( $\Sigma\text{ETR}_{\text{ox}}$ ) se emplea como un parámetro integral para la evaluación de potencial, ya que cuantifica el enriquecimiento total del conjunto de estos elementos. Este valor, conocido como TREO, puede simplificar el análisis univariado de más de quince elementos al permitir una comparación rápida y eficaz, y establecer un umbral de corte inicial. Dado que los elementos de tierras raras suelen coexistir en los mismos minerales y enriquecerse de manera conjunta, la sumatoria ofrece una visión global del enriquecimiento total. Una vez que un prospecto demuestra un TREO prometedor, los estudios detallados sí analizan las concentraciones individuales

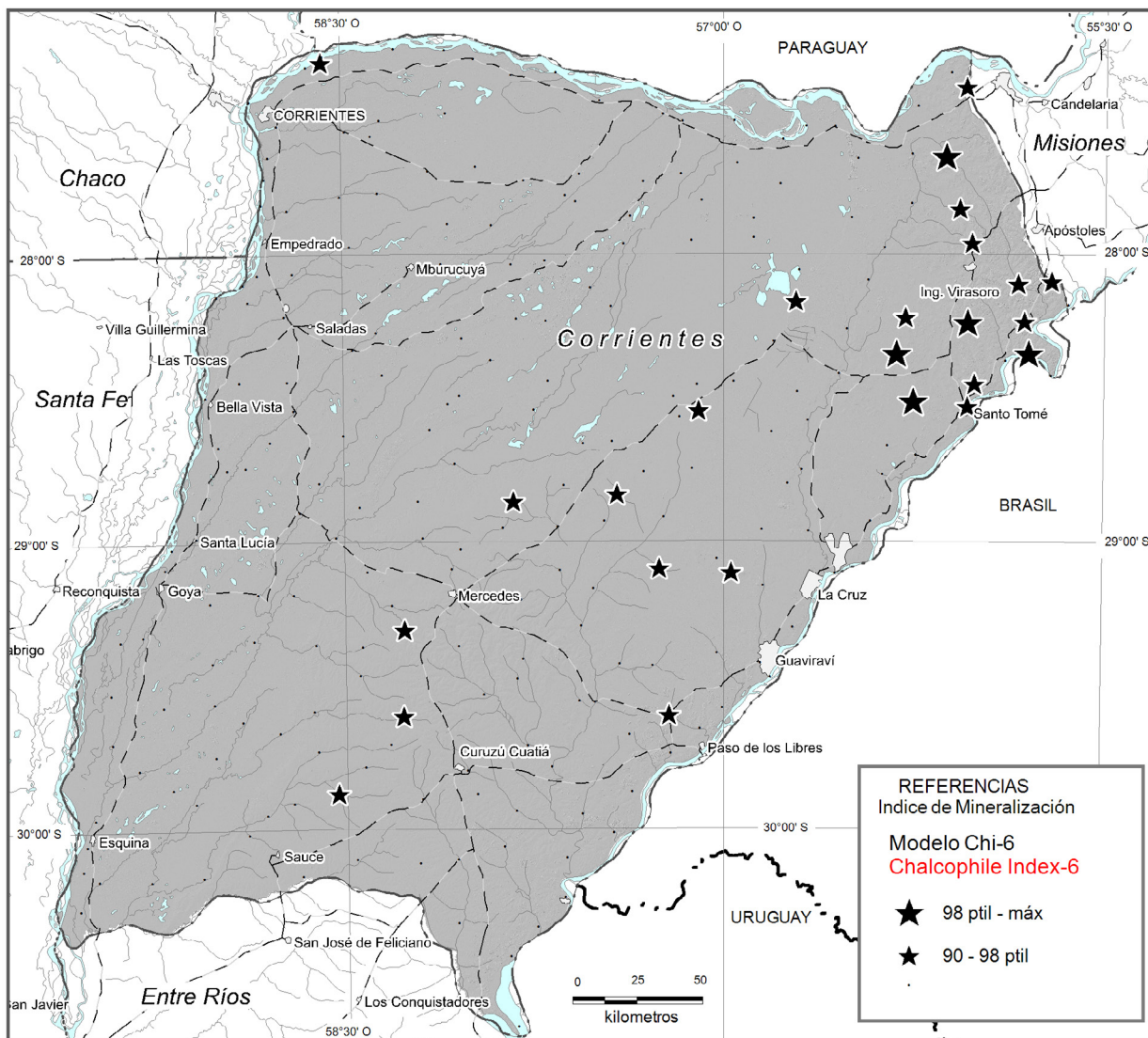
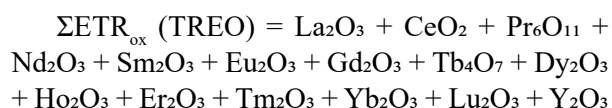


Figura 20: Distribución geográfica de los valores del índice CHI6 (Grunsky, 2000), calculado a partir de la ponderación de elementos calcófilos mayormente asociados al Factor 1 basáltico y, en el caso del W, al Factor 5 eólico cretácico.

para determinar la proporción entre tierras raras ligeras y pesadas, así como la presencia de elementos particulares de alto valor.

Únicamente los valores más altos de TREO en la muestra (Máx=0,06 %, P<sub>98</sub>=0,035 %, P<sub>90</sub>=0,02 %) se acercan, en su orden de magnitud, a los que serían valores normales explicados por la presencia de los basaltos (MORB) de la Formación Serra Geral. Como referencia para comparación, los basaltos MORB tienen valores medios de TREO del orden de ~0,012 % - 0,015 %. El valor medio de concentración de ΣETR en corteza es 125,15 ppm (143,9 ΣETR<sub>ox%</sub>, Rudnick *et al.* 2003). En el contexto actual de precios y demanda de estos elementos, los

valores de TREO > 1 % (10.000 ppm) obtenidos sobre muestras de roca suelen considerarse un buen indicio para un prospecto.



Los elementos de tierras raras integran el Factor 1 basáltico, con cargas factoriales moderadas. En consecuencia, la distribución geográfica (Fig. 21) de los valores más destacados de ΣETR<sub>ox</sub> es muy similar a la del componente principal predominante, y se concentra en el extremo noreste de la provincia.

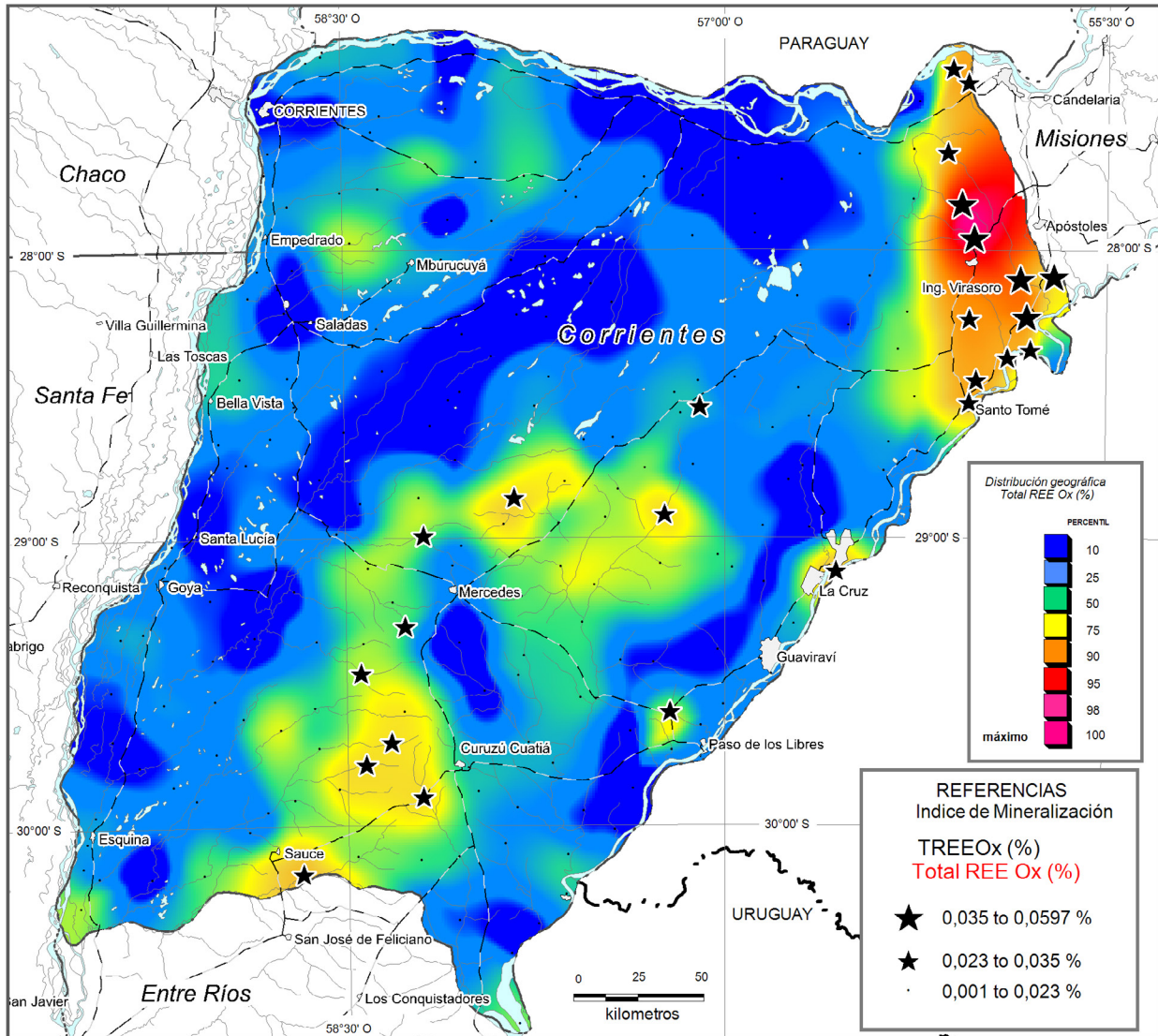


Figura 21: Distribución geográfica de los valores de  $\Sigma$ ETROx (TREEO), calculados como la sumatoria de óxidos de tierras raras que integran el Factor 1 basáltico.

## 5. CONCLUSIONES

El conjunto de muestras analizadas permite la aplicación de las metodologías de estadística univariada, análisis factorial de componentes principales, índices de mineralización y análisis de la distribución espacial para su interpretación.

Las interpretaciones sugeridas consideran el carácter de baja densidad del muestreo y la condición de sedimentos de corriente de la matriz.

Las muestras se encuentran notablemente enriquecidas en materia orgánica.

Los sedimentos analizados son típicos de cuencas con aportes silíceos y basálticos, donde predominan arenas cuarzosas y loess.

El alto contenido promedio de Silicio revela la naturaleza arenosa y silícica de los sedimentos, con un aporte material que contribuye a la dilución de la abundancia de los restantes elementos en las muestras.

La firma geoquímica refleja herencia de rocas máficas (altos Fe, Mg, Ti, V, Cr); minerales resistentes (Zr, Hf) y fracciones finas (Al, K) en loess; baja alteración química, con elementos móviles (Ca, Na) en concentraciones modestas.

En términos generales, el análisis factorial de componentes principales refleja los cuatro tipos litológicos dominantes en la región, aflorantes o subaflorantes, y un factor recoge la abundancia de elementos relacionados a la actividad antrópica y materia orgánica presente en los sedimentos.

El Factor 1<sub>basáltico</sub> por sí solo contribuye con el 43,2 % de la varianza total rotada de la muestra. Su predominancia es categórica, y engloba a la mayoría de los elementos analizados, que lo integran con alta carga factorial.

El Factor 1<sub>basáltico</sub> explica principalmente la presencia de las rocas vinculadas a la cuenca mesozoica de Paraná, representadas por los basaltos toleíticos

cretácicos, los que predominan en el sector noreste de la provincia, próximo al límite con Misiones. En menor proporción, este factor incorpora también los eventos sedimentarios jurásico–cretácicos de origen eólico, así como los depósitos continentales de relleno de cuenca del Cretácico Superior, intercalados entre las secuencias volcánicas.

Esta asociación muestra una correlación alta, aunque inversa, con la abundancia de silicio, cuya distribución es dominante a lo largo de las lomadas arenosas, bajos y esteros, formados por la migración del río Paraná hacia el norte, hasta alcanzar su posición actual. Los valores mínimos del Factor 1<sub>basáltico</sub> destacan depósitos que integran el extenso mega abanico aluvial que se desarrolla sobre la mitad noroeste de la provincia de Corrientes.

Las variables medidas están altamente correlacionadas y comparten una misma fuente causal dominante, relegando a los demás factores la representación de los componentes litológicos de menor expresión areal. Lo integran los elementos V, Fe, Cu, Co, Te, -Si, Ni, Mo, Sc, Cr, Sb, Ti, Zn, Mn, In, Pb, As, Be, ETR, Se, P, Ga, Au, Ge, Y, Sn, Ta, Nb, U, Ag, Li, Bi, Cd, Tl, Cs, Al (Mg, Th, I). Destacan por su alta carga factorial los elementos que indican la herencia de rocas máficas, y también la correlación inversa con el contenido de sílice que aportan los sistemas fluviales y que se incrementa con la longitud de transporte.

El Factor 2<sub>loésico</sub> explica la presencia de loess proveniente del oeste y sudoeste (de origen andino) de la Formación Fray Bentos. Domina en el sector sur, con continuidad hacia territorio entrerriano, y menos en el sector occidental; depósitos expuestos como remanentes de erosión, esta asociación de elementos pareciera estar parcialmente controlada por la estructura de bloques tectónicos que confor-

man esta región (Mira Carrión 2017 y Brunetto *et al.* 2019).

Más al NE, esa estructuración en bloques habría expuesto en superficie los basaltos desde finales del Cretácico- Paleógeno, conformando las superficies estructurales o de pedimentación que habrían posibilitado la acumulación in situ de minerales resistentes a la erosión. El Factor 3<sub>superficies residuales</sub> explicaría la concentración de los elementos HFSEs a partir del proceso de meteorización de los basaltos, y quizás, y en menor medida, de las rocas sedimentarias intercaladas.

El Factor 5<sub>eólico cretácico</sub> representa las rocas de relleno del *rift*, tanto las facies de *sin-rift* como de *sag*, la sedimentación eólica previa, y fluvial/ eólica posterior al volcanismo, y esencialmente es manifestación del hidrotermalismo regional producido por el calentamiento de las aguas del acuífero inferior y su ascenso, debido al evento de extrusión volcánica mesozoico de la cuenca magmática del Paraná.

El Factor 4<sub>materia orgánica</sub> se vincula a la abundancia de materia orgánica de los suelos y a la actividad agrícola. Se destacan áreas en zonas de Esteros del Iberá y en el curso inferior del Río Corrientes.

Los índices de mineralización, así como las abundancias relativas de Au, Ag, Cu, Ti y ETR, destacan en los mapas univariados sus máximos en coincidencia con los factores que destacan las principales litologías de la provincia magmática mesozoica, y son difícilmente escindibles del Factor 1<sub>basáltico</sub>. En términos generales, y asumiendo un muestreo geoquímico de baja densidad en sedimentos de corriente, se concluye que los valores máximos encontrados se corresponden con valores de fondo normales para dichas litologías, así como valores medios de abundancia en la corteza terrestre.

## 6. TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- Brunetto E., Sobrero F.S., Giménez M.E. 2019. Quaternary deformation and stress field in the Río de la Plata Craton (Southeastern South America). *Journal of South American Earth Sciences* 91: 332-351. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jsames.2017.04.010>.
- Casanova C., Pereyra F.X., Marengo, H.G. 2025. Mapa geomorfológico de la Provincia de Corrientes. Escala 1:500.000. Instituto de Geología y Recursos Minerales. Servicio Geológico Minero Argentino. Buenos Aires. <https://repositorio.segemar.gov.ar/handle/308849217/4856>.
- Ferpozzi, L.H., Eguaburo, L., Jara, A.S., Turel, A.V., González A.C., Larcher, N. 2024. Atlas Geoquímico de la Provincia de Corrientes, República Argentina. Instituto de Geología y Recursos Minerales. Servicio Geológico Minero Argentino. Serie Contribuciones Técnicas Geoquímica N° 121, 97 pp. Buenos Aires. <https://repositorio.segemar.gov.ar/handle/308849217/4474>.
- Folguera, A., Peroni, J.I., Ramé, Gustavo A., Boujón, P.S., Guevara, L., Conde Serra, A., Bedmar, J.M., Ferpozzi, L.H., Benítez, J. 2023. Caracterización geológica del área que comprende las localidades de Guaviraví, Estancia Tres Cerros y La Cruz, provincia de Corrientes. Instituto de Geología y Recursos Minerales. Servicio Geológico Minero Argentino. 179 pp. Buenos Aires. <https://repositorio.segemar.gov.ar/handle/308849217/4301>.
- Garret, R.G., Geddes, A.J.S. 1991. Studies of regional drainage geochemistry in Jamaica. *Transactions of the Institute of Mining and Metallurgy, London, Section B. Applied Earth Sciences* 100: B88-B97.
- Garret, R.G., Grunsky, E.C. 2001. Weighted Sums – Knowledge Based Empirical Indices for use in Exploration Geochemistry. *Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis* 1: 135-141.
- Grunsky, E.C. 2000. Strategies and Methods for the Interpretation of Geochemical Data in Exploration Geochemistry. In: Nichol, I. (Ed.) *Today's World*. Queen's University, 11 – 17, Kingston, Canadá.
- Herrmann, C., Lagorio, S., Segal, S., Cozzi, G. 2013. Caracterización de la mineralización de cobre en los basaltos de la provincia de Corrientes. 10º Congreso Argentino de Geología Económica, Actas: 67-71. San Juan, Argentina.
- Kröhling, D., Brunetto, E., Galina, G., M., Zalazar, C., Iriondo, M. 2014. Planation Surfaces on the Paraná Basaltic Plateau, South America. In J. Rabassa and C. Ollier (Eds.), *Gondwana Landscapes in southern South America*, Springer Earth System Sciences. DOI 10.1007/978-94-007-7702-6\_10.
- Lagorio, S., Vizán, H. 2011. El volcanismo de Serra Geral en la provincia de Misiones: aspectos geoquímicos e interpretación de su génesis en el contexto de la Gran Provincia Ígnea Paraná-Etendeka-Angola. Su relación con el volcanismo alcalino de Córdoba (Argentina). *Geoacta* 36: 27-53. [https://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1852-77442011000100003&lng=es&nrm=iso](https://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1852-77442011000100003&lng=es&nrm=iso). ISSN 1852-7744.
- Lefebure, D., Jackaman, W., Mihalynuk, M., Nelson, J. 2001. Anomalous RGS Survey Results West of Dease Lake -New Massive Sulphide Targets. *Geological Fieldwork 2001*, Columbia Geological Survey, Paper 2002-1 383.
- Liu F, Wang, X., Chi, Q., Tian, M. 2021. Spatial Variations in Soil Organic Carbon, Nitrogen, Phosphorus Contents and Controlling Factors Across the “Three Rivers” Regions of Southwest China. *Science of The Total Environment* 794. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148795>.
- Lizuain Fuentes, A., Panza, J. 2018. Mapa Geológico del Sector Continental e Insular Americano de la República Argentina - Mapa Geológico del Sector Antártico Argentino. Escala 1:2.500.000. Instituto de Geología y Recursos Minerales. Servicio Geológico Minero Argentino. <https://repositorio.segemar.gov.ar/handle/308849217/3184>.
- Locati F., Collo, G., Madsen, L., Muñoz, M., Marfil, S., Maiza, P. 2022. Clay Mineral Assemblages as the key to Understanding Alteration Processes in Basalts from the Province of Corrientes, Argentina. *Journal of South American Earth Sciences* 116. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2022.103777>.
- Madsen, L., Marfil, S., Maiza, P. 2018. Geoquímica y petrografía de los basaltos de la Formación Serra Geral de las provincias de Corrientes y Entre Ríos. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 75 (4): 559-571.
- Machado Braz, F., Ranalli Nardy, A., Prudente de Melo, R., Farias de Oliveira, M.A., Squisato, E. 2005. As rochas intrusivas da Formação Serra Geral na porção leste da Bacia do Paraná no estado de São Paulo: aspectos petrográficos e geoquímicos – resultados preliminares. *Geociências* 24(1): 5-17. São Paulo, UNESP.
- Mira, A., Veroslavsky, G., Rossello, E., Vives, L., Rodríguez, L. 2015. Subsurface Geological Modeling of Corrientes Province (NE Argentina) and its Relationships with the Guaraní Aquifer System Function. *Journal of South American Earth Sciences* 62: 148-163.

- Mira Carrión, A., Veroslavsky, G., Vives, L., Rodríguez, L. 2016. Influencia de los lineamientos estructurales sobre el flujo del sistema acuífero guaraní en la provincia de Corrientes. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 73 (4): 478 – 492.
- Mira, A., Veroslavsky, G., Rosello, E., Vives, L., Rodríguez, L. 2016. Estructura geológica de la provincia de Corrientes (Argentina) e implicaciones en el sistema acuífero Guaraní. IX Congreso Argentino de Hidrogeología y VII Seminario Hispano-Latinoamericano sobre temas actuales de la hidrología Subterránea. Actas: 13-20. Catamarca, Argentina.
- Mira Carrión, A. 2017. Modelo conceptual hidrogeológico y simulación numérica del flujo subterráneo del Sistema Acuífero Guaraní, con énfasis en el sector argentino. Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba.
- Pesce, A., Segal, S., Lagorio, S. 2016. El recurso geotérmico y la metalogénesis de los basaltos mesozoicos en Curuzú Cuatía, Mesopotamia Argentina. 11° Congreso Argentino de Geología Económica, Actas. Salta.
- Railsback, L.B. 2003. An Earth Scientist's Periodic Table of the Elements and Their Ions. *Geological Society of America. Geology* 31: 737-740. doi: 10.1130/G19542.1.
- Riccomini, C. 1995. Tectonismo gerador e deformador dos depósitos sedimentares pós-gondvânicos da porção centro-oriental do Estado de São Paulo e áreas vizinhas. Tese de Livre Docência, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo (inérita), 100 pp. São Paulo.
- Romanini, S.J. 2000. Aspectos Geológicos, Geoquímicos e Potencialidade em Depósitos de Ni-Cu-EGP do Magmatismo da Bacia do Paraná – (2ª Ed). Sérgio José Romanini; Luiz Fernando F. de Albuquerque (orgs). Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. Informe de Recursos Minerais Série Metais do Grupo da Platina e Associados N° 21, 72pp. - Porto Alegre, Brasil.
- Rosello, E., Veroslavsky, G., Santa Ana, H., Fúlfaro, V.J., Fernández Garrasino, C. 2006. La dorsal Asunción-Río Grande: un alto fondo regional entre las cuencas Paraná (Brasil, Paraguay, Uruguay) y Chacoparanense (Argentina). *Revista Brasileira de Geociências* 36: 181-196.
- Rudnick, R., Gao, S., Holland, H., Turekian, K. 2003. Composition of the continental crust. *Crust* 3: 1–64.
- Santa Cruz, J.N., Orfeo, O., Gulisano, F. 2019. Geología de la provincia de Corrientes - Argentina y cuencas geotectónicas relacionadas. Instituto Correntino del Agua y del Ambiente, Provincia de Corrientes, 269 pp. Corrientes.
- Smith, R., Perdrix, J.L. 1983. Pisolitic laterite geochemistry in the Golden Grove massive sulphide district, Western Australia. *Journal of Geochemical Exploration* 18: 131-164.
- Steenfelt, A. 2012. Rare earth elements in Greenland: known and new targets identified and characterised by regional stream sediment data. *Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis* 12: 313 –326. DOI: 10.1144/geochem2011-113.
- Strieder, A.J., Heemann, R., Reginato, P.A.R., Acauan, R.B., de Amorim, V.A., Remde, M.Z. 2015. Jurassic–cretaceous deformational phases in the Paraná intracratonic basin, southern Brazil. *Solid Earth Discuss* 7: 1263- 1314.
- Turekian, K., Wedepohl, K. 1961. Distribution of the Elements in Some Major Units of the Earth's Crust. *Geological Society of America Bulletin* 72: 175-192.
- Wang, W., Wang, X., Zhang, B., Wang, Q., Liu, D., Han, Z., Laolo, S., Souksan, P., Liu, H., Zhou, J. *et al.* 2022. National-Scale Geochemical Baseline of 69 Elements in Laos Stream Sediments. *Minerals* 12: 1360. <https://doi.org/10.3390/min12111360>.
- Zalán, P.V., Wolff, S., Astolfi, M.M., Vieira I.S., Conceição, J.C., Appi, V.T., Neto, E.V., Cerqueira, J., Marques, A. 1990. The Paraná Basin, Brazil. En: Leighton, M.W., Kolata, D.R., Oltz, D.F. y Eidel, J.J. (Eds.). *Interior cratonic basins*. American Association of Petroleum Geologist, *Memoir* 51: 681-708.
- Zappettini E.O., 2005 (Coordinador General). Mapa Metalogenético de América del Sur. Escala: 1:5.000.000 y memoria explicativa. Instituto de Geología y Recursos Minerales. Servicio Geológico Minero Argentino. CCGM CGMW; UNESCO y Asociación de Servicios Geológicos y Mineros de Iberoamérica. *Anales* 44, 274 pp. Buenos Aires.

## 7. ANEXO

		Ag_ppm	Al_porcentaje	As_ppm	Au_ppb	B_ppm	Ba_ppm	Be_ppm	Bi_ppm	Br_ppm	C_porcentaje	Ca_porcentaje	Cd_ppm	Ce_ppm	Cl_ppm	Co_ppm	Cr_ppm	Cs_ppm	
N	Válidos	237	237	237	237	237	237	237	237	237	237	237	237	237	237	237	237	237	237
	Perdidos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Media		0,05	3,97	5,20	0,47	19,90	209,66	0,72	0,06	2,22	0,98	0,43	0,03	31,30	59,22	11,09	40,55	2,63	
Mediana		0,04	3,21	1,70	0,30	17,40	161,00	0,45	0,07	1,59	0,37	0,26	0,03	20,50	40,00	4,24	24,00	1,90	
Desv. típ.		0,02	3,07	12,22	0,60	10,34	180,04	0,82	0,09	2,28	2,72	0,64	0,05	34,89	70,02	20,98	64,59	2,48	
Mínimo		0,02	0,35	-0,20	-0,10	2,60	32,00	-0,05	-0,05	-0,80	0,06	0,04	-0,02	2,90	24,00	0,39	5,00	0,20	
Máximo		0,14	13,00	112,84	3,62	56,70	1572,00	5,47	0,30	20,33	28,70	7,15	0,36	340,80	727,00	142,77	632,00	11,67	
Percentiles	25	0,03	1,29	0,83	0,14	11,60	92,00	0,20	-0,05	1,19	0,16	0,13	-0,02	9,95	33,00	1,62	15,00	0,68	
	50	0,04	3,21	1,70	0,30	17,40	161,00	0,45	0,07	1,59	0,37	0,26	0,03	20,50	40,00	4,24	24,00	1,90	
	75	0,06	6,02	3,73	0,58	25,65	275,50	0,96	0,12	2,74	0,84	0,48	0,05	39,95	51,50	10,43	39,00	3,83	

		Cu_ppm	Dy_ppm	Er_ppm	Eu_ppm	F_ppm	Fe_porcentaje	Ga_ppm	Gd_ppm	Ge_ppm	Hf_ppm	Hg_ppm	Ho_ppm	I_ppm	In_ppm	K_porcentaje	La_ppm	Li_ppm	Lu_ppm
N	Válidos	237	237	237	237	237	237	237	237	237	237	237	237	237	237	237	237	237	237
	Perdidos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Media		25,53	2,27	1,33	0,58	147,78	3,91	4,14	2,49	0,95	6,15	0,01	0,47	1,10	0,02	0,34	14,10	11,93	0,22
Mediana		8,50	1,50	0,88	0,38	120,00	1,44	3,20	1,70	0,87	5,61	0,01	0,30	0,69	0,02	0,26	11,00	9,00	0,15
Desv. típ.		51,02	2,11	1,23	0,54	96,27	7,52	6,42	2,30	0,22	3,62	0,01	0,43	1,13	0,03	0,29	10,40	8,90	0,19
Mínimo		1,50	0,07	0,18	0,07	48,00	0,15	-2,00	0,28	0,42	1,30	0,00	0,06	0,12	-0,01	0,01	1,90	2,90	0,03
Máximo		358,90	10,41	6,27	2,59	606,00	50,78	27,70	11,55	1,89	19,99	0,14	2,14	7,11	0,22	1,47	46,20	54,70	1,02
Percentiles	25	4,30	0,75	0,44	0,20	72,00	0,67	-2,00	0,83	0,80	3,33	0,01	0,16	0,42	0,01	0,12	5,35	5,10	0,08
	50	8,50	1,50	0,88	0,38	120,00	1,44	3,20	1,70	0,87	5,61	0,01	0,30	0,69	0,02	0,26	11,00	9,00	0,15
	75	18,95	3,13	1,86	0,78	202,50	3,30	7,75	3,34	1,05	7,69	0,01	0,64	1,38	0,03	0,49	20,65	15,70	0,29

		Mg_porcentaje	Mn_ppm	Mo_ppm	N_ppm	Na_porcentaje	Nb_ppm	Nd_ppm	Ni_ppm	P_ppm	Pb_ppm	Pr_ppm	Rb_ppm	S_porcentaje	Sb_ppm	Sc_ppm	Se_ppm
N	Válidos	237	237	237	237	237	237	237	237	237	237	237	237	237	237	237	237
	Perdidos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Media		0,26	594,03	0,43	774,78	0,25	7,16	13,20	7,64	267,28	10,54	3,26	15,17	0,02	0,19	5,68	0,11
Mediana		0,15	287,00	0,32	320,00	0,18	5,32	9,69	4,00	168,00	7,20	2,46	15,30	0,01	0,12	2,84	0,06
Desv. típ.		0,32	926,59	0,66	1829,14	0,19	7,81	10,47	10,99	321,59	10,30	2,55	22,57	0,05	0,29	7,33	0,18
Mínimo		0,02	22,00	-0,20	45,00	0,08	-2,00	1,42	-1,00	37,00	1,70	0,38	-10,00	0,00	-0,05	0,31	-0,01
Máximo		3,24	7324,00	3,55	18993,00	1,25	41,80	44,92	68,00	2632,00	71,50	10,72	90,60	0,43	1,97	38,29	2,11
Percentiles	25	0,06	111,00	-0,20	136,00	0,12	2,40	4,79	1,90	86,00	3,80	1,21	-10,00	0,01	0,08	1,26	0,04
	50	0,15	287,00	0,32	320,00	0,18	5,32	9,69	4,00	168,00	7,20	2,46	15,30	0,01	0,12	2,84	0,06
	75	0,36	637,00	0,60	689,50	0,32	10,67	18,75	8,55	331,00	13,60	4,63	29,10	0,02	0,18	7,24	0,12

		Si_porcentaje	Sm_ppm	Sn_ppm	Sr_ppm	Ta_ppm	Tb_ppm	Te_ppm	Th_ppm	Ti_porcentaje	Tl_ppm	Tm_ppm	U_ppm	V_ppm	W_ppm	Y_ppm	Yb_ppm	Zn_ppm	Zr_ppm
N	Válidos	237	237	237	237	237	237	237	237	237	237	237	237	237	237	237	237	237	237
	Perdidos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Media		39,51	2,58	1,37	33,91	0,72	0,41	0,03	4,33	0,50	0,15	0,21	1,38	111,99	0,88	11,57	1,37	33,75	215,08
Mediana		42,50	1,86	1,12	24,00	0,54	0,28	0,02	3,34	0,26	0,16	0,14	0,95	34,10	0,62	7,80	0,93	21,20	192,00
Desv. típ.		7,05	2,16	0,70	30,67	0,58	0,37	0,06	3,90	0,92	0,22	0,20	1,31	241,61	0,83	10,01	1,26	35,64	130,60
Mínimo		12,00	0,28	-0,60	3,00	0,11	0,05	-0,01	-0,80	0,04	-0,10	0,03	0,20	3,70	0,14	1,20	0,17	4,70	44,00
Máximo		45,10	9,50	4,00	265,00	5,09	1,82	0,35	18,10	9,49	0,75	1,02	9,60	1689,00	5,72	44,70	6,67	206,90	681,00
Percentiles	25	37,70	0,92	0,84	12,00	0,32	0,14	0,01	1,50	0,13	-0,10	0,07	0,48	15,70	0,35	3,90	0,49	11,45	110,00
	50	42,50	1,86	1,12	24,00	0,54	0,28	0,02	3,34	0,26	0,16	0,14	0,95	34,10	0,62	7,80	0,93	21,20	192,00
	75	44,00	3,59	1,70	46,00	0,91	0,56	0,03	6,60	0,48	0,30	0,29	1,91	73,45	1,18	16,65	1,86	42,80	287,50

Cuadro 1. Estadísticos descriptivos

Componente	Autovalores iniciales			Sumas de las saturaciones al cuadrado de la extracción			Suma de las saturaciones al cuadrado de la rotación		
	Total	% de la varianza	% acumulado	Total	% de la varianza	% acumulado	Total	% de la varianza	% acumulado
1	50,768	73,577	73,577	50,768	73,577	73,577	29,780	43,159	43,159
2	4,832	7,003	80,581	4,832	7,003	80,581	10,871	15,754	58,913
3	2,503	3,628	84,209	2,503	3,628	84,209	8,790	12,739	71,652
4	2,315	3,355	87,563	2,315	3,355	87,563	8,120	11,769	83,421
5	1,313	1,904	89,467	1,313	1,904	89,467	4,172	6,046	89,467
6	,914	1,324	90,791						
7	,735	1,065	91,856						
8	,622	,901	92,757						
9	,476	,689	93,446						
10	,438	,635	94,081						
...	...	...	...						
67	,000	,001	99,999						
68	,000	,000	100,000						
69	,000	,000	100,000						

Cuadro 2. Varianza Total Explicada

	Componente				
	1	2	3	4	5
LogV_ppm1	,933	,198	,227		
LogFe_porcentaje1	,917	,229	,189	,131	,119
LogCu_ppm1	,903	,288	,192	,165	
LogCo_ppm1	,883	,340	,155		,133
LogTe_ppm1	,875	,131	,239	,166	,266
LogSi_porcentaje1	-,875			-,210	
LogNi_ppm1	,829	,407	,225	,187	
LogMo_ppm1	,817		,249	,304	,326
LogSc_ppm1	,813	,365	,337	,202	,120
LogCr_ppm1	,812		,404	,101	-,128
LogSb_ppm1	,810		,148		,383
LogTi_porcentaje1	,799	,218	,495	,154	-,106
LogZn_ppm1	,794	,396	,260	,278	
LogMn_ppm1	,794	,395	,119	,155	,121
LogIn_ppm1	,794	,251	,386	,248	,163
LogPb_ppm1	,761	,214	,314	,225	,400
LogAs_ppm1	,759				,513
LogBe_ppm1	,753	,326	,254	,270	,363
LogEu_ppm1	,752	,495	,296	,187	,196
LogYb_ppm1	,752	,402	,392	,201	,228
LogLu_ppm1	,749	,407	,398	,207	,214
LogTm_ppm1	,748	,412	,382	,203	,231
LogSe_ppm1	,747		,155	,416	,231
LogP_ppm1	,747	,241	,138	,370	
LogEr_ppm1	,747	,413	,377	,214	,242
LogGd_ppm1	,746	,449	,355	,194	,226
LogHo_ppm1	,745	,421	,372	,211	,246
LogTb_ppm1	,744	,440	,364	,203	,234
LogCe_ppm1	,743	,402	,385	,164	,243
LogDy_ppm1	,730	,420	,368	,193	,227
LogGa_ppm1	,720	,381	,323	,304	,248
LogSm_ppm1	,716	,472	,386	,193	,217
LogAu_ppb1	,714	,295			
LogGe_ppm1	,712	,243	,343		,225
LogY_ppm1	,709	,439	,391	,232	,261
LogNd_ppm1	,691	,478	,415	,196	,219
LogPr_ppm1	,681	,472	,429	,202	,226
LogSn_ppm1	,675	,230	,435	,323	,208
LogTa_ppm1	,671	,248	,611	,228	
LogNb_ppm1	,667	,238	,570	,312	,133
LogU_ppm1	,652	,355	,331	,318	,345
LogLa_ppm1	,646	,477	,461	,218	,236
LogAg_ppm1	,633	,356	,135	,392	,128
LogLi_ppm1	,620	,314	,353	,314	,467
LogBi_ppm1	,580	,259	,413	,381	,442
LogCd_ppm1	,572	,508	,146	,474	,153
LogTl_ppm1	,551	,381	,390	,393	,427
LogCs_ppm1	,533	,316	,385	,431	,478
LogAl_porcentaje1	,530	,420	,366	,385	,407
LogNa_porcentaje1	,264	,835	,242	,236	
LogSr_ppm1	,348	,824	,226	,319	
LogCa_porcentaje1	,372	,819		,240	
LogK_porcentaje1		,763	,321	,334	
LogMg_porcentaje1	,538	,730	,228	,241	,107
LogBa_ppm1	,498	,686	,156	,264	,231
LogRb_ppm1	,239	,613	,377	,422	,357
LogF_ppm1	,495	,564	,323	,297	,375
LogHf_ppm1	,372	,231	,848	,133	
LogZr_ppm1	,421	,182	,847	,125	
LogB_ppm1		,389	,690	,256	,383
LogTh_ppm1	,574	,279	,582	,275	,313
LogW_ppm1	,466	,253	,500	,369	,412
LogC_porcentaje1	,238	,155	,220	,857	,217
LogN_ppm1	,224	,157	,254	,844	,251
LogBr_ppm1	,206	,243		,830	
LogS_porcentaje1	,170	,413		,796	
LogHg_ppm1	,399	,131	,293	,720	,185
LogCl_ppm1	-,204	,199		,598	-,186
LogI_ppm1	,518	,291	,139	,580	,196

Cuadro 3. Matriz de componentes rotados

		C_porcentaje	N_ppm	Ca_porcentaje	Br_ppm
C_porcentaje	Correlación de Pearson	1	,992**	,172**	,886**
	Sig. (bilateral)		0	0,008	0
	N	237	237	237	237

Cuadro 4. Correlación bivariada C con N, Ca y Br