



Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente • N.º 51 • 2024 • ISSN 2422-5703 • <https://www.editoriasagai.org.ar/>  
Wetten A.F.

Análisis de factores de riesgo natural y de indicadores biológicos del escurrimiento hídrico en la cuenca del arroyo El Salado, en el marco del desarrollo sustentable del departamento Iglesia, San Juan e018, <https://doi.org/10.59069/24225703e018>

# Análisis de factores de riesgo natural y de indicadores biológicos del escurrimiento hídrico en la cuenca del arroyo El Salado, en el marco del desarrollo sustentable del departamento Iglesia, San Juan

## Analysis of natural risk factors and biological indicators of water runoff in the El Salado stream basin, within the framework of sustainable development of the Iglesia department, San Juan

 Aníbal Florián Wetten<sup>1\*</sup> 

\* Contacto

Recibido: 27 de febrero de 2024 ▪ Aceptado: 28 de junio de 2024 ▪ Publicado: 21 de agosto de 2024

### Resumen

La subcuenca del arroyo El Salado integra la red de drenaje del río Blanco, en el norte de la provincia de San Juan. En este sector afloran areniscas de la formación Cerro Agua Negra, de edad Paleozoico superior, las que se hayan intruidas por las rocas graníticas del plutón Los Puentes, de edad Pérmico superior – Triásico inferior. Esta cuenca tiene alimentación nival y pluvial, esta última menor a 100 mm anuales. Aproximadamente la mitad del recorrido de su eje principal es sobre material moderno de aluvión.

El objetivo de este trabajo es proveer datos, tanto hidrológicos como ecológicos, que sean de utilidad para la formulación y seguimiento de políticas y programas orientados al desarrollo sustentable de regiones poco urbanizadas.

A partir de las observaciones de campo en esta cuenca y con el empleo del software ImageJ, se detectaron diferentes tipos de suelos y de cobertura de la vegetación. Esta exhibe, en un tramo del valle aluvial, una característica distribución de parches, constituidos predominantemente por: Larrea divaricata, Bulnesia retama y otro, de menor cobertura, de matorral de Proustia cuneifolia o mendocina. La baja profundidad del agua freática y el tipo de suelo con alta permeabilidad son aspectos que caracterizan el ecosistema de equilibrio para esta última especie y constituyen una guía de exploración hidrogeológica.

El área de esta cuenca supera los 400 km<sup>2</sup>, con lo que se concluyó que este parámetro físico, ante un pico de aproximadamente 85 mm de precipitación, ocasionaría una crecida extraordinaria mayor a 150 m<sup>3</sup>/s, afectando no sólo las obras viales e hídricas sino también el pequeño poblado de Malimán. Otro riesgo de importancia es el sísmico, dado que esta región corresponde al noroeste argentino, la que se caracteriza por presentar eventos de alta intensidad en la distribución histórica de sismos.

<sup>1</sup> Instituto de Investigaciones Mineras, Universidad Nacional de San Juan, Argentina.

**Palabras clave:** caudal, cuenca, ecosistema, vegetación.

## Abstract

The sub-basin of the El Salado stream is part of the surface drainage network of the Blanco River, in the north of the province of San Juan. In this sector, sandstones from the Cerro Agua Negra formation, of upper Paleozoic age, outcrop. These have been intruded by the granite rocks of the Los Puentes pluton, upper Permian– lower Triassic in age. The water system is supported by snow and rainfall, less than 100 mm annually. Approximately half of the longitude of its main axis is extended on modern alluvial material.

The goal of this work is to provide both hydrological and ecological data. These represent useful tools for formulating and monitoring policies and programs for the sustainable development of poorly urbanized regions.

The field observations in this basin and the employment of the software ImageJ, allowed us to detect different types of soils and vegetation covers. It exhibits, in a section of the alluvial valley, a characteristic distribution of patches, constituted predominantly by *Larrea divaricata*, *Bulnesia retama*, and another, of lesser coverage, of scrub of *Proustia cuneifolia* or *mendocina*. The shallow depth of the groundwater and the type of soil with high permeability characterize the balanced ecosystem for the latter species and constitute a hydrogeological exploration guide.

The area exceeds 400 km<sup>2</sup>, with which it was concluded that this physical parameter, given a peak of approximately 85 mm of precipitation, would allow an extraordinary water runoff greater than 150 m<sup>3</sup>/sec. This would affect not only the road and water works but also the small town of Malimán. Another important risk is seismic, considering this region belongs to northwest Argentina, which presents high-intensity events in the historical distribution of earthquakes.

**Keywords:** basin, ecosystem, runoff, vegetation.

## INTRODUCCIÓN

### Ubicación de la zona de estudio

La zona de estudio está situada en el borde oriental de la Cordillera de Colangüil, en el departamento Iglesia, a 240 km al noroeste de la ciudad de San Juan (Figura 1). Esta zona incluye al pequeño poblado de Malimán de Abajo, con alrededor de 50 habitantes y, a 7,5 km aguas abajo, Angualasto, con una población de 316 personas. La administración federal de esta cuenca y su entorno corresponde a la provincia de San Juan.

### Objetivo general

Dado que el área de la población remota de Angualasto - Malimán tiene escasa información, el objetivo de este trabajo es obtener datos representativos, tanto hidrológicos como ecológicos. Del análisis de estos se pretende mostrar la existencia y el tipo de riesgos naturales en la región, como así también la utilidad de ciertos tipos de vegetación como guías de exploración del agua subterránea. Además se espera que la generación de nueva información, con cierto análisis objetivo asociado, sea de utilidad para la formulación y seguimiento de políticas y programas orientados al desarrollo sustentable de regiones actualmente poco urbanizadas de la provincia de San Juan. Es conveniente citar que en el área en consideración, en la última década, impactaron inversiones permanentes de medianas y grandes empresas mineras.

### Objetivo específico

Consistió en diferenciar las unidades geomorfológicas

del paisaje que involucra a la subcuenca del arroyo El Salado como así también definir la morfometría de la misma.

## SÍNTESIS DE LOS PRINCIPALES RECURSOS NATURALES Y ECONÓMICOS ACTUALES

Se trata de un área geográfica remota, cuyos pobladores cuentan con escasos recursos referidos a vivienda y herramientas para movimientos de suelos, por lo que, ante las amenazas de riesgo geológico y de sucesos naturales, deberían ser asistidos por un programa social del gobierno provincial y/o por obras complementarias derivadas de las actividades mineras y, eventualmente, turísticas. En ambas localidades, Angualasto y Malimán, se desarrollan actividades agropecuarias, tanto en la unidad de pie de monte de Colangüil como también en la llanura de inundación del río Blanco. Malimán está ubicada, además, en la desembocadura de la cuenca del arroyo El Salado, cuenta con una escuela, capilla y captación de agua superficial a 8.300 m, en la margen derecha del río Blanco. Hace más de un siglo se llevó a cabo la extracción de mineral de plata desde la mina El Salado. Actualmente, hay dos proyectos exploratorios de metales preciosos, situados a menos de 40 km del citado poblado.

En Angualasto, sobre el río Blanco, se destaca la reciente obra civil de un puente vehicular que integra la ruta provincial N° 479 hacia Buena Esperanza y desde esta hacia Gualcamayo (Figura 2).

La Dirección Provincial de Vialidad lo terminó de construir a fines de 2018, con una longitud total de 100 metros en 4 tramos con vigas pretensadas. Hacia el norte, la situación de infraestructura civil en la región de Malimán es más redu-

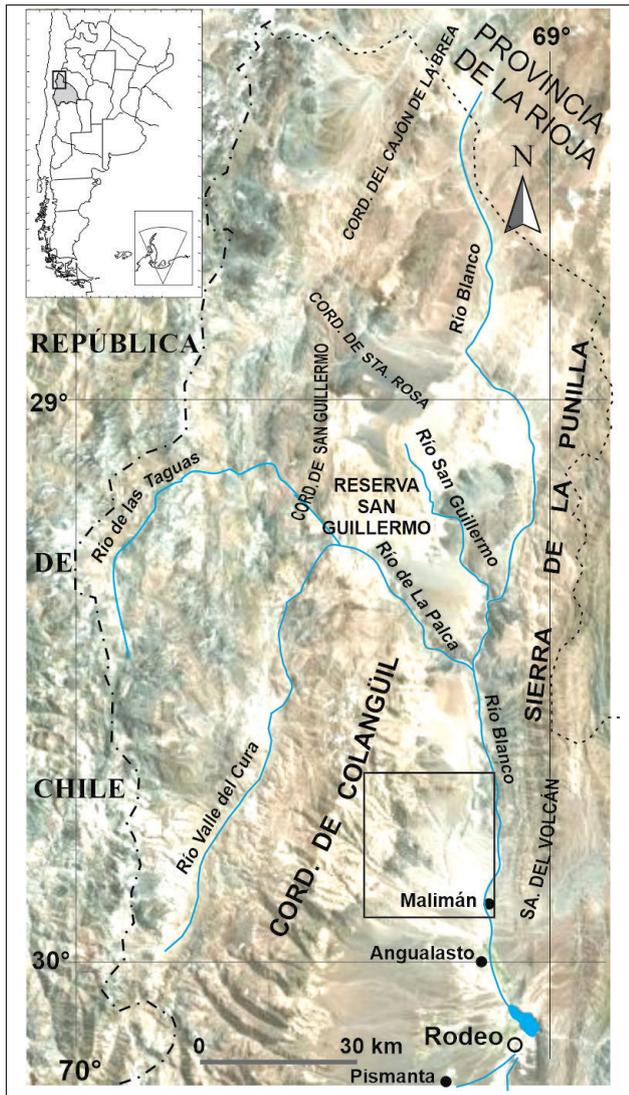


Figura 1. Ubicación de la zona de estudio en el norte de la provincia de San Juan

cida. Las conocidas defensas con enrocado u otro sistema, en los cauces de escorrentía, están ausentes o incompletas.

Además, es una zona con creciente actividad de personal que asiste, principalmente, a las faenas mineras de los proyectos José María, Filo del Sol y El Salado – Vicuña, en la cordillera Frontal y Gualcamayo, en la Precordillera. El tránsito terrestre, tanto de vehículos livianos como pesados, a partir de la localidad de Angualasto (Figura 1), ocurre en una geografía de valles angostos que se somete a la acción erosiva, producto de las crecidas hídricas durante el período estival.

### JUSTIFICACIÓN DEL ANÁLISIS DE RIESGO

La vulnerabilidad al proceso de precipitación-escurrimiento del asentamiento de Malimán, para un período de recurrencia de 50 años, es alta ante crecidas que puedan suceder en la cuenca del río Blanco como así también en la subcuenca del arroyo El Salado.

Además, surge la necesidad de contar con información hidrogeológica para identificar horizontes acuíferos, zonas de descarga y para la eventual provisión de agua subterránea para campamentos y obras civiles en una región con una red caminera que demandará una mayor provisión de ingeniería y logística. Lo expresado se sustenta en el inminente crecimiento de las citadas actividades en proyectos mineros, como también al considerar la alternativa de construcción de nuevas obras de transporte terrestre que toleren efectos tales como la erosión por las aguas de escorrentía, como así también la presión hidráulica de taludes de suelo en ambientes de permafrost.



Figura 2. a) tareas de construcción del puente sobre el río Blanco, entre Angualasto y Bella Esperanza. b) vista aguas abajo, con las obras de puente y empalme de la ruta provincial 479 finalizados.

## ANTECEDENTES

### Eventos de amenazas

#### Riesgo sísmico. Departamento Iglesia y demás zonas cordilleranas

Los eventos sísmicos que afectan la zona son de alto riesgo, ya sea por construcciones edificadas sin características antisísmicas como también por la presencia de afloramientos rocosos poco competentes y de baja estabilidad. Así como una amplia zona del sur y el norte de las provincias de San Juan y Mendoza, respectivamente, ha estado sometida a sismos de alta intensidad, del mismo modo ha ocurrido en el departamento Iglesia (Figura 3). Hay registros históricos de edificaciones que han colapsado por la actividad sísmica (Figura 4). A fines de 1894, época con actividad industrial

en Malimán, un sismo en el noroeste de la provincia de San Juan, de magnitud 7.5 en la escala Richter, provocó daños humanos y materiales (Figura 4). Se informaron seis víctimas para el departamento Iglesia (Tiempo de San Juan, 2014).

Otro evento de amenaza asociado es la licuefacción. Este fenómeno es uno de los efectos que acompañó a todos los terremotos ocurridos en nuestra región. Los depósitos holocenos de llanura aluvial, paleocanales y playa han sido la litología principalmente afectada por este fenómeno (Perrucca y Bastías, 2005). Las citadas unidades geomorfológicas pierden aún más su competencia material si tienen el nivel de agua freática a poca profundidad.

#### Registros de eventos de amenazas

Periódicamente, y previo a esta época de sequía, vinculado al fenómeno de la corriente de La Niña, ha habido

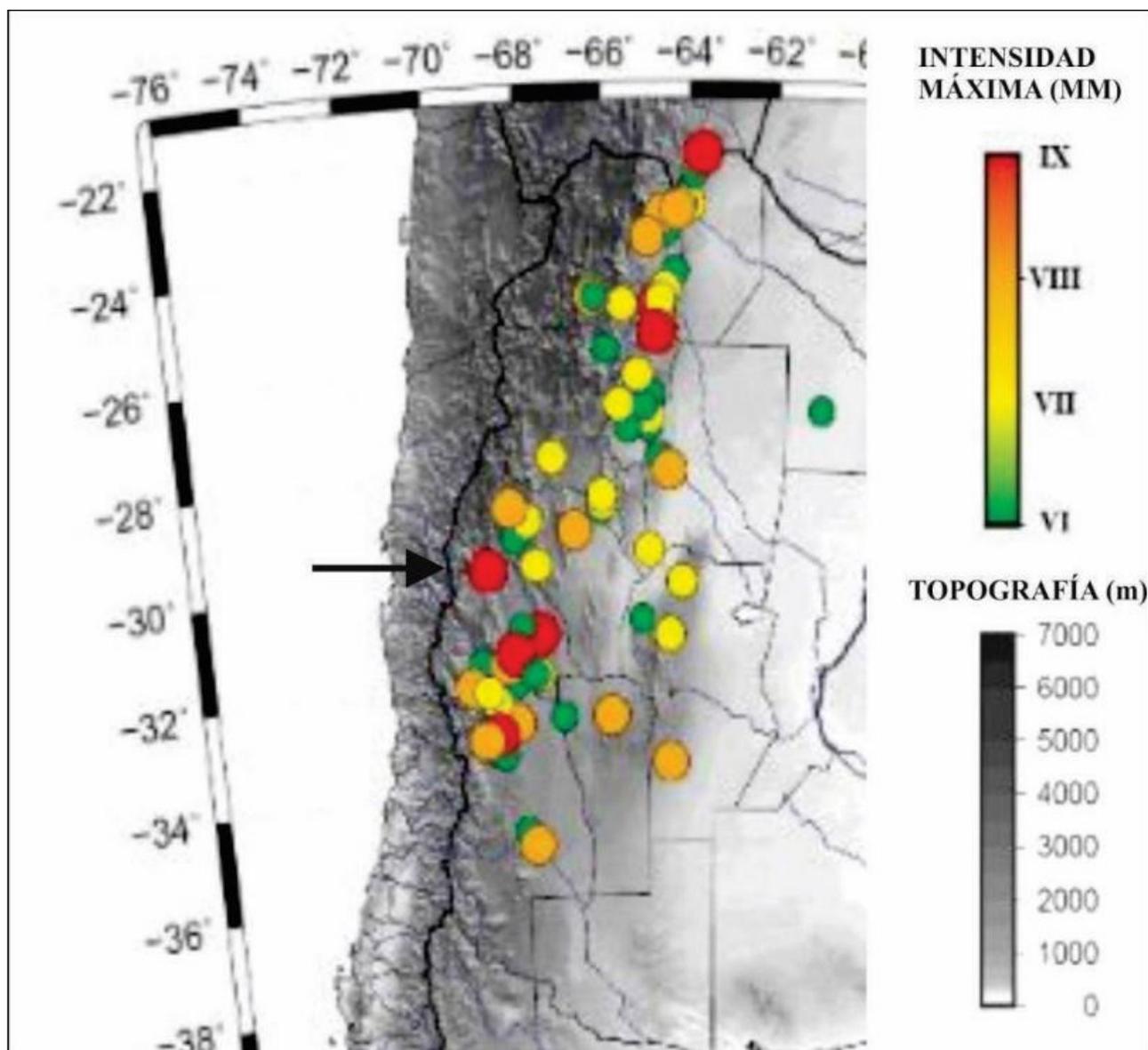


Figura 3. Mapa con la distribución histórica de sismos en el noroeste de Argentina, en el que se distingue una zona de alta intensidad para el departamento Iglesia <http://contenidos.inpres.gob.ar/sismologia/linkppal>



**Figura 4. Fotografía con el resultado del colapso de la planta de fundición de las minas de El Salado, luego del sismo del año 1894.**

eventos de crecidas en los departamentos cordilleranos de Iglesia y Calingasta. Este último presenta la mayor vulnerabilidad ante amenazas naturales, posiblemente debido a la mayor población dispersa en distintas localidades. Cabe citar que, debido a fuertes lluvias durante 2017, hubo una crecida que afectó a más de 15 familias de Barreal, en el departamento Calingasta. Para este departamento hubo una licitación pública del Gobierno de La Provincia de San Juan - Departamento de Hidráulica, durante el año 2013 y de la que no se confirmó su ejecución, con la denominación "Estudios hidrológicos, hidráulicos y fluvio-morfológicos en las cuencas del área de Calingasta. Provincia de San Juan, Argentina"

#### **Planificación hidrológica, manejo integrado de cuencas y balances hídricos**

##### *Manejo integrado de cuencas*

En resumen, se cita el trabajo en conjunto entre la Secretaría de Agua y Energía y el Ministerio de Minería para la instalación de estaciones de aforo, medición de calidad y cantidad de caudales. Otras acciones de este convenio son:

- Fortalecer el diseño de sistemas de información geográfica que identifiquen glaciares, humedales de altura, afluentes de cada cuenca, consumos existentes en la zona y la modificación en el tiempo de las áreas de nieve y agua.

- Se proyecta fortalecer los registros de la medición de las precipitaciones níveas, mediante nuevas estaciones que puedan instalarse en sitios claves de cada una de las cuencas

#### **Gestión institucional y comunitaria**

##### *Autogestión Comunitaria*

En junio de 2018 los ciudadanos de Iglesia presentaron las cuatro líneas estratégicas donde se encuadran 21 proyectos y 112 subproyectos. El objetivo general está dirigido al desarrollo productivo y turístico, preservando su identidad cultural, además se enfatizó sobre la importancia de conexión de esta región con el océano Pacífico.

*Plan Local. Acciones en curso de ejecución (Región norte de la provincia)*

Se encuentran en ejecución obras en Jáchal e Iglesia, fi-

nanciadas mediante fideicomisos mineros: “Fondos Fiduciarios de Infraestructura Proyecto Lama Pascua” y “Área de Reserva de Biosfera San Guillermo” (Empresa Barrick E.A.S.A. - Gobierno Provincial). Los montos de obra son compartidos con el fideicomiso del “Proyecto Gualcamayo” (Destino San Juan, 2020). Se citan obras hidráulicas programadas en Iglesia: se trata de trabajos vinculados a la red de riego del departamento. Las últimas obras aprobadas son construcción de tres pasantes (Distrito Malimán), reparación del Canal Colangüil y construcción de cuatro puentes sobre bajadas de crecientes (Distrito Colangüil).

## METODOLOGÍA

En el tiempo de programación del proyecto que originó la presente contribución científica, en noviembre 2019, se visitaron las localidades de Angualasto y Malimán. El propósito fue verificar el estado de los antiguos terrenos de acceso, situados entre el poblado de Malimán y el distrito minero El Salado, como así también entablar un primer diálogo institucional con pobladores de las citadas localidades.

Con el fin de preparar el mapa geológico (Figura 5) se consultaron imágenes satelitales Landsat 8, de libre acceso (United States Geological Survey). La aplicación bing.com fue suficiente para realizar las restantes láminas correspondientes a la zonificación de la subcuenca del río Salado y un sector del valle El Salado.

Con la finalidad de caracterizar *a priori* la subcuenca del arroyo El Salado, se definieron parámetros hidrometeorológicos desde una base de datos de precipitaciones en línea del Instituto Nacional del Agua (2020) y desde una escena satelital. Los parámetros principales son: perímetro, cotas, pendiente y longitud de la cuenca y precipitación media (Tabla 1); áreas de los sectores de cuenca, longitud de ejes, pendientes y caudal máximo de crecida (Tabla 2). Luego, al disponer de la citada información, se calculó el tiempo de concentración a partir de una precipitación.

Método climático: se basa tanto en la recopilación de información climática de la región como en la medición de parámetros físicos propios de la cuenca en consideración.

Método de campo para obtener el caudal instantáneo: consiste en seleccionar un segmento de cauce de escorrentía con una sección de aforo de fondo relativamente plano y con bordes paralelos entre sí, además, con una pendiente más o menos constante. Durante el procedimiento se dispone de un elemento flotador (con lastre que lo sumerja unas tres cuartas partes de la altura del mismo), se miden la longitud y la sección del tramo de cauce y los sucesivos tiempos de desplazamiento del flotador en ese segmento de cauce. Finalmente, se calcula el caudal:  $Q = V.A$  (Caudal = Velocidad. Área).

Mediante el empleo del software *ImageJ* (versión 1.53q), se realizó un conteo de la distribución relativa de los parches de alta y de baja cobertura de vegetación para cinco

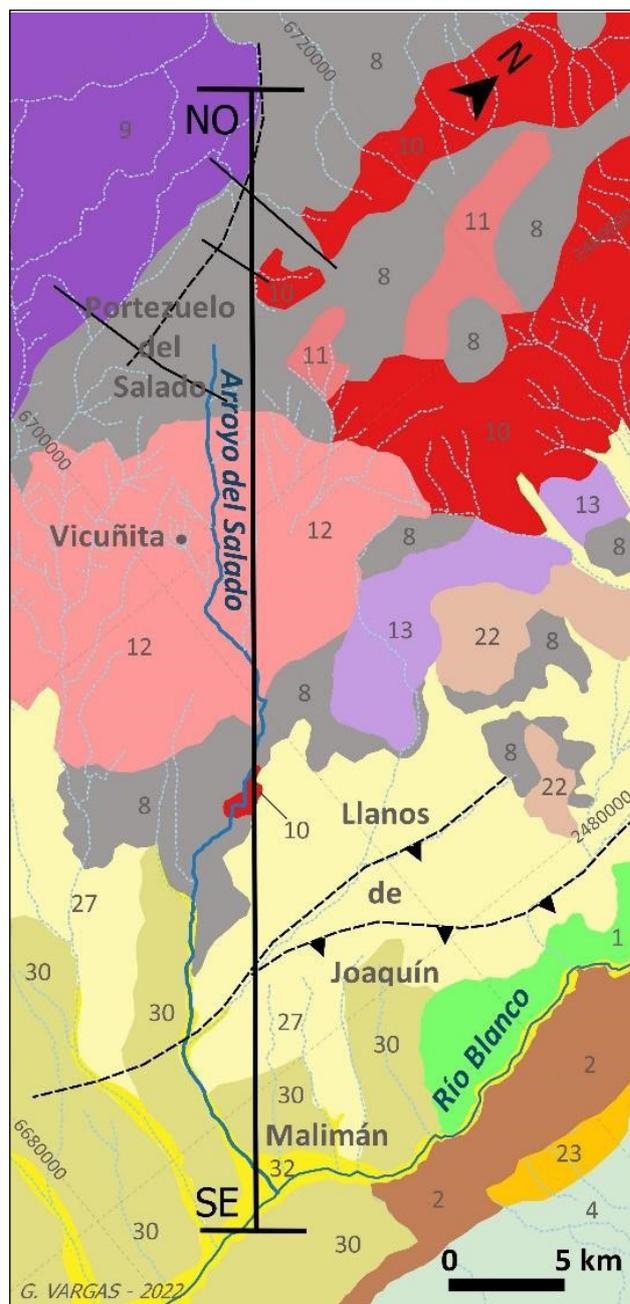


Figura 5. Geología del área de estudio (Tomado de Wetten et al. 2022)

tramos sucesivos del valle del arroyo El Salado.

## El Taller participativo

Luego de realizar un diagnóstico expeditivo del ambiente ecosistémico de la subcuenca El Salado y la zona de Malimán, resta programar a futuro una reunión con funcionarios del área de Obras y Servicios de la provincia. Esto permitiría, posiblemente, poner en conocimiento a las autoridades de aplicación sobre las amenazas hídricas consideradas en el estudio, sugerir acciones correctivas, comunicar e interactuar con instituciones y la comunidad local.

**Tabla 1. Parámetros físicos medidos en la sub-cuenca El Salado**

|  |                          |
|--|--------------------------|
| Perímetro:                             | 113 km                   |
| Cota de Malimán:                       | 1.771 m                  |
| Cota nacientes de Colangüil:           | 4.300 – 5.500 m          |
| Pendiente promedio:                    | 7,2 %                    |
| Longitud aproximada del eje de cuenca: | 40 km                    |
| PMD 50 años:                           | 87 mm = 3.43" (pulgadas) |

## MARCO GEOLÓGICO

### Geología regional – Geomorfología simplificada

La Cordillera de Colangüil (Figuras 1 y 5) se extiende en el ámbito de Cordillera Frontal. En esta unidad orográfica afloran sedimentitas de la formación Cerro Agua Negra, de edad carbonífero tardío y originada en ambientes marino y costero (Busquets et al., 2013). Esta formación fue deformada durante la fase Sanrafaélica del ciclo Gondwánico e intruida por plutones que integran el Batolito de Colangüil, de edad Pérmico-Triásico inferior (Polanski 1958, Llambías y Sato 1990).

El plutón Los Puentes se extiende ampliamente en el oeste del área de estudio, presenta variaciones faciales que constituyen microgranitos y granitos miarólfíticos; además contiene diques silíceos y máficos longitudinales (Castro, 1987). Intruye a la formación Cerro Agua Negra hacia el este, el sur y el oeste mediante contactos netos de geometría semicircular (Figuras 5 y 6), hacia el norte del área intruye a la Granodiorita Las Piedritas y a la Riolita Tres Quebradas y hacia el oeste afecta, además, a la secuencia volcánoclastica del Grupo Choyoi.

Al oeste y en el ámbito del Plutón Los Puentes, intruye el pórfido dacítico denominado Vicuña, de edad mioceno (1.3 Ma) [JICA-MMAJ, en Cardó et al. (2007)] (Figura 5) y que contiene mineralización de cobre diseminada. Los depósitos modernos se conforman por grandes unidades de bajada aluvial pedemontana y angostas llanuras de inundación.

Este sector de la Cordillera se caracteriza por una tectónica de bloques afectados por fallas de alto ángulo. Las principales fracturas regionales tienen rumbos NNE y NO. Fallas modernas, de orientación NE-SO, se ubican tanto en el borde oeste como así también hacia el centro de la depresión intermontana de Rodeo – Iglesia (Figura 6) (Wetten et al., 2022).

## CARACTERIZACIÓN ECOSISTÉMICA

### Flora y fauna

En San Juan existen dos dominios biogeográficos: en el oeste, el dominio andino, constituido por dos áreas o provincias biogeográficas bien diferenciadas por altitud: la altoandina y la andina puneña. El resto del territorio sanjuanino pertenece al dominio chaqueño.

**Tabla 2. Zonificación y parámetros físicos medidos en la subcuenca El Salado**

| SECTOR       | ÁREA  | LONGITUD EJE (km) | PENDIENTE % | CAUDAL PICO (m <sup>3</sup> /s) |
|--------------|---|-------------------|-------------|---------------------------------|
| A) Granitos  | 155 km <sup>2</sup> (59.7 mi <sup>2</sup> ; 15500ha)  | 19.100            | 12,87       | 59,1                            |
| B) Areniscas | 48,5 km <sup>2</sup> (17.7 mi <sup>2</sup> ; 4850 ha) | 10.800            | 7,03        | 11,23                           |
| C) Aluvión   | 197 km <sup>2</sup> (76.1 mi <sup>2</sup> ; 19700 ha) | 29.300            | 4,30        | 84,77                           |

En la región altoandina las condiciones sólo permiten el desarrollo de una vegetación variada pero pobre, comúnmente de tipo xerófila. Las especies más comunes son el coirón, jarilla, retama, pasto vicuña, cuerno, ademia, juncaáceas y gramíneas. También hay presencia de chachacoma, ajeno, tomillo, poposa, pastos punzantes y gran variedad de cactus [Servicio Informático Gobierno de San Juan (sisanjuan), 2019].

En la zona de alta montaña, con predominio del clima frío y seco, los mamíferos nativos identificados son: zorro colorado, zorro gris chico, gatos andinos y del pajonal, puma, hurón, ratones (nombres vernáculos andino, serrano), tutuquito, chinchillón, conejito del cerco, guanaco y vicuña. Entre los mamíferos introducidos cabe citar la liebre europea, ganado bovino y burro [Borghi y Giannoni (en Martínez Carretero, 2007)]. La fauna de aves, en este ambiente, está caracterizada por teros, chorlos, flamencos, patos, gallaretas, avutardas, agachonas, palomitas, vencejos, matamico andino, paseriformes, otras aves de distribución más amplia como el cóndor, jotes, lechuzas, el ñandú petiso, entre muchas otras [Ortiz y Borghi (en Martínez Carretero, 2007)]. El conocimiento de la diversidad de fauna de anfibios y reptiles es todavía escaso [Acosta, Villavicencio y Marinero (en Martínez Carretero, 2007)].

Climáticamente el área en estudio presenta alta variabilidad espacial en cuanto a la distribución de las lluvias. Hacia el oeste, de régimen mediterráneo, se registra una mayor incidencia de los frentes del Pacífico alcanzando los 400-500 mm/año principalmente como nieve o granizo (Hoffmann, 1975), mientras que, al este, con menores alturas, la influencia es atlántica en el verano y escasa del Pacífico en invierno, siendo una franja de tipo transicional con 200 mm/año.

### Geología y geomorfología

*Edafología [Corresponde al Plan Estratégico Departamental 2030 (sisanjuan, 2020)]*

### Suelos

Caracterización de los Suelos de Iglesia

Al igual que en el resto de la provincia, los suelos de Iglesia provienen de materiales aluviales y aluviales - coluviales, con la característica que se trata de suelos jóvenes,

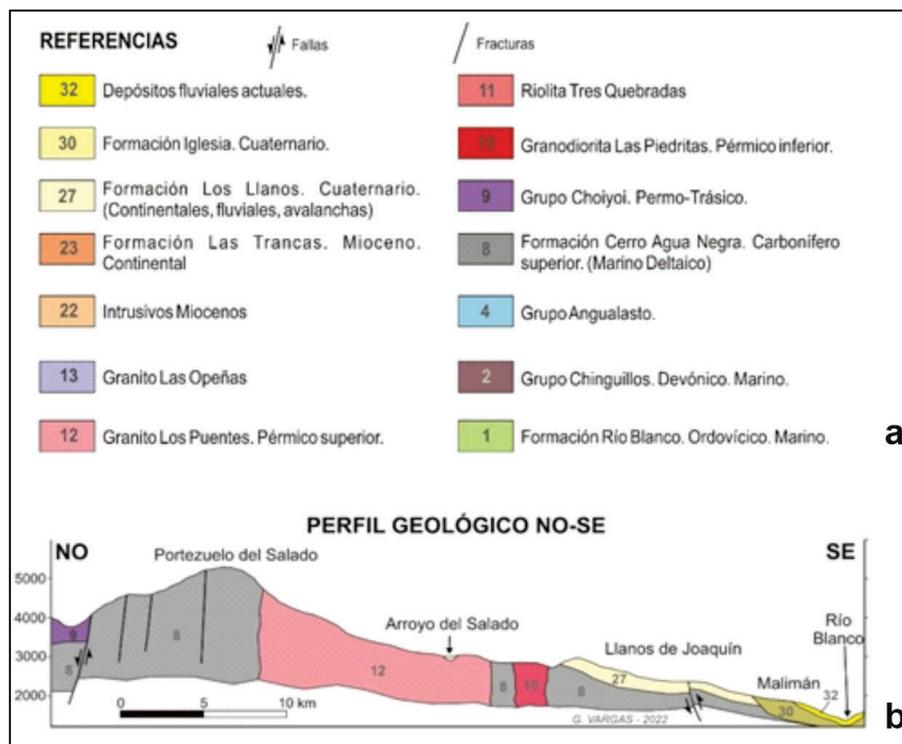


Figura 6. a) Referencias de planta y perfil. b) Perfil correspondiente a la traza NO – SE (Tomado de Wetten et al. 2022)

inmaduros, con escaso desarrollo de horizontes pedogenéticos. En la zona de alta montaña, pertenecen al régimen méxico-árido (Van Wambeke y Scoppa, 1976). Carecen de materia orgánica y no presentan diferenciación de horizontes, excepto en los llanos donde puede encontrarse un B cámbico, levemente estructurado, con depositación de carbonatos aproximadamente a los 0,5 m de profundidad.

En la figura 7 se muestra la ubicación espacial de los complejos y asociaciones de suelos en Iglesia y se describe cada uno de ellos. Es importante destacar que no existen cartas de suelos a escala de detalle o semidetalle, estos estudios son especialmente relevantes para una adecuada planificación del uso sustentable de los suelos teniendo en cuenta sus limitaciones y escasez.

Enli-6/R Corresponde a Torriortentes líticos con importantes afloramientos rocosos en laderas con pendiente (ENli-6) o superficie rocosa. Abarca el 60% de la superficie departamental. Son suelos que, debido a sus limitaciones por altas pendientes, muy baja capacidad de retención hídrica y nula fertilidad no ofrecen posibilidades reales de uso agropecuario.

ENtc-50 Asociación de Torriortentes y Torrifluventes en borde de playas. Se trata de los suelos donde se encuentra en la actualidad la infraestructura de riego y la casi totalidad de la superficie cultivada. Debido a su origen, es una asociación de suelos muy heterogénea, pero con pocas limitantes y buenas propiedades edáficas en términos generales.

ENtc-29 Asociación de Torriortentes Típicos con presencia de médanos. No presenta potencial para las actividades agrícolas.

ENtc-27 Corresponden a una asociación de Torriorten-

tes Típicos con pendientes suaves ubicados en los márgenes de los valles de Agua Blanca y Mondaca. Sus principales limitantes son el nivel de pedregosidad y las pendientes. No obstante, debido a su cercanía con la red de riego, y las posibilidades que ofrece la tecnología de riego presurizado hace que sean suelos con algún grado de potencial para el desarrollo de actividades agrícolas bajo riego.

ENtc-42 Se trata de una asociación de Torriortentes Típicos del Valle Aluvial sobre el piedemonte de la Cordillera de Colangüil. Sus principales limitantes son la pedregosidad y las pendientes.

Las limitaciones climáticas de la región afectan el aprovechamiento agrícola de los suelos de Iglesia, por lo cual, esa actividad sólo se realiza bajo riego integral utilizando agua superficial o subterránea.

#### Erosión de Suelos

El tipo de erosión predominante en general es de tipo fluvial como consecuencia de las precipitaciones torrenciales. Estos fenómenos, sumados a otros factores, como la resistencia mecánica de la roca, las pendientes y la escasa densidad de vegetación permiten que en prácticamente todo el departamento ocurran procesos erosivos de importancia.

#### Legislación vinculada al Área de Reserva Natural

San Guillermo está protegida legalmente desde varios frentes. Sobre ella rigen leyes provinciales, nacionales e internacionales, dada su división entre Reserva Provincial, Reserva Nacional y Reserva de Biósfera. Estas leyes apuntan a regular la actividad humana en la zona, buscando garantizar la preservación y conservación de la Reserva (Ministerio de Justicia y Derechos Humanos, 1999): Leyes No 3666 (1971), No 4.164 (1975), No 5.949 (1989), Decreto No 2164 (1972),

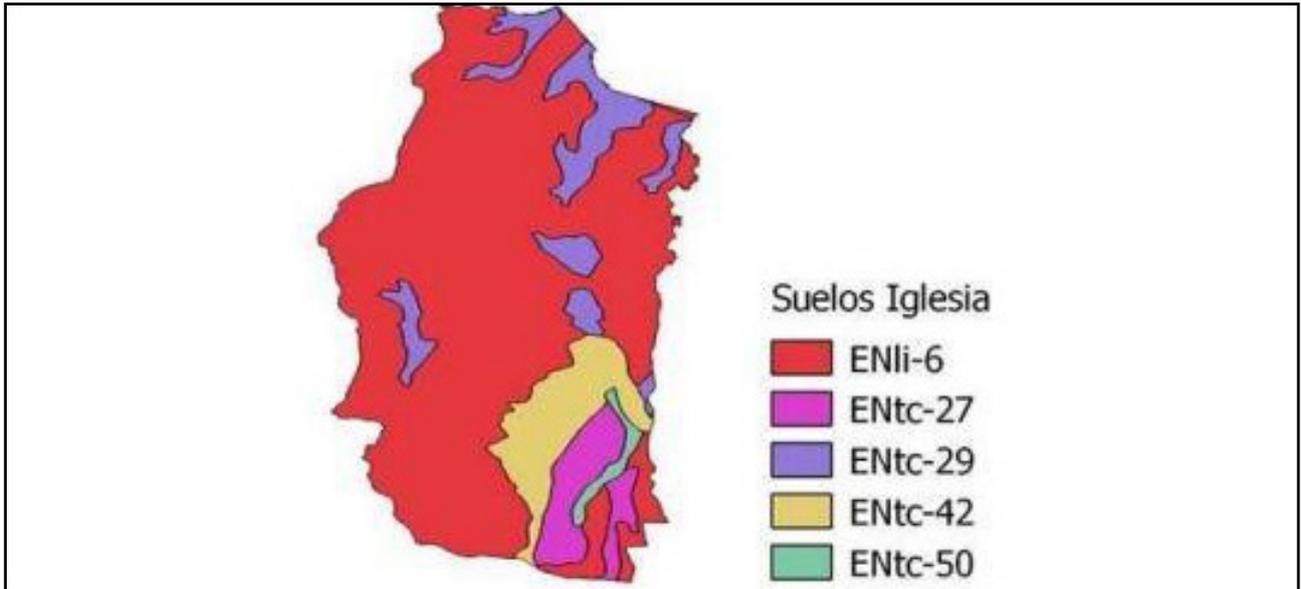


Figura 7. Suelos de Iglesia según Regairaz (1996)

Declaración RBSG, MAB UNESCO (1981), Ley Nacional No 25.077 (1997), Ley No 6.788 (1997)

Por otro lado, la actividad minera en la Argentina es la única actividad industrial que posee su propia reglamentación ambiental. Los emprendimientos de este tipo que se ubican aquí no están exentos de cumplir la citada legislación.

- Ley minera N.º 24.228 (1993)
- Ley minera N.º 24.585 (1995)

#### Sitios de valor histórico y cultural

##### Angualasto ("Agua del Alto")

Esta población se encuentra a 20 kilómetros al norte de Rodeo. Para dar una impronta autóctona y única, y con fines turísticos, en esta localidad se creó el circuito Puertas Pintadas con obras de arte realizadas por varios artistas sanjuaninos inspirados en la cultura ancestral del pueblo y como un homenaje a los pueblos originarios (sisanjuan, 2021)

El yacimiento arqueológico Angualasto integra el Qhapaq Ñan (Sistema Vial Andino), fue declarado Monumento Histórico, Sitio Histórico y Sitio Arqueológico, por Ley Provincial N.º 411-F. Por Decreto Nacional 2154/2009, se declaró Lugar Histórico Nacional su yacimiento arqueológico y Monumento Histórico Nacional a toda la aldea arqueológica de Angualasto.

##### Minas El Salado

Las minas de plata El Salado se ubican en la Cordillera de Colangüil, a 3500 msnm y en ambas márgenes del arroyo homónimo. Estas representan un gran valor histórico para la provincia, comenzaron a explotarse desde vetas en granito a fines del siglo XIX, con capitales británicos provenientes de la

industria petrolera, principalmente. Todas las herramientas y equipos fueron trasladados mediante huellas que debieron construirse simultáneamente, abriéndose paso en el valle iglesiano y luego transitando más de 30 km por el valle del arroyo El Salado. Sendas usinas hidroeléctricas se instalaron tanto en el yacimiento como también a orillas del río Blanco, en Malimán, y con lo cual se aseguraban generación eléctrica todo el año. Habitantes de la zona trabajaron las minas y pudieron capitalizarse para luego adquirir sus terruños. A comienzos del s.XX, en coincidencia con la desaparición del principal capitalista extranjero, el distrito cesó su producción (Benavidez de Albar Díaz, 2016).

A fines del s. XX, un ente nacional realizó estudios del mineral de las diferentes labores del distrito y compañías mineras iniciaron trabajos exploratorios en sectores aledaños al Salado y con características de pórfido cuprífero. Tareas exploratorias similares prosiguieron a partir del año 2022.

##### Reserva Natural San Guillermo. (Área natural protegida)

Esta reserva se sitúa en el norte del departamento Iglesia (Figura 8). En 1972, el gobierno de la provincia de San Juan declaró a San Guillermo como Reserva Provincial, estableciendo así el marco legal y regulatorio para la preservación de más de 980.000 hectáreas del altiplano sanjuanino. En 1980 se la declara Reserva de Biosfera, adquiriendo así su zonificación actual. En 1997, cuando la provincia cede 170.000 ha de la Zona Núcleo a la Administración de Parques Nacionales, la Reserva Provincial limita su jurisdicción a los territorios de las Zonas de Amortiguamiento y de Usos Múltiples. En este gran escenario natural habitan poblaciones importantes de *Vicugna vicugna*, *Lama guanicoe* y *Pterocnemia pennata*, especies que en diferentes grados tienen comprometida su conservación" (Martínez Carretero et al., 2007).

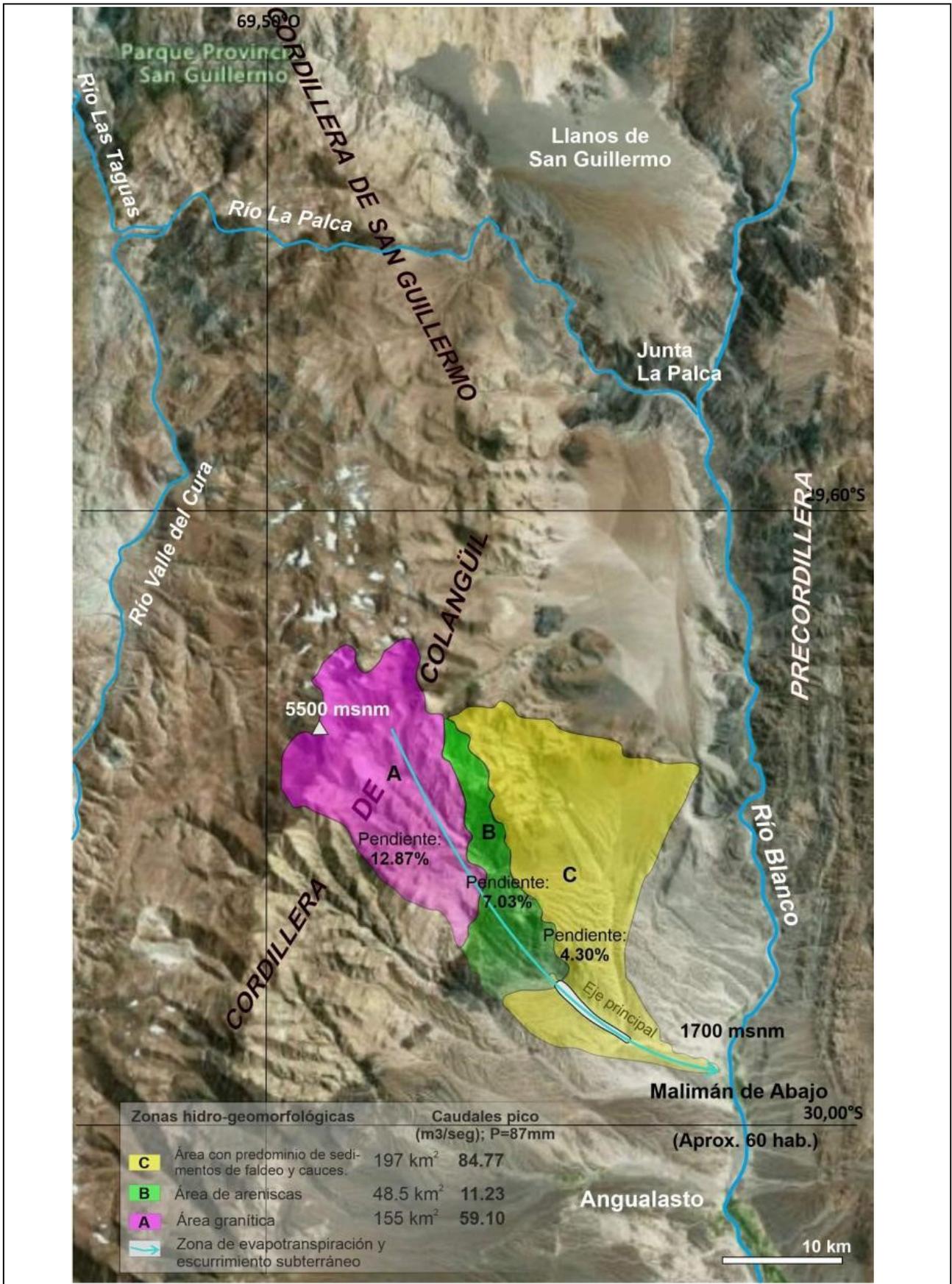


Figura 8. Imagen del norte de la provincia de San Juan. Al centro se exhiben la zonificación tentativa de la subcuenca del río Salado según tipos de suelo y los parámetros físicos principales (Tomado de Wetten et al. 2022).

## DIAGNÓSTICO GENERAL DEL ESTADO DEL ÁREA, PREVIO AL ESTUDIO

### Hidrología superficial

El ambiente de la Cordillera Frontal, el régimen de precipitaciones níveas ocurre comúnmente durante los meses de mayo a octubre, de intensidad variable, aunque como principal aporte al derrame. Además, complementan precipitaciones pluviales en las zonas de menor cota. En relación a la red hidrográfica que caracteriza la región cordillerana de interés, se incluyen aquí sólo los aspectos referidos a las cuencas provinciales citadas como Oeste y Centro (IDIH – UNSJ, 2001).

#### Cuenca Oeste

El Río de la Palca se forma por la unión de los ríos de las Taguas, de la Sal y el río del Valle del Cura (Figura 8). El río drena la parte centro – occidental de la cuenca del Jáchal y algunos estiman que su cuenca representa el 67% del área considerada como de aportes permanentes (INITEC 2000, en IDIH 2001).

#### Cuenca Centro

Aguas abajo de la junta de la Palca, el río Blanco continúa siempre hacia el sur receptando los caudales de los arroyos Tres Quebradas, Colangüil y Conconta, que bajan desde el Oeste y todos los arroyuelos temporarios aportados por la vertiente occidental de las serranías del Volcán y La Punilla (Figuras 1 y 8). En el embalse Cuesta del Viento confluyen, además del río Blanco, el arroyo Iglesia o Colola desde el sur (Figura 1). Posteriormente, el caudal erogado del embalse escurre en el cañón de Cuesta del Viento, hacia el este, para ensanchar su valle en la localidad de Jáchal.

## DIAGNÓSTICO HIDROLÓGICO Y ECOLÓGICO

### Factores naturales que afectan el escurrimiento (Cuenca de El Salado)

**Factores geomorfológicos:** En la región de estudio (Figuras 5, 6 y 7) las geoformas identificadas con mayor capacidad de modificar el escurrimiento, hacia un modo sub-superficial y subterráneo, corresponden principalmente a unidades de bajada pedemontana y llanuras de inundación (Figura 8, zona C).

**Interceptación:** Esta condición, dada por las hojas y tallos de la vegetación, ha sido observada cerca de la desembocadura de la cuenca, donde el suelo permeable del valle ha permitido el crecimiento de un monte con predominio de *Larrea divaricata* (jarilla), (*Bulnesia retama*) retamo y *proustia cuneifolia* (huañil).

**Relación entre precipitación y escurrimiento:** La falta de lagunas y sectores de encharcamiento, en esta región con pendiente mayor que el 3%, la capacidad de infiltración de las rocas es superada rápidamente, lo que favorece el proceso de escorrentía.

Cabe agregar que, tanto para el territorio provincial en general como también para la cuenca del río Blanco, las precipitaciones níveas han sido escasas (menor que un metro de altura) en estos años de sequía, no así las precipitaciones pluviales, las cuales han sido frecuentes en la época estival y, en varios casos, de más de 30 mm. El fenómeno El Niño/Oscilación del Sur, de periodicidad irregular, ha comenzado a afectar distintas regiones argentinas, el que se caracteriza por tormentas y fuertes lluvias y que también incidiría en la probabilidad de riesgo de inundación de la zona de estudio.

### Hidrometría

#### Parámetros físicos de la subcuenca El Salado

La precipitación máxima diaria (PMD) (INA 2020), para un período de cinco años, se proyecta a 47 mm en la región de Angualasto – Malimán. Esta posición geográfica constituye el límite occidental, en esta provincia, para la distribución de datos pluviométricos de la República Argentina. La mayor frecuencia e intensidad de lluvias ocurre entre enero y marzo. Los datos de escurrimiento superficial ante una tormenta que arroje una precipitación de 87 mm, para una recurrencia de 50 años, se refieren a la subcuenca identificada a la latitud de Malimán (Figuras 8, 9 y 10). Tanto el escurrimiento “Q” como el caudal pico fueron calculados a partir del método del Servicio de Conservación de Suelos de EE. UU (Actualmente NRCS). Los resultados que se exhiben corresponden a la sectorización de la subcuenca según las características del tipo de suelo y la densidad de vegetación.

**Tiempo de concentración:** Para estimar esta variable, es decir, el tiempo que demora en abandonar la cuenca el agua que precipita en su borde más alejado de la salida, se escogió el método de California Culverts Practice, desarrollado para pequeñas cuencas montañosas en California (Ven te Chow et al., 1994).

$$t_c = 60 (11,9L^3/H)^{0,385}$$

$$60 (11,9 * 22^3 \text{ millas}/8.956 \text{ pies})^{0,385} = 166,41 \text{ min}$$

L: longitud del curso principal (millas)  
H: desnivel entre el punto más alejado y el punto de salida (pies)

### Aplicación de los métodos de cálculo de caudales de crecida por sectores

**Método climático:** El caudal pico para cada sector de la subcuenca de El Salado se obtuvo mediante una zonificación (Tablas 2 y 3) a partir de las características hidro-geomorfológicas del terreno (A: granitos, B: areniscas, C: aluvión) (Figura 8). Para aplicar este criterio se emplearon distintos valores de “C” (coeficiente de escorrentía según el tipo de suelo).

**Método de campo para obtener el caudal instantáneo:** Previo a la época estival, el escurrimiento superficial del

arroyo El Salado se restringe a los tramos superior y medio de la cuenca. La medición realizada cerca de las nacientes, en noviembre 2021, arrojó una magnitud de caudal de aproximadamente  $0,25 \text{ m}^3/\text{s}$ .

**Tabla 3. Parámetros considerados para el cálculo de caudal por el método climático**

Caudal pico  $Q = C \cdot i / 24h \cdot A \cdot 10 / 360$  (ocurre en el tiempo  $t_c$ )

$i$  = Intensidad de lluvia  $T_c$  total =  $166,41 \text{ min} / 60 / 24 = 0,115$  días; 360 = corrección u. tiempo

$C$  = coeficiente de escorrentía  $A$  = área  $10$  = corrección  $ha / \text{m}^2 - \text{mm} / \text{m}$

A)  $t_c = 60 (11,9 L_1^3 / H)^{0,385} = 60 (11,9 * 11,873 / 4225)^{0,385} = 108,96 \text{ min} = 0,076$  días

$Q_A = C \cdot i / 24h \cdot A / 360 = 0,5 * 87 \text{ mm} / \text{día} * (0,076) \text{ día} / 24h * 15.500 * 10 = 21.250,8 / 360 = 59,1 \text{ m}^3/\text{s}$

B)  $t_c = 60 (11,9 L_2^3 / H)^{0,385} = 60 (11,9 * 6,71^3 / 2788,7)^{0,385} = 66,16 \text{ min} = 0,046$  días

$Q_B = C \cdot i / 24h \cdot A / 360 = 0,5 * 87 \text{ mm} / \text{día} * (0,046) \text{ día} / 24h * 4.850 * 10 = 4.043,69 / 360 = 11,23 \text{ m}^3/\text{s}$

C)  $t_c = 60 (11,9 L_3^3 / H)^{0,385} = 60 (11,9 * 18,21^3 / 1.837,3)^{0,385} = 246,14 \text{ min} = 0,171$  días

$Q_C = C \cdot i / 24h \cdot A / 360 = 0,25 * 87 \text{ mm} / \text{día} * (0,171) \text{ día} / 24h * 19.700 * 10 = 30.516,7 / 360 = 84,77 \text{ m}^3/\text{s}$

**QA+B+C = 155,10  $\text{m}^3/\text{s}$**

### Interacción Vegetación-Precipitación-Escurrimiento Hídrico

El relleno del valle del arroyo El Salado presenta un predominio de gravas y bloques con matriz arenosa. La flora exhibe una distribución a modo de ecosistemas de mosaico, donde se aprecian dos tipos de parches de vegetación, el primero, donde predominan la jarilla y el retamo y el segundo, de menor cobertura, de matorral de *Proustia cuneifolia* o *mendocina* (huañil), siendo el tipo funcional de planta "freatófito" el principal de cada parche (Wetten et al. 2022). Esta estructura de dos fases ha sido citada para los ecosistemas áridos (Aguiar y Sala, 1999). Jarilla y huañil se caracterizan por generar ascenso hidráulico (Bonvissuto y Busso, 2006; Muñoz et al., 2008), es decir mediante diferencias de potencial de agua del suelo pueden trasladar la humedad del suelo desde las capas más profundas hacia las más superficiales. Para otra región desértica (Norte de Chile) pudo establecerse, a partir de la medición de potenciales hídricos del suelo, que las especies de: *P. chilensis*, *P. cuneifolia* y *A. bedwellii* constituyen elevadores hidráulicos y, además, dicha flora estaría en equilibrio con una precipitación superior a los 100 mm (Muñoz et al., op. cit.).

La distribución de los parches de vegetación medida en la llanura aluvial del área de estudio, semejante a puntos dispersos aleatoriamente en el terreno, corresponde a la denominada distribución de leopardo o spot (Aguiar y Sala, op. cit.), la cual favorece una mayor infiltración de agua. En la citada unidad se ha reconocido un segmento de vegetación, correspondiente a *P. cuneifolia* (Figura 9). Los procesos asociados con este patrón de vegetación, en los casos de alta cobertura, son: alta infiltración, bajo escurrimiento, baja evaporación desde el suelo y baja erosión por viento y agua (Aguiar y Sala, Op. cit.).

La relación de cobertura, medida entre estas fases (Tabla 4), es más o menos proporcional a la superficie húmeda del lecho del valle y a los segmentos de cauce con el agua freática a baja profundidad (Figura 10). Cabe agregar que, para dicho tramo de la cuenca, la mayor parte del año el escurrimiento superficial es parcial o intermitente. Posiblemente, y en cuanto al comportamiento hídrico, el diseño del mosaico de la vegetación sugiere la ausencia de crecidas hídricas frecuentes. El modelo conceptual pulso-reserva demuestra que la productividad de la flora en desiertos no es una respuesta directa a las lluvias sino a la disponibilidad de agua en el suelo (Reynolds et al., 2004). Cabe agregar, en el tramo de valle muestreado, la ausencia de tránsito animal y de pastoreo, lo cual reduciría la permeabilidad del terreno en las zonas inter-parches, por compactación.

### DIAGNÓSTICO ECONÓMICO

Casi el 30 por ciento de la superficie cultivada del departamento Iglesia está dedicado a explotaciones forestales, le siguen en importancia, en cuanto a cantidad de hectáreas, las pasturas y las semillas (ajo, poroto, lechuga, cebolla, arveja).

Otra actividad para destacar en el departamento es la minería. Esta se orienta a los minerales metalíferos y, de modo ocasional, a los industriales. Se destaca el yacimiento Veladero (Au), de MAGSA-Shandong, actualmente en producción. Cabe citar proyectos mineros en la etapa de exploración final y estudio de factibilidad de ingeniería, como Filo del Sol y José María - Grupo Lundin, ambos de cobre. El complejo sistema tributario de estos emprendimientos incluye tanto al departamento como a la provincia.

De la experiencia de campo del equipo de investigación que recorrió la zona y estableció contacto con pobladores originarios y algunos recién arribados, ha quedado reflejado que la mayoría de los habitantes desarrolla actividades económicas primarias que dependen del uso del suelo, principalmente cultivos de forrajeras además de la cría de ganado caprino y bovino. Otros, intervienen en los servicios públicos como enseñanza de nivel primario, mantenimiento de la toma de agua y en la Dirección Provincial de Vialidad. Las obras de inversión privada, en el presente, son acotadas y se enfocan principalmente al turismo, mediante paradores con asistencia para actividades deportivas en el dique Cues-

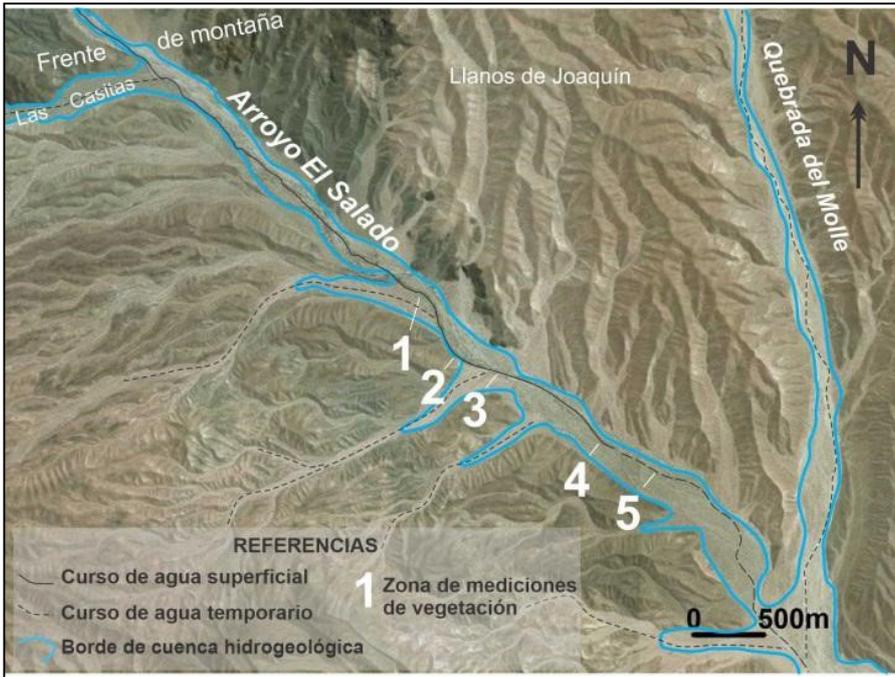


Figura 9. Identificación de tramos de cauce para mediciones de la vegetación en el valle El Salado

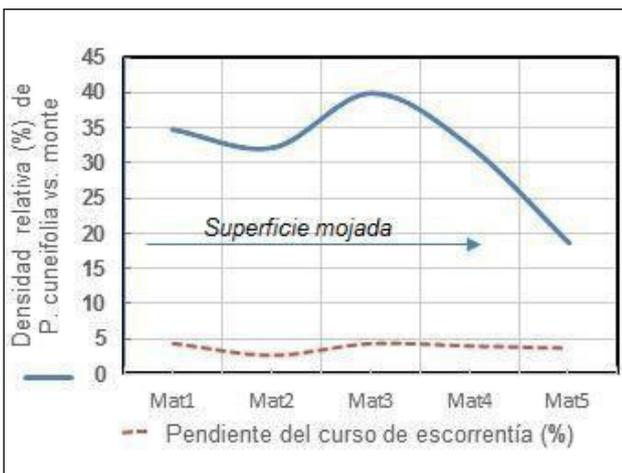


Figura 10. Distribución relativa de la fase *P. cuneifolia* en relación con la superficie húmeda del cauce.

ta del Viento y hospedajes en distintas localidades, incluidas Angualasto y El Chinguillo (último punto poblado camino a San Guillermo). Estos brindan servicios en edificaciones pequeñas, de características no seriadas, donde la arquitectura esta desvinculada de la estandarización. Por último, cabe agregar que se desconoce un registro oficial de los prestadores, además de no tener presencia en las páginas web.

## RESULTADOS DEL DIAGNÓSTICO DE RIESGO AMBIENTAL LOCAL

La red de drenaje (Río Blanco – El Salado) se exhibe sobre distintos tipos de unidades litogeológicas. En las proximidades de los centros poblados se distribuyen las unidades geomorfológicas, de edad Cuaternario, de bajada pedemontana de la Formación Iglesia y de llanura aluvial (Figuras 5 y 6). Esta última unidad, conformada no sólo por gravas sino también por niveles edáficos de Torrifluentes, recibe con mayor magnitud de módulo hídrico los escurrimientos permanentes como también los de crecidas. Sin embargo, a pesar de que involucra un factor importante de riesgo natural, resulta ser la geoforma preferida y la más accesible para las actividades antrópicas mientras que la bajada pedemontana, menos vulnerable, sólo es aprovechada para ciertos segmentos de traza vial. Con el reconocimiento de la morfología de la cuenca, sumado al mapeo geológico – hidrológico y el cálculo realizado para probables precipitaciones de alta intensidad, en lo inmediato resulta necesario proteger los recursos humanos de la zona de Malimán y los bienes de uso habitual, mediante la relocalización de los mismos desde las bases de valles (unidades de terraza y llanura aluvial) hacia terrenos menos vulnerables de pedimento.

Tabla 4. Medición de coberturas relativas de la vegetación, a partir de imageJ.

| Slice | Total Area (m <sup>2</sup> ) | Average Size (m) | % Area | Relación matorral / vegetación | Pend. |
|-------|------------------------------|------------------|--------|--------------------------------|-------|
| Mat1  | 751,09                       | 2,41             | 5,14   | 34,69                          | 4,33  |
| Mat2  | 981,40                       | 2,40             | 4,81   | 32,19                          | 2,67  |
| Mat3  | 271,48                       | 4,18             | 5,12   | 39,94                          | 4,33  |
| Mat4  | 588,53                       | 2,00             | 3,11   | 32,33                          | 4,00  |
| Mat5  | 914,14                       | 2,00             | 2,41   | 18,62                          | 3,67  |

## CONCLUSIONES

Tanto el asentamiento poblacional como las vías de comunicación terrestre de la zona de estudio se hallan expuestos a distintos factores de riesgos naturales. En el caso del riesgo hídrico, se determinó que, ante una precipitación pluvial de alta intensidad, la subcuenca El Salado erogaría un caudal extraordinario por encima de los 150 m<sup>3</sup>/s. En respuesta a un evento como el citado, el tiempo de concentración calculado por el método de *California Culverts Practice*, fue de 166,41 minutos.

Cabe agregar, como recomendación para el Ministerio de Infraestructura, Agua y Energía de la provincia de San Juan, considerar el diseño y ejecución de las correspondientes obras de contención hidráulica, para reducir los efectos de los riesgos naturales por crecidas hídricas.

Las características enunciadas de área de montaña, alta pendiente de sus valles y clima árido, este último eventualmente sometido a los efectos del fenómeno meteorológico El Niño, constituyen una de las situaciones de alto riesgo en el sitio de actividades comunales de la población Malimán, la que se sitúa en la confluencia del arroyo El Salado con el río Blanco. Otra situación de alto riesgo es la sismicidad, la que ya provocó daños humanos y materiales, y que también puede afectar la estabilidad de las unidades holocenas de grano fino. Esto conduciría a regirse, en la zona en consideración, por las normas de edificación incluidas en la Resolución N.º 5580 del ex - H. Consejo de Reconstrucción de San Juan.

En cuanto a la evaluación cualitativa del recurso hídrico subterráneo, cabe señalar que el parche de vegetación

observado de huañil (*P. cuneifolia*) exhibe su adaptación a la unidad geomorfológica de llanura aluvial, con pendiente igual o menor a 4%, suelo de buen drenaje, de permeabilidad media a alta y horizonte acuífero de poca profundidad. Con este escenario, las condiciones de soporte natural para la cobertura de esta flora podrían definir un indicador propio para orientar futuras exploraciones hidrogeológicas.

## CONTRIBUCIÓN DE AUTORÍA

La redacción, revisión y edición del manuscrito final estuvieron a cargo del autor del artículo.

## DECLARACIÓN DE CONFLICTOS DE INTERESES

El Autor declara que no existe algún conflicto de interés

## FINANCIAMIENTO

El reconocimiento del terreno y la obtención de datos en la zona de estudio se realizaron en el marco del proyecto CICITCA 2020-2021, código 80020190100131SJ, denominada "Mineralización, características geotécnicas e hidrológicas del extremo norte del plutón Los Puentes y zonas de influencia hídrica. Departamento Iglesia, provincia de San Juan". También se recorrieron Angualasto y Malimán con recursos propios.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguiar, Martín R. and Sala, Osvaldo E. (1999). Patch structure, dynamics and implications for the functioning of arid ecosystems. *TREE* vol. 14, no. 7 July 1999
- Benavidez de Albar Díaz, M. (2016). Oro y plata en la historia minera de San Juan. Editorial UNSJ. ISBN 978-987-3984-22-8.
- Bonvissuto, G.L. y Busso, C.A. (2006). Ascenso hidráulico en y entre isletas de vegetación en la zona árida de Argentina. *φYTON, Revista Internacional de Botánica experimental* 75: 55-70.
- Busquets, P., Méndez-Bedia, I., Gallastegui G., Colombo, F., Cardó, R., Limarino O., Heredia N. and Césari, S. N. (2013). The relationship between carbonate facies, volcanic rocks, and plant remains in a late Paleozoic lacustrine system (San Ignacio Fm, Frontal Cordillera, San Juan province, Argentina). *International Journal of Earth Sciences (Geol Rundsch)* 102:1271–1287.
- Cardó, R., I. Díaz, S. Poma, V. Litvak, G. Santamaría y Limarino, O. (2007). Hoja Geológica 2969-III Malimán, Provincia de San Juan, a escala 1: 250.000. Instituto de Geología y Recursos Minerales, SEGEMAR, Boletín 320, 52 pág., Buenos Aires.
- Castro, C. E. (1987). El batolito de Colangüil entre las quebradas de la Pancha (30º latitud sur) y Agua Blanca (30º 16' latitud sur). Geología y mineralización asociada. San Juan. *Actas 10º Congreso Geológico Argentino*, 4: 100 - 103. S. M. de Tucumán.
- Destino San Juan (2020). <https://mineriaydesarrollo.com/2020/08/03/fideicomisos-en-san-juan-que-se-hizo-y-se-hara-con-fondos-mineros/>

- Hoffman, J.A.J. (1975). Atlas climático de América del Sur, 1ra parte, Temperatura y Precipitación. UNESCO-OMN. Cartografía Budapest, Ginebra.
- INPRES (2023). Registros históricos. <http://contenidos.inpres.gob.ar/sismologia/linkppal>
- Instituto de Investigaciones Hidráulicas, UNSJ. (2001). Análisis de los impactos sociales, económicos, culturales y ambientales de la minería. Informe 3. Proyecto PASMA - Desarrollo Sustentable. Componente Ambiental San Juan. Inédito.
- Instituto Nacional del Agua (2020). Mapas en línea de lluvias máximas diarias con recurrencia asociadas (PMD) y valor límite estimado para la República Argentina. Consultado el 7 de agosto de 2020.
- Llambías, E.J. y Sato, A.M. (1990). El Batolito de Colangüil (29-31°S), Cordillera Frontal de Argentina; estructura y marco tectónico. *Revista Geológica de Chile*, vol. 17, No. 1, 89-108. Servicio Nacional de Geología y Minería. Santiago, Chile.
- Martínez Carretero, Eduardo (Ed.), (2007). Diversidad biológica y Cultural de los Altos Andes Centrales de Argentina. Línea de base de la reserva de biósfera San Guillermo - San Juan. Martínez Carretero, E. editor, 1a ed. San Juan; Univ. Nacional de San Juan. 284 p. 26x19 cm. ISBN 978-950-605-528-8
- Mesa Permanente de la Gestión Integrada del Agua (2023). Gobierno de San Juan. <https://hidraulica.sanjuan.gob.ar/normativas/lineamientos.php>
- Ministerio de Justicia y Derechos Humanos-Presidencia de la Nación (1999). Convenios
- Muñoz M.R., Squeo, F.A., Leon M.F., Tracol, Y. and Gutierrez, J.R. (2008). Hydraulic lift in three shrub species from the Chilean coastal desert. *Journal of Arid Environments* 72 (2008) 624–632.
- NRCS, “National Engineering Handbook Hydrology Chapters” (2015), (En línea). Recuperado el 8 de junio de 2022. Disponible en: <http://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detailfull/>
- Perucca, P. L. y Bastías H. E. (2005). El Terremoto Argentino de 1894: Fenómenos de Licuefacción asociados a Sismos. En: Aceñolaza F. G. et al. (Eds.) INSUGEO, Serie Correlación Geológica, 19: 55-70. Tucumán. IBSN 1514-4186 - ISSN on-line 1666-9479
- Polanski, J. (1958). El bloque variscico de la Cordillera Frontal de Mendoza. Asociación Geológica Argentina, Revista 12 (3): 165-196. Buenos Aires.
- Regairaz, M. C. (1996). Clasificación Taxonómica de Suelos; San Juan. Inventario de Recursos de La Región Andina Argentina. Junta de Andalucía, Gobiernos y Universidades de la Región Andina.
- Reynolds, James F., Paul R. Kemp, Kiona Ogle and Roberto J. Fernández (2004). Modifying the ‘pulse–reserve’ paradigm for deserts of North America: precipitation pulses, soil water, and plant responses. *Oecologia* (2004) 141: 194–210 - DOI 10.1007/s00442-004-1524-4
- Servicio Informático Gobierno de San Juan. <https://sisanjuan.gob.ar/interes-general/2019-10-15/18050-san-juan-y-su-varia-da-flora-autoctona>
- Servicio Informático Gobierno de San Juan. Obtenido el 5/10/2020. <https://sisanjuan.gob.ar/planificacion-e-infraestructura>.
- Servicio Informático Gobierno de San Juan, Turismo y Cultura, (2021). <https://sisanjuan.gob.ar/turismo-y-cultura/2021-05-14/31968>
- Tiempo de San Juan (2014). [tiempodesanjuan.com/terremoto-1894-68612.html](http://tiempodesanjuan.com/terremoto-1894-68612.html) [www.todo-argentina.net](http://www.todo-argentina.net)
- United States Geological Survey. *Earth Explorer*. Obtención de Imágenes Satelitales de descarga gratuita <https://earthexplorer.usgs.gov/>
- Van Wambeke, AR and CO Scoppa. (1976). Las taxas climáticas de los suelos argentinos (Determinación de las definiciones del Soil Taxonomy, utilizando el modelo matemático de Newhall y computación Fortran). *Revista de Investigaciones Agropecuaria (RIA-INTA)*. Serie 3: Clima y Suelos XIII 1: 7-39.
- Vente Chow, Maidment, David R. and Mays, Larry W. (1994). Hidrología Aplicada. Ed McGraw Hill (1Ed).
- Wetten, Aníbal. F., Vargas Luna, Germán y Wetten, Paula A. (2022). Características hídricas de una cuenca de alta montaña y aptitudes de la vegetación como mecanismo de ascenso hidráulico. Departamento Iglesia, provincia de San Juan. XI Congreso Argentino de Hidrogeología. Bahía Blanca, Argentina.