

OBJETIVO GENERAL

Evaluar el potencial exploratorio de Hidrógeno Natural (H_2) a través de la realización de un catálogo a escala nacional de potenciales rocas generadoras, destacando las áreas de mayor favorabilidad de ocurrencia y proponiendo sistemas de generación, migración y acumulación.

CONTEXTO GEOLÓGICO

Uruguay presenta un basamento precámbrico dividido en dos unidades litosféricas: una zona cratónica (Cratón del Río de la Plata) y una faja orogénica (Cinturón Dom Feliciano), junto con tres cuencas sedimentarias fanerozoicas (Fig. 1). Las rocas del basamento están compuestas por rocas precámbricas, que afloran en la región sur y en las "islas cristalinas" de Rivera y Aceguá (noreste de Uruguay). Estas rocas son predominantemente rocas ígneas y metamórficas de grado medio a alto del Arqueano al Neoproterozoico. A pesar de las diferentes interpretaciones, se reconocen tres dominios principales en el basamento uruguayo de oeste a este: el Terreno de Piedra Alta (TPA), el Terreno de Nico Pérez (TNP) y el Cinturón Dom Feliciano (CDF). Las cuencas sedimentarias son la Cuenca Norte (Paleozoico-Mesozoico) y las cuencas Mesozoicas Santa Lucía y Laguna Merín en el sur.

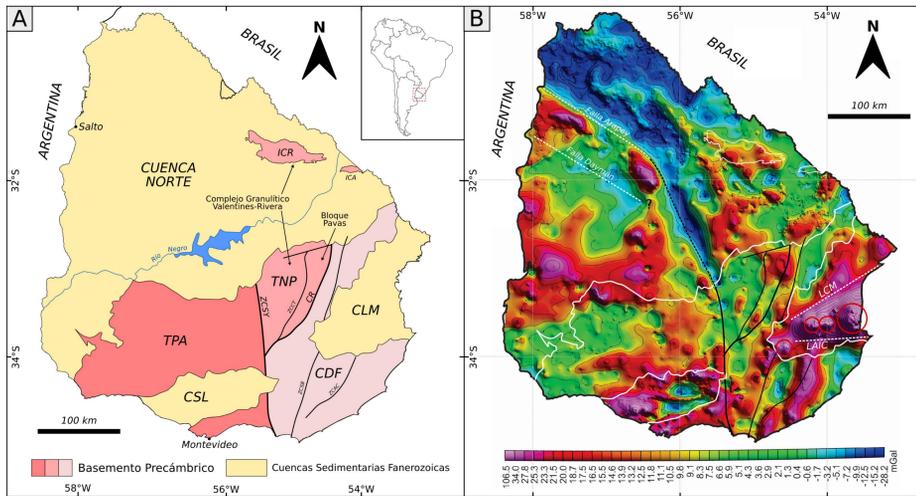


Figura 1. A: Mapa geológico simplificado de Uruguay indicando principales dominios tectónicos del basamento precámbrico y sus cuencas sedimentarias fanerozoicas (modificado de Morales et al., 2022). B: Mapa de anomalías de Bouguer de Uruguay (Rodríguez et al., 2015)

MATERIALES Y MÉTODOS

Para la realización del presente trabajo se siguieron los siguientes etapas:

- Realización de catálogo de potenciales rocas generadoras, según la clasificación descrita por Lévy et al. (2023), que define cuatro tipos asociados a procesos de generación: básicas/ultrabásicas (serpentización - H_2O), ricas en hierro (oxido-reducción - H_2O), radioactivas (radiólisis - H_2O) y ricas en materia orgánica.
- Análisis integral de áreas prospectivas y sistemas de H_2 , definiendo los potenciales procesos de generación, acumulación y entrapamiento. Los modelos se realizaron siguiendo la analogía con los sistemas petroleros ya expuestos en la literatura para la exploración de H_2 .

Los datos fueron recopilados a partir de una revisión bibliográfica y de datos geofísicos aéreos para el contenido de elementos radiactivos (U, Th, K) adquiridos durante 2014-2015 por el Servicio Geológico del Uruguay (DINAMIGE-MIEM). Para el análisis de áreas prospectivas se realizó una revisión de datos geológicos y geofísicos de las cuencas sedimentarias onshore.

RESULTADOS

El catálogo de potenciales rocas generadoras se resume en la Tabla 1. Su ubicación, junto con las principales áreas de exploración se observan en la Figura 2A.

H_2_GR1	Unidad Geológica	ID	Dominio	Contenido Fe
Serpentinitas	Fm. Paso del Dragón	S1	CDF	2.55-5.17%*; 10.25-17.68%** (Fe_2O_3)
	Complejo Ojosmín	S2	TPA	9.7% (Tremolita); 16.5% (Gabro) (Fe_2O_3)
	Complejo Tapes	S3	CDF	7.56%*; 15.88%** (Fe_2O_3)
	Fm. Arroyo Grande	S4	TPA	n.d
Gabros	Complejo Guaycurú	G1	TPA	8.0% (FeO); 3.2% (Fe_2O_3)
	Suite Isla Mala	G2	TPA	8.5±1%*; 7.71-9.84%** (Fe_2O_3) (Rospide)
	Serie alcalina Lascano	G3	CLM	12.39-13.08% (Fe_2O_3)
	Coronilla	G4	CLM	11.38-15.97% (Fe_2O_3)
	Carbonera	G5	CLM	9.86-11.19% (Fe_2O_3)
Haz de Diques Máficos	Florida	DS1	TPA	8.21-12.67%*; 7.93-13.25%** (FeO)
	Nico Pérez-Zapican	DS2	TPA/TNP/CDF	n.d
H_2_GR2	Unidad Geológica	ID	Dominio	Contenido Fe
BIFs	Fm. Valentines	I1	TNP	33-46%*; 40.83-52.25%** (Fe)
	Fm. Vichadero	I2	TNP	n.d
	Complejo Cebollati/Las Tetras	I3	CDF	n.d
BIFs	Fm. Marco de los Reyes	I4	CDF	55±6% (Fe_2O_3)
	Fm. Paso Severino	I5	TPA	n.d
	Fm. Manguera Azul	I6	CDF	n.d
	Grupo Arroyo del Soldado	I7	CDF	35.45-40.06% (Fe_2O_3) (Fm. Yermal)

H_2_GR3	Unidad Geológica	ID	Dominio	Radiométrico (Cps)	K (%)	Th (ppm)	U (ppm)	
Intrusiones Graníticas	Batolito de Illescas	R1	TNP	12,100	5.1	132	28	
	Florencia (batolito de Aiguá)	R2	CDF	3,900	4.4	34	7	
	Los Cerrillos (batolito de Aiguá)	R3	CDF	3,480	4.1	28	6	
	José Ignacio	R4	CDF	2,800	4.2	21	2	
	Batolito Santa Lucía	R5	CDF	4,557	5.2	48	7	
	Polanco	R6	CDF	4,245	4.1	36	7	
	Cerro de las Cuentas	R7	TNP	4,345	4.9	38	6	
	Batolito Cuchilla Dionisio	R8	CDF	3,680	4.1	33	4	
	Cerrezuelo	R9	TNP	3,320	4.7	27	3	
	Intrusiones Volcánicas	Complejo Sierra de Ánimas	R10	CDF	3,320	4.6	22	5
		Fm. Sierra de Ríos	R11	CDF	3,560	4.2	33	5
H_2_GR4	Unidad Geológica	ID	Dominio	TOC (%)				
Carbones	Fm. Tres Islas	O1	CN	n.d				
Oil shales	Fm. Mangrullo	O2	CN	8.93*; 12.5**				
Gas shales	Fm. Cordobés	O3	CN	3.6				

Tabla 1: Catálogo de potenciales rocas generadoras indicando nombre de la unidad, ubicación y geoquímica.

A partir de la integración de datos geológicos y geofísicos (Fig. 1B) se definieron cuatro áreas prospectivas (Fig. 2A), tres en Cuenca Norte y una en Cuenca Laguna Merín. La NB1 se asocia a potenciales rocas generadoras básicas y ultrabásicas del TPA. El dominio NB2 se ubica sobre el TNP y presenta un importante potencial debido al mayor espesor sedimentario y la ocurrencia de basaltos el tope los cuales podrían funcionar como sello. Indicios de anomalías del logging neutrón en un pozo de dicha área podría indicar la ocurrencia de niveles de reservorios al tope de la Fm. Tacuarembó (areniscas), entrampadas por los basaltos de la Fm. Arapey. La ocurrencia de BIFs tanto en la Fm. Valentines y Vichadero, supone posibles procesos de generación de H_2 para el área NB3. Estudios recientes indican que reacciones redox en BIFs podrían darse a profundidades muy superficiales (<50 °C) (Geymond et al., 2022). El menor espesor sedimentario de dicha área junto con la presencia de sills de doleritas (Fm. Cuaró) permite proponer un alto potencial. La CLM presentaría un basamento con rocas básicas (gabros) y radioactivas (granitos). La inferencia de fallas profundas y de un cuerpo conductor a altas profundidades (Morales et al., 2022), permite proponer un sistema para dicha cuenca.

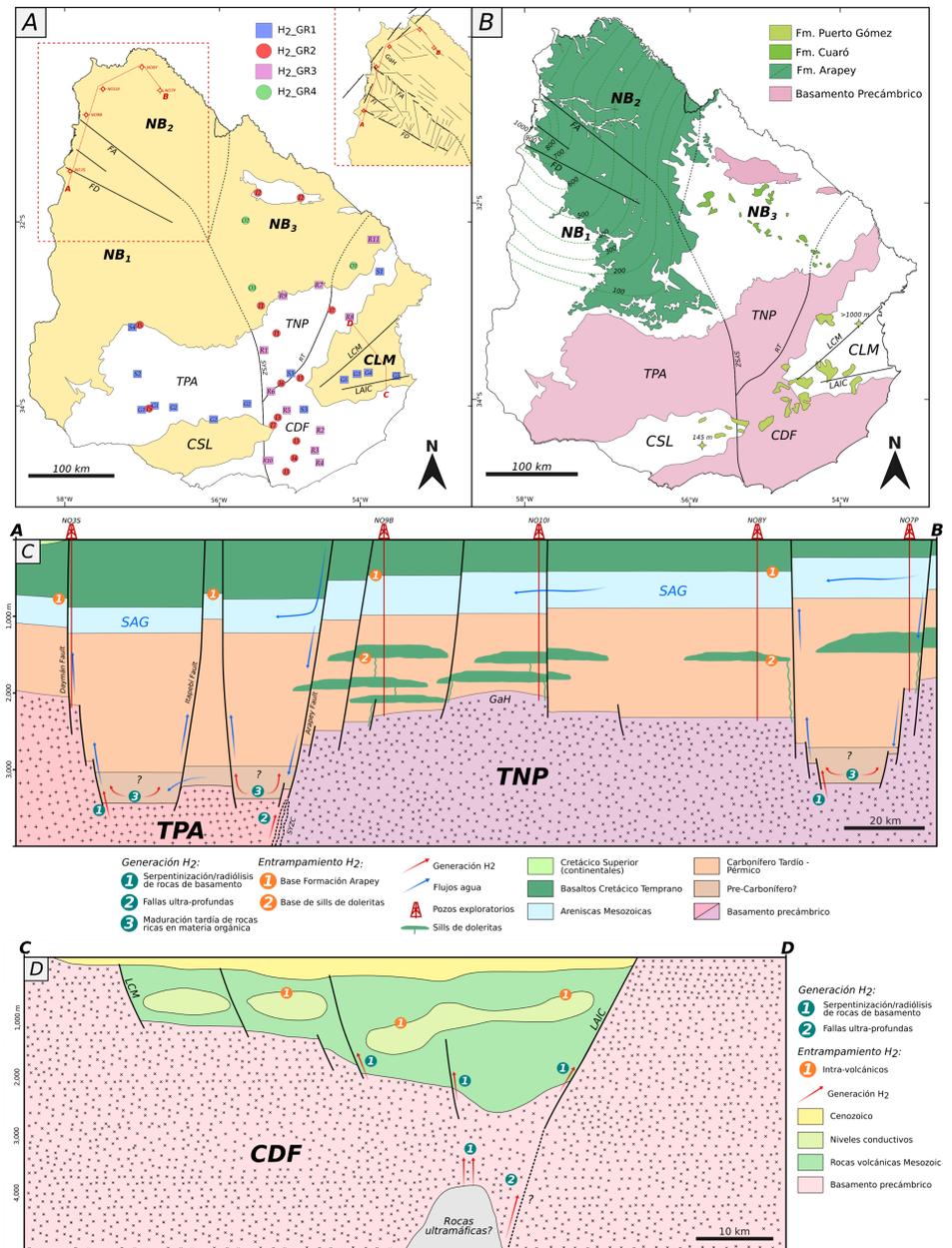


Figura 2: A: Áreas prospectivas en cuencas sedimentarias onshore mas ubicación de potenciales rocas generadoras de H_2 . B: Área de afloramiento de formaciones basálticas, representando el mapa de isópocas (m) de la Fm. Arapey, y el espesor máximo en pozos para la Fm. Puerto Gómez. C: Corte geológico esquemático A-B. D: Corte geológico esquemático C-D.

CONCLUSIONES

La presencia de rocas precámbricas en el basamento de las cuencas sedimentarias, así como la ocurrencia de fallas regionales profundas y rocas volcánicas análogas al yacimiento de Mali permiten inferir un alto potencial de generación y acumulación de H_2 para Uruguay. Las regiones de mayor favorabilidad serán el noroeste y centro de Cuenca Norte y Cuenca Laguna Merín.

REFERENCIAS

- Geymond, U., Ramanaidou, E., Lévy, D., Ouaya, A., Moretti, I. (2022). Can Weathering of Banded Iron Formations Generate Natural Hydrogen? Evidence from Australia, Brazil and South Africa. *Minerals*, 12, 163. <https://doi.org/10.3390/min12020163>.
- Lévy, D., Roche, V., Pasquet, G., Combaudon, V., Geymond, U., Loiseau, K., Moretti, I. (2023). Natural H2 exploration: Tools and workflows to characterize a play. *Sci. Technol. Energy Transit.*, 78 (27). <https://doi.org/10.2516/stet/2023021>.
- Morales, E., Plenc, F., Marmisolle, J., Rossello, E., Oleaga, A., Umpiérrez, R. (2022). Tectono stratigraphic evolution of the Jurassic-Cretaceous Laguna Merín Basin (Uruguay): New insights from magnetotelluric transects. *Tectonophysics*, 823. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2022.292911>.
- Rodríguez, P., Veroslavsky, G., Soto, M., Marmisolle, J., Gristo, P., de Santa Ana, H., Benvenuto, A., 2015. New integrated Bouguer gravity anomaly map onshore Uruguay: preliminary implications for the recognition of crustal domains. *SEG 2015*. <https://doi.org/10.1190/segam2015-5821993.1>.