

1 **Identificación de Unidades Ambientales para la construcción de territorios**
2 **sustentables a partir de estudios geológicos**

3 María A. GRÍGOLO¹, Aixa I. RODRÍGUEZ^{1 2}, Antonella SOTTILE¹, María A.
4 PITTALUGA³, Marcelo GONZÁLEZ ¹, Patricia MARTINEZ¹, Federico LINCE KLINGER¹.

5 ¹ CONICET - Universidad Nacional de San Juan- Facultad de Ciencias Exactas, Físicas
6 y Naturales (UNSJ-FCEFYN)- Instituto Geofísico Sismológico Ing."F.S. Volponi "(IGSV).

7 ² CONICET- Instituto Regional de Planeamiento y Hábitat (IRPHa)

8 ³ UNSJ-FCEFYN- Instituto de Geología "Dr. Emiliano P. Aparicio" (INGEO) - Gabinete
9 de Geología Ambiental

10 Email de contacto: María Agustina Grígolo (ago.grigolo@gmail.com)

11 Email de otros autores: Aixa I. Rodríguez (aixarodriguez@conicet.gov.ar); Antonella

12 Sottile (antonella.sottile.1989@gmail.com) ; María A. Pittaluga (mapitta70@gmail.com);

13 Marcelo González (gmarcelo804@gmail.com); Patricia Martínez

14 (patricia.signos@gmail.com); Federico Lince Klinger (flinceklinger@gmail.com).

15

16 **RESUMEN**

17 En este trabajo se presenta un caso de estudio en el territorio de Angaco, ubicado al
18 norte del Valle de Tulum, provincia de San Juan. En este territorio existen grandes
19 extensiones de terrenos incultos, con potencial para el crecimiento urbano-rural. La falta
20 de planificación y conocimiento del medio físico ha generado la ocupación antrópica de
21 zonas afectadas por problemas de desertificación, anegamiento, contaminación,
22 incendios, salinización, licuefacción de suelos, fenómenos de remoción en masa y
23 sismicidad.

24 El objetivo del trabajo consiste en realizar un diagnóstico del medio físico a fin de definir
25 unidades ambientales (UA) que permitan gestionar el uso del territorio. Debido a las
26 condiciones estructurales de la región de estudio, además de los estudios de Geología
27 del Cuaternario, se incorpora el conocimiento del subsuelo como variable de control

28 para definir estas unidades. Para ello se realizaron mediciones geofísicas gravimétricas
29 y magnetométricas de los cuales se interpretaron fallas y estructuras que permitieron
30 definir cuatro unidades ambientales, con sus sobrecargas y valor ambiental.

31 El conocimiento detallado del medio físico dentro del Ordenamiento Territorial, a través
32 de la geología permitió establecer lineamientos de manejo del suelo y prever posibles
33 escenarios de planificación.

34 **Palabras claves:** Ordenamiento territorial, Geología del Cuaternario, Rural,
35 Sobrecargas, Geofísica.

36 **ABSTRACT**

37 **Environmental Units Identification for sustainable territories, based on geological**
38 **studies.**

39 This paper presents a case study of the Angaco territory, located to the north of the
40 Tulum Valley in the province of San Juan. Within this territory, there are exist vast
41 expanses of uncultivated land with the potential for urban-rural growth. Insufficient
42 planning and a lack of comprehension of the physical environment have resulted in
43 anthropogenic occupation of regions impacted by desertification, flooding, pollution,
44 fires, salinization, soil liquefaction, landslides, and seismic activity.

45 The objective of this study is to conduct a diagnosis evaluation of the physical
46 environment to define environmental units (EUs) that enable effective land management.

47 Due to the structural conditions of the study region, in addition to Quaternary Geology
48 studies, subsoil knowledge is incorporated as a control variable to define these units.

49 For this purpose, gravimetric and magnetometric geophysical measurements were
50 executed, providing data for the interpretation of faults and structures. This interpretation
51 enabled the identification of four environmental units, complete with their overlays and
52 environmental value.

53 The detailed understanding of the physical environment within the context of Land-use
54 Planning, facilitated by geological insights, has allowed for the formulation of soil
55 management directives and the foresight of potential planning scenarios.

56 **Keywords:** Land-use Planning, Quaternary Geology, Rural, Overloads, Geophysics.

57

58

59

60

61

62

63

64

65

66

67

68

69

70

71

72

73

74

ACEPTADO: RAGA

75 **INTRODUCCIÓN**

76 Desde el punto de vista geológico la provincia de San Juan (Fig. 1) se desarrolla en el
77 frente de deformación activo de los Andes Centrales, dentro del segmento de
78 subducción subhorizontal pampeano (Ramos et al. 2002) (Fig. 2a) con un régimen
79 compresional principal, conformando un área de elevada actividad sísmica, de las
80 mayores conocidas en el territorio argentino (Costa et al. 2006, 2020). Esta condición
81 tectónica ha intervenido en la distribución de los recursos como el agua y el suelo en el
82 Valle de Tulum (Suvires 2004, Rodríguez et al. 2016, 2018, 2021).

83 Existen sistemas de fallas que afectan el basamento impermeable plioceno de las
84 cuencas hidrogeológicas y a los sedimentos más jóvenes que rellenan la cuenca,
85 afectando total o parcialmente el movimiento del agua (Rocca 1969). Las más
86 importantes son el sistema de fallas de Tulum y la falla de Ullúm-Zonda (Rocca 1969,
87 Zambrano y Suvires 2008).

88 El departamento Angaco se ubica al norte del Valle del Tulum. Allí se observa, en los
89 últimos años, una tendencia de crecimiento poblacional y se advierte la presencia de
90 grandes extensiones de terrenos incultos en áreas de alta peligrosidad natural, que se
91 están destinando para los nuevos usos requeridos: crecimiento urbano-rural, industrial
92 y recreativo. El ordenamiento territorial (OT) frente al problema detectado se considera
93 relevante y necesario. Éste permite la ocupación ordenada y uso sostenible del
94 territorio.

95 El medio físico, dentro de la dimensión ambiental, es el soporte físico del sistema
96 territorial. El conocimiento de ese medio soporte garantiza la sostenibilidad ambiental,
97 ya que ofrece las bases para saber dónde habitar, evitando la contaminación, el
98 deterioro y desaparición de recursos, afectación de la vida en cualquiera de sus formas.

99 En la actualidad la falta de planificación y usos del suelo del territorio, ha generado la
100 aparición de algunas problemáticas como: suelos agotados y explotados por malas
101 prácticas, que llevan a una disminución en el cultivo anual, zonas afectadas por
102 crecientes o anegamientos, problemas de desertificación, salinización, contaminación

103 por residuos sólidos urbanos, incendios, bienes afectados por licuefacción,
104 deslizamientos de detritos y degradación del paisaje (PLAM SJ 2023)

105 En zonas con sismicidad activa como la presente, se ha demostrado que el estudio del
106 medio físico, debe incorporar estudios de subsuelo y aspectos geológicos relevantes
107 como presencia de fallas, depocentros tectónicos, altos, etc., ya que los mismos
108 controlan no sólo los peligros naturales, sino también a los recursos que necesita la
109 población para desarrollarse social, económica y culturalmente, como el recurso hídrico
110 subterráneo, superficial, los suelos, el paisaje, los recursos mineros, entre otros
111 (Rodríguez et al. 2021). La geomorfología y la estructura regional del área ejercen
112 control sobre la configuración de la cuenca de agua subterránea de donde se extrae
113 agua para consumo y actividades económicas. Ambos determinan el sentido de
114 circulación del agua subterránea dando lugar a un acuífero libre instalado en el abanico
115 aluvial y a un acuífero confinado en la antigua planicie aluvial (Rocca 1969). De este
116 modo, las unidades geomorfológicas e hidrogeológicas se expresan con diferencias
117 granulométricas, que aparte de influir en las características de los acuíferos que
118 contienen, lo hacen también en las texturas y en el régimen de humedad de algunos
119 perfiles de suelos del Valle de Tulum (Suvires 2004).

120 Teniendo en cuenta esto, en la presente investigación se estudió la dimensión ambiental
121 a partir de observaciones, análisis e interpretaciones geológicas como base de
122 conocimiento para la construcción de territorios sustentables. Se realizaron mapeos
123 geomorfológicos con identificación de la red de drenaje con cauces, paleocauces y
124 suelos. Se efectuaron mediciones geofísicas gravimétricas y magnetométricas
125 regionales y locales para el estudio de estructuras en el subsuelo. La integración de los
126 datos sobre el medio físico mencionados permitió delimitar diferentes Unidades
127 Ambientales (UA) para definir las bases del OT del Departamento de Angaco. Los
128 resultados de esta investigación contribuyen a generar lineamientos para las
129 autoridades a cargo de la planificación territorial. Se brinda información sobre los usos
130 más adecuados en el territorio de Angaco: áreas de conservación, suministro de agua,

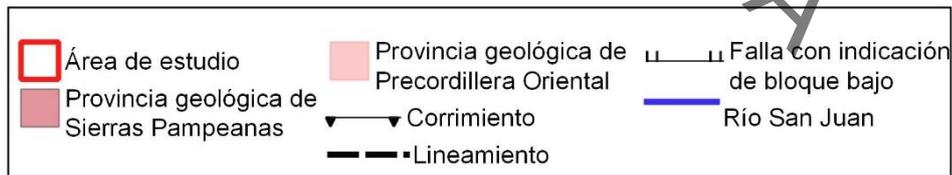
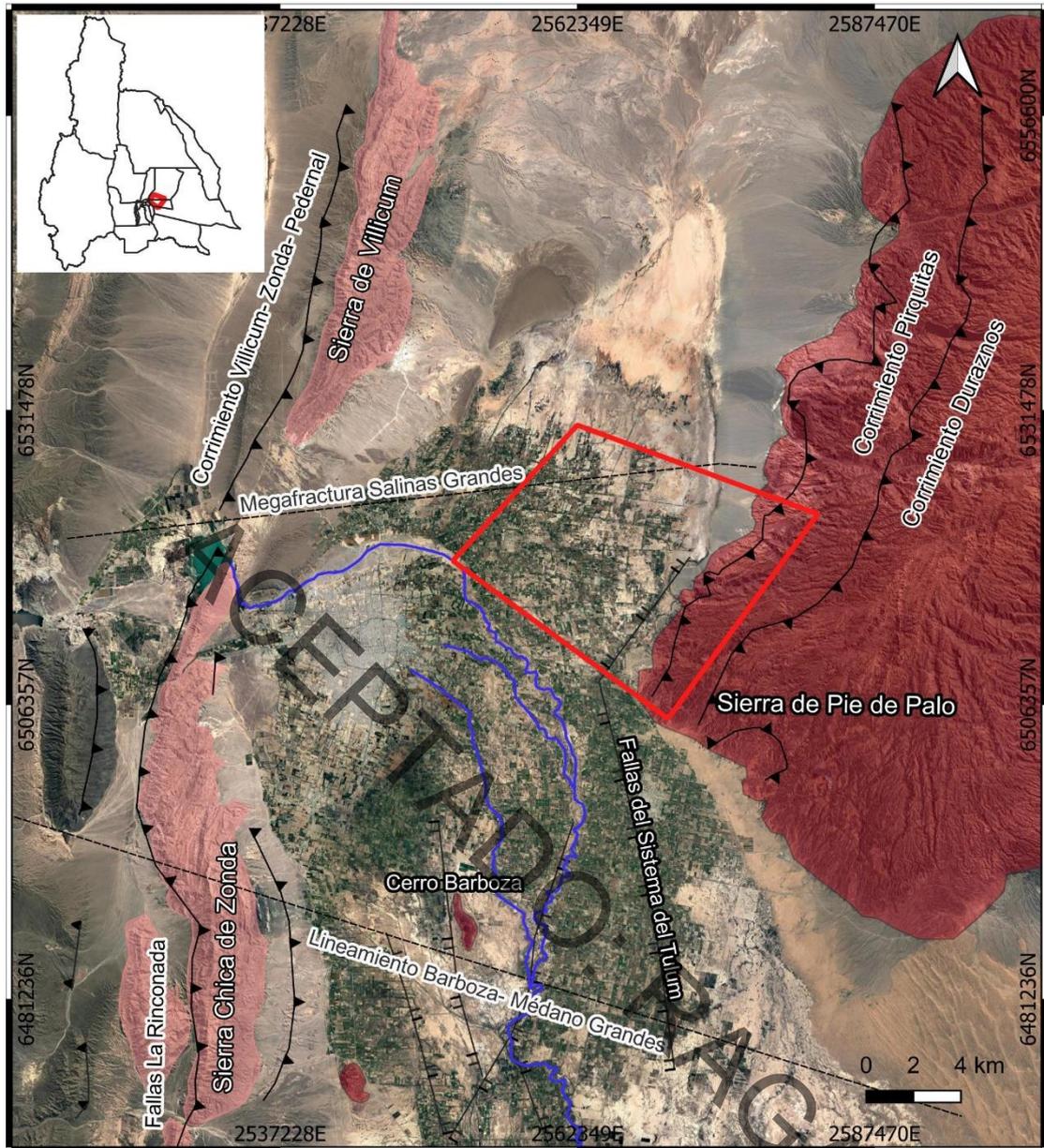
131 suelos para proveer de alimentos, áreas para industrias, sitios de preservación del
132 patrimonio geológico, paisajístico, sectores para actividades recreativas y desarrollo
133 urbano-rural. Todo ello teniendo en cuenta las sobrecargas naturales intrínsecas del
134 medio, lo cual permitirá gestionar el uso del suelo y los riesgos socio-naturales que
135 puedan desarrollarse y garantizar el bienestar y sostenibilidad del medio de quienes lo
136 habitan.

137

138 **ÁREA DE ESTUDIO**

139 El caso de estudio que se presenta se localiza en el Departamento Angaco, y se ubica
140 en el piedemonte occidental de la Sierra Pie de Palo y en la zona distal norte del abanico
141 aluvial del Río San Juan en el valle de Tulum (Fig. 1). Angaco es una localidad rural
142 agrícola productiva. En el 2010 albergaba una población de 8.125 habitantes (INDEC
143 2010), mientras que la población actual es de 10.145 habitantes (INDEC 2022). La
144 principal actividad económica es la agricultura, especialmente la vitivinicultura, también
145 se destacan plantaciones de ajo, cebolla, melones, olivos y otros estacionales.

146 La región se caracteriza por un clima árido, las precipitaciones son inferiores a los 100
147 mm por año. Las temperaturas medias varían entre 18°C y 16°C. Los máximos de
148 temperaturas absolutas poseen valores superiores a los 45°C, mientras que la región
149 más fría posee valores inferiores a los 11°C bajo cero. El régimen hídrico del valle es
150 netamente deficitario pues la evaporación excede ampliamente a las precipitaciones
151 pluviales. Bajo determinadas condiciones atmosféricas del período comprendido entre
152 mayo y noviembre de cada año, se suele desarrollar el viento Zonda en los valles del
153 faldeo oriental de la Cordillera de Los Andes (Poblete y Minetti 1999).



154

155 **Figura 1.** Ubicación del área de estudio, en el piedemonte occidental de la Sierra Pie de Palo y
 156 en la zona distal norte del abanico aluvial del Río San Juan en el valle de Tulum. Marco tectónico
 157 del Valle de Tulum. Los límites este y oeste corresponden a las provincias de Sierras Pampeanas
 158 y Precordillera respectivamente. (Rodríguez 2021). Se muestran los principales lineamientos y
 159 fallas cuaternarias en el valle de Tulum (modificado de Perucca y Ruiz 2014, Zambrano y Suvires
 160 2008), especialmente el corrimiento principal Villicum-Zonda-Pedernal afectando Precordillera y

161 diversos corrimientos en la Sierra Pie de Palo. En el centro del valle se ubica el sistema de fallas
162 de Tulum (Zambrano y Suvires 2008) las dos líneas juntas indican el bloque hundido por las
163 fallas. Además, se indican algunas fallas neotectónicas más importantes con rasgos lineales
164 afectando el piedemonte de Precordillera Oriental.

165 **MARCO GEOLÓGICO Y TECTÓNICO**

166 En el valle de Tulum la actividad tectónica está representada principalmente por el
167 sistema de fallas de Tulum (Fig. 1). Se trata de fallas inversas de dirección predominante
168 NNE-SSO (Zambrano y Suvires 2008), que limitan con los bloques fragmentados del
169 antepaís, generando cuencas flexurales (Rodríguez 2016). Los bloques tectónicos
170 levantados por las fallas afectan a los depósitos superficiales como los campos de dunas
171 que se localizan por encima de los bloques elevados o las paleociénagas que se
172 localizaban en los depocentros, además, se observa un control en los recursos hídricos
173 superficiales (Rodríguez et al. 2018), subterráneos (Rocca 1969) y en los suelos
174 (Suvires 2004).

175 La deformación neotectónica se concentra en los bordes del valle de Tulum, en
176 piedemontes y sierras, principalmente a lo largo de las secuencias del Plioceno-
177 Pleistoceno de Precordillera Oriental y en el piedemonte de Sierra Pie de Palo.
178 Precordillera exhibe una falla de empuje principal hacia el Oeste, el corrimiento Villicum-
179 Zonda-Pedernal. En los piedemontes la deformación cuaternaria se desarrolla con
180 rasgos rectilíneos y fallas paralelas que coinciden con los planos de estratificación, y se
181 explican por el mecanismo de flexo-deslizamiento (Costa et al. 1999, Krugh y Meigs
182 2001). Las fallas La Laja, Marquesado, La Rinconada, Los Berros y fallas de Cerro
183 Salinas (Bastías et al. 1984, Martos 1987, Bastías et al. 1990) son las estructuras más
184 significativas que muestran este estilo de deformación (Costa et al. 2006).

185 Suvires (2010) caracteriza a la Sierra de Pie de Palo como un gran braquianticlinal de
186 orientación NNE, con un flanco oriental inclinado y uno occidental más suave. Dado que
187 las rocas del basamento poseen una estructura frágil, este plegamiento se resuelve
188 mediante centenares de fallas menores. Otro rasgo estructural notable de la Sierra de

189 Pie de Palo es el desarrollo de fallamiento oblicuo de rumbo N 50°E a través del bloque
190 serrano, como la megatrayza de Salinas Grandes (Baldis et al. 1979).

191 Estudios de sismología indican que el sector oriental es el más activo, dado que
192 concentra la actividad neotectónica y los epicentros de los sismos (Siame et al. 2006,
193 Monsalvo et al. 2014). Martínez et al (1993, 2008) estudian la zona a través de la
194 geofísica, realizaron un perfil gravimétrico que atravesó completamente la sierra de Pie
195 de Palo en su parte media, corroborando así la existencia de una anomalía positiva
196 sobre esta. Otros estudios aeromagnéticos cubren la región desde la sierra hacia el
197 oeste (Chernicoff et al. 2009)

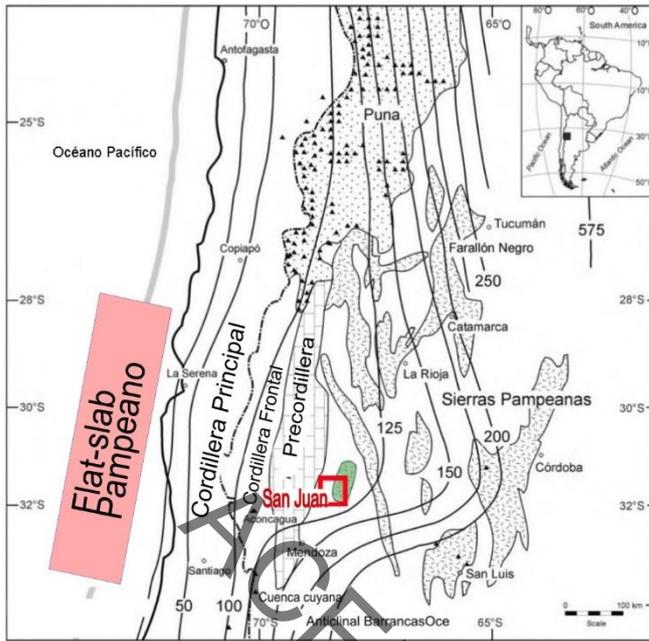
198 Las unidades geológicas que afloran a lo largo de la zona de estudio son: Complejo Pie
199 de Palo, el Grupo Caucete (Formación El Quemado y Formación Angaco) y una cubierta
200 de depósitos cuaternarios (Cardó et al. 2012) (Fig. 2b).

201 El Complejo Pie de Palo es el basamento cristalino, constituido en su mayor parte por
202 las rocas de edad Grenvilliana aflorantes en la Sierra de Pie de Palo y los cerros Barboza
203 y Valdivia (Varela y Dalla Salda 1993, Ramos et al. 2000). Es un cinturón máfico-
204 ultramáfico, ortogneises intermedios a ácidos asociados con rocas metasedimentarias
205 de alto grado y metagrawackes y mármoles (Ramacciotti et al. 2019).

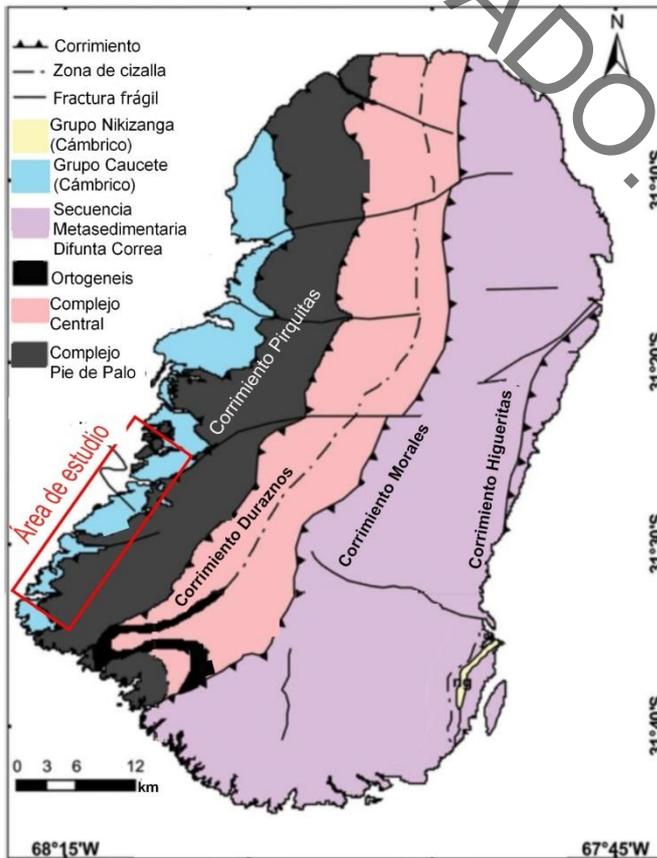
206 Se encuentra yuxtapuesto sobre el Grupo Caucete, a través de un importante
207 corrimiento de rumbo meridiano y vergencia al oeste, denominado Corrimiento Pirquitas
208 (Vujovich y Ramos 1994). Este Grupo está formado por rocas cuarcíticas y calcáreas
209 afectadas por un metamorfismo de bajo grado aflorantes a lo largo del flanco occidental
210 de la Sierra de Pie de Palo.

211 En el valle y piedemonte se encuentran depósitos cuaternarios provenientes de un
212 ambiente fluvio- aluvial. En la planicie dominan depósitos finos de limos y arcillas, suelos
213 salinos en el playa- lake y zonas distales del abanico aluvial del río San Juan y mantos
214 de arena eólica. En el piedemonte en cambio hay depósitos gruesos y fanglomerados.

a



b



216 **Figura 2.** a) Ubicación regional del Valle de Tulum y del segmento Pampeano (Según Ramos et
217 al. 2002) de subducción sub-horizontal en los Andes Centrales de Argentina y Chile; b) Mapa
218 modificado de Ramacciotti et.al. (2019) con las principales unidades estratigráficas de la Sierra
219 Pie de Palo.

220 **Geomorfología**

221 En el área de estudio se distinguen tres grandes ambientes geomorfológicos: ambiente
222 estructural, fluvio-aluvial, y ambiente eólico. El ambiente estructural está representado
223 por las Sierras Chica de Zonda, de Marquesado, de Villicum y de Pie de Palo. Las tres
224 primeras pertenecen a Precordillera Oriental, mientras que la Sierra de Pie de Palo
225 forma parte de Sierras Pampeanas Occidentales. Estos cordones montañosos se
226 originan por la presencia de corrimientos tectónicos y registran procesos de remoción
227 en masa como caída de detritos y rocas. La Sierra de Pie de Palo presenta forma de
228 escudo elongado en dirección aproximadamente N-S y de unos 30 km de ancho por 78
229 km de largo, se caracteriza por una gran cantidad de quebradas profundas y bien
230 marcadas, con perfiles en V y diseño de drenaje de tipo centrífugo hacia sus cuatro
231 flancos.

232 El ambiente fluvio- aluvial, se localiza en el relieve intermedio y plano. Está integrado
233 por las unidades de la planicie aluvial antigua del río San Juan, el piedemonte occidental
234 de la Sierra de Pie de Palo y las unidades fluviales actuales del río San Juan. El
235 piedemonte registra procesos erosivos activos principalmente asociados a la red de
236 drenaje. La planicie aluvial, cubre la mayor superficie del área, allí dominan procesos de
237 depositación y las unidades reconocidas son playa -lake, conos, glacis y abanicos
238 aluviales.

239 El ambiente eólico se desarrolla en el relieve plano. Se encuentran mantos de arena
240 que se movilizan con los vientos provenientes del sector SE, probablemente del Campo
241 de dunas "Médanos Grandes", la cual ocupa gran parte de la superficie del terreno y
242 contiene un espesor de la arena que exceden los 100 m cubriendo una superficie

243 superior a 2.400 km² (Tripaldi 2002). Otros campos de dunas se ubican al sur-este de
244 los cerros Barboza y Valdivia.

245 **METODOLOGÍA**

246 La metodología de trabajo consistió en aplicar las fases del levantamiento geológico y
247 de investigación: primero la recopilación y análisis de los antecedentes bibliográficos y
248 cartográficos sobre el área de estudio. Luego, la creación de una base de datos y tareas
249 de fotointerpretación de imágenes satelitales.

250 Se confeccionaron además mapas temáticos preliminares de geomorfología, suelos y
251 depósitos, red de drenaje. Para estas tareas se utilizaron los programas Google Earth y
252 QGIS versión 2.18.7, que permitieron georreferenciar la información y confeccionar
253 capas de información necesarias para la integración requerida en el OT.

254 En este estudio se incorporan datos del subsuelo, considerado dentro de las variables
255 que componen el medio físico. Para ello se utilizaron los métodos geofísicos potenciales
256 de gravimetría y magnetometría. Para las estructuras regionales se trabajó con el vuelo
257 aeromagnético del Servicio Geológico Minero Argentino (SEGEMAR) del área 26, Pie
258 de Palo y bases de datos gravimétricas del Instituto Geofísico Sismológico Volponi
259 (IGSV). Las interpretaciones regionales se realizaron mediante el análisis de las cartas
260 de anomalías gravimétricas de Bouguer (AB) y de Anomalías de Campo Magnético Total
261 (AMT).

262 Las anomalías magnetométricas y gravimétricas residuales se emplearon para
263 identificar e interpretar rasgos superficiales. El proceso de separación regional-residual
264 se realizó aplicando un filtro de continuación ascendente a $h=1000$ metros sobre la
265 anomalía magnética total, obteniendo de esta manera la anomalía regional magnética.

266 Las anomalías magnéticas residuales se obtuvieron del mapa de Intensidad Magnética
267 Total por sustracción de la anomalía regional. Este procedimiento se llevó a cabo
268 utilizando la opción Magmap filtro paso a paso del software Oasis Montaj. A la anomalía
269 residual se le aplicó una reducción al polo (RTP)

270 La Anomalía de Bouguer se utilizó para identificar diferentes masas en el subsuelo.
271 Aplicando los filtros adecuados, se separaron las longitudes de ondas largas
272 (relacionada a efectos de cuerpos de gran dimensión y profundos como la
273 discontinuidad corteza-manto) llamada Anomalía Regional. Esta anomalía, se restó de
274 las Anomalías de Bouguer, para encontrar la Anomalía Residual, representativa de
275 fuentes someras y de menor dimensión en el subsuelo (Hinze et al. 2013). Luego
276 mediante diferentes técnicas de filtrado se delimitaron las estructuras de los primeros
277 metros de la Corteza.

278 La obtención de datos estructurales más locales se realizó mediante mediciones a lo
279 largo de dos perfiles desde la planicie hasta la sierra, orientados de oeste a este (Fig. 7
280 y 9).

281 Para ello se utilizó instrumental del IGSV: dos magnetómetros de campo total GEM
282 Systems Overhauser y GSM 19 V7 y un gravímetro CG-5. La adquisición de cada dato
283 topográfico se realizó mediante el uso de GPS diferencial de alta precisión.

284 El trabajo de campo consistió tanto en la verificación de los mapas generados en
285 gabinete como para el reconocimiento de información no relevada. La adquisición de los
286 datos geofísicos se realizó mediante la medición simultánea de dato gravimétrico,
287 magnetométrico y de altura topográfica en la misma estación. Una vez obtenidos, se
288 continuó con el procesado de los mismos y posterior corrección, cálculo y realce de las
289 anomalías utilizando diferentes filtros sobre los valores del perfil.

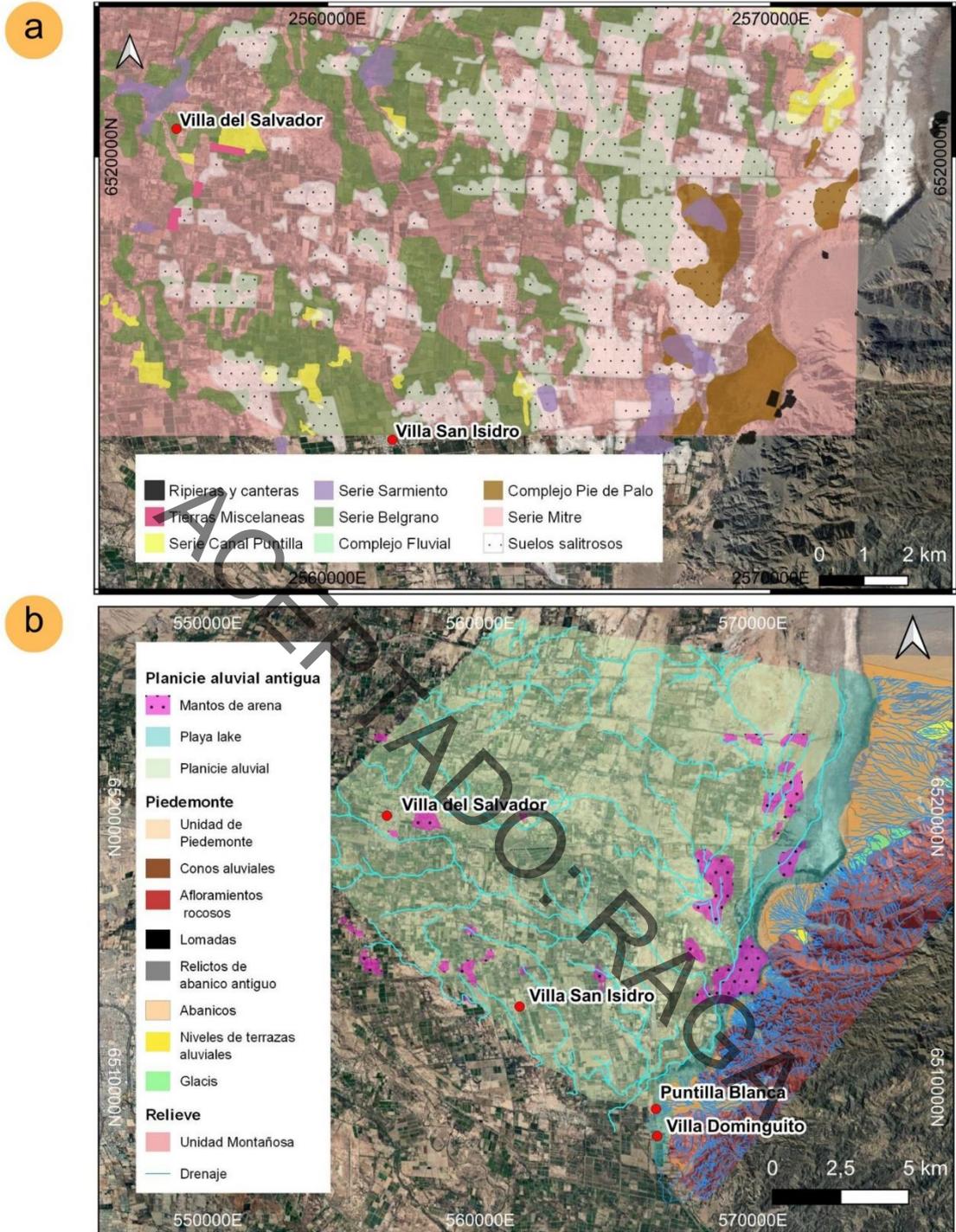
290 Las cartas de anomalías residuales y los perfiles geofísicos resultantes, se incorporaron
291 a un sistema de información geográfica junto a las capas correspondientes
292 (geomorfología, red de drenaje y depósitos cuaternarios). Esto permitió establecer las
293 relaciones entre la presencia de estructuras tectónicas y su influencia en el uso y
294 comportamiento del territorio. Finalmente se definieron las Unidades Ambientales (UA),
295 dentro de las cuales se identificaron y evaluaron los peligros tanto naturales como
296 antrópicos, los cuales son incluidos en las sobrecargas del territorio.

297 Para la integración de datos se utilizaron matrices de evaluación ambiental que
298 permitieron el análisis de relación entre actividades, de conservación, económicas
299 primarias, de urbanización, actividades industriales y de servicios e infraestructuras
300 presentes en cada unidad; para luego evaluar la valoración ambiental de cada UA.
301 Finalmente se indican algunos lineamientos territoriales sobre los usos del suelo más
302 compatibles en cada UA.

303

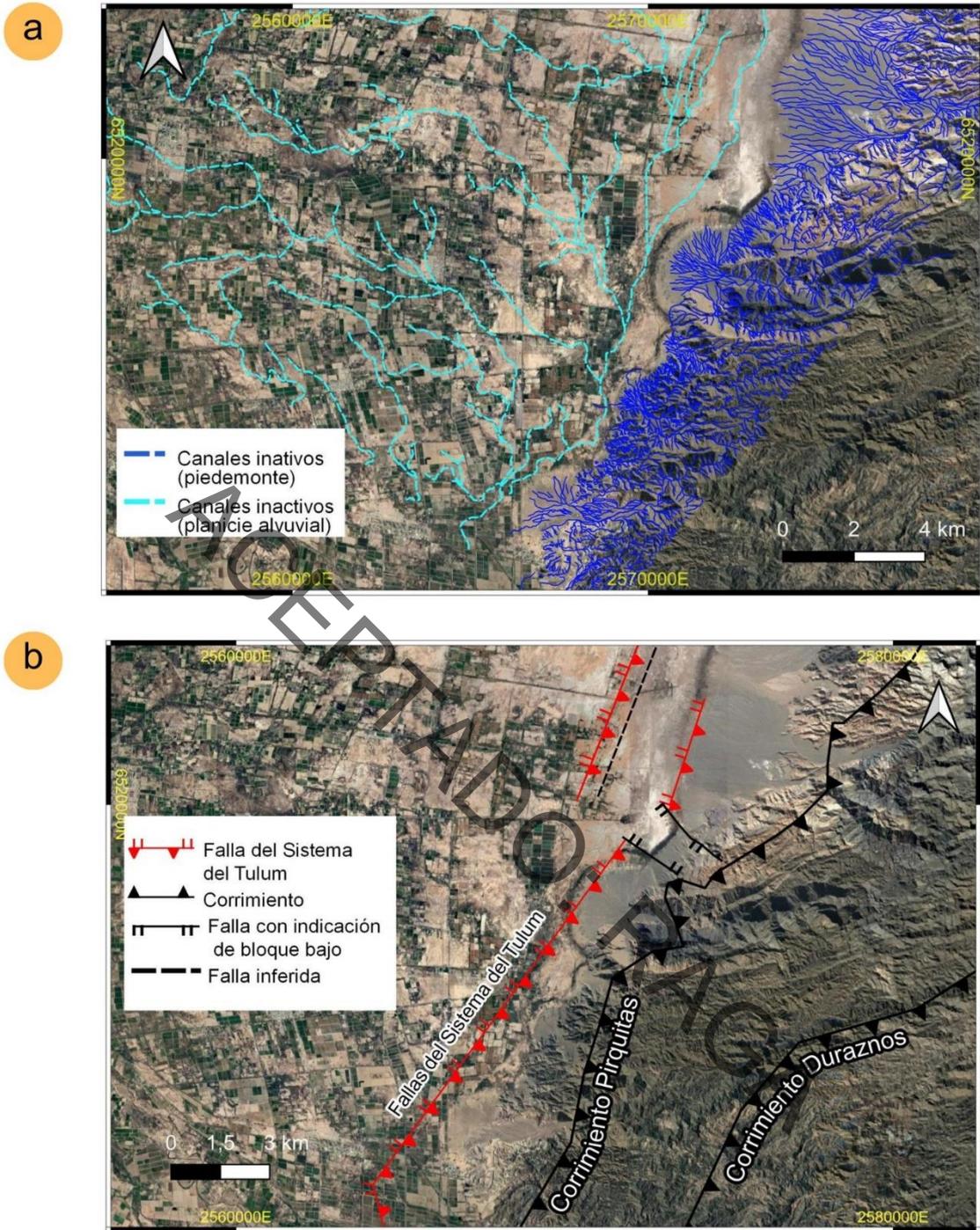
304 **RESULTADOS**

305 Como resultado de las observaciones de campo y del trabajo en gabinete del análisis
306 de imágenes satelitales se confeccionaron mapas de suelos (Fig. 3a), de depósitos,
307 geomorfológicos (Fig. 3b) y de la red drenaje de la zona (Fig. 4a). Además, se presenta
308 un mapa con las fallas geológicas determinadas mediante la interpretación de la
309 información geofísica relevada (Fig. 4b).



310

311 **Figura 3.** a) Mapa de suelos (según INTA 1976) y depósitos; b) Mapa geomorfológico local.



312

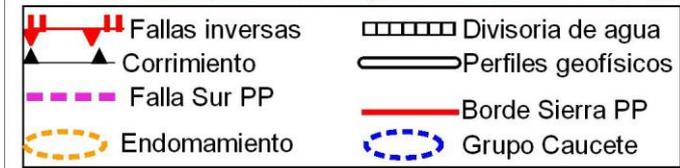
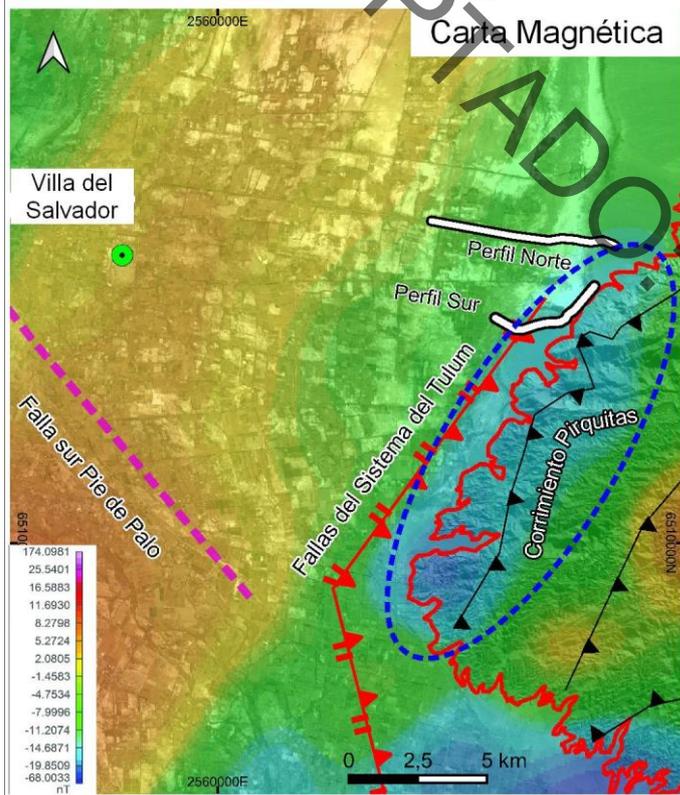
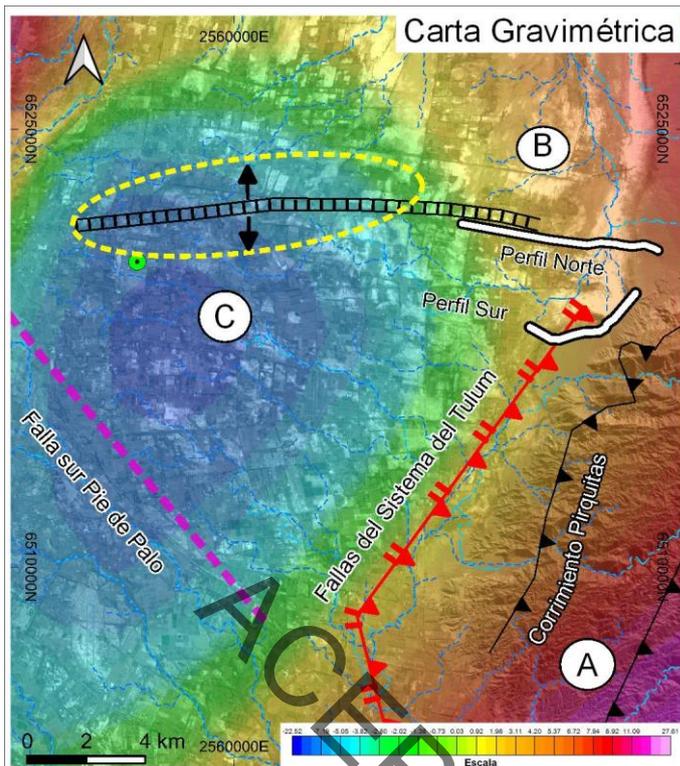
313 **Figura 4.** a) Mapa de red de drenaje de la zona de estudio identificando canales inactivos en el
 314 piedemonte y en el valle; b) Mapa de estructuras geológicas señalando corrimientos, fallas y
 315 lineamientos.

316

317 Las fallas regionales se interpretaron desde las cartas de anomalías residuales
318 gravimétricas y de la reducción al polo de la anomalía magnética residual (Fig. 5). En
319 ambas cartas se advierten anomalías relacionadas con el Sistema de fallas de Tulum,
320 situadas al oeste de la Sierra de Pie de Palo. En esa zona el drenaje adopta una red
321 con forma marcadamente lineal en la dirección de la falla. Otro rasgo lineal observado
322 en el drenaje se reconoció hacia el sur de la Sierra Pie de Palo, donde la red de drenaje
323 converge hacia un cauce temporal de mayor orden con dirección NO-SE. Se asocia este
324 rasgo a la presencia de un lineamiento estructural al sur de Pie de Palo (Fig. 5).

325 En la carta de anomalías gravimétricas se observan valores altos de gravedad,
326 identificados como zona A, los cuales corresponden al basamento de la Sierra de Pie
327 de Palo (Complejo Pie de Palo), Mientras que la carta de anomalía magnetométrica
328 aparece una zona de bajos valores magnéticos (zona B), que asignamos a la presencia
329 del Grupo Cauçete (Fig. 5).

330 La zona señalada como "zona C" con una elipse amarilla en la figura 5 coincide con una
331 divisoria de aguas en el mapa de la red de drenaje superficial. Allí el drenaje adquiere
332 dos direcciones hacia el NE y hacia el SE.



334 **Figura 5.** Correlación entre ambos métodos potenciales. Arriba: Carta de anomalía gravimétrica
335 residual combinada con la red de drenaje de la zona. Se reconocen tres zonas: la zona A
336 corresponde a los altos valores de gravedad (Sierra Pie de Palo), la zona B son anomalías
337 gravimétricas con valores medios centradas en el piedemonte de la Sierra de Pie de Palo, y la
338 zona C de bajos gravimétricos, se ubica principalmente en la cuenca del Tulum. Abajo: Carta de
339 anomalía magnética residual reducida al polo (RTP) señalando el bajo magnético que pertenece
340 al Grupo Cauce.

341 De este análisis regional surgen tres elementos principales: una divisoria de aguas, el
342 lineamiento sur de Pie de Palo y una de las fallas principales del sistema de fallamiento
343 de Tulum.

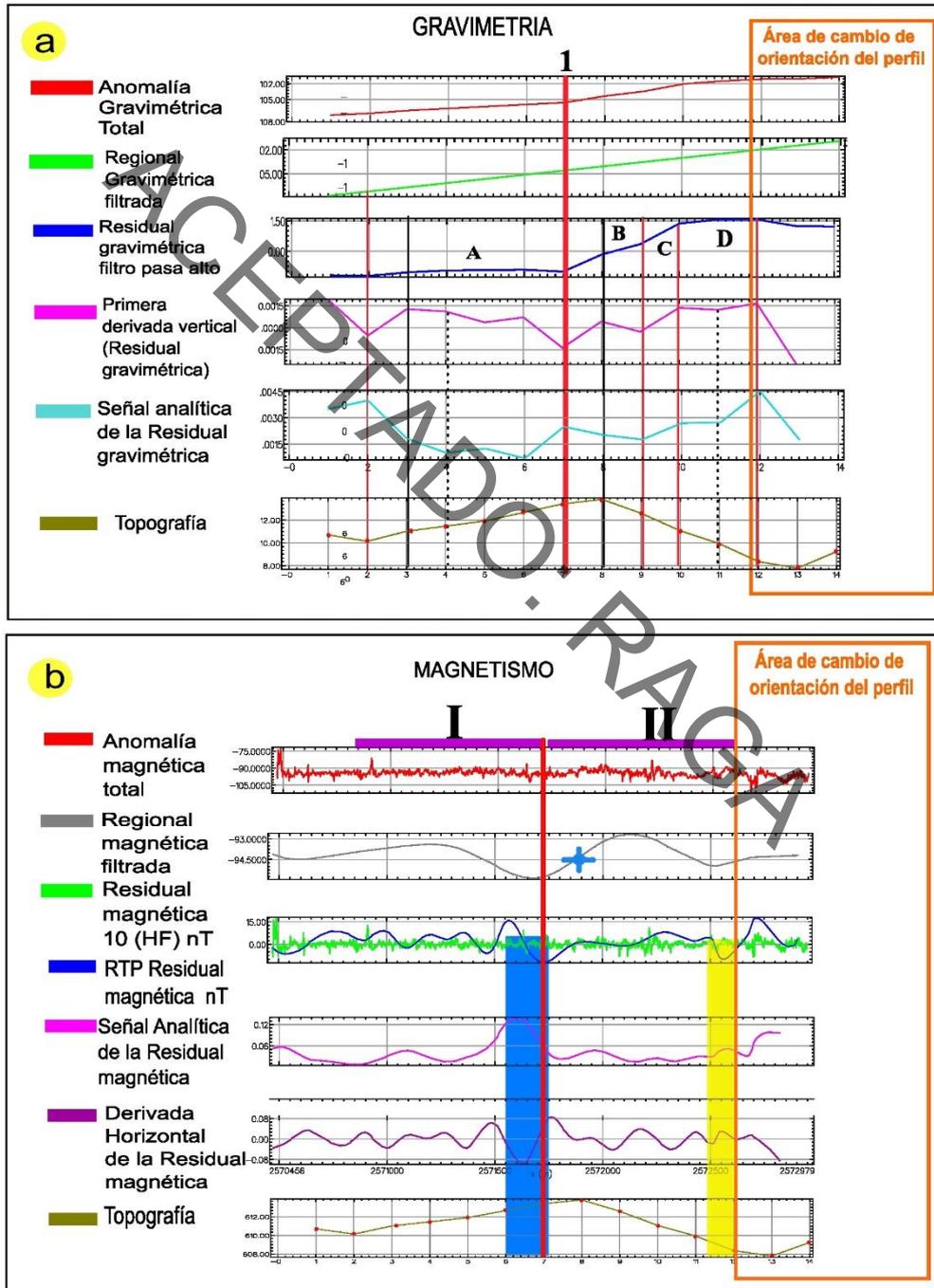
344 Los resultados del "Perfil sur", interpretados mediante los datos magnetométricos y
345 gravimétricos relevados de las transectas durante el trabajo de campo, se ilustran en la
346 figura 6 donde se presenta los perfiles de anomalía gravimétrica Total, anomalía
347 gravimétrica Regional, anomalía gravimétrica residual, realces de primera derivada
348 vertical, señal analítica y el perfil de topografía (Fig. 6a).

349 También se observan los perfiles de la anomalía magnética total (AM), Regional,
350 residual, reducida a polo de la AM residual (RTP), señal analítica, derivada horizontal y
351 topografía (Fig. 6b).

352 En el perfil de la residual gravimétrica se perciben cuatro cambios, los cuales se
353 identifican dentro del mismo con letras desde la A, B, C y D (Fig. 6a). Entre A y B, hay
354 un cambio de gradiente entre los valores de gravedad que aumentan de manera gradual.
355 Además, se registra un aumento en la altura topográfica. Este sector se interpretó como
356 una falla o contacto geológico y se delimitó con una línea de color rojo y el número 1
357 (Fig. 6a). La zona "D" muestra valores gravimétricos que se mantienen constantes y son
358 los más altos del perfil (Fig. 6a). En esta sección el rumbo del perfil es N-S. Los límites
359 de la zona D están resaltados en la derivada vertical por dos altos. En superficie se
360 corresponden con los márgenes marcadamente rectilíneos de un bajo topográfico.

361 La Carta magnética residual RTP (Fig. 5b) también destaca la falla 1 señalada en el
 362 perfil gravimétrico. Esta posición señalada en la figura 6b con un sombreado en celeste
 363 divide al perfil en dos zonas I y II. La señal de la RTP también marca destaca esta
 364 anomalía. En la zona II se detecta un alto en el valor magnético, área sombreadada de
 365 amarillo, coincidente con los bordes del playa- lake (Fig. 6b).

PERFIL SUR



366

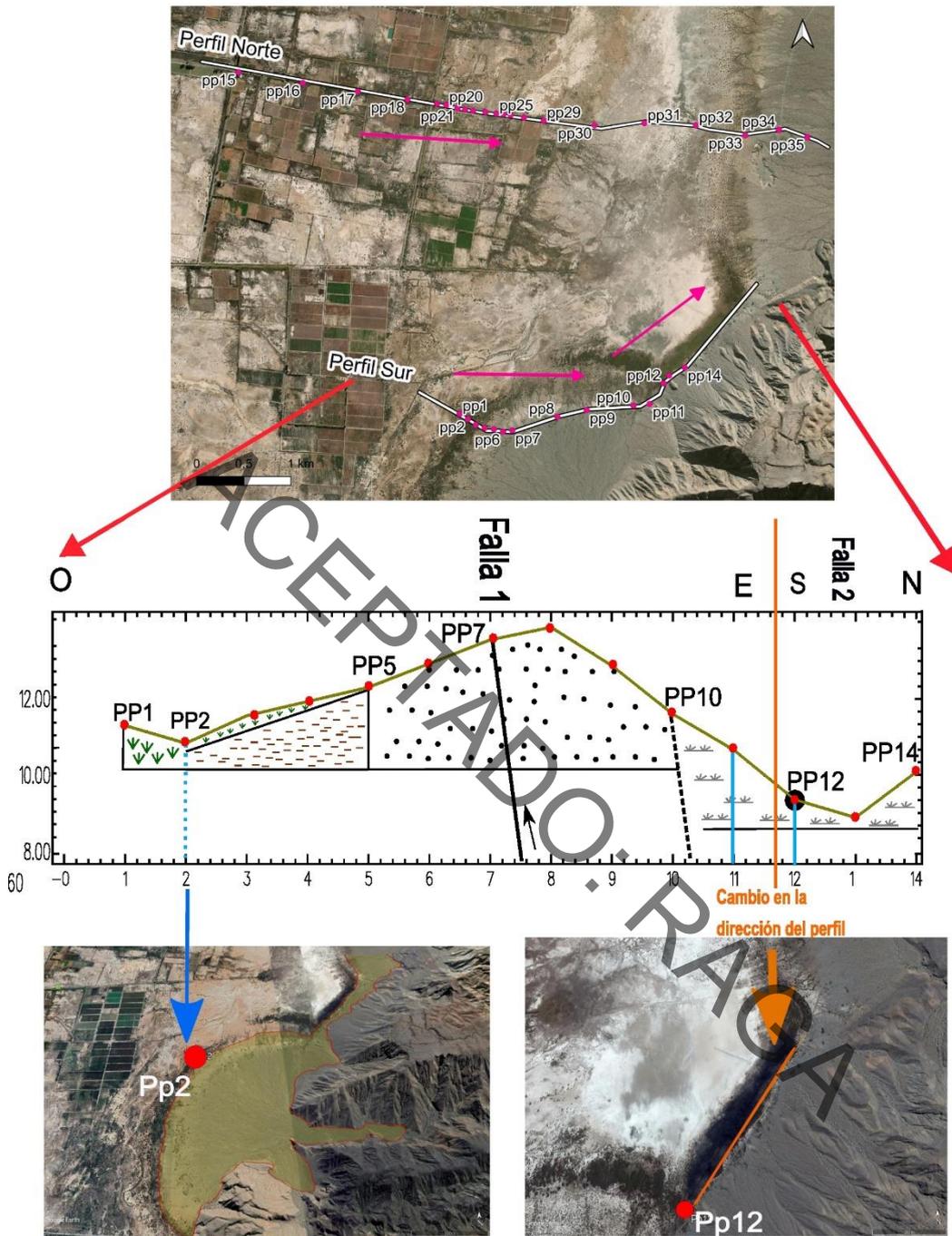
367 **Figura 6.** Perfil Sur. a) Perfil gravimétrico mostrando la anomalía Total, anomalía Regional,
368 anomalía residual, realces de primera derivada vertical, señal analítica y topografía. b) Perfil
369 magnetométrico mostrando los perfiles de la anomalía magnética total (AM), Regional, residual,
370 reducida a polo de la AM residual (RTP), señal analítica, derivada horizontal y topografía.

371

372 Los resultados geofísicos en conjunto con los datos geológicos relevados permitieron la
373 caracterización de una toposecuencia para el Perfil Sur (Fig. 7). En la misma se
374 identificaron tres fallas. La falla 1, señalada en el perfil como PP7, puede ser
375 considerada como una falla regional profunda definida anteriormente en las cartas de
376 anomalías gravimétricas. La falla 2 (PP12) posee dirección perpendicular a la sección
377 de la toposecuencia presentada de rumbo NO-SE, y ejercería un control estructural en
378 la zona del playa-lake (Fig. 7).

ACEPTADO: RAGA

Toposecuencia Perfil Sur



379

380 **Figura 7.** Toposecuencia para el Perfil Sur definida en base a la geomorfología, litología, suelos
 381 y redes de drenajes y ubicación de las fallas 1 y 2.

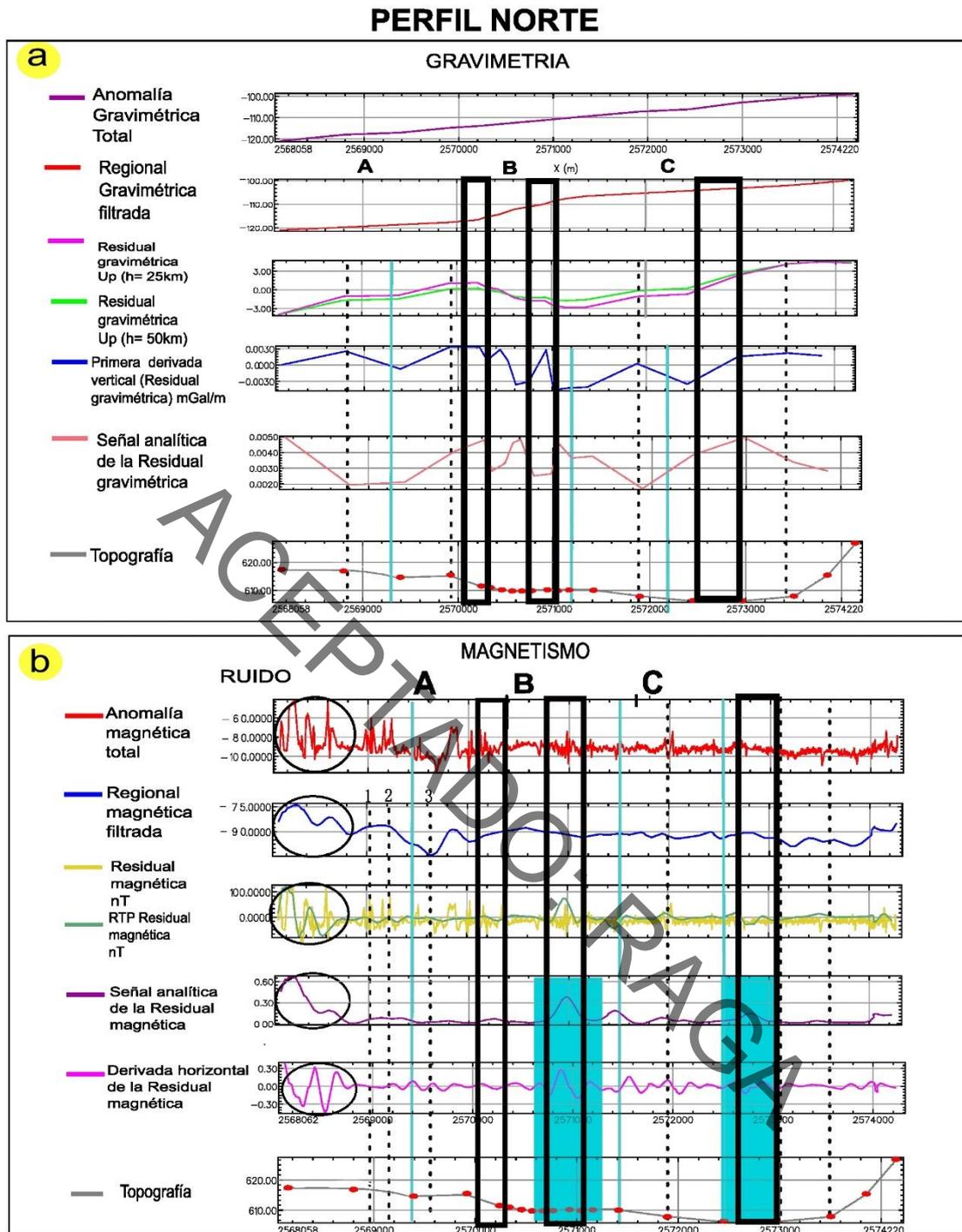
382 En la sección gravimétrica del “Perfil Norte” se marcan tres zonas A, B y C. En la zona
 383 A, en el perfil de la Regional gravimétrica, se perciben los valores de gravedad más
 384 bajos (Fig. 8a). El límite con la zona B está indicado por con un alto en la derivada

385 vertical gravimétrica y en la señal analítica tanto en los perfiles gravimétricos como
386 magnetométricos.

387 En la zona B, la Regional gravimétrica aumenta contrastando con la zona A. La
388 transición con Zona C está marcada por un alto magnético resaltado en el perfil de la
389 señal analítica de la residual magnética (destacada como zona de color celeste). Las
390 variaciones de magnetismo en este perfil se deben probablemente a cambios litológicos
391 y no son tan evidentes los cambios como en el perfil anterior (Fig. 8b)

392 Los perfiles con las señales magnéticas a lo largo de esta transecta presentan
393 anomalías relacionadas con el ruido ambiental debido a la proximidad de
394 infraestructuras urbanas como el predio San Expedito, líneas de alta tensión, tránsito
395 vehicular constante, alambrados, etc. (Fig. 8b).

ACEPTADO: RAGA



396

397 **Figura 8.** Perfil Norte. a) Perfil gravimétrico mostrando la anomalía Total, anomalía Regional,
 398 anomalía Residual, realces de primera derivada vertical, señal analítica y topografía. b) Perfil
 399 magnetométrico mostrando los perfiles de la anomalía magnética total (AM), Regional, residual,
 400 reducida a polo de la AM residual (RTP), señal analítica, derivada horizontal y topografía.

401 La toposecuencia del Perfil Norte, se caracteriza por cambios geomorfológicos visibles.

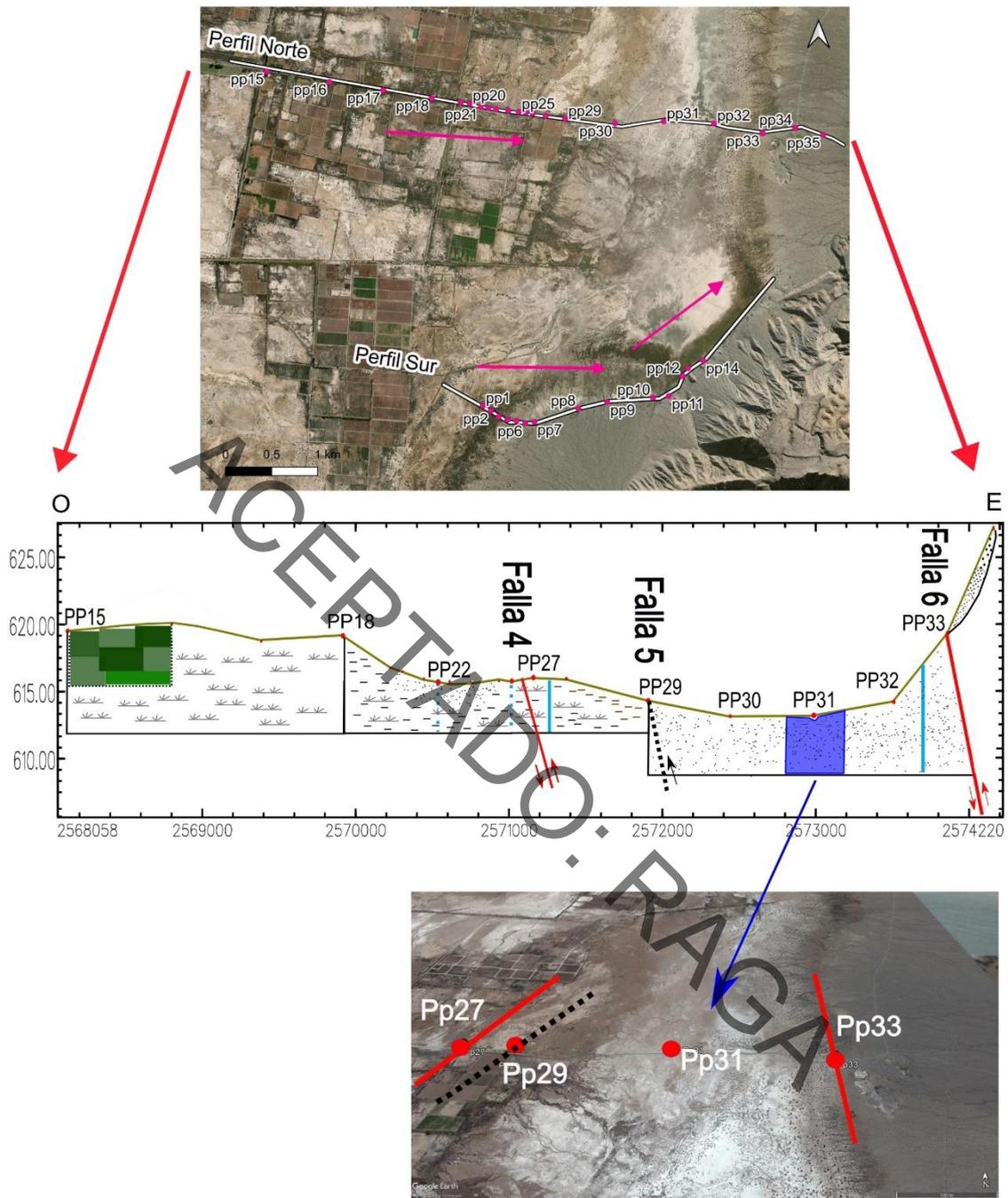
402 En el punto 27 (Fig. 9), aparecen depósitos salinos, con abundante vegetación en los

403 bordes de un ambiente tipo playa-lake. En este sector el drenaje adopta dirección N-S,
404 por lo tanto, se interpreta allí, la presencia de la falla 4 y hacia el este la falla 5 inferidas
405 en la interpretación geofísica.

406 En el PP33 se identificó una falla regional (falla 6), donde se observa un cambio en las
407 señales geofísicas, asociadas in-situ con niveles de depósitos distales de abanicos
408 aluviales sobre elevados respecto al nivel de base actual. Esta estructura regional podría
409 haber modificado el nivel de base de los abanicos antiguos, generando un levantamiento
410 de sus depósitos por sobre la zona de descarga actual, que se ubica varios metros más
411 abajo (Fig. 9).

ACEPTADO: RAGA

Toposecuencia Perfil Norte



412

413 **Figura 9.** Toposecuencia para el Perfil Norte en base a la geomorfología, litología, suelos, redes
414 de drenajes y ubicación de las fallas 4, 5 y 6.

415 **Unidades de Ambientales definidas**

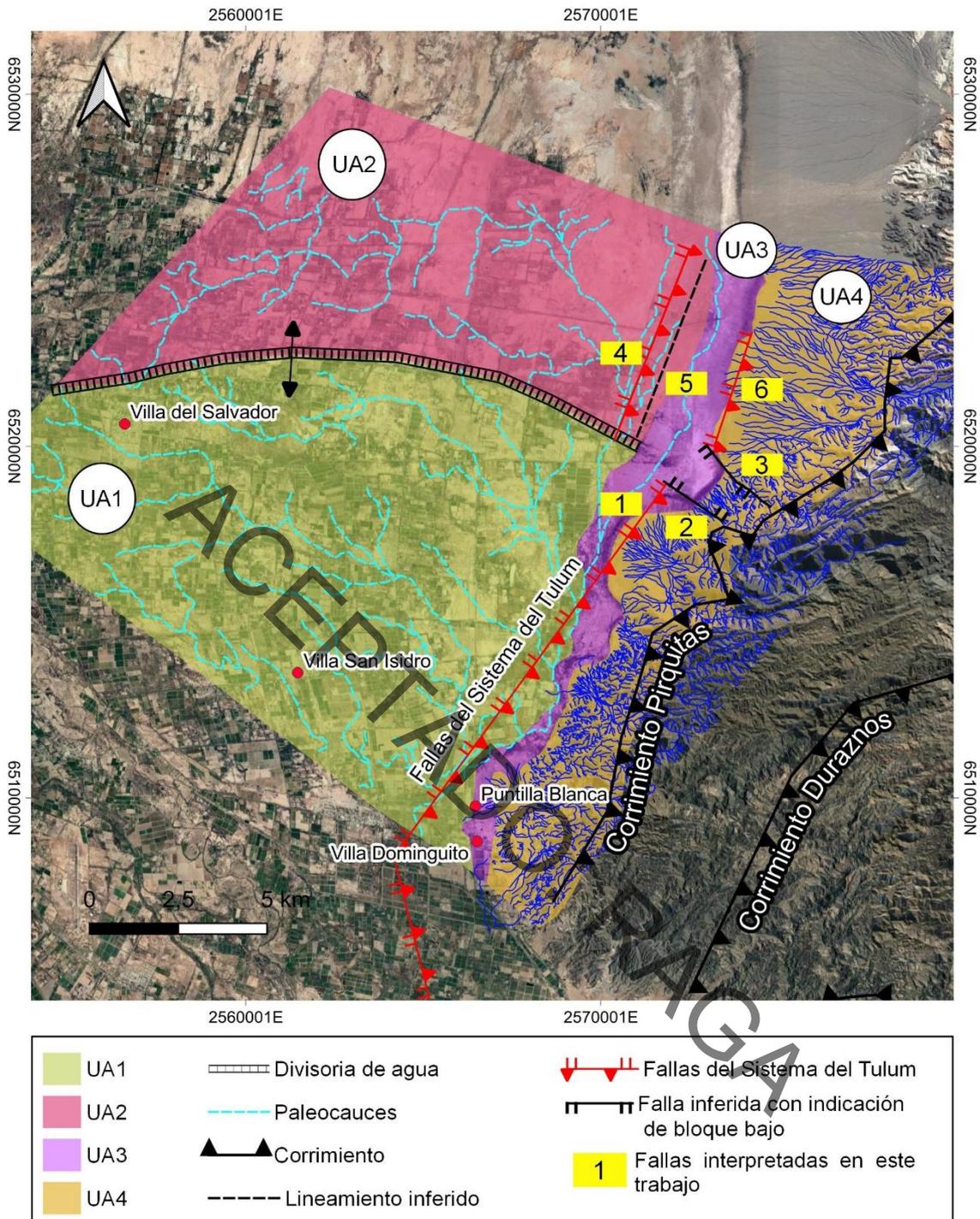
416 Las estructuras en el subsuelo y las aflorantes que resultan de la interpretación geofísica
417 y estudios geológicos anteriores (divisoria de aguas, lineamiento sur de Pie de Palo,

418 fallas del Sistema de fallamiento de Tulum y fallas menores), se utilizaron como límites
419 para definir cuatro unidades ambientales (UA) en la zona de estudio (Fig. 10).

420 Las UA determinadas se diferencian, por presentar diferentes comportamientos en el
421 drenaje, geomorfología, suelos y los depósitos cuaternarios los cuales son controlados
422 por la tectónica de lugar (Fig. 3 y 4).

423 Además, en cada una se analizaron las sobrecargas territoriales, que consisten en los
424 peligros socio-naturales que cada unidad puede presentar debido a las condiciones del
425 medio y determinan los límites en algunos usos del suelo. Los peligros que se
426 identificaron en este estudio fueron: suelos agotados y explotados por malas prácticas,
427 que llevan a una disminución en el cultivo anual, zonas afectadas por crecientes o
428 anegamientos, degradación del paisaje por actividades extractivas, problemas de
429 desertificación, contaminación por residuos sólidos urbanos, incendios, sismicidad,
430 procesos erosivos intensos, fenómenos de remoción en masa.

ACEPTADO: RAGA



431

432 **Figura 10.** Unidades ambientales (UA). División realizada en base a las estructuras tectónicas
 433 principales presentes en el valle de Tulum.

434 **Unidad Ambiental 1 (UA1):** En esta unidad se ubican las Villas El Salvador y San Isidro,
 435 las que poseen los núcleos de servicios para la población (Fig. 10). La unidad posee
 436 una red vial consolidada, red de servicios de electricidad, red de agua potable, canales

437 de riego, servicio de transporte, salud y educación, espacios culturales, religiosos e
438 instituciones políticas.

439 La UA1 se encuentra ubicada en la planicie aluvial antigua del río San Juan. La red de
440 drenaje presenta un diseño dendrítico propio de terrenos relativamente homogéneos.
441 No hay cambios notables en la dirección de los canales de la red de drenaje, solamente
442 presenta ramificaciones formando ángulos agudos, en la dirección de las corrientes. Los
443 paleocauces mapeados presentan una dirección de drenaje hacia el SO y convergen en
444 el lineamiento trazado al sur de la Sierra de Pie de Palo (Fig. 4b).

445 En cuanto a los suelos la unidad contiene suelos de la Serie Mitre, Belgrano y Canal
446 Puntilla (INTA 1976). Los de la Serie Mitre ocupan la mayor extensión y su distribución
447 es muy heterogénea. Los suelos incultos presentan una capa salina en superficie, y
448 tienen un drenaje pobre. Por este motivo se dificultan las prácticas de lavado de suelos
449 para la recuperación de los mismos. Son suelos que precisan labores como arado. Otro
450 tipo de suelos, con buen drenaje son los de la Serie Belgrano, estos, en caso de ser
451 salinos permiten prácticas de lavado eficiente debido a la infiltración que es de alta a
452 muy alta, poseen baja capacidad de retención de humedad (Liotta 1999). En la Serie
453 Canal Puntilla se agrupan los suelos con una capa arenosa, bien drenados, con
454 subsuelo de textura fina, lo que implica que estas formaciones se han desarrollado sobre
455 la antigua planicie de inundación del río y a la vez han recibido un gran aporte de
456 materiales eólicos. Hacia el sur de la unidad, los mantos de arena se vuelven más
457 abundantes, y los usos del suelo con fines agroproductivos desaparecen.

458 Considerando los suelos con drenaje pobre, la baja pendiente del terreno, y los registros
459 abundantes de salinidad, en esta unidad existe riesgo de anegamiento. Además, se dan
460 las condiciones para el desarrollo de licuefacción en caso de sismos.

461 La divisoria de aguas actúa como límite entre la UA1 y esta unidad.

462 **Unidad Ambiental 2 (UA2):** La red de drenaje en este sector presenta características
463 similares a la UA1. El diseño es de tipo dendrítico, los cauces, en la mayoría

464 temporarios, no presentan cambios bruscos en el ángulo de las ramificaciones, aunque
465 sí en la dirección de los mismos. La dirección de escurrimiento es hacia el norte,
466 mientras que los canales ubicados cerca de la sierra lo hacen hacia el sur-este
467 dirigiéndose a la zona de playa- lake y escurriendo luego hacia el sur. Se reconocen
468 numerosos paleocanales, que podrían ser parte de la red de drenaje del antiguo abanico
469 aluvial del río San Juan. En algunos sectores de la UA2 los rastros de los paleocanales
470 son imperceptibles a causa de cambios en el uso del suelo como cultivos, industrias,
471 trazado de caminos y urbanizaciones. En estas áreas se advierte sobre el riesgo de
472 subsidencia del suelo o asentamientos diferenciales en torno a los canales. Los suelos
473 son los mismos que en la unidad UA1, aunque existe mayor superficie de suelos
474 salitrosos, al igual que la cobertura por las Series Mitre y Canal Puntilla.

475 En esta unidad el agua subterránea presenta niveles freáticos próximos a la superficie
476 en épocas de riqueza hídrica. En la actualidad, la sequía ha generado un descenso de
477 los niveles freáticos, y como consecuencia las perforaciones de agua subterránea para
478 el riego de los campos productivos se han visto forzados a profundizar.

479 **Unidad Ambiental 3 (UA3):** Esta unidad está compuesta por depósitos de playa-lake.
480 Debido a los estudios realizados, se atribuye un rígen tectónico a este bajo endorreico.
481 Se trata de un bajo de forma elongada casi N-S, formada por suelos arcillosos-limosos
482 cubierta en superficie por abundantes ampollas salinas (Fig. 11a). En cercanías al
483 piedemonte se mapearon áreas más arenosas- limosas, explicadas por su vinculación
484 con el ambiente aluvial.

485 Se diferencia del resto de las unidades, por presentar cauces abandonados con diseño
486 anastomosado, que implica una serie de canales entrelazados y meandros
487 abandonados, típico de este sector de cuenca endorreica, en donde la pendiente es
488 muy baja y la divagación de ríos, muy característica.

489 La disponibilidad de suelos salitrosos en el playa- lake es abundante. Aparecen los
490 suelos del Complejo Pie de Palo (INTA 1976) en el piedemonte de la Sierra de Pie de
491 Palo, conformado por de arena.

492 En el sector oriental de la UA3 se localizan las partes distales de los abanicos aluviales
493 provenientes de la Sierra de Pie de Palo, caracterizados por presentar una forma
494 semicircular notoria. Debido a los estudios realizados, se atribuye un rígen tectónico a
495 esta cuenca endorreica. En la zona distal, se ha podido identificar una falla a través de
496 los estudios geofísicos, donde aparecen suelos limo-arcillosos que retienen agua y
497 favorecen el crecimiento de vegetación nativa, la que conforma bosquecitos de flora
498 nativa alineados con esta zona de mayor humedad y es hábitat para la avifauna local
499 (Fig. 11b). Un rasgo del playa-lake es la alternancia de la geometría del mismo, pasando
500 de sectores más alargados a otros rectangulares, dejando en evidencia estructuras
501 oblicuas a la falla principal, tal como la falla 3. Hacia el norte de la unidad se observan
502 variaciones de salinidad en épocas de mayor humedad. Por el contrario, hacia el sur
503 existe un avance de materiales eólicos sobre los depósitos salinos.

504 Como sobrecargas en la UA3 hay evidencias de incendios intencionales por quema de
505 basura o arbustos, siendo una mala práctica que se observa en toda la región como
506 método de limpieza de campos (Fig. 11c). Algunos focos se propagan hacia áreas
507 pobladas afectándolas. De acuerdo a un estudio del recurso hídrico en esta región (Lohn
508 1970), el agua subterránea aumenta su salinidad a medida que nos acercamos a la
509 Sierra Pie de Palo, con valores muy altos para la UA3.

510 **Unidad Ambiental 4 (UA4):** Abarca el piedemonte occidental y la ladera occidental de
511 la Sierra de Pie de Palo. La UA4 está caracterizada geomorfológicamente por presentar
512 abanicos aluviales activos e inactivos con un diseño “distributivo” en la red drenaje en
513 la zona pedemontana. En cambio, en la ladera occidental de la Sierra, predominan los
514 diseños, “rectangular y enrejados”. Los primeros son propios de zonas fuertemente
515 diaclasadas, donde los tributarios se cortan entre sí formando ángulos rectos. Mientras

516 que en los diseños enrejados los tributarios desaguan en los de orden inferior según
517 ángulos medianamente rectos y deben su trazado a la presencia de estratos
518 fuertemente plegados.

519 La UA4 exhibe sobrecargas debido a procesos erosivos fluviales, que en la zona se
520 generan durante la época de verano por la acción de lluvias torrenciales. Los
521 deslizamientos de detritos y desprendimientos de rocas son numerosos en esta zona.
522 También es abundante material suelto en las laderas debido a las acciones de
523 explotación minera para rocas de aplicación (Fig. 11d). Tanto las precipitaciones
524 repentinas como los sismos pueden actuar como factores de activación para el
525 movimiento de estos materiales.

ACEPTADO: RAGA



527 **Figura 11.** Fotografías de campo. a) Ampollas salinas y rasgos antrópicos de vehículos sobre el
528 playa- lake; b) Vegetación nativa densa sobre el sector distal de los abanicos aluviales; c)
529 Incendios intencionales por quema de basura o arbustos; d) Explotación antigua de rocas de
530 aplicación.

531 **DISCUSIONES**

532 Tanto las estructuras tectónicas superficiales, como las deformaciones generadas por
533 estructuras más profundas ejercen un control importante en la distribución de los suelos
534 y en el comportamiento hídrico de la zona de estudio. Teniendo en cuenta las
535 interpretaciones realizadas a través de los valores de anomalías gravi-magnetométricas
536 y estudios en la red drenaje, el suelo, los depósitos recientes y la geomorfología, se
537 generó un mapa de estructuras principales para delimitar unidades ambientales en el
538 departamento Angaco, al norte del Valle del Tulum. Se observa que los cambios locales
539 generados por las estructuras a nivel de planificación territorial son importantes porque
540 permiten detectar problemas de anegamiento, procesos erosivos, sismicidad,
541 disponibilidad de agua, localización de suelos con limitaciones de salinidad, sequia, así
542 como suelos con prioridades de conservación tanto para cultivos como para el
543 crecimiento y conservación de la flora y fauna nativa.

544 Las condiciones de subsuelo como las incorporadas en este estudio, no son
545 consideradas en los diagnósticos del medio físico existentes para la planificación
546 territorial, salvo en las caracterizaciones de los recursos subterráneos. Se observa en el
547 caso de Angaco, al igual que en la zona sur del valle de Tulum, que las condiciones del
548 subsuelo tienen un control de primer orden en el resto de las variables que componen
549 al medio físico. Este es soporte de todas las demás dimensiones del territorio.

550 El límite entre la UA1 con la UA2 es una divisoria de agua identificada en gravimetría
551 como una posible flexión, la cual genera que los cursos de agua descarguen desde este
552 sitio hacia el sur y norte. El límite sur puede asignarse al Lineamiento sur de Pie de Palo.

553 La UA3 fue definida por fallas ubicadas al frente de la Sierra, asignadas al sistema de
554 fallamiento del Tulum, por su continuidad hacia el sur y a la falla 4 aquí mencionada.
555 Además, esta unidad presenta variaciones internas debido a la presencia de las fallas
556 2 y 3 identificada en esta investigación. Por su parte, LA UA4 fue definida a partir de las
557 fallas 1 y 6.

558 De todas las unidades, la UA1 es la que alberga los centros poblacionales más
559 importantes. Las condiciones de las redes de servicios presentes en esta unidad
560 (escuelas, centros de salud, barrios, estructuras eclesiales, entre otras), constituyen las
561 razones por las cuales se han desarrollado nuevos núcleos poblacionales, avanzando
562 en un proceso lento sobre los suelos fértiles y disminuyendo las áreas que proveen
563 alimentos en el mercado interno local.

564 Se advierte además que las urbanizaciones deben prever los sistemas y la planificación
565 necesarias para evitar anegamientos frente a suelos de poca capacidad de infiltración.

566 En cada UA se evaluó su vocación natural, la cual ésta característica permite la
567 elaboración de propuestas que garanticen la sostenibilidad del ambiente y la convivencia
568 con el resto de las dimensiones territoriales.

569 La UA1 puede ser considerada como un ecosistema urbano a raíz de las modificaciones
570 antrópicas existentes. Las condiciones naturales originales del territorio se modificaron
571 fuertemente, en ellas se encuentran las localidades urbanas de la Villa del Salvador y la
572 Villa San Isidro. A su vez es un ecosistema protector y tiene un valor ecológico muy alto
573 porque se localiza sobre una cuenca de agua subterránea, y de esta área se extrae
574 agua para las actividades económicas de la región. También se caracteriza por ser una
575 zona agro-productiva con gran cantidad de hectáreas cultivadas, principalmente de
576 viñedos, olivos y melones, entre otros estacionales que garantiza la seguridad
577 alimentaria de sus habitantes. Se propone que la expansión urbana necesaria se
578 disponga en esta unidad, con las medidas de regulación necesarias para la

579 conservación de las zonas rurales que definen al norte del valle. Otros usos compatibles
580 dentro de la unidad son los espacios verdes públicos, y los equipamientos urbanos, etc.

581 La vocación de la UA2 puede ser considerada como un de ecosistema agroproductivo
582 y rural. Provee de frutas y verduras a la población interna y externa de la región. Se
583 sugiere a la UA2 como un área potencial para garantizar la soberanía alimenticia. El
584 valor ambiental que tiene es alto, principalmente por el valor productivo de sus suelos y
585 el valor ecológico debido a la presencia de industrias agrarias y ganaderas, turismo
586 religioso como es el caso del predio San Expedito, agroecológico y geositios. La
587 salinidad del suelo y la sequía son limitantes para la extensión de la actividad agrícola.
588 La licuefacción es un factor de sobrecarga muy relevante debido a las condiciones del
589 suelo y a la presencia de fallas.

590 La UA3 posee un valor ecológico alto en cuanto a su función hidrogeología,
591 correspondiendo al área de desagüe de la región. Favorece el funcionamiento de las
592 UA1, UA2 y UA4 ya que el agua drena desde estas unidades hacia el nivel de base de
593 la UA3. Al presentar áreas más húmedas, se conservan bosques nativos que favorecen
594 la infiltración, desarrollo de suelos, protección contra la desertificación y hábitat de flora
595 local sobre la UA3. También presenta numerosas sobrecargas como anegamientos,
596 salinidad, subsidencia del suelo y falta de soporte. Asimismo, si se planifican caminos
597 es necesario un mantenimiento periódico en estos sectores.

598 Por último, la UA4 tiene un valor ambiental diversificado por sus altos valores ecológico,
599 paisajístico, cultural y productivo. Alberga actividades de recreación, de turismo
600 aventura y minería. Como sobrecargas se identifican movimientos de laderas y
601 deslizamientos de detritos. La unidad presenta numerosas fallas activas. Los niveles de
602 abanicos activos, tienen canales fuertemente incididos por donde circula el agua durante
603 las esporádicas lluvias.

604 En la UA4 aparecen industrias dedicadas a la explotación de rocas de aplicación. En el
605 área minera se sugiere el control ambiental, cumplimiento de la aplicación de
606 herramientas de evaluación de impacto ambiental para garantizar la sostenibilidad de
607 los recursos y el paisaje.

608 El paisaje desde esta unidad es único en la región, y lo que la convierte en una atracción
609 turística., Algunas laderas ofrecen ventanas de observación geológica, como pliegues y
610 estructuras que resultan atractivas para actividades de geoturismo, y se pueden
611 proponer como sitios de conservación que contribuyan al desarrollo de los pobladores
612 locales, actuando como guías, con posibilidades de venta de productos artesanales.

613 CONCLUSIONES

614 El territorio analizado en este estudio, se ubica en una zona árida al oeste de la Sierra
615 de Pie de Palo, donde los recursos naturales son escasos y la tectónica ejerce un control
616 sobre estos, condicionando los espacios para habitar.

617 En este trabajo se aplicaron técnicas geofísicas para caracterizar el subsuelo y de esta
618 manera también el medio físico. A partir del estudio regional se delimitaron tres
619 estructuras principales: una divisoria de aguas, el lineamiento sur de Pie de Palo y una
620 falla que, debido a su continuidad con el Sistema de Fallamiento de Tulum, fue asignada
621 al mismo. También, se identificaron fallas locales a través de mediciones en perfiles
622 gravimétricos y magnetométricos locales cercanas a los centros urbano-rurales. Los
623 perfiles proporcionaron evidencias que permitieron definir diferentes fallas como las
624 fallas 1, 4, 5 y 6 (que formarían parte del Sistema de fallamiento de Tulum) y las fallas 2
625 y 3 de dirección NO-SE, las cuales constituirían estructuras limitantes de un bajo
626 endorreico transversales a las estructuras principales N-S de la zona. La falla 6 controla
627 en superficie, a los afloramientos de depósitos de abanicos distales, que se encuentran
628 varios metros sobreelevados del nivel de base actual.

629 Los estudios geomorfológicos, de suelos, depósitos y drenaje superficial muestran
630 relación con las estructuras geológicas. Como áreas representativas se construyeron
631 dos toposecuencias que vinculan ambientes superficiales, suelos, drenaje con las fallas
632 caracterizadas. A partir del análisis de estas toposecuencias se interpreta que la unidad
633 de playa-lake al oeste de la sierra, la ubicación de los suelos salinos y las variaciones
634 en las direcciones y diseños de drenaje del área presentan un origen tectónico.
635 Tanto las fallas como la divisoria de aguas se emplearon como barreras naturales para
636 la definición de las 4 unidades ambientales propuestas para el norte del Valle de Tulum.
637 Las estructuras tectónicas delimitadas actúan controlando las áreas de almacenamiento
638 de agua, el tipo de suelo, la distribución de la vegetación, la intensidad de los procesos
639 erosivos, microclimas y las sobrecargas. Las UAs son importantes para la gestión
640 territorial de los departamentos de Angaco y San Martín. A partir de ellas se sugieren
641 lineamientos territoriales para el buen uso del suelo, el conocimiento de los peligros
642 naturales del territorio, las actividades más compatibles a desarrollar, posibilidades y
643 limitaciones intrínsecas a cada unidad, a fin de promover políticas públicas territoriales
644 que no estén desligadas del medio físico.
645 Los resultados obtenidos desde la geología y geofísica enriquecen el conocimiento
646 geológico de la zona, y aportan datos robustos para caracterizar al medio físico, que es
647 soporte de las dimensiones sociales, culturales, políticas y económicas del territorio.

648

649 **AGRADECIMIENTOS**

650 Este estudio fue posible gracias al financiamiento otorgado por CONICET. También,
651 fueron indispensables las bases de datos e instrumental geofísico del Instituto Geofísico
652 Sismológico Volponi, Universidad Nacional de San Juan. Se agradece el aporte de los
653 revisores de la revista que han llevado a una mejora sustancial del artículo.

654

655

656

657 **REFERENCIAS**

658 Baldis, B., Uliarte, E. y Vaca, A. 1979. Análisis estructural de la comarca sísmica de San
659 Juan. Revista de la Asociación Geológica Argentina 34: 249-310.

660

661 Bastías, H., Weidmann, N. y Pérez, M. 1984. Dos zonas de fallamiento Pliocuaternario
662 en la Precordillera de San Juan. 9° Congreso Geológico Argentino, Actas 2: 329-341,
663 San Carlos de Bariloche.

664

665 Bastías, H., Uliarte, E., Paredes, J., Sánchez, A., Bastías, J., Ruzycki, L. y Perucca, L.
666 1990. Neotectónica de la provincia de San Juan. 11° Congreso Geológico Argentino,
667 Relatorio: 228-244, San Juan.

668

669 Cardó R., Díaz, I. y Catnich, J. 2012. Carta de Minerales Industriales, Rocas y Gemas
670 3169-IV, San Juan. Provincia de San Juan. Instituto de Geología y Recursos Minerales.
671 Servicio Geológico Minero Argentino, Boletín 401: 63 p, Buenos Aires.

672

673 Chernicoff, C. J., Vujovich, G. I. y Van Staal, C. R. 2009. Geophysical evidence for an
674 extensive Pie de Palo Complex mafic-ultramafic belt, San Juan, Argentina. Journal of
675 South American Earth Sciences 28 (4): 325-332.

676

677 Costa, C., Rockwell, T., Paredes, J. y Gardini, C. 1999. Quaternary deformations and
678 seismic hazard at the Andean orogenic front (31°-33°, Argentina): a paleoseismological
679 perspective. 4° International Symposium on Andean Geodynamics, Proceedings: 187-
680 191, Paris.

681

682 Costa, C., Audemard, F., Bezerra, F., Lavenu, A., Machette, M. y París, G. 2006. An
683 overview of the main Quaternary deformation of South America. Revista de la Asociación
684 Geológica Argentina 61: 461-479.
685
686 Costa, C., Alvarado, A., Audemard, F., Audin, L., Benavente, C., Bezerra, F.H. y
687 Santibanez, I. 2020. Hazardous faults of South America; compilation and overview.
688 Journal of South American Earth Sciences 104: 102837.
689
690 Hinze, W., Von Frese, R. y Saad, A. 2013. Gravity and magnetic exploration: Principles,
691 practices, and applications, Cambridge University, 502 p, United Kingdom.
692
693 INDEC 2010. Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. República Argentina.
694 <https://www.indec.gob.ar/indec/web/Nivel4-CensoProvincia-999-999-70-000-2010>
695
696 INDEC 2022. Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. República Argentina.
697 [https://www.indec.gob.ar/ftp/cuadros/poblacion/cnphv2022_resultados_provisionales.p](https://www.indec.gob.ar/ftp/cuadros/poblacion/cnphv2022_resultados_provisionales.pdf)
698 [df](https://www.indec.gob.ar/ftp/cuadros/poblacion/cnphv2022_resultados_provisionales.pdf)
699 INTA 1976. Estudios de Suelos y Drenaje de los valles de Tulum, Ullum y Zonda. San
700 Juan. Argentina. Estación Experimental Agropecuaria. 1, 2, 210 p (inédito), San Juan.
701
702 Krugh, W. y Meigs, A. 2001. Secondary deformation associated with active basement
703 involved folding; Late Quaternary flexural- slip faulting and kink-band migration, Sierra
704 de Villicum, San Juan, Argentina. Geological Society of America Annual Meeting,
705 Abstracts with Programs 33: 393, Massachusetts.
706
707 Lohn, P. 1970. Hidrogeoquímica en los valles de Tulum y Ullum-Zonda, provincia de San
708 Juan. Estudio de la salinidad del agua subterránea y superficial. Plan de Agua

709 subterránea. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, Consejo Federal de
710 Inversiones, 70 p., San Juan.

711

712 Martínez, M.P., Robles, J.A., Introcaso, A. y Giménez, M.E. 1993. Acortamiento y estudio
713 estructural en la sierra de Pie de Palo a través de datos gravimétricos, San Juan,
714 Argentina. 3º Congresso Internacional da Sociedade Brasileira de Geofísica, Actas 2:
715 1144-1149, Río de Janeiro.

716

717 Martínez, M. P., Perucca, L. P., Giménez, M. E. y Ruíz, F. 2008. Geomorphological and
718 geophysical features of the deep structure of southern Pie de Palo, Sierra Pampeanas.
719 Revista De La Asociación Geológica Argentina 63(2): 264-271.

720

721 Martos, L. 1987. Evidencias de movimientos neotectónicos en una terraza de edad
722 Holocena, La Rinconada, San Juan. 10º Congreso Geológico Argentino, Actas 1: 263-
723 265, San Miguel de Tucumán.

724

725 Monsalvo, G., Alvarado, P., Sáez, M. y Linkimer, L. 2014. Deformación sísmica reciente
726 de la sierra de Pie de palo, provincia de San Juan. Revista de la Asociación Geológica
727 Argentina 71(2): 260-266.

728

729 Perucca, L. y Ruiz, F. 2014. New data on neotectonic contractional structures in
730 Precordillera, south of Río de La Flecha: Structural setting from gravity and magnetic
731 data. San Juan, Argentina. Journal of South American Earth Sciences 50: 1-11.

732

733 Poblete, A. G. y Minetti, J. L. 1999. Configuración espacial del clima de San Juan,
734 Síntesis del Cuaternario de la Provincia de San Juan. 11º Reunión de Campo del
735 CADINQUA, INGEO. Instituto de Geología, Facultad de Ciencias Exactas Físicas y

736 Naturales. e Instituto de Geografía, Facultad de Filosofía, Humanidades y Artes,
737 Universidad Nacional de San Juan, San Juan.

738

739 Ramacciotti, C.D., Casquet, C., Baldo, E.G., Alasino, P.H., Galindo, C. y Dahlquist, J.A.
740 2019. Late Cambrian – Early Ordovician magmatism in the Sierra de Pie de Palo, Sierras
741 Pampeanas (Argentina): implications for the early evolution of the proto-Andean margin
742 of Gondwana. *Geological Magazine* 157(2): 321-339.

743

744 Ramos, V., Cristallini, E. y Pérez, D. 2002. The Pampean flat-slab of the central Andes.
745 *Journal of South American Earth Sciences* 15: 59-78.

746

747 Ramos, V., Vujovich, G., Cardó, R., Pérez, L., Pelichotti, R., Godeas, M.C., Pucci, J.C.,
748 Bercowski, F., Bordonaro, O. y Chernicoff, C.J. 2000. Hoja Geológica 3169-IV, San
749 Juan. Provincia de San Juan. Servicio Geológico Minero Argentino. Instituto de Geología
750 y Recursos Minerales. Boletín 243, 93 p., Buenos Aires.

751

752 Rocca, J. 1969. Geología de los valles de Tulum, Ullum y Zonda. Plan de Agua
753 subterránea. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, Consejo Federal de
754 Inversiones, 180 p., San Juan.

755

756 Rodríguez, A., Christiansen, R., Suvires, G., Lince Klinger, F. y Martínez, P. 2016.
757 Structural features of the Southern Tulum fault System, western central Argentina,
758 through gravimetric data and geomorphologic analyses. *Journal of South American*
759 *Earth Sciences* 72: 159-168.

760

761 Rodríguez, A., Martínez, P. y Suvires, G. 2018. Water resource distribution and tectonics
762 in the Tulum valley, Western Central Argentina. *International Journal of Hydrology* 2: 55–
763 59.
764

765 Rodríguez, A. I., Ocaña, R. E., Flores, D., Martínez, P. y Casas, A. 2021. Environment
766 diagnosis for land-use planning based on a tectonic and multidimensional methodology.
767 *Science of The Total Environment* 800: 149514.
768

769 Siame L., Bellier O. y Sebrier, M. 2006. Active tectonics in the Argentine Precordillera
770 and western Sierras Pampeanas. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 61(4):
771 604-619.
772

773 Suvires, G. 2004. Distribución de los suelos en función del relieve y de la neotectónica
774 en la región sureste de la provincia de San Juan. *Revista de la Asociación Geológica*
775 *Argentina* 59(3): 376-384.
776

777 Tripaldi, A. 2002. Sedimentología y evolución del campo de dunas de Médanos Grandes
778 (provincia de San Juan, Argentina). *Revista de la Asociación Argentina de*
779 *Sedimentología* 9(1):65-82.
780

781 Varela, R. y Dalla Salda, L. 1993. Geocronología de Rb-Sr de metamorfitas y granitoides
782 del tercio sur de la Sierra de Pie de Palo, San Juan, Argentina. *Revista de la Asociación*
783 *Geológica Argentina* 47(3): 271-276.
784

785 Vujovich, G.I. y Ramos, V.A. 1994. La faja de Angaco y su relación con las Sierras
786 Pampeanas Occidentales. *Actas 7° Congreso Geológico Chileno, Actas 1: 215-219,*
787 *Concepción.*

788 Zambrano, J. y Suvires, G. 2008. Actualización en el límite entre sierras Pampeanas
789 occidentales y Precordillera Oriental, en la provincia de San Juan. Revista de la
790 Asociación Geológica Argentina 63 (1): 110-116.

ACEPTADO: RAGA