

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN JUAN

FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS, FÍSICAS Y NATURALES

DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

Trabajo Final de Licenciatura en Ciencias Geológicas

"EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL DE UN SECTOR DEL RÍO SAN JUAN: CASO DE ESTUDIO, PASIVOS AMBIENTALES DE ANTIGUAS SULFATERAS EN EL DEPARTAMENTO DE CALINGASTA, SAN JUAN, ARGENTINA"

RAÚL FERNANDO FLORES

Asesor: Lic. Gonzalo Villegas

Coasesora: Dra. Ma Alejandra Pittaluga

AÑO: 2024

AGRADECIMIENTOS:

Mi más profundo agradecimiento a mi Asesor Lic. Gonzalo Villegas y Coasesora Dra. María Alejandra Pittaluga, por su apoyo, predisposición y su dirección académica llena de sabiduría y estímulo, fundamentales para dar forma a este trabajo.

A la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, profesores y demás personas que la integran por ser una guía en el crecimiento académico y fomentar el desarrollo de un espíritu crítico.

A los miembros del jurado, Dr. Daniel Flores, Lic. Gustavo Pezzani y Lic. Gerardo Cabrera, por su tiempo, dedicación y sus valiosas observaciones que han enriquecido este trabajo.

A mis padres que siempre me enseñaron el valor del esfuerzo y la perseverancia. Su apoyo fue incondicional en este camino.

A mi novia quien fue un pilar fundamental durante todo este proceso, y por todos sus aportes en este trabajo.

A mis compañeros por haber compartido días de estudio, viajes de campo, y demás vivencias.

ÍNDICE

RESUMEN ---- 1
CAPÍTULO 1 ---- 2
1. INTRODUCCIÓN ---- 2
1.1. Motivos ---- 2
1.2. Objetivos ---- 2
1.3. Ubicación y vías de acceso ---- 2
1.4. Metodología de trabajo ---- 3
1.4.1. Tareas de gabinete previas ---- 3
1.4.1.1. Recopilación y evaluación de antecedentes ---- 3
1.4.1.2. Fotointerpretación y procesamiento de imágenes satelitales ---- 4
1.4.2. Tareas de campo ---- 4
CAPÍTULO 2 ---- 7
2. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL AMBIENTE ---- 7
2.1. Superficie a utilizar ---- 7
2.2. Geología Regional ---- 11
2.2.1. Marco Estratigráfico ---- 11
2.2.2. Marco Estructural ---- 13
2.2.3. Mineralización del sulfato de aluminio y magnesio ---- 13
2.3. Geomorfología ---- 14
2.3.1. Unidades Naturales ---- 14
2.3.1.1. Unidad Montañosa ---- 14
2.3.1.2. Unidad de Transición ---- 14
2.3.1.3. Unidad Deprimida ---- 15
2.3.2. Unidad Antrópica ---- 15
2.4. Orografía ---- 17
2.5. Clima ---- 17
2.6. Hidrografía ---- 18
2.6.1. Descripción de la subcuenca del río Castaño ---- 19
2.6.2. Descripción de la subcuenca del río Calingasta ---- 19
2.6.3. Descripción de la subcuenca del río de la cordillera Ansilta ---- 19
2.6.4. Descripción del sistema hídrico del río San Juan ---- 19
2.7. Suelos ---- 20
2.8. Flora y Fauna ---- 21
2.9. Identificación de áreas protegidas ---- 21
2.10. Población ---- 22
2.11. Centro médico más cercano al área evaluada ---- 23
2.12. Economía Local ---- 23

2.12.1.Agricultura y Ganadería ---- 23
2.12.2.Minería ---- 23
2.12.3.Servicios Generales ---- 25
2.12.4.Turismo ---- 25
2.12.5.Sitios de valor histórico, cultural, arqueológico y paleontológico ---- 26
CAPÍTULO 3 ---- 28
3. DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD MINERA ---- 28
3.1. Descripción general del sulfato de Aluminio de Calingasta ---- 28
3.2. Principales usos y proceso de obtención del sulfato de Aluminio ---- 28
3.3. Consumo energético y mano de obra ---- 30
3.4. Plan de Remediación ---- 32
CAPÍTULO 4 ---- 34
4. DESCRIPCIÓN DE LOS RIESGOS GEOLÓGICOS ---- 34
4.1. Descripción de los principales procesos geodinámicos ---- 34
4.2. Mapa de susceptibilidad ---- 38
4.2.1. Aspectos conceptuales preliminares ---- 38
4.2.2. Elaboración de mapa de susceptibilidad ---- 40
CAPÍTULO 5 ---- 50
5. DESCRIPCIÓN DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES ---- 50
5.1. Medio Físico ---- 50
5.2. Medio Biótico ---- 53
5.3. Medio Perceptual ---- 54
5.4. Medio Socioeconómico ---- 55
CAPÍTULO 6 ---- 56
6. METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL ---- 56
6.1. Aspectos preliminares ---- 56
6.2. Resultados ---- 58
6.2.1. Parámetros físico-químicos ---- 58
6.2.2. Muestras hidroquímicas de agua ---- 59
6.2.3. Hidroquímica del río San Juan ---- 64
6.3. Matriz De Leopold ---- 69
6.3.1. Aspectos conceptuales ---- 69
6.3.2. Elaboración de Matriz ---- 70
6.4. Normativa General ---- 72
6.4.1. Ley de Protección Ambiental para la Actividad Minera 24.585 ---- 72
6.4.2. Constitución Nacional ---- 73
6.4.3. Ley General del Ambiente Nº 25.675 ---- 74
CAPÍTULO 7 ---- 77

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES ---- 77
7.1. Conclusiones ---- 77
7.2. Recomendaciones ---- 77
CAPÍTULO 8 ---- 79
8. ANEXOS ---- 79
ANEXO I: Caudal del río San Juan ---- 79
ANEXO II: Resultados de análisis hidroquímico ---- 80
CAPÍTULO 9 ---- 81
9. BIBLIOGRAFÍA ---- 81

RESUMEN

Este trabajo final de Licenciatura en Ciencias Geológicas tiene como objetivo evaluar el impacto ambiental producido por la generación de los Pasivos Ambientales Mineros (PAM) de antiguas sulfateras, los cuales se sitúan en el margen sur del río San Juan y sobre la ladera occidental de la Sierra del Tontal en el departamento de Calingasta, San Juan. Esta investigación permitirá determinar la intensidad de los daños sobre los distintos factores ambientales (agua, suelo, geomorfología, flora y fauna).

En este trabajo se adopta el formato establecido por la ley de Protección Ambiental para la Actividad Minera 24.585 correspondiente a la Normativa Complementaria Presupuestos Mínimos, De La Metodología de Elaboración de Informe de Impacto Ambiental (art. 6).

Con el fin de realizar un análisis integral del área de estudio se efectuó una investigación bibliográfica, digitalización e interpretación de imágenes satelitales para identificar litologías, pendientes, relieves, unidades morfoestructurales, etc. Además, con el software QGIS 3.28.11 se confeccionaron distintos mapas temáticos siendo el más relevante el de susceptibilidad a flujos de detrito, el cual se obtuvo por medio del geoprocesamiento de capas (litología, elevación, pendiente y unidades morfoestructurales). También se aplicaron técnicas de muestreo de agua e interpretaciones de los resultados de los análisis de laboratorio mediante el uso de gráficos combinados, diagramas (Piper-Hill-Langellier, Schöeller-Berkaloff y Stiff) y mapa hidrogeoquímico. Por último, se elaboró una matriz de Leopold separando las acciones en antrópicas y naturales que afectan a los factores ambientales.

Por consiguiente, este informe puede ser de gran utilidad para confeccionar un plan de medidas de mitigación.

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Motivos

El presente trabajo, tiene por motivo principal presentar una evaluación de impacto ambiental de un sector del río San Juan, teniendo en cuenta la influencia de los Pasivos Ambientales Mineros (PAM) de las antiguas sulfateras sobre los distintos factores ambientales (agua, suelo, geomorfología, flora y fauna) en el departamento Calingasta, San Juan. Por otra parte, dar el cumplimiento al requerimiento necesario para la obtención del título de la Licenciatura en Ciencias Geológicas, que otorga la Universidad Nacional de San Juan.

1.2. Objetivos

Evaluar el grado de afectación de los distintos factores ambientales, producto de la ubicación de los pasivos ambientales de antiguas sulfateras en un sector del río San Juan.

Objetivos Particulares

- Relevar los distintos sitios con pasivos ambientales.
- Caracterizar los factores ambientales que son afectados por la incidencia de los pasivos ambientales.
- Realizar un análisis de las distintas unidades geomorfológicas locales y de su dinámica con respecto a los PAM.
- Realizar un relevamiento de los distintos peligros naturales determinados en el sector.
- Analizar desde el punto de vista hidroquímico el sector del río San Juan afectado por los pasivos.
- Elaborar mapas temáticos que reflejen los distintos factores del subsistema ambiental. Como mapa de ubicación, geología, morfoestructural, minero de Calingasta, litológico, elevación, pendiente, susceptibilidad a flujos de detrito, de cuenca e hidrogeoquímico.
- Realizar una matriz de impacto ambiental, relacionando los factores con las distintas actividades relevadas.

1.3. Ubicación y vías de acceso

La zona de estudio se encuentra en el Departamento Calingasta aproximadamente a 154 km al noroeste de la ciudad Capital de la Provincia de San Juan, Argentina.
Los Pasivos Ambientales Mineros (PAM), se definen, como a “todos aquellos elementos, tales como instalaciones, edificaciones, superficie afectadas por vertidos, depósitos de residuos mineros, tramos de cauces perturbados, áreas de talleres, parques de maquinaria o parques de mineral, que, estando en la actualidad en entornos de la minería abandonada o activa, constituyen un riesgo potencial permanente para la salud de la población y el medio ambiente” (Arranz, J.C., Alberruche,

E., 2008). Estos se sitúan en la margen sur del río San Juan y sobre la ladera occidental de la Sierra del Tontal, los que están comprendidos entre las coordenadas Este: 2.470.000 m y Norte: 6.545.000 m, según el sistema de coordenadas de Gauss-Krüger, POSGAR 07-Faja 2.
Se accede desde la ciudad de San Juan, por Ruta Nacional Nº 40 hacia el norte a unos 57 km hasta empalmar la ruta Provincial Nº 436 en la que se recorre 23 km, allí se conecta con la Ruta Nacional Nº 149 donde se transitan 74 km hacia el suroeste (Fig.1).

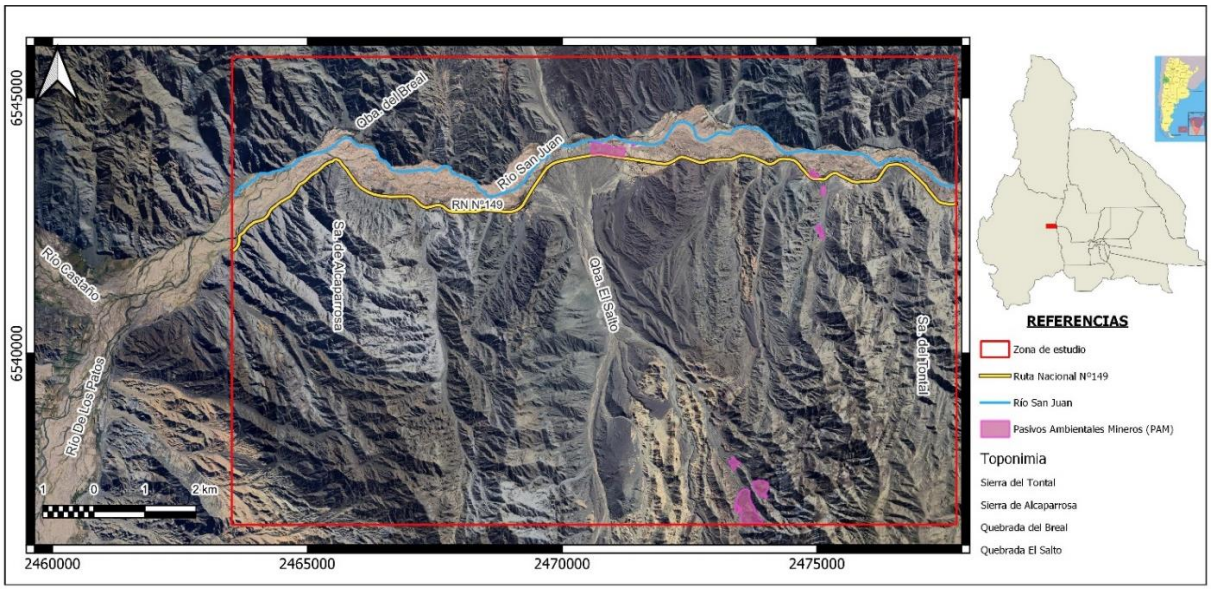


Figura 1: Mapa de ubicación de la zona de estudio.

1.4. Metodología de trabajo

1.4.1. Tareas de gabinete previas

1.4.1.1.Recopilación y evaluación de antecedentes

Se realizó la búsqueda y recopilación del material de investigación e información disponible sobre el área de estudio, elaborada por entes públicos (Servicio Geológico Minero Argentino (SEGEMAR), Instituto Nacional del Agua-Centro Regional de Aguas Subterráneas (INA-CRAS), Departamento de Hidráulica, Administración de Parques Nacionales (APN), Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (I.N.D.E.C.), Vialidad Nacional, Dirección de Minería de San Juan), publicaciones científicas, informes técnicos, etc. Se compiló la información bibliográfica, cartográfica, imágenes satelitales, datos climáticos, información sobre geología, geomorfología, sismología, estructural e hidrografía.

1.4.1.2. Fotointerpretación y procesamiento de imágenes satelitales

La fotointerpretación de la zona de estudio se efectuó con el programa Google Earth Pro, y mediante el uso del software QGIS 3.28.11, se confeccionaron los distintos mapas temáticos, como el litológico, de relieve, geomorfológico y estructural entre otros, además se cartografiaron las redes de drenajes, cuencas, PAM, vías de accesos y otras características que resaltan en el lugar.
Estas unidades geológicas, cartográficas y antrópicas fueron útiles para el control de campo y posterior elaboración del mapa de susceptibilidad.

1.4.2. Tareas de campo

Se realizó una campaña de muestreo hidroquímico en el mes de mayo del 2024. La distribución de la toma de muestras se efectuó aguas arriba y aguas abajo sobre el margen sur del río San Juan donde se encuentran los PAM entre el km 114-116.
En la elección de los puntos de muestreo se tuvieron en cuenta factores como, la cercanía de los PAM, variación de caudal del río San Juan y descarga de tributarios los que podrían ocasionar cambios en la hidroquímica del agua (concentración de elementos), en el pH y la conductividad.
Los resultados del análisis de laboratorio permitirán observar que elementos presentan variación en su concentración y si está relacionado con la presencia de estos PAM ubicados en las cercanías del río San Juan.
El procedimiento de muestreo de agua se llevó a cabo, como indica el protocolo propuesto por el laboratorio de Hidroquímica del INA-CRAS, el cual considera lo siguiente:

- En el caso de ríos y arroyos: Tomar las muestras en los sitios de mayor mezcla, o inmediatamente después de ésta, evitando sitios muy cercanos a la orilla del cuerpo de agua. No recolectar sedimentos o materiales adheridos a la orilla del cuerpo de agua o superficie de este, tampoco recolectar partículas grandes.
  En el caso de cursos pequeños, tomar la muestra en el centro del cauce y a una profundidad media evitando provocar turbulencias que incorporen sedimentos a la muestra.
  Para cursos mayores y donde existe imposibilidad de realizar el muestreo en el centro del cauce, hacerlo en las orillas de este, eliminar del sector las malezas y materiales en suspensión, dejar normalizar el cauce durante unos minutos.
  Muestrear directamente con el envase en que se trasladará la muestra al laboratorio, previamente enjuagado con la muestra.
  Cuando existen tributarios al cauce que se quiere muestrear, realizar el muestreo en un punto lo más alejado del punto de unión. En este caso extraer muestras antes y después del ingreso, como así también del cauce que ingresa.
  Es aconsejable seleccionar el punto de muestreo cercano a una estación de aforo para relacionar el caudal del río con la muestra de agua.

- Materiales

Elementos de trabajo	
GPS	Papel de filtro
Ficha técnica	Vasos de precipitado de 1000 ml
Conservadora con hielo	Embudo Büchner
Botellas de polietileno de 1000 y 250 ml	Bomba manual de vacío
Paño de tela	Matraz kitasato de polietileno de 500 ml
Ácido nítrico (HNO_3) al 10 % en volumen	Peachímetro marca HANNA modelo HI991301
Agua destilada	Conductímetro marca HACH

Tabla 1: Materiales de trabajo.



Figura 2: Elementos de trabajo.

- Normas de seguridad recomendadas

1. Las personas que recojan y manejen las muestras no deben trabajar solas.
2. Utilizar máscara y botas, durante el muestreo, manejo de muestras y preparación de las sustancias de análisis.
3. Limitar la conducción continua. Si los puntos de muestreo están a una considerable distancia, no conducir sin paradas. Hacer descansos de al menos 15 minutos cada 3 horas, y muestrear durante no más de 10 horas/día.
4. Usar zapatos de seguridad con punta de acero y suela antiderrapante.

5. Usar guantes de látex descartables y lentes de seguridad.
6. Tener los datos del centro de atención médica más cercano, ambulancias, policía, grúa o los números telefónicos de las entidades que se consideren convenientes.

- Instructivo para toma de muestras de agua

1. Marcar el punto con el GPS y anotar las coordenadas en ficha técnica.
2. Etiquetar las botellas de polietileno de 1000 y 250 ml con marcador permanente con el correspondiente Nº de muestra.
3. Posteriormente enjuagar los vasos de precipitado de 1000 ml con agua del río del punto donde se va a extraer la muestra de agua, repetir el lavado 3 veces.
4. Llenar el vaso de precipitado de 1000 ml con agua del río.
5. Colocar el papel de filtro dentro del embudo Büchner y humedecer con agua del río.
6. Luego verter el agua del vaso de precipitado y filtrar mediante el uso de una bomba manual de vacío; el líquido filtrado se almacena en un matraz kitasato de polietileno de 500 ml.
7. Después enjuagar las botellas de polietileno de 1000 y 250 ml 3 veces con el agua filtrada.
8. Llenar las botellas hasta un nivel determinado para dejar un espacio con aire (1% de la capacidad del envase), en donde a la de 250 ml se le añade 5 gotas de NHO_3 y se tapa inmediatamente.
9. Cargar de agua de río los 2 vasos de precipitado para medir la conductividad y pH, donde se usa un vaso para lavar los electrodos y otra para realizar las mediciones. Después enjuagar los electrodos con agua destilada, secar con un paño y guardar los instrumentos en el estuche.
10. Antes de efectuar el transporte de las muestras, verificar que el etiquetado de estas corresponda con el registro de campo, cuidar que los envases estén perfectamente cerrados y mantener los recipientes a 4°C, durante el tiempo que dure su traslado hasta el laboratorio.
11. Entregar las muestras al laboratorio lo antes posible. Preferentemente no exceder las 24 horas, respetando la cadena de custodia de las mismas.



Figura 3: Procedimiento de muestreo de agua.

CAPÍTULO 2

2. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL AMBIENTE

2.1. Superficie a utilizar

Los PAM cubren un área total de 0,4705 km^2, estos se localizan dentro de la cuenca central de la zona de estudio, la que abarca un área de 111.445 km^2 (Gráfico 1).

Id	Características	Área (km^2)
1	Escombrera 1	0,1976
2	Escombrera 2	0,0095
3	Escombrera 3	0,0721
4	Escombrera 4	0,0269
5	Escombrera 5	0,0119
6	Instalaciones de lavado y estériles de lavado	0,0059
7	Instalaciones, piletas y estériles de lavado	0,0096
8	Escombrera y construcción	0,0152
9	Planta de procesamiento	0,121
10	Estructura 1 (casa)	0,0006
11	Estructura 2 (casa)	0,0002
Total		0,4705

Tabla 2: Superficies de PAM.

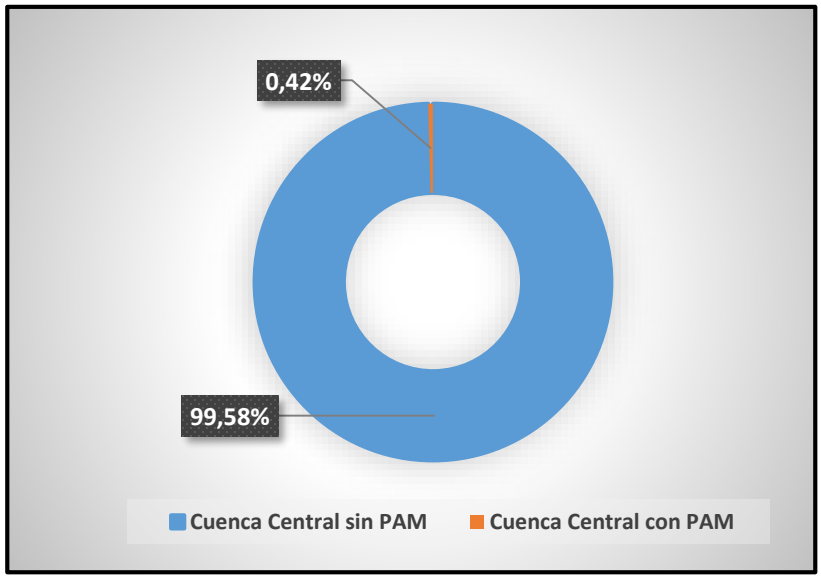


Gráfico 1: Distribución de PAM en área de estudio

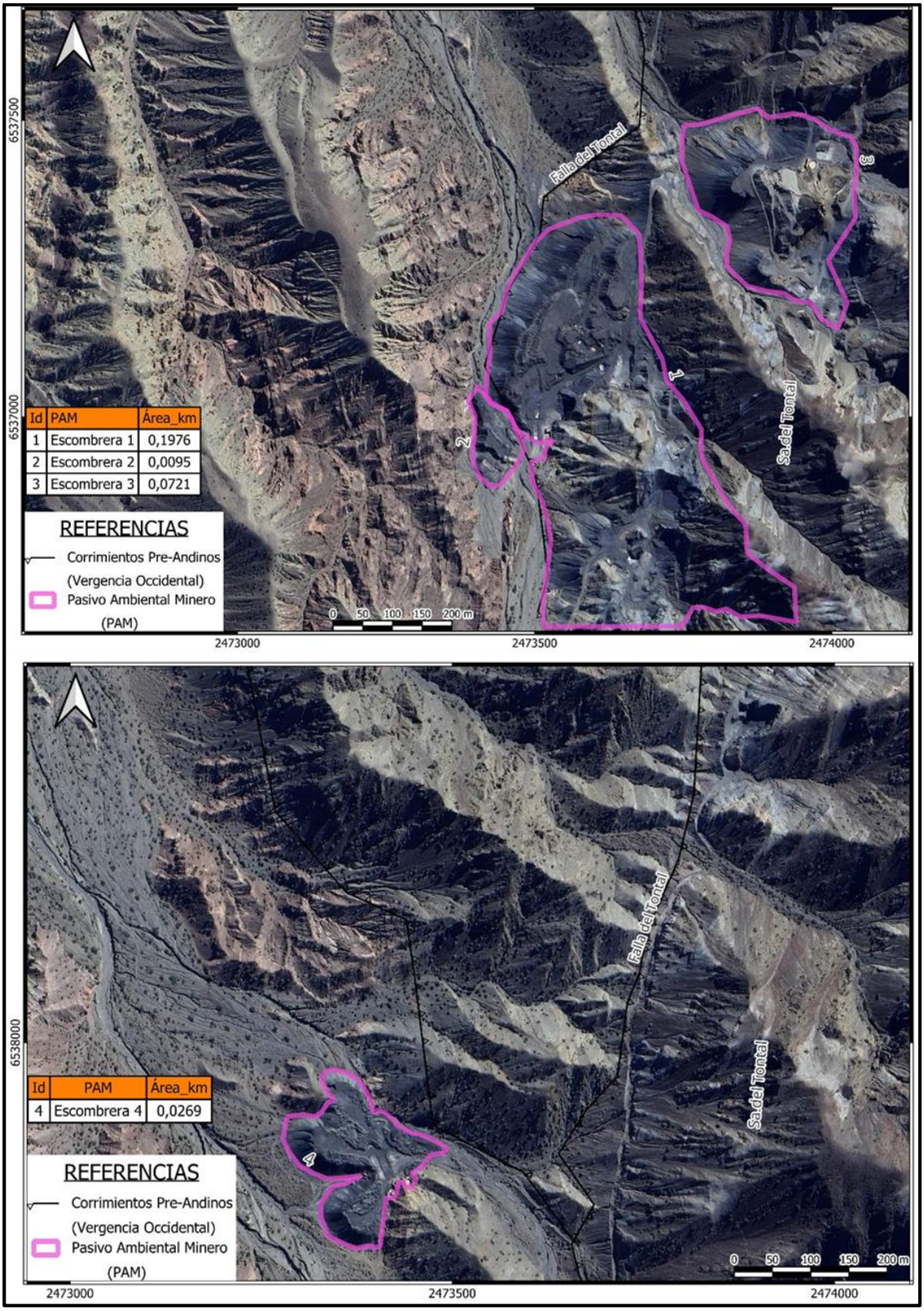


Figura 4: Imagen satelital de detalle de PAM (Id 1 al 4).



Figura 5: Imagen satelital de detalle de PAM (Id 5 al 7).

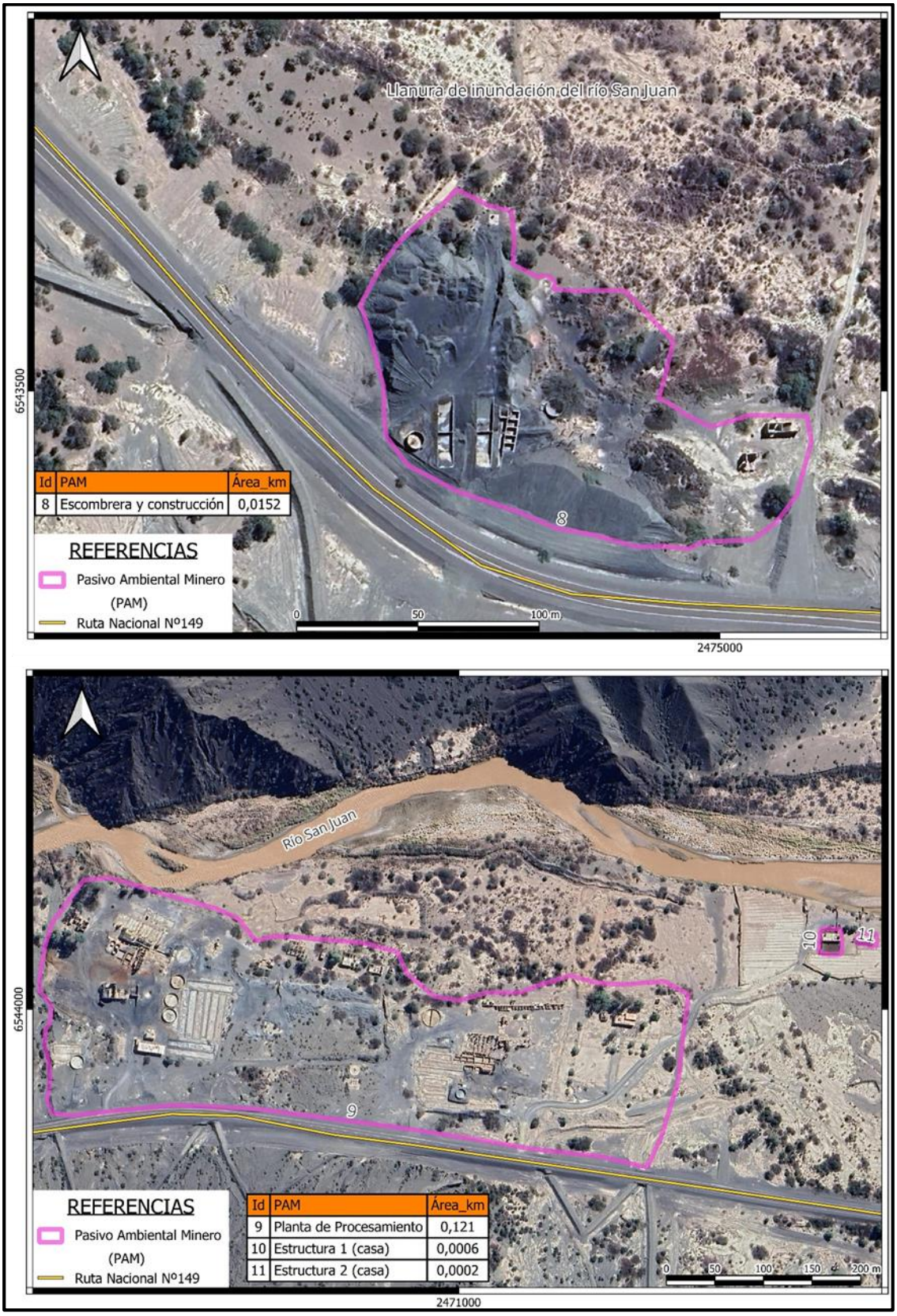


Figura 6: Imagen satelital de detalle de PAM (Id 8 al 11).

2.2. Geología Regional

2.2.1. Marco Estratigráfico

La zona de estudio se encuentra en el ámbito de la Precordillera Occidental, abarcando parte del río San Juan a la altura del km 114 y la ladera occidental de la sierra del Tontal (Fig.7).
La región se caracteriza por la presencia de sedimentos del Paleozoico inferior formados por una secuencia turbidítica (Formación Don Polo, de base no expuesta) y otra pelágica con litofacies sedimentarias clásticas y químicas y rocas básicas (Formación Alcaparrosa). Ambas unidades serían equivalentes laterales en contacto por falla, con mayor grado de deformación tectónica en la primera, evidenciado por intenso plegamiento.
La Formación Don Polo está compuesta por una sucesión de rocas clásticas representadas por grauvacas, subgrauvacas, limolitas, pelitas y niveles variables de areniscas, afectadas por metamorfismo de bajo grado y con colores característicos verde oscuro, gris oscuro o azulado.
La Formación Alcaparrosa está formada principalmente por lutitas grises, verdosas y negras que alternan con areniscas de color gris a gris pardo, y niveles de sabulitas y conglomerados. Estas sedimentitas se interdigitan con basaltos de estructura almohadillada y en parte maciza, cuyas características geoquímicas permitieron clasificarlos como basaltos tholeiíticos generados en un fondo oceánico (Haller y Ramos 1984, Mahlburg Kay *et al.* 1984). La unidad según hallazgos fosilíferos tendría una edad caradociana – ashgilliana (Hirnantiano) de acuerdo con investigaciones más recientes (Brussa et al. 1999).
La Faja Amarilla es un área de oxidación que se extiende a lo largo de 6 km con un ancho máximo de 1500 metros, con orientación noroeste-sudeste, delimitada por las quebradas de la Alcaparrosa y la Sierra Bandeada. Dichos filos son divisorias de agua que concentran los productos de alteración hacia el valle. La Faja Amarilla está compuesta mayoritariamente por limonitas y sulfatos de hierro. Quartino et al. (1971) observaron texturas en corona donde los sulfatos siguen a núcleos de sulfuros de hierro.
La forma de la capa de oxidación es coincidente con la forma del relieve, hecho que según Quartino et al. (1971) prueba la juventud del proceso.
Al Devónico pertenecen los conglomerados, areniscas y pelitas de la Formación Codo o Formación El Planchón (Sessarego 1988). El Carbonífero está representado por areniscas y conglomerados de la Formación del Ratón y el Pérmico por areniscas y pelitas de la Formación El Salto. Edad pérmica (267 ± 4 Ma K/Ar, Sillitoe 1977) fue asignada al stock subvolcánico riodacítico-monzonítico que porta escasa mineralización diseminada de Cu-Mo (Quartino et al. 1971) e intruye a la Formación Alcaparrosa.
El Cuaternario está representado por conos de abanicos psamítico-psefíticos en las márgenes de los ríos, y por 2 o 3 niveles de depósitos aterrazados.

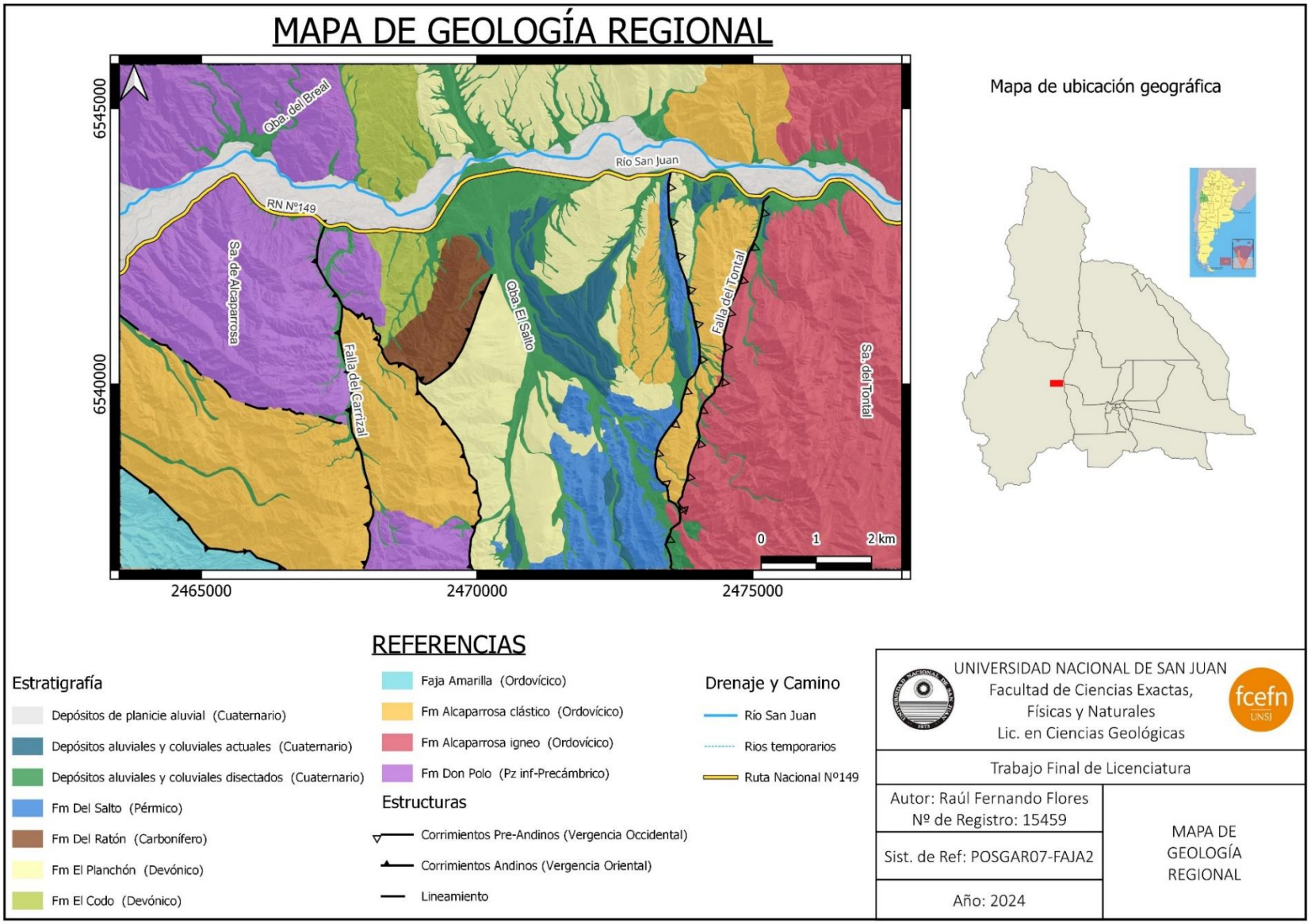


Figura 7: Mapa de geología regional de la zona de estudio.

2.2.2. Marco Estructural

El sector analizado se ubica íntegramente en el ámbito de Precordillera Occidental. Estructuralmente esta unidad se caracteriza el desarrollo de una faja plegada y corrida de piel fina y vergencia oriental (von Gosen, 1992; Ramos, 1995; Cristalini y Ramos, 2000). Sin embargo, en la región central y sur de esta unidad morfoestructural numerosos autores (Baldis et al., 1982; Ramos, 1995; Alonso et al., 2008; entre otros) citan la presencia de un segundo sistema de fracturación de carácter antitético al primero (Fig.7), que se localiza principalmente en la zona occidental de la sierra del Tontal. La vergencia occidental del segundo sistema de fracturación sería el resultado de fenómenos de inversión tectónica de fracturas extensionales mesozoicas (Legarreta et al., 1993; Cortés et al., 2006) correspondientes al desarrollo de la cuenca Cuyana de edad triásica, de amplia difusión en el área centro-sur de la Precordillera Occidental (Kokogian et al., 1999).

La deformación previamente descripta corresponde a un nivel estructural superior (Mattauer, 1976) y de ello deviene el carácter frágil de la misma. La estructura interna de las láminas de corrimiento, en contraste con la anterior, es el resultado de una deformación típica de niveles estructurales más profundos. Las rocas afectadas por esta deformación, han experimentado un metamorfismo de bajo grado, con desarrollo de clivaje penetrativo, alcanzando incluso el equilibrio en facies de esquistos verdes (von Gosen, 1992; 1995). El evento de deformación y metamorfismo asignado al Devónico medio (Cucchi, 1971; Buggisch et al., 1994; Davis et al., 1999; 2000; Willner et al., 2011), ha sido interpretado genéticamente como el resultado de la colisión del terreno alóctono Chilenia contra el borde occidental del terreno de Cuyania (Ramos et al., 1984; 1986; Astini et al., 1996; Davis et al., 1999; entre otros).

2.2.3. Mineralización del sulfato de aluminio y magnesio

Los estudios realizados (Cardinali A., 1999) llevan a la conclusión que los sulfatos presentes en la precordillera de Calingasta e Iglesia son exógenos, originados por meteorización de las rocas de las Formaciones Alcaparrosa y Yerba Loca.

Las rocas sedimentarias que alojan la mineralización son lutitas y limolitas de talud y fondo oceánico, asociadas a coladas basálticas, propias de una zona de extensión cortical, conjuntamente a los detritos se deposita en forma singenética pirita, por las condiciones altamente reductoras del ambiente sedimentario.

La presencia de pirita es el condicionante principal en la existencia de los yacimientos, ya que, bajo las condiciones climáticas de esta región, el agua meteórica oxidante altera a las piritas presentes en la roca transformándolas en sulfato de hierro, óxidos hidratados de hierro (limonitas) y la liberación de ácido sulfúrico que al atacar a los minerales arcillosos de las lutitas forma sulfatos de aluminio y de magnesio.

La concentración económicamente explotable se produce por un proceso geológico igual al que origina el enriquecimiento secundario en los yacimientos diseminados de cobre, una lixiviación de los minerales útiles en la parte superficial y su precipitación en fisuras y diaclasas a mayor profundidad.
Las especies minerales son Alunógeno ($[SO_4]_3\ Al_2.16H_2O$); Pickeringita ($[SO_4]_3Al_2.SO_4Mg.22H_2O$); Halotrichita ($SO_4Fe.\ [SO_4]_3Al_2.24H_2O$) y Epsomita ($SO_4Mg.7H_2O$). La Pickeringita se presenta en agregados de finas agujas de color blanco y brillo sedoso, el Alunógeno, en fibras más gruesas y en agregados escamosos de color blanco. La Halotrichita en agregados fibrosos de colores blancos y amarrillos a verdosos; y la Epsomita en masas fibrosas, como relleno de grietas de hasta 10cm de espesor, incoloras o ligeramente verdosas (Dirección de Minería de San Juan, 2022).

2.3. Geomorfología

La zona de estudio se encuentra a la altura del km114 sobre la ladera occidental de la Sierra del Tontal, unidad que constituye la provincia geológica de Precordillera Occidental.
En dicha área predominan los procesos exógenos (remoción en masa y el fluvial), endógenos y la neotectónica, la cual caracterizan el paisaje actual.
Teniendo en cuenta la metodología propuesta por Gonzalez Bernaldez (1973), se clasifico a las unidades geomorfológicas en dos grupos:

2.3.1. Unidades Naturales

2.3.1.1.Unidad Montañosa

Es el conjunto de sierras con rumbo norte-sur, representado de este a oeste por el cordón de la Sierra del Tontal y Sierra de Alcaparrosa. La Sierra del Tontal alcanza la máxima elevación en el cerro Pircas (4368 m).
Al oeste se observa la Sierra de Alcaparrosa la cual está constituida por rocas de edad paleozoica inferior formados por una secuencia turbidítica (Formación Don Polo, de base no expuesta) y otra pelágica con litofacies sedimentarias clásticas y químicas y rocas básicas (Formación Alcaparrosa).

2.3.1.2.Unidad de Transición

Los frentes montañosos se encuentran separados por depresiones longitudinales cubiertas por material de derrubio, logrando en algunos casos, grandes extensiones con pendientes moderada a moderadamente fuerte (Fig.8). Estas depresiones están constituidas por:

- Depósitos Paleozoicos: Conformado por las formaciones Alcaparrosa, El Codo, El Planchón, El Ratón y Del Salto que va desde los 1400 a los 1900 m.s.n.m aproximadamente. Litológicamente presenta sedimentitas que se interdigitan con basaltos de estructura almohadillada y en parte maciza, conglomerados, areniscas y pelitas.

- Depósitos Aluviales y Coluviales Actuales: Constituido por 2 o 3 niveles de depósitos aterrazados.
- Depósitos Aluviales y Coluviales Disectados: Formado por conos de abanicos psamítico-psefíticos en el margen del río San Juan. Estos depósitos se producen por procesos gravitacionales, acumuladas a partir de crecientes provenientes de las áreas montañosas colindantes. Así, las crecientes encauzadas en cañones montañosos, al arribar a zonas de relieves subhorizontales, depositan la mayor parte de su carga en forma de mantos aluviales.

RANGO	NOMBRE	CARACTERÍSTICAS GENERALES	GEOFORMAS COMUNES
0 - 0.5^0	Muy Baja	Terrenos asociados con encharcamiento y pantanos	Llanuras de inundación
0.5 - 2^0	Baja	Terrenos asociados con depósitos aluviales clasto-soportados	Vegas y piedemontes aluviales
2 - 7^0	Levemente moderada	Terrenos con depósitos pedregosos matriz soportados	Conos Torrenciales
7 - 14^0	Moderada	Terrenos con sedimentos variables incluyendo coluviones y sustratos arcillo-limosos	Laderas coluviales finas
14 -30^0	Moderadamente fuerte	Terrenos con depósitos coluviales gruesos y sustrato arcillo-limoso	Laderas coluviales gruesas
30 - 60^0	Fuerte	Terrenos con sustrato rocoso superficial	Laderas rocosas
>60^0	Muy fuerte	Terrenos con afloramiento rocoso superficial	Escarpes rocosos

Figura 8: Clasificación de pendientes y sus características. Extraído de SEGEMAR 2020.

2.3.1.3. Unidad Deprimida

Conformada por depósitos de planicie aluvial, representado por sedimentos areno-gravosos (Fig.9).

2.3.2. Unidad Antrópica

Representa a los Pasivos Ambientales Mineros (PAM), los que se encuentran sobre el margen sur del río San Juan y en zonas tectónicamente activas, corresponden a escombreras de sulfato de aluminio y a la planta de procesamiento del mineral (Fig.9).

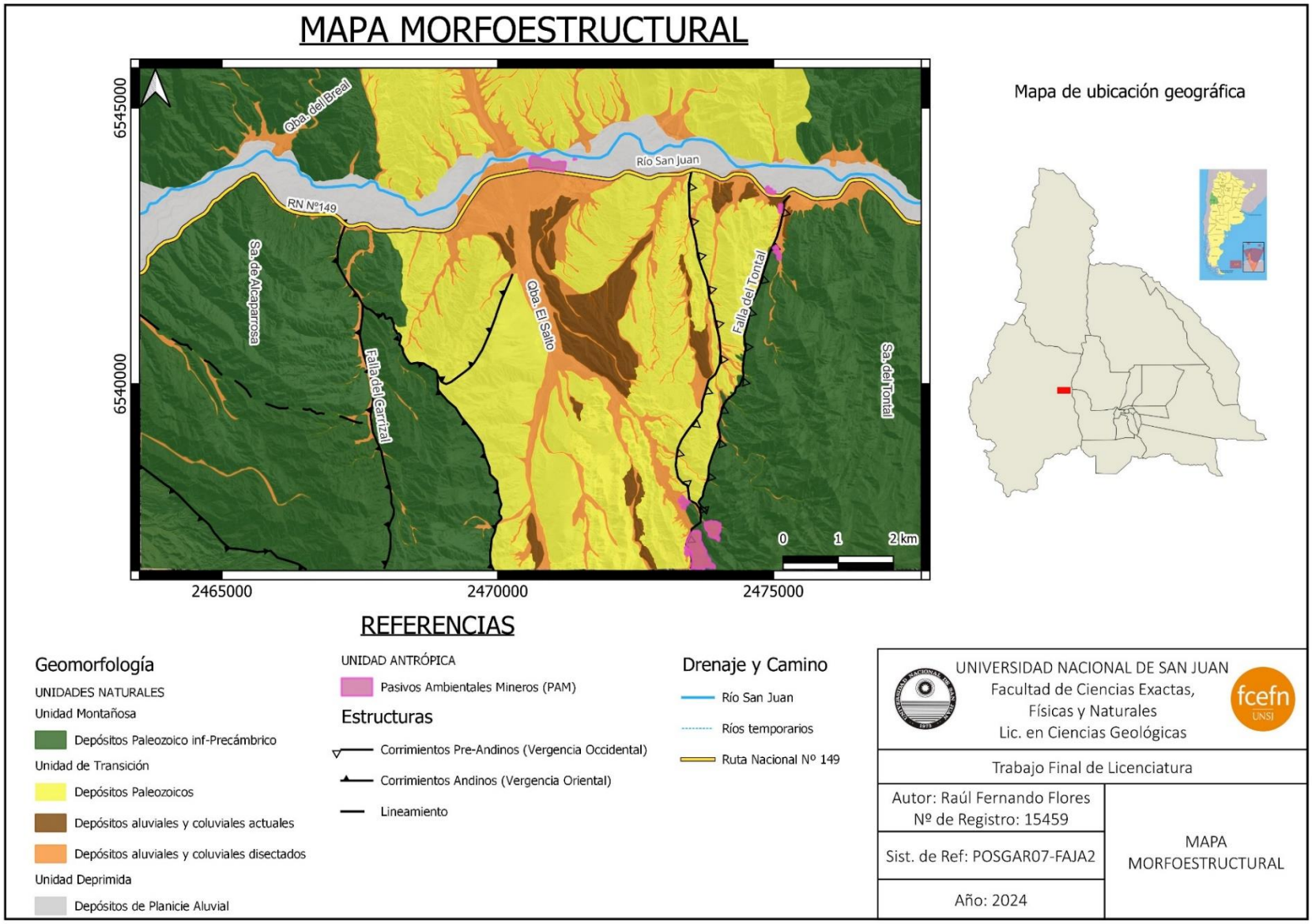


Figura 9: Mapa morfoestructural del área de estudio.

2.4. Orografía

La comarca de estudio involucra solo a Precordillera Occidental, la cual está caracterizada por grandes sierras que poseen una altura promedio de 3500 m sobre el nivel del mar. La principal unidad montañosa es el cordón de la Sierra del Tontal, de dirección N-S, y contiene a los cerros Casa de Piedra (3918 m) y Pircas (4368 m) como los más relevantes. También se encuentra la Sierra Hilario y Alumbre.

2.5. Clima

La provincia de San Juan está incluida en la gran Diagonal Árida Sudamericana la que se prolonga desde el Norte del Perú (5° latitud Sur) hasta el estrecho de Magallanes (52° latitud Sur) abarcando la mayor parte del Oeste argentino, a sotavento de la Cordillera de Los Andes.
Según la clasificación climática de Köeppen (1953) basado en registros de temperatura y lluvias, podemos encontrar los siguientes tipos climáticos en el Departamento de Calingasta (Poblete, et al, 1989):

- BWK: Desértico con precipitaciones estivales concentradas en tiempo y espacio. El significado de la denominación "B" es la precipitación media anual inferior al límite de la sequía, "W" es desértico y "K" la temperatura media anual es inferior a 18° C, pero superior a 18° C en el mes más caluroso (enero 23° C). Este tipo climático se extiende sobre el piedemonte cordillerano, entre las sierras y altiplanicies, hasta los 3000 m.s.n.m. aproximadamente.
- E: Altura. Se caracteriza porque la temperatura media del mes más cálido es inferior a 10 C. La vegetación suele ser escasa o nula. Se desarrolla pasando los 3300 m.s.n.m.

El valle de Iglesia-Calingasta-Uspallata presenta un dominio climático BW*wk´b* correspondiente al subtipo "Seco desértico muy frio", que se sitúa entre los 2400 y 3300 m.s.n.m. fundamentalmente en las Sierras y altiplanicies, por debajo de los climas fríos de altura y cubre las cumbres de las Sierras de Pie de Palo, del Tigre, La Invernada y Talacasto, el piedemonte de Cordillera Frontal y el Valle superior de los Ríos Calingasta y Castaño (tomado de Pittaluga, 2009).
En cuanto a las áreas de alta montaña como la Cordillera Frontal y Principal y altos valles de las cuencas superiores de los ríos San Juan, Jáchal y en la cumbre de la sierra del Tontal se encuentran los siguientes subtipos ET "clima de tundra", se desarrolla preferentemente, en el sector sur, en la cuenca superior del río Los Patos, con un régimen de precipitaciones invernal de tipo nival. En cambio, el EB "clima seco de alta montaña" se caracteriza por un régimen de precipitaciones en verano y se extiende sobre la cuenca superior del río Jáchal, al norte de la provincia. Por último, EF "clima de hielo perpetuo" el cual se encuentra por encima de la altura media de 4.250 m, la temperatura media de enero es de 0 °C (Poblete, et al, 1989).
Con respecto a los vientos en zonas bajas de la provincia de San Juan, durante todo el año son constantes, predominando el proveniente del cuadrante sur, de carácter fresco y algo húmedo, el

cual es el generador de las tormentas intensas en las épocas estivales, a veces acompañadas de granizo. Mientras que durante los meses de invierno se produce una rotación de los vientos al oeste (Viento Zonda) y norte (Viento Norte). Estos vientos, por ser más cálidos, atemperan las bajas temperaturas invernales (Poblete, et al, 1989).

2.6. Hidrografía

Los sistemas fluviales son importantes sistemas de migración de los elementos metálicos sobre la superficie terrestre. En el área de estudio se destaca una importante red hídrica conformada por los ríos Castaño, Blanco, Calingasta, de la cordillera Ansilta (los Patos inferior) y los Patos (superior). Confluyendo los ríos Castaño y de los Patos para formar el río San Juan (Fig.10).

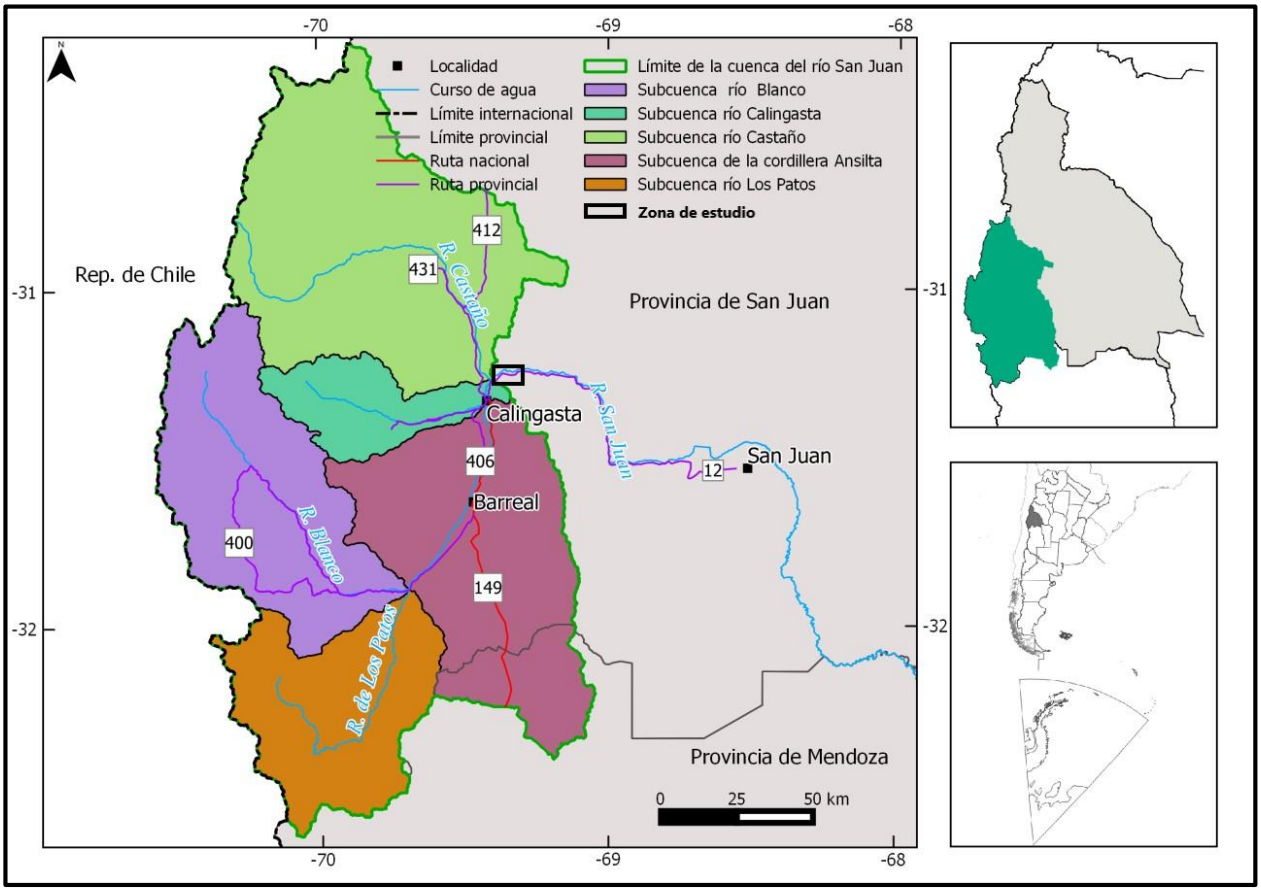


Figura 10: Mapa del sistema hidrográfico del río San Juan. Extraído y modificado del Inventario Nacional de Glaciares (IGN) 2018.

La publicación del IGN se ajusta a la cartografía oficial, establecida por el Poder Ejecutivo Nacional (PEN) por ley N° 22963 -a través del IGN- y fue aprobada por expediente GG15 2241/5 del año 2015. En este apartado se describen las subcuencas más relevantes para la zona de estudio.

2.6.1. Descripción de la subcuenca del río Castaño

El río Castaño nace de los aportes de los ríos San Francisco, Melchor, de Los Patillos y Valle Hermoso, los cuales se forman en la divisoria de aguas en el límite con Chile, sobre los 5.000 msnm, cubriendo un área de 7.330 Km^2. Su escurrimiento tiene un sentido principalmente Norte-Sur y a la altura de Calingasta, antes de la confluencia con el río de Los Patos, alcanza un caudal medio del orden de 10,5 m^3/s (IIA Casposo, 2007). A unos 12 Km de su confluencia, aguas abajo de la localidad de Calingasta se forma el río San Juan.

2.6.2. Descripción de la subcuenca del río Calingasta

Tiene una superficie de 1537 km^2 y forma parte del sistema hídrico de la cuenca del río San Juan con una extensión geográfica aproximada de 22.853 km^2. Limita al norte con la cuenca del río Castaño, al oeste con la cuenca del rio Blanco y al sur con la cuenca de la Cordillera de Ansilta.
Numerosos arroyos y ríos atraviesan la cuenca con una orientación predominantemente oeste-este dando origen aguas abajo al río Calingasta; entre estos se destacan al río de la Totora, arroyo Alumbrera, arroyo de Las Trojas, arroyo El Palque y al arroyo Seco de las Minitas (Fig.10). Los ríos y arroyos de mayor caudal provienen de las zonas más englazadas de la cuenca. Estas se encuentran en las divisorias de aguas con las cuencas limítrofes y comprenden a los sectores en los que se ubican las cumbres de mayor altitud del sector anteriormente mencionadas.
Según datos obtenidos por el informe de impacto ambiental realizado por la empresa CESEL S.A., el caudal medio del río Calingasta es de 2,90 m^3/s, y caudal máximo con retorno de 500 años es de 192,29 m^3/s.

2.6.3. Descripción de la subcuenca del río de la cordillera Ansilta

El río de los Patos, es un curso de agua permanente que atraviesa de norte a sur el valle de Calingasta. Nace en la confluencia entre el río Blanco y río de los Patos Sur.
La cuenca del río Blanco entrega gran parte del volumen anual hasta la junta del Horcajo donde se encuentra el río de los Patos Superior o Sur, ambos ubicados en sector sudoeste de la provincia. Hacia el norte a la altura de la villa de Calingasta, el río de los Patos recibe sobre su margen izquierda el aporte del río Calingasta. En total la superficie del río de los Patos abarca aproximadamente los 3.571 km^2. Su caudal medio es de 49 m^3/s.
Finalmente, el río de los Patos recibe el río Castaño proveniente del sector noroeste, en el paraje denominado La Junta, muy cercano a la villa de Calingasta, dando nacimiento al río San Juan.

2.6.4. Descripción del sistema hídrico del río San Juan

El sistema hídrico del río San Juan tiene una superficie aproximada de 38.462 km^2, escurriendo sus aguas en sentido oeste-este naciendo en Las Juntas, localidad donde confluyen el río Castaño y río

de los Patos que, a su vez, son colectores de una importante red de afluentes que tienen sus cabeceras en las alturas cumbres cordilleranas, como se mencionaron anteriormente. Su caudal medio es de 62,23 m^3/s (Fig.11).

Finalmente, el río San Juan confluye su curso con el río Desaguadero, siendo el primero el mayor tributario del último, y en los cuales ambos forman parte del sistema Hídrico del río Colorado.

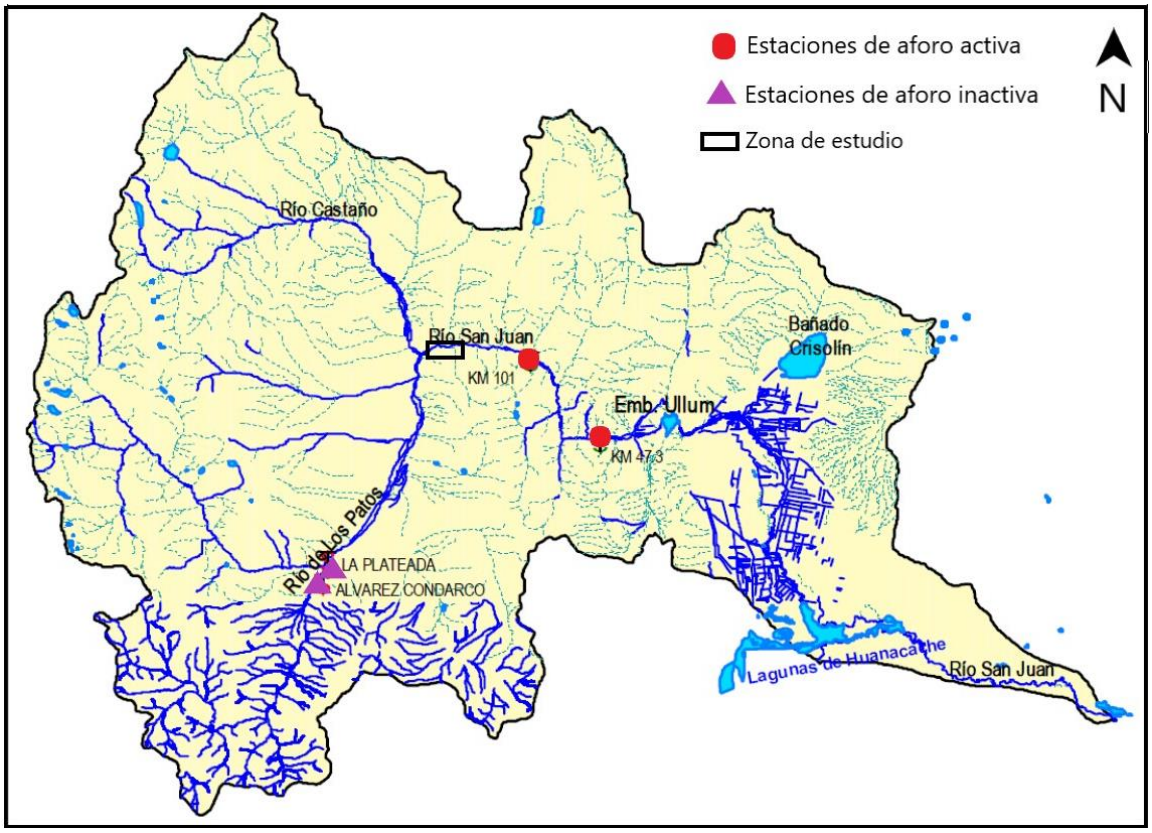


Figura 11: Mapa del sistema hídrico del río San Juan. Extraído y modificado de Lupano C.F. 2008.

2.7. Suelos

Por lo general los suelos de la zona están poco desarrollados, debido en gran parte al retrabajamiento del material detrítico por parte de los agentes mecánicos que transportan y re-depositan el regolito, como así también la falta de agua que impide el desarrollo normal del mismo. Esto está favorecido por las condiciones climáticas y topográficas de la zona.

Los trabajos realizados por la empresa CESEL S.A., detallan los suelos en la zona de estudio dentro del orden ENTISOL (suelos de escaso desarrollo) en donde predominan los *Torrifluventes típicos,* desarrollados sobre sedimentos recientes depositados por ríos, con bajo contenido de carbono orgánico y baja fertilidad natural. Su clase textural varia de arenoso a franco arenoso. Posee un pH neutro a ligeramente alcalino y su salinidad varia de baja a extremadamente alta (tomado de Da Rold M. 2018).

2.8. Flora y Fauna

La vegetación que se encuentra en el área de estudio es de ambiente ripario organizadas principalmente en 6 comunidades vegetales (*C. Bulnesia retama y Larrea divaricata, C. Deuterocohnia longipetala – Larrea cuneifolia, C. Typha dominguenisis, C. Cortaderia rudiuscula, C. Acacia aroma y C. Tessaria absintiodes*), (Informe de línea base del tambolar 2024, inédito).
Además, en el Departamento se emplazan microambientes cuya ecología permite el desarrollo de formas dominantes, constituyéndose así, estepas de retamos al oeste de Puchuzún, sur de Villa Corral y Villa cabecera de Calingasta, donde el predominio es absoluto de jarrillas *(Larrea divaricata, Larrea cunifolia*). En las orillas de los ríos se presentan tolares (*Lepidophyllum tola*), así como sauces diversos y algarrobos (APN, 2009).
En términos generales la fauna está representada por 71 especies (4 anfibios, 9 reptiles, 46 aves y 12 mamíferos), (Informe de línea base del tambolar 2024, inédito).

2.9. Identificación de áreas protegidas

La provincia de San Juan dispone de 22.484 km^2 bajo distintas categorías de conservación. En jurisdicción nacional aproximadamente 2190 km^2 (2,4%) y en jurisdicción provincial 20.286 km^2 (22,6%), de éstas, 580 km^2 (0,6%) son de carácter privado; la totalidad constituye aproximadamente el 25 % del territorio. La Ley Provincial Nº 6.911 del año 1999 trata sobre áreas protegidas, esencialmente sobre las diferentes categorías de conservación y sus normativas. La administración de las mismas no está centralizada en un organismo, sino que intervienen distintas instituciones de la provincia de San Juan (Martínez Carretero, 2007).
Áreas propicias para la conservación:

- Estancia los Manantiales: se encuentra ubicada al sudoeste del Departamento de Calingasta en la cordillera de los Andes. Al Sur limita con Mendoza y al Oeste con Chile. Está surcada por los principales ríos del departamento y su altura oscila entre los 2.000 y los 6.700msnm. La estancia tiene una superficie de 389.000 ha y es propiedad del Ejército Argentino.
  En el año 2009 la Administración de Parques Nacionales firmó un acuerdo con las Fuerzas Armadas para declarar como Reservas Militares algunas de las áreas en el poder de las fuerzas de seguridad. Analizando la historia de la Estancia Los Manantiales y su importancia como cabecera de cuenca resulta imperioso darle algún grado de protección (Fig.12).
- Estancia los Morrillos: Antiguamente Refugio de Vida Silvestre situado al sudeste de Calingasta, con una extensión de 23.500 ha conserva una muestra de las comunidades naturales de las provincias biogeográficas del Monte, la Puna y Altoandina (Fig.12).

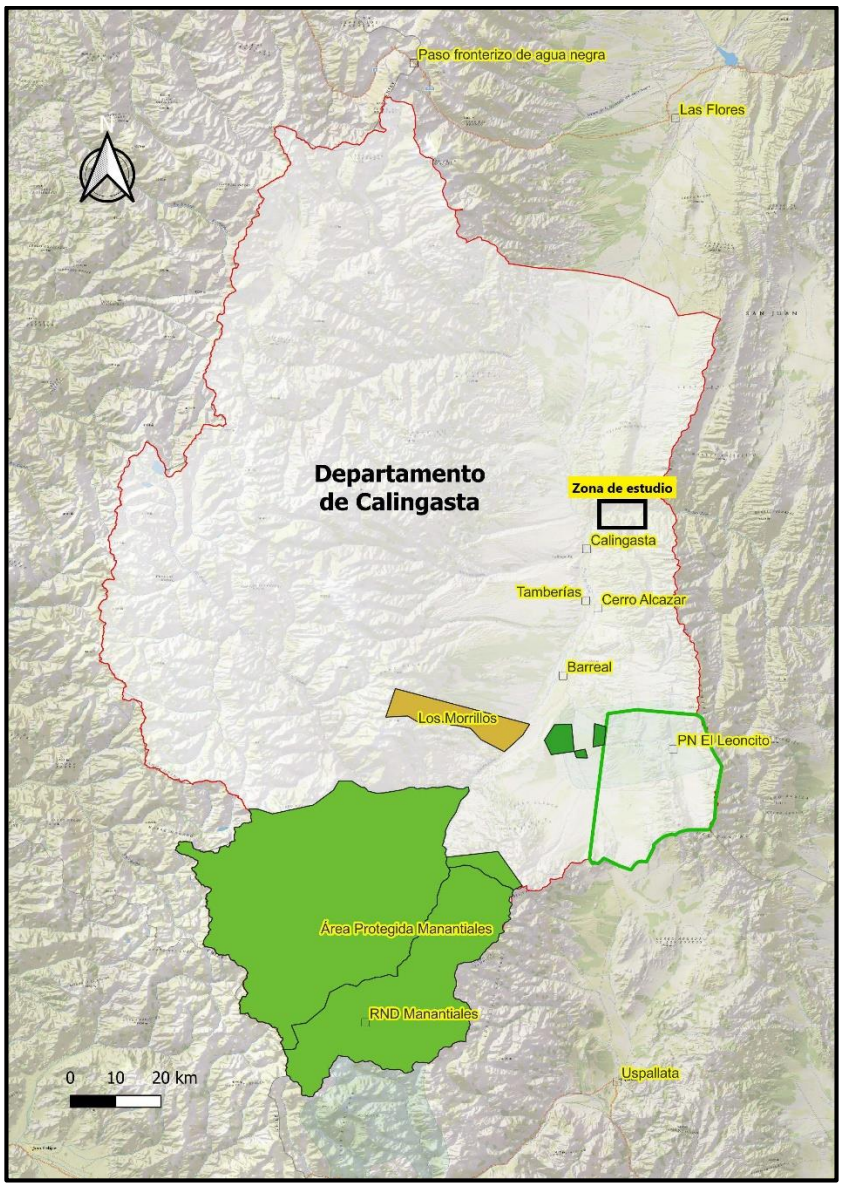


Figura 12: Mapa de Calingasta con Estancia Los Manantiales y Los Morrillos.
Extraído y modificado de Eduardo Haene 2023.

2.10. Población

Los núcleos urbanos se encuentran desarrollados a lo largo del Valle de Calingasta, constituyendo un total de 11.034 habitantes. Estos datos fueron obtenidos a partir del último Censo Nacional de Población Vivienda y Hogares del Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (I.N.D.E.C.) en el año 2022 (resultados definitivos). Este resultado muestra un incremento poblacional del 28,5 % comparados con los datos del censo del año 2010.

2.11. Centro médico más cercano al área evaluada

El hospital Dr. Aldo Cantoni es el centro de salud más próximo a la zona de estudio el cual se encuentra desde el km114 a una distancia de 18 km, además el departamento Calingasta cuenta con otro hospital importante, el Hospital de Barreal, y con los siguientes Centros de Atención Primaria de la Salud (SI San Juan, 2021):

- Tamberias.
- Puchuzún.
- Villa Nueva.
- Sorocayense.
- CIC de Villa Pituil.

2.12. Economía Local

En general, la población del departamento es de tipo rural. Sus actividades están ligadas a la explotación agrícola-ganadera (SI San Juan, 2024).

2.12.1. Agricultura y Ganadería

El departamento tiene una superficie cultivada de 5.033 hectáreas, abastecidas íntegramente con red de riego. Entre ellas se encuentran explotaciones forestales, plantaciones de frutales y hortalizas, dentro de las cuales se destaca el ajo. En menor proporción les siguen las pasturas, vides, aromáticas y cereales. Los pastizales permiten el pastoreo del ganado, especialmente caprino (SI San Juan, 2024).

2.12.2. Minería

La minería es otra de las actividades importantes en el departamento. Allí se explotan recursos como los sulfatos y la bentonita.
Los yacimientos de sulfato de aluminio tuvieron su actividad más importante en la década pasada, actualmente se explotan en forma muy precaria algunas minas de bentonita en zonas aledañas a Barreal y Sorocayense (Ceballos, 2006), los cuales se encuentran en Precordillera Occidental.
En cuanto a los yacimientos metalíferos sobresalen los depósitos de pórfidos cupríferos (proyectos Azules, Altar y El Pachón) los dos primeros en etapa de prefactibilidad y el restante en factibilidad; y los depósitos de baja sulfuración auríferos (Casposo sin actividad de explotación, pero actualmente en exploración, y el proyecto Manantiales en etapa de exploración Avanzada), todos estos proyectos se ubican en Cordillera Principal y Frontal (SEGEMAR 2017; SI San Juan 2024; Tiempo de San Juan 2024) (Fig.13).

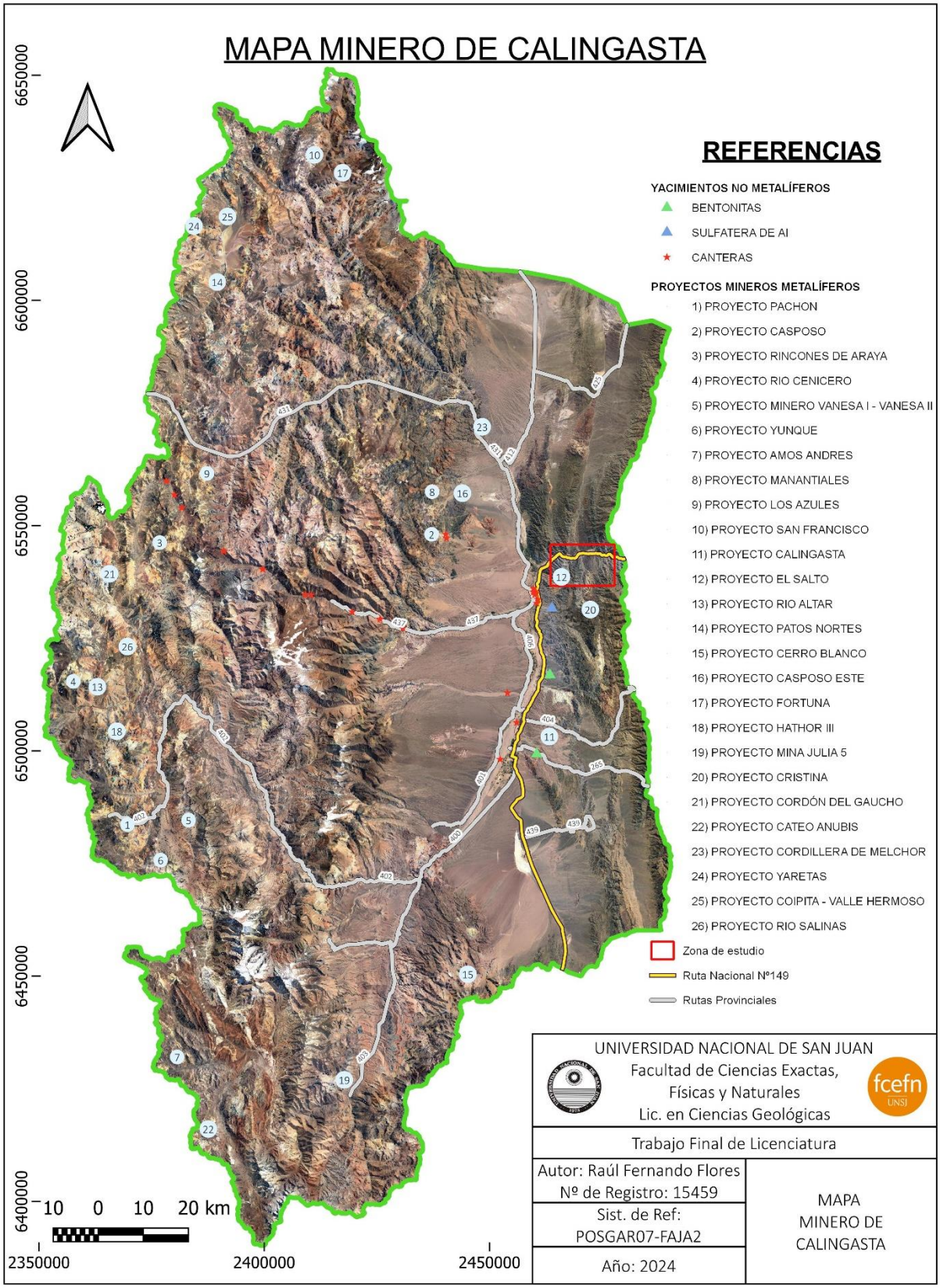


Figura 13: Mapa minero de Calingasta.

2.12.3. Servicios Generales

Calingasta cuenta con una oferta educativa compuesta por los niveles inicial, medio, superior no universitario, escuelas-albergue y tecnicaturas universitarias.
Algunas de las carreras dictadas por la Universidad Nacional de San Juan y la Universidad Católica de Cuyo son: Tecnicatura Universitaria en Exploración Geológica, Tecnicatura en Explosivos y Voladuras, Tecnicatura en Beneficios de Minerales, Tecnicatura Universitaria en Enfermería, Tecnicatura en Sommelier, Tecnicatura Universitaria en Gastronomía, Tecnicatura Universitaria en Turismo, Tecnicatura Universitaria en Higiene y Seguridad, y tres Diplomaturas: Turismo Científico, en Historia de San Juan y en Educación y TICs. Sumadas a estas existen otras carreras ofrecidas por la Universidad Siglo XXI con modalidad a distancia.
Por constituir una zona de frontera, el distrito tiene una delegación de Gendarmería Nacional, el Escuadrón Nº 26 de Barreal.
Por su parte, la localidad Tamberías aloja a la sede municipal y posee de una central termoeléctrica que provee energía limpia a 1.800 familias aproximadamente, la planta fotovoltaica Tamberías cuenta con una potencia de 3,6 MWp y aproximadamente 7000 paneles solares. Además, dispone de servicio de agua potable en la mayor parte de su territorio, señal de radio y televisión (SI San Juan, 2021).

2.12.4. Turismo

El Valle de Calingasta se encuentra rodeado por la precordillera y cordillera de los Andes que impactan con sus amplias vistas, como el Cerro Mercedario con sus 6.770 msnm, localizada en la Cordillera de la Ramada, siendo el pico más alto de esta cordillera y el octavo pico más alto de los Andes. Subir el mismo requiere de una buena aclimatación, y dependiendo de las condiciones climáticas, puede tomar 15 a 17 días para alcanzar la cima.
En Barreal se encuentra el Cerro Alcázar, escenario del Concierto de las Américas que se realiza en el mes de abril. Por otro lado, en la Pampa del Leoncito se puede realizar carrovelismo. Este lugar cuenta con una planicie de 12 km de largo y 5 km de ancho que reúne a deportistas y amantes del viento.
Otras actividades que se pueden efectuar son cabalgatas a lomo de mula y a caballo, mountain bike, rafting en el Río Los Patos, trekking de altura, escalada y realizar en febrero el Cruce Sanmartiniano, una aventura por el verdadero camino que hizo el Gral. Don José de San Martín.
Además, se pueden hacer visitas guiadas en el Parque Nacional el Leoncito, que conserva la flora y la fauna local, donde se pueden ver guanacos, el suri cordillerano entre otras. También alberga dos observatorios (CASLEO y Carlos U. CESCO) que pueden visitarse para avistar cuerpos celestes y aprovechar el cielo del departamento (SI San Juan, 2019) (Fig.14).



Figura 14: Atractivos turísticos de Calingasta.

2.12.5. Sitios de valor histórico, cultural, arqueológico y paleontológico

El departamento posee dos museos que permiten descubrir la historia y expresiones culturales de los pueblos que habitaron la región. El Museo Arqueológico de Calingasta, exhibe diferentes elementos de gran valor cultural, como por ejemplo una momia de más de 500 años, numerosas piezas líticas, cuentas de collar, vasijas de cerámica, tejidos decorados y cuchillos de piedra son algunas de las riquezas del sitio. Un segundo museo es la Colección Cora Esquivel y se ubica frente a la Plaza Patricias Sanjuaninas, el mismo cuenta con figurines de moda de 1825, fotos antiguas y elementos de uso cotidiano de los antiguos pobladores del lugar.
Otro patrimonio cultural de Calingasta es la antigua Capilla de Catalve, construida por jesuitas en el año 1739 (Diario La Provincia SJ.,2021) (Fig.15).



Figura 15: Sitios de importancia arqueológicas de Calingasta.

CAPÍTULO 3

3. DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD MINERA

3.1. Descripción general del sulfato de Aluminio de Calingasta

Los yacimientos de sulfato de aluminio natural (constituido principalmente por pickeringita y alunógeno) se encuentran ubicados en su totalidad en el sector central del Departamento Calingasta, y se pueden diferenciar cuatro áreas:

- San Juan - En el km 114 sobre ruta nacional Nº149, a 154 km de la Cuidad de San Juan.
- San Juan - Cerro La Alcaparrosa, a 175 km de la Cuidad de San Juan.
- San Juan - Carrizal, a 179 km de la Cuidad de San Juan.
- San Juan - La Alumbrera, a 215 km de la Cuidad de San Juan.

La explotación del sulfato en el departamento comenzó en 1938, época en la que se abastecía a la industria de la curtiembre, aprovechando con exclusividad las zonas más enriquecidas de los yacimientos, en vetas de espesor aproximado al metro con alta pureza. Entonces se extraían apenas entre 15 y 20 toneladas anuales (Programa Infoagua, 2008).
Posteriormente la introducción de maquinaria minera para la explotación a cielo abierto con bajo costo permitió que a partir del año 1970 la producción se incrementara, llegando a abastecer a toda la demanda nacional alcanzando así su pico entre los años 1986-1991, gracias al convenio firmado entre proveedores locales y la hoy disuelta Obras Sanitarias de la Nación. A partir de entonces, las privatizaciones del uso del agua en los años 90 y una rígida paridad cambiaria ($1 peso argentino = 1 U$D), terminaron en el año 1993 definitivamente con una actividad que había contribuido al 47 % del producto bruto geográfico (PBG) del Departamento Calingasta, sustituyéndose por el sulfato de aluminio de origen industrial, obtenido del ataque con ácido sulfúrico a bauxitas y lateritas, de Brasil.
Llegaron a operar en la zona 21 empresas entre la cuales se destacan; Minera Ansilta, IMSA, Cartelone, Sulfacor, Badano, Merino, Ceras San Juan, Sulfamina S.R.L, Marimart, Minera San Felipe, Tambolar Exploración Minera, Compañía Calingasta Argentina, ASP Químicos Industrial (Dirección de Minería de San Juan, 2022).

3.2. Principales usos y proceso de obtención del sulfato de Aluminio

El sulfato de aluminio, es una sal de Aluminio, $Al_2(SO_4)_3$, que se utiliza como agente coagulante en la purificación de agua, fabricación de papel, en construcción como catalizador positivo de fraguado, estampado de textiles, fibras, curtiembres, jabones y detergentes, extinguidores de incendios, etc.
La extracción de mineral de sulfato de aluminio y su posterior procesamiento requiere de una metodología relativamente sencilla, el proceso inicia con la voladura, por separado, del estéril (que

se deposita directamente en las escombreras) y de la roca mineralizada que es cargada en camiones y depositada, sin ningún tratamiento adicional, en piletas de hormigón que se encuentran en las inmediaciones del yacimiento. Estas piletas se llenan de agua y se deja que se disuelva el sulfato por un lapso aproximado de un día, cuando adquiere la concentración de sales deseada se procede a trasvasar el líquido a un tanque de decantación para precipitar las partículas finas obteniendo así en ésta primera lixiviación un producto llamado sulfato de aluminio virgen, desde ese tanque se procede a enviar el líquido por tubería a una planta de tratamiento, en ella se somete al mineral disuelto a un proceso de oxidación separando por precipitación de MnO_2 el manganeso que forma parte del complejo de sulfatos que acompañan al sulfato de aluminio, asimismo, en una segunda etapa de oxidación se oxida el ión Fe^{+2} a Fe^{+3}, convirtiendo así el sulfato ferroso en sulfato férrico, que forma parte de los óxidos útiles con valor comercial por su propiedad de coagulante. El producto obtenido por las empresas que explotaron este producto en la región lo comercializaba tanto líquido cómo sólido, para el primer caso se concentraba en piletas de concentración con calor forzado hasta obtener una concentración mayor al 6 % de óxidos útiles (OUT) equivalente al 100% de $Al_2 (SO_4)_3$ + 0.638 $Fe_2(SO_4)_3$, en cuanto al sulfato de aluminio sólido se continuaba con la concentración hasta obtener un producto cristalizado, que luego de una trituración y embolsado se comercializaba (Dirección de Minería de San Juan, 2022; Pezzani G., comunicación personal, 25 de septiembre de 2024) (Fig.16).

El estéril, conocido en el lugar como pizarra y popularizado luego como escombrera, se depositaba muy cerca de las minas o de las plantas de procesamiento. El material acumulado fue formando montículos y con el tiempo, empleados de la sulfatera comenzaron a utilizarlo como defensa ante la crecida de los ríos y con la venia de gente del lugar que buscaba protección de sus cultivos y casas. La misma naturaleza fue desperdigando el material en los márgenes y muchas de estas escombreras que no se utilizaron para protección, entraron a formar parte del paisaje (Diario de Cuyo, 2014).



Figura 16: Imagen superior, vista en planta de planta de procesamiento. Imagen inferior, detalle de las instalaciones.

3.3. Consumo energético y mano de obra

En cuanto al suministro de energía de la planta de procesamiento del km 114 era aportado por combustible sólido (leña), mientras que las otras plantas consumían entre 150-180 kg de Fuel-Oil mensual.

La empresa Badano ocupaba 21 personas para una producción mensual de sulfato de aluminio de 200 t (Tabla 3).

A. Extracción en Mina	
Ayudante	1
Labores mineras de preparación	1
Capataces	2
SUBTOTAL	4
B. Concentración	
Calderistas	3
Ayudantes	3
Mecánico	1
Ayudante	1
Peones	8
Capataz	1
SUBTOTAL	17
TOTAL MANO DE OBRA	**21**

Tabla 3: Mano de obra en Compañía Minera de Magnesio Raúl Badano & Hnos.

En tanto que la Compañía Calingasta Argentina empleaba para una producción de 100 t mensuales de sulfato de aluminio 18 personas (Tabla 4) (Oliveri, J.C. y J. Rusinek, 1960).

A. Extracción en Mina	
Mano de obra	1
Labores mineras de preparación	1
Capataces	1
SUBTOTAL	3
B. Concentración	
Ayudantes	9
Peones	2
Capataz	1
SUBTOTAL	12
C. Generales	
Ingeniero	1
Químico	1
Ayudante	1
SUBTOTAL	3
TOTAL MANO DE OBRA	**18**

Tabla 4: Mano de obra en Compañía Calingasta Argentina.

3.4. Plan de Remediación

En el año 2015, el Gobierno Nacional a través de la Secretaría de Minería de la Nación, el Gobierno de la Provincia de San Juan, el Municipio del departamento de Calingasta y la empresa consultora CESEL S.A. realizaron el plan de remediación de las escombreras situadas en las márgenes del río Calingasta y del río San Juan.

Las obras comenzaron con el reconocimiento de las escombreras a orillas del río de los Patos y el río Calingasta, evaluando las condiciones de las escombreras y el entorno (calidad de agua, aire, suelos, flora, fauna, población, etc.), planteando las mejores alternativas de remediación viables en términos ambientales, técnicos, sociales y económicos.

Posteriormente, caracterizaron los residuos a través de calicatas, conociendo la composición mineral de la escombrera, su acidez y el contenido de metales y sales solubles.

Luego se realizaron estudios geotécnicos, evaluando la estabilidad de taludes de escombreras, relevamiento topográfico y estudios geológicos para la caracterización del suelo. Conjuntamente se efectuaron evaluaciones hidrológicas y morfológicas de los cursos de agua, monitoreo de flora y fauna silvestre y ambientes acuáticos, evaluación de calidad del aire y modelamiento atmosférico, permitiendo evaluar y modelar la dispersión del material particulado procedente de la escombrera sobre la villa de Calingasta (tomado de Da Rold M., 2018).

Una vez finalizados los estudios se llevó a cabo la obra de remediación de la escombrera de sulfato de aluminio sobre el río Calingasta. Los puntos desarrollados a destacar son, (Fig.17):

- Cubrimiento casi total de toda la escombrera que bordea el río Calingasta, en sus dos márgenes, con depósitos fluviales del río Calingasta y río de los Patos.
- Recubrimiento con gaviones de piedra, con malla de alambre galvanizado, para el sostenimiento de taludes.
- Re-encausamiento del curso del río Calingasta.
- Instalación de barandas, sistemas de iluminación y elementos urbanísticos para el desarrollo de miradores.
- Plan de reforestación y creación de camping.



Figura 17: Obras de remediación.

CAPÍTULO 4

4. DESCRIPCIÓN DE LOS RIESGOS GEOLÓGICOS

4.1. Descripción de los principales procesos geodinámicos

En la siguiente tabla se muestran los principales peligros naturales que afectan al sector:

Procesos Geodinámicos Externos	Procesos Geodinámicos Internos	Procesos Meteorológicos
Flujos de detritos	Sismos	Vientos y Tormentas eléctricas
Caída de rocas		Crecientes
Deslizamientos		

Tabla 5: Principales peligros geológicos.

Debido a la ubicación de los Pasivos Ambientales Mineros (PAM), existen riesgos importantes, siendo los Procesos de Remoción en Masa (PRM) los de mayor influencia en especial los flujos de detrito y las crecientes. Este proceso afecta al flujo vehicular sobre la ruta nacional Nº 149, el cual según estadísticas de tránsito en la red nacional de caminos de Vialidad Nacional (2023), el Tránsito Medio Diario Anual (TMDA) de dicha ruta es de 470 vehículos/día (Gráfico 2). El TMDA es una medida fundamental del tránsito y en el sentido estricto se define como el volumen de tránsito total anual dividido por el número de días del año.

Las áreas con los PAM que durante la época estival reciben sucesivas precipitaciones, oscilación térmica diaria y fuertes vientos generan deslizamientos y flujos de detrito, además los sectores más deprimidos, constituyen áreas con riesgo de estos procesos, el cual aumenta en aquellas laderas con pendientes más pronunciadas (Fig.18).

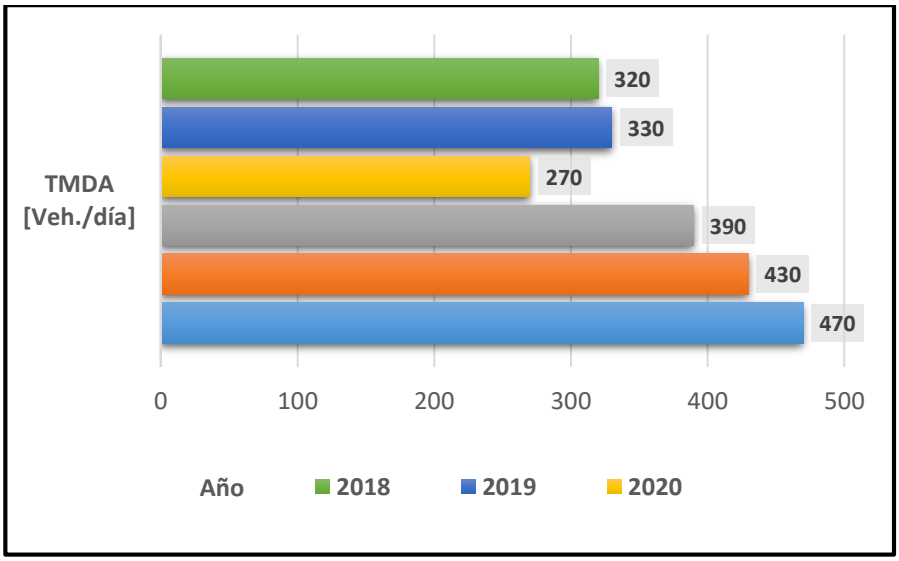


Gráfico 2: Variación de TMDA de 2018 a 2023 de la RN Nº149. Elaborado según datos de Vialidad Nacional 2023

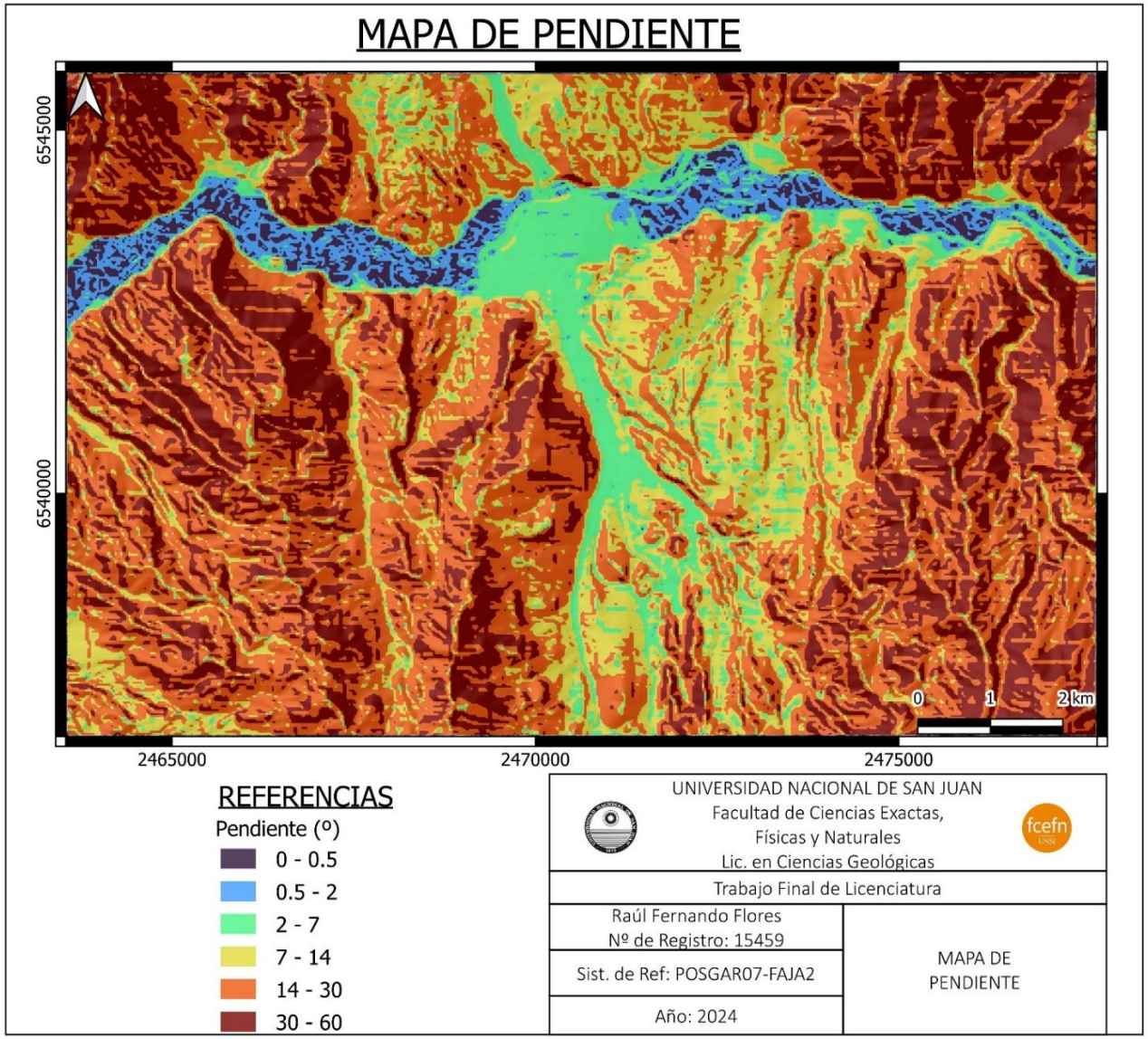


Figura 18: Mapa de pendiente de la zona de estudio.

Otro riesgo de gran importancia son los procesos geodinámicos internos, si bien Calingasta históricamente no ha sido epicentro de ningún terremoto destructivo, se tiene registro de que se han producido sismos de mediana magnitud e intensidad, además de percibirse sismos ocurridos en otros puntos del país y Chile (Perucca L. Oldecop L. 2012).

La falla del Tontal es de tipo inversa con inclinación al este. Si se considera que los depósitos afectados por la falla son contemporáneos a los datados y afectados por la falla El Tigre, se puede inferir un desplazamiento de la falla entre 0.05-0.057 mm/año, con moderada actividad durante el Cuaternario.

La falla del Carrizal es de tipo inversa y parte de su traza sobrepone rocas ordovícicas a sedimentos cuaternarios. La edad del último movimiento corresponde al Cuaternario (< 1.6 Ma.) (Costa et al., 2000) (Fig.19).

Se puede interpretar con base en estos datos que la zona de estudio presenta una gran influencia de dichas fallas debido a la proximidad con los PAM.

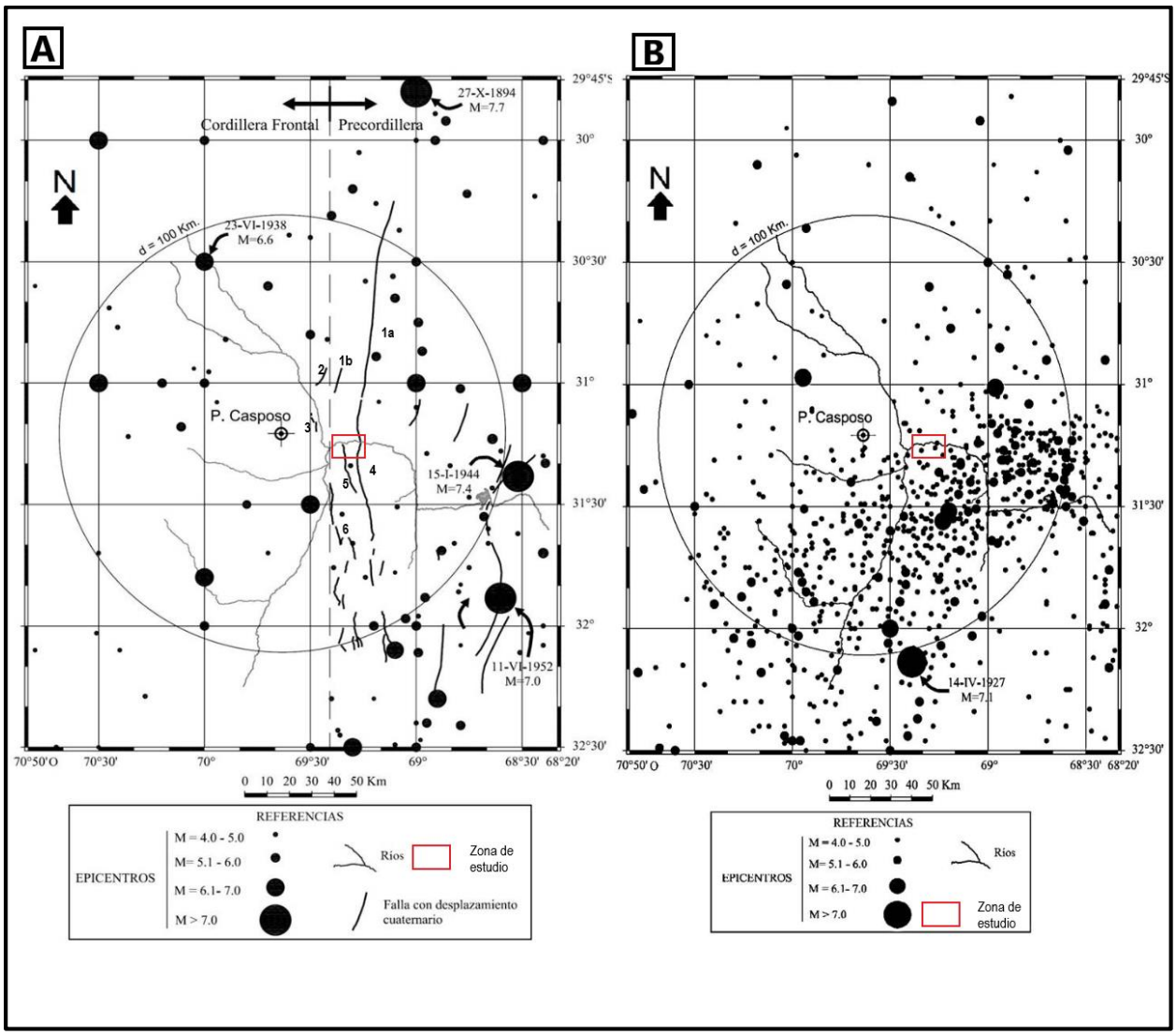


Figura 19: A) Epicentros de todos los eventos obtenidos del catálogo sísmico de Precordillera y Cordillera Frontal (Profundidad focal < 70 km). Fallas con actividad tectónica cuaternaria: 1a. El Tigre, 1b. Cántaro de Oro; 2. Río Castaño; 3. Villa Corral; 4. Tontal; 5. Carrizal; 6. Alcázar. B) Epicentros de todos los eventos del catálogo sísmico de la zona de Benioff (Profundidad Focal > 70 km). Extraído y modificado de Perucca L. Oldecop L. 2012.

El Gráfico 3 muestra la distribución estacional de las precipitaciones medias mensuales medidas en la estación CASLEO (período 2007-2017), notándose que tienen un régimen estival, siendo el de mayor acumulación enero con 22 mm, y julio el de menor precipitación con 1 mm. Comparadas con las del valle de Tulum se asemejan en su variabilidad, pero en cantidad las primeras las superan, salvo en enero.

Los datos proporcionados por la estación meteorológica automática del CASLEO fueron registrados cada media hora, para su posterior análisis (Poblete A. G., Escribá, K. G. 2020).

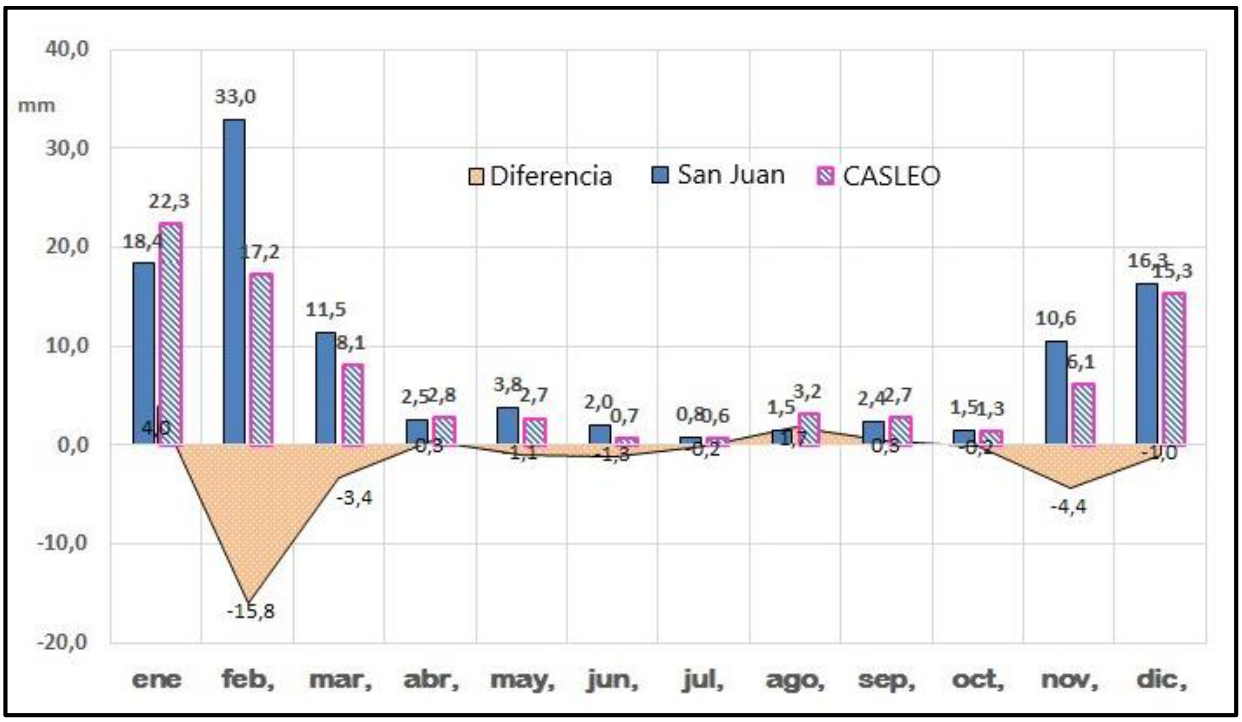


Gráfico 3: Comparación de las precipitaciones medias mensuales de las Chacritas con las registradas por la estación meteorológica del CASLEO. Diferencias con sombreado beige.
Extraído y modificado de Poblete A. G., Escribá, K. G. 2020.

4.2. Mapa de susceptibilidad

4.2.1. Aspectos conceptuales preliminares

Con el fin de unificar criterios respecto de los términos frecuentemente empleados en la gestión integral del riesgo, en este trabajo se ha adoptado la metodología y las definiciones conceptuales propuestas en el Manual de Elaboración de Mapas de Riesgo (Renda *et al.* 2017).

- Fenómeno natural: Es entendido como toda manifestación de la naturaleza, se refiere a cualquier expresión que adopta la naturaleza como resultado de su funcionamiento interno.
- Evento adverso: Es una situación, suceso o hecho que produce alteración en la vida de las personas, economía, sistemas sociales y el ambiente, causado por fenómenos de orígenes naturales o provocados por los seres humanos.
- Amenaza: Es el factor externo representado por la posibilidad que ocurra un fenómeno o un evento adverso, en un momento, lugar específico, con una magnitud determinada y que podría ocasionar daños a las personas, a la propiedad; la pérdida de medios de vida; trastornos sociales, económicos y ambientales. Debe destacarse que aun cuando exista una clasificación de amenazas, en la práctica es difícil catalogarlas en uno u otro tipo, debido a que muchas veces

pueden convertirse rápidamente en otro tipo de amenazas o traer efectos colaterales o "amenazas secundarias".

- Peligrosidad: Es la posibilidad que un proceso normal de la naturaleza pueda transformarse en un agente productor de un desastre. Dicho en otras palabras, está referida a la probabilidad de ocurrencia de un determinado proceso natural en un sitio determinado con implicancia temporal. Independientemente de que en el área que pueda afectar existan poblaciones o no. (Incidencia espacial y temporal).
- Susceptibilidad: Se refiere a zonas propensas a la ocurrencia de un proceso sin implicancia temporal alguna. (Incidencia espacial).
- Vulnerabilidad: Es el factor interno de una comunidad o sistema. Comprende las características de la sociedad acorde a su contexto que la hacen susceptibles de sufrir un daño o pérdida grave en caso de que se concrete una amenaza. Depende de las características del elemento considerado (no de su valor económico) y de la intensidad del fenómeno.

  La vulnerabilidad de los asentamientos humanos ante la ocurrencia de cualquier fenómeno adverso está ligada íntimamente a los procesos sociales que allí se desarrollan, es decir que no sólo depende de la susceptibilidad física del contexto material sino de la fragilidad social y la falta de resiliencia o capacidad de recuperación de los elementos expuestos ante amenazas de diferente índole.

  Si bien tomamos a la vulnerabilidad, exposición y resiliencia como elementos independientes de la función del riesgo, se reconoce la integración y relación entre conceptos que condicionan a la vulnerabilidad. En tal sentido, la vulnerabilidad de una comunidad ante un evento adverso puede evaluarse considerando diversas dimensiones que pueden subdividirse en tres categorías:

  a) *Exposición y susceptibilidad física*, que corresponden a un riesgo "duro", relacionado con el daño potencial en la infraestructura física y en el ambiente. Incluye a la población, las propiedades, los sistemas u otros elementos presentes en las zonas donde existen amenazas y, por consiguiente, están expuestos a experimentar pérdidas potenciales.
  b) *Fragilidades socioeconómicas*, que contribuyen a un riesgo "blando" relacionado con el impacto potencial sobre el contexto social.
  c) *La falta de resiliencia* para enfrentar desastres y recuperarse, que contribuyen también al riesgo "blando" o factor de impacto de segundo orden sobre las comunidades y organizaciones.

- Riesgo: Es la probabilidad de que una amenaza produzca daños al actuar sobre una población vulnerable. Según la Estrategia Internacional de Reducción de Riesgos de Desastres (EIRD), se entiende que riesgo, "es una función de la amenaza (un ciclón, un terremoto, una inundación,

o un incendio, por ejemplo), la exposición de la población y sus bienes a la amenaza, y de la situación de vulnerabilidad a la que se expone la población y sus activos".

- Emergencia: Se entiende como una situación, un daño provocado por un evento adverso de origen natural o provocado por los seres humanos que, por su magnitud, puede ser atendida por los medios disponibles localmente.
- Desastre: Es la interacción entre una amenaza y una población vulnerable que, por su magnitud, crea una interrupción en el funcionamiento de una sociedad y/o sistema a partir de una desproporción entre los medios necesarios para superarla y aquellos medios a disposición de la comunidad afectada.
  Cabe aclarar que muchas veces Emergencia y Desastre se toman como sinónimos.

Desastre	Se crea una desproporción entre los medios necesarios para dar respuesta a las necesidades de la comunidad afectada y a los disponibles en la misma.
Emergencia	Los medios disponibles localmente bastan para dar satisfacción a la demanda producida por el evento adverso.

Tabla 6: Diferencia entre Desastre y Emergencia.

- Resiliencia: La resiliencia es la capacidad de un sistema, comunidad o sociedad expuestos a una amenaza para resistir, absorber, adaptarse y recuperarse de sus efectos de manera oportuna y eficaz, lo que incluye la preservación y la restauración de sus estructuras y funciones básicas (UNISDR). La resiliencia puede ser medida mediante el funcionamiento de la infraestructura del sistema afectado por el evento adverso después de la ocurrencia del mismo y, especialmente, por el tiempo que tarda un sistema afectado por un desastre en volver a sus niveles de origen (Renda *et al.* 2017).

4.2.2. Elaboración de mapa de susceptibilidad

Con el objetivo de identificar las zonas que tienen mayor susceptibilidad a la generación de procesos de remoción en masa (flujos de detritos), se optó por trabajar con este método indirecto ya que ofrecen más posibilidades al ser más objetivo y cuantitativo al momento de analizar los principales factores condicionantes y/o desencadenantes a la formación de flujos de detrito. Este procedimiento se realizó mediante el uso de un Sistema de Información Geográfico (SIG). Además, cabe destacar la importancia de la documentación generados a la fecha de la zona de estudio, en donde a partir de esto se pudo efectuar un análisis más detallado.

- Factores Condicionantes: La realización del mapa a través del método indirecto se hizo usando una superposición de capas de información correspondiente a los siguientes factores; litología, pendiente, elevación y unidades morfoestructurales. La valoración en cada una de las capas, tiene como finalidad poder realizar operaciones cuantitativas para zonificar las áreas de mayor susceptibilidad a la generación de flujos de detrito.

a) Litologías: En función a su condición de aporte en la formación de flujos de detrito (rocas susceptibles a la erosión), se estipula valores a las formaciones, siendo el valor uno a afloramientos poco erosionados y cuatro más susceptibles a la erosión.
b) Pendientes: La presencia de elevadas pendientes favorece la erosión, por ende, hay menor acumulación de humedad y consecuentemente menos meteorización. Esto favorece el incremento de velocidad de los flujos de detrito en las zonas de cabeceras. De acuerdo a esto, se les asignaron valores a las distintas pendientes, quedando con uno a las pendientes más planas y cinco a las más empinadas.
c) Elevaciones: De acuerdo a la velocidad de escurrimiento que pueden adquirir los flujos de detritos (condicionada por litología y pendiente) es que se ponen los siguientes valores; uno a la cota de menor altura y cinco a la cota de mayor altura.
d) Morfoestructuras: En este caso la asignación de valores fue teniendo en cuenta la configuración de las morfoestructuras como así también el nivel de susceptibilidad de los PAM. Correspondiendo al valor uno a zonas donde no están emplazados los PAM y cuatro donde si están presentes.

Unidades Litológicas	Características	Valoración
Sedimentitas del paleozoico inferior (Fm Don Polo, Fm Alcaparrosa)	Representan rocas de un ambiente marino de talud, con secuencias turbidíticas y pelágicas con intercalaciones de lavas almohadilladas basálticas	1
Sedimentitas del paleozoico medio (Fm El Codo, Fm El Planchón)	Secuencias sedimentarias litorales marinas	1
Sedimentitas del paleozoico superior (Fm Del Ratón, Fm El Salto)	Secuencia sedimentaria continental	2
Zona oxidada (Faja Amarilla)	Presenta mayoritariamente limonitas y sulfatos de hierro.	3
Depósitos aluviales y coluviales actuales y disectados	Compuesto por conos de abanicos psamítico-psefíticos en las márgenes de los ríos. Son los depósitos más involucrados a los flujos de detritos por ser material no consolidado.	4
Depósitos de planicie aluvial	Son depósitos aterrazados que conforman el cauce actual del río San Juan.	2

Tabla 7: Valor asignado a las unidades litológicas.

Pendientes (°)	Valoración
0 – 0.5	1
0.5 – 2	1
2 – 7	2
7 - 14	3
14 – 30	4
30 - 60	5

Tabla 8: Valor asignado a las pendientes (°).

Elevación (m.s.n.m)	Valoración
1000-1617	1
1617-1984	2
1984-2352	3
2352-2719	4
2719-3086	5

Tabla 9: Valor asignado a elevación (m.s.n.m).

Unidades Morfoestructurales		Valoración
Unidad montañosa	Depósitos Paleozoico inferior-Precámbrico	1
Unidad de transición	Depósitos Paleozoicos	2
	Depósitos aluviales y coluviales actuales	3
	Depósitos aluviales y coluviales disectados	4
Unidad deprimida	Depósitos de planicie actual	2

Tabla 10: Valor asignado a las unidades morfoestructurales.

Aplicando el Proceso de Análisis Jerárquico (Analytic Hierarchy Process AHP) desarrollado por Saaty (1988), el cual consiste en análisis matricial e involucra juicios de valores, se generó la matriz de preferencia sobre los criterios seleccionados obteniendo la ponderación de las cuatro variables elegidas. En todos los casos se obtuvieron los valores normalizados y un Índice de Consistencia (IC) y la Relación de Consistencia (RC) que expresa un valor relativo de la inconsistencia, (valor = 1 indica que su inconsistencia es del 100 %, y si es 0, el juicio emitido es totalmente coherente). Se acepta una tolerancia del RC del 10 % (o un valor de RC de 0.1) para calificar de buena una ponderación, caso contrario deberá volverse a realizar la valoración por pares, repitiéndose de forma iterativa hasta que el RC sea menor a 0.10 (Molina J.J., 2014).

El proceso se realizó en una hoja de cálculo de Excel (versión 2016), aplicando las fórmulas correspondientes. Debido a que solo se manejan cuatro variables, y a las dimensiones de la zona (130,195 km^2), no fue necesario software especializado (tabla 11).

VARIABLES	PONDERACIÓN
Pendiente	0,4771
Litología	0,2905
Elevación	0,1328
Morfoestructuras	0,0997
Total	1,00

Tabla 11: Ponderación de variables.

Luego de haber realizado geoprocesamiento con los datos espaciales de cada capa (Fig.20 a Fig.23) se obtuvo un mapa de susceptibilidad a flujos de detrito (Fig.24) en el que se definieron los siguientes rangos:

SUSCEPTIBILIDAD	RANGO
Muy Baja	≤ 1
Baja	1 – 1,83
Media	1,83 – 2,67
Alta	2,67 – 3,51
Muy Alta	3,51 – 4,35

Tabla 12: Rangos de Susceptibilidad.

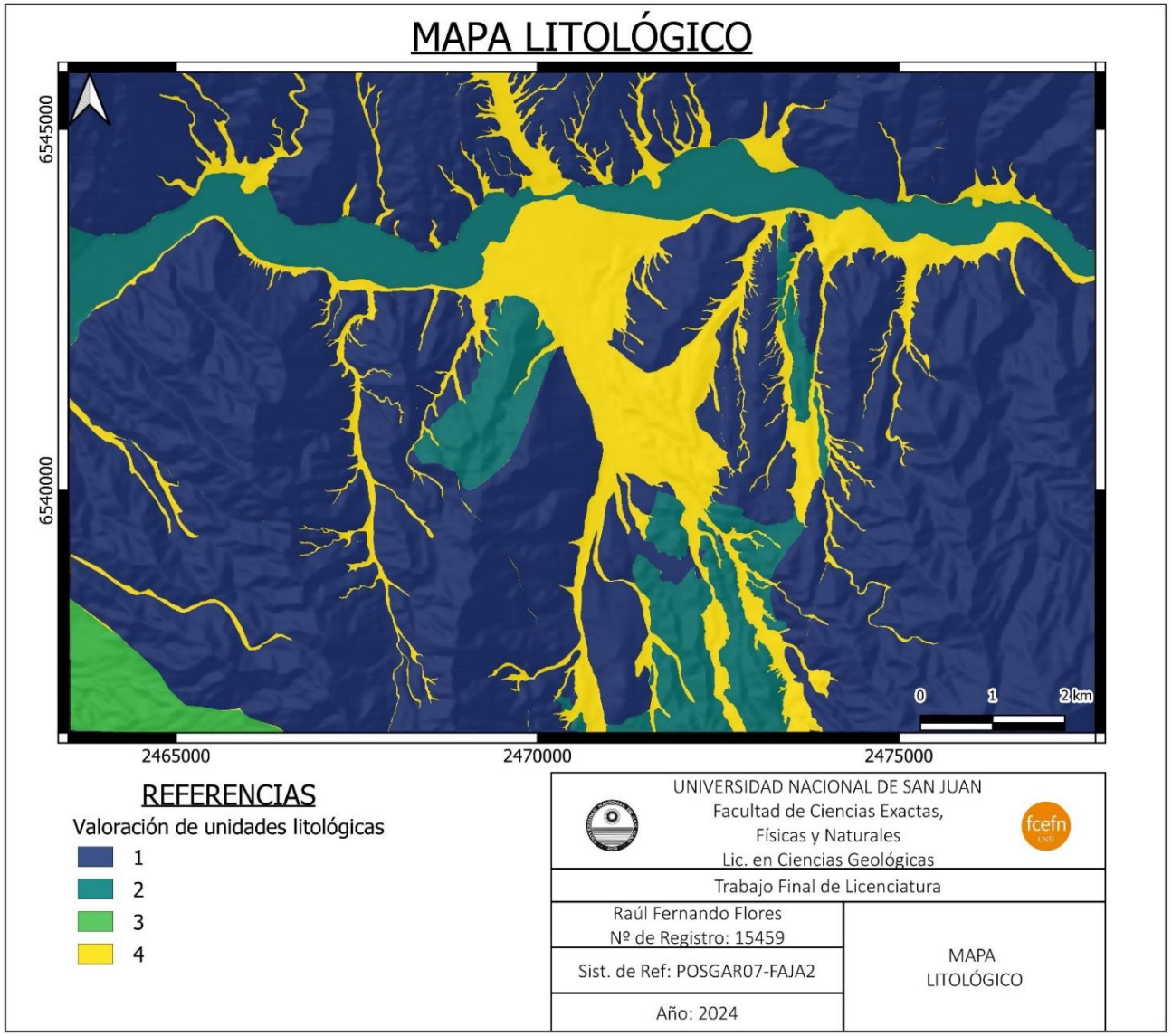


Figura 20: Mapa litológico con valoración asignada.

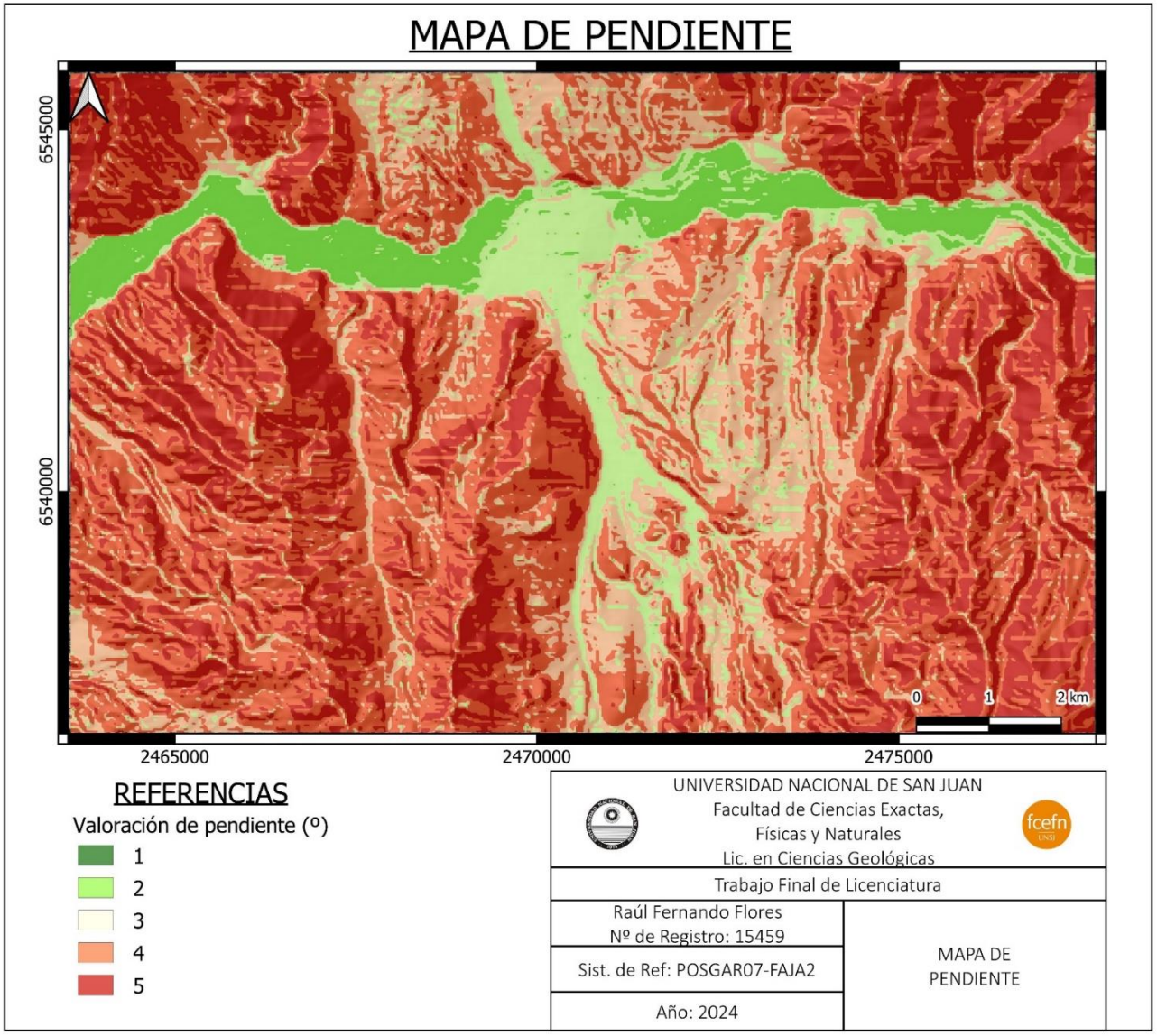


Figura 21: Mapa de pendiente con valoración asignada.

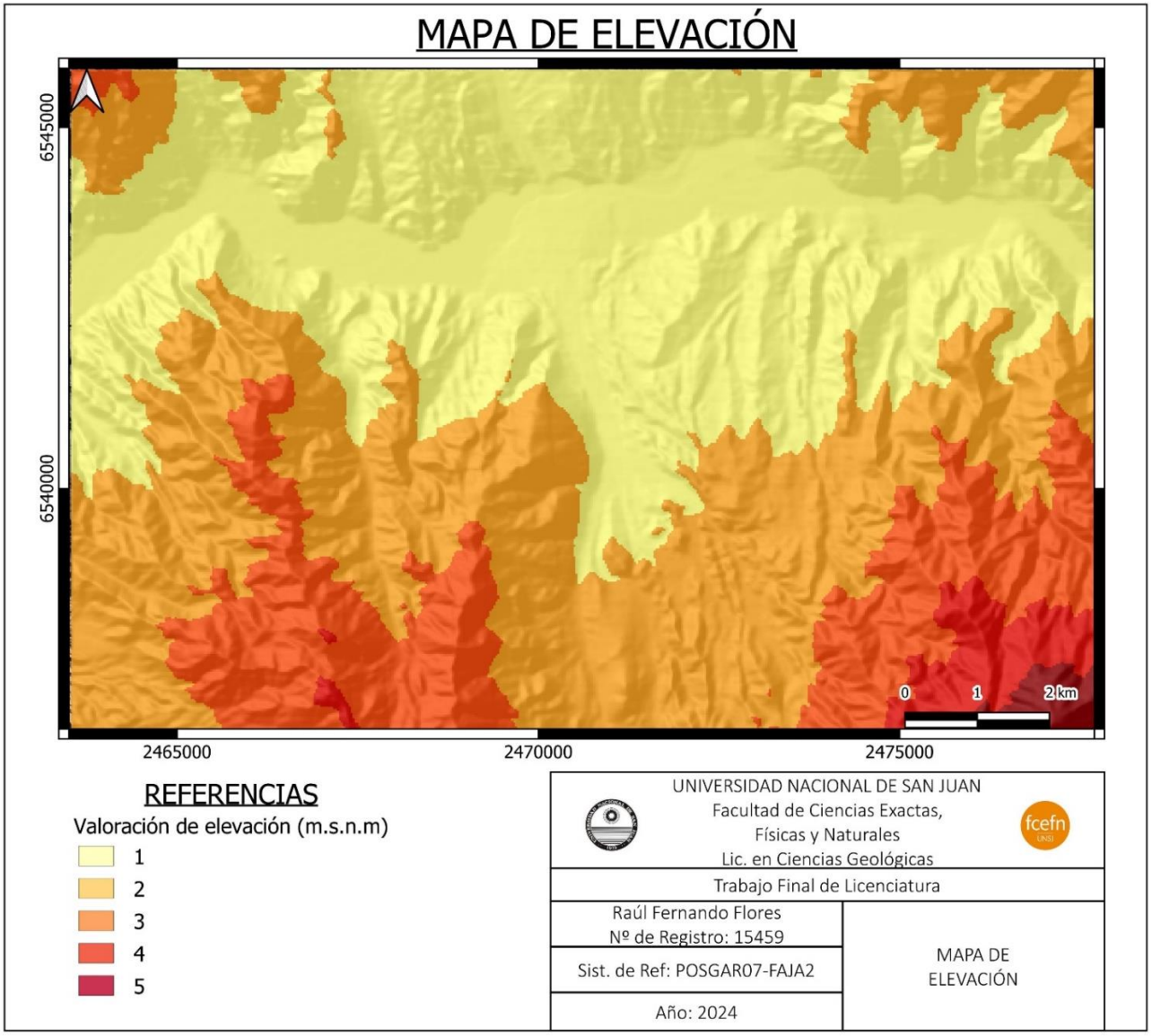


Figura 22: Mapa de elevación con valoración asignada.

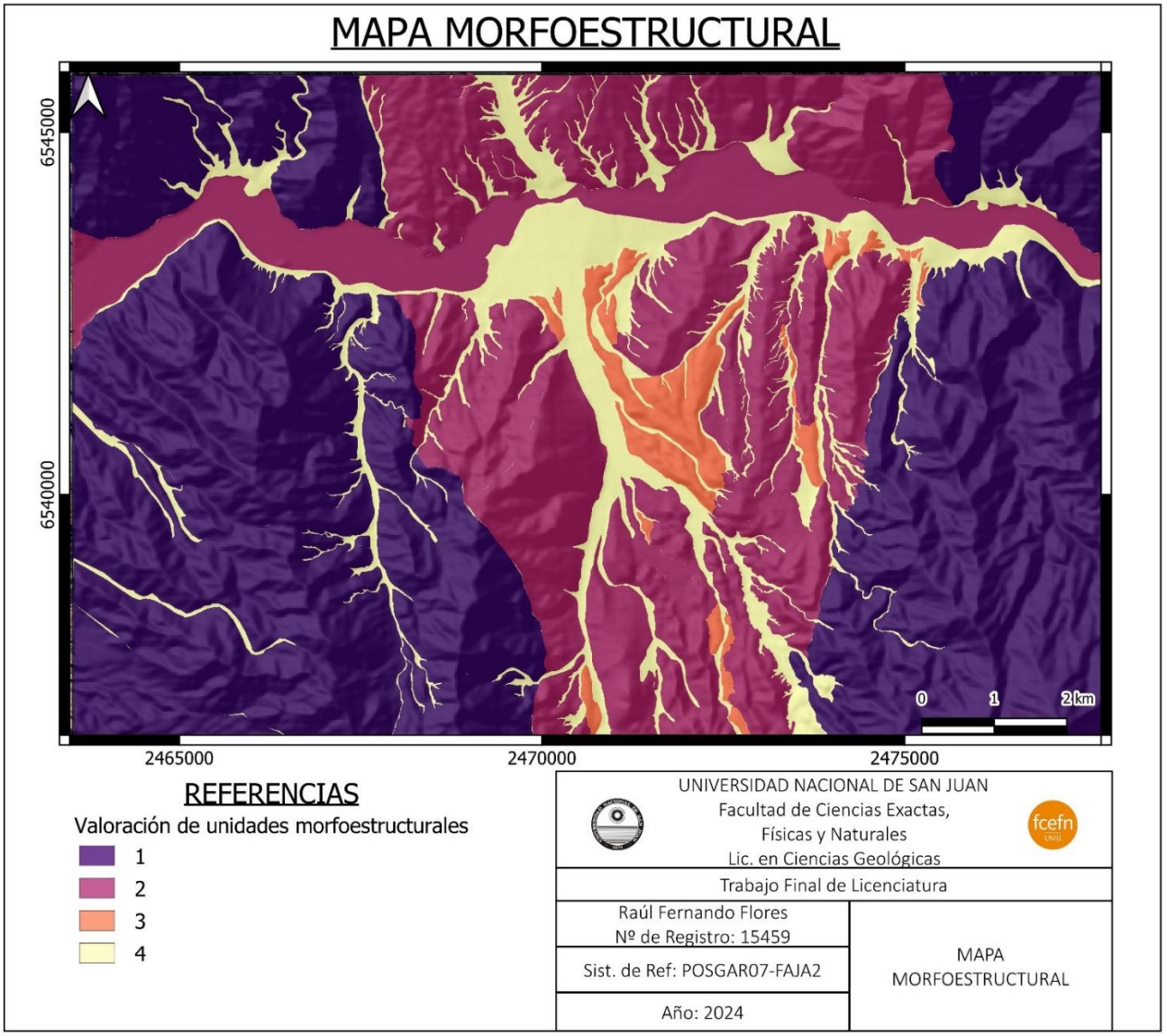


Figura 23: Mapa morfoestructural con valoración asignada.

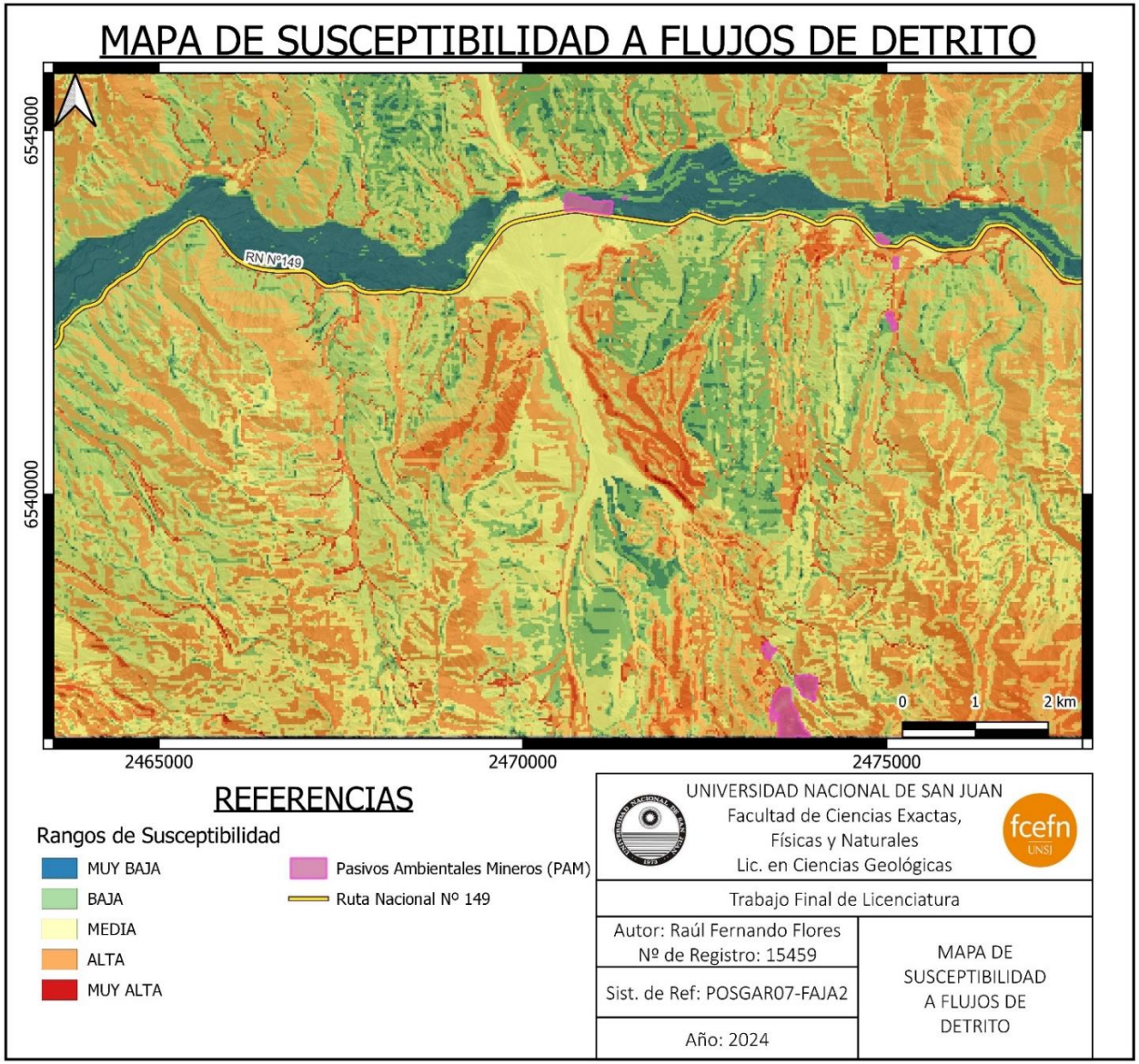


Figura 24: Mapa de susceptibilidad a flujos de detrito.

CAPÍTULO 5

5. DESCRIPCIÓN DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES

En la tabla que se muestra a continuación se detallan los factores identificados en el área de estudio.

Subsistema	Medio	Factores
Natural	Físico	Agua
		Geología
		Suelo
		Geomorfología
	Biótico	Flora
		Fauna
	Perceptual	Paisaje
Antrópico	Social	Empleo
	Económico	Economía

Tabla 13: Factores involucrados en la zona de estudio.

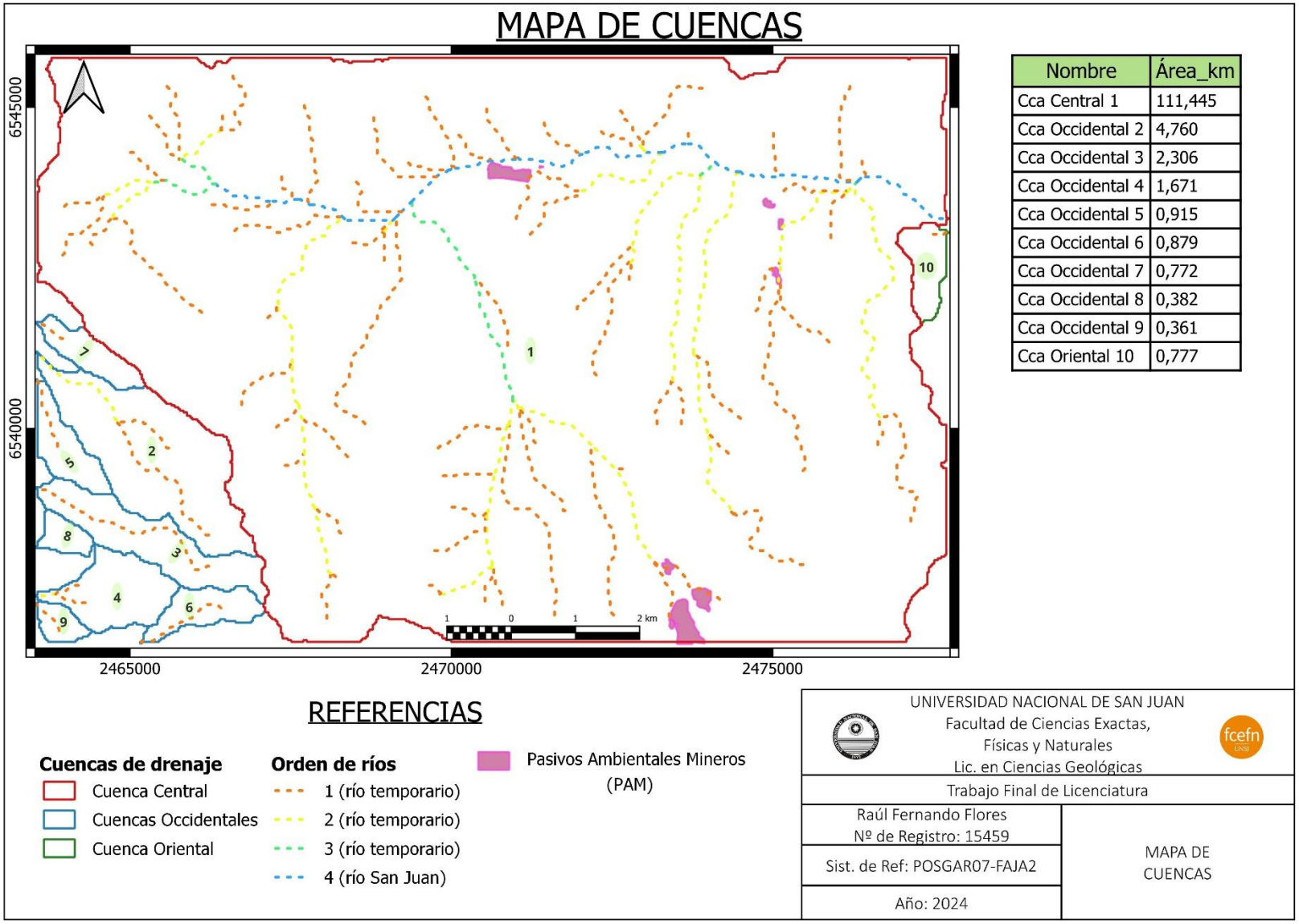
5.1. Medio Físico

Los factores involucrados dentro del medio físico, son: agua, suelo, geomorfología y geología (tabla 13). El suelo y geomorfología fueron modificados por la construcción de la planta de procesamiento y las escombreras, además de las defensas del río y puentes sobre la ruta nacional Nº 149 (Fig.25).



Figura 25: Obras viales y planta de procesamiento.

En cuanto al factor agua, hace referencia al río San Juan y a la cuenca central, esta última cubre un área aproximada de 111.445 km^2, con una red de drenaje de orden 4 (según la clasificación de Horton-Strahler), diseño de red de drenaje dendrítico a enrejado, también en la periferia del área de estudio se reconocen sub-cuencas las cuales no inciden sobre los PAM (Fig.26). Sobre dicha cuenca se encuentran instaladas la planta de procesamiento y las escombreras, donde se ven influenciado por las escorrentías principalmente en épocas estivales.



Nombre	Área_km
Cca Central 1	111,445
Cca Occidental 2	4,760
Cca Occidental 3	2,306
Cca Occidental 4	1,671
Cca Occidental 5	0,915
Cca Occidental 6	0,879
Cca Occidental 7	0,772
Cca Occidental 8	0,382
Cca Occidental 9	0,361
Cca Oriental 10	0,777

Figura 26: Red de drenaje del área de estudio.

5.2. Medio Biótico

La apertura de labores como la localización de instalaciones, escombreras, obras viales alteraron el hábitat natural de la flora y fauna de la zona, provocando la migración de las especies hacia otras regiones (Ramírez M.O, 2012). Por otro lado, la posible contaminación de las aguas sobre el margen sur del río San Juan pudieron afectar directamente a los principales ejemplares en materia ictícola, como la trucha arco iris, trucha marrón, trucha de arroyo, trucha criolla, carpa, bagre blanco y amarillo y pequeños cangrejos de ríos (SI San Juan, 2024) (Fig.27).

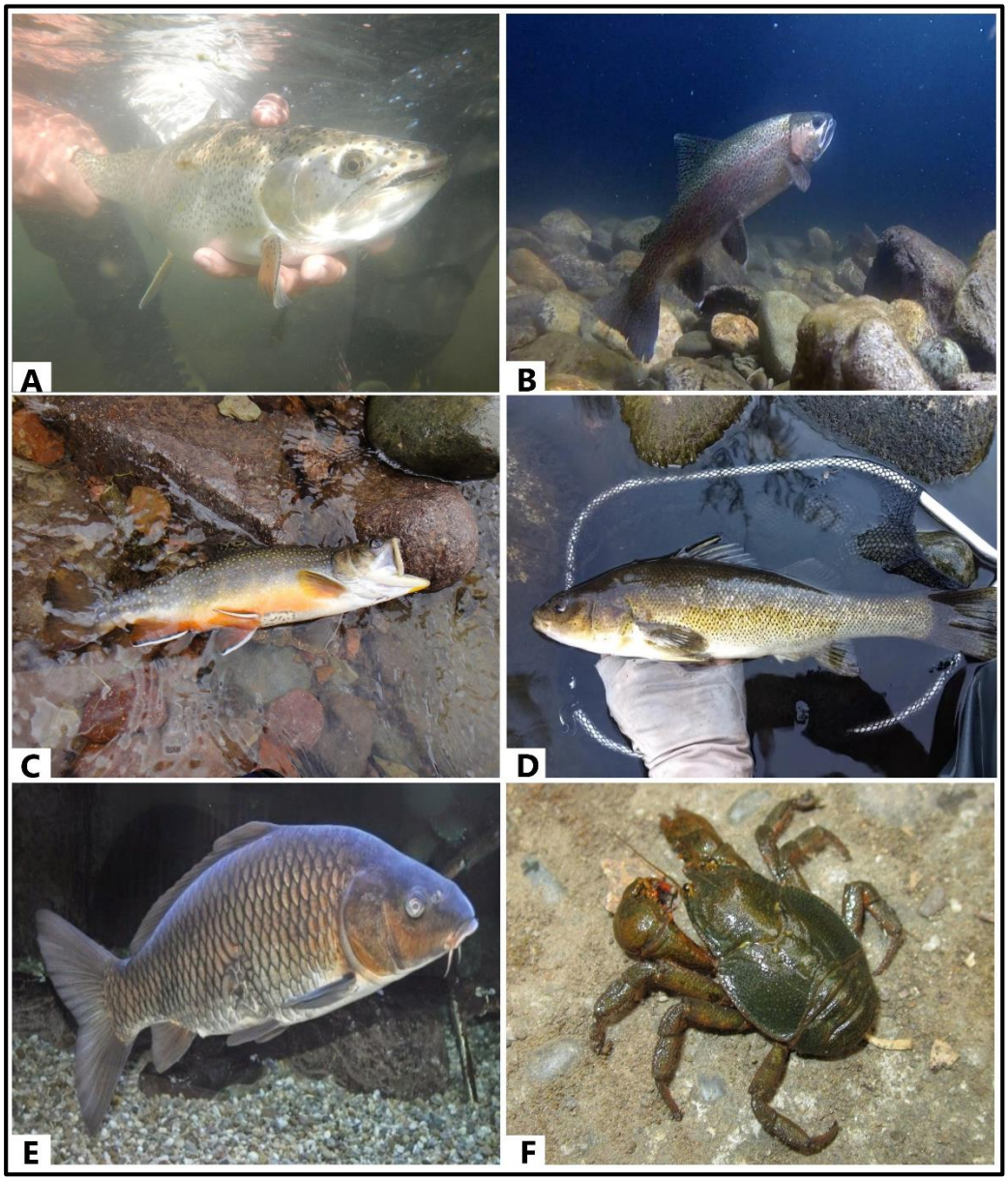


Figura 27: A) Trucha arco iris. B) Trucha marrón. C) Trucha de arroyo.
D) Trucha criolla. E) Carpa. F) Cangrejo.

5.3. Medio Perceptual

El mayor impacto visual de los PAM corresponde a la localización de la planta de procesamiento, escombrera y construcción las que se encuentran sobre el margen sur del río San Juan y a escasos metros de la ruta nacional Nº149, ya que se ubican en un sector de fácil acceso para la población (Fig.28), (Fig.29).

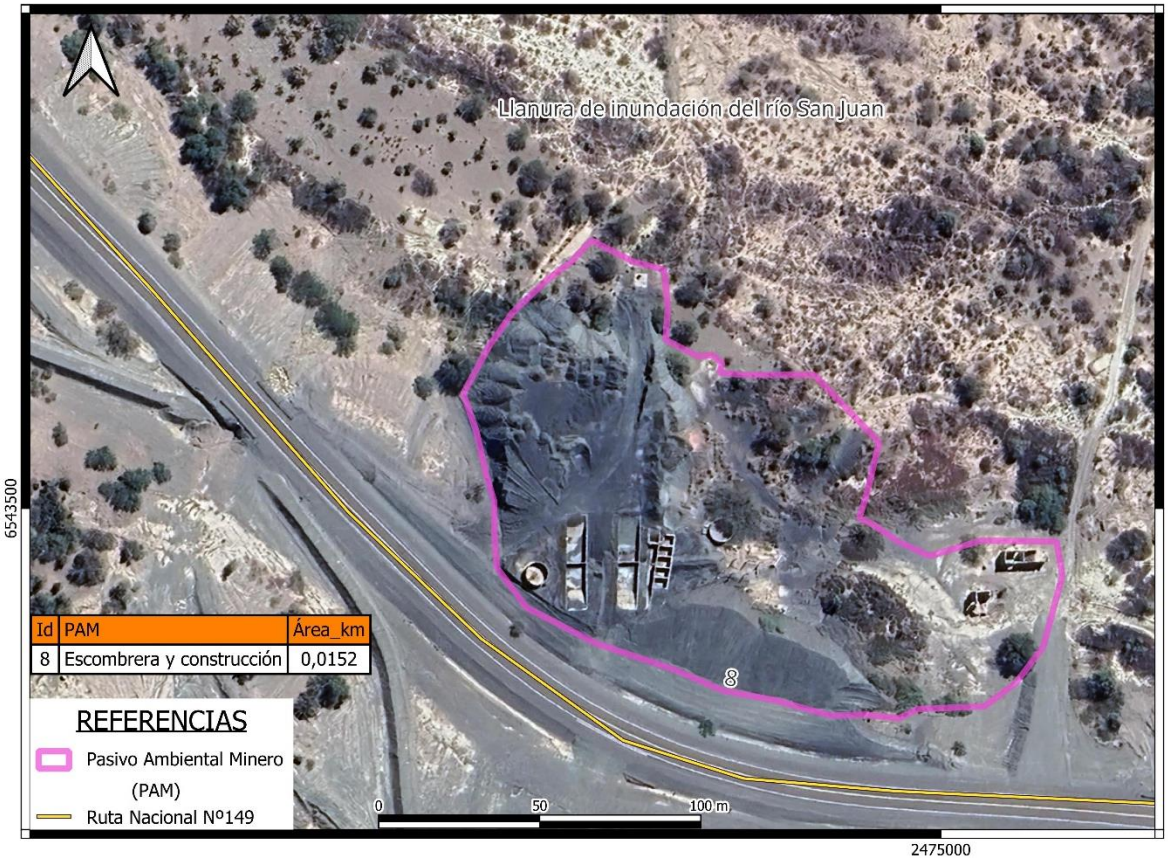


Figura 28: Distribución espacial de escombrera y construcción.

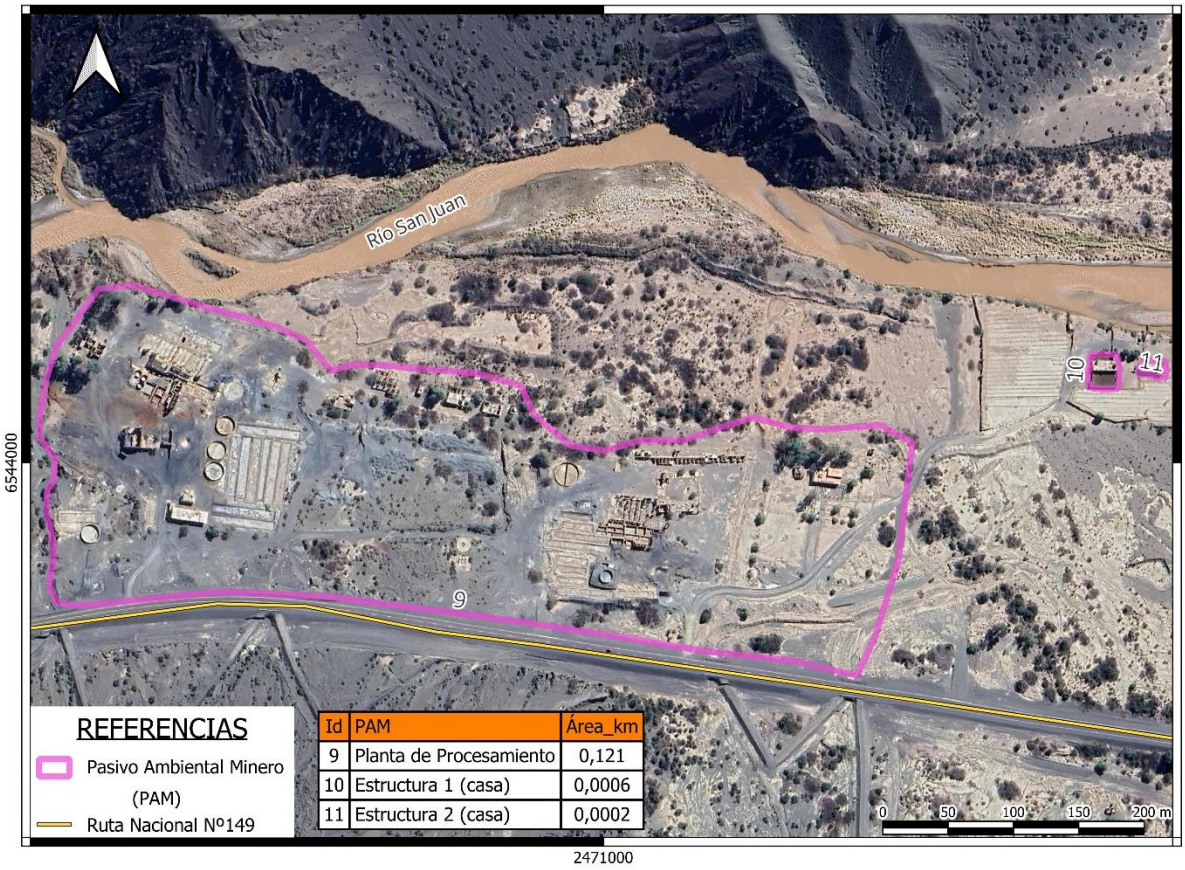


Figura 29: Ubicación de Planta de Procesamiento y Estructuras.

5.4. Medio Socioeconómico

Económicamente las obras de remediación de los PAM contaron con el financiamiento del Banco Interamericano de Desarrollo (B.I.D.) en un 75 % y en un 25 % por el Estado Nacional, la inversión fue de $ 48.100.000. Los trabajos realizados ocuparon alrededor de 60 personas, las cuales se dedicaron a reparar los PAM ubicados en la Villa de Calingasta, dejando de lado el desmantelando de las estructuras industriales y escombreras existentes a la altura de km 110 y 114 (Mining Press, 2015, Tiempo de San Juan, 2016).

Socialmente estos pasivos pueden llegar a afectar al turismo ya que el mayor impacto que tiene es el visual por su ubicación. Por este motivo además de generar algún tipo de contaminación sobre las aguas del río San Juan, es vital que se desarrolle un plan de remediación.

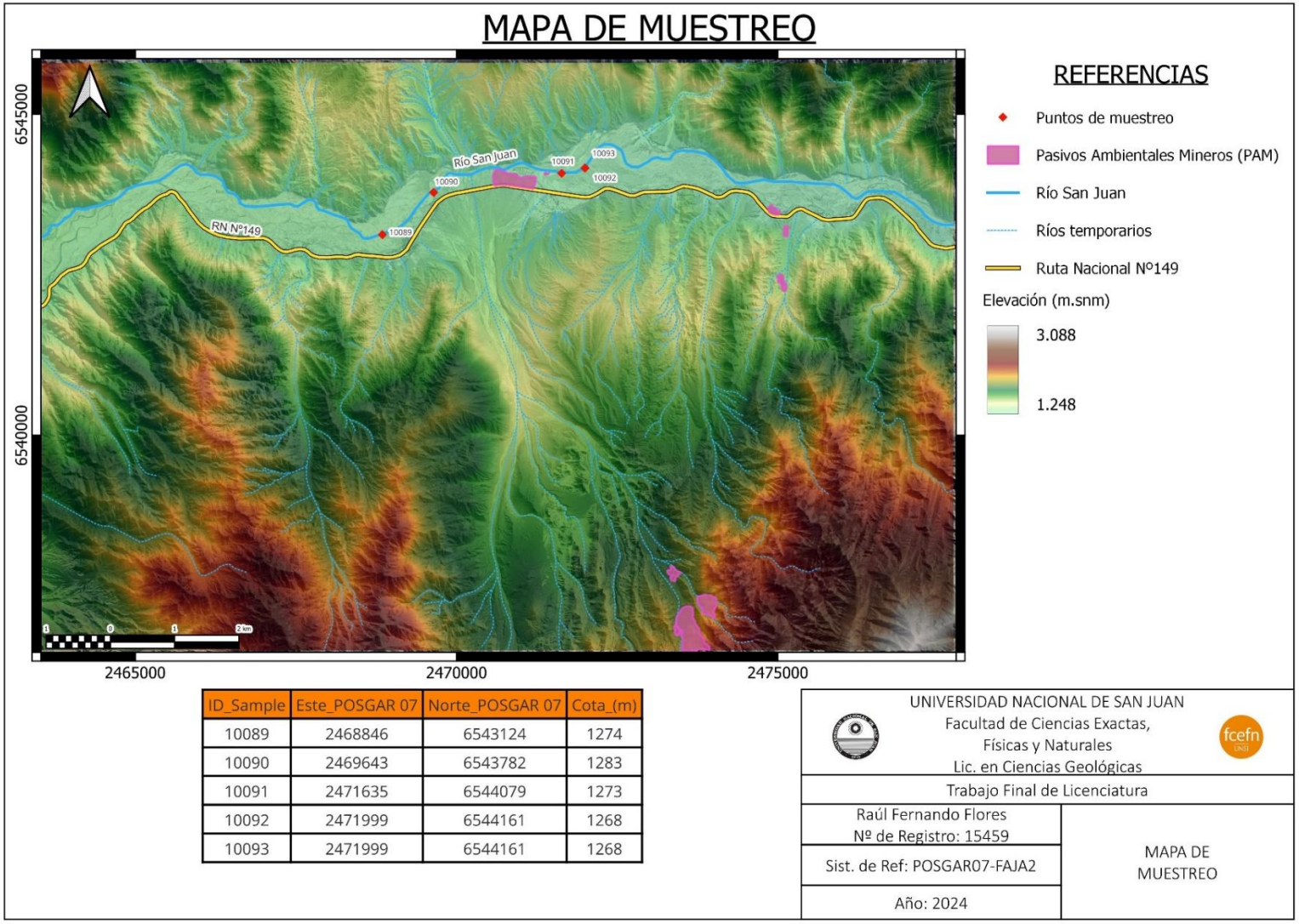
CAPÍTULO 6

6. METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL

6.1. Aspectos preliminares

El procedimiento de muestreo de agua se llevó a cabo, como indica el protocolo propuesto por el Laboratorio de Hidroquímica del INA-CRAS, tal como se mencionó en las tareas de campo. Los puntos de muestreo se efectuaron sobre el margen sur del río San Juan, aguas arriba y aguas debajo de los PAM, con el fin de poder determinar que influencia ejercen estos pasivos sobre dicho río.

En la figura 30 se muestra la distribución de las cinco muestras tomadas.



ID_Sample	Este_POSGAR 07	Norte_POSGAR 07	Cota_(m)
10089	2468846	6543124	1274
10090	2469643	6543782	1283
10091	2471635	6544079	1273
10092	2471999	6544161	1268
10093	2471999	6544161	1268

Figura 30: Distribución de muestreo.

6.2. Resultados

6.2.1. Parámetros físico-químicos

Los resultados obtenidos de los parámetros físico-químicos fueron medidos in situ con el peachímetro marca HANNA modelo HI991301 y con el conductímetro marca HACH (tabla 14).

Parámetro / Muestra	pH	Temperatura del agua (°C)	Conductividad eléctrica (µS/cm)	Volumen de la muestra (ml)
10089	8.84	10.4	750	1000/250 + HNO_3 2%
10090	8.27	10.8	680	1000/250 + HNO_3 2%
10091	8.91	11.6	680	1000/250 + HNO_3 2%
10092	9.07	12.3	680	1000/250 + HNO_3 2%
10093 (DUPLICADO)	-	-	-	1000/250 + HNO_3 2%

Tabla 14: Resultados de parámetros físico-químicos del área de estudio.

El caudal medio diario del río San Juan el día 11 de mayo del 2024 fue de 21.69 m^3/s, según datos proporcionados por el Departamento de Hidráulica perteneciente al Ministerio de Infraestructura Agua y Energía de la Provincia de San Juan.

Los valores de pH se mantienen constantes y ligeramente alcalino, con un promedio entre 8.27 y 9.07. La temperatura del agua, oscila entre 10.4 y 12.3 °C la cual pertenece al intervalo de temperatura media anual de la zona. Mientras que la conductividad eléctrica presenta valores dentro del rango correspondiente a Peligro de Salinización Moderado (C2) (Richards L. A. 1954).

Cada muestra fue acompañada de una serie de datos que se refieren tanto a datos de campo (número de la muestra, fecha, nombre del proyecto, muestreador, coordenadas, etc.), como así también a los parámetros físicos-químicos del agua (pH, temperatura, conductividad, volumen de la muestra) (Fig.31).

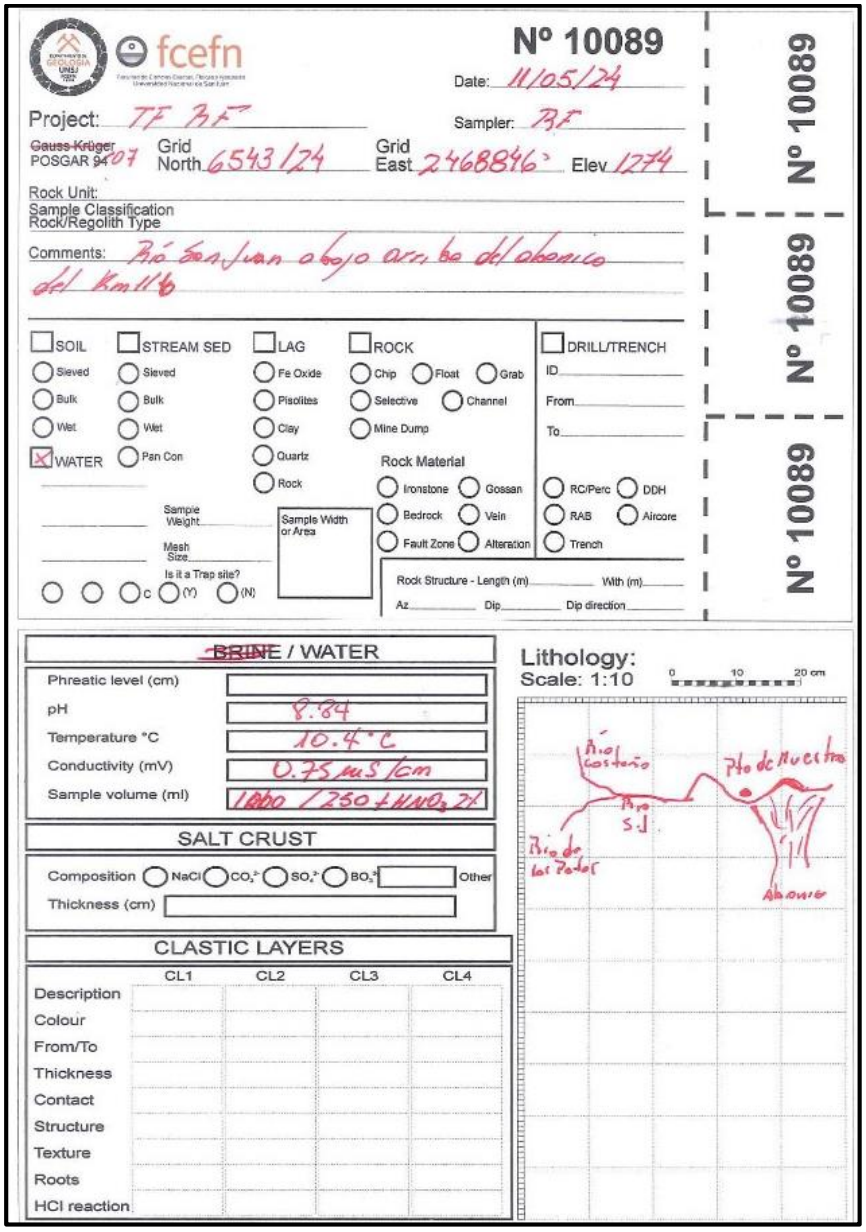


Figura 31: Planilla de muestreo.

6.2.2. Muestras hidroquímicas de agua

Los resultados obtenidos de las muestras de agua por el Instituto de Investigaciones Mineras (IIM) perteneciente a la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de San Juan, muestran en general valores inferiores a los valores guías establecidos como umbrales por la Organización Mundial de la Salud (OMS) y el Código Alimentario Argentino (CAA).

Solamente presentan valores anómalos para los cationes de Aluminio (Al) y Arsénico (As), tal como se muestra en la tabla 15.

Denominación	Unidad	10089	10090	10091	10092	10093	OMS (2022)	CAA (1994)
$SO_4^{=}$	mg/l	142,496	165,459	154,458	137,171	149,079	>500	400
$CO_3^{=}$	mg/l	0	0	0	0	0	-	400
HCO_3^{-}	mg/l	144,37	142,15	137,71	147,93	137,71	-	-
Zn	mg/l	ND	ND	ND	ND	ND	3	5
Cu	mg/l	0,11	0,09	0,09	0,09	0,09	2	1
Fe	mg/l	ND	0,01	0,11	ND	0,01	-	0,3
Al	mg/l	0,49	0,47	0,62	0,43	0,37	0,2	0,2
Ce	mg/l	ND	ND	ND	ND	ND	-	-
Tl	mg/l	0,097	0,156	0,112	0,077	0,144	-	-
Ni	mg/l	ND	ND	ND	ND	ND	0,07	-
Se	mg/l	ND	ND	ND	ND	ND	0,04	-
Hg	mg/l	ND	ND	ND	ND	ND	0,006	0,001
Mn	mg/l	0,02	0,02	0,04	0,02	0,02	0,08	0,1
Ba	mg/l	0,38	0,38	0,39	0,38	0,38	1,3	-
Mo	mg/l	ND	ND	ND	ND	ND	-	-
V	mg/l	ND	ND	ND	ND	ND	-	-
Co	mg/l	ND	ND	ND	ND	ND	-	-
Be	mg/l	ND	ND	ND	ND	ND	-	-
Mg	mg/l	12,3	16,77	10,06	10,66	8,38	-	-
Na	mg/l	23,88	24,36	26,14	25,27	26,85	200	-
K	mg/l	3,82	3,82	3,91	3,82	3,9	-	-
Ca	mg/l	88,49	88,49	86,65	86,65	85,73	-	-
Li	mg/l	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	-	-
Pb	µg/l	0,05	1,43	3,57	4,07	0,86	10	50
Cr	µg/l	2,32	4,67	2,47	3,74	2,49	50	50
As	µg/l	12,53	9,4	4,24	7,5	8,86	10	50
Cd	µg/l	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	3	5
Cl^{-}	ppm	5,26	6,04	4,98	4,78	4,97	250	350

Tabla 15: Resultados de los análisis de muestra de agua de la zona de estudio.

En el caso del **Aluminio** (Al) todas las muestras de agua (**10089, 10090, 10091, 10092, 10093**) contienen valores que superan los límites de detección (0,2 mg/l) establecidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS), Código Alimentario de la Salud (CAA), (Gráfico 4).
En el Gráfico 4 se puede observar que la mayor concentración de Aluminio (Al) se encuentra en la **muestra 10091**, la cual se localiza después de los PAM, tanto antes y después de este pico se mantienen estables o con leve decaimiento los valores.
Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), hay escasos indicios de que la ingestión de Aluminio (Al) por vía oral produzca toxicidad aguda en el ser humano, a pesar de la amplia presencia del elemento en alimentos, agua de consumo humano y numerosos antiácidos. Se ha sugerido la hipótesis de que la exposición al Aluminio (Al) es un factor de riesgo para el desarrollo o la aparición temprana de la enfermedad de Alzheimer en el ser humano. Mientras que otros estudios no han encontrado evidencia de que esto ocurra (Organización Mundial de la Salud, 2022).

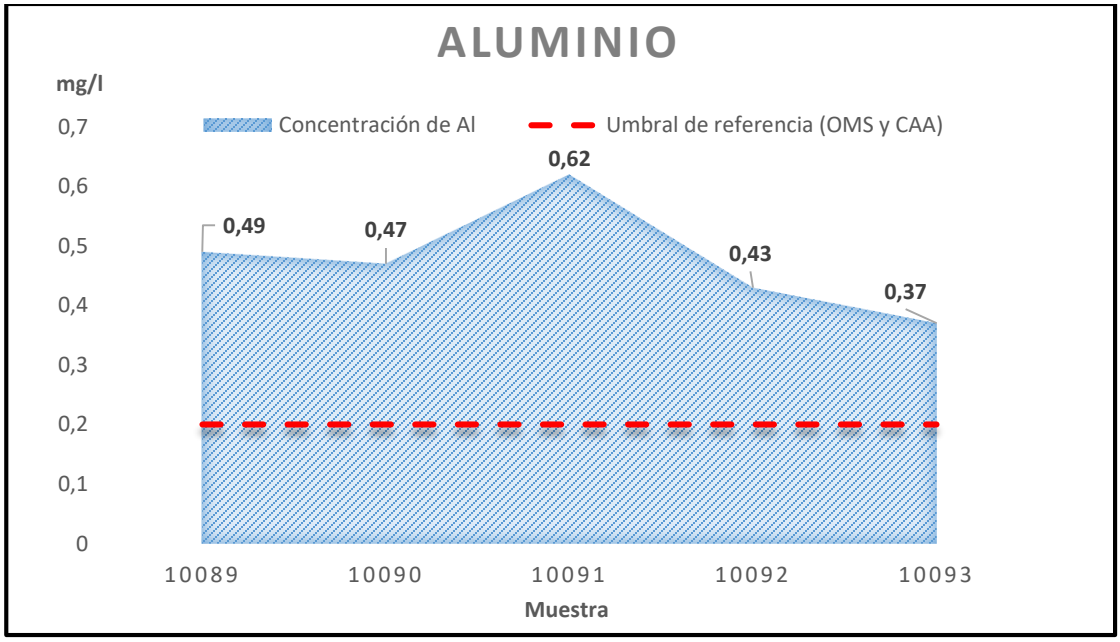


Gráfico 4: Valores de Aluminio de la zona de estudio.

Con respecto al **Arsénico** (As) solamente una muestra (**10089**) presenta valores superiores a los establecidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS) (Gráfico 5). Mientras que no supera el límite de detección del Código Alimentario Argentino (CAA) de 50 µg/l.
La Organización Mundial de la Salud (OMS) ha registrado intoxicación aguda por Arsénico (As) asociada con la ingestión de agua de pozo con concentraciones muy altas (21 mg/l) de Arsénico (As).
Los signos de arsenicismo crónico, incluidos las lesiones dérmicas como la hiperpigmentación e hipopigmentación, la neuropatía periférica, el cáncer de vejiga y de pulmón, y la enfermedad vascular periférica, se han observado en las poblaciones que ingieren agua de consumo humano contaminada con Arsénico (As). Las lesiones dérmicas fueron el síntoma observado más

comúnmente y se producen después de periodos aproximados de exposición de por lo menos 5 años. Se observaron efectos sobre el sistema cardiovascular en niños que consumieron agua contaminada con Arsénico (As) (concentración media de 0.6 mg/l) durante un promedio de 7 años. El Programa Internacional de Seguridad Química (IPCS) llegó a la conclusión de que la exposición de largo plazo al arsénico en el agua de consumo humano se relaciona causalmente con un mayor riesgo de cáncer en la piel, pulmones, vejiga y riñones, así como cambios en la piel, como la hiperqueratosis y cambios en la pigmentación. Estos efectos se han demostrado en muchas investigaciones que han utilizado diferentes diseños de estudio (Organización Mundial de la Salud, 2022).

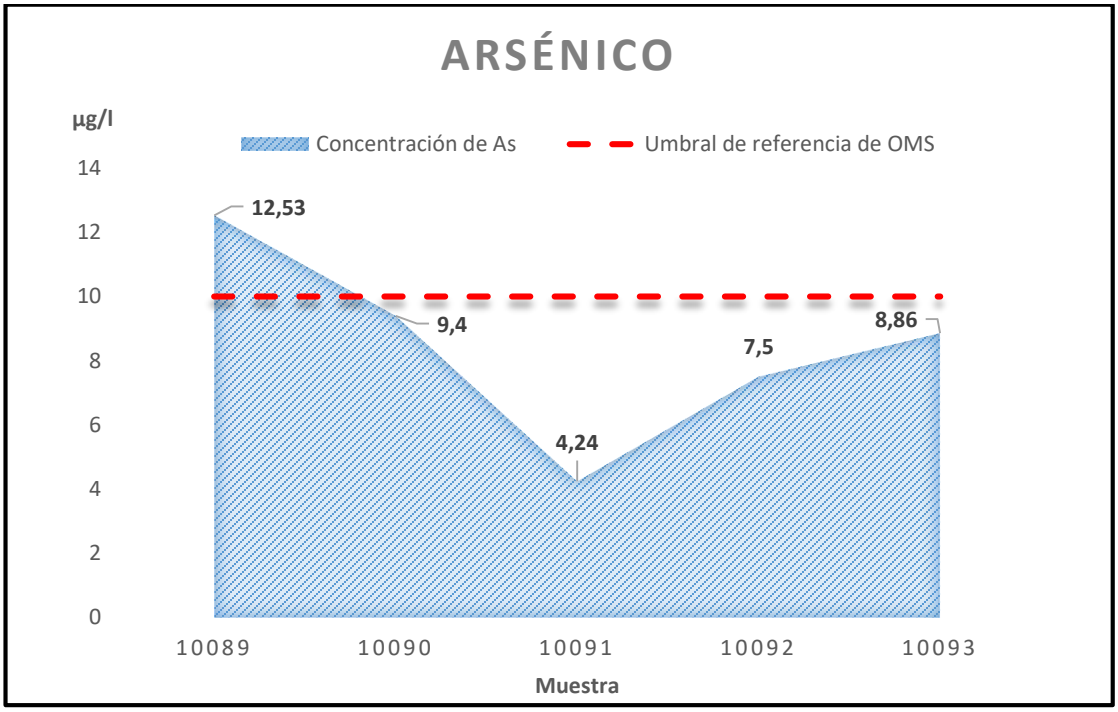
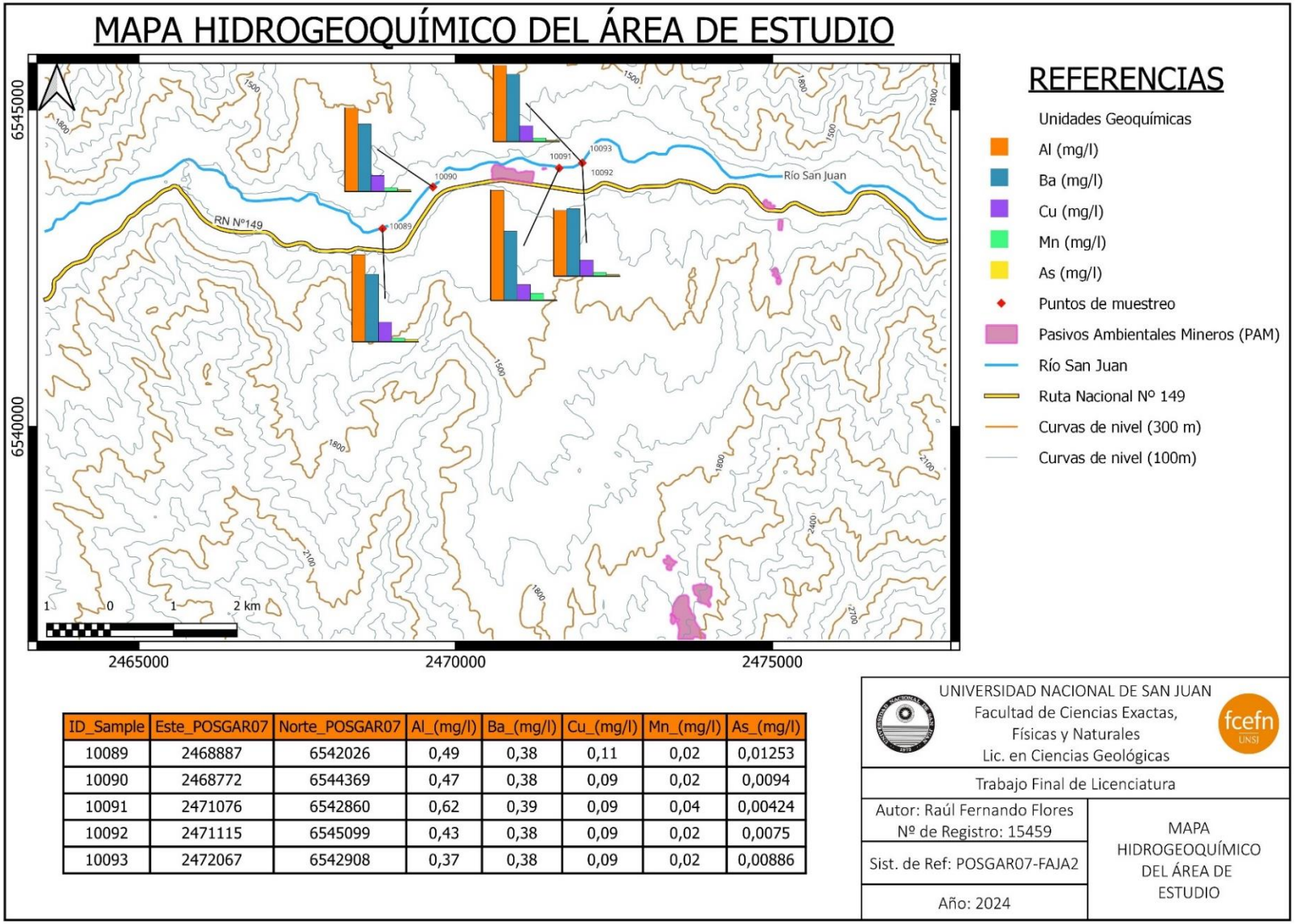


Gráfico 5: Valores de Arsénico de la zona de estudio.

Las posibles causas de estas concentraciones elevadas de aluminio y arsénico detectadas por los análisis del laboratorio, se debería a la presencia de los pasivos ambientales, como así también al aporte ocasionado por la erosión y lixiviación de las rocas ricas en estos metales.

A continuación, se muestran los datos hidrogeoquímicos de los puntos de muestreo de aquellas concentraciones de cationes (Al y As) con valores superiores a los establecidos para agua apta para consumo humano, como así también la de elementos (Ba, Cu y Mn) con valores significativos, los que se representan mediante gráficos de barras (Fig.32).



ID_Sample	Este_POSGAR07	Norte_POSGAR07	Al_(mg/l)	Ba_(mg/l)	Cu_(mg/l)	Mn_(mg/l)	As_(mg/l)
10089	2468887	6542026	0,49	0,38	0,11	0,02	0,01253
10090	2468772	6544369	0,47	0,38	0,09	0,02	0,0094
10091	2471076	6542860	0,62	0,39	0,09	0,04	0,00424
10092	2471115	6545099	0,43	0,38	0,09	0,02	0,0075
10093	2472067	6542908	0,37	0,38	0,09	0,02	0,00886

Figura 32: Mapa hidrogeoquímico de la zona de estudio.

6.2.3. Hidroquímica del río San Juan

Para el estudio e interpretación de datos derivados de análisis hidroquímicos, se utilizó la aplicación Aquifer App la cual transforma las unidades de los datos de mg/l a meq/l, y da como resultado una serie de diagramas como el de Piper-Hill-Langellier, Schöeller-Berkaloff y Stiff. A continuación, se describe cada uno de ellos:

- **Diagrama de Piper-Hill-Langellier:** Es la clasificación más utilizada. Está formado por dos triángulos equiláteros donde se representan los cationes (Ca^{2+}, Mg^{2+}, $Na^{+} + K^{+}$) y aniones (SO_4^{-2}, Cl^{-} y HCO_3^{-}) mayoritarios. Cada lado de los triángulos lleva una escala en porcentaje de miliequivalentes por litro (meq/l). Los datos de los diagramas triangulares se proyectan en un rombo central en el que se representa la composición del agua deducida a partir de iones. Esta clasificación permite hacer interpretaciones respecto al origen y a la evolución de las aguas subterráneas (Mariño E.E., García F.R., 2018).
  Los resultados obtenidos a través del procesamiento de datos de la aplicación Aquifer App permiten clasificar, según su origen y evolución a las aguas del río San Juan como **Sulfatadas Cálcicas** (Fig.33).

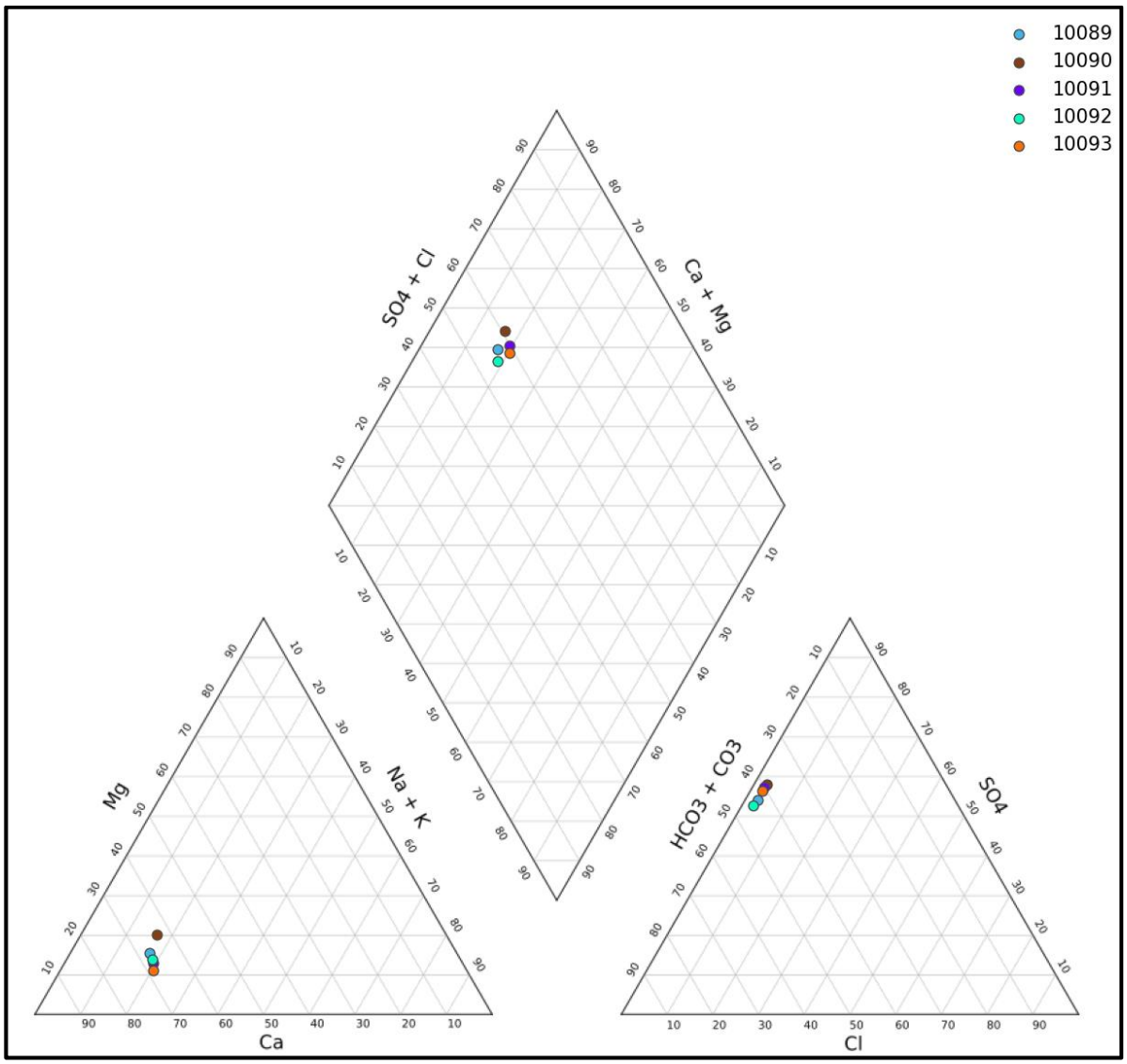


Figura 33: Diagrama de Piper-Hill-Langellier.

- Diagrama de Schöeller-Berkaloff: Es un diagrama lineal que consta de un eje de categorías (eje x) donde cada vertical corresponde a un ion (generalmente mayoritario). En el eje de ordenadas se marca, en escala logarítmica, la concentración de cada ion (en meq/l). Una ubicación superior de la línea dentro del gráfico indica una mayor concentración de la muestra y sus "picos" permiten identificar los iones dominantes. Es muy útil para estudiar la evolución temporal de aguas en un mismo punto y su variación composicional en diferentes localidades (Mariño E.E., García F.R., 2018) (Fig.34).

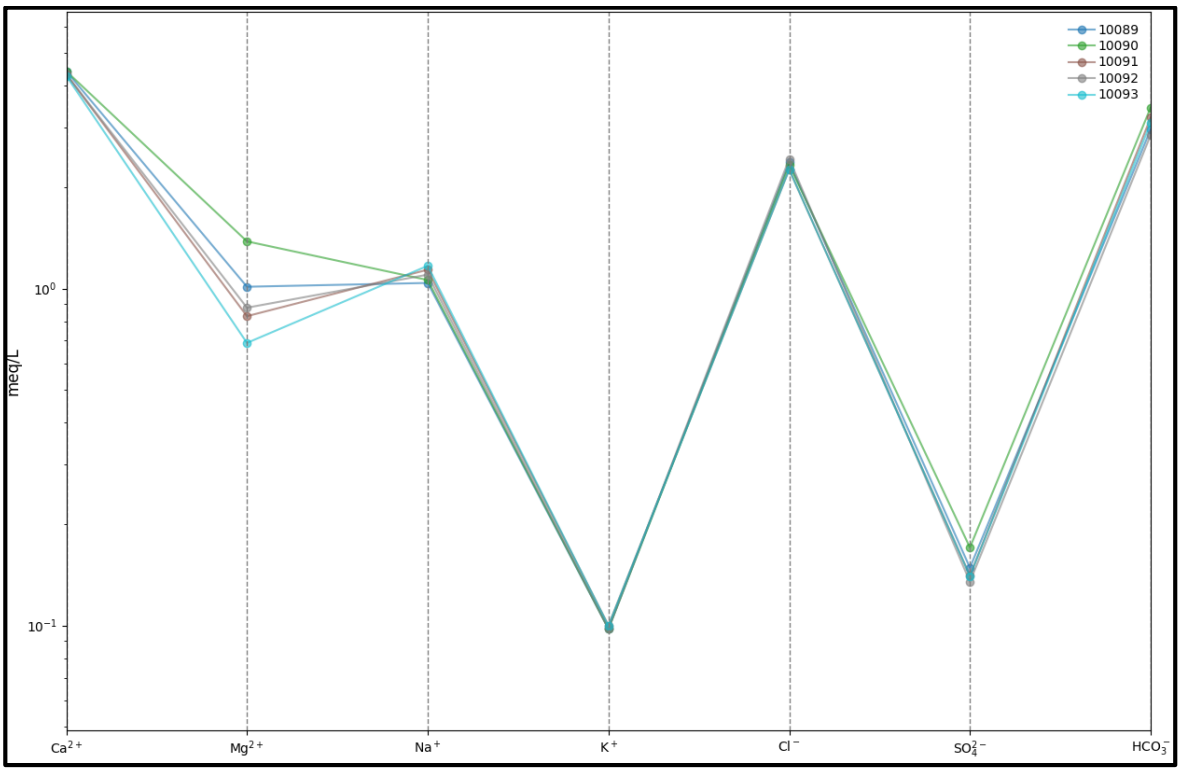


Figura 34: Diagrama de Schöeller-Berkaloff.

- **Diagrama de Stiff:** Se representan la concentración de aniones (hacia la derecha) y cationes (hacia la izquierda) en semirrectas paralelas, uniendo los extremos generando un polígono. El valor de concentración se expresa en miliequivalentes por litro (meq/l), la forma de las figuras resultantes da idea del tipo de agua (Mariño E.E., García F.R., 2018).
  Los resultados de los análisis realizados sobre el margen sur del río San Juan entre el km 114 y 116 lo clasifican como **Sulfatada Cálcica** (Fig.35).

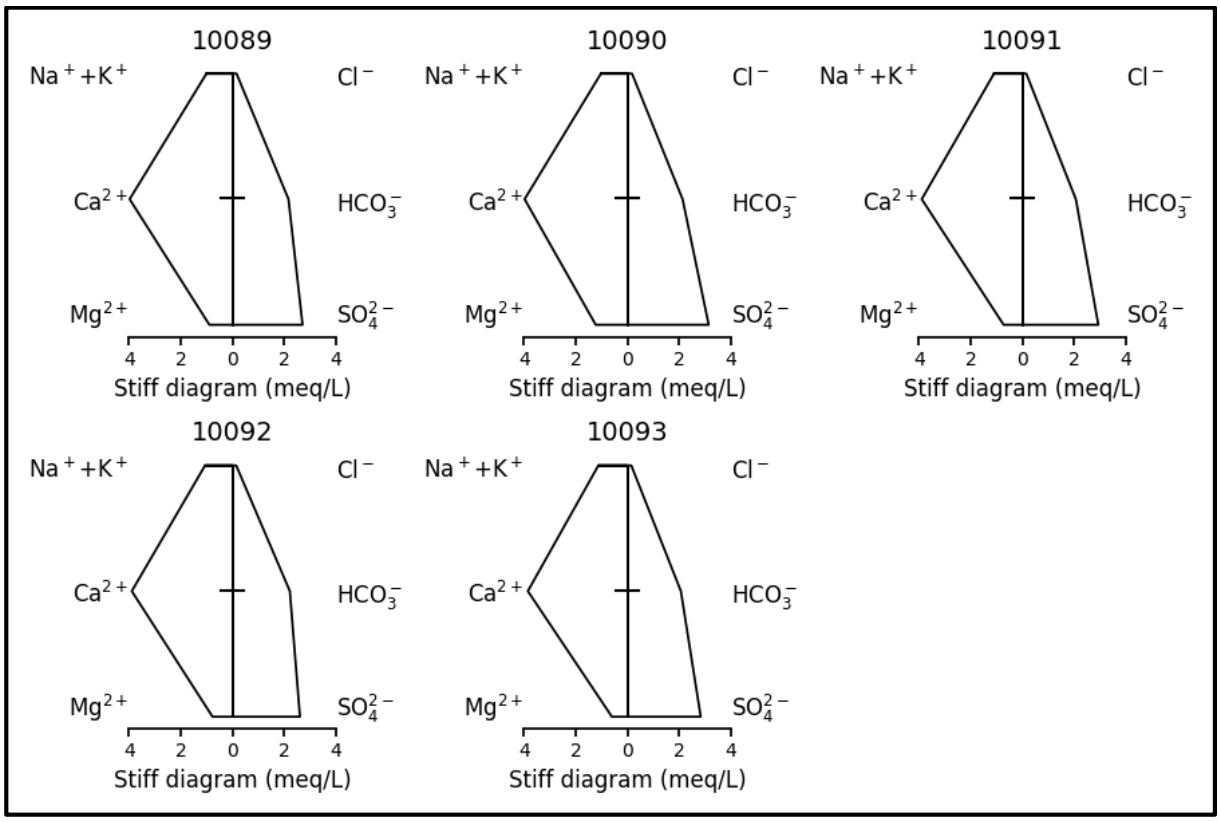
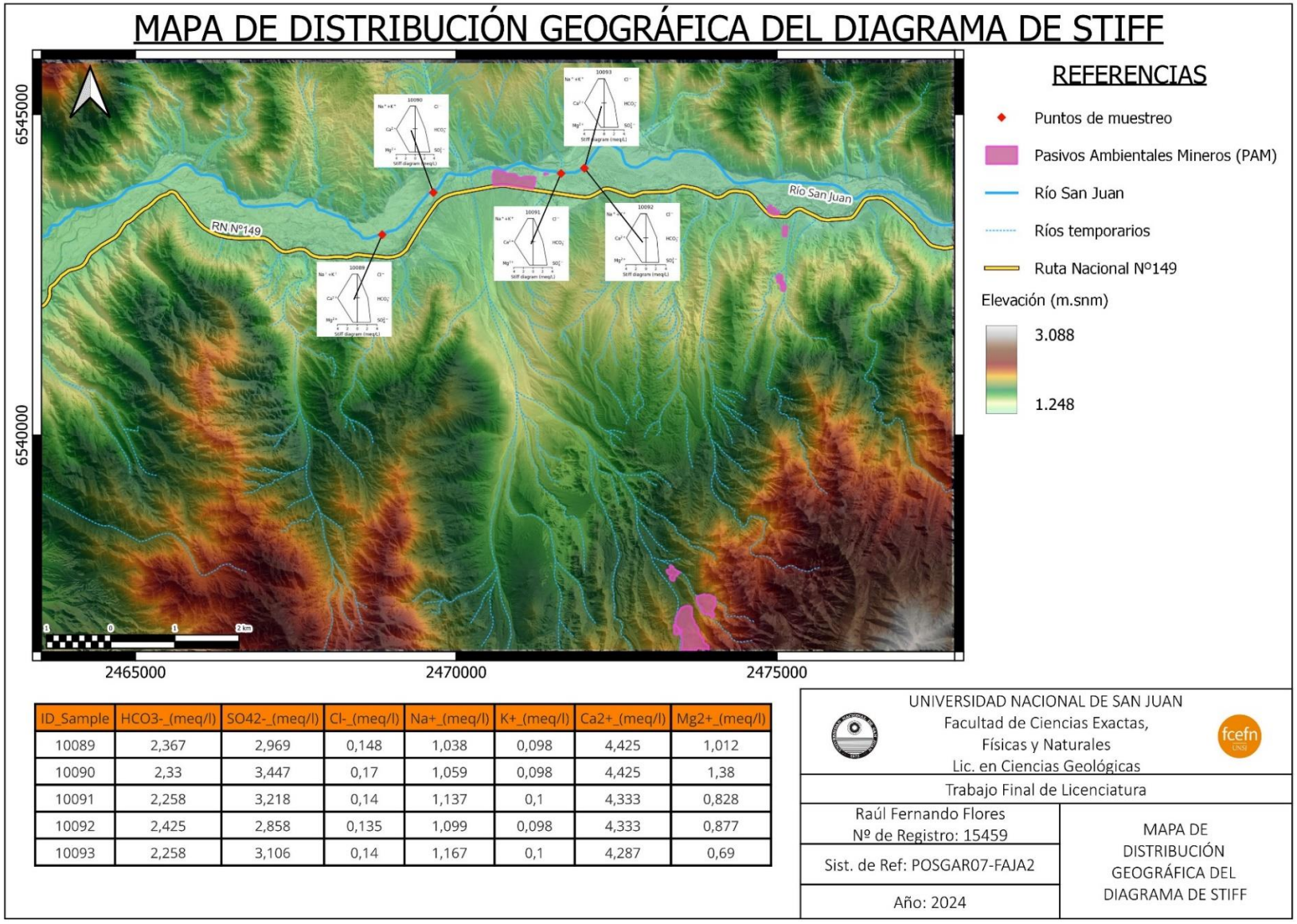


Figura 35: Diagrama de Stiff.

A continuación, se muestra la distribución geográfica del diagrama de Stiff de cada muestra de agua en el área de estudio (Fig.36).



ID_Sample	HCO3-_(meq/l)	SO42-_(meq/l)	Cl-_(meq/l)	Na+_(meq/l)	K+_(meq/l)	Ca2+_(meq/l)	Mg2+_(meq/l)
10089	2,367	2,969	0,148	1,038	0,098	4,425	1,012
10090	2,33	3,447	0,17	1,059	0,098	4,425	1,38
10091	2,258	3,218	0,14	1,137	0,1	4,333	0,828
10092	2,425	2,858	0,135	1,099	0,098	4,333	0,877
10093	2,258	3,106	0,14	1,167	0,1	4,287	0,69

Figura 36: Mapa de distribución geográfica del diagrama de Stiff de cada muestra de agua en el área de estudio.

6.3. Matriz De Leopold

6.3.1. Aspectos conceptuales

Esta matriz de doble entrada, sirve para identificar impactos y su origen. No es considerado como un método de evaluación ambiental integral, sino que se lo vincula a un método de identificación de causa-efecto. En una de las entradas de la matriz, sean columnas o filas, se colocan los factores ambientales que pueden ser impactados y en la otra entrada las acciones, de modo tal de establecer los impactos en el casillero en que cruzan columnas y filas.
En el análisis de un proyecto se trabaja tomando solo los factores impactados por las acciones del proyecto, interacción que se produce en las celdas de la matriz. Cada celda contiene dos parámetros, separados por una línea, que se valoran en una escala de 1 a 10, donde 10 es el valor mayor. Los parámetros mencionados son (Fig.37):

- Magnitud: Valoración relativa que se asigna a la alteración o impacto generado sobre el total del factor impactado. El valor se acompaña de un signo (+) si el efecto es positivo y uno (-) si es negativo.
- Importancia: Referida a la relevancia del impacto sobre el factor ambiental provocada por la acción del proyecto.

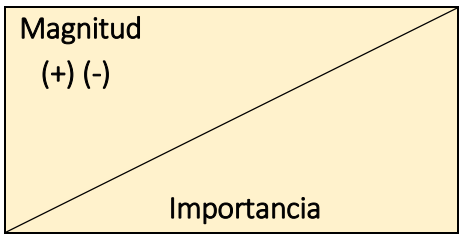


Figura 37: Distribución de parámetros.

La asignación de estos valores numéricos se basa en el juicio subjetivo de la persona o grupo que trabaje en el estudio. Para minimizar la subjetividad se utiliza el método Delphi.
Para determinar la acción del proyecto que más impacta, ya sea positiva o negativamente y el factor ambiental más afectado, es conveniente aplicar una modificación introducida por el Dr. J. Oyarzún (Universidad de La Serena, Chile).
En esta metodología, una vez establecidos los valores, se multiplica en cada casillero la magnitud por la importancia y luego se realiza la suma algebraica en filas y columnas. De esta forma se resaltan las acciones que más impactan y los factores ambientales más vulnerables al proyecto.
Aunque en algunos países la legislación ambiental vigente exige la utilización de la Matriz de Leopold como herramienta de evaluación de posibles impactos, la ley minero-ambiental argentina (Ley N°24.585) no hace referencia a ninguna metodología en especial.
Se pueden mencionar las siguientes ventajas y desventajas en el uso de la Matriz de Leopold (Tabla 16):

Ventajas	Desventajas
Sencillez y facilidad de aplicación	Aporta al decisor una información numérica muy pobre que dificulta su interpretación y la posterior toma de decisiones
Identifica los factores afectados por las acciones del proyecto	Hace un cálculo subjetivo de la importancia del efecto y también de la magnitud del mismo
Ordena la información numérica en una matriz, donde coloca los factores en filas y las acciones en columnas	No admite operar numéricamente en la búsqueda de información numérica global ni total, debido a la falta de representatividad de la interacción causa-efecto de los valores obtenidos
Requiere para su elaboración poco tiempo y dinero	No da idea de la variación temporal del impacto, no lo ubica geográficamente ni vincula impactos primarios, secundarios y terciarios
Proporciona un desarrollo visual de los elementos impactados y de las principales acciones que causan impactos	

Tabla 16: Ventajas-Desventajas de Matriz de Leopold.

Es importante que la matriz vaya acompañada de un texto explicativo, sin el cual la importante carga informativa que contiene quedara incompleta e injustificada (Ramírez M.S., 2012).

6.3.2. Elaboración de Matriz

Una vez identificados los impactos se procede a valorizarlos a través de la estimación de los efectos que ocasionan los PAM sobre el ambiente. Los impactos fueron establecidos cualitativamente y cuantitativamente a través de los resultados obtenidos de los distintos estudios y de métodos directos e indirectos aplicados (Tabla 17).

Acciones / Factores	ANTRÓPICAS				NATURALES			Valoración Total
	Planta de procesamiento, Instalaciones, pileta y estériles de lavado	Escombreras	Pesca deportiva	Remediación de los PAM con Inversión de $48.100.000	Susceptibilidad a la generación de Flujos de Detrito	Sismos	Alteración de hábitat de Flora y Fauna	
Agua	-6 6	-6 6	-4 4	5 4	-6 5		-6 5	-128
Geología					-5 5	-4 5		-45
Suelo	-6 6	-6 5		5 5	-6 5	-5 4	-5 5	-116
Geomorfología	-4 4	-4 4		5 5	-6 5	-5 4		-57
Flora	-3 3	-3 3		4 4	-2 3		-4 5	-28
Fauna	-3 4	-2 4	-3 3	4 4			-4 5	-33
Paisaje	-7 7	-7 7	-3 4	4 3	-4 4			-114
Empleo			3 3	7 6			-2 3	45
Economía			3 4	6 6	-2 4	-3 3	-3 3	22
Valoración Total	-158	-148	-16	192	-145	-69	-110	

Tabla 17: Matriz de Leopold del área de estudio.

La tabla 17 corresponde a los PAM emplazados a la altura del km 114, km 116 y los que se encuentran sobre la falla del Tontal.
Las acciones antrópicas son acciones humanas que afectan de manera ostensible modificando los ecosistemas. En la zona de estudio son consecuencia de la construcción y operación de la planta de procesamiento, instalaciones, pileta, estériles de lavado y escombreras, que recubren las áreas anteriormente mencionadas. Por otra parte, las acciones naturales son aquellas de índole natural que pueden causar impactos potenciales sobre los distintos factores ambientales, siendo la susceptibilidad a la generación de flujos de detrito la de mayor influencia.
Los factores más afectados son el agua, suelo y paisaje. Los valores atribuidos al factor agua se encuentran condicionados por los resultados obtenidos de las muestras hidroquímicas, las cuales presentan valores de Al y As superiores a los establecidos por la OMS y CAA. Por otro lado, el factor paisaje se restringe a los PAM que se encuentran sobre la ruta nacional N°149 los que generan un mayor impacto visual.

6.4. Normativa General

6.4.1. Ley de Protección Ambiental para la Actividad Minera 24.585

Sección Primera
Ámbito de Aplicación y Alcance

ARTÍCULO 3º. Las personas comprendidas en las actividades indicadas en el artículo 4º serán responsables de todo daño ambiental que se produzca por el incumplimiento de lo establecido en el presente Título, ya sea que lo ocasionen en forma directa o por las personas que se encuentren bajo su dependencia o por parte de contratistas o subcontratistas, o que lo cause el riesgo o vicio de la cosa. El titular del derecho minero será solidariamente responsable, en los mismos casos, del daño que ocasionen las personas por él habilitadas para el ejercicio de tal derecho.

Sección Cuarta
De Las Responsabilidades Ante el Daño Ambiental

ARTÍCULO 18º. Sin perjuicio de las sanciones administrativas y penales que establezcan las normas vigentes, todo el que causare daño actual o residual al patrimonio ambiental estará obligado a mitigarlo, rehabilitarlo, restaurarlo o recomponerlo, según correspondiere.

NORMATIVA COMPLEMENTARIA PRESUPUESTOS MINIMOS
De La Metodología de Elaboración de Informe de Impacto Ambiental

Artículo 6º.
a) El informe de Impacto Ambiental para la etapa de prospección será realizado siguiendo procedimientos indicados en el Anexo I.

Sólo será necesaria su presentación cuando la investigación preliminar en áreas de gran extensión, cuyo objetivo sea identificar zonas de interés para la exploración, utilice equipo pesado en el terreno e implique gran movimiento de tierra.
En tal supuesto el Informe de Impacto Ambiental se limitará al área de influencia de la actividad.
b) El Informe de Impacto Ambiental para la etapa de exploración será realizado siguiendo los procedimientos indicados en el Anexo II.
A tales fines se considera exploración al conjunto de operaciones o trabajos dirigidos a evaluar cualitativa y cuantitativamente el recurso minero con el objeto de definir la factibilidad técnico económica de la explotación de un yacimiento. c) El Informe de Impacto Ambiental para la explotación será realizado siguiendo los procedimientos indicados en el Anexo III. Se considera iniciada la etapa de explotación cuando se da comienzo a las obras de infraestructura para la producción minera.

Del Registro de Infractores

ARTÍCULO 18º. El Registro de Infractores al que hace referencia el inciso c) del artículo 16º del Título Complementario, tendrá carácter nacional. Su creación y funcionamiento estará a cargo de la Secretaría de Industria, Comercio y Minería de la Nación.
En él se consignarán exclusivamente a los titulares de las actividades mineras enumeradas en el artículo 4º de dicho título que hubiesen violado las disposiciones del mismo u ocasionado daño ambiental, cuya resolución verificación, respectivamente, se encontrare firme.
Esta disposición será de aplicación para los Consultores y Laboratorios que violen las disposiciones del Título Complementario.
ARTÍCULO 21º. Verificada la infracción o el daño ambiental y firme la resolución que así lo establezca, en el plazo máximo de cinco (5) días hábiles, la Autoridad de Aplicación Provincial, deberá notificar fehacientemente a la Autoridad de Aplicación Nacional, a los fines de su inscripción inmediata en el Registro de Infractores.

De la Responsabilidad Ante el Daño Ambiental

ARTÍCULO 23º. Constituye Daño Ambiental, a los fines de la presente normativa, toda alteración antrópica que provoque perjuicio para el ambiente o a uno o más de sus componentes, generado por acción u omisión, excediendo los límites tolerables admitidos por la Declaración de Impacto Ambiental, que, constituyendo infracción, sea efectivamente verificado en el marco del debido proceso legal previsto por el artículo 20º del Título Complementario.

6.4.2. Constitución Nacional

ARTÍCULO 124. Las provincias podrán crear regiones para el desarrollo económico y social y establecer órganos con facultades para el cumplimiento de sus fines y podrán también celebrar convenios internacionales en tanto no sean incompatibles con la política exterior de la Nación y no afecten las facultades delegadas al Gobierno federal o el crédito público de la Nación; con

conocimiento del Congreso Nacional. La ciudad de Buenos Aires tendrá el régimen que se establezca a tal efecto.
Corresponde a las provincias el dominio originario de los recursos naturales existentes en su territorio.

6.4.3. Ley General del Ambiente Nº 25.675

Bien jurídicamente protegido

ARTÍCULO 1º. La presente ley establece los presupuestos mínimos para el logro de una gestión sustentable y adecuada del ambiente, la preservación y protección de la diversidad biológica y la implementación del desarrollo sustentable.
ARTÍCULO 2º. La política ambiental nacional deberá cumplir los siguientes objetivos:
a) Asegurar la preservación, conservación, recuperación y mejoramiento de la calidad de los recursos ambientales, tanto naturales como culturales, en la realización de las diferentes actividades antrópicas;
b) Promover el mejoramiento de la calidad de vida de las generaciones presentes y futuras, en forma prioritaria;
c) Fomentar la participación social en los procesos de toma de decisión;
d) Promover el uso racional y sustentable de los recursos naturales;
e) Mantener el equilibrio y dinámica de los sistemas ecológicos;
f) Asegurar la conservación de la diversidad biológica;
g) Prevenir los efectos nocivos o peligrosos que las actividades antrópicas generan sobre el ambiente para posibilitar la sustentabilidad ecológica, económica y social del desarrollo;
h) Promover cambios en los valores y conductas sociales que posibiliten el desarrollo sustentable, a través de una educación ambiental, tanto en el sistema formal como en el no formal;
i) Organizar e integrar la información ambiental y asegurar el libre acceso de la población a la misma;
j) Establecer un sistema federal de coordinación interjurisdiccional, para la implementación de políticas ambientales de escala nacional y regional
k) Establecer procedimientos y mecanismos adecuados para la minimización de riesgos ambientales, para la prevención y mitigación de emergencias ambientales y para la recomposición de los daños causados por la contaminación ambiental.
ARTÍCULO 3º. La presente ley regirá en todo el territorio de la Nación, sus disposiciones son de orden público, operativas y se utilizarán para la interpretación y aplicación de la legislación específica sobre la materia, la cual mantendrá su vigencia en cuanto no se oponga a los principios y disposiciones contenidas en ésta.

Principios de la política ambiental

ARTÍCULO 4º. La interpretación y aplicación de la presente ley, y de toda otra norma a través de

la cual se ejecute la política Ambiental, estarán sujetas al cumplimiento de los siguientes principios:
Principio de congruencia: La legislación provincial y municipal referida a lo ambiental deberá ser adecuada a los principios y normas fijadas en la presente ley; en caso de que así no fuere, éste prevalecerá sobre toda otra norma que se le oponga.
Principio de prevención: Las causas y las fuentes de los problemas ambientales se atenderán en forma prioritaria e integrada, tratando de prevenir los efectos negativos que sobre el ambiente se pueden producir.
Principio precautorio: Cuando haya peligro de daño grave o irreversible la ausencia de información o certeza científica no deberá utilizarse como razón para postergar la adopción de medidas eficaces, en función de los costos, para impedir la degradación del medio ambiente.
Principio de equidad intergeneracional: Los responsables de la protección ambiental deberán velar por el uso y goce apropiado del ambiente por parte de las generaciones presentes y futuras.
Principio de progresividad: Los objetivos ambientales deberán ser logrados en forma gradual, a través de metas interinas y finales, proyectadas en un cronograma temporal que facilite la adecuación correspondiente a las actividades relacionadas con esos objetivos.
Principio de responsabilidad: El generador de efectos degradantes del ambiente, actuales o futuros, es responsable de los costos de las acciones preventivas y correctivas de recomposición, sin perjuicio de la vigencia de los sistemas de responsabilidad ambiental que correspondan.
Principio de subsidiariedad: El Estado nacional, a través de las distintas instancias de la administración pública, tiene la obligación de colaborar y, de ser necesario, participar en forma complementaria en el accionar de los particulares en la preservación y protección ambientales.
Principio de sustentabilidad: El desarrollo económico y social y el aprovechamiento de los recursos naturales deberán realizarse a través de una gestión apropiada del ambiente, de manera tal, que no comprometa las posibilidades de las generaciones presentes y futuras.
Principio de solidaridad: La Nación y los Estados provinciales serán responsables de la prevención y mitigación de los efectos ambientales transfronterizos adversos de su propio accionar, así como de la minimización de los riesgos ambientales sobre los sistemas ecológicos compartidos.
Principio de cooperación: Los recursos naturales y los sistemas ecológicos compartidos serán utilizados en forma equitativa y racional, El tratamiento y mitigación de las emergencias ambientales de efectos transfronterizos serán desarrollados en forma conjunta.
ARTÍCULO 5º. Los distintos niveles de gobierno integrarán en todas sus decisiones y actividades previsiones de carácter ambiental, tendientes a asegurar el cumplimiento de los principios enunciados en la presente ley.

Presupuesto mínimo

ARTÍCULO 6º. Se entiende por presupuesto mínimo, establecido en el artículo 41 de la Constitución Nacional, a toda norma que concede una tutela ambiental uniforme o común para

todo el territorio nacional, y tiene por objeto imponer condiciones necesarias para asegurar la protección ambiental. En su contenido, debe prever las condiciones necesarias para garantizar la dinámica de los sistemas ecológicos, mantener su capacidad de carga y, en general, asegurar la preservación ambiental y el desarrollo sustentable.

Competencia judicial

ARTÍCULO 8º. Los instrumentos de la política y la gestión ambiental serán los siguientes:
1. El ordenamiento ambiental del territorio
2. La evaluación de impacto ambiental.
3. El sistema de control sobre el desarrollo de las actividades antrópicas.
4. La educación ambiental.
5. El sistema de diagnóstico e información ambiental.
6. El régimen económico de promoción del desarrollo sustentable.

Ordenamiento ambiental

ARTÍCULO 9º. El ordenamiento ambiental desarrollará la estructura de funcionamiento global del territorio de la Nación y se generan mediante la coordinación interjurisdiccional entre los municipios y las provincias, y de éstas y la ciudad de Buenos Aires con la Nación, a través del Consejo Federal de Medio Ambiente (COFEMA); el mismo deberá considerar la concertación de intereses de los distintos sectores de la sociedad entre sí, y de éstos con la administración pública.

CAPÍTULO 7

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. Conclusiones

- Los PAM ubicados en la zona de estudio presentan un área total de 0,4768 km2 (0,42%), esta escasa extensión reduciría los impactos ambientales.
- La falla del Tontal presenta una actividad moderada la cual constituye un factor de riesgo significativo sobre los PAM localizados sobre la falla y los alrededores. Esto es importante porque puede causar inestabilidad de las laderas, licuefacción y agrietamiento o desplome de los PAM.
- El mapa de susceptibilidad a flujos de detrito arroja que los PAM se encuentran en una zona de susceptibilidad media a alta, en consecuencia, dichos pasivos pueden ser elementos contaminantes ya que se localizan próximos al río San Juan.
- Los valores de los parámetros físicos-químicos del agua (pH, temperatura del agua, conductividad eléctrica) se encuentran dentro de los estándares normales del agua para el consumo humano.
- Los análisis hidroquímicos del río San Juan dieron como resultado aguas con composición Sulfatadas Cálcicas.
- El agua del río San Juan a la altura del km 114-116 presenta valores de Aluminio (Al) y Arsénico (As) elevados y crecen en el caso del primero mencionado justo después de los PAM, pero estos no llegan a alcanzar niveles críticos de contaminación.
- A partir de los resultados de la matriz de Leopold se determinó que los factores más perjudicados son el agua, suelo y paisaje.

Con base en lo expuesto anteriormente se puede concluir que la calidad del agua del río San Juan no es afectada por la presencia de los PAM.

7.2. Recomendaciones

- Sería recomendable recoger todo el sulfato que se encuentra en el interior de las piletas, tanques de concentración y lagunas de evaporación para evitar su dispersión o colocación inadecuada. Podría evaluarse la posibilidad de utilización o recuperación en las plantas que están activas en la zona.
- Valorar la posibilidad de reciclar o reutilizar tanques de lixiviado, maquinaria, hornos, tuberías, etc.
- En el caso de las edificaciones el material de demolición también puede ser valorada su posibilidad de utilización como material para relleno o áridos.
- Como medidas de prevención, para las zonas de alto riesgo de flujos de detrito, por los volúmenes de material que transporta y las velocidades que puede alcanzar, no se recomienda

realizar ningún tipo de obra civil. En las zonas de riesgo bajo a medio los flujos pueden desviarse a partir de la construcción de canales o barreras de contención.

- Como medidas de prevención, se tendría que desmantelar o remover todos los PAM a lo largo de la falla del Tontal.

CAPÍTULO 8

8. ANEXOS

ANEXO I: Caudal del río San Juan

Día	RÍO SAN JUAN	
	km 101 (m^3/s)	DMD (Hm^3)
miércoles, 1 de mayo de 2024	23,72	2,05
jueves, 2 de mayo de 2024	24,09	2,08
viernes, 3 de mayo de 2024	23,98	2,07
sábado, 4 de mayo de 2024	24,79	2,14
domingo, 5 de mayo de 2024	24,38	2,11
lunes, 6 de mayo de 2024	24,24	2,09
martes, 7 de mayo de 2024	23,50	2,03
miércoles, 8 de mayo de 2024	23,36	2,02
jueves, 9 de mayo de 2024	19,68	1,70
viernes, 10 de mayo de 2024	21,60	1,87
sábado, 11 de mayo de 2024	21,69	1,87
domingo, 12 de mayo de 2024	21,39	1,85
lunes, 13 de mayo de 2024	22,16	1,91

Tabla 18: Planilla con los datos de caudal medio diario del río San Juan, km 101, proporcionado por el Departamento de Hidráulica, San Juan.

ANEXO II: Resultados de análisis hidroquímico

INSTITUTO
DE INVESTIGACIONES MINERAS
Facultad de Ingeniería
Av. Libertador S. Martín 1109 (O)
Tel. 0264-4220556

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN JUAN
Secretaría de Ciencia y Técnica
Unidad de Vinculación y Transferencia
e-mail: uvt@unsj.edu.ar
Tel: +54 9 264 4295158/5092

Solicitante: Departamento de Geología. **Fecha: 4/07/2024**
Solicitud de Trabajo N°: 3097

Determinaciones Efectuadas

Denominación	SO4=	CO3=	HCO3-	Zn	Cu	Fe	Al	Ce	Tl	Ni	Se	Hg	Mn	Ba	Mo	V	Co
	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
1089	142,496	0	144,37	ND	0,11	ND	0,49	ND	0,097	ND	ND	ND	0,02	0,38	ND	ND	ND
1090	165,459	0	142,15	ND	0,09	0,01	0,47	ND	0,156	ND	ND	ND	0,02	0,38	ND	ND	ND
1091	154,458	0	137,71	ND	0,09	0,11	0,62	ND	0,112	ND	ND	ND	0,04	0,39	ND	ND	ND
1092	137,171	0	147,93	ND	0,09	ND	0,43	ND	0,077	ND	ND	ND	0,02	0,38	ND	ND	ND
1093	149,079	0	137,71	ND	0,09	0,01	0,37	ND	0,144	ND	ND	ND	0,02	0,38	ND	ND	ND

Denominación	Be	Mg	Na	K	Ca	Li	Pb	Cr	As	Cd	Cl-
	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	ug/L	ug/L	ug/L	ug/L	ppm
1089	ND	12,3	23,88	3,82	88,49	0,01	0,05	2,32	12,53	< 0,01	5,26
1090	ND	16,77	24,36	3,82	88,49	0,01	1,43	4,67	9,4	< 0,01	6,04
1091	ND	10,06	26,14	3,91	86,65	0,01	3,57	2,47	4,24	< 0,01	4,98
1092	ND	10,66	25,27	3,82	86,65	0,01	4,07	3,74	7,5	< 0,01	4,78
1093	ND	8,38	26,85	3,9	85,73	0,01	0,86	2,49	8,86	< 0,01	4,97

Analista *Jefe de Sector* *Director*

1. *Los resultados consignados en este certificado se refieren exclusivamente a la muestra recibida, declinando el I.I.M. toda responsabilidad por el uso indebido o incorrecto que se hiciera de este informe.*
2. *El I.I.M. declina toda responsabilidad acerca del valor representativo de las muestras entregadas al laboratorio, salvo que hayan sido extraídas por intervención expresa del I.I.M. en la operación de muestreo.*
3. *El I.I.M. no comunicará a terceros ni publicará los resultados de los ensayos, análisis, pruebas o estudios encomendados por terceros; se reserva el derecho de utilizar los resultados, sin individualizar, con fines exclusivamente estadísticos y para uso interno.*
4. *Solo previa autorización se admitirá la presencia de personas ajenas al I.I.M. durante la ejecución de los ensayos, pruebas o análisis con la única excepción de los casos en que sea necesaria la presencia de terceros para la adecuada realización de la tarea encomendada*

CAPÍTULO 9

9. BIBLIOGRAFÍA

Alonso, J., Gallastegui, J., García-Sansegundo, J., Farías, P., Rodríguez Fernández L., Ramos, V. (2008). Extensional tectonics and gravitational collapse in an Ordovician passive margin: The Western Argentine Precordillera. Gondwana Research, 13: 204-215.

APN (Administración de Parques Nacionales), (2009). Plan de Manejo del Parque Nacional El Leoncito.

Ariza J.P., Martínez M.P., Vujovich G.I., Boedo F.L., Álvarez O., Sánchez M.A. (2014). Sensoramiento remoto y magnetismo aplicado al estudio de terrenos paleozoicos en la precordillera occidental (31º20' S), San Juan, Argentina.

Ariza J., Martínez P., Vujovich G., Sánchez M., Boedo F., Pérez S. (2015). Interpretación estructural de una sección geológica en las nacientes del río San Juan, a partir de datos geológicos y validación geofísica.

Arranz, J.C., Alberruche, E. (2008). Minería medio ambiente y gestión del territorio. RED DESIR. Madrid. 95 pp. Fernández-Rubio, R. (2007). Activos ambientales de la minería española. Edita. Consejo Superior de Colegios de Ingenieros de Minas. 413 pp. Guitián, F. (1995). Recuperación de las escombreras de la Mina de Lignitos de Meirama (A Coruña). Edita Universidad Santiago de Compostela. 286 pp.

Astini, R., Ramos, V., Benedetto, J., Vaccari, N., Cañas, F. (1996). La Precordillera: un terreno exótico a Gondwana. 8º Congreso Geológico Argentino, Córdoba. Actas, 5: 293-324.

Baldis, B., Beresi, M., Bordonaro, O., Vaca, A. (1982). Síntesis evolutiva de la Precordillera Argentina. 5º Congreso Latinoamericano de Geología, Argentina. Actas, 4: 399-445.

Brodtkorb M.K., Herrmann C., Pezzutti N., Leal P., González M.P. y Meissl E. (2015). Mineralización de sulfuros en las ofiolitas famatinianas y rocas asociadas, Calingasta, precordillera de San Juan.

Brussa, E., Mitchell, C. y Astini, R. (1999). Ashgillian (Hirnantian?) graptolites from the western boundary of the Argentine Precordillera. Acta Universitatis Carolinae Geologica 43: 199-202, Praga.

Buggisch, W., von Gosen, W., Henjes-Kunst, F., Krumm, S. (1994). The age of Early Paleozoic deformations and metamorphism in the Argentina Precordillera–Evidence from K-Ar Data. Zentralblatt Geologie und Palaötologie, (1-2): 275-286.

Cardinali A., (1999). Sulfatos de Aluminio, magnesio y hierro, San Juan Anales del Servicio Geológico Minero Argentino, Volume 35, p. 733 – 735.

Censo Nacional de Población Vivienda y Hogares del Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (I.N.D.E.C.) (2022). https://censo.gob.ar/index.php/datos_definitivos_sanjuan/

Ceballos J.P. (2006). Peligros de aluviones en la localidad de Barreal, Departamento Calingasta, San Juan. Trabajo final de Licenciatura. Universidad Nacional de San Juan, Argentina.

Código Alimentario Argentino (CAA) (2021). Capitulo XII Bebidas Hídricas, Agua y Agua Gasificada.

Cortés, J., Casa, A., Pasini, M., Yamin, M., Terrizzano, C. (2006). Fajas oblicuas de deformación neotectónica en Precordillera y Cordillera Frontal (31º30' - 33º30' LS): controles paleotectónicos. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 61(4): 639-646.

Costa, C., Machette, M., Dart, R., Bastías, H., Paredes, J., Perucca, L., Tello, G., Haller, K. (2000), Map and Database of Quaternary Faults and Folds in Argentina: Denver, United States Geological Survey, 75 p.

Cristallini, E. y Ramos, V. (2000). Thick-skinned and thin-skinned thrusting in the La Ramada fold and thrust belt: crustal evolution of the High Andes of San Juan, Argentina (32°SL). Tectonophysics 317: 205-235.

Cucchi, R. (1971). Edades radimétricas y correlación de metamorfitas de la Precordillera, San Juan-Mendoza, República Argentina. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 26: 503-515.

Da Rold M. (2018). Tesis de Licenciatura en Ciencias Geológicas. Geoquímica e Hidroquímica Ambiental del Río Calingasta, Departamento de Calingasta, San Juan, Argentina.

Davis, J., Roeske, S., McClelland, W., Snee, L. (1999). Closing an ocean between the Precordillera terrane and Chilenia: Early Devonian ophiolite emplacement and deformation in the southwest Precordillera. En Ramos, V.A. y Keppie, J.D. (eds.), Laurentia-Gondwana Connection before Pangea. Geological Society of America Special Paper, 336: 115-138.

Davis, J., Roeske, S., McClelland, W., Kay, S. (2000). Mafic and ultramafic crustal fragments of the southwestern Precordillera terrane and their bearing on tectonic models of the early Paleozoic in western Argentina. Geology, 28 (2): 171-174

Departamento de Hidráulica (2024). Planilla con los datos de caudal medio diario del río San Juan, km 101.

Diario de Cuyo (2014). https://www.diariodecuyo.com.ar/noticias/guardianes-del-rio-665239.html

Diario La Provincia SJ (2021). https://www.diariolaprovinciasj.com/sociedad/2021/1/18/con-una-joya-calingasta-se-prepara-para-inaugurar-su-nuevo-museo-arqueologico-146307.html

Dirección de Minería de San Juan (2022). Minería Extractiva. Sulfato de Aluminio. (serviciosmineria.sanjuan.gob.ar.).http://serviciosmineria.sanjuan.gob.ar/recursos/min_extract_pdf/Sulf-Al.PDF

Dirección Nacional de Vialidad (2022). https://www.argentina.gob.ar/obras-publicas/vialidad-nacional/sig-vial

Haene E. (2023). Bases para elaborar Circuitos de ecoturismo en Calingasta. Provincia de San Juan, Argentina.

Haller, M. y Ramos, V. (1984). Las ofiolitas famatinianas (Eopaleozoico) de las provincias de San Juan y Mendoza. 9° Congreso Geológico Argentino, Actas 2: 66-83, Buenos Aires.

Informe de Impacto Ambiental (IIA), etapa de explotación, Proyecto Casposo. (2007).

Informe de línea base del tambolar (2024), "Inédito".

Inventario Nacional de Glaciares (ING) (2018). Informe de la subcuenca del río Calingasta Cuenca del río San Juan. Provincia de San Juan.

Kokogian, D., Spalletti, L., Morel, E., Artabe, A., Martinez, R., Alcober, O., Milana, J., Zavattieri, A., Papú, O. (1999). Los depósitos continentales triásicos. En Geología Argentina. Caminos, R. (ed.). Buenos Aires, Argentina. Anales, 29(15): 377-398.

Legarreta, L., Kokogian, D., Dellapé, D. (1993). Estructuración terciaria de la Cuenca Cuyana: ¿cuánto de inversión tectónica?. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 47(1): 83-86.

Lupano C.F. (2008). Cuenca del Río San Juan.

Mahlburg Kay, S., Ramos, V. y Kay, R. (1984). Elementos mayoritarios y trazas de las vulcanitas ordovícicas de la Precordillera Occidental. Basaltos de rift oceánico temprano? próximos al margen continental. 9° Congreso Geológico Argentino Actas 2: 48-65, Buenos Aires.

Mariño E.E., García F.R. (2018). Apuntes sobre aplicaciones ambientales de la hidrogeoquímica. Secretaria de Infraestructura y Política Hídrica Consejo Hídrico Federal (COHIFE).

Martínez Carretero, E. (2007). Diversidad biológica y cultural de los Altos Andes Centrales de Argentina: Línea de base de la reserva biósfera San Guillermo-San Juan. Universidad Nacional de San Juan.

Mattauer, M. (1976). Las deformaciones de los materiales de la corteza terrestre. Editorial Omega, Barcelona, España. 524 p.

Mining Press (2015). https://miningpress.com/287973/mayoral-la-remediacion-en-calingasta

Molina J.J. (2014). Técnica para crear e identificar mapas de susceptibilidad por remoción en masa usando aplicaciones SIG.

Oliveri, J.C., Rusinek J. (1960). Cálculo del Costo de Explotación del Sulfato de Aluminio Natural de las Zonas de Calingasta y la Alumbrera en la Provincia de San Juan. 13 p. Buenos Aires, Dirección Nacional de Geología y Minería.

Organización Mundial de la Salud (OMS) (2022). Guías para la calidad del agua de consumo humano. (4ªed.).

Perucca L. Oldecop L. (2012). Aplicabilidad de métodos de evaluación de la amenaza sísmica para un proyecto minero (basada en datos neotectónicos, instrumentales e históricos), Andes Centrales, San Juan, Argentina.

Pezzani G. (2024). Comunicación personal.

Pittaluga A. (2009). Diagnóstico Geológico Ambiental de la cuenca del río Castaño departamento Calingasta, San Juan, Argentina. Tesis doctoral de la UNSJ.

Plan Estratégico de Desarrollo Local Calingasta (2018). Página 47.

Poblete, A.G. y Minetti J. L. (1989). Los mesoclimas de San Juan. Primera y segunda parte. Informe Técnico N° 11 del Centro de Investigaciones de San Juan, Universidad Nacional de San Juan.

Poblete A. G., Escribá, K. G. (2020). Caracterización estadística y dinámica del clima de Pampa El Leoncito y su entorno (Calingasta-San Juan).

Programa Infoagua (2008).
https://intra.ada.gba.gov.ar/intra/infoagua/200808/noticias/119064.html

Quartino, B., Zardini, R. y Amos, A. (1971). Estudio y exploración geológica de la región Barreal Calingasta, provincia de San Juan. Asociación Geológica Argentina, Monografía 1, 184 p., Buenos Aires.

Quenardelle S., Maisonnave E.B. y Rubinstein N. (2021). El pórfiro de Alcaparrosa y su correlación con la sección inferior de la provincia magmática Choiyoi.

Ramírez M.O. (2012). Evaluación y Corrección de Impactos Ambientales. “Programa de Posgrado Maestría en Gestión de Recursos Minerales”. Instituto de Investigaciones Mineras. Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de San Juan.

Ramos, V., Jordan, T., Allmendinger, R., Kay, S., Cortés, S., Palma, M. (1984). Chilenia: un terreno alóctono en la evolución paleozoica de los Andes Centrales. 9º Congreso Geológico Argentino, Río Negro. Actas 2: 84-106.

Ramos, V., Jordan, T., Allmendinger, R., Mpodozis, C., Kay, S., Cortés, J., Palma, M. (1986). Paleozoic terranes of the Central Argentine-Chilean Andes. Tectonics, 5 (6): 855-880.

Ramos, V. (1995). Field guide to the Geology of Precordillera Folded and Thrust Belt (Central Andes). Andean Thrust Tectonics, San Juan, Buenos Aires, Argentina, Universidad de Buenos Aires, Laboratorio de Tectónica Andina, Guía de campo. 64 p.

Renda E., Rozas Garay M., Moscardini O. y Torchia N.P. (2017). Manual para la elaboración de mapas de riesgos coordinación y elaboración. Ministerio de Seguridad. Secretaria de Protección Civil y Abordaje Integral de Emergencias y Catástrofes.

Richards L. A. (1954). Diagnosis and improvement of saline and álcali soils. USDA. Agricultural Handbook 60, 160p. 172 pp.

Rodríguez Pacheco R. (2011). Informes de geodisponibilidad, biodisponibilidad y evaluación y análisis de riesgo para el medioambiente. Zona de Calingasta. Provincia de San Juan. Argentina.

Servicio Geológico Minero Argentino (SEGEMAR) (2017). Evaluación del potencial minero de los Departamentos Iglesia, Calingasta, Jáchal, Valle Fértil y Caucete, provincia de San Juan.

Servicio Geológico Minero Argentino (SEGEMAR) (2020). Normativa para las cartas geomorfológicas de la república argentina escalas 1:250.000/100.000. Pág. 7.

Sessarego, H. (1988). Estratigrafía de las secuencias epiclásticas devónicas a triásicas aflorantes al norte del río San Juan y al oeste de la sierra del Tigre, provincia de San Juan. Tesis doctoral. Universidad de Buenos Aires (inédito), Buenos Aires.

Sillitoe, R.H. (1977). Permo-carboniferous, upper Cretacic and Miocene porphyry copper type mineralization in the Argentinian Andes. Economic Geology 72: 99-109, Lancaster.

SI San Juan Servicio Informativo (2019). https://sisanjuan.gob.ar/interes-general/2019-09-18/17408-la-rica-fauna-de-san-juan-en-cielo-tierra-y-agua

SI San Juan Servicio Informativo (2019). https://sisanjuan.gob.ar/interes-general/2019-12-15/19193-conoce-los-10-lugares-ideales-de-san-juan-para-realizar-trekking-en-cordillera

SI San Juan Servicio Informativo (2021). https://sisanjuan.gob.ar/salud-publica/2021-02-03/29290-el-departamentocalingastasumanuevosserviciosdesalud#:~:text=Cuenta%20con%20dos%20hospitales%3A%20el,el%20CIC%20de%20Villa%20Pituil

SI San Juan Servicio Informativo (2021). https://sisanjuan.gob.ar/gobernador/2021-02-02/29270-en-su-visita-a-calingasta-unac-inauguro-el-parque-solar-tamberias-y-un-centro-cultural

SI San Juan Servicio Informativo (2024). https://sisanjuan.gob.ar/23-prensa/2024-01-24/53726-calingasta-esta-cumpliendo-158-anos

SI San Juan Servicio Informativo (2024). https://www.sanjuan.tur.ar/que-hago/aventura/agua/pesca-deportiva

SI San Juan Servicio Informativo (2024). https://sisanjuan.gob.ar/23-ambiente/2024-07-25/57166-ambiente-establecio-los-periodos-habilitados-para-pescar-en-san-juan

SI San Juan Servicio Informativo (2024). https://sisanjuan.gob.ar/23-mineria/2024-02-02/53977-los-5-proyectos-de-cobre-que-posicionan-a-san-juan-en-la-transicion-energetica

Tiempo de San Juan (2016). https://www.tiempodesanjuan.com/departamentales/2016/9/27/calingasta-sumo-camping-obra-escombreras-149732.html#google_vignette

Tiempo de San Juan (2023). https://www.tiempodesanjuan.com/san-juan/el-museo-un-paraiso-sanjuanino-que-pone-historia-y-sentimientos-flor-piel-n365538

Tiempo de San Juan (2024). https://www.tiempodesanjuan.com/mineria/los-recursos-mineros-san-juan-un-futuro-promisorio-y-un-interrogante-despegaran-los-grandes-proyectos-n374556

Vialidad Nacional (2023). https://www.argentina.gob.ar/obras-publicas/vialidad-nacional/institucional/informacion-publica/tmda

Von Gosen, W. (1992). Structural evolution of the Argentine Precordillera. Journal of Structural Geology, 14: 643–667.

Von Gosen, W. (1995). Polyphase structural evolution of the southwestern Argentine Precordillera. Journal of South American Earth Sciences, 8: 377–404.

Willner, A., Verdes, A., Massonne, H., Schmidt, A., Sudo, M., Thompson, S., Vujovich, G. (2011). Pressure-temperature. Time evolution of a collisional accretionary belt Guarguaraz Complex, Mendoza Province, W-Argentina: evidence for the emplacement of the Chilenia microplate. Contribution to Mineralogy and Petrology, 162 (2): 303-327.