

Programa Nacional de Cartas Geológicas de la República Argentina

1:250.000

Hoja Geológica 2763-III Santiago del Estero



Imagen satelital combinada con DEM. Se observan los rasgos topográficos que caracterizan el paisaje geomorfológico del sector occidental de la provincia de Santiago del Estero.

Provincia de Santiago del Estero

Mariano Hernández

Geomorfología: Diego Fernández
Recursos minerales: Ignacio N. Hernando
Sensores remotos: Diego Azcurra



**Programa Nacional de Cartas Geológicas
de la República Argentina
1:250.000**

Hoja Geológica 2763-III
Santiago del Estero
Provincia de Santiago del Estero

Mariano Hernández¹

Geomorfología: Diego Fernández²
Recursos Minerales: Ignacio N. Hernando¹
Sensores remotos: Diego Azcurra³

¹ Servicio Geológico Minero Argentino - Centro General Roca

² Servicio Geológico Minero Argentino - Centro Tucumán

³ Servicio Geológico Minero Argentino - Instituto de Geología y Recursos Minerales

Supervisión: Gabriela Anselmi

Validación: Fernanda Gaido, Marcela Yamin y Pablo Johannis

Edición: Daniel Rastelli

Normas, dirección y supervisión del Instituto de Geología y Recursos Minerales

**SERVICIO GEOLÓGICO MINERO ARGENTINO
INSTITUTO DE GEOLOGÍA Y RECURSOS MINERALES**

Boletín N° 459
Buenos Aires - EN PRENSA

SERVICIO GEOLÓGICO MINERO ARGENTINO

Presidente: Dr. Julio Bruna Novillo

INSTITUTO DE GEOLOGÍA Y RECURSOS MINERALES

Director: Dr. Martín Gozalvez

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA REGIONAL

Directora: Dra. Alicia Folguera

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

Esta publicación debe citarse como:

Hernández, M., Fernández, D., Hernando, I.N., Azcurra, D. 2025 (en prensa). Hoja Geológica 2763-III, Santiago del Estero, provincia de Santiago del Estero. Escala 1:250.000. Instituto de Geología y Recursos Minerales, Servicio Geológico Minero Argentino, Boletín N° 459, 37 pp. Buenos Aires.

Ejemplo cita particular:

Fernández, D. 2025 (en prensa). Geomorfología. En Hoja Geológica 2763-III, Santiago del Estero, provincia de Santiago del Estero. Escala 1:250.000. Instituto de Geología y Recursos Minerales, Servicio Geológico Minero Argentino, Boletín N° 459, 19-24 pp. Buenos Aires.

ISSN 0328 - 2333

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

CONTENIDO

RESUMEN	1
ABSTRACT	1
1. INTRODUCCIÓN	2
1.1. Ubicación de la Hoja y características geográficas	2
1.2. Naturaleza del trabajo	2
1.3. Investigaciones anteriores	2
2. ESTRATIGRAFÍA	2
2.1. INTRODUCCIÓN	2
2.2. CENOZOICO	3
2.2.1. NEÓGENO	3
2.2.1.1. Mioceno-Plioceno	3
Formación Guasayán (1)	3
2.2.1.2. Plioceno	4
Formación Las Cañas (2, 2a)	4
2.2.2. CUATERNARIO	5
2.2.2.1. Pleistoceno	5
Formación Capellanía (3)	6
Depósitos antiguos del abanico aluvial del río Salado (4)	6
2.2.2.2. Pleistoceno-Holoceno	6
Depósitos del abanico aluvial del río Dulce (5)	7
Depósitos del abanico aluvial actual del río Salado (6)	7
Depósitos eólicos (7)	7
Depósitos evaporíticos (8)	7
2.2.2.3. Holoceno	7
Depósitos fluviales y aluviales (9)	7
3. GEOLOGÍA DE SUBSUELO	8
3.1. INTRODUCCIÓN	8
3.2. PRECÁMBRICO-PALEOZOICO	10
3.2.1. Basamento metamórfico-ígneo	10
3.3. PALEOZOICO	10
3.3.1. Cámbrico-Ordovícico	10
Formación Árbol Blanco	10
Formación Pirané	11
Formación Las Breñas	11
Formación Zapla	11
3.3.2. Silúrico-Devónico	11
Formación Copo	11
Formación Caburé	12
Formación Rincón	12
3.3.3. Carbonífero-Pérmico	12
Formación Sachayoj	13
Formación Charata	13
Formación Chacabuco	13
3.4. MESOZOICO	14
Formación Buena Vista	14
Formación Tacuarembó	15
3.5. CENOZOICO	15
Formación Mariano Boedo	15
Formación Chaco	15
4. ESTRUCTURA	16
4.1. RASGOS ESTRUCTURALES EN SUPERFICIE	17
4.2. RASGOS ESTRUCTURALES EN SUBSUELO	18

4.2.1. Delimitación de cuencas sedimentarias por perforaciones.....	18
4.2.2. Métodos geofísicos	19
4.3. CONTEXTO TECTÓNICO	19
5. GEOMORFOLOGÍA	19
5.1. UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS CON CONTROL ESTRUCTURAL.....	20
5.1.1. Relieve estructural ondulado	20
5.1.2. Alto estructural	21
5.2. UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS DE ORIGEN FLUVIAL.....	21
5.2.1. Planicie aluvial del río Salado	21
5.2.2. Planicie aluvial del río Dulce.....	21
5.2.3. Abanico aluvial actual del río Salado	21
5.2.4. Abanico aluvial antiguo del río Salado.....	23
5.2.5. Abanico aluvial del río Dulce.....	23
5.2.6. Paleocauces	23
5.2.7. Vías de avenamiento secundarias	23
5.2.8. Niveles de bajadas	23
5.2.9. Derrames	23
5.2.10. Playa salina	24
5.3. UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS DE ORIGEN EÓLICO	24
5.3.1. Planicie eólica con control estructural.....	24
5.4. UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS DE ORIGEN POLIGÉNICO	24
5.4.1. Planicie fluvio-eólica	24
5.4.2. Bajos anegables y salinos	24
6. HISTORIA GEOLÓGICA	25
7. RECURSOS MINERALES	26
7.1. DEPÓSITOS DE MINERALES INDUSTRIALES Y ROCAS DE APLICACIÓN	26
7.2. MANIFESTACIONES DE AGUAS TERMALES.....	30
TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO.....	32

RESUMEN

La Hoja Geológica 2763-III Santiago del Estero está comprendida entre los paralelos 27° y 28° de latitud sur y los meridianos 63° y 64°30' de longitud oeste, abarcando el sector centro-occidental de la provincia de Santiago de Estero y de la provincia geológica denominada Llanura Chacopampeana. La región carece de un relieve apreciable y los depósitos más recientes cubren las secuencias sedimentarias que se desarrollan en subsuelo. La estratigrafía aflorante va desde el Mioceno hasta el Cuaternario, con las formaciones Guasayán, Las Cañas y Capellanía. Estas son cubiertas casi en su totalidad por depósitos cuaternarios continentales epiclásticos y evaporíticos. En subsuelo, la secuencia sedimentaria registrada e interpretada abarca desde el Precámbrico hasta el Cenozoico.

El basamento de la región se corresponde con rocas metamórficas de bajo grado del Neoproterozoico-Cámbrico, no se encuentra aflorando y es atravesado por algunos pozos poco profundos, hacia el oeste de la Hoja. En el subsuelo del área centro-oriental, sobre el basamento profundo se apoyan potentes paquetes sedimentarios paleozoicos agrupados en secuencias de edades cambro-ordovícicas de plataforma marina (formaciones Árbol Blanco, Pirané, Las Breñas y Zapla), siluro-devónicas de ambiente marino deltaico (formaciones Copo, Caburé y Rincón) y carbonífero-permianas de ambientes continentales y marinos con influencia glaciaria (formaciones Sachayoj, Charata y Chacabuco), que se correlacionan con unidades equivalentes en el noroeste argentino y países limítrofes. El Mesozoico continental de regímenes extensionales está representado por las formaciones Buena Vista y Tacuarembó, y el Cenozoico continental de antepaís, por las formaciones Mariano Boedo y Chaco.

Las estructuras principales en el área de la Hoja son la falla inversa El Rosario de rumbo N-S, que representa el límite actual del frente de deformación andino, y hacia el este, la Zona de falla Jumialito Chico, ambas con actividad cuaternaria. En el subsuelo, la Falla El Rosario limita por occidente la subcuenca de Alhuampa, donde se acumula la secuencia sedimentaria paleozoica en esta parte de la región Chacopampeana. Algunas fallas normales observadas en las secuencias del Paleozoico Superior podrían estar asociadas a procesos extensionales permo-mesozoicos acaecidos en el suroeste de Gondwana.

El paisaje geomorfológico se divide en tres regiones principales: el sector de lomadas y altos estructurales del oeste, la región de derrames de las sierras del nordeste tucumano y los sistemas fluviales de los ríos Dulce y Salado, que abarcan la mayor superficie de la Hoja. Esta configuración del paisaje es el resultado de procesos endógenos que fueron modificados parcialmente por procesos de erosión/agradación fluvial y sedimentación eólica.

Los recursos minerales del área de la Hoja son únicamente manifestaciones de minerales industriales y rocas de aplicación, principalmente integradas por sales de sodio que están vinculadas a depósitos evaporíticos localizados en el sector norte de la Hoja. Los áridos, utilizados para la construcción y la industria vial, provienen de los antiguos depósitos del río Dulce. También se suma la producción de arcillas rojas plásticas para la industria cerámica en la fabricación de ladrillos cerámicos huecos, y manifestaciones de aguas termales que podrían tener potencial para ser explotadas.

Palabras clave: Llanura Chacopampeana, subcuenca de Alhuampa, neotectónica, sales de sodio, Santiago del Estero

ABSTRACT

The 2763-III Santiago del Estero Geological Sheet (scale 1:250,000) is located in the western sector of the Chaco-Pampean Plain geological region, covering the mid-western part of Santiago del Estero province, bounded by the 27° and 28° south latitude parallels, and the 63° and 64°30' west longitude meridians.

This region lacks of appreciable relief and modern deposits cover the sedimentary sequences that develop underground. The surface outcrops are represented by Neogene deposits (Miocene to Quaternary), with the continental Guasayán, Las Cañas and Capellanía formations. These are almost entirely covered by Quaternary continental fluvial-alluvial and eolian, epiclastic and evaporitic deposits. In the subsurface, the recorded and interpreted stratigraphy spans from Precambrian to Cenozoic ages. The basement of the region is represented by Neoproterozoic-Cambrian low-grade metamorphic rocks, drilled by some shallow wells towards the west of the Sheet. In the subsurface of the mid-eastern part of the Sheet, thick Paleozoic sedimentary packages cover the deep basement. These are the Cambrian-Ordovician marine platform, Árbol Blanco, Pirané, Las Breñas and Zapla formations, the Silurian-Devonian deltaic marine, Copo, Caburé and Rincón formations, and the Carboniferous-Permian, (glacier-influenced) continental and marine Sachayoj, Charata and Chacabuco formations. The Mesozoic, extension-related continental units are represented by the Buena Vista and Tacuarembó formations, and the Cenozoic, foreland-related continental units by the Mariano Boedo and Chaco formations.

The main outcropping structures in the Sheet are the N-S-trending El Rosario reverse fault, which represents the current Andean deformation front, and to the east, the Jumialito Chico Fault Zone, both with Quaternary activity. In the subsurface, the El Rosario Fault marks the west limit of the Alhuampa subbasin and of the Paleozoic sedimentary sequence in this part of the Chaco-Pampean region. Few normal faults are observed in the Upper Paleozoic sequences which could be associated with a Permian-to-Mesozoic long period of extensional processes that occurred in southwestern Gondwana.

This area is divided into three main geomorphological regions: Hills and structural highs to the west, the region of overbank/spill deposits from the mountains of northeastern Tucumán, and the fluvial systems of the Dulce and Salado rivers, which cover the largest surface of the Sheet. This landscape configuration is the result of endogenous processes that were partially modified by fluvial erosion/aggradation and aeolian sedimentation processes.

The mining resources are only industrial minerals and application rocks, mainly composed of sodium salts that are linked to evaporitic deposits located in the northern sector of the Sheet. Fluvial sediments, used for construction and the road industry, come from the old deposits of the Dulce river. Minor production of red plastic clays is used for the ceramic industry in the manufacture of ceramic bricks. Low enthalpy geothermal manifestations are located mainly in the west sector of the Sheet.

Keywords: Chaco-Pampean Plain, Alhuampa subbasin, neotectonics, sodium salts, Santiago del Estero

1. INTRODUCCIÓN

1.1. UBICACIÓN DE LA HOJA Y CARACTERÍSTICAS GEOGRÁFICAS

La Hoja Geológica 2763-III Santiago del Estero está comprendida entre los paralelos 27° y 28° de latitud sur y los meridianos 63° y 64°30' de longitud oeste. Esta Hoja abarca el sector centro-occidental de la provincia de Santiago del Estero e incluye a las localidades de Santiago del Estero y La Banda (Fig. 1).

La región presenta mayormente un relieve de llanura, ya que se encuentra comprendida en la gran región morfológica denominada Llanura Chacopampeana (Russo *et al.* 1979, Chebli *et al.* 1999). La zona de mayor elevación se ubica en su sector occidental, en una franja de orientación norte-sur con cotas que alcanzan los 320 m s. n. m., mientras que sus zonas más deprimidas se ubican en el sector suroriental de la Hoja, con cotas de 120 m s. n. m. aproximadamente. La planicie está cubierta mayormente por sedimentos loésicos y es atravesada por dos ríos importantes: el Dulce y El Salado, este último con mayor representación en la Hoja. En su sector norte, zonas deprimidas y anegables forman grandes salinas que caracterizan la zona.

1.2. NATURALEZA DEL TRABAJO

La presente Hoja se realiza en el marco del Proyecto de Levantamiento Sistemático de Hojas de Llanura llevado a cabo por el Instituto de Geología y Recursos Minerales (IGRM-SEGEMAR). El trabajo de cartografía geológica de esta zona fue discontinuado en el año 2000 y retomado en el año 2023. Es importante señalar que los autores tuvieron acceso al informe y a la Hoja Geológica preliminar (Martín *et al.* 2000) pero no hubo trabajo de campo en esta nueva etapa, por lo que la presente contribución está basada en recopilación bibliográfica, imágenes satelitales, cartografía geológica previa y datos de perforaciones de pozos ubicados dentro y fuera del área de la Hoja.

1.3. INVESTIGACIONES ANTERIORES

Como se mencionó anteriormente, esta contribución no brinda detalles nuevos sobre la geología del área de la Hoja, sino que reúne y sistematiza a escala 1:250.000 la información existente. La zona abarcada en el presente estudio se encuentra comprendida

en un sector occidental y de borde de la provincia geológica de la Llanura Chacopampeana (Russo *et al.* 1979), limitando al oeste y al sur con la provincia geológica de las Sierras Pampeanas (Ramos 1999).

La región en general se caracteriza por estar cubierta por depósitos modernos, siendo los afloramientos rocosos más antiguos del Neógeno. Debido a esto, el conocimiento estratigráfico regional de la zona chacopampeana corresponde al subsuelo. En el área de esta Hoja Geológica en particular, la información sobre la geología de superficie está basada en los mapas geológicos de Battaglia (1982), Miró *et al.* (1999) y Martín *et al.* (2000). La información estratigráfica general proviene de las investigaciones prospectivas de perforaciones exploratorias realizadas por compañías petroleras. Estos pozos se encuentran distribuidos en toda la llanura chacopampeana, desde las provincias de Formosa al norte hasta La Pampa y Buenos Aires al sur. En la provincia de Santiago del Estero los pozos se ubican en su sector oriental, linderos con Chaco. Esta información fue sintetizada y expuesta en los trabajos clásicos de Russo *et al.* (1979), Pezzi y Mozetic (1989) y Fernández Garrasino *et al.* (2005), que con ayuda de información sísmica delimitaron, interpretaron y caracterizaron las secuencias sedimentarias del subsuelo de la región. Algunos trabajos más actuales, en relación a la geología superficial, se centran en los depósitos más modernos ubicados sobre las margenes del río Dulce fuera del ámbito de la Hoja.

Con respecto a la estructuración de la zona, escasas publicaciones en los últimos 20 años describen, a distintas escalas, el subsuelo del sector occidental de la llanura chacopampeana mediante métodos sísmicos y magnetotelúricos (Cristallini *et al.* 2004, Favetto *et al.* 2007, Peri *et al.* 2013, Reinante *et al.* 2014).

2. ESTRATIGRAFÍA

2.1. INTRODUCCIÓN

El área de la Hoja Geológica se encuentra circunscripta a la gran llanura Chacopampeana, una región geomorfológica amplia, con límites imprecisos y escasas expresiones topográficas. En sentido amplio, es parte un gran antepaís que recibe sedimentos provenientes del levantamiento andino y que hoy constituye la zona de tránsito de esos sedimentos hacia la plataforma y talud continental atlánticos (Chebli *et al.* 1999).

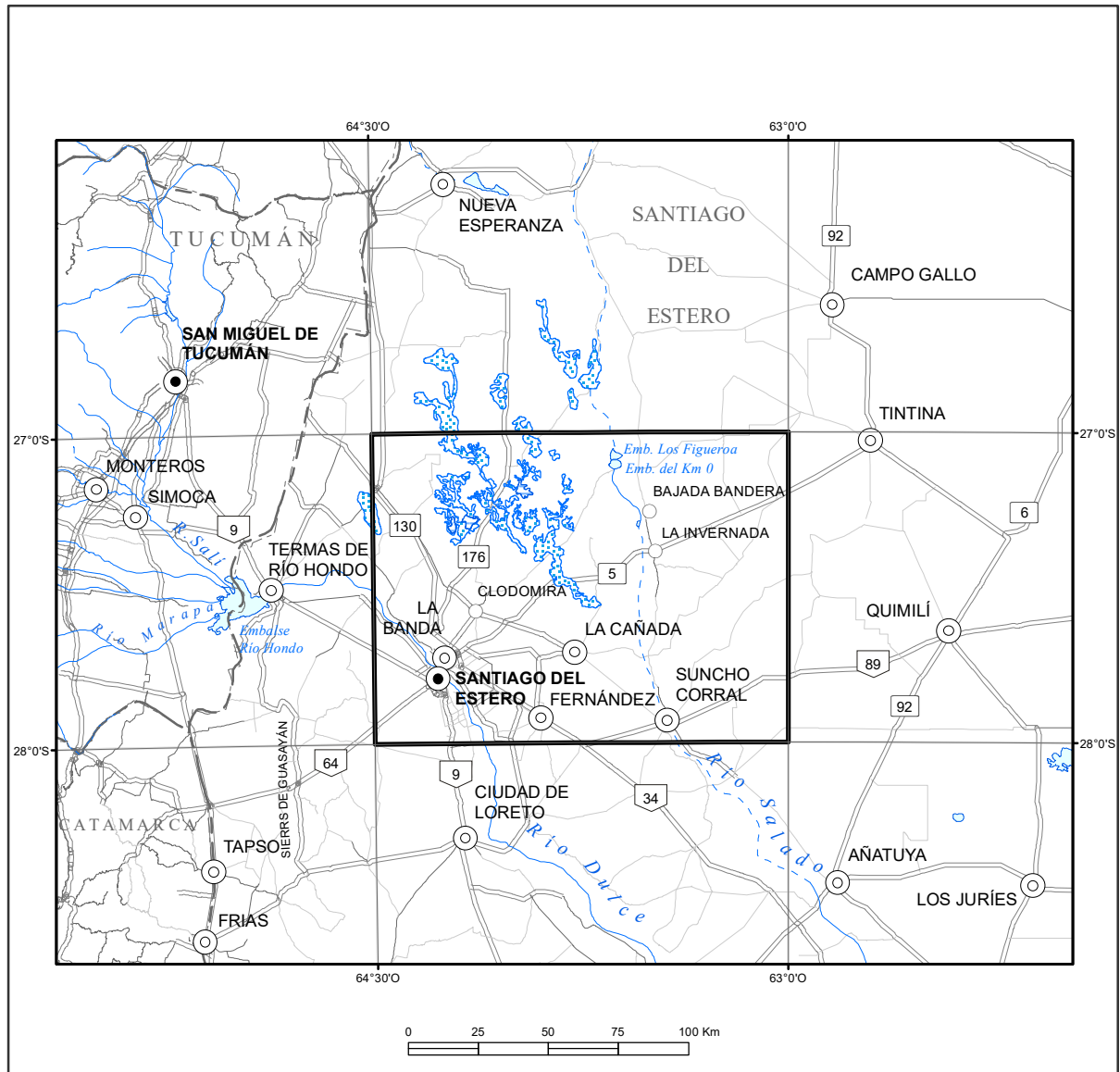


Figura 1. Ubicación de la Hoja Geológica 2763-III Santiago del Estero y Hojas limítrofes.

El área de la Hoja está cubierta mayormente por depósitos loésicos y otros depósitos modernos. Los afloramientos más antiguos corresponden al Neógeno (Fig. 2) y se encuentran en su sector oeste sobre las márgenes del río Dulce, al oeste y noroeste de la ciudad de Santiago del Estero. Dado que la tectónica regional no ha generado grandes resaltos topográficos y exhumaciones importantes en el área, no se encuentran afloramientos de rocas más antiguas que las del Neógeno.

2.2. CENOZOICO

2.2.1. NEÓGENO

2.2.1.1. Mioceno-Plioceno

Formación Guasayán (1)

Arcilitas yesíferas, areniscas

Antecedentes y distribución areal

Esta formación es la unidad aflorante más antigua de la Hoja Geológica, cubriendo un pequeño sector en su cuadrante suroeste, a unos 15 km al oeste de la ciudad de Santiago del Estero. Hacia el oeste, en la contigua Hoja Geológica 2766-IV Concepción, está expuesta en ambos faldeos de la sierra de Guasayán (Battaglia 1982, Dal Molin *et al.* 2003). Hacia el este (centro de cuenca Chacoparanense), esta unidad es el equivalente en subsuelo a la Formación Paraná, caracterizada por una ingesión marina somera de amplia distribución, el “mar paranense” (Fernández Garrasino *et al.* 2005).

Cenozoico	Cuaternario	Holoceno		Depósitos cuaternarios fluvio-aluviales (4, 5, 6, 9), eólicos (7) y evaporíticos (8)	
		Pleistoceno	Superior		
			Medio		Fm. Capellanía (3)
	Neógeno	Plioceno	Inferior	Fm. Las Cañas (2)	
			Mioceno	Superior	Fm. Guasayán (1)
				Inferior	Fm. Chaco
			Pg	Oligoceno	
	Mesozoico	Cretácico	Inferior	Fm. Tacuarembó	
		Jurásico	Superior		
		Triásico	Inf - Med		Fm. Buena Vista
Paleozoico	Pérmico	medio	Fm. Chacabuco		
		inferior	Fm. Charata		
	Carbonífero	superior	Fm. Sachayoj		
	Devónico	Medio	Fm. Rincón		
		Inferior			
	Silúrico	medio	Fm. Caburé		
		inferior	Fm. Copo		
	Ordovícico	Superior	Fm. Zapla		
		Inferior	Fm. Las Breñas		
	Cámbrico	superior	Fm. Pirané		
			Fm. Árbol Blanco		
	Neoproterozoico - Cámbrico				Basamento metamórfico-ígneo

Figura 2. Esquema estratigráfico general de la Hoja Geológica 2763-III Santiago del Estero.

Litología y ambiente

En las cercanías del área de la Hoja, la secuencia está integrada por arcilitas verdes yesíferas, en parte amarillentas y rojizas, portadoras de nódulos y bancos de yeso fibroso y compacto, y que culminan con bancos de ceniza volcánica vítrea y con numerosas hojuelas de mica negra (Battaglia 1982). Fernández Garrasino *et al.* (2005) y Russo *et al.* (1979) mencionaron que para los sectores occidentales de la cuenca, en subsuelo, podrían aparecer facies costeras e incluso continentales, conformadas por areniscas y conglomerados muy finos, de coloraciones rosadas o rojizos claros. El ambiente de sedimentación interpretado para estas secuencias es marino somero, costero y lagunar (Fernández Garrasino *et al.* 2005), siendo este último el más representativo para esta zona de estudio. El espesor de estas sedimentitas llega a superar los 400 m según los datos de las perforaciones de la región (Battaglia 1982).

Relaciones estratigráficas y edad

Esta unidad se apoya en discordancia sobre el basamento en el faldeo oriental de la sierra de Guasayán (Battaglia 1982), y hacia el este, en el subsuelo de la llanura Chacopampeana, se apoyaría en concordancia sobre la Formación Chaco. El contenido fosilífero ubica a esta unidad en el Mioceno Superior-Plioceno Inferior (Russo *et al.* 1979, Fernández Garrasino *et al.* 2005). Es cubierta en discordancia por la Formación Las Cañas.

2.2.1.2. Plioceno

Formación Las Cañas (2, 2a)

Limolitas, areniscas, conglomerados, arcilitas, tufitas

Antecedentes y distribución areal

Las secuencias que integran la Formación Las Cañas fueron asignadas al Terciario Subandino

por Beder (1928), mientras que Battaglia (1982) la definió como unidad. Sus afloramientos constituyen en general franjas con dirección NO-SE siguiendo las márgenes del río Dulce, y afloramientos aislados como los del noroeste de la ciudad de Santiago del Estero. Las perforaciones someras y algunos afloramientos aislados en el centro de la Hoja sugieren que esta unidad se encuentra inmediatamente por debajo de los depósitos cuaternarios, con cobertura parcial o total (indicada en el mapa geológico como 2a). Las descripciones sedimentológicas de esta unidad fueron realizadas hacia el oeste de la Hoja, en los alrededores de la ciudad de Río Hondo.

Litología y ambiente

La formación está conformada por una secuencia basal de 3 m de espesor de conglomerados limosos friables de coloraciones rojizas-amarronadas. Le siguen limolitas arcillosas de unos 15 m de espesor y limos arcillosos pardo-rojizos unos 4 a 5 m de espesor (Battaglia 1982). Niveles arenosos de granulometría media a fina se intercalan en toda la secuencia. Hacia el tope de la secuencia se encuentran capas de ceniza volcánica, de hasta 60 m de espesor (Armella *et al.* 2020). En el pozo Isca Yacu, Cristallini *et al.* (2004) correlacionaron una secuencia de aproximadamente 520 m con la Formación Las Cañas, en concordancia con el perfil sedimentológico compuesto de 540 m, levantado por Armella *et al.* (2020) en las proximidades de Río Hondo. En el área de la Hoja, el pozo Rodeo de Valdéz registró un espesor aproximado de 260 m (SEGEMAR 1975). La interpretación ambiental de estas secuencias indica un ambiente fluvial entrelazado arenoso, con buen desarrollo de planicies de inundación fangosas (Armella *et al.* 2020).

Relaciones estratigráficas y edad

La formación se apoya en discordancia erosiva sobre la Formación Guasayán. Battaglia (1982) asignó esta unidad al Plioceno medio. Armella *et al.* (2020) dataron una toba de la sección inferior de la unidad, y arrojó una edad con $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ de 3.73 ± 0.07 Ma, que la ubica en el Zancliense, del Plioceno Inferior. De esta forma la unidad se correlaciona con la sección superior de la Formación India Muerta perteneciente a las cuencas aledañas ubicadas hacia el oeste (Zapata *et al.* 2019).

2.2.2. CUATERNARIO

2.2.2.1. Pleistoceno

Formación Capellanía (3)

Fanglomerados, limos

Antecedentes y distribución areal

Los principales afloramientos de esta unidad se encuentran fuera del área de estudio, en las provincias de Tucumán y Catamarca, donde adquieren su máxima expresión (Battaglia 1982). En esta Hoja Geológica, la unidad aflora en las márgenes del río Dulce, donde constituye franjas con dirección NO-SE, hacia el Oeste de la ciudad de Santiago del Estero.

Litología y ambiente

La Formación se compone de sedimentos fanglomerádicos de abanicos aluviales y loessoides de origen fluvial-aluvial y eólico, respectivamente. Perfiles sedimentarios levantados en las márgenes del río Dulce, en zonas cercanas al oeste del ámbito de la Hoja, describen unos 10 m de arena gruesa a fina, en parte conglomerádica, y limos arenosos grises y beige (Battaglia 1982, Albino y Gaudioso 2018, Vezzosi *et al.* 2021). Hacia la zona de Guasayán, al oeste de la Hoja, también se describieron fanglomerados de hasta 40 cm de espesor, con clastos algo angulosos de filitas metacuarcíticas micáceas y de granitos, y con matriz arenosa y arcillosa (Battaglia 1982).

Los depósitos loessoides cubren normalmente a los fanglomerados y limos. Comprenden aproximadamente 2 m de limos ligeramente arcillosos y *loess* pulverulento, color pardo claro. También, se observaron acumulaciones incoherentes de rodados calcáreos. En la ciudad de Santiago del Estero, estos depósitos loésicos presentan buena exposición en forma de terrazas (Battaglia 1982).

Relaciones estratigráficas y edad

La unidad yace en discordancia sobre la Formación Las Cañas en el oeste de la Hoja.

Es asignada al Pleistoceno Superior por su contenido de vertebrados (mamíferos, reptiles y aves) fósiles (Chimento y Agnolin 2011, Albino y Gaudioso 2018, Vezzosi *et al.* 2021), edad confirmada por dataciones AMS ^{14}C de 19.900 ± 120 AP (Alberdi *et al.* 2008).

Depósitos antiguos del abanico aluvial del río Salado (4)

Arenas, limos, arcillas

En el sector oriental de la Hoja se encuentran los depósitos más antiguos del abanico aluvial del

rio Salado, en una franja de orientación aproximada norte-sur. Estas acumulaciones se corresponden con una zona media y más bien externa del megabanico aluvial del río Salado-Juramento (Thalmeier *et al.* 2020, 2021). Los depósitos son, en general, sucesiones grano-decrecientes que comienzan con estratos medianos de arenas gruesas/medias limosas e intercaladas con arenas finas/muy finas de cauce, que gradan a arenas limosas muy finas y, luego, a limos arenosos y limos arcillosos. Estos depósitos se interpretaron como facies de relleno de paleocauces principales. Además, se identifican estratos de arena muy finos a finos que corresponderían a derrames terminales, intercalados en las facies limo-arcillosa de llanura de inundación (Thalmeier *et al.* 2020, 2021). En el área de la Hoja, estos depósitos se encuentran cubiertos o semicubiertos por limos del tipo loessoides eólicos, al igual que en gran parte de la región chacopampeana.

Si bien la progradación inicial del abanico aluvial, originalmente hacia el este, podría haber comenzado en el Plioceno debido al alto aporte de sedimentos sinorogénicos andinos, las reconstrucciones realizadas por Thalmeier *et al.* (2021, su figura 9) indicaron que la sedimentación en el área de la Hoja se produce durante el Pleistoceno Tardío, en una segunda etapa evolutiva de agradación importante del abanico y levantamientos tectónicos de bloques, que hacen que el curso del río Salado y su abanico migre hacia el sureste y comience a transitar por el área de estudio, acercándose a su posición de escurrimiento actual.

2.2.2.2. Pleistoceno-Holoceno

Los sedimentos cuaternarios, actuales y antiguos, corresponden a los extensos depósitos que cubren la mayor parte del área de la Hoja, enmascarando casi totalmente la estratigrafía de la región. Son sedimentos fluvio-aluviales y eólicos que se acumulan en las depresiones, salinas y planicies de inundación de ríos y arroyos. Están mayoritariamente representados por limos, arenas finas a medianas, arcillas, gravas y sales evaporíticas.

Depósitos del abanico aluvial del río Dulce (5)

Arenas, limos, arcillas, gravas

El abanico aluvial del río Dulce (Fig. 3) y sus depósitos se ubican en el sector suroeste de la Hoja, donde el río cruza la falla El Rosario y distribuye sus sedimentos hacia el este (Bhattacharya *et al.* 2006, Iriondo 2010). Los depósitos son niveles alternados de gravas y arenas gruesas, arcillas, limos y limos arenosos y arenas finas a medias, siendo estos dos últimos los más abundantes (Bhattacharya *et al.* 2006, Iriondo 2010). También, se han descrito algunos niveles de cenizas volcánicas, relacionadas al elemento As (Arsénico) en los acuíferos de la zona (Bundschuh *et al.* 2004, Bhattacharya *et al.* 2006, su figura 3). Los sedimentos de granulometrías más gruesas se ubican en el ápice del abanico, en las cercanías de la falla El Rosario, o en antiguos paleocanales del río (Fig. 3), con presencia de clastos de metamorfitas (Bhattacharya *et al.* 2006). Hacia

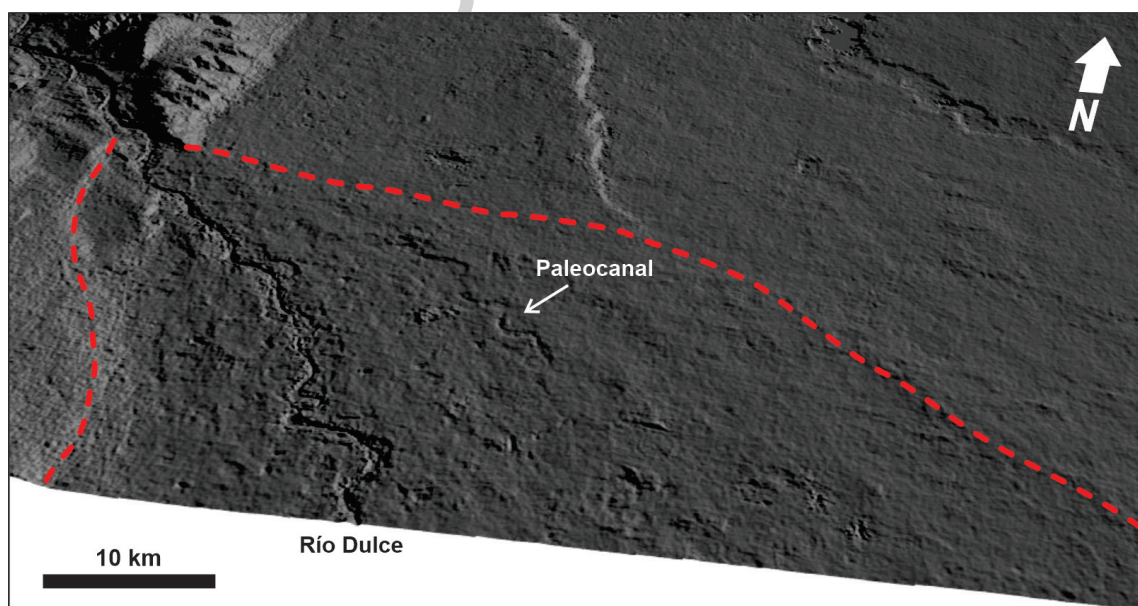


Figura 3. Imagen de grises sobre DEM (en perspectiva) donde se indican los límites del abanico aluvial del río Dulce (ver también mapa geomorfológico en la figura 8). La flecha blanca señala un ejemplo de paleocanal del abanico. La escala gráfica es aproximada.

el sureste las granulometrías se hacen gradualmente más finas (Bhattacharya *et al.* 2006, su figura 2). De acuerdo a Thalmehier *et al.* (2021, su figura 9), este sistema aluvial ha estado activo desde el Pleistoceno Medio.

Depósitos del abanico aluvial actual del río Salado (6)

Arcillas, limos, arenas finas

En el sector centro-oriental de la Hoja y al oeste de sus depósitos antiguos, se encuentran depósitos correspondientes al abanico aluvial actual del río Salado, dispuestos en una franja de orientación general norte-sur.

Estas acumulaciones son geoformas fluvio-aluviales abandonadas, como canales, barras, meandros, albardones, etc. (Thalmeier *et al.* 2020, 2021). Las granulometrías dominantes de los sedimentos son arcillas, limos y arenas finas a muy finas (Thalmeier *et al.* 2021). Así como los depósitos antiguos, estos también se encuentran cubiertos o semicubiertos por limos del tipo loessoides.

Estas acumulaciones son relativamente más modernas que los depósitos antiguos, y se interpretaron como del Pleistoceno Tardío a Holoceno (Thalmehier *et al.* 2021, su figura 9), conforme el río Salado fue migrando por acreción lateral hacia su posición actual.

Depósitos eólicos (7)

Limos, arenas

Las acumulaciones cubren gran parte de la Hoja, y son depósitos limo-loésicos (con escasa presencia de ceniza volcánica) y arenosos, de origen eólico y cuarzo-dominantes, muchas veces retrabajados, característicos de la llanura Chacopampeana y denominados en sentido amplio como *loess* Pampeano (Sayago 1995, Iriondo 1997, Zárate 2003). Los espesores de esta cubierta sedimentaria son variables, con aproximadamente 30 m cerca de las localidades de Santiago del Estero-La Banda (Bhattacharya *et al.* 2006).

Los depósitos eólicos de esta región son interpretados como transportados por vientos provenientes del norte y oeste (Andes), aunque otras direcciones desde el suroeste también son propuestas (Zárate 2003; Iriondo 1997, 2010). Estos sedimentos interaccionan y son retrabajados por los sistemas fluvio-aluviales del área y forman parte de distintas unidades geomorfológicas de la zona, como ser la

5.3.1. Planicie eólica con control estructural o la 5.4.1. Planicie fluvio-eólica (ver Capítulo 5).

De acuerdo a Iriondo (1997), la edad más antigua para las acumulaciones loésicas de esta parte de la región chaco-pampeana es del Pleistoceno Tardío, con posterior formación de paleosuelos durante períodos de clima más húmedo, y campos arenosos, del tipo de dunas, durante períodos de clima árido ocurrido en el Holoceno (Iriondo 1997, Zárate 2003).

Depósitos eólicos del tipo de médanos compuestos por arenas finas y algunos aún móviles, han sido mencionados en las cercanías de las localidades de Cloromida, Beltrán y Fernández (Battaglia 1982, Martín *et al.* 2000).

Depósitos evaporíticos (8)

Sales, limos, arcillas

La unidad corresponde a los depósitos ubicados mayormente en el sector noroeste de la Hoja. Son acumulaciones superficiales de sales evaporíticas de sodio (cloruros y sulfatos) que efloran sobre una planicie de sedimentos limo-arcillosos (Fig. 4). Si bien la edad de estos depósitos no es conocida en el área de la Hoja, estudios paleolimnológicos en la Salina de Ambargasta (ubicada a aproximadamente 120 km al sur de la ciudad de Santiago del Estero) indicaron períodos alternantes secos y húmedos, con la formación de planicies fangosas capilares secas, lagunas carbonatadas y sulfatadas y lagunas efímeras salinas, desde el Pleistoceno Tardío hasta la actualidad, siendo el Holoceno el período relativo más seco y de balance hídrico más negativo (Zanor *et al.* 2013), por lo que se puede inferir una dinámica hídrica similar para esta zona, y con condiciones análogas en términos de interacción entre el nivel freático y la evapotranspiración.

2.2.2.3. Holoceno

Depósitos fluviales y aluviales (9)

Gravas, arenas, limos

Estos depósitos están constituidos por gravas, arenas y limos que se encuentran confinados a los cauces y en las llanuras aluviales de los ríos Dulce y Salado, presentándose en franjas de orientación NO-SE y N-S a NO-SE, respectivamente. Los sedimentos se disponen en capas o superficies más o menos planares con características agradacionales que conforman depósitos de fondo de canal, barras de meandros, lóbulos de desbordamiento, terrazas



Figura 4. Fotografías de suelos salinos correspondientes al área noroeste de la Hoja. La imagen superior pertenece al bañado de Los Figueroa (ver su ubicación en la figura 8).

y planicie de inundación. En las márgenes del río Dulce, los sedimentos intercalados con geometrías lenticulares (en partes) pueden alcanzar hasta 10 m de espesor. La edad considerada para estos depósitos es Holoceno Superior, ya que constituyen las redes de drenaje actuales.

3. GEOLOGÍA DE SUBSUELO

3.1. INTRODUCCIÓN

Como se mencionó anteriormente, el área de estudio forma parte de una vasta región en donde su geología y estratigrafía se desarrolla principalmente en el subsuelo. El marco estratigráfico “completo” es conocido a través de perforaciones exploratorias profundas y estudios sísmicos realizados por compañías hidrocarburíferas, principalmente en la década los años 70 y 80 (Chebli *et al.* 1999). Estas

perforaciones son escasas, distantes y se encuentran por fuera del área de esta Hoja Geológica (Fig. 5), por lo que solo se podrá interpretar, y en muchos casos con dudas, la columna estratigráfica que se desarrolla en el subsuelo para este sector occidental de la región Chacopampeana. Por esto, las unidades del subsuelo se describirán en términos de ciclos o secuencias, con mayor o menor grado de detalle en base a las descripciones publicadas por los autores que han estudiado esta gran región.

El espesor de la sucesión sedimentaria no se mantiene uniforme a través de toda la llanura Chacopampeana, sino que presenta numerosas variaciones que reflejan la existencia en subsuelo de grandes depresiones separadas entre sí por altos o dorsales (Russo *et al.* 1979). A modo general, y basados en los pozos exploratorios distribuidos en las provincias de Santiago del Estero, Chaco, Formosa, Entre Ríos y Córdoba, Russo *et al.* (1979) diferenciaron tres ciclos sedimentarios paleozoicos en el

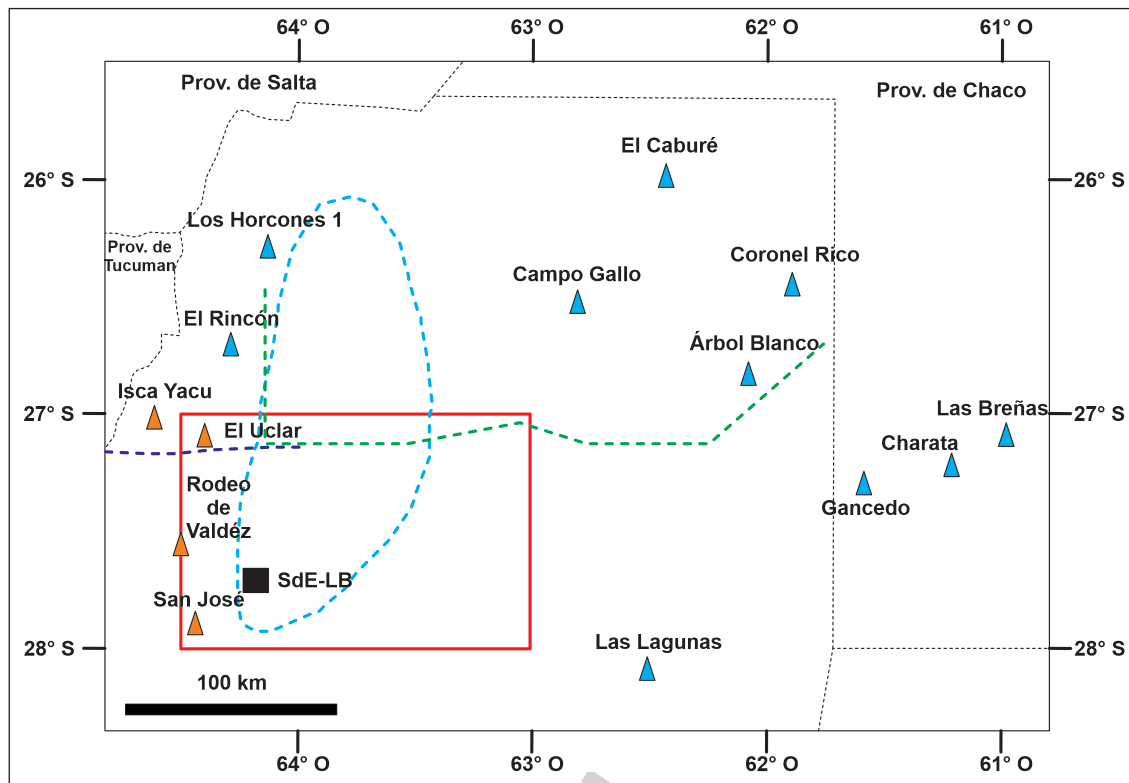


Figura 5. Mapa de ubicación de perforaciones someras (triángulos en color naranja) y profundas (hidrocarburíferas, triángulos en color celeste). Se indica en rojo el cuadrante del área de la Hoja Geológica. La línea punteada celeste indica el área aproximada de la subcuenca de Alhuampa, donde se ubican los mayores espesores sedimentarios. La línea punteada verde representa la traza sísmica de Reinante *et al.* (2014). La línea punteada azul representa la traza sísmica de Cristallini *et al.* (2004).

subsuelo: uno Cámbrico-Ordovícico, uno Silúrico-Devónico y otro Carbonífero-Pérmico, separados por discordancias angulares muy marcadas. Más tarde, Pezzi y Mozetic (1989), mediante el análisis e interpretación de transectas sísmicas, unieron los dos primeros ciclos de Russo *et al.* (1979), es decir, el Cámbrico-Ordovícico y el Silúrico-Devónico, en un solo ciclo de edad Silúrico-Devónico, e identificaron sísmicamente una secuencia sedimentaria infrayacente y arealmente más localizada. A esta última secuencia, de 5000 m de espesor calculado por sísmica, le asignaron edades desde pre-silúricas hasta precámbricas, ya que ningún pozo pudo alcanzar esa profundidad y constatar esa información. Esta secuencia se encuentra en una fosa asimétrica de tipo hemigraben, elongada en sentido NE-SO, y ubicada en el centro de las provincias de Chaco y Formosa (Graben de las Breñas, Chebli *et al.* 1999). Estas nuevas interpretaciones permitieron redefinir las secuencias encontradas en las perforaciones, como en el pozo Árbol Blanco que también incluye sedimentos cámbricos (Reinante *et al.* 2014).

En el subsuelo del área de la Hoja se ubica uno de los depocentros más occidentales con un espesor sedimentario estimado del orden de los 5000 metros, y que corresponde a la denominada subcuenca de

Alhuampa (Russo *et al.* 1979, Pezzi y Mozetic 1989, Chebli *et al.* 1999, Cristallini *et al.* 2004, Fernández Garrasino *et al.* 2005, Reinante *et al.* 2014), limitada por los altos Pampeano Oriental (o Chaqueño) al sureste y Rincón-Caburé al norte (Chebli *et al.* 1999, su figura 3).

En términos generales, y como se muestra en la sección sísmica 2D (ver traza en Fig. 5) publicada por Cristallini *et al.* (2004, su figura 5), se visualizan tres secuencias sedimentarias principales separadas por discordancias, por encima del basamento sísmico. Cristallini *et al.* (2004) asignaron estas secuencias al Silúrico-Devónico, al Carbonífero-Pérmico y al Cenozoico. Otros autores, con pozos e información sísmica más regional, interpretaron las mismas secuencias sedimentarias que Cristallini *et al.* (2004), e incorporaron secuencias cámbrico-ordovícicas en la base del paquete sísmico inferior, y posibles secuencias mesozoicas por debajo del Terciario (Fernández Garrasino 1989, Reinante *et al.* 2014).

Las secuencias mesozoicas aparecen bien representadas hacia el este del área de la Hoja, en el subsuelo oriental de la llanura Chacopampeana (por ejemplo, en la provincia de Santa Fe). Los mapas isopáquicos regionales provistos por Padula y Min-

gramm (1968 en Russo *et al.* 1979, su figura 7), no indicaron secuencias mesozoico-paleógenas en el subsuelo occidental de la llanura chacopampeana, a diferencia de los mencionados trabajos de Fernández Garrasino (1989) y Reinante *et al.* (2014) que sí las incluyen.

La Hoja Geológica 2766-IV Concepción, contigua al oeste del área de la presente Hoja, presenta depósitos mesozoicos del Grupo Salta, en la denominada subcuenca de Tucumán (Iaffa *et al.* 2011, 2013). Esta información, en su conjunto, sugiere la posibilidad de que puedan encontrarse rocas mesozoicas en el subsuelo del área de estudio, aunque no es comprobable ya que no existen pozos profundos en el área de la presente contribución.

Por último, además del Neógeno aflorante, algunas unidades del cenozoico se encuentran en subsuelo y fueron atravesadas por pozos someros de captación de agua.

A continuación, se describirá la estratigrafía del subsuelo interpretada para el área de esta Hoja Geológica, que abarca desde el Precámbrico hasta el Cenozoico.

3.2. PRECÁMBRICO-PALEOZOICO

3.2.1. BASAMENTO METAMÓRFICO-ÍGNEO

En el área de la Hoja Geológica, el basamento se conoce por las escasas perforaciones que lo atravesaron (Fig. 5). En todos los casos, en el legajo de los pozos se registraron principalmente filitas y esquistos (Cuadro 1).

El basamento encontrado en los recortes de perforación se puede correlacionar con las descripciones correspondientes a los afloramientos más cercanos ubicados en la sierra de Guasayán, al oeste del área de esta Hoja (Dal Molin *et al.* 2003). El basamento de la sierra de Guasayán está conformado principalmente por rocas metamórficas de bajo grado, intruídas por cuerpos ígneos de edad cámbrica (Dahlquist *et al.* 2016, Zandomeni *et al.* 2017). Las facies de bajo

grado se describen como filitas y esquistos bandeados, y podrían considerarse equivalentes a las facies encontradas en los pozos.

Edades radimétricas por método K-Ar de las metamorfitas de bajo grado ubicadas en la sierra de Guasayán arrojaron valores de 608 y 612 Ma (Neoproterozoico superior, Omil 1992), aunque otros autores propusieron un rango continuo desde el Neoproterozoico al Cámbrico (Escayola *et al.* 2007, Uran *et al.* 2014, Zandomeni *et al.* 2017).

3.3. PALEOZOICO

3.3.1. CÁMBRICO-ORDOVÍCICO

La secuencia inferior fue interpretada en líneas sísmicas y descrita en la perforación Árbol Blanco (YPF.SE.AB.X-1) al noroeste de la provincia de Santiago del Estero, fuera del área de esta Hoja, donde se distinguieron tres conjuntos litológicos diferentes a los cuales corresponde considerar como formaciones del subsuelo. De la más antigua a la más joven son: Formación Árbol Blanco, Formación Pirané y Formación las Breñas (Russo *et al.* 1979), de ambiente marino de plataforma (Fernández Garrasino *et al.* 2005). De acuerdo a Reinante *et al.* (2014), que interpretó una transecta sísmica desde el pozo Árbol Blanco, pasando por el área de la Hoja, hasta el pozo Los Horcones X-1 (Fig. 5), sería factible la presencia de acumulaciones del Cámbrico-Ordovícico en el subsuelo del área de la Hoja, por ello se describen muy brevemente las unidades mencionadas. También se incluye en este ciclo a la Formación Zapla, un horizonte característico que divide el Ordovícico del Silúrico en el noroeste argentino.

Formación Árbol Blanco

La unidad está integrada por un monótono conjunto de cuarcitas muy tenaces de color gris blanquecino a ligeramente violáceo, con intercalaciones ocasionales de lutitas de colores gris verdoso y rojizas. El espesor parcial medido ha sido de 234 metros.

Pozo	Profundidad (m b. b. p.)	Profundidad (m s. n. m.)	Descripción de pozo
Rodeo de Valdéz	580	-373	Fragmentos de filitas y pegmatitas
El Uclar	502	-222	Fragmentos de filitas cuarzosas
Isca Yacu	998	-708	Esquistos cristalinos
San José	597	-339	Esquistos arcillosos

Cuadro 1. Pozos someros que atravesaron el basamento de la zona. Se indica la profundidad medida en pozo (m b. b. p.), la profundidad o cota relativa al nivel de referencia del mar (m s. n. m.), y la descripción litológica de los legajos de pozo (SEGEMAR 1975).

Esta unidad se asignó al Cámbrico superior únicamente por su litología al compararla con el Grupo Mesón de la Cordillera Oriental de Salta (Russo *et al.* 1979).

Formación Pirané

La secuencia de aproximadamente 500 m de espesor está constituida por areniscas muy finas, limolitas y fangolitas, todas calcáreas, muy compactas, de fractura concoidea y estructura finamente laminar, de colores rojos y tonalidades violáceas con delgadas intercalaciones de calizas amarillentas. En varios testigos se encontraron restos tubiformes semejantes a *Skolithos*.

Se le atribuye edad Cámbrica superior por su posición estratigráfica y por analogías con las calizas de Itapucumí, expuestas en Paraguay (Russo *et al.* 1979).

Formación Las Breñas

La unidad está constituida por ortocuarcitas medianas a gruesas, mal a moderadamente seleccionadas, blancas, con clastos muy redondeados a subangulosos, cemento silíceo y textura cerrada. Hacia su base pasan a limolitas cuarzo-micáceas, castaño oscuras y arcilitas micáceas de color verde grisáceo, rojizo en parte por presencia de óxidos de hierro. El espesor parcial medido en el pozo Árbol Blanco fue de 319 metros. El pase litológico entre las pelitas inferiores y las psamitas superiores marcaría el contacto Cámbrico-Ordovícico (Fernández Garrasino *et al.* 2005).

Formación Zapla

En las perforaciones Árbol Blanco y El Caburé, la base del ciclo sedimentario Silúrico-Devónico está representada por un horizonte con características litológicas similares a las observadas en las Sierras Subandinas y en Cordillera Oriental (Russo *et al.* 1979). Esta unidad está compuesta por diamictitas asociadas a areniscas y lutitas grises, con algunos niveles ferríferos intercalados, de hasta 70 m de espesor. Apoya en discordancia sobre las unidades ordovícicas y pasa en rápida transición a la Formación Copo del Silúrico.

Nieniewski y Wleklinski (1950) le asignaron una edad Wenlockiana (Silúrico medio), pero trabajos más modernos sobre invertebrados y palinomorfos de esta unidad en las Sierras Subandinas la ubican en el Hirnantense (Ordovícico Superior) (Rubinstein *et al.* 2007, De la Puente y Rubinstein 2007, Rubinstein y De la Puente 2008, Díaz-Martínez y Grahn 2007, Benedetto *et al.* 2015).

3.3.2. SILÚRICO-DEVÓNICO

Más de 3500 m de sedimentos asignados al Silúrico-Devónico han sido parcialmente encontrados en los pozos de exploración El Rincón y El Caburé (Cristallini *et al.* 2004). Son lutitas marinas y areniscas que conforman un sistema de progradación deltaica y se las conoce como Grupo Santiago del Estero (Padula *et al.* 1967, Antonelli y Ottone 2006), nombre propuesto para agrupar a todos los sedimentos silúrico-devónicos presentes en el subsuelo de las provincias de Santiago del Estero y Chaco. La sección tipo corresponde al pozo El Caburé y reúne a las formaciones Copo, Caburé y Rincón (Russo *et al.* 1979).

Formación Copo

Arcilitas, areniscas

Antecedentes y distribución areal

La unidad fue definida y descrita en subsuelo mediante las perforaciones Árbol Blanco y El Caburé, que atravesaron 265 m y 348 m de espesor de formación, respectivamente (Padula *et al.* 1967). La unidad también es reconocida en el subsuelo del Chaco-Salteño, en el este de la provincia de Salta (Noetinger y Di Pascuo 2013).

Litología y ambiente

Constituida por arcilitas de color gris oscuro a verdoso, piritíferas, finamente laminadas. En su parte superior se intercalan delgados niveles de limolitas y areniscas cuarcíticas silicificadas, grises y oscuras. Son depósitos derivados de áreas maduras, de escaso relieve, con un reducido aporte de arenas y acumulados en un ambiente marino de aguas tranquilas, relativamente profundas (Russo *et al.* 1979).

Relaciones estratigráficas y edad

La unidad suprayace a la Formación Zapla y está cubierta en concordancia por la Formación Caburé. En su tramo inferior se encontró una microfauna silúrica. En su parte cuspidal, asociada a la microfauna silúrica, se encuentra una macrofauna devónica inferior (Russo *et al.* 1979). Otros estudios más modernos sobre microinvertebrados y palinomorfos indicaron edades desde el Wenlockiano tardío (Silúrico medio), pasando por el Ludloviano y Pridoliano, hasta el Lochkoviense (Devónico Inferior) (Rubinstein 1995, Grahn 2003, Noetinger y Di Pascuo 2013).

Por su contenido paleontológico y posición estratigráfica, se la relaciona con las formaciones

Lipeón y Cachipunco de las Sierras Subandinas de Salta y Jujuy, y con la Formación Kirusillas de Bolivia (Russo *et al.* 1979, Aceñolaza *et al.* 1999a).

Formación Caburé

Areniscas, lutitas

Antecedentes y distribución areal

La Formación Caburé fue atravesada total o parcialmente por varias perforaciones. Se extiende por el subsuelo de Santiago del Estero y de la llanura oriental salteña, manteniendo constantes su litología y posición cronológica (Russo *et al.* 1979). Su sección tipo es el pozo El Caburé.

Litología y ambiente

La unidad está integrada por areniscas finas, cuarcíticas, de color gris blanquecino, muy silicificadas y tenaces, con intercalaciones de lutitas micáceas negras (Padula *et al.* 1967). Su espesor medido en perforaciones varía entre 418 y 500 metros (Russo *et al.* 1979, Chebli *et al.* 1999, Antonelli y Ottone 2006, Noetinger y Di Pasquo 2013).

Relaciones estratigráficas y edad

Su relación basal sobre la Formación Copo es de concordancia. La suprayace en forma similar la Formación Rincón. Su contenido fosilífero de invertebrados y palinomorfos la ubican dentro del Emsiense (Devónico Inferior a Medio) (Russo *et al.* 1979, Aceñolaza *et al.* 1999a, Antonelli y Ottone 2006). Otros autores le asignan edades un poco más antiguas, Lochkoviense-Pragiense del Devónico Inferior (Noetinger y Di Pasquo 2013) hasta Pridoliense del Silúrico más alto (Grahn 2003).

Formación Rincón

Lutitas

Antecedentes y distribución areal

La unidad fue definida en subsuelo (Padula *et al.* 1967) y es reconocida tanto en el subsuelo de la Planicie Chaco-Pampeana como en el del Chaco-Salteño, al este de la provincia de Salta (Padula *et al.* 1967, Fernández Seveso *et al.* 2000, Antonelli y Ottone 2006, Noetinger y Di Pasquo 2013).

Litología y ambiente

La Formación Rincón está constituida por lutitas laminares negras, micáceas y parcialmente fosilíferas (Padula *et al.* 1967). Presenta una mayor

proporción de niveles limolíticos que la Formación Copo. Su espesor varía entre 250 y 1300 metros (Grahn 2003, Antonelli y Ottone 2006, Noetinger y Di Pasquo 2013).

Relaciones estratigráficas y edad

Esta formación suprayace a las cuarcitas de la Formación Caburé y por encima se encuentran los estratos pérmico-carboníferos en discordancia (Russo *et al.* 1979). Diversos autores indicaron que los estratos fosilíferos de la formación, que incluyen macrofósiles y palinomorfos, sugieren una edad Devónico Inferior a Medio (desde el Pragiaense al Givetiense) (Russo *et al.* 1979, Aceñolaza *et al.* 1999a, Grahn 2003, Antonelli y Ottone 2006, Noetinger y Di Pasquo 2013). Las facies de esta unidad se correlacionan con distintas unidades del noroeste argentino, Bolivia y Paraguay (Russo *et al.* 1979).

3.3.3. CARBONÍFERO-PÉRMICO

La cuenca neopaleozoica (y subsidiariamente mesozoica), denominada Cuenca Chacoparanense (Chebli *et al.* 1999), se conforma como una enorme cubeta con algunos depocentros como ser la subcuenca de Alhuampa entre los altos de Rincón-Caburé y Pampeano Chaqueño (Chebli *et al.* 1999, su figura 3). El ciclo sedimentario está representado por sedimentitas clásticas acumuladas en ambientes continentales y marinos, con influencia glaciaria. La característica principal está dada por la presencia de diamictitas de colores grisáceos, morados y negruzcos, muy abundantes en su sección inferior (Russo *et al.* 1979).

La sedimentación neopaleozoica se inicia, en especial en los depocentros, con facies finas. Como rasgo general, a las pelitas le siguen depósitos arenosos, cubiertos a su vez por un extenso manto de diamictitas. Por encima siguen pelitas y areniscas (Chebli *et al.* 1999). La estratigrafía formal de la cuenca Chacoparanense está íntimamente ligada a la concentración de pozos. Las grandes distancias entre ellos y la variabilidad lateral de las formaciones permiten correlaciones solamente a escala local o zonal. Así, se reconocen ciertas formaciones en la subcuenca de Alhuampa (Chaco y Santiago del Estero) y otras en la región de Córdoba y Santa Fe. En Santiago del Estero y Chaco se las ha denominado formaciones Sachayoj, Charata y Chacabuco, mientras que en Córdoba y Santa Fe se las conoce como formaciones Ordóñez y Victoriano Rodríguez.

Formación Sachayoj

Areniscas, lutitas, diamictitas

Antecedentes y distribución areal

La Formación Sachayoj es una unidad exclusiva del subsuelo y se extiende en casi toda la provincia de Santiago del Estero, norte de Córdoba, Santa Fe y Chaco. Fue definida implícitamente por Padula y Mingramm (1969) a partir del pozo exploratorio Árbol Blanco (YPF.SE.AB.x-1) en Santiago del Estero (Russo *et al.* 1979).

Litología y ambiente

La Formación Sachayoj se distingue por la presencia de bancos laminares de lutitas parcialmente piritíferas, grises oscuras y muy oscuras, a veces de tonos castaños y rojizos. Se interponen limolitas y lutitas limosas laminadas, de tonos grises, en tramos de decenas de metros. Intercalan cuerpos tabulares de decenas de metros de areniscas blanquecinas, medianas a finas, friables y subangulosas (Russo *et al.* 1979, Fernández Garrasino *et al.* 2005, Gutiérrez *et al.* 2006). Abajo de algunas secciones lutíticas oscuras suelen presentarse escasas diamictitas cuya matriz gris verdosa oscura es arcillosa o limoarcillosa (Gutiérrez *et al.* 2006).

El ambiente es interpretado como una sedimentación subácuea, en medios de baja energía y pobres en oxígeno, con escasa circulación, según condiciones generales reductoras, de filiación fluvial, fluviodeltaico y fluvioacustre y glacialacustre (Russo *et al.* 1987, Fernández Garrasino 2005). El espesor total medido en las perforaciones (Árbol Blanco) es de 1200 metros (Fernández Garrasino 2005).

Relaciones estratigráficas y edad

La unidad yace discordantemente sobre distintas unidades precámbricas y del Paleozoico inferior, y la cubre en concordancia la Formación Charata. La Formación Sachayoj incluye abundantes palinomorfos de edad Carbonífero tardío al Pérmico temprano (Vergel 1998), aunque otros autores la refieren solo al Carbonífero tardío (Antonelli y Ottone 2006, Gutiérrez y Balarino 2018, 2019).

Formación Charata

Diamictitas

Antecedentes y distribución areal

La unidad es exclusiva del subsuelo y se encuentra en Santiago del Estero, sur de Chaco, norte de las llanuras cordobesas y en el tercio septentrional de Santa Fe.

Litología y ambiente

La Formación está compuesta por diamictitas formadas por fragmentos subangulosos de cuarcita, lutitas de colores negro y gris verdoso, y metamorfitas, incluidas en una matriz limo-arcillosa algo arenosa (Russo *et al.* 1979). Presenta intercalaciones arenosas (de tipo grauvaca lítica) gradadas, lutitas negras y “verdaderas” tillitas gris verdosas, según Russo *et al.* (1979). Los miembros arenosos son comunes en la base de la sucesión, mientras que las lutitas negras aumentan su participación hacia el techo (Gutiérrez *et al.* 2006). Los mapas isopáquicos muestran un espesor de hasta 800 metros (Russo *et al.* 1979).

Por sus características litológicas, se la interpreta de origen glaciario, con secuencias glacialfluviales, glacialdeltaicas y glacialacustres. Este último con posibles arreglos de capas finas alternantes y cíclicas (varvas) en las pelitas (Gutiérrez *et al.* 2006).

Relaciones estratigráficas y edad

La unidad se apoya concordantemente sobre la Formación Sachayoj del Carbonífero superior. Permanecen aún en duda sus relaciones estratigráficas con la sobrepuesta Formación Chacabuco del Pérmico.

La Formación Charata presenta macrofósiles vegetales y también palinomorfos, que sugerirían una edad Carbonífero tardío-Pérmico temprano (Vergel 1987, 1993; Gutiérrez *et al.* 2002, 2003). Su contenido palinológico la sitúa en el Pérmico inferior (Vergel 1993; Césari *et al.* 1995).

Formación Chacabuco

Limolitas, areniscas, carbonatos

Antecedentes y distribución areal

La unidad, exclusiva del subsuelo, fue alcanzada originalmente en la perforación Charata (suroeste de Chaco) y reconocida en los pozos Árbol Blanco (noreste de Santiago del Estero), y Las Breñas (suroeste de Chaco) cubriendo una extensa área (Fig. 5).

Litología y ambiente

Las litologías dominantes son limolitas y areniscas finas limosas, grises oscuras a grises, y lutitas muy oscuras, carbonosas y bituminosas, visibles en toda la sucesión pero más frecuentes en las partes inferiores. Hacia el techo, se asocian delgadas intercalaciones de areniscas lutíticas muy finas, blanquecinas a grises, que no definen cuerpos psamíticos distintivos. En el tercio medio de la unidad, se observan escasos y delgados niveles carbonáticos lentiformes.

La interpretación ambiental sugiere cuerpos permanentes de aguas calmas, someras, deficitarias de oxígeno, y con cierto grado de posible comunicación marina (litoral, costanera) (Fernández Garrasino *et al.* 2005). El espesor sugerido de la unidad, según mapas isopáquicos, es de casi 200 metros.

Relaciones estratigráficas y edad

La Formación Chacabuco se apoya sobre la Formación Charata del Pérmico inferior mediante contactos netos, sin evidencias de discontinuidad. En general, en otros sectores más orientales de la cuenca Chacoparanense y en el noroeste argentino, esta unidad (y sus equivalentes) es cubierta en discordancia por las unidades mesozoicas y/o terciarias. En el área de la Hoja, esta distinción no es clara ya que depende exclusivamente de las interpretaciones sísmicas (Cristallini *et al.* 2004, Reinante *et al.* 2014).

Las palinofloras halladas le conceden una edad pérmica temprana (hasta Kunguriense) (Vergel 1993). También, se obtuvieron palinomorfos neopérmicos de testigos de corona próximos al techo de la unidad (Russo *et al.* 1979). Estos hallazgos cercanos a límite superior de la unidad y sus eventuales correlaciones con otras unidades sugirieron una posible edad Pérmico temprano a Pérmico medio para esta formación.

3.4. MESOZOICO

Las secuencias sedimentarias del Mesozoico al Cenozoico inferior están relacionadas y correlacionadas en toda la región con aquellas vinculadas mayormente a los procesos de *rifting* que caracterizaron el suroeste de Gondwana, conduciendo a su ruptura y desmembramiento, y que culminó con la apertura del océano Atlántico (Lovecchio *et al.* 2022, 2024). En la llanura chacopampeana están representadas por secuencias clásticas continentales de ambientes áridos a desérticos. En particular, en la provincia de Santiago del Estero se relacionan lateralmente a las secuencias volcánicas y volcanoclásticas jurásicas de Serra Geral (Russo *et al.* 1979, Fernández Garrasino *et al.* 2005).

Algunos pozos ubicados al este de la provincia de Santiago del Estero atraviesan decenas a centenas de metros de depósitos sedimentarios asignados al Mesozoico-Cenozoico, que se hacen más potentes hacia el este, como en las provincias de Chaco y Santa Fe. Estos paquetes sedimentarios fueron estratigráficamente divididos en unidades en base a la información de los pozos y sus correlaciones con los distantes afloramientos orientales.

Russo *et al.* (1979) y Pezzi y Mozetic (1989) agrupan todos los sedimentos rojizos que suprayacen al Paleozoico o al basamento regional, en la Formación Tacuarembó. Esta formación se dispone por debajo o reemplaza lateralmente al evento efusivo regional Serra Geral, cuya datación se extiende a las sedimentitas. Por otro lado, Padula y Mingramm (1968) destacan la coloración rojo ladrillo (bermellón) de la Formación Buena Vista, de las coloraciones rosadas de la Formación Tacuarembó. Posteriormente, Fernández Garrasino *et al.* (2005) realiza una revisión y actualización, describiendo las unidades separadas como formaciones Buena Vista, Tacuarembó y Mariano Boedo, siendo esta última reubicada en el Cenozoico por Marengo (2006).

Se describirán estas formaciones ya que potencialmente podrían abarcar parte de la columna estratigráfica de subsuelo en el área de la presente Hoja Geológica (en su extremo oriental), según las interpretaciones de diversos autores (Fernández Garrasino 1989, Reinante *et al.* 2014).

Formación Buena Vista

Areniscas, lutitas, conglomerados

Antecedentes y distribución areal

La Formación Buena Vista es la unidad más antigua del Mesozoico, definida en afloramientos uruguayos y reconocida en el subsuelo de Santiago del Estero (Fernández Garrasino *et al.* 2005).

Litología y ambiente

La unidad está formada por areniscas rojizas cuarzosas, de granulometría predominantemente fina y en menor proporción mediana, de granos redondeados, esmerilados, ocasionalmente subangulares. Alternan bancos de lutitas mayormente en su base y ocasionalmente irrumpen en la sección delgadas camadas de conglomerados finos (Padula y Mingramm 1968).

El ambiente de depositación, de tipo continental, es interpretado como de sistemas fluviales entrelazados y eólicos (Padula y Mingramm 1968, Fernández Garrasino *et al.* 2005).

Relaciones estratigráficas y edad

La unidad se apoya en discordancia sobre las secuencias paleozoicas y se correlaciona con unidades equivalentes hacia el este, en la Mesopotamia, Uruguay y Brasil. En base a restos óseos afines a formas de saurios colectados en Uruguay, esta unidad es asignada al Triásico Inferior a Medio (Fernández Garrasino *et al.* 2005).

Formación Tacuarembó

Areniscas, conglomerados

Antecedentes y distribución areal

La Formación Tacuarembó se encuentra en el subsuelo de la provincia de Santiago del Estero y, presumiblemente, en el subsuelo del sector más oriental de la Hoja Geológica. El nombre de "Formación Tacuarembó" se ha usado indistintamente para describir a los depósitos clásticos continentales subyacentes a las volcanitas de Serra Geral, pero también para los depósitos que se interdigitan o alternan con los basaltos, e incluso a los que sobreyacen a la mencionada unidad volcánica, según Fernández Garrasino *et al.* (2005). Estos autores concluyeron que el término debe referirse a las sedimentitas "infrabasálticas" para el subsuelo de Argentina.

Litología y ambiente

Predominan las areniscas de grano fino a medio, con niveles diseminados de areniscas más gruesas, en partes conglomerádicas y lutíticas. Sus coloraciones son rosados (predominante), violáceos, anaranjados, amarillentos y grisáceos. El componente principal es el cuarzo, generalmente muy bien redondeado. La estratificación es variable, dominando el entrecruzamiento en facies más finas.

El ambiente de sedimentación se interpretó como una sección inferior fluvial y una superior eólica, en un ambiente desértico (Russo *et al.* 1979, Fernández Garrasino *et al.* 2005).

Relaciones estratigráficas y edad

La unidad sobreyace a la Formación Buena Vista o se apoya en discordancia angular sobre el Paleozoico o Precámbrico. La edad de estos depósitos, según el contenido de ostrácodos e inferida a partir de dataciones radiométricas de los basaltos suprayacentes, sería del Jurásico (Russo *et al.* 1979, Fernández Garrasino *et al.* 2005). Trabajos paleontológicos más modernos ubicaron la formación entre el Jurásico Superior y el Cretácico Inferior (Perea *et al.* 2003).

3.5. CENOZOICO

Formación Mariano Boedo

Limolitas, areniscas, carbonatos

Antecedentes y distribución areal

La unidad fue definida en la perforación Mariano Boedo (con 92 m espesor) en la provincia de For-

mosa y ha sido tradicionalmente interpretada como la culminación del ciclo sedimentario Mesozoico, llegando al Paleoceno, dadas sus características litológicas.

Litología y ambiente

Son areniscas calcáreas cuarzosas finas y medianas, mayormente en su tramo inferior, y lutitas, margas y micritas, con algunos delgados niveles yesíferos, en su tramo superior. En su base puede presentar niveles de conglomerados con clastos de composición basáltica (Russo *et al.* 1979, Chebli *et al.* 1999). También, contiene horizontes con restos fósiles no identificados (Fernández Garrasino *et al.* 2005). En conjunto ofrece coloraciones castaño claros, rosadas, rojizas y blanquecinas. Russo *et al.* (1979) interpretaron que los tramos carbonáticos son más abundantes en los sectores orientales de la cuenca Chacoparanense, mientras que en los sectores occidentales, más marginales, predominan areniscas y pelitas varicolores.

Los depósitos de la Formación Mariano Boedo representan ambientes de plataforma de aguas someras, de cierta limpidez, y de cuerpos lagunares litorales con algún grado de comunicación marina. Las pelitas y margas rojizas indicarían condiciones subaéreas efímeras (Fernández Garrasino *et al.* 2005).

Relaciones estratigráficas y edad

Considerando que la Formación Mariano Boedo posee una posición estratigráfica discordante sobre las formaciones Tacuarembó (y equivalentes) y Serra Geral, se la ha considerado de edad Cretácico Superior a Paleoceno, ya que las evidencias paleontológicas no han sido definitivas. Por sus características litológicas y su posición estratigráfica se la ha mencionado como equivalente de la reconocida Formación Yacoraite del Noroeste argentino (Chebli *et al.* 1999), de edad Maastrichtiense-Daniense (Cretácico Superior-Paleoceno) (Marquillas *et al.* 2011), aunque estudios micropaleontológicos más modernos le asignan una edad Oligoceno (tardío?)-Mioceno Temprano (Marengo 2006).

Formación Chaco

Areniscas, arcilitas

Antecedentes y distribución areal

La Formación Chaco, con 340 m a 500 m de espesor, se definió en la provincia de Chaco, atravesada por las perforaciones Gancedo, Charata, Las Breñas, entre otras. El nombre de la unidad fue habitualmente

utilizado para referirse a las acumulaciones continentales terciarias chacoparanenses comprendidas entre las infrayacentes sedimentitas marinas someras y litorales, estimadas maastrichtiense-paleocenas (Formación Mariano Boedo), y los suprayacentes depósitos miocenos medio-pliocenos, también marinos someros y litorales (Formación Paraná, ó Guasayán para esta región) (Fernández Garrasino y Vrba 2000).

En la provincia de Santiago de Estero aparece en las perforaciones Coronel Rico, Árbol Blanco, Campo Gallo, El Caburé (Fig. 5), entre otras.

Litología y ambiente

Hacia el sector occidental de la cuenca Chacoparanense, en el ámbito de la Hoja Geológica, la Formación Chaco está constituida en su totalidad por areniscas castañas, friables, de grano fino y matriz arcillosa, con clastos angulosos o subredondeados de cuarzo (Russo *et al.* 1979). Solo ocasionalmente aparecen intercalaciones arcílicas de la misma coloración (pozo Coronel Rico).

El ambiente de depositación se interpreta como llanuras aluviales, en ambientes de baja energía, preferentemente subácueos (Russo *et al.* 1979).

Relaciones estratigráficas y edad

Se infiere que la Formación Chaco apoya sobre la Formación Mariano Boedo mediante una discordancia erosiva, por observaciones en regiones vecinas (Russo *et al.* 1979, Chebli *et al.* 1999). Se correlacionó con la Formación Fray Bentos en el sector oriental de Argentina y Uruguay (Fernández Garrasino *et al.* 2005). De acuerdo a su posición estratigráfica se la ubicó en el intervalo Eoceno-Mioceno, según criterio amplio, o Eoceno superior-Mioceno Inferior, con más precisión (Fernández Garrasino y Vrba 2000).

4. ESTRUCTURA

El área de la Hoja Geológica 2763-III Santiago del Estero se ubica en el extremo occidental de la llanura Chacopampeana, una región topográficamente llana con escasos relieves localizados que resultan de la tectónica moderna. Además, la región de estudio se encuentra cubierta por depósitos loésicos modernos que enmascaran y cubren la geología del subsuelo. Debido a esto, solo algunas estructuras geológicas tienen una expresión geomorfológica en superficie, siendo la geología de subsuelo, conocida por perforaciones de pozos y por métodos geofísicos, la que provee el conocimiento tectonoestratigráfico de la zona.

A continuación, se describirán las estructuras geológicas reconocidas en el área (Fig. 6) y la con-

figuración estructural en el subsuelo. La información sobre estas estructuras proviene de diversos métodos de estudio que alcanzan distintas escalas de observación y detalle.

4.1. RASGOS ESTRUCTURALES EN SUPERFICIE

En superficie, dos morfoestructuras principales pueden ser reconocidas, la falla El Rosario y la Zona de falla Jumialito Chico (Fig. 6).

Falla El Rosario

Es la estructura más prominente dentro del área de la Hoja Geológica, ya que se observa en superficie y en subsuelo. La falla El Rosario (Cristallini *et al.* 2004, Casa 2020b) es una falla inversa de rumbo N-S e inclinación hacia al Oeste, con ángulo desconocido, pero se puede inferir un ángulo de inclinación mediano a alto según se observa en las imágenes sísmicas (Cristallini *et al.* 2004). Esta falla es una estructura neógena que puede ser trazada de forma continua con rumbo meridiano por más de 300 km, desde la ciudad de Santiago de Estero hacia el norte hasta la provincia de Salta (Cristallini *et al.* 2004).

La falla representa el frente de deformación andino actual (Ramos *et al.* 2002, Cristallini *et al.* 2004) y presenta actividad cuaternaria (Cristallini *et al.* 2004, Casa 2020a). En el terreno, su expresión geomorfológica son escarpas pedemontanas con el bloque bajo hacia el Este (Casa 2020b). En subsuelo, la sección sísmica muestra varias ramificaciones de falla en su tramo superior, y registra un rechazo vertical de aproximadamente 500 m en los depósitos neógenos (Cristallini *et al.* 2004).

La falla es interpretada por Cristallini *et al.* (2004) como una reactivación del frente de corrimiento del Paleozoico medio que se desarrolló durante la orogenia Oclóyica (Ordovícico Superior), ya que pone límite a los depósitos silúrico-devónicos, y representa el límite occidental de la subcuenca de Alhuampa. Inmediatamente al este de la falla se encuentran los depósitos paleozoicos, posibles mesozoicos y terciarios, mientras que hacia el oeste, el terciario se apoya sobre el basamento (ver perfil transversal A-A', en el mapa adjunto). De acuerdo a las profundidades o cotas del basamento (ver cuadro 1 y figura 5), donde este someriza hacia el norte de la Hoja Geológica, se puede inferir que el rechazo de la falla aumenta, al menos localmente, en esa dirección.

Gutiérrez *et al.* (2017) denominan a esta falla como Clodomira y, además de su carácter inverso,

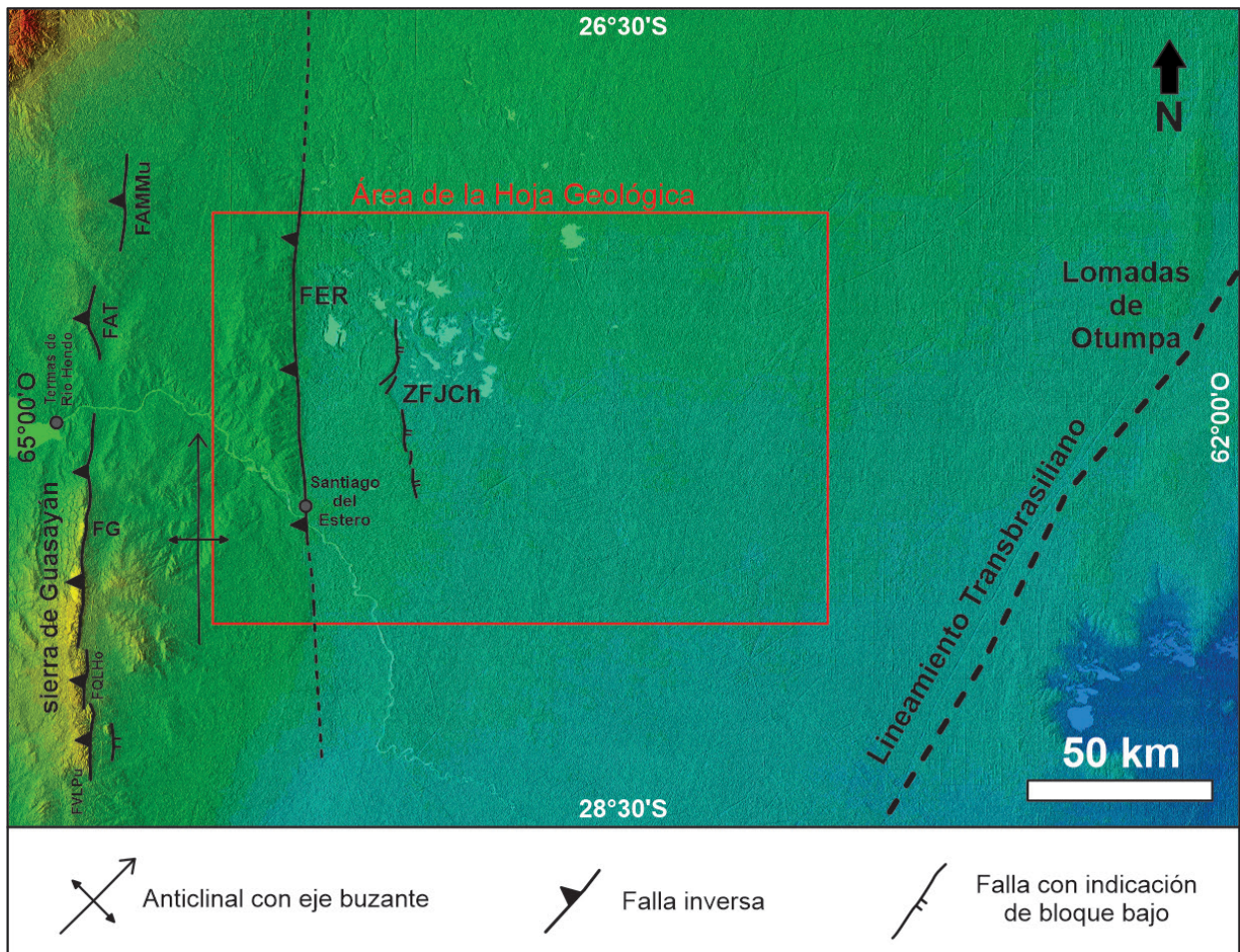


Figura 6. Esquema con las estructuras de la zona. Se muestran también las estructuras más representativas por fuera del área de la Hoja, como los segmentos de la Falla Guasayán (Casa 2020a). FAMMu: Falla Alto Mujer Muerta; FAT: Falla Alto Tacanas; FG: Falla Guasayán; FQLHo: Falla Quebrada Los Hornitos-Puerta Jardín; FVLPu: Falla Villa La Punta-Cerro Orco Esquina; FER: Falla El Rosario; ZFJCh: Zona de Falla Jumialito Chico.

le adjudicaron una cinemática de desplazamiento de rumbo dextral, en concordancia con la falla Guasayán, ubicada fuera del ámbito de esta Hoja hacia el oeste, donde Dal Molin *et al.* (2003) describieron en los afloramientos orientales de la sierra, desplazamientos con esta cinemática. Otros autores mencionaron la falla con el nombre de Falla Huyamampa y la describieron como una falla normal con inclinación al este (Martín 1999, Bhattacharya *et al.* 2006).

Zona de falla Jumialito Chico

La zona de falla se ubica a unos 20-25 km al este de la falla El Rosario. Se compone de varias fallas denominadas de norte a sur como Falla Palo Quemado, Falla La Loma, Falla Jumialito Chico y Falla Cañada Escobar (SEGEMAR 2015, Casa 2020c). El rumbo promedio de la zona de falla es N-S, mientras que algunos de los segmentos de las fallas pueden desviarse a rumbo NE-SO. Su expresión morfológica son escarpas de falla, con bloque hundido hacia el E. Se desconoce el tipo de falla de que se trata pero sí su actividad cuaternaria.

La figura 7 muestra una imagen sombreada del área (relieve sombreado de modelo digital de terreno Merit, Yamazaki 2017) en donde se observan claramente las fallas asociadas a saltos topográficos en el terreno (ver perfil transversal B-B', en el mapa adjunto). Al oeste de la falla El Rosario se registran alturas topográficas de 240 m a 270 m aproximadamente, mientras que al este las alturas son de 165 m a 175 metros. Al este de la zona de falla Jumialito Chico, las cotas de altura descienden a 155 metros.

Sedimentos miocenos plegados

Battaglia (1982) describió suaves plegamientos anticlinales y sinclinales en la Formación Guasayán, mayormente desarrollados hacia el oeste del sector suroccidental de la Hoja, en las serranías ubicadas al oeste de la ciudad de Santiago del Estero (ver figura 6). El plegamiento presenta un rumbo general N-S, con flancos de baja a muy baja inclinación. Se interpreta que los ejes de pliegues buzaban levemente hacia el norte (Fig. 6), ya que a la latitud del río Dulce, la Formación Guasayán aparece a los 270 m de profundidad en la per-

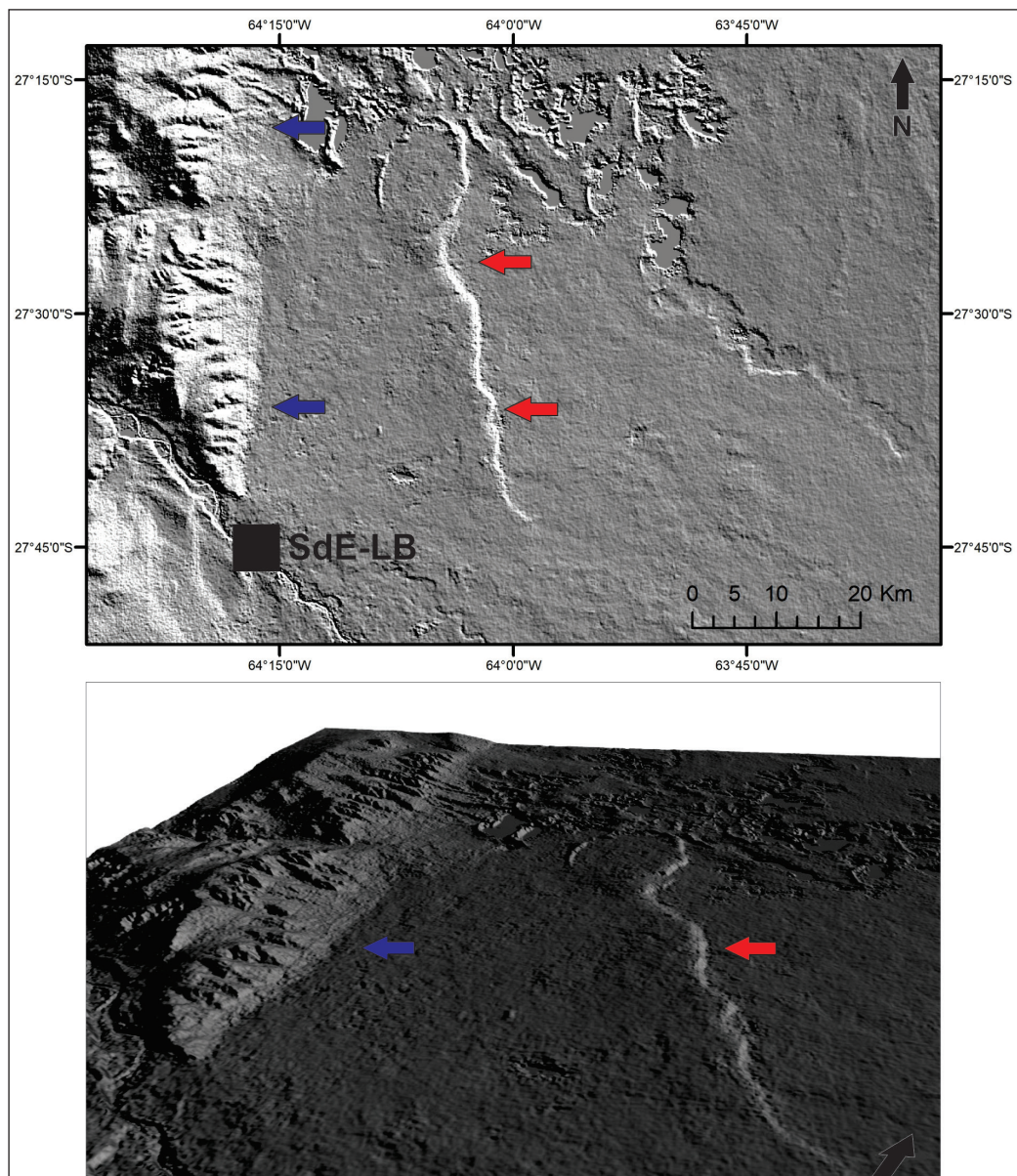


Figura 7. Mapa de relieve sombreado de modelo digital del terreno, donde se indican los resaltes topográficos relacionados a fallas. Flechas rojas: Zona de Falla Jumialito Chico. Flechas azules: Falla El Rosario. SdE-LB: Áreas urbanas de Santiago del Estero-La Banda. Arriba: vista en planta. Abajo: vista en perspectiva hacia el noroeste.

foración Rodeo de Valdéz (Fig. 5). Los afloramientos de la Formación Guasayán en el área de la Hoja tienen una leve inclinación hacia el este, calculados entre $2,5^\circ$ y $3,5^\circ$, según la profundidad a la que es alcanzada (260 metros) en la perforación San José (ubicación estimada: $64^\circ 26' O - 27^\circ 54' S$; ver perfiles columnares) y la distancia del pozo con los afloramientos cercanos (aproximadamente 5 kilómetros).

4.2. RASGOS ESTRUCTURALES EN SUBSUELO

Estudios directos e indirectos fueron realizados en la región chacopampeana con el objetivo de la prospección de hidrocarburos, desde la década de 1930 en adelante. Esta información permitió cono-

cer las principales características de las cuencas y estructuras en subsuelo a escala regional.

La perforación de pozos profundos aporta los primeros datos del subsuelo, seguidos por estudios sísmicos y, recientemente, estudios gravimétricos y magnetoteléuricos (Favetto *et al.* 2007, Ramé y Miró 2011, Peri *et al.* 2013). Estos datos proveen información a distintas escalas y distintos grados de detalle. A continuación, se describen los estudios realizados y los resultados obtenidos.

4.2.1. DELIMITACIÓN DE CUENCAS SEDIMENTARIAS POR PERFORACIONES

Los datos de perforaciones de pozos hidrocarbúricos profundos permitieron, en base a estudios

litológicos y fosilíferos obtenidos en los recortes de perforación, diferenciar unidades o formaciones, asignar sus espesores y correlacionar paquetes de secuencias sedimentarias a través del subsuelo de la región.

Las secuencias sedimentarias del subsuelo del área de la Hoja Geológica se circunscriben a la denominada subcuenca de Alhuampa (Chebli *et al.* 1999, sus figuras 2 y 6). Esta subcuenca asimétrica tiene una forma elongada en dirección N-S, con un límite occidental recto definido por la falla El Rosario, donde presenta su máximo espesor y se extiende hacia el este por unos 300 km, disminuyendo su espesor y acuñándose contra el cratón del Río de La Plata (Cristallini *et al.* 2004).

4.2.2. MÉTODOS GEOFÍSICOS

4.2.2.1. Método sísmico

Los datos del subsuelo en el área de estudio son analizados e interpretados por Cristallini *et al.* (2004) y Reinante *et al.* (2014), (ver perfil transversal A-A'). La imagen sísmica muestra la falla El Rosario como límite de los depósitos paleozoicos. Estas secuencias fueron interpretadas sobre la base de discordancias sísmicas y de correlaciones con perforaciones de pozos profundos. Al oeste de la Falla El Rosario, numerosas fracturas y fallas de alto ángulo surgen desde el basamento y desplazan a los depósitos terciarios. Al este de la Falla El Rosario, un fallamiento normal de segundo orden de magnitud afecta a los depósitos carboníferos que despegan de la base de la secuencia, y no afecta a la secuencia silúrico-devónica infrayacente (Cristallini *et al.* 2004). Es importante destacar las geometrías de las secuencias sedimentarias, que presentan un engrosamiento hacia la falla.

4.2.2.2. Método magnetotelúrico (MT)

Peri *et al.* (2013) y Favetto *et al.* (2007) realizaron transectas magnetotelúricas a la latitud de 27°S, e interpretaron la estructura cortical de la región. En el área de la Hoja, el modelado MT permiten interpretar un relleno sedimentario de aproximadamente 4 km de espesor (Resistividad < 5 Omhs), correspondiente a la subcuenca de Alhuampa de la planicie chaco-pampeana, y un basamento cortical de unos 30 km de espesor, perteneciente al terreno Pampeano (Peri *et al.* 2013, su figura 7). Inmediatamente al este del área de la Hoja los datos permiten interpretar una antigua zona de subducción y actual zona de acreción entre el terreno Pampeano y el cratón del Río de la

Plata, sugerido como la continuación del lineamiento transbrasiliano. Esta discontinuidad cortical de primer orden se interpreta como una estructura de rumbo NE-SO e inclinación al E, transpresiva con componente de rumbo dextral (Ramé y Miró 2011, Peri *et al.* 2013).

4.3. CONTEXTO TECTÓNICO

El área de la Hoja Geológica se ubica en el sector norte del denominado *flat-slab* pampeano, una región geotectónicamente caracterizada por una subducción subhorizontal entre los 27° y 33,5° de latitud Sur, con ausencia de vulcanismo y un antepaís fragmentado con bloques de basamento fallados y levantados (Ramos *et al.* 2002, su figura 1). Gran parte de las discontinuidades o heterogeneidades principales son antiguas suturas y zonas de cizalla del Paleozoico inferior generadas por la acreción de terrenos antiguos. Estas discontinuidades fueron reactivadas extensionalmente durante el Paleozoico y Mesozoico y contraccionalmente durante el Cenozoico, y son las responsables de los bloques de basamento elevados en las Sierras Pampeanas (Jordan y Allmendinger 1986, Ramos *et al.* 2002). El área de estudio, en particular, representa el actual frente orogénico andino, siendo las fallas Guasayán (ubicada en la Hoja Geológica 2766-IV Concepción, Dal Molin *et al.* 2003) y El Rosario (en el área de la presente Hoja) las estructuras más orientales pertenecientes a una faja plegada y corrida doble vergente de piel gruesa (Cristallini *et al.* 2004, su figura 15). No obstante, la Zona de Falla Jumialito Chico representa la expresión morfotectónica más oriental de la Hoja y podría también enmarcarse en el contexto del frente de deformación actual.

5. GEOMORFOLOGÍA

La geomorfología del área cubierta por la Hoja Geológica Santiago del Estero se encuentra caracterizada por tres regiones geomorfológicas principales: el sector de lomadas y altos estructurales del oeste, la región de derrames de las sierras del nordeste tucumano y los sistemas fluviales de los dos principales ríos de la provincia que son el río Dulce (al oeste) y el río Salado (al este), y que abarcan la mayor superficie de la Hoja. Esta configuración del paisaje del área es el resultado de procesos endógenos que fueron modificados parcialmente por procesos de erosión/agradación fluvial y sedimentación eólica.

Constituye un ambiente de escaso relieve con pendiente regional hacia el sureste y, principalmente, extendido entre los ríos Dulce y Salado.

Dentro de las regiones se desarrollan unidades geomorfológicas de origen fluvial, eólico, estructural y poligenéticas. En el cuadro 2 y en la figura 8 se detallan las unidades geomorfológicas correspondientes a las tres regiones antes mencionadas y los principales procesos que les han dado origen. Las diferentes unidades geomorfológicas son descriptas a continuación en base a su morfogénesis.

5.1. UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS CON CONTROL ESTRUCTURAL

5.1.1. RELIEVE ESTRUCTURAL ONDULADO

Abarca el ángulo suroeste de la Hoja y conforma parte de las estribaciones orientales del extremo norte de la sierra de Guasayán. Esta unidad presenta un relieve suave y ondulado de origen tectónico, cuyo núcleo está conformado por sedimentitas de edad miocena pertenecientes a la Formación Guasayán, que se encuentran cubiertas por depósitos de *loess* de espesor variable. Las lomadas no superan los 60 m de altura con rumbo general norte-sur y pendientes que rondan el 1,5 % hacia el este.

5.1.2. ALTO ESTRUCTURAL

En el sector noroeste de la zona de estudio se desarrollan lomadas muy suaves con pendientes infe-

riores al 2 % que presentan un rumbo norte-sur. Las alturas máximas llegan a 300 m s. n. m. y presentan un perfil asimétrico en sentido este-oeste con pendientes superiores en su sector oriental. Constituyen los sectores más elevados de la zona de estudio. Estas lomadas que conforman la unidad “alto estructural” constituirían un anticlinal debido al plegamiento generado por la presencia de corrimientos ciegos de alto ángulo (Iaffa *et al.* 2011, 2013), que en la zona de estudio se encuentra representado por la falla El Rosario (Cristallini *et al.* 2004), ubicada al este de las lomadas.

De acuerdo a descripciones de perfiles de perforación para la extracción de agua subterránea realizadas en la parte norte, el núcleo de estas lomadas estaría formado por sedimentitas neógenas continentales pertenecientes a la Formación Las Cañas que se encontrarían a una profundidad entre 40 m a 60 m, aproximadamente (Martín y Palazzo 2007). Las lomadas se encuentran cubiertas por depósitos de *loess* removilizado con intercalaciones de capas arenosas de 30-40 m de espesor.

5.2. UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS DE ORIGEN FLUVIAL

5.2.1. PLANICIE ALUVIAL DEL RÍO SALADO

La planicie aluvial del río Salado constituye una unidad en la que predominan los procesos de agradación fluvial que van formando superficies más o menos planas generadas por la depositación

Región Geomorfológica	Unidad Geomorfológica	Proceso Geomorfológico Predominante	Unidades Geológicas Presentes	Rango de pendiente del terreno
Lomadas y altos estructurales	Relieve Estructural Ondulado	Estructural	Fm. Guasayán, Fm. Capellania	1 a 3 %
	Alto Estructural	Estructural	Fm. Las Cañas	1,5 a 3 %
	Niveles de bajadas	Fluvial	Fm. Capellania, Depósitos limo-loésicos	1 a 2 %
	Planicie eólica con control estructural	Eólico/Estructural	Depósitos limo-loésicos	0,3 a 1 %
	Playa Salina	Fluvial	Limos y arenas finas	Relieve plano-cóncavo
Derrames de las sierras del noreste tucumano	Derrames	Fluvial	Limos, arcillas y arenas finas	0,2 a 0,5 %
	Vías de avenamiento secundarias	Fluvial	Limos y arenas finas	0,5 a 1 %
	Bajos anegables y salinos	Fluvial	Depósitos limo-arcillosos, costras salinas	Relieve plano-cóncavo
Sistemas fluviales principales	Planicie aluvial del río Salado	Fluvial	Arenas finas y limos	1 a 2 %
	Abanico aluvial actual del río Salado	Fluvial	Arenas finas con cubierta loess	0,5 a 1,5 %
	Abanico aluvial antiguo del río Salado	Fluvial	Arenas finas con cubierta de loess	0,5 a 2 %
	Planicie fluvio-eólica	Fluvial/Eólico	Arenas y loess removilizado	1 a 1,5 %
	Planicie aluvial del río Dulce	Fluvial	Arenas y gravas	1 a 2 %
	Abanico aluvial del río Dulce	Fluvial	Arenas y gravas con cubierta de loess	0,5 a 1,5 %
	Paleocauces	Fluvial	Arenas y gravas	0,5 a 1,5 %
	Vías de avenamiento secundarias	Fluvial	Arenas y limos	0,5 a 1 %

Cuadro 2. Principales regiones geomorfológicas y unidades asociadas de la Hoja Geológica 2763-III Santiago del Estero.

de sedimentos. Esta unidad incluye a los depósitos de canal (fondo de canal y de barra de meandros), terrazas fluviales, lóbulos de desbordamiento y bañados. La planicie aluvial en el sector de estudio presenta los siguientes cursos de aguas principales: el río Salado propiamente dicho que actualmente se encuentra altamente intervenido por obras hídras, el río de La Guardia y las Cañadas de Los Saladillos y de Las Víboras que provienen de la zona de los bajos anegables y salinos (Fig. 8).

El río Salado presenta un diseño meandriforme con terrazas bajas que forman una amplia planicie hasta llegar al bañado de Los Figueroa en donde, aguas abajo, se construyeron en la década del 60 tres diques de manera continua en dirección del escurrimiento: Embalse Los Figueroa, El Devastadero o del Km 0 y Cuchi Pozo (Basualdo 1982). Del dique del Km 0 se construyó el canal encauzador Ing. Ginni con una traza de 40 km de longitud, con una pendiente del 2 % y una sección de 27 metros (Roldan 2001). A lo largo de dicho canal existen una serie de derivaciones para atender las necesidades de riego y provisión de agua en la zona como los canales vecinales margen izquierda y derecha. En la actualidad, en el sector del antiguo dique Km 0 se construyó una nueva presa denominada "Presidente Néstor Kirchner". La gran antropización que sufrió el sistema fluvial en este sector generó la presencia de numerosas cárcavas de gran extensión que produjeron el corte de los canales derivadores que tuvieron que ser re-encauzados posteriormente.

El río de La Guardia se origina a la altura del bañado de Los Figueroa como consecuencia de la colmatación del cauce principal del río Salado por materiales finos (limo-arenosos). Presenta un escurrimiento de carácter temporario y discurre con sentido general hacia el sureste en forma casi paralela al río Salado uniéndose a éste aguas abajo. Es característico de este sector la presencia de albardones que sobresalen del cauce anegadizo con el desarrollo de vegetación hidrohalmórfica.

Los otros cursos de agua que conforman la planicie aluvial del río Salado, se denominan cañadas y se originan en el sector de los bajos anegables salinos que se encuentran al noroeste de la Hoja. Durante la época estival, este sector recibe el aporte de agua proveniente de las sierras del nordeste tucumano generando la formación de un sistema de lagunas y bañados encadenados que se interconectan a partir de canales o cañadas. Las cañadas de Los Saladillos y Las Víboras drenan sus aguas durante los períodos de lluvias con sentido sursureste, donde se encuentran

y forman un solo canal hasta unirse con el río de La Guardia, al sur de la ruta provincial 5.

5.2.2. PLANICIE ALUVIAL DEL RÍO DULCE

En la unidad predominan los procesos de erosión y sedimentación fluvial e incluye los depósitos aluviales de la planicie de inundación permanente del río Dulce, barras longitudinales y marginales, terrazas fluviales y meandros abandonados.

El curso principal del río Dulce discurre con sentido noroeste-sureste dentro del área de estudio. La llanura de inundación posee anchos variables entre 400 m y 2400 m; el río, que discurre encajonado entre las barrancas terciarias, presenta características de un río entrelazado de baja sinuosidad con barras longitudinales y marginales. Las barras longitudinales se formaron debido a la pérdida de competencia en el transporte en la parte media del canal orientándose con el eje principal paralelo a la dirección de la corriente, alcanzando longitudes máximas entre 500 m y 1400 metros. Las barras marginales se desarrollan en áreas de energía relativamente baja a lo largo de las márgenes laterales de la corriente principal, creciendo hacia la parte interior del canal, observándose barras que alcanzaron tamaños superiores a los 1900 m de largo por 400 m de ancho. Aguas abajo de la ciudad de Santiago del Estero, la planicie de inundación comienza a disminuir su pendiente y el río adopta un comportamiento meandriforme debido a la pérdida de energía.

En las márgenes se desarrollan dos niveles de terrazas fluviales que se disponen en forma elongadas, paralelas a ambas márgenes del río. Son terrazas asimétricas, ya que se observa un nivel superior más antiguo y un nivel de terraza inferior reciente. El perfil transversal denota dos niveles sobre ambas márgenes, aunque con mayor desarrollo sobre la margen derecha. La escarpa de la terraza inferior tiene una altura aproximada de 1 m mientras que la de la terraza superior tiene aproximadamente 5 metros.

5.2.3. ABANICO ALUVIAL ACTUAL DEL RÍO SALADO

La unidad se encuentra ubicada en el sector centro-oeste de la zona de estudio. Presenta una forma elongada con dirección sursureste y se encuentra controlada hacia el este por el abanico antiguo del río Salado y hacia el oeste limita con la planicie aluvial activa del mismo río.

El abanico aluvial del río Salado constituye una de las principales geoformas de la Hoja abarcando una superficie de 4100 km² aproximadamente, con cotas que varían de 178 m s. n. m. en la parte norte a 128 m s. n. m. en el límite sur del área y una pendiente media de 0,8 %.

5.2.4. ABANICO ALUVIAL ANTIGUO DEL RÍO SALADO

Sólo una parte del abanico antiguo del río Salado se encuentra dentro de los límites de la Hoja, abarcando una franja ubicada al este de la misma. Constituye una unidad que tiene su mayor desarrollo hacia el sector centro-oriental de la provincia de Santiago del Estero. Constituye una geoforma generada por la acreción lateral del río Salado que fue divagando hacia el oeste y acumulando material limo-arenoso en un amplio plano que abarca parte de los departamentos Moreno, Figueroa e Ibarra. Dentro del área de estudio abarca una superficie de 2400 km² aproximadamente, con cotas que varían de 175 m s. n. m. en la parte norte a 127 m s. n. m. en el límite sur del área y una pendiente que va desde 0,1 % a 0,6 %. Los sedimentos de los interfluvios son arcillas y limos de coloración roja o pardo clara con sulfatos dispersos, intercalados se disponen los antiguos cauces de agua (Angueira 2015).

5.2.5. ABANICO ALUVIAL DEL RÍO DULCE

El abanico aluvial del río Dulce se encuentra ubicado en el ángulo suroeste de la Hoja y constituye una geoforma de agradación fluvial que se desarrolla luego de que el río Dulce deja su tramo encajonado entre lomadas terciarias para entrar al sector de llanura. Debido al cambio de pendiente que tiene lugar en este pasaje se produce la divagación del río generando una activa depositación de sedimentos gravosos, arenosos y limo-arcillosos generando un abanico con dirección general noroeste-sureste. Limita al oeste con los niveles de bajadas de la sierra de Guasayán y hacia el este con la planicie fluvio-eólica.

Abarca un área aproximada de 1244 km² y su pendiente varía de un 1 % en su parte apical a un 0,3 % en la parte más distal dentro del área de estudio. Las cotas varían de aproximadamente 200 m s. n. m. a 142 m s. n. m. en su parte apical y distal, respectivamente.

5.2.6. PALEOCAUCES

Los paleocauces son cauces fluviales abandonados durante etapas de sedimentación fluvial

activa y avulsión por parte de los principales ríos del área. Se los observa, principalmente, en los abanicos aluviales actuales y antiguos de los ríos Salado y Dulce como cauces meandriformes que, actualmente, se encuentran casi permanentemente secos y tienen una cobertura eólica importante.

5.2.7. VÍAS DE AVENAMIENTO SECUNDARIAS

Constituyen cursos de aguas intermitentes que tienen un diseño más ancho que profundo y que se forman por la concentración del escurrimiento superficial de los terrenos más elevados en sectores donde aumenta la pendiente general. Dentro de la Hoja, fueron observados en las áreas de derrames del norte, disectando la llanura fluvio-eólica en la parte central del área y cortando las lomadas que forman el alto estructural del oeste (Fig. 8). En el sector de derrames del norte suelen actuar como bañados que aportan agua a los bajos anegables salinos y, muchas veces, presentan la formación de costras salinas en superficie.

5.2.8. NIVELES DE BAJADAS

A medida que aumenta la distancia a las lomadas de la sierra de Guasayán, ubicada al oeste del área de la Hoja, se observa una disminución en el gradiente topográfico y comienzan a actuar procesos de agradación fluvial conformando niveles de bajadas aluviales. Las bajadas son el producto de la denudación de la sierra de Guasayán como respuesta al levantamiento de la misma asociada a la falla de Guasayán, que se observa en su flanco oriental. En esta unidad predominan los sedimentos medianos (arenas) y gruesos (gravas) con intercalaciones de sedimentos finos (limo-arcilla).

5.2.9. DERRAMES

Los derrames constituyen zonas de acumulación fluvial distales dominadas por materiales finos (limos loésicos removilizados), que son depositados en el sector de llanura por los ríos que descienden de las sierras del nordeste tucumano (sierras de La Ramada y del Campo) y del sur de Salta (Sierra La Candelaria), como ser los ríos Urueña, Horcones y Tajamar. Esta unidad se desarrolla en el sector noroeste del área de estudio y limita al este con el abanico aluvial actual del río Salado y al oeste con la unidad del alto estructural. El área cubierta por esta unidad alcanza los 1150

km², con cotas que van desde los 185 m s. n. m. hasta los 157 m s. n. m. y una pendiente media aproximada del 0,3 %. Dentro de esta área tienen lugar numerosos bajos anegables con canales que suelen conectarlos.

5.2.10. PLAYA SALINA

Las lomadas que conforman la unidad Alto estructural generan una barrera al escurrimiento superficial que proviene de la llanura tucumana ubicada al oeste del área de estudio. Como consecuencia de ello, se forma una playa salina que coincide con el sector austral del denominado “salitral El Tranquilo” (Fernández y Lutz 2006).

Las playas son geoformas de acumulación fluvial distales, de relieve plano-cóncavo que se forman en los sectores más deprimidos de las planicies o los valles intermontanos. En ellas se acumulan materiales clásticos finos limo-arenosos. La presencia de un déficit hídrico marcado durante la mayor parte del año, como consecuencia de las bajas precipitaciones y la gran evapotranspiración reinante en el sector, genera la acumulación de sales en superficie.

5.3. UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS DE ORIGEN EÓLICO

5.3.1. PLANICIE EÓLICA CON CONTROL ESTRUCTURAL

Al pie de la unidad Alto estructural se observa la planicie eólica que se desarrolla en el sector centro-oeste de la zona de estudio y que está conformada por una superficie de pendiente muy baja, menor al 1 %, orientada hacia el este. Litológicamente se observan depósitos loésicos de variable espesor, cuya génesis refleja el aporte de sedimentos eólicos (*loess*) desde el sur y suroeste durante el Pleistoceno Tardío y el Holoceno (Sayago 1985), debido a la influencia de períodos áridos relativamente recientes (Sayago *et al.* 1998). Hacia el este de la unidad, se observan escarpas de fallas modernas que se relacionan con actividad neotectónica (Zona de falla Jumialito Chico, Casa 2020c) y que producen un desnivel en el terreno de entre 10 m y 12 m aproximadamente, y que marcan el límite con la planicie fluvio-eólica. El área cubierta por esta unidad alcanza los 1260 km², con cotas que van desde los 190 m s. n. m. hasta los 160 m s. n. m. y una pendiente baja con una media aproximada del 0,5 %.

5.4. UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS DE ORIGEN POLIGÉNICO

5.4.1. PLANICIE FLUVIO-EÓLICA

Se extiende como una delgada franja sobre la margen oeste del río Salado hasta el contacto con la escarpa de falla que marca el límite con la planicie eólica con control estructural. Esta unidad se extiende hacia el centro de la provincia de Santiago del Estero donde su ancho es más notable siendo difícil precisar su separación de la planicie aluvial del río Dulce (Angueira 2015). El área cubierta por esta unidad, alcanza los 2100 km², con cotas que van desde los 160 m s. n. m. hasta los 134 m s. n. m. y una pendiente media aproximada del 0,5 %.

En la unidad se observa una alternancia de sedimentos loésicos con sedimentos aluvio-eólicos integrados por limos con gravilla fina intercalada. La morfología de este sector está dominada por formas fluviales antiguas aisladas que alternan con extensos planos de origen eólico generado por el aporte loésico desde el sur y suroeste durante el Pleistoceno Tardío y el Holoceno (Sayago 1995). La unidad es atravesada por vías de avenamiento que descienden desde los sectores más elevados del oeste que responden a la unidad del Alto estructural.

5.4.2. BAJOS ANEGABLES Y SALINOS

La unidad se encuentra ubicada en el área de derrames de los cursos de agua que provienen de las sierras del nordeste tucumano y sur de la provincia de Salta, conformando un sistema hídrico denominado “Sistema de los saladillos” [Consejo Federal de Inversiones (CFI) 1987]. En este sistema se observan bajos topográficos salinos denominados “saladillos”, los cuales a su vez presentan una serie de lagunas de carácter temporario. Los bajos salinos presentan una planicie limo-arcillosa con eflorescencias salinas en superficie. El anegamiento de este sector se puede producir por el escurrimiento del agua de origen pluvial o por la elevación del nivel freático que en muchas zonas se localiza a menos de 1 m de profundidad. Cuando estas aguas se ven retenidas en las zonas bajas se produce la concentración y precipitación de las sales por evapotranspiración.

Este sistema lagunar tiene un rumbo general NNO-SSE, donde las lagunas están interconectadas por cauces de escurrimiento estacional denominadas cañadas que aportan sus aguas a los bajos durante los períodos más húmedos. Todo el sistema descarga sus

aguas en el río Salado luego de unirse con el cauce del río de La Guardia. Algunas de estas lagunas son endorreicas, poseen barrancas bien definidas con un talud inclinado y con el eje longitudinal paralelo a la dirección de los cauces de descarga. Algunas de las principales lagunas son la de Juan Cruz, La Cruzarita, El Perro Loco, Colorada y Salada (Fig. 8). La pendiente general del terreno varía entre el 0,2 % y el 0,3 %.

La génesis de la unidad podría vincularse a geofomas relictas de un antiguo sistema fluvial formado bajo condiciones ambientales más húmedas que las imperantes hoy en día en la región, sobre la que posteriormente actuaron procesos de deflación eólica profundizando las cubetas y formando cordones eólicos perilagunares y médanos que pueden observarse en algunos sectores.

6. HISTORIA GEOLÓGICA

El área de la Hoja Geológica se enmarca en una región donde importantes eventos tectónicos y geodinámicos han ocurrido desde el Proterozoico superior hasta la actualidad.

Durante el Precámbrico y el Paleozoico inferior, la acreción y amalgamación de terrenos al suroeste de Gondwana desarrollaron una deformación penetrativa dentro del basamento expresada como esquistosidad, foliaciones y fajas de cizalla dúctil (Ramos *et al.* 2002). Pocos kilómetros al este del área de la Hoja se encuentra la sutura cortical entre el terreno Pampia (al oeste) y el cratón del Río de La Plata (al este), correspondiente al ciclo Pampeano (Ramos 1999, Ramos *et al.* 2002, Ramé y Miró 2011, Peri *et al.* 2013). Las heterogeneidades y debilidades en el basamento fueron importantes en el desarrollo posterior de las estructuras extensionales desde el Paleozoico al Cretácico (Hongn y Seggiaro 1998, Ramos 1999, Ramos *et al.* 2002).

Durante el período Cámbrico-Ordovícico, las secuencias sedimentarias correlacionadas desde el noroeste argentino hasta el subsuelo de Santiago del Estero se habrían depositado sobre el basamento pampeano en cuencas de características extensionales, generadas en un marco continental intracratónico mayor de configuraciones cambiantes, debido a la movilidad de macizos (Arequipa) y levantamientos de dorsales (Aceñolaza *et al.* 1999b). El hemigraben de Las Breñas y alrededores (pozo Árbol Blanco) reflejan en parte el estilo tectónico extensional (Pezzi y Mozetic 1989, Chebli *et al.* 1999).

Durante la fase de deformación Oclóyica hacia fines del Ordovícico, se comienza a estructurar y a

ascender la Protopuna y el sector más occidental de la Cordillera Oriental, con la generación de una amplia cuenca de antepaís (cuenca Oriental), que recibió los depósitos silurodevónicos y cubrió parte de los actuales territorios de Bolivia, Paraguay, noroeste argentino, y subsuelo de la gran llanura chacopampeana (Aceñolaza *et al.* 1999a, Ramos 1999).

Hacia el final del Devónico, los movimientos de la fase Chánica produjeron el levantamiento de la Proterocordillera Oriental, junto con la generación de áreas elevadas como el arco Puneño (asociado espacialmente al alto Rincón-Caburé ó Quirquincho) o el Arco Pampeano-Chaqueño, áreas que quedaron elevadas durante el Paleozoico superior (Cortassa *et al.* 2019, Larrovere *et al.* 2021). También, se reactivaron algunas estructuras como el hemigraben de Las Breñas, produciendo inversión tectónica y deformación de los depósitos del Paleozoico inferior (Pezzi y Mozetic 1989). Durante este ciclo Gondwánico, cuencas de retroarco intracratónicas con características extensionales se formaron entre altos o arcos de orientación N-S a NE-SO (Pezzi y Mozetic 1989), y fueron rellenadas por las secuencias carbonífero-pérmicas con sus características improntas glaciales-post glaciales (Limarino y Spalletti 2006). En el área de estudio se desarrolla durante este período la subcuenca de Alhuampa como depocentro occidental de la cuenca Chacoparanense (Chebli *et al.* 1999).

Desde el Pérmico y principalmente durante el Mesozoico, importantes configuraciones geodinámicas conducen al desmembramiento de Gondwana, en un largo período de eventos tectónicos extensionales (*rifting*) multiepisódicos que culminaron con la apertura del océano Atlántico (Ramos 1999; Lovecchio *et al.* 2020, 2024). En la región chacopampeana, los eventos volcánicos de Serra Geral y sus correlaciones sedimentarias representaron este período (Russo *et al.* 1979, Fernández Garrasino 1989, Chebli *et al.* 1999, Reinante *et al.* 2014).

Hacia finales del Cretácico y durante el Cenozoico, la dinámica cambiante de la subducción de la placa de Nazca por debajo de la placa Sudamericana (Pardo-Casas y Molnar 1987) comienza a estructurar y formar la actual Cordillera de los Andes, y una cuenca de antepaís donde se depositaron potentes secuencias cenozoicas, mayormente continentales, que se apoyaron sobre las secuencias paleo-mesozoicas o sobre basamento. Este gran antepaís es luego fragmentado por el levantamiento tectónico de bloques de basamento durante el Mioceno-Plioceno (Ramos *et al.* 2002, Zapata *et al.* 2020). Durante el Mioceno, una importante ingresión marina desde el océano Atlántico depositó la Formación Paraná, equivalente

a la Formación Guasayán en el área de estudio. Estos depósitos neógenos fueron levemente deformados, generando discordancias entre las distintas unidades.

Durante el Cuaternario, la morfología de la zona quedó dominada por la actividad fluvial y aluvial de los ríos que transportan sedimentos provenientes de las elevaciones occidentales, en sincronía con las variaciones climáticas de dominancia árida, que generaron una cobertura de depósitos eólicos de gran extensión regional (Iriondo 1997, Zárate 2003). En el área de estudio, la actividad tectónica cuaternaria se evidencia en los rasgos morfoestructurales de las fallas El Rosario y Zona de falla Jumialito Chico.

7. RECURSOS MINERALES

En el marco de la Hoja Geológica existen únicamente manifestaciones de minerales industriales y rocas de aplicación, principalmente integradas por sales de sodio que están vinculadas a depósitos evaporíticos localizados en su sector norte. Asimismo, se puede mencionar el potencial prospectivo para hallar acumulaciones de yeso en su sector suroeste, a partir de la presencia de la Formación Guasayán. Esta unidad contiene niveles yesíferos que han sido explotados en las inmediaciones de la sierra de Guasayán, ubicada a unos 20 km por fuera del límite suroeste de la Hoja.

Actualmente, la actividad extractiva principal está dada por la producción de rocas de aplicación, entre ellas los áridos para la construcción y la industria vial. Estos son obtenidos mayoritariamente de los niveles de gravas, arenas y limos que corresponden a antiguos depósitos del río Dulce. Sumado a esto, existe la producción de arcillas rojas plásticas que son utilizadas por la industria cerámica en la fabricación de ladrillos cerámicos huecos. El cuadro 3 resume los sitios de extracción de minerales, ubicados en el mapa de la presente Hoja. Por otro lado, es relevante mencionar que existen ciertas manifestaciones de aguas termales que podrían tener potencial para ser explotadas.

7.1. DEPÓSITOS DE MINERALES INDUSTRIALES Y ROCAS DE APLICACIÓN

Arcilla

Los depósitos de arcillas y limos arcillosos existentes en el área están integrados a la cuenca evaporítica yesífera y generalmente están cubiertas

N° inicio	Sustancia	Nombre	Localidad	Coordenadas		Hoja 1:100.000	Litología	Unidad Estratigráfica	Edad	Mineralogía	Labores Mineras
				Latitud decimal	Longitud decimal						
1	Arena y Grava	Don Juan	Santiago del Estero	27°35'30,10"S	64°26'21,22"O	2763-25	Gravas, arenas, y limos fluviales	Depósitos continentales	Holoceno	Ari	Cantera
2	Arena	La Mimosa	Santiago del Estero	-27,591696	64°26'57,84"O	2763-25	Gravas, arenas, y limos fluviales	Depósitos continentales	Holoceno	Ari	Cantera
3	Arena	Tipiro	Santiago del Estero	27°36'16,36"S	64°26'57,84"O	2763-25	Gravas, arenas, y limos fluviales	Depósitos continentales	Holoceno	Ari	Cantera
4	Arena	Don Quintino	Santiago del Estero	-27,640345	64°23'10,54"O	2763-25	Gravas, arenas, y limos fluviales	Depósitos continentales	Holoceno	Ari	Cantera
5	Arena	Olivera Walter	Santiago del Estero	27°39'00,77"S	64°22'59,23"O	2763-25	Gravas, arenas, y limos fluviales	Depósitos continentales	Holoceno	Ari	Cantera
6	Arena	Santa María I	Santiago del Estero	27°39'54,99"S	64°22'31,30"O	2763-25	Gravas, arenas, y limos fluviales	Depósitos continentales	Holoceno	Ari	Cantera
7	Arena	El Decancto	Santiago del Estero	27°39'55,29"S	64°22'12,16"O	2763-25	Gravas, arenas, y limos fluviales	Depósitos continentales	Holoceno	Ari	Cantera
8	Arena	Santa Rosa	Santiago del Estero	27°41'10,86"S	64°21'09,78"O	2763-31	Gravas, arenas, y limos fluviales	Depósitos continentales	Holoceno	Ari	Cantera
9	Arena	Hermanos Veira	Santiago del Estero	27°41'53,17"S	64°20'37,76"O	2763-31	Gravas, arenas, y limos fluviales	Depósitos continentales	Holoceno	Ari	Cantera
10	Arcilla	Cerámica Santiago	Santiago del Estero	27°51'19"S	64°25'46"O	2763-31	Gravas, arenas, y limos fluviales	Depósitos continentales	Holoceno	Ari	Cantera
11	Arcilla	Santo Domingo	Santiago del Estero	27°49'30,99"S	64°07'53,27"O	2763-31	Limos, arcillas	Depósitos limo-loésicos	Holoceno	Arc	Cantera
12	Sales de sodio	Huyamampa	Huyamampa	27°18'52,44"S	64°13'11,59"O	2763-19	Limos, arcillas	Depósitos evaporíticos	Holoceno	Hb, Mrb y The	Pozos y pilletones
13	Sales de sodio	Santa Brígida	Huyamampa	27°18'32,20"S	64°08'32,33"O	2763-19	Limos, arcillas	Depósitos evaporíticos	Holoceno	Hb, Mrb y The	
14	Sales de sodio	Salvadora	Huyamampa	27°16'46,92"S	64°07'12,66"O	2763-19	Limos, arcillas	Depósitos evaporíticos	Holoceno	Hb, Mrb y The	
15	Sales de sodio	Sulfa Sant II	Huyamampa	27°05'07,86"S	64°05'53,22"O	2763-19	Limos, arcillas	Depósitos evaporíticos	Holoceno	Hb, Mrb y The	
16	Sales de sodio	Las Marías	Huyamampa	27°10'45,94"S	64°05'05,99"O	2763-19	Limos, arcillas	Depósitos evaporíticos	Holoceno	Hb, Mrb y The	
17	Sales de sodio	Yolanda	Huyamampa	27°13'09,91"S	64°05'08,71"O	2763-19	Limos, arcillas	Depósitos evaporíticos	Holoceno	Hb, Mrb y The	
18	Sales de sodio	Norma	Huyamampa	27°14'53,03"S	64°04'55,69"O	2763-19	Limos, arcillas	Depósitos evaporíticos	Holoceno	Hb, Mrb y The	
19	Sales de sodio	Emilia	Huyamampa	27°13'36,57"S	64°03'00,34"O	2763-19	Limos, arcillas	Depósitos evaporíticos	Holoceno	Hb, Mrb y The	
20	Sales de sodio	Santi 10	Huyamampa	27°08'09,89"S	64°02'18,00"O	2763-19	Limos, arcillas	Depósitos evaporíticos	Holoceno	Hb, Mrb y The	
21	Sales de sodio	Santi 12	Huyamampa	27°10'17,31"S	63°59'52,38"O	2763-20	Limos, arcillas	Depósitos evaporíticos	Holoceno	Hb, Mrb y The	
22	Sales de sodio	Santi 5	Huyamampa	27°15'23,55"S	63°58'58,20"O	2763-20	Limos, arcillas	Depósitos evaporíticos	Holoceno	Hb, Mrb y The	
23	Sales de sodio	Santi 6	Huyamampa	27°16'18,37"S	63°56'51,42"O	2763-20	Limos, arcillas	Depósitos evaporíticos	Holoceno	Hb, Mrb y The	
24	Sales de sodio	Santi 7	Huyamampa	27°15'40,68"S	63°55'10,34"O	2763-20	Limos, arcillas	Depósitos evaporíticos	Holoceno	Hb, Mrb y The	
25	Sales de sodio	Santi 9	Huyamampa	27°21'04,48"S	63°53'36,12"O	2763-26	Limos, arcillas	Depósitos evaporíticos	Holoceno	Hb, Mrb y The	
26	Sales de sodio	Santi 8	Huyamampa	27°23'43,81"S	63°50'39,65"O	2763-26	Limos, arcillas	Depósitos evaporíticos	Holoceno	Hb, Mrb y The	

Cuadro 3. Cuadro de indicios minerales.

Abreviaturas: Arc: Arcilla; Ari: Áridos; Ha:Halita; Mrb:Mirabilita; The: Thenardita

por una capa edáfica y loésica de unos 1,5 m de espesor. En general, la potencia media alcanza el metro de espesor. En cuanto a la composición química general, los contenidos de alúmina de los estratos arcillosos son bajos, oscilando entre los 26,1 % al 35,8 %, mientras que el contenido de Fe_2O_3 está entre los 12,2 % y 19 %.

Las arcillas en general presentan propiedades tecnológicas buenas, como la plasticidad, resistencia y retracción adecuada, al igual que el contenido en alúmina que en algunos casos las harían aptas para la fabricación de materiales refractarios. Si bien la mayoría de las arcillas presentes en el ámbito de la Hoja tienen un contenido de sulfatos y óxidos de hierro que impediría su utilización en la fabricación de cerámica roja, en la región existen algunos depósitos con características apropiadas para esta aplicación. Tal es el caso de la antigua cantera Cerámica Santiago (Fig. 9), explotada por la empresa homónima hacia fines del siglo pasado. Actualmente la compañía se encuentra con tareas extractivas de

material arcilloso en la cantera denominada Santo Domingo (Fig. 9).

Cerámica Santiago

La cantera se encuentra localizada a 8 km al suroeste de la ciudad capital de Santiago del Estero. En la misma se explotaba un material arcilloso que tenía como destino la fábrica de cerámica roja de la compañía Cerámica Santiago.

El material consiste en un limo arcilloso con tonalidades pardas a gris verdosas, con características plásticas, que se encuentran asignados a los depósitos cuaternarios que afloran en la zona. La extracción del material se llevaba a cabo mediante medios mecanizados y previamente se realizaba el destape de una cubierta estéril de unos 1-2 m de espesor aproximadamente. Hacia fines de la década de 1970 la cantera registraba una producción diaria de 120 t de material (Angelelli *et al.* 1980). La misma, junto con una pequeña proporción de arcilla procedente de las sierras de Guayasán, era

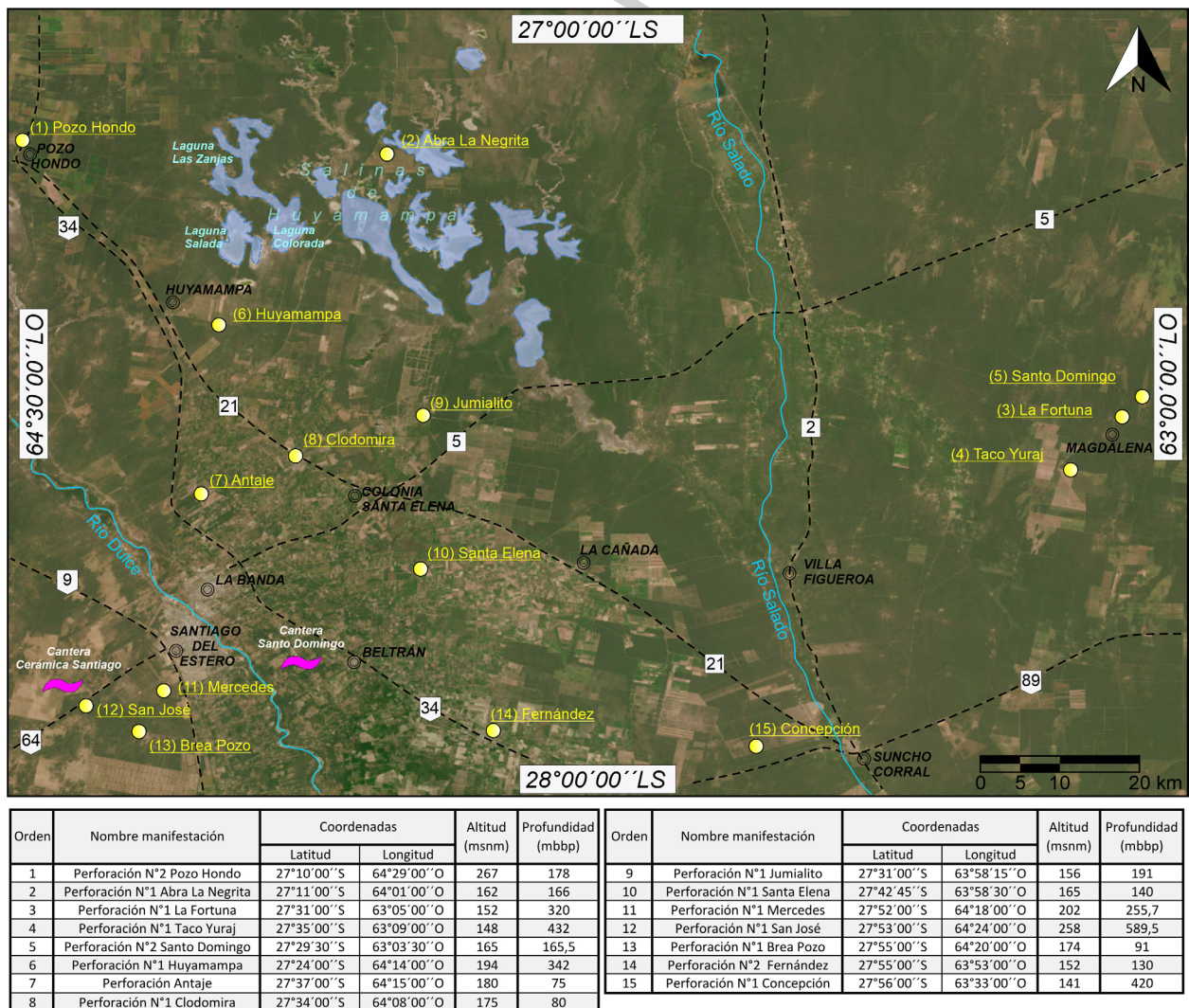


Figura 9. Localización canteras, salinas y sondeos con manifestaciones termales en el marco de la Hoja.

utilizada para la fabricación de diferentes tipos de ladrillos huecos que son empleados por la industria de construcción local.

Cantera Santo Domingo

La cantera Santo Domingo se encuentra ubicada en un área rural, a unos 14 km al sureste de la localidad de La Banda, departamento Robles. Si bien la cantera tiene varios años de antigüedad, a partir del 2017 presenta una producción sostenida. La operación extractiva consiste en la producción de arcillas aptas para ladrillos cerámicos. El material es transportado desde la cantera a la planta de la cerámica Santiago, ubicada en la ciudad capital de Santiago del Estero.

La cantera tiene un frente de explotación de unos 850 m de largo y un avance total desde que comenzó su actividad de aproximadamente 350 metros. El sentido de avance del frente de explotación es con dirección suroeste. Por su parte, los frentes de explotación presentan alturas verticales de 4-5 m promedio (Servicios Industriales S.R.L. 2023). El material es un suelo limo-arcilloso, y el mismo es extraído de manera mecánica para luego ser depositado en una pila de acopio o en una planchada de secado (Fig. 10). Finalmente es llevado en bruto para ser utilizado en la fábrica de ladrillos cerámicos.

En cuanto a la producción, para el periodo 2023 la cantera ha presentado un promedio mensual de 5.000 toneladas. Estos valores se asemejan a los números de producción histórica de la cantera (Servicios Industriales S.R.L. 2023).

Áridos

Las canteras de arena y gravas de distintas granulometrías que se encuentran localizadas en el

ámbito de la Hoja, generalmente están vinculadas a antiguos depósitos fluviales ubicados en ambos márgenes del valle del río Dulce. Las explotaciones mediante canteras se sitúan fundamentalmente en los alrededores de las localidades de Los Quiroga, Tipiro, El Deán, Villa Giménez, entre otros. El material extraído es tamizado en cantera y, posteriormente, es vendido tanto a corralones como a empresas constructoras que lo utilizan para obras de ingeniería vial e hidráulica.

En líneas generales, los frentes de explotación muestran una capa superior de suelo con potencias de 1 a 3 m que suprayacen a un banco de aproximadamente 10 m de espesor constituido por arena y grava. En este nivel de interés se describen lentes de arena fina de hasta 0,50 m de espesor intercalados entre arenas de granulometría mediana a gruesa. Por su parte, las gravas se encuentran en acumulaciones lenticulares de 0,30 a 0,80 m de espesor y se disponen en distintos niveles, preferentemente en la zona media del depósito. Los clastos de las gravas derivan esencialmente de rocas metamórficas. Por debajo del depósito existen niveles de un material arcilloso plástico de tonalidades pardo rojizas (Angelelli *et al.* 1980).

Cloruros y sulfatos de sodio

En el sector centro-norte de la Hoja existen las denominadas lagunas saladas, las cuales son áreas de formación de depósitos evaporíticos relevantes, entre ellos cloruro de sodio, sal gema o halita y sulfatos de sodio. En estas zonas existen numerosos salares o salinas blancas, siendo la más conocida por su explotación histórica, la salina de Huyamampa. La extracción de sal en Santiago del Estero corresponde casi exclusivamente a esta salina.



Figura 10. a) Cantera Santo Domingo. En el frente se observa el stock de acopio de material arcilloso. En el fondo de la fotografía se encuentran las labores extractivas. b) Salina de Huyamampa. Se observan piletones utilizados para la producción de las sales de sodio.

Existen otras salinas en la provincia, como es el caso de la salina San Bernardo en el departamento Choya y la salina de Ambargasta, localizada en el mismo departamento y también en Ojo de Agua, pero no ofrecen factibilidades para su aprovechamiento, ya que tanto el contenido de los salitrales como las concentraciones en las costras son muy escasas.

Salina de Huyamampa

La Salina de Huyamampa se encuentra ubicada a unos 60 km al nornoreste de la ciudad de La Banda, provincia de Santiago del Estero y a unos 12 km al este de la localidad de Huyamampa (Fig. 9), comunicadas entre ellas por un camino vecinal. En la llamada depresión de Huyamampa existen una serie de bañados y lagunas de las que la más importante es la conocida como laguna salada de Huyamampa.

Los depósitos de la salina se ubican entre los paralelos 27°15'-27°20' de latitud sur y los meridianos 64°05'-64°15' de longitud oeste. Se accede desde la ciudad capital por la ruta nacional 34 con dirección nornoreste y luego de recorrer aproximadamente 50 km se accede hacia el este a un camino consolidado que se dirige hasta la estación de la localidad Huyamampa, y de allí se ingresa por caminos secundarios, recorriendo una distancia de 10 km hasta el campamento de una antigua explotación de sal común.

Historia del yacimiento y producción

Esta salina estuvo en explotación sostenida entre los años 1945 y 1975, produciendo cloruro de sodio y sulfato de sodio. La producción se daba mediante la extracción de agua subterránea a partir de seis pozos distribuidos en distintos sectores, con profundidades que oscilaban entre los 30 y 40 metros. Luego, el agua extraída era vertida en piletones para la cristalización de las sales, donde se realizaba la posterior cosecha (Consejo Federal de Inversiones [CFI] 1993) (Fig. 10). Esta actividad se realizaba durante los meses de verano ya que la salmuera precipitaba por la evaporación del líquido. La costra salina que se explotaba presentaba un espesor de 3 a 5 centímetros (Angelelli *et al.* 1980). Los mismos autores mencionaron la presencia de los sulfatos de sodio mirabilita y thenardita, determinados mediante análisis por difracción.

Al momento de su apogeo, la depresión salina estaba cubierta por al menos 34 pertenencias mineras a nombre de la firma Martorell y Grau. De acuerdo a datos proporcionados en su momento por la Estadística Minera de la República Argentina la producción promedio para el periodo 1945-49 fue

de 2.991 t; 1950-1954 de 2.103 t; 1955-59 de 1.093 t; 1960-1964 de 652 t; 1965-69 de 811 t y para el periodo 1970-74 de 543 t de material (Angelelli *et al.* 1980). Se observa una declinación en los valores de producción a lo largo de los 30 años en los que se mantuvo con una actividad extractiva sostenida.

Características del yacimiento

El yacimiento La Salina de Huyamampa es un yacimiento de sulfato y cloruro de sodio, que consta de tres unidades hidráulicas superpuestas. En primer lugar, la laguna en superficie con aguas saladas estacionales que posteriormente son lixiviadas por las lluvias del verano y transportadas como grandes volúmenes de sales en solución. La siguiente unidad se ubica por debajo de la laguna y presenta un espesor de 25 metros. Se trata de un reservorio totalmente saturado en sales contenidas en sedimentos limo-arcillosos. Esta unidad presenta una importante acumulación de sales, pero la permeabilidad es escasa. Por último, a aproximadamente 25 m más abajo, se ubica la tercera unidad hidráulica. La misma está compuesta por arenas finas a medianas que se comportan como un acuífero semiconfinado, y su almacenamiento de sales constituye la mayor reserva de esta salina.

Química del agua subterránea

Con respecto a la salinidad de las aguas subterráneas del área, se pueden citar los resultados obtenidos en 1936 por la entonces Dirección de Minas y Geología mediante la realización del sondeo obra 776 (Huyamampa-N°1, Fig. 9), localizado a 7 km al sur de la salina y a 3 km al este de la estación ferroviaria del pueblo de Huyamampa (Dirección de Minas y Geología 1948, Dirección General de Industria Minera 1949). El sondeo alcanzó una profundidad de 342 m, en los que se interceptaron 18 acuíferos con distinto contenido salino. De estos, hay dos acuíferos comprendidos entre los 30 y 40 m de profundidad que presentan concentraciones de NaCl 10,58-11,35 g/l; y Na₂SO₄ 8,53-8,18 gramos por litro (Angelelli *et al.* 1980). Estos niveles corresponderían a la tercera unidad hidráulica mencionada anteriormente.

Schalamuk *et al.* (2005) presentaron una contribución cuyo objetivo fue identificar la fuente de procedencia de la componente sulfatada de la solución a explotar. En el estudio se confirmó la existencia de concentraciones relevantes de yeso alojados en los sedimentos ubicados en el entorno de la salina. Estos se interpretaron como la fuente de aporte para la formación de Na₂SO₄. Además,

mencionaron el carácter predominantemente sódico de las aguas subterráneas, con muy escaso contenido de los cationes de calcio y magnesio. Por su parte, los aniones mostraron un agua clorurada-sulfatada. A partir del análisis de la hidrodinámica subterránea, los autores obtuvieron una velocidad efectiva de 0,017 m/día. Estos valores de magnitud baja les permiten considerar un tiempo prolongado de contacto agua-medio, lo que favorecería la solubilización de las sales presentes.

Reservas

La reserva de salmuera, confirmada por un estudio del Instituto de Recursos Minerales dependiente de la Universidad Nacional de la Plata, para una superficie de 640 ha, es superior a los 36 millones de m³, lo que representa unos 7,18 millones de t de NaCl y 2,8 millones de t de Na₂SO₄ (sulfato de sodio anhidro) *in-situ*.

Yeso

Los yacimientos de yeso más importantes de la provincia se ubican fuera del ámbito de la Hoja, por lo que es importante mencionar que existen manifestaciones esporádicas de esta sustancia, para las cuales es necesario realizar estudios de detalle que determinen su potencial económico.

En la vecina Hoja Geológica 2766-IV Concepción, se encuentra la sierra de Guasayán, en la que se sitúan numerosos depósitos de yeso que fueron explotados hasta fines de la década de 1970 (Dirección Provincial de Minería 1968).

Los estratos portadores de yeso están asignados a la sección arcillosa de colores rojizos, amarillos y verdosos de la Formación Guasayán, de edad miocena. Con respecto a esta contribución, la formación de interés aflora en el sector suroeste de la Hoja, a unos 20 km al oeste de la ciudad capital de Santiago del Estero. Esta existencia otorga un potencial minero adicional a la Hoja, clasificando a la Formación Guasayán como un litotecto, es decir una unidad litoestratigráfica que contiene o podría albergar depósitos, en este caso yesíferos.

7.2. MANIFESTACIONES DE AGUAS TERMALES

Los registros de las manifestaciones de aguas termales localizadas en el ámbito de la Hoja están dados a partir de información obtenida de perforaciones que se llevaron a cabo durante la primera mitad del siglo pasado, con el objetivo de encontrar agua de subsuelo apta para el consumo humano. Estos recopilan datos descriptivos de la litología presente en las diferentes capas, la composición química del agua, caudales y temperaturas. En la figura 9 se muestra la ubicación de los sondeos que se localizan en el marco de la Hoja.

En el cuadro 4 se muestra información detallada de las características generales y químicas que presentan las manifestaciones termales ubicadas en el ámbito de la Hoja. Los datos aquí volcados son los diferentes intervalos, capas o niveles productores de agua que han sido atravesados por los sondeos y se encuentran expresados en metros bajo boca de pozo (m b. b. p.). Cada uno de estos niveles reportados cuenta con datos de temperatura expresados en °C, y caudal, expresados en litros por minuto (l/min). Con respecto a las características químicas, se presentan los contenidos en miligramos por litro (mg/L) de cationes (sodio, calcio, magnesio) y aniones (cloruro, sulfato, bicarbonato). Sumado a esto, se realiza una clasificación de las aguas subterráneas presentes en las capas mediante relaciones aniónicas y catiónicas. Los datos fueron obtenidos del catálogo de manifestaciones termales para la región noroeste de la República Argentina (Pesce y Miranda 2003).

Los recursos geotermales identificados por las perforaciones son en su mayoría hipotermales, y algunos provenientes de niveles acuíferos más profundos son mesotermales. Los pozos situados en el extremo suroeste de la Hoja reflejan un mayor gradiente geotérmico, especialmente la perforación denominada San José N° 1, que a unos 556 m b. b. p. produjo un moderado caudal de salmuera a 58°C.

Orden	Nombre manifestación	Capas (mbbp)	Na ⁺ (mg/L)	Ca ⁺⁺ (mg/L)	Mg ⁺⁺ (mg/L)	Cl ⁻ (mg/L)	SO ₄ ⁻ (mg/L)	HCO ₃ ⁻ (mg/L)	SiO ₂ (mg/L)	Clasificación	Temperatura (°C)	Caudal (l/min)	Fecha de análisis	
1	Perforación N°2 Pozo Hondo	78,8-81,2	137	61	2,4	212	379	103	22	Sulfatada-Clorurada; Sódica	28	n/d	1930	
		82,2-82,3	161	52	2,4	248	388	91	20	Sulfatada-Clorurada; Sódica	27	n/d	1930	
		87,2-89,2	160	68	3,6	248	426	109	30	Sulfatada-Clorurada; Sódica	29	n/d	1930	
		101,7-113,4	103	563	10	159	2116	48	34	Sulfatada; Cálctica	29	139	1930	
		126,7-127,4	124	547	7,2	191	2253	27	58	Sulfatada; Cálctica	30	136	1930	
		147,5-148,2	112	238	vest.	173	1164	79	20	Sulfatada; Cálctica	31	90	1930	
		153,2-154,4	112	88	1,8	173	536	177	vest.	Sulfatada-Clorurada; Cálctica-Sódica	35	94	1930	
		162,5-169,4	97	125	16	151	718	122	24	Sulfatada; Cálctica-Sódica	31	150	1930	
		58,2-60,2	2438	651	101	3763	5053	88	10	Clorurada-Sulfatada; Sódica	31	60	1929	
		161-166	537	228	4,3	830	1305	111	22	Sulfatada-Clorurada; Sódica	34	16	1929	
3	Perforación N°1 La Fortuna	81,7-83,7	7584	560	807	11706	14148	488	n/d	Clorurada-Sulfatada; Sódica	32	43	1943	
		102,4-105,6	8936	600	895	13835	16335	542	n/d	Clorurada-Sulfatada; Sódica	33	43	1943	
		174,9-177,6	13100	580	644	20200	20120	610	n/d	Clorurada-Sulfatada; Sódica	35	55	1943	
4	Perforación N°1 Taco Yuraj	120-121,6	12180	631	1171	18801	20244	585	n/d	Clorurada-Sulfatada; Sódica	35	52	1941	
		317,5-319,3	12870	800	1106	19865	11028	292	n/d	Clorurada; Sódica	43	22	1942	
5	Perforación N°2 Santo Domingo	354,7-355,9	11952	744	696	18447	10533	264	n/d	Clorurada; Sódica	45	20	1942	
		147,3-150,5	1319	147	10	2037	1206	134	16	Clorurada; Sódica	32	225	1928	
6	Perforación N°1 Huaymampa	175-177,2	2587	177	35	3992	818	61	32	Clorurada; Sódica	30	50	1935	
		198,4-201,4	2645	185	36	4084	668	48	32	Clorurada; Sódica	32	200	1935	
		204,8-215,1	2528	160	35	3902	778	61	24	Clorurada; Sódica	32	1500	1935	
		220,2-224	3542	255	67	5467	1041	54	8	Clorurada; Sódica	32	170	1935	
		227,3-232,4	5106	472	109	7881	1425	103	vest.	Clorurada; Sódica	33	36	1935	
		254,5-258,1	6394	552	177	9869	1948	79	vest.	Clorurada; Sódica	33	34	1935	
		273,5-274,2	6440	608	177	9940	2738	54	vest.	Clorurada; Sódica	33	54	1935	
		280,8-281,5	6993	768	209	10794	4345	30	12	Clorurada; Sódica	33	64	1935	
		3,3-5,1	67	7,1	vest.	104	45	640	34	34	Bicarbonatada; Sódica	35	4	1931
		18-19,5	209	5,7	10	324	1168	1853	34	18	Bicarbonatada-Sulfatada; Sódica	32	50	1931
7	Antaje	34,1-39,8	179	72	277	224	524	18	35	Bicarbonatada-Clorurada; Sódica	35	13	1931	
		65,5-69,8	97	60	21	151	270	187	42	Sulfatada-Clorurada; Sódica-Cálctica	35	125	1931	
8	Perforación N°1 Clodomira	72,5-75,8	159	53	7,8	245	346	183	n/d	Sulfatada-Clorurada; Sódica	28	80	1931	
		104,9-105,2	4328	696	157	6681	4378	85	112	Clorurada; Sódica	35	60	1929	
9	Perforación N°1 Jumialito	128,4-130,6	1518	746	63	2343	3168	72	68	Clorurada-Sulfatada; Sódica	34	66	1929	
		183,1-186	1072	321	25	1655	1572	84	52	Clorurada-Sulfatada; Sódica	29,5	240	1929	
10	Perforación N°1 Santa Elena	129-133,6	666	145	15	1028	614	103	n/d	Clorurada; Sódica	29	266	1943	
11	Perforación N°1 Mercedes	97,4-100,7	9200	599	717	14200	1902	73	46	Clorurada; Sódica	33	86	1930	
		228,2-228,6	29440	729	1819	45440	6823	103	6	Clorurada; Sódica	33	6,3	1930	
12	Perforación N°1 San José	163,5-164,3	1150	436	89	1775	2115	67	20	Clorurada-Sulfatada; Sódica	33	31	1937	
		179,1-185,5	1506	536	117	2325	1836	67	12	Clorurada; Sódica	33	30	1937	
		360,7- ?	26450	1701	1252	40825	4179	79	16	Clorurada; Sódica	40	16	1937	
		471,6-472,5	56351	1626	2599	86978	6226	61	120	Clorurada; Sódica	52	13	1938	
13	Perforación N°1 Brea Pozo	555,6-561,2	43010	1913	1011	66385	4513	116	vest.	Clorurada; Sódica	58	16	1938	
		577-577,6	44388	2281	895	68511	3950	176	80	Clorurada; Sódica	58	10	1938	
14	Perforación N°2 Fernández	32-38	393	88	24	607	826	310	64	Sulfatada-Clorurada; Sódica	33	126	1931	
		84,3-88,9	89	48	12	138	351	231	80	Sódica-Cálctica	27	116	1931	
15	Perforación N°1 Concepción	68-70	69	21	12	106	223	488	54	Bicarbonatada-Sulfatada; Sódica	37	40,5	1926	
		111,2-130	153	77	18	237	420	195	42	Sulfatada-Clorurada; Sódica-Cálctica	37	133	1927	
15	Perforación N°1 Concepción	71,3-73,5	3795	671	174	5859	5223	140	24	Clorurada-Sulfatada; Sódica	34	n/d	1939	
		197,2-201,4	2093	600	43	3231	5480	97	60	Sulfatada-Clorurada; Sódica	33	n/d	1940	
		269,4-278,1	2991	631	82	4616	5564	73	6	Clorurada-Sulfatada; Sódica	37	n/d	1940	
		383,3-383,6	24850	1432	1463	38356	7406	91	n/d	Clorurada; Sódica	46	n/d	1940	

Cuadro 4. Composiciones químicas de las manifestaciones termales.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- Aceñolaza, F.G., Aceñolaza, G., García, G. 1999a. El Silúrico-Devónico del Noroeste Argentino. En Caminos R. (Ed.). Geología Argentina. Instituto de Geología y Recursos Minerales, Servicio Geológico Minero Argentino, Anales 29(9): 205-214. Buenos Aires.
- Aceñolaza, F.G., Buatois, L.A., Mángano, M.G., Esteban, S.B., Tortello, M.F., Aceñolaza, F.G. 1999b. Cámbrico y Ordovícico del noroeste argentino. En Caminos R. (Ed.). Geología Argentina. Instituto de Geología y Recursos Minerales, Servicio Geológico Minero Argentino, Anales 29(7): 169-187. Buenos Aires.
- Alberdi, M.T., Cerdeño, E., Prado, J.L. 2008. *Stegomasodon platensis* (Proboscidea, Gomphotheriidae) en el Pleistoceno de Santiago del Estero, Argentina. *Ameghiniana* 45(2): 257-271.
- Albino, A., Gaudio, P.J. 2018. Extant squamates in the Pleistocene of northwestern Argentina. *Revista Brasileira de Paleontologia* 21(1): 63-70. doi:10.4072/rbp.2018.1.04
- Angelelli, V., Schalamuk, I., Fernández, R. 1980. Los yacimientos de minerales no metalíferos y rocas de aplicación de la región Centro-Cuyo. Secretaría de Estado de Minería, Anales 19, 261 pp. Buenos Aires.
- Angueira, M.C. 2015. Relevamiento de suelos utilizando las nuevas técnicas de geomática: un caso de Santiago del Estero, Argentina. Tesis Doctoral. Universidad de Córdoba, 335 pp. España.
- Antonelli, J., Ottone, E.G. 2006. Palinología de coronas del Devónico y Carbonífero Superior del Pozo YPF. SE.EC.X-1, El Caburé, provincia de Santiago del Estero, Argentina. *Revista del Museo Argentino de Ciencias Naturales, nueva serie* 8(2): 111-117.
- Armella, M.A., Domínguez, L., Georgieff, S.M., Esteban, G.I., Sabater, S. 2020. Sedimentological analysis and radioisotopic age of the Las Cañas Formation in Dulce river outcrops, Río Hondo, Santiago del Estero (Northwestern Argentina). *Journal of South American Earth Sciences* 104, 102868. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2020.102868>.
- Basualdo, M.A. 1982. Rasgos fundamentales de los departamentos de Santiago del Estero: un documento para su historia. Municipalidad de Santiago del Estero, Tomo I, 263 pp.
- Battaglia, A.C. 1982. Descripción geológica de las Hojas 13f, Río Hondo. 13g, Santiago del Estero. 14g, El Alto. 14h, Villa San Martín. 15g, Frías. Provincias de Santiago del Estero, Catamarca y Tucumán. *Boletín del Servicio Geológico Nacional* 186: 1-80. Buenos Aires.
- Beder, R. 1928. La Sierra de Guasayán y sus Alrededores. Una Contribución a la Geología e Hidrología de la Provincia de Santiago del Estero. Ministerio de Agricultura, Dirección General de Minas, Geología e Hidrología, Publicación N° 39, 173 pp. Buenos Aires.
- Benedetto, J.L., Halpern, K., de la Pluente, G.S., Monaldi, C.R. 2015. An in situ shelly fauna from the lower Paleozoic Zapla diamictite of northwestern Argentina: Implications for the age of glacial events across Gondwana. *Journal of South American Earth Sciences* 64, parte 1: 166-182.
- Bhattacharya, P., Claesson, M., Bundschuh, J., Sracek, O., Fagerberg, J., Jacks, G., Martín, A.R., Storniolo, A., Thir, J.M. 2006. Distribution and mobility of arsenic in the Río Dulce alluvial aquifers in Santiago del Estero Province, Argentina. *Science of the Total Environment* 358: 97-120.
- Bundschuh, J., Farias, B., Martín, R., Storniolo, A., Bhattacharya, P., Cortes, J., Bonorino, G., Albouy, R. 2004. Groundwater arsenic in the Chaco-Pampean Plain, Argentina: case study from Robles County, Santiago del Estero Province. *Applied Geochemistry* 19(2): 231-243.
- Casa, A.L. (Comp.) 2020a. AR-0137. Falla Guasayán. En Servicio Geológico Minero Argentino (SEGEMAR) s. f. Deformaciones Cuaternarias 250K (Visor de mapas), v.01/12/2021. Escala 1:250.000. Sistema de Información Geológica Ambiental Minera (SIGAM). Fecha de consulta: 17 de enero de 2025. <https://sigam.segemar.gov.ar/visor/index.html?mapa=27>
- Casa, A.L. (Comp.) 2020b. AR-0136. Falla El Rosario. En Servicio Geológico Minero Argentino (SEGEMAR) s. f. Deformaciones Cuaternarias 250K (Visor de mapas), v.01/12/2021. Escala 1:250.000. Sistema de Información Geológica Ambiental Minera (SIGAM). Fecha de consulta: 17 de enero de 2025. <https://sigam.segemar.gov.ar/visor/index.html?mapa=27>
- Casa, A.L. (Comp.) 2020c. AR-0504. Zona de falla Jumialito Chico. En Servicio Geológico Minero Argentino (SEGEMAR) s. f. Deformaciones Cuaternarias 250K (Visor de mapas), v.01/12/2020. Escala 1:250.000. Sistema de Información Geológica Ambiental Minera (SIGAM). Fecha de consulta: 17 de enero de 2025. <https://sigam.segemar.gov.ar/visor/index.html?mapa=27>
- Césari, S.N., Archangelsky, S., Villar De Seoane, L. 1995. Palinología del Paleozoico Superior de la perforación Las Mochas, provincia de Santa Fe, Argentina. *Ameghiniana* 32(1):73-106.
- Chebli, G.A., Mozetic, M.E., Rosello, E.A., Bühler, M. 1999. Cuencas sedimentarias de la Llanura Chacopampeana. En Caminos R. (Ed.). Geología Argentina. Instituto de Geología y Recursos Mine-

- rales, Servicio Geológico Minero Argentino, *Anales* 29(20): 627-644. Buenos Aires.
- Chimento, N., Agnolin, F. 2011. Mamíferos del pleistoceno superior de Santiago del Estero (Argentina) y sus afinidades paleobiogeográficas. *Papéis Avulsos de Zoología* 51(6). <https://doi.org/10.1590/S0031-10492011000600001>
- Consejo Federal de Inversiones (CFI) 1987. Reservorios atenuadores de grandes crecidas. Informe técnico, 142 pp.
- Consejo Federal de Inversiones (CFI) 1993. Estudio de los yacimientos evaporíticos de la provincia de Santiago del Estero. Convenio entre la provincia de Santiago del Estero y el Consejo Federal de Inversiones. Informe final, 50 pp.
- Cortassa, V., Rossello, E.A., Back, S., Ondrak, R., Strecker, M. 2019. Regional transect across the Quirquincho High (NW Argentina). 25th Latin-American Colloquium of Geoscience (Hamburgo).
- Corti, H., Campos, J. 1930. Contribución al estudio de las aguas de la República Argentina. Dirección General de Minas, Geología e Hidrogeología, Publicación N° 84. Buenos Aires.
- Cristallini, E.O., Comínguez, A.H., Ramos, V.A., Mercerat, E.D. 2004. Basement double-wedge thrusting in the northern Sierras Pampeanas of Argentina (27°S): Constraints from deep seismic reflection. En McClay, K.R. (Ed.). *Thrust tectonics and hydrocarbon systems*. American Association of Petroleum Geologists, *Memoir* 82: 65-90.
- Dahlquist, J.A., Verdecchia, S.O., Baldo, E.G., Basei, M.A., Alasino, P.H., Urán, G.A., Rapela, C.W., da Costa Campos Neto, M., Zandomeni, P.S. 2016. Early Cambrian U-Pb zircon age and Hf-isotope data from the Guasayán pluton, Sierras Pampeanas, Argentina: implications for the northwestern boundary of the Pampean arc. *Andean Geology* 43(1): 137-150. doi: 10.5027/andgeoV43n1-a08
- Dal Molin, C., Fernández, D., Escosteguy, L., Villegas, D., González, O., Martínez, L. 2003. Hoja Geológica 2766-IV, Concepción, provincias de Tucumán, Catamarca y Santiago del Estero. Escala 1:250.000. Instituto de Geología y Recursos Minerales, Servicio Geológico Minero Argentino, *Boletín* N° 342, 41 pp. Buenos Aires.
- De la Puente, S., Rubinstein, C. 2007. The Ordovician chitinozoan from the Western Gondwana Margin, Northwestern Argentina. En: Díaz-Martínez, E., Rábano, I. (Eds.), 4° European Meeting on the Palaeontology and Stratigraphy of Latin America. *Cuadernos del Museo Geominero* 8: 99-105.
- Díaz-Martínez, E., Grahn, Y. 2007. Early Silurian glaciation along the western margin of Gondwana (Peru, Bolivia and northern Argentina): palaeogeographic and geodynamic setting. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 245(1): 62-81.
- Dirección de Minas y Geología 1948. Diez Años de Perforaciones 1926-1935. Tomo I. Descripción de las obras realizadas, actividades de las máquinas perforadoras, capas de agua descubiertas y sus características. Secretaría de Industria y Comercio de la Nación. Publicación N° 139, S.I.C. 38, 117 pp. Buenos Aires.
- Dirección General de Industria Minera 1949. Diez años de perforaciones: 1926-1935. Tomo II. Perfiles y datos técnicos (gráficos). Ministerio de Industria y Comercio de la Nación. Publicación N° 139, S.I.C. 38, 174 pp. Buenos Aires.
- Dirección Nacional de Geología y Minería 1970. Perfiles de perforaciones. Período 1936-1945. Ministerio de Economía y Trabajo de la Nación. Secretaría de Estado de Minería. Publicación N° 153. Buenos Aires.
- Dirección Provincial de Minería 1968. Los yacimientos de yeso de la sierra de Guasayán (departamentos Guasayán, Choy y Capital de la provincia de Santiago del Estero). Plan Minería de la sierra de Guasayán (convenio entre la provincia de Santiago del Estero y el Consejo Federal de Inversiones). Seis tomos (inédito). Santiago del Estero.
- Escayola, M.P., Pimentel, M.M., Armstrong, R. 2007. Neoproterozoic backarc basin: Sensitive high-resolution ion microprobe UPb and Sm-Nd isotopic evidence from the Eastern Pampean Ranges, Argentina. *Geology* 35(6). DOI: 10.1130/G23549A.1
- Favetto, A., Pomposiello, M.C., Booker, J., Rossello, E.A. 2007. Magnetotelluric inversion constrained by seismic data in the Tucumán Basin (Andean Foothills, 27°S, NW Argentina). *Journal of Geophysical Research Solid Earth* 112, B09104. doi:10.1029/2006JB004455
- Fernández, D.S., Lutz, M.A. 2006. Carta de Peligrosidad Geológica N° 2766-IV "Concepción", provincias de Tucumán, Santiago del Estero y Catamarca. Instituto de Geología y Recursos Minerales, Servicio Geológico Minero Argentino, *Boletín* N° 365, 148 pp. Buenos Aires.
- Fernández Garrasino, C. 1989. La Cuenca Chacoparanaense Argentina. Sus tendencias evolutivas y algunas posibilidades exploratorias. *Boletín de Informaciones Petroleras* 18 (tercera época): 2-17.
- Fernández Garrasino C., Vrba, A. 2000. La Formación Paraná: aspectos estratigráficos y estructurales de la región chacoparanaense. En Aceñolaza E.G. y Herbst R. (Eds.). *El Neógeno de Argentina*. Serie *Correlación Geológica* 14: 139-145.

- Fernández Seveso, F., Vistalli, M.C., Viñes, R.F. 2000. Correlación de reservorios en la cuenca silúrica-devónica del Chaco: Una revisión integrada previa a la adquisición de bloques exploratorios en Bolivia. *Boletín de Informaciones Petroleras*: 152-166. Buenos Aires.
- Fernández Garrasino, C., Laffitte, G., Villar, H. 2005. Cuenca Chacoparanense. 6° Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos, Simposio Frontera Exploratoria de la Argentina (Buenos Aires): 97-114.
- Grahn, Y. 2003. Silurian and Devonian chitinozoan assemblages from the chaco-paraná basin, northeastern argentina and central uruguay. *Revista Española de Micropaleontología* 35(1): 1-8.
- Gutiérrez, A.A., Mon, R., Sábat, F., Iaffa, D.N. 2017. Origin and evolution of the Salinas Grandes and Salina de Ambargasta, Argentina. *Institute of Physics, Conference Series: Earth and Environmental Science* 95: 022036. doi:10.1088/1755-1315/95/2/022036
- Gutiérrez, P.R., Balarino, M.L. 2018. The palynology of the Ordóñez Formation (Pennsylvanian) in the Chacoparaná Basin, northern Argentina. *Acta Palaeobotanica* 58(1): 3-26. DOI: 10.2478/acpa-2018-0002
- Gutiérrez, P.R., Balarino, M.L. 2019. A new palynological assemblage (Carboniferous) from the Chacoparaná Basin, Western Gondwana, and revision of the biostratigraphic scheme. *Journal of South American Earth Sciences* 96: 102328.
- Gutiérrez, P.R., Césari, S.N., Archangelsky, S. 2002. Revisión palinológica del pozo Árbol Blanco (YPF. SE.ABx-1) (Paleozoico Superior), Santiago del Estero, Cuenca Chacoparanense, Argentina. 8° Congreso Argentino de Paleontología y Biostratigrafía (Corrientes). Resúmenes, p. 72.
- Gutiérrez, P.R., Di Pasquo M., Vergel M.M. 2003. Palinoestratigrafía del Carbonífero-Pérmico de la Argentina: estado actual del conocimiento. *Revista del Museo Argentino de Ciencias Naturales, Nueva serie* 5(2): 185-195.
- Gutiérrez, P.R., Ottone, E.G., Japas, S.M. (Eds). 2006. *Léxico Estratigráfico de la Argentina. Volumen VII. Pérmico. Asociación Geológica Argentina, Serie B (Didáctica y Complementaria)* 28: 368 pp. Buenos Aires.
- Hongn, F.D., Seggiaro, R.E. 1998. Estructuras del basamento y su relación con el *rift* Cretácico, Valles Calchaquíes, provincia de Salta. 10° Congreso Latinoamericano de Geología (Buenos Aires), Actas 2: 4-9.
- Iaffa, D.N., Sábat, F., Bello, D., Ferrer, O., Mon, R., Gutiérrez, A.A. 2011. Tectonic inversion in a segmented foreland basin from extensional to piggy back settings: the Tucumán basin in NW Argentina. *Journal of South American Earth Sciences* 31: 457-474.
- Iaffa, D.N., Sábat i Montserrat, F., Muñoz, J.A., Carrera García de Cortázar, N. 2013. Basin fragmentation controlled by tectonic inversion and basement uplift in Sierras Pampeanas and Santa Bárbara System, Northwest Argentina. *Geological Society of London, Special Publications* 377: 101-117. <https://doi.org/10.1144/SP377.13>
- Instituto Nacional de Geología y Minería 1965. *Perfiles de Perforaciones. Período 1916-1925*. Ministerio de Economía de la Nación. Secretaría de Estado de Industria y Minería, Subsecretaría de Minería. Publicación N°152. Buenos Aires.
- Iriondo, M.H. 1997. Models of deposition of loess and loessoids in the upper quaternary of South America. *Journal of South American Earth Sciences* 10(1): 71-79.
- Iriondo, M.H. 2010. *Geología del Cuaternario en Argentina. Publicación del Museo Provincial de Ciencias Naturales "Florentino Ameghino", 359 pp. ISBN: 978-987-24637-1-7*
- Jordan, T.E., Allmendinger, R.W. 1986. The Sierras Pampeanas of Argentina; a modern analogue of Rocky Mountain foreland deformation. *American Journal of Science* 286(10): 737-764.
- Larovere, M.A., Casquet, C., Aciar, R.H., Baldo, E.G., Alasino, P.H., Rapela, C.W. 2021. Extending the Pampean orogen in western Argentina: New evidence of Cambrian magmatism and metamorphism within the Ordovician Famatinian belt revealed by new SHRIMP U-Pb ages. *Journal of South American Earth Sciences* 109:103222.
- Limarino, C.O., Spalletti, L.A. 2006. Paleogeography of the upper Paleozoic basins of southern South America: An overview. *Journal of South American Earth Sciences* 22(3-4): 134-155.
- Lovecchio, J.P., Rohais, S., Joseph, P., Bolatti, N., Ramos, V.A. 2020. Mesozoic *rifting* evolution of SW Gondwana: A poly-phased, subduction-related, extensional history responsible for basin formation along the Argentinean Atlantic margin. *Earth-Science Reviews* 203: 103138.
- Lovecchio, J.P., Rohais, S., Ramos, V.A., Bolatti, N. 2022. *Rifting* mesozoico en el sudoeste de Gondwana: influencia del *rifting* precedente en la apertura del océano Atlántico sur austral. Simposio sobre la Exploración Offshore en el Sector Sur del Margen Atlántico Sudamericano. 11° Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos (Mendoza), Actas: 15-44.

- Lovecchio, J.P., Abdelmalak, M.M., Planke, S., Silio, O., Rohais, S., Arismendi, S., Rojas Vera, E., Kulhanek, D.K., Bolatti, N., Ramos, V.A. 2024. Mesozoic *Rifting* in SW Gondwana and Breakup of the Southern South Atlantic Ocean. En Kilhams, B., Holford, S., Gardiner, D., Gozzard, S., Layfield, L., McLean, C., Thackrey, S., Watson, D. (Eds.). *The Impacts of Igneous Systems on Sedimentary Basins and their Energy Resources*. Geological Society Special Publication 547: 75-107.
- Marengo, H.G. 2006. Micropaleontología y estratigrafía del Mioceno marino de la Argentina: las transgresiones de Laguna Paiva y del «Entrerriense-Paranense». Tesis Doctoral. Universidad de Buenos Aires, 123 pp.
- Marquillas, R.A., Salfity, J.A., Matthews, S.J., Matteini, M., Dantas, E., 2011. U-Pb zircon age of the Yacoraité Formation and its significance to the Cretaceous-Tertiary boundary in the Salta Basin, Argentina. En Salfity, J.A., Marquillas, R.A. (Eds.). *Cenozoic geology of the Central Andes of Argentina*: 227-246.
- Martín, A. 1999. Hidrogeología de la provincia de Santiago del Estero. Ediciones del Rectorado de la Universidad Nacional de Tucumán. 265 pp.
- Martín, A., Palazzo, R. 2007. Procesos tectónicos y su relación con los acuíferos del centro-oeste de la provincia de Santiago del Estero (Parte I). 5° Congreso Argentino de Hidrogeología (Paraná), Actas: 15-28.
- Martín, R.A., Abitbol, A., Cortes, J. 2000. Hoja Geológica 2763-III Santiago del Estero, provincia de Santiago del Estero. Escala 1:250.000. Informe preliminar. Instituto de Geología y Recursos Minerales, Servicio Geológico Minero Argentino. Buenos Aires.
- Miró, R.C., Martos, D.E., Coronel, M., Forte, M. 1999. Mapa Geológico-Minero de la provincia de Santiago del Estero, escala 1:500.000. Instituto de Geología y Recursos Minerales, Servicio Geológico Minero Argentino. Buenos Aires. <http://repositorio.segemar.gov.ar/308849217/1528>
- Nieniewski, A., Wleklinski, E. 1950. Contribución al conocimiento del anticlinal de Zapla (Provincia de Jujuy). *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 5(4): 169-203.
- Noetinger, S., Di Pasquo, M. 2013. New palynological information from the subsurface Copo, Caburé and Rincón formations (upper Lochkovian-Emsian), Salta Province, Argentina. *Memoirs of the Association of Australasian Palaeontologists* 44: 107-121. ISSN 0810-8889.
- Omil, M. 1992. Geología y geomorfología del basamento de la sierra de Guasayán, provincia de Santiago del Estero. Tesis doctoral. Universidad Nacional de Tucumán, 195 pp.
- Padula E., Mingramm, A. 1968. Estratigrafía, distribución y cuadro geotectónico-sedimentario del "Triásico" en el subsuelo de la llanura Chaco-Paranense. III Jornadas Geológicas Argentinas (Buenos Aires), Actas 1: 291-331.
- Padula, E., Mingramm, A. 1969. Subsurface Carboniferous beds of the Chaco-Mesopotamian region, Argentina and their relatives in Uruguay, Paraguay and Brazil. *Gondwana stratigraphy: IUGS symposium (Paris)*: 1025-1040.
- Padula, E., Rolleri, E.O., Mingramm, A., Criado Roque, P., Flores, M.A., Baldis, B. 1967. Devonian of Argentina. *International Symposium on the Devonian System. Proceedings* 2, p. 174.
- Pardo-Casas, F., Molnar, P. 1987. Relative motion of the Nazca (Farallon) and South American Plates since Late Cretaceous time. *Tectonics* 6(3): 233-248.
- Perea, D., Ubilla, M., Rojas, A. 2003. First report of theropods from the Tacuarembó Formation (Late Jurassic-Early Cretaceous), Uruguay. *Alcheringa: An Australasian Journal of Palaeontology* 27(2): 79-83.
- Peri, V.G., Pomposiello, M.C., Favetto, A., Barcelona, H., Rossello, E.A. 2013. Magnetotelluric evidence of the tectonic boundary between the Río de La Plata Craton and the Pampean terrane (Chaco-Pampean Plain, Argentina): The extension of the Transbrasiliano Lineament. *Tectonophysics* 608: 685-699.
- Pesce, A.H., Miranda, F. 2003. Catálogo de Manifestaciones Termales de la República Argentina. Volumen I, Región Noroeste. Provincias de Jujuy, Salta, Catamarca, Tucumán, Santiago del Estero, La Rioja y San Juan. Instituto de Geología y Recursos Minerales, Servicio Geológico Minero Argentino, Anales 36, 171 pp. Buenos Aires.
- Pezzi, E.E., Mozetic, M.E. 1989. Cuencas sedimentarias de la Región Chacoparanense. En Chebli, G.A. y Spalletti, L.A. (Eds.). *Cuencas sedimentarias argentinas*. Instituto Superior de Correlación Geológica, Universidad Nacional de Tucumán, Serie Correlación Geológica 6: 65-78.
- Ramé, G., Miró, R. 2011. Modelo geofísico de contacto entre el Orógeno Pampeano y el Cratón del Río de La Plata en las provincias de Córdoba y Santiago del Estero. *Serie Correlación Geológica* 27(2): 108-120.
- Ramos, V.A. 1999. Las provincias geológicas del territorio argentino. En: Caminos R. (Ed.). *Geología Argentina*. Instituto de Geología y Recursos Minerales, Servicio Geológico Minero Argentino, Anales 29(3): 41-96. Buenos Aires.
- Ramos, V.A., Cristallini, E.O., Pérez, D.J. 2002. The Pampean *flat-slab* of the Central Andes. *Journal of South American Earth Sciences* 15: 59-78.

- Reinante, S.M., Fasola, M., Salinas, A., Olivieri, G., Callegari, R., Manoni, R. 2014. Sistemas petroleros en la cuenca Chacoparaná, Argentina. 9° Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos (Mendoza), Actas: 16 pp.
- Roldan, A.A. 2001. Proyecto Ejecutivo de Obras del Sub-sistema de Riego "Figueroa", en el Río Salado. Contrato de Obra, Expte. N° 4017, Santiago del Estero.
- Rubinstein, C.V. 1995. Acritarchs from the upper Silurian of Argentina: their relationship with Gondwana. *Journal of South American Earth Sciences* 8(1): 103-115.
- Rubinstein, C.V., De la Puente, G.S. 2008. Bioestratigrafía del Paleozoico Inferior en las Sierras Subandinas, provincia de Jujuy. En Coira, B., Zappettini, E. (Eds.). *Geología y Recursos Naturales de Jujuy*, Relatorio del 17° Congreso Geológico Argentino (Jujuy): 128-133.
- Rubinstein, C.V., De la Puente, G.S., Servais, T., Vecoli, M y Astini, R.A. 2007. Advances in the Ordovician palynology of Argentina: Biostratigraphy and paleobiogeography. En Díaz-Martínez, E., Rábano, I. (Eds.). 4th European Meeting on the Palaeontology and Stratigraphy of Latin America. Cuadernos del Museo Geominero 8: 349-354.
- Russo, A., Ferello, R., Chebli, G.A. 1979. Llanura Chaco Pampeana. Segundo Simposio de Geología Regional Argentina. Academia Nacional de Ciencias de Córdoba 1: 139-183.
- Russo, A., Archangelsky, S., Andreis, R., Cuerda, A. 1987. Cuenca Chacoparanense. En Archangelsky, S. (Ed.). *El Sistema Carbonífero en la República Argentina*. Academia Nacional de Ciencias: 197-212.
- Sayago, J.M. 1985. Aspectos Metodológicos del Inventario de la Erosión Hídrica Mediante Técnicas de Percepción Remota en la Región Subtropical del Noroeste Argentino. Tesis de maestría. I.T.C. The Netherlands.
- Sayago, J.M. 1995. The Argentine neotropical loess: an overview. *Quaternary Science Reviews* 14: 755-766.
- Sayago, J.M., Collantes, M.M., Toledo, M.A. 1998. Geomorfología. En Gianfrancisco, M., Puchulu, M., Durango de Cabrera, J., Aceñolaza, G. (Eds.). *Geología de Tucumán*. Publicación Especial del Colegio de Graduados en Ciencias Geológicas de Tucumán: 241-258.
- Servicio Geológico Minero Argentino (SEGEMAR) 1975. Perfiles de Perforaciones de la Provincia de Santiago del Estero. Instituto de Geología y Recursos Minerales, Servicio Geológico Minero Argentino. <https://repositorio.segemar.gov.ar/handle/308849217/3417>
- Servicio Geológico Minero Argentino (SEGEMAR) 2015. Informe del trabajo de campo preliminar: Área asociada a la presa Río Hondo, provincia de Santiago del Estero. Informe inédito, 8 pp. Buenos Aires.
- Schalamuk, I.B., Hernández, M.A., Ceci, J.H., del Blanco, M. y Correa, M.J. 2005. Génesis e hidrodinámica de una salmuera subterránea rica en sulfato de sodio, Huyamampa, Santiago del Estero. 16° Congreso Geológico Argentino (La Plata), Actas 3: 745-752.
- Servicios Industriales S.R.L. 2023. Evaluación de impacto ambiental. Renovación del certificado de aptitud ambiental. Cantera de arcillas rojas plásticas "Santo Domingo", Santiago del Estero, Argentina.
- Thalmeier, M.B., Kröhling, D.M., Brunetto, E. 2020. El mega-abanico del río Salado-Juramento: un sistema fluvial distributivo del Chaco Austral (Argentina). 17° Reunión Argentina de Sedimentología y 8° Congreso Latinoamericano de Sedimentología (Paraná, Entre Ríos). Libro de resúmenes, p. 28.
- Thalmeier, M.B., Kröhling, D.M., Brunetto, E. 2021. The geomorphology and Late Quaternary sedimentary record of the Salado/Juramento fluvial megafan, Central Andes foreland basin (Chaco Plain, Argentina). *Geomorphology* 373: 107495.
- Uran, G., Verdecchia, S., Baldo, E. 2014. Las unidades de bajo grado del basamento metamórfico del sector norte de la sierra de Guasayán, provincia de Santiago del Estero. 19° Congreso Geológico Argentino (Córdoba): S21-60.
- Vergel, M.M. 1987. Consideraciones sobre el contenido microflorístico de la perforación YPF SE AB (Paleozoico Superior), Árbol Blanco, provincia de Santiago del Estero, Argentina. VII Simposio Argentino de Paleobotánica y Palinología, Actas: 75-78.
- Vergel, M.M. 1993. Palinoestratigrafía de la secuencia neopaleozoica en la Cuenca Chacoparanense, Argentina. 12° Congrès International de la Stratigraphie et Géologie du Carbonifère et Permien (Buenos Aires), *Comptes Rendus* 1: 201-212.
- Vergel, M.M. 1998. Palinología del Paleozoico Superior (Formación Sachayoj) en tres perforaciones de la subcuenca de Alhuampa, cuenca Chacoparanense (Argentina). Parte 1: Esporas. *Ameghiniana* 35(4): 387-403.
- Vezzosi, R.I., Jones, W., Gaudioso, P.J., Barquez, R.M. 2021. A patagonian swan (Anatidae: Anserinae) from the Upper Pleistocene of austral Chaco (Argentina). *Revista Brasileira de Paleontologia* 24(4): 369-379. doi:10.4072/rbp.2021.4.07
- Yamazaki, D., Ikeshima, D., Tawatari, R., Yamaguchi, T., O'Loughlin, F., Neal, J.C., Sampson, C.C., Kanae,

- S., Bates, P.D. 2017. A high accuracy map of global terrain elevations. *Geophysical Research Letters* 44: 5844-5853.
- Zandomeni, P.S., Verdecchia, S.O., Baldo, E.G., Dahlquist, J.A., Uran, G.M., Alasino, P.H. 2017. El magmatismo Cámbrico de la sierra de Guasayán (provincia de Santiago del Estero) y su vinculación a la orogenia pampeana. En Muruaga, C.M., Grosse, P. (Eds.), *Ciencias de la Tierra y Recursos Naturales del NOA. 20° Congreso Geológico Argentino (San Miguel de Tucumán)*, Relatorio: 308-322.
- Zanor, G.A., Piovano, E.L., Ariztegui, D., Pasquini, A.i., Chiesa, J.O. 2013. El registro sedimentario Pleistoceno tardío-Holoceno de la Salina de Ambargasta (Argentina central): una aproximación paleolimnológica. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* 30(2): 336-354.
- Zapata, S., Sobel, E.R., del Papa, C., Muruaga, C., Zhou, R. 2019. Miocene fragmentation of the Central Andean foreland basins between 26 and 28°S. *Journal of South American Earth Sciences* 94: 102238.
- Zapata, S., Sobel, E.R., del Papa, C., Głodny, J. 2020. Upper Plate Controls on the Formation of Broken Foreland Basins in the Andean Retroarc Between 26°S and 28°S: From Cretaceous *Rifting* to Paleogene and Miocene Broken Foreland Basins. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems* 21(7): e2019GC008876. <https://doi.org/10.1029/2019GC008876>
- Zárate, M.A. 2003. Loess of southern South America. *Quaternary Science Reviews* 22(18-19): 1987-2006.

Entregado: agosto 2024

Validado: enero 2025

TRABAJO EN PREPARACIÓN