

EN LO PRINCIPAL: TÉNGASE PRESENTE; **OTROSÍ:** ACOMPAÑA DOCUMENTO.

SRA. JOHANA CANCINO PEREIRA
FISCAL INSTRUCTOR
DEPARTAMENTO DE SANCIÓN Y CUMPLIMIENTO
SUPERINTENDENCIA DEL MEDIO AMBIENTE

Alex Gildemeister Burgos, Cédula de Identidad N° [REDACTED] y **Christian Torres Frenzel**, Cédula de Identidad N° [REDACTED] representantes legales de Badinotti Net Services Aysén SpA, Rut N° 77.044.848-4, todos domiciliados para estos efectos en Camino Aysén a Puerto Chacabuco, km 10, comuna de Aysén, Región de Aysén, a US. respetuosamente decimos:

Que, mediante el presente, en relación con el procedimiento sancionatorio D-274-2024 asociado a la Unidad Fiscalizable (“UF”) “TALLER DE REDES BADINOTTI”, venimos en acompañar el **Estudio de Esguerrimiento e Infiltración**, realizado por INESCO SpA. El propósito de este estudio es **determinar si la calidad del suelo y de las aguas subterráneas, se vieron afectadas en el tiempo, por el evento ocurrido**. La realización de esta acción se incluye en el Programa de Cumplimiento (“PdC”), presentado con fecha 3 de febrero de 2025, asociada al cargo N°1.

En la Formulación de Cargos (“FdC”), de fecha 25 de noviembre de 2024, la Superintendencia del Medio Ambiente (“SMA”) identifica como hecho infraccional N°1 el *“Rebalse y disposición en suelo, de aguas lluvias contactadas con residuos orgánico de las redes sucias acumuladas en losa de acopio, sin ser canalizadas a la Planta de Tratamiento de Riles.”*

Asimismo, se realiza una descripción de los presuntos efectos negativos producidos por la infracción, en los siguientes términos: *“Conforme con los presuntos hechos constitutivos de infracción y la norma presuntamente infringida, se identifica como potencial efecto negativo la infiltración de un efluente en napas o esguerrimiento superficiales a cauces cercanos al taller, especialmente en un terreno aledaño a la planta de Riles, según se constató en la inspección realizada el 08 de junio de 2023.”*

En este contexto, y en consideración de las características del potencial efectivo negativo, en la presentación del PdC se comprometió lo siguiente: *“En consideración a las características del potencial efecto negativo, para descartar su efectiva configuración se realizarán una serie de análisis y estudios en terrenos, consistentes en: (i) estimación del volumen de agua derramada; (ii) estudio de esguerrimiento superficial; (iii) estudio de infiltración; y (iv) muestreo y análisis de calidad del suelo y subsuelo. En el Anexo N°11 de esta presentación se acompaña la Propuesta Técnica y Económica del especialista a cargo de los análisis y estudios, así como la Orden de Compra correspondiente.*

Finalmente, dadas las características de estos análisis y estudios, especialmente aquellos que requieren el análisis en laboratorio, así como la ubicación geográfica del proyecto, se estima que los resultados de estos análisis y estudios

se dispondrán en un plazo de 45 días hábiles. Por lo tanto, una vez recibidos serán inmediatamente puestos en disposición de esta Superintendencia.”

De esta manera, el estudio acompañado, que incluye los elementos mencionados, viene a descartar el efecto negativo de la infiltración de un efluente en napas o escurrimiento superficiales a cauces cercanos al taller, especialmente en un terreno aledaño a la planta de Riles, según se constató en la inspección realizada el 08 de junio de 2023. La realización de esta acción da cuenta del cumplimiento de la acción asociada al hecho infraccional N°1 y constituye una verificación objetiva de la inexistencia de efectos negativos sobre el medio ambiente.

POR TANTO,

En virtud de lo indicado, solicitamos se tenga presente Estudio de Escurrimiento e Infiltración acompañado.

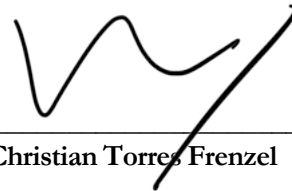
OTROSÍ: Acompaña documentos. Solicitamos se tengan por acompañados los siguientes documentos:

- Estudio de Escurrimiento e Infiltración, realizado por INESCO SpA.
- Informe de análisis 188488/2025.1 – Calicata 1, Subsuelo 2
- Informe de análisis 188489/2025.1 – Calicata 3, Subsuelo 1
- Informe de análisis 188490/2025.1 – Calicata 2, Subsuelo 2
- Informe de análisis 188491/2025.1 – Calicata 1, Subsuelo 3
- Informe de análisis 195984/2025.2 – Agua subterránea Calicata 1

POR TANTO, solicitamos tenerlos por acompañados.



Alex Gildemeister Burgos



Christian Torres Frenzel

P.P. Badinotti Net Services Aysén SpA

(FAP-009-01)

Fecha Emisión Informe: 09-04-2025 09:49

Identificación del Cliente	
Cliente: INESCO SPA	RUT: 76638279-7
Dirección: Las golondrinas #1750, pto aysen - Aysén del Gral. Carlos Ibáñez del Campo - Chile	
Contacto: Franco Fortini cabello	Teléfono: +5699575692

N° Muestra: 195984-1/2025.2 - Id: 1774784 - Agua subterránea Calicata 1	
Subárea o producto: Agua subterránea	
Término de muestreo: 18-03-2025 15:00	Fecha de Recepción: 19-03-2025 09:00
Tipo de muestra: Puntual	Región: Región de Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo
Comuna: Aysén	Lugar de muestreo: Badinotti Net Services, El Salto, Aysén.
Punto de muestreo: Calicata 1	Dirección de muestreo: 45°26'46"S 72°46'40"W
Instrumento ambiental: ---	Proyecto: ---
Muestreado por: Cliente	

Resultados Analíticos

Análisis Acreditados

Parámetro	Resultado	LD	Referencia	Fecha y Hora Análisis
Cinc	0,217 mg Zn/L	0,010 mg Zn/L	SM 3030 F, 3120 B	26-03-2025 21:21
Cobre	0,299 mg Cu/L	0,005 mg Cu/L	SM 3030 F, 3120 B	26-03-2025 21:21
Conductividad	255 us/cm	1 us/cm	SM 2510 B	19-03-2025 09:30
Fósforo	0,88 mg P/L	0,2 mg P/L	SM 4500 P B4, 4500 P C	02-04-2025 09:56
Nitrato	< 0,2 mg N/L	0,2 mg N/L	SM 4500 NO3 D	19-03-2025 10:52
Nitrito	< 0,03 mg N/L	0,03 mg N/L	SM 4500 NO2 B	19-03-2025 09:06
Nitrógeno total Kjeldahl	1,1 mg N/L	0,10 mg N/L	SM 4500 Norg C	25-03-2025 12:06
pH	7,29 unidad de pH	--- unidad de pH	SM 4500 H B	19-03-2025 09:20
Temperatura	22,9 °C	--- °C	SM 2550 B	19-03-2025 09:20

Análisis No Acreditados

Parámetro	Resultado	LD	Referencia	Fecha y Hora Análisis
Nitrógeno total	1,10 mg N/L	0,20 mg N/L	---	02-04-2025 12:48

Notas

ND: No determinado.
LD: Límite de Detección. LD para todos los ensayos excepto ensayos de cromatografía gaseosa, en el cual se considera Límite de Cuantificación.
SM: *Standard Methods* for the Examination of Water and Wastewater, 24th. Edition 2023.

Resultados válidos únicamente para la muestra analizada.
El presente informe no es de carácter ETFA.
Laboratorio Hidrolab S.A declara exención de responsabilidad cuando la información del muestreo es proporcionada por el cliente, los resultados se aplican a la muestra como se recibió
Prohibida toda reproducción parcial o total de este informe sin autorización del laboratorio.



Ximena Cuadros Moya
Responsable Técnico/Rep. Legal

Código de Validación: 7f153a6a0fb64e33bdbdc11b43d475dc

La validación de este documento puede ser realizada en: portal.mylimsweb.cloud.

(FAP-009-01)

Fecha Emisión Informe: 04-04-2025 17:02

Identificación del Cliente	
Cliente: INESCO SPA	RUT: 76638279-7
Dirección: Las golondrinas #1750, pto aysen - Aysén del Gral. Carlos Ibáñez del Campo - Chile	
Contacto: Franco Fortini cabello	Teléfono: +5699575692

N° Muestra: 188491-1/2025.1 - Id: 1766685 - Calicata 1 Nivel Sub 3	
Subárea o producto: Suelo	
Término de muestreo: 14-03-2025 15:00	Fecha de Recepción: 17-03-2025 14:56
Región: Región de Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo	Comuna: Aysén
Lugar de muestreo: Badinotti Net Services, El Salto, Aysén.	Punto de muestreo: Calicata 1 Nivel Sub 3
Dirección de muestreo: 45°26'46"S 72°46'40"W	Tipo de muestra: Puntual
Instrumento ambiental: ---	Proyecto: ---
Muestreado por: Cliente	

Resultados Analíticos

Análisis Acreditados

Parámetro	Resultado	LD	Referencia	Fecha y Hora Análisis
Cinc	176 mg Zn/Kg	0,05 mg Zn/Kg	PFQ-005 Rev.9, EPA 6010D	21-03-2025 13:35
Cobre	192,5 mg Cu/Kg	0,125 mg Cu/Kg	PFQ-005 Rev.9, EPA 6010D	21-03-2025 13:35
Fósforo disponible	45,1 mg P/Kg	4 mg P/Kg	CNA 6.1	02-04-2025 17:00
Humedad	53,00 %	0,01 %	PFQ-085 Rev.1	19-03-2025 11:25
Nitrógeno total	3448 mg N/Kg	0,01 mg N/Kg	CNA 14.1	27-03-2025 15:20

Notas
ND: No determinado. LD: Límite de Detección. LD para todos los ensayos excepto ensayos de cromatografía gaseosa, en el cual se considera Límite de Cuantificación. SM: <i>Standard Methods</i> for the Examination of Water and Wastewater, 24th. Edition 2023. Resultados válidos únicamente para la muestra analizada. El presente informe no es de carácter ETFA. Laboratorio Hidrolab S.A declara exención de responsabilidad cuando la información del muestreo es proporcionada por el cliente, los resultados se aplican a la muestra como se recibió Prohibida toda reproducción parcial o total de este informe sin autorización del laboratorio. CNA: Métodos de análisis recomendados para suelos de Chile. Instituto de investigaciones agropecuarias. Serie Actas INIA N°34. Revisión 2006. INIA EPA: Compendio SW-846. Environmental Protection Agency Los resultados están expresados en base seca.



Ximena Cuadros Moya
Responsable Técnico/Rep. Legal

Código de Validación: 259109ff35c64d19a041cf03103e9191
La validación de este documento puede ser realizada en: portal.mylimsweb.cloud .

(FAP-009-01)

Fecha Emisión Informe: 04-04-2025 16:59

Identificación del Cliente	
Cliente: INESCO SPA	RUT: 76638279-7
Dirección: Las golondrinas #1750, pto aysen - Aysén del Gral. Carlos Ibáñez del Campo - Chile	
Contacto: Franco Fortini cabello	Teléfono: +5699575692

N° Muestra: 188490-1/2025.1 - Id: 1766604 - Calicata 2 Nivel Sub 2	
Subárea o producto: Suelo	
Término de muestreo: 14-03-2025 15:00	Fecha de Recepción: 17-03-2025 14:56
Región: Región de Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo	Comuna: Aysén
Lugar de muestreo: Badinotti Net Services, El Salto, Aysén.	Punto de muestreo: Calicata 2 Nivel Sub 2
Dirección de muestreo: 45°26'46"S 72°46'41"W	Tipo de muestra: Puntual
Instrumento ambiental: ---	Proyecto: ---
Muestreado por: Cliente	

Resultados Analíticos

Análisis Acreditados

Parámetro	Resultado	LD	Referencia	Fecha y Hora Análisis
Cinc	78,35 mg Zn/Kg	0,05 mg Zn/Kg	PFQ-005 Rev.9, EPA 6010D	21-03-2025 13:35
Cobre	100,6 mg Cu/Kg	0,125 mg Cu/Kg	PFQ-005 Rev.9, EPA 6010D	21-03-2025 13:35
Fósforo disponible	35,1 mg P/Kg	4 mg P/Kg	CNA 6.1	02-04-2025 17:00
Humedad	53,00 %	0,01 %	PFQ-085 Rev.1	19-03-2025 11:00
Nitrógeno total	4056 mg N/Kg	0,01 mg N/Kg	CNA 14.1	27-03-2025 15:10

Notas
ND: No determinado. LD: Límite de Detección. LD para todos los ensayos excepto ensayos de cromatografía gaseosa, en el cual se considera Límite de Cuantificación. SM: <i>Standard Methods</i> for the Examination of Water and Wastewater, 24th. Edition 2023. Resultados válidos únicamente para la muestra analizada. El presente informe no es de carácter ETFA. Laboratorio Hidrolab S.A declara exención de responsabilidad cuando la información del muestreo es proporcionada por el cliente, los resultados se aplican a la muestra como se recibió Prohibida toda reproducción parcial o total de este informe sin autorización del laboratorio. CNA: Métodos de análisis recomendados para suelos de Chile. Instituto de investigaciones agropecuarias. Serie Actas INIA N°34. Revisión 2006. INIA EPA: Compendio SW-846. Environmental Protection Agency Los resultados están expresados en base seca.



Ximena Cuadros Moya
Responsable Técnico/Rep. Legal

Código de Validación: 51373576442d4dababa244be43aa3636
La validación de este documento puede ser realizada en: portal.mylimsweb.cloud .

(FAP-009-01)

Fecha Emisión Informe: 04-04-2025 16:57

Identificación del Cliente	
Cliente: INESCO SPA	RUT: 76638279-7
Dirección: Las golondrinas #1750, pto aysen - Aysén del Gral. Carlos Ibáñez del Campo - Chile	
Contacto: Franco Fortini cabello	Teléfono: +5699575692

N° Muestra: 188489-1/2025.1 - Id: 1766536 - Calicata 3 Nivel Sub 1	
Subárea o producto: Suelo	
Término de muestreo: 14-03-2025 15:00	Fecha de Recepción: 17-03-2025 14:56
Región: Región de Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo	Comuna: Aysén
Lugar de muestreo: Badinotti Net Services, El Salto, Aysén.	Punto de muestreo: Calicata 3 Nivel Sub 1
Dirección de muestreo: 45°26'46"S 72°46'40"W	Tipo de muestra: Puntual
Instrumento ambiental: ---	Proyecto: ---
Muestreado por: Cliente	

Resultados Analíticos

Análisis Acreditados

Parámetro	Resultado	LD	Referencia	Fecha y Hora Análisis
Cinc	86,9 mg Zn/Kg	0,05 mg Zn/Kg	PFQ-005 Rev.9, EPA 6010D	21-03-2025 13:35
Cobre	118,6 mg Cu/Kg	0,125 mg Cu/Kg	PFQ-005 Rev.9, EPA 6010D	21-03-2025 13:35
Fósforo disponible	57 mg P/Kg	4 mg P/Kg	CNA 6.1	02-04-2025 17:00
Humedad	70,60 %	0,01 %	PFQ-085 Rev.1	19-03-2025 11:24
Nitrógeno total	9475 mg N/Kg	0,01 mg N/Kg	CNA 14.1	27-03-2025 15:10

Notas
ND: No determinado. LD: Límite de Detección. LD para todos los ensayos excepto ensayos de cromatografía gaseosa, en el cual se considera Límite de Cuantificación. SM: <i>Standard Methods</i> for the Examination of Water and Wastewater, 24th. Edition 2023. Resultados válidos únicamente para la muestra analizada. El presente informe no es de carácter ETFA. Laboratorio Hidrolab S.A declara exención de responsabilidad cuando la información del muestreo es proporcionada por el cliente, los resultados se aplican a la muestra como se recibió Prohibida toda reproducción parcial o total de este informe sin autorización del laboratorio. CNA: Métodos de análisis recomendados para suelos de Chile. Instituto de investigaciones agropecuarias. Serie Actas INIA N°34. Revisión 2006. INIA EPA: Compendio SW-846. Environmental Protection Agency Los resultados están expresados en base seca.



Ximena Cuadros Moya
Responsable Técnico/Rep. Legal

Código de Validación: 12850557096441d4ac9f950c93cb44a9
La validación de este documento puede ser realizada en: portal.mylimsweb.cloud .

(FAP-009-01)

Fecha Emisión Informe: 04-04-2025 16:55

Identificación del Cliente	
Cliente: INESCO SPA	RUT: 76638279-7
Dirección: Las golondrinas #1750, pto aysen - Aysén del Gral. Carlos Ibáñez del Campo - Chile	
Contacto: Franco Fortini cabello	Teléfono: +5699575692

N° Muestra: 188488-1/2025.1 - Id: 1766467 - Calicata 1 Nivel Sub 2	
Subárea o producto: Suelo	
Término de muestreo: 14-03-2025 15:00	Fecha de Recepción: 17-03-2025 14:56
Región: Región de Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo	Comuna: Aysén
Lugar de muestreo: Badinotti Net Services, El Salto, Aysén.	Punto de muestreo: Calicata 1 Nivel Sub 2
Dirección de muestreo: 45°26'46"S 72°46'40"W	Tipo de muestra: Puntual
Instrumento ambiental: ---	Proyecto: ---
Muestreado por: Cliente	

Resultados Analíticos

Análisis Acreditados

Parámetro	Resultado	LD	Referencia	Fecha y Hora Análisis
Cinc	99,53 mg Zn/Kg	0,05 mg Zn/Kg	PFQ-005 Rev.9, EPA 6010D	21-03-2025 13:35
Cobre	143,7 mg Cu/Kg	0,125 mg Cu/Kg	PFQ-005 Rev.9, EPA 6010D	21-03-2025 13:35
Fósforo disponible	88 mg P/Kg	4 mg P/Kg	CNA 6.1	02-04-2025 16:58
Humedad	73,00 %	0,01 %	PFQ-085 Rev.1	19-03-2025 11:09
Nitrógeno total	10383 mg N/Kg	0,01 mg N/Kg	CNA 14.1	27-03-2025 15:10

Notas
ND: No determinado. LD: Límite de Detección. LD para todos los ensayos excepto ensayos de cromatografía gaseosa, en el cual se considera Límite de Cuantificación. SM: <i>Standard Methods</i> for the Examination of Water and Wastewater, 24th. Edition 2023. Resultados válidos únicamente para la muestra analizada. El presente informe no es de carácter ETFA. Laboratorio Hidrolab S.A declara exención de responsabilidad cuando la información del muestreo es proporcionada por el cliente, los resultados se aplican a la muestra como se recibió Prohibida toda reproducción parcial o total de este informe sin autorización del laboratorio. CNA: Métodos de análisis recomendados para suelos de Chile. Instituto de investigaciones agropecuarias. Serie Actas INIA N°34. Revisión 2006. INIA EPA: Compendio SW-846. Environmental Protection Agency Los resultados están expresados en base seca.



Ximena Cuadros Moya
Responsable Técnico/Rep. Legal

Código de Validación: ad613c5ea4fb498987b106b051937efb
La validación de este documento puede ser realizada en: portal.mylimsweb.cloud .



ESTUDIO DE ESCURRIMIENTO E INFILTRACIÓN EN LAS DEPENDENCIAS BADINOTTI NETS SERVICES AYSÉN

“Sector El Salto, Región de Aysén”



Contenido

I INTRODUCCIÓN	4
II ANTECEDENTES	5
2.1 Antecedentes generales.....	5
2.2 Antecedentes pluviométricos	5
2.3 Antecedentes constructivos y especificaciones técnicas del área de acopio de redes sucias.....	7
2.4 Antecedentes de la zona de estudio	8
III OBJETIVOS.....	9
3.1 Objetivo General	9
3.2 Objetivos Específicos	9
IV METODOLOGÍA	10
4.1 Cálculo del volumen de agua derramada	10
4.2 Estudio de suelos y subsuelo	12
4.3 Análisis de aguas subterráneas	15
4.4 Análisis de infiltración y drenaje.	17
5 RESULTADOS	20
5.1 Estimación de volumen de agua lluvia de contacto desbordada.....	20
Para poder estimar este volumen, se debe calcular primero, la cantidad de agua acumulada en la losa, durante el periodo evaluado.....	20
Cálculo de cantidad de agua acumulada en la losa, durante el periodo en estudio	20
5.2 Muestreo y análisis de calidad de suelos y subsuelo	24
5.3 Análisis de aguas subterráneas en la zona de estudio.....	32
5.4 Infiltración y escorrentía de aguas en área de estudio.....	33
5.2.1 Infiltración de aguas	33
5.2.2 Escorrentías de aguas	36
6 ANÁLISIS Y CONCLUSIONES.....	37
6.1 Análisis de la relación entre la capacidad de la losa de acopio y la infiltración de agua en la zona de estudio.	37
6.2 Análisis y conclusión de los estudios de suelo	38
6.3 Conclusión asociada al agua derramada en la zona vegetativa, de acuerdo a los resultados de capacidad de la losa y al estudio de infiltración	40
7 BIBLIOGRAFIA.....	41



8 ANEXOS	42
Anexo 1: Tabla y curva granulométrica de la capa basal, relacionada al subsuelo correspondiente al depósito de origen fluvial.....	42
Anexo 2: Tabla y curva Granulométrica del depósito piroclástico con gradación	42
Anexo 8.3: Tabla y curva granulométrica del depósito tufáceo	43
Anexo 8.4: Tabla de muestreo de infiltración por método del doble cilindro en EI1 y curva de infiltración acumulada en el punto a cercanías de CA1, y la zona de escurrimiento inicial.	43
Anexo 8.5: Tabla de muestreo de infiltración por método del doble cilindro en EI2 y curva de infiltración acumulada en el punto a cercanías de CA2.....	44
Anexo 8.6: Tabla de muestreo de infiltración por método del doble cilindro en EI3 y curva de infiltración acumulada en el punto a cercanías de CA3.....	44
Anexo 8.7: Tabla de muestreo de infiltración por método del doble cilindro en EI4 y curva de infiltración acumulada en el punto medial entre CA1 y CA3.....	45
Anexo 8.8 Informes de laboratorio, análisis químico de las muestras	45

I INTRODUCCIÓN

La empresa Badinotti Net Services Aysén, en el marco en el Plan de cumplimiento, adquiere un compromiso en repuesta a la Res. Ex. N°1/ROL D-274-2024 del 25-Nov- 2024, asociado al hecho constitutivo de infracción N°1 “Rebalse y disposición en suelo, de aguas contactadas con residuos orgánicos de las redes sucias, acumuladas en la losa de acopio, sin ser canalizadas a la Planta de Tratamiento de Riles”. Bajo este contexto, a solicitud de la empresa, se realiza estudio, con el fin de determinar si la calidad del suelo y de las aguas subterráneas, se vieron afectadas en el tiempo, por evento ocurrido entre la tarde del 7 junio y madrugada del 8 de junio del año 2023, el área a estudiar se encuentra dentro de las dependencias de la Empresa, específicamente en un sector de la zona vegetativa, ubicada contiguo a un estacionamiento interior y camino de acceso a la planta, esta situación se asocia a un rebalse y posterior infiltración de aguas lluvias contactadas con residuos orgánicos, de las redes sucias acumuladas en losa de acopio y otros aportes a determinar.

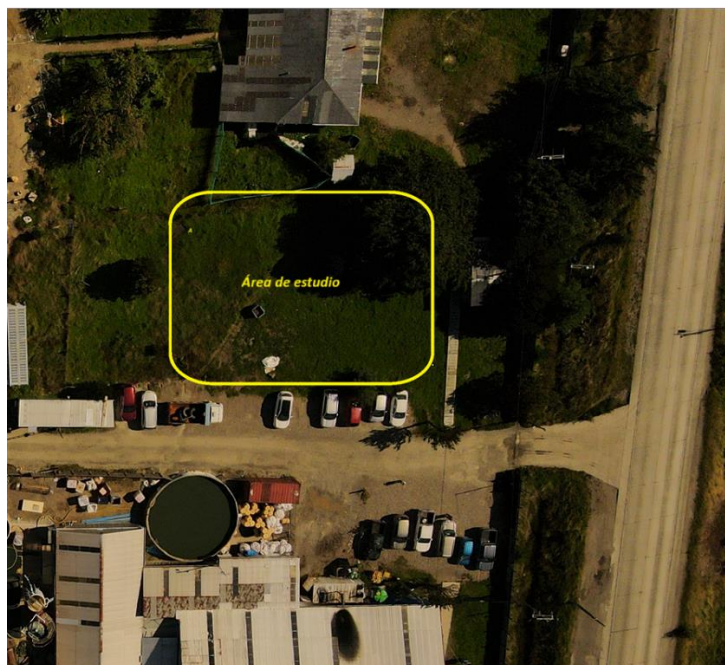


Imagen N°1 Vista aérea de la zona de estudio

Para ello, se considera: Identificar la zona a estudiar/ Determinar los aportes de aguas más significativos en área en estudio, en un periodo de tiempo determinado/Realizar análisis y estimación de volumen de agua escurrida, desde la losa de acopio de redes sucias/Determinar la capacidad de infiltración de la zona de estudio, considerando topografía, uso de suelo, geología, hidrología/Estimar dirección del escurrimiento/Muestreo y análisis de la calidad del suelo y subsuelo.



“

II ANTECEDENTES

2.1 Antecedentes generales

El área de estudio se encuentra, dentro de las dependencias de la Empresa Badinotti Nets Services Aysén, ubicada en el kilómetro 10 de la ruta 240, entre Puerto Aysén y Puerto Chacabuco, específicamente en el sector El Salto (**figura 1**).



Figura 1: Mapa de ubicación de empresa

La empresa *Badinotti Net Services Aysén*, cuenta con un área de acopio de redes sucias, que corresponde a una losa de hormigón, con pendiente suficiente, de tal forma, que las aguas lluvias de contacto y el ril del proceso productivo, escurran hacia la planta de tratamiento, para su neutralización. Esta zona cuenta también con pretils, panderetas y rampas de contención, con el fin de mantener contenidos, dentro de esta área, tanto los residuos sólidos, como los residuos líquidos. Sin embargo, durante la fiscalización realizada por la SMA, durante la madrugada del 8 de junio del año 2023 se observó, según lo indicado, un desborde desde la zona contigua a la planta de tratamiento, debido a la alta pluviosidad del momento, cuyas aguas lluvias contaminadas, provenientes del área sucia, fluyen hacia dicho sector. Por lo tanto se entiende que las aguas que escurrieron hacia una zona de suelo vegetativo, ubicada en el sector lateral del portón número 2” corresponden a las aguas lluvias de contacto del patio de acopio de redes sucias.(Ver figura 3).

2.2 Antecedentes pluviométricos

La región de Aysén, específicamente la cuenca del río Aysén, presenta una diversidad climática y una alta cobertura vegetal en medio de cadenas montañosas. Esta cuenca abarca un área de 11.456 km², cubriendo

parcialmente las provincias de Aysén y Coyhaique (**DGA, 2004**). Su clima predominante es frío oceánico, con una marcada diferencia entre su sector oriental y su sector occidental, este último caracterizado por archipiélagos, islas y fiordos, es la zona donde se enmarca el estudio. Aquí se registran altas tasas pluviométricas, con valores de precipitaciones anuales que fluctúan entre los 3.000 y 4.000 milímetros (mm).

Para ejemplificar estas variaciones, se pueden citar algunos casos dentro de la cuenca: Puerto Aysén registra un promedio anual de precipitaciones de 2.940mm, mientras que en Coyhaique este valor es de 1.385mm. Los meses más lluviosos suelen ser mayo, julio y agosto (**DGA, 2004**). Debido a las diferencias pluviométricas de la cuenca, nos basaremos en las estaciones más cercanas;

- 450001, Estación puerto Aysén, aeródromo, Dirección Meteorológica de Chile
- 11342002, Estación Puerto Aysén, Aguas Muertas, DGA
- 11400001-9, Estación Puerto Chacabuco, zona alta centro, DGA
- 11342001-4, Estación Los Rápidos, Confluencia río Aysén y río Blanco, DGA
- 11180000-6, Islas Huichas, DGA

Entre las estaciones pluviométricas disponibles, la más cercana a la zona de estudio corresponde a la estación 11400001-9 de Puerto Chacabuco. De esta estación se obtendrán los datos pluviométricos correspondientes al mes de junio de 2023, los cuales son accesibles a través de la base de datos del MOP, específicamente de la DGA, mediante el hipervínculo “<http://www.dga.cl/Páginas/hidrolineasatel.asp>.”

Los datos pluviométricos recabados indican que durante los primeros 8 días de junio de 2023, se registraron tres eventos de lluvia significativos. El primero ocurrió entre los días 2 y 3 de junio, con una precipitación acumulada de 50 mm; El segundo, en la tarde del 5 de junio, con 60 mm; Y el tercero, un evento mayor que tuvo lugar entre la tarde-noche del 7 de junio y la madrugada del 8 de junio, con más de 70 mm acumulados (**gráfico 1**). De este modo, se observa que el evento más significativo, ocurrió en la madrugada del 8 de junio de 2023, acumulando un total de 200 mm en estos primeros 8 días.

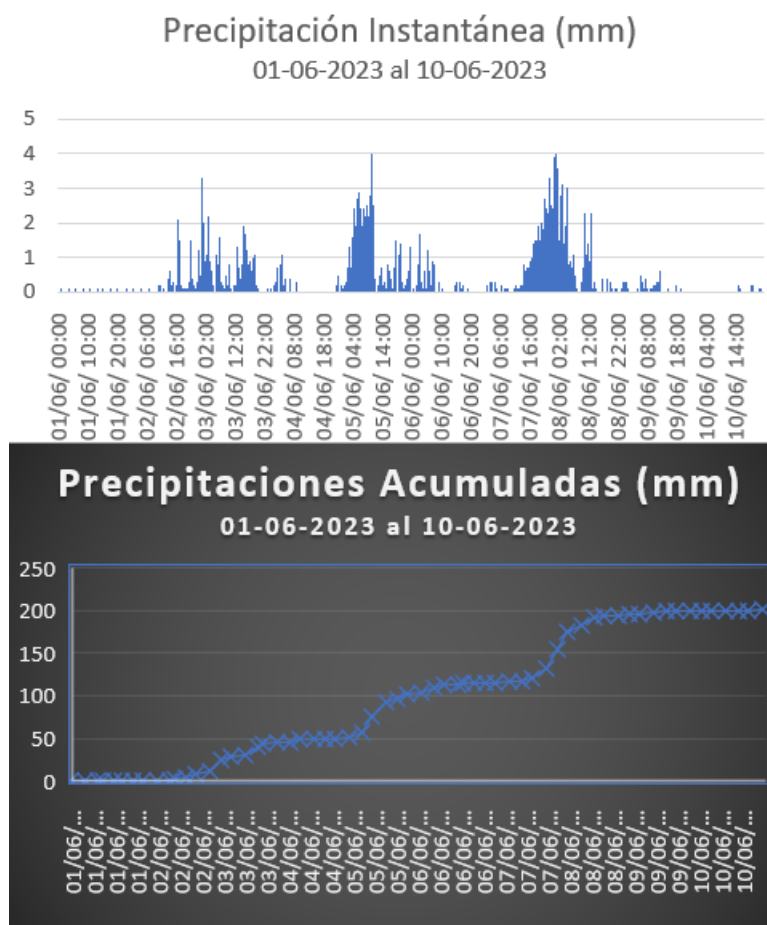


Gráfico 1: Pluviosidad acumulada e instantánea durante la primera semana de junio del 2023, creación propia.

2.3 Antecedentes constructivos y especificaciones técnicas del área de acopio de redes sucias

El patio de acopio, (cuadro amarillo en figura 2a), corresponde a una losa de hormigón armado, que abarca un área de 3.472 m², cuyas medidas son: 62 metros de largo por 56 metros de ancho. Esta losa, en todo su perímetro, cuenta con pretil y panderetas de protección, con una altura sobre el 1.80 mts. Según lo indicado por la empresa, el objetivo de esta pandereta, es impedir la salida los residuos sólidos como líquidos, fuera de La losa. Paralelamente cuenta con sistema de canaletas y con una pendiente de aproximadamente 3%, que permite que todo el ril que se genera, tanto por el proceso productivo (lavado de redes), como por el agua lluvia de contacto, pueda escurrir con facilidad, hacia la planta de tratamiento.

Dentro de esta superficie, se distinguen 3 zonas importantes:

Zona de acopio (**figura 2b**).

Zona de hidrolavado (**figura 2c**)

Zona de pretratamiento y de acceso a la planta de riles.

Para el adecuado funcionamiento de estas tres áreas, se cuenta con, canaletas, filtros y **piscinas (Figuras 2 B, C y D)**, las cuales permiten retener un total de 56 m³ del ril, (Agua lluvia de contacto y ril proveniente del proceso productivo) antes de que estas ingresen al tratamiento propiamente tal.

La zona hacia donde se dirigen todas las aguas que se generan en los 3.472m² de superficie, corresponde a la losa contigua a la planta de tratamiento (**Fig. 2D**) esto se debe a la pendiente de la losa, que en la mayoría de los sectores corresponde a un 3%, y en otros está sobre ese porcentaje. El sector hacia el que fluyen y se

acumula la mayor cantidad de agua, de esta área, está protegido por un pretil que se encuentra, sobre una de rampa de cemento, con una pendiente aproximada del 10%. Esta área de acumulación, juega un papel fundamental, ante una contingencia de alta pluviosidad.



Figura 2: (A) Vista aérea de la Empresa; (B) Piscina de recepción del ril, proveniente de proceso de lavado y de las aguas lluvias de contrato, detrás zona de acopio de mallas; (C) Zona de hidrolavado, vista de filtros de residuos sólidos; (D) Zona contigua a planta de tratamiento, sector de acumulación de agua.

2.4 Antecedentes de la zona de estudio

La zona de estudio, fue definida a petición de la empresa, quien entrega antecedentes asociados a un evento ocurrido *18 de junio de 2023*, comprende un área de 0.2 hectáreas. En este sector se realizaron tres calicatas, dos de las cuales superaron los dos metros de profundidad, alcanzando el nivel freático, mientras que la tercera alcanzó una profundidad de 0.8 metros. El objetivo de las calicatas fue determinar los tipos de suelos, y recolectar muestras, para determinar la calidad del agua y el suelo en este sector. A modo gráfico, se elaborarán dos columnas estratigráficas, mostrando los distintos horizontes de suelo presentes en las calicatas más profundas. La ubicación de las calicatas se aprecia en la **figura 3**, y, según la *“ficha SU-04”* obtenida de los datos del **SAG (2015)**, se espera un nivel de detalle muy alto para el área estudiada.

Paralelamente se realizó en esta zona, un estudio de infiltración, cuyo objetivo es determinar la cantidad agua que se absorbe en el suelo, y la que escurre en la superficie, siendo esta etapa clave, en la evaluación del comportamiento del área, en función a la carga de agua presente. Este estudio se realizó utilizando el método de doble cilindro, que permite obtener datos precisos sobre la capacidad de infiltración en condiciones específicas (**Benítez et al., 2017**).



Figura 3: Fotogrametría de planta de Badinotti Net Services, indicando los puntos de toma de muestra en la zona de estudio.

III OBJETIVOS

3.1 Objetivo General

Determinar si el área en estudio, se vio afectada por algún aporte de agua lluvia de contacto, considerando la alta pluviosidad caída entre la tarde del día 7 de junio a la mañana del día 8 de junio del 2023. Y si este generó algún impacto en el área de suelo vegetativo.

3.2 Objetivos Específicos

- ✓ Determinar la capacidad de contención de la losa de acopio.
- ✓ Estimar el volumen de agua, que superó los límites de la losa de acopio.
- ✓ Estimar los flujos de drenaje y el volumen de agua infiltrada, el día del evento, en el área en estudio.
- ✓ Determinar los aportes de agua, el día del evento, al área en estudio
- ✓ Definir la capacidad de infiltración del suelo, en el área de estudio
- ✓ Determinar el patrón de escurrimiento.
- ✓ Realizar un análisis físico y químico del suelo y subsuelo en el área en estudio
- ✓ Evaluar si la calidad del suelo, subsuelo y agua de la napa freática, se vio afectada por el evento del día 8 de junio del 2023.

IV METODOLOGÍA

4.1 Cálculo del volumen de agua derramada

Para determinar el volumen de agua derramada, se utilizarán los datos de las estaciones pluviométricas de la comuna, centrando el análisis en la estación 400001-9 de Puerto Chacabuco, que es la más cercana al área de estudio y la que proporcionará los valores más representativos de las precipitaciones ocurridas durante el evento. Según **Chow y Mays (1998)**, 1 milímetro de precipitación equivale a 1 litro de agua, por metro cuadrado, lo que permitirá calcular la cantidad de metros cúbicos de agua acumulada, en función al área solicitada, utilizando la siguiente fórmula:

$$V = P \times A / 1000$$

Con;

V= Volumen en Metros cúbicos

P= Precipitación acumulada en milímetros

A= El área de la superficie a calcular

En el análisis, se considerará la pluviometría acumulada desde las 00:00 am del 7 de junio, hasta las 11:59 pm del 8 de junio de 2023 (**Tabla 1**).

Para lograr un cálculo confiable e irrefutable, se consideraron todas las variables que puedan haber influido en generar el evento, y aquellas que aportan para minimizar el riesgo, tales como: La capacidad de las piscinas de pretratamiento; La capacidad de tratamiento de la planta de riles; Las horas de funcionamiento de las hidrolavadoras; La pluviosidad acumulada del día 7 y 8 de junio; La capacidad de retención de la losa, entre otras variables. A partir de los datos medidos y otros proporcionados por *Badinotti Net Services Aysén*, se determinó la cantidad de agua ya presente en las piscinas y estanques, así como la cantidad de agua procesada y utilizada por las hidrolavadoras (**Tabla 1**). Con estos datos, se calculó el total de agua acumulada en el patio para determinar cuánto de este volumen superó el pretil y escurrió hacia la zona en estudio.

<u>Pluviometría acumulada por lapsos de 12 horas</u>		<u>Dimensiones de edificaciones</u>	
<u>Horarios</u>	<u>Lluvia Acumulada (mm)</u>	<u>Lugar</u>	<u>medidas (mts2)</u>
06-06-2023 00:00- 11:59	9,1	Patio de Acopio	3472
06-06-2023 12:00- 23:59	1,2	Planta de riles	180
07-06-2023 00:00-11:59	2,1	Bodega	264
07-06-2023 12:00-23:59	32,8	reparación	210
08-06-2023 00:00-11:59	37,8	<u>Aqua procesada en planta tratamiento</u>	
08-06-2023 12:00-23:59	5,9	<u>Día</u>	<u>Agua Procesada (mts3)</u>
09-06-2023 00:00-11:59	3,5	07-06-2023	64
09-06-2023 12:00-23:59	1,0	08-06-2023	76

Tabla 1: Tablas de precipitaciones diarias, superficie de edificaciones y proceso diario de agua en planta de tratamiento.

Para realizar estos cálculos, inicialmente estimaremos la capacidad de contención en mts³ de la losa, para ello se utilizan los principios de la topografía y la geomática (**Anderson & Mikhail, 1998**), de esta forma se obtiene resultados consistentes de la capacidad de retención del ril, antes de que ocurra la contingencia de rebalse. Este volumen se calcula a partir de datos topográficos, *mediante la comparación entre superficies de referencia y superficies proyectadas*

Basándose en el método nombrado, se utilizó un nivel óptico, con el fin de obtener con precisión las cotas en puntos específicos del terreno, que presenten superficies de interés, como cambios drásticos en las pendientes de la losa, pretilos u otras características. para determinar el área susceptible a ellas, y así obtener el punto más propenso a desbordar, tomando como referencia, el pretil ubicado en la zona lateral de la sala de mantención (**punto 1, Figura 4**).



Figura 4: Ubicación de los puntos para medir altitud y pendientes a lo largo del patio de acopio.

Refiriéndose al método de superficie de referencia vs superficies estimadas (**Wolf & Ghilani, 2013**), se interpolan distintos puntos en el patio de acopio (**Figura 4**). En primer lugar, se determina la zona que se encuentra por debajo de la cota del punto N°1, el cual será utilizado como punto de referencia ante escurrimientos de agua desde la losa. Luego, según el grado de sus pendientes, se estima el área susceptible a inundarse. Finalmente, utilizando los puntos más cercanos a esta área, se calcula la capacidad de volumen acumulable del sector, siguiendo la formula;

$$V = \frac{h_1 + h_2 + h_3 + \dots + h_n}{n} \times A$$

Donde;



V= volumen estimado.

H= diferencia de alturas medidas con el punto de referencia.

N= cantidad de medidas de altura utilizadas.

A= Área de la superficie considerada.

Finalmente, se agrupan todos los datos en una formula, que consiste en un balance de masa, entre los factores que generan acumulación de agua en el patio de acopio, y aquellos que contribuyen a su eliminación o tratamiento; Por un lado se incluye agua de proceso de hidrolavado y la pluviometría acumulada en la losa; Por el otro, el agua acumulada en piscinas y filtros primarios, la capacidad del estanque australiano, el agua procesada en la planta de tratamiento y volumen de contención en losa.

4.2 Estudio de suelos y subsuelo

El objetivo principal de la investigación edafológica, es comprender la naturaleza, propiedades, dinámicas y funciones del suelo como parte del paisaje y los ecosistemas. Un requerimiento fundamental para lograr este objetivo, es la disponibilidad de información confiable, que permita determinar la cantidad de horizontes presentes en el suelo. Estos horizontes son capas que contienen características distintas debido a su composición mineral, cantidad de materia orgánica, grado de descomposición de la roca, textura granulométrica, entre otros factores **(FAO, 2009)**.

El área del estudio, abarca una zona de 0.2 ha, que limita con calle de ingreso a la empresa por el portón 2 **(Figura 3)**. En esta área, se realizan tres calicatas utilizando una mini-excavadora **(Figura 5)**, en puntos definidos a partir de la zona en estudio establecida por, la “*visita inspectiva de la SMA la madrugada del 8 de junio de 2023*”.



Figura 5: proceso de realizado de calicatas con la ayuda de miniexcavadora.

Los puntos a considerar en el estudio edafológico, se definen a partir de los criterios establecidos en “la pauta para estudios de suelo rectificada” (**SAG, 2011**). Para la recolección de datos, se emplea metodología estandarizada que permite obtener información precisa y representativa del área de estudio. Entre los parámetros a evaluar se incluyen la profundidad, pendiente, pedregosidad, drenaje (asociado al estudio de infiltración) y textura del suelo.

El muestreo de suelo se realiza mediante calicatas, en puntos estratégicamente seleccionados, siguiendo los procedimientos planteados por la **FAO (2006)** para la descripción de perfiles y caracterización de horizontes. La recolección de muestras de suelo, se basa en la técnica de muestreo por calicatas (**FAO, 2006**), siguiendo los pasos siguientes:

- *Excavación calicatas, de al menos 1,5 metros de profundidad (o hasta alcanzar el nivel freático).*
- *Identificación y descripción de los horizontes del suelo, según su color, textura, estructura y contenido de materia orgánica.*
- *Toma de muestras representativas, rotuladas de cada horizonte, para análisis físico-químico.*

Por otro lado, el análisis químico de las muestras, será realizado por el laboratorio “**HidroLab**”, utilizando metodologías certificadas (**Tabla 3**) para la determinación de *cobre, zinc, nitrógeno, fósforo*. Estas pruebas seguirán los protocolos establecidos por la normativa ambiental vigente, asegurando la representatividad y confiabilidad de los resultados obtenidos.

Análisis	Unidad	LD	Metodología de Referencia
Cobre (B)	mg Cu/Kg	0,125	PFQ-005 Rev.9, EPA 6010D
Humedad (B)	%	0,01	PFQ-085 Rev.1
Fósforo	mg P/Kg	1,00	PFQ-005 Rev.9, EPA 6010 D
Cadmio (B)	mg Cd/Kg	0.025	PFQ-005 Rev.9, EPA 6010D
Nitrógeno total (B)	mg N/Kg	0,01	CNA 14.1

Tabla 2: Metodología empleada por “Hidrolab” para el análisis químico en suelos

Para la determinación granulométrica del suelo en terreno, se emplea el método del tacto y cohesión (**SAG, 2011**), complementado con la **Guía para determinar manualmente la clase textural de los suelos (Casanova, M. et al, 2004)**, descrita en el **ANEXO N°3** del mismo estudio. Estas técnicas permiten estimar la proporción de arena, limo y arcilla, sin necesidad de análisis de laboratorio, proporcionando una clasificación preliminar de la textura del suelo. Los resultados obtenidos se contrastarán con la **carta textural del USDA** para definir la categoría del suelo y evaluar su capacidad de infiltración y retención de agua.

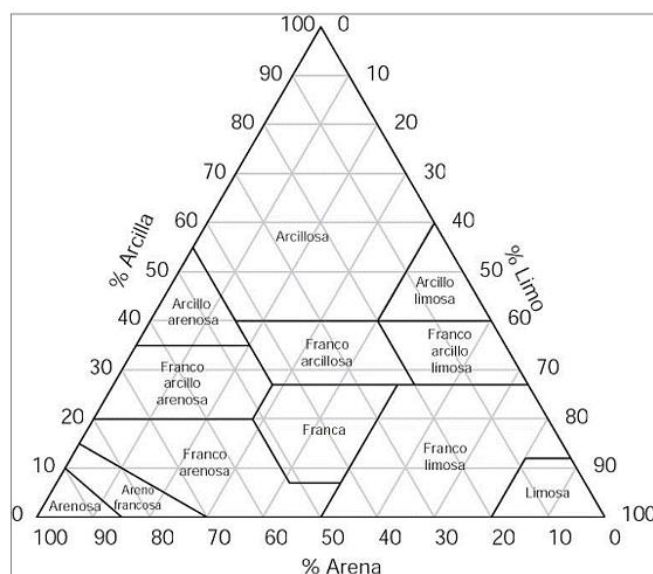


Ilustración 1: Clasificación del Suelo según la Carta Textural USDA, obtenido de; (SAG, 2015).

La composición mineral del subsuelo, es analizada exclusivamente mediante una descripción macroscópica con lupa, con el objetivo de identificar la mineralogía predominante, y sus posibles variaciones en profundidad. El análisis granulométrico de las muestras geológicas se lleva a cabo, conforme a las especificaciones del **Manual de Carreteras (2015), Volumen 8**, siguiendo los protocolos establecidos por la **AASHTO (2021)**. La clasificación granulométrica se determina mediante el uso de tamices normalizados, según no indicado en la **Tabla 3**.

Tamiz (mm)	Tamiz (")	Tipo de roca retenido
256	100,7	Bloques/Boulder
100	39,4	Grava/Cobbles
64	25,2	Grava/Cobbles
34	13,4	Guijarros /Pebbles
18	7,1	Guijarros/ Pebbles
12	4,7	Guijarros /Pebbles
4,5	1,77	Guijarros/Pebbles
1	0,39	Gravilla/granule & arena gruesa/coarse sand
0,6	0,236	Arena fina/Sand
		Arena muy fina, limo y arcilla

Tabla 3: Tamices a utilizar para realizar tablas granulométricas de subsuelo, obtenido de AASHTO, 2021.



Para los análisis químicos, granulométricos y físicos, se recopilarán muestras de las distintas calicatas, siguiendo el siguiente procedimiento;

- Realización de la calicata, y determinación de la cantidad de horizontes o estratos presentes
- Retirar con herramientas; palas, picotas u otros, muestras de los distintos estratos y calicatas
- Empaquetar muestras en bolsas de 2 kg, de ser necesario en sacos de 20kg (si presentamos clastos mayores a los 5 cm)
- Rotular las muestras, según la calicata de la que se extrajo (CA#) y si corresponde a una muestra de suelo fino o deposito geológico (Sub/Geo#)

4.3 Análisis de aguas subterráneas

El estudio de las aguas subterráneas, se enfoca exclusivamente en el análisis químico de la napa. Para ello, se toman muestras de las 2 calicatas profundas.

En **CA1 (calicata N°1)**, se aplica un procedimiento adaptado de la metodología de **Muestreo en pozos de monitoreo (ISO 5667-11, 2009)**, cuyo método consiste en lo siguiente:

- Extraer una muestra inicial de agua, con un recipiente esterilizado.
- Insertar bomba de bajo caudal a la capa freática (Motobomba).
- Bombear hasta extraer entre 1/3 a 1/5 del volumen de agua.
- Esperar 5-10 minutos para relleno natural de la napa freática y luego tomar una segunda muestra de agua con recipiente esterilizado.
- Repetir proceso de bombeo (1/3 a 1/5 de volumen de agua).
- Finalmente, tomar una 3° muestra después del relleno de la napa.

Para **CA2 (Calicata N°2)**, se utiliza el método de **Muestreo con filtros pasivos (ITRC, 2014)**, el cual permite recolectar muestras sin bombeo, mediante la inserción de filtros que capturan el agua subterránea de manera pasiva. Esta metodología es adecuada para la determinación de contaminantes orgánicos y metales disueltos en el agua.

Las muestras de agua se recolectan siguiendo los lineamientos de la **Norma EPA 815-B-97-001 (US EPA, 1997)**, garantizando que sean almacenadas en frascos esterilizados y transportadas en condiciones controladas (Por medio de un recipiente de temperatura regulada) para prevenir alteraciones microbiológicas.

Finalmente, las muestras de ambas calicatas serán enviadas al CIEP e *HidroLab* para la determinación de **Cu, Zn, N, P**. En el “*CIEP*”, se analizan las muestras obtenidas por el método de bombeo, mientras que en “*HidroLab*”, se analiza la muestra recolectada mediante el método de filtros pasivos.

Para envío de muestras “*HidroLab*”, se utilizan recipientes con conservantes específicos, con el fin de evitar alteraciones en los parámetros analizados (**Tabla 4**).

Tipo de Recipiente	Capacidad	Conservantes	Métodos de Análisis
Plástico	250 mL		Conductividad, EAM-Nitrito, EIS-Rob-Nitrato, Potenciometría
Vidrio	1000 mL	HCl 1+1	IR-AyG
Plástico	250 mL	HNO ₃	ICPOES-Metales
Plástico	500 mL	H ₂ SO ₄	EAM-P-Vanadato, EIS-Rob-NKT

Tabla 2: Recipientes y conservantes utilizados según los parámetros a analizar en las muestras de agua.

4.4 Análisis de infiltración y drenaje.

Para evaluar la capacidad de infiltración de los suelos en la zona de estudio, se realizan 4 ensayos basados en el método de doble cilindro, muy utilizado para medir la tasa de infiltración, en suelos con diversas características (*Benítez et al., 2017*). Este método consiste en colocar dos cilindros concéntricos en el suelo: El interior se utiliza para medir la cantidad de agua que se infiltra, mientras que el exterior permite disminuir la escorrentía lateral, que es un factor externo que pudiese afectar en los resultados. El procedimiento general será el siguiente:

1. **Instalación de cilindros:** Se insertarán dos cilindros de plástico en el suelo hasta una profundidad adecuada que permita una medición precisa de la infiltración, generalmente a una profundidad de 10-15 cm (*Figura 6a*).
2. **Aplicación de agua:** Se añadirá una cantidad controlada de agua en el cilindro interior, permitiendo que el agua se infiltre de manera natural en el suelo (*Figura 6b*).
3. **Monitoreo:** Durante un período determinado, se registrará el tiempo y la cantidad de agua infiltrada, observando la variabilidad en la tasa de infiltración en función de las condiciones del suelo (*Figura 6c*).
4. **Cálculo de tasa de infiltración:** La tasa de infiltración se calcula utilizando la ecuación estándar, para el método del doble cilindro, en función del volumen de agua infiltrada y el tiempo requerido para ello.



Figura 6: (A) Nivelación de cilindros / (B) Relleno de agua cuando queda menos del 10% del total de agua / (C) Recopilación de datos medidos en el tiempo

Este procedimiento permitirá obtener una estimación precisa de la capacidad de infiltración del suelo y, en consecuencia, de su capacidad para manejar la escorrentía en situaciones de alta precipitación, en la *ilustración 2*, observamos una representación de la ubicación de los cilindros en la superficie del suelo.

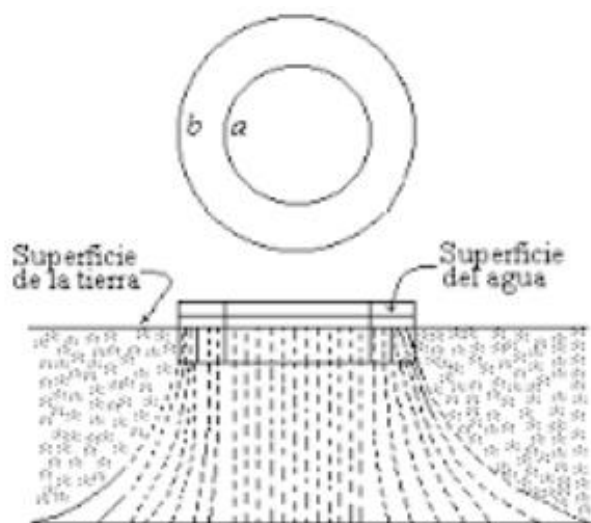


Ilustración 2: Vista en planta y perfil del método de infiltración con 2 cilindros, ilustración de abajo muestra cómo se comportaría el agua infiltrada.

Para evaluar la escorrentía del agua en el área de estudio y cómo esta se desplaza según las pendientes del terreno, se utiliza un **nivel óptico** y un **GPS de alta gama**. El uso combinado de estas tecnologías permite, obtener mediciones precisas tanto de las variaciones de pendiente, como de la ubicación exacta de los puntos de referencia, para un análisis más detallado de la escorrentía.

A continuación, se detalla el procedimiento utilizado:

1. **Trazado de puntos de referencia:** Se establecen puntos específicos, en las zonas más relevantes del área de estudio. El **GPS de alta gama (figura 7)** se utiliza para registrar las coordenadas exactas de cada uno de estos puntos, asegurando que las mediciones se realicen en ubicaciones precisas.
2. **Medición de altura:** Utilizando el nivel óptico (*figura 7*), se miden las diferencias de altura entre los puntos de referencia establecidos, registrando las pendientes de las zonas de interés. El GPS permite

obtenerlas coordenadas exactas, de cada punto de medición, mejorando la precisión de la evaluación de las pendientes.

3. **Cálculo de escorrentía:** A partir de las pendientes obtenidas y las coordenadas proporcionadas por el GPS, se estima la dirección y el flujo de la escorrentía, tomando en cuenta la topografía del terreno y Este análisis complementa el estudio de infiltración, permitiendo identificar con mayor precisión, las zonas donde el agua se acumula rápidamente, y donde podría, ayudando a predecir y gestionar posibles problemas de escorrentía.



Figura7: Uso de metodologías topográficas para determinar ubicación o diferencias de altitud. Figura derecha muestra método de utilización GPS RTK Emlid rs+, para determinar coordenadas geográficas, figura izquierda, muestra utilización de nivel óptico topográfico para determinar diferencias de alturas.

5 RESULTADOS

5.1 Estimación de volumen de agua lluvia de contacto desbordada

Para poder estimar este volumen, se debe calcular primero, la cantidad de agua acumulada en la losa, durante el periodo evaluado.

Cálculo de cantidad de agua acumulada en la losa, durante el periodo en estudio

Durante la visita a terreno, se observó que el patio de acopio de la empresa Badinotti Net Services Aysén, presenta una pendiente con dirección suroeste-noreste (SW-NE), orientada hacia la Planta de tratamiento, considerando parte del galpón de mantención. Tal como se indica en el capítulo II “Antecedentes” (**Tabla 1**), se recopilaron datos, para determinar la cantidad de agua acumulada en el patio de acopio y en los techos durante los días 7 y 8 de junio de 2023. Para este cálculo, se consideran dos factores clave: La precipitación acumulada durante el período de estudio y las dimensiones del área de influencia.

$$V = P \times A / 1000$$

$$V = 72,7 \times 3.422$$

$$V = 252.414 \text{ lts./1000}$$

$$V = 252,41 \text{ m}^3$$

Aplicando esta misma fórmula para determinar acumulación de agua en función de la precipitación y las dimensiones de cada superficie, se calculó también la cantidad de agua acumulada, de los techos, considerando ambos en conjunto y por separado. Los resultados de estos cálculos se presentan en la **Tabla 5**.

Cálculo Agua Acumulada por Lluvia			
Lugar	Horarios	Agua Acumulada (lts)	Mts3
Patio de Acopio	Día 7-6 completo	121172,8	121,1728
Techos	Día 7-6 completo	22824,6	22,8246
Patio de Acopio + Techos	Día 7-6 completo	143997,4	143,9974
Patio de Acopio	Día 8-6 madrugada/Jornada am	131241,6	131,2416
Techos	Día 8-6 madrugada/Jornada am	24721,2	24,7212
Patio de Acopio + Techos	Día 8-6 madrugada/Jornada am	155962,8	155,9628
Total PA			252,4144
Total techos			47,5458
Total PA+Techos			299,9602

Tabla 3: Acumulación de agua dividido por día y zona de influencia. Creación propia.

Los cálculos indican que la mayor acumulación de agua se produce en el patio de acopio, alcanzando un volumen de **252,4 m³** en un período de 18 horas. En contraste, los techos acumularon **47,9 m³** de agua durante el mismo lapso de tiempo.

Para poder determinar la cantidad de agua desbordada, desde el patio de acopio, se deben considerar también otras variables:

a) Aporte de agua ril, generado por el proceso de lavado de redes, durante los días evaluados

Según la información entregada, cada hidrolavadora consume **1.260 litros de agua, por hora de operación**. considerando que estaban funcionando 5 hidrolavadoras, la cantidad de agua utilizada, aumenta a 6300 litros hora, Con base en esta información, la **Tabla 6** presenta el consumo total de agua utilizado en el proceso de lavado por día.

Calculo Agua usada Hidrolavadora					
fecha	Horas de trabajo	Personal	Consumo hidro/hora	Total consumido mts ³	
07-06-2023	6	5	1260	37,8	
08-06-3034	2	5	1260	12,6	

Tabla 4: consumo de agua por el proceso de hidrolavado durante los días 07-08 de junio del 2023, creación propia.

b) Capacidad de respaldo del estanque australiano

Durante las lluvias del día 07 de junio y 08 de junio del 2023, se contaba con el 30% de capacidad del estanque australiano, la cual fue utilizada completamente para el evento. El primer día, movilizand un total **27,4mts³** a esta sección, y el segundo día, un total de **12,6mts³**, con el uso del 100% de su capacidad para este momento.

c) Cantidad de agua tratada por la planta de riles

De acuerdo a los antecedentes entregados por la empresa, la planta de riles, trató i un total de **140mts³** de agua. El día 7 se procesaron **64 mts³**, mientras que el día 8 se procesaron **76 mts³** de agua ril.

d) Capacidad de retención en la losa

Para el cálculo del volumen de agua contenido por la losa del patio de acopio (PA), se siguió la siguiente metodología: Medición de las altitudes de la losa, con la ayuda de un nivel topográfico óptico (**Figura 4**). Durante la visita de campo, se efectuó un levantamiento completo de la zona, utilizando niveles de mano,

para medir las pendientes, a continuación, se registran las altitudes de puntos específicos descritos en la **Figura 4 y 8**, permitiendo determinar, los valores del volumen retenido, que se presentan en la **Tabla 7**.

Punto	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12
Nivel vs altitud	10	x	2,0	2	1,5	3,0	4,5	10	3	3	5	4
Pendiente obtenida	11,111111	x	2,222222222	2,22222222	1,66666667	3,33333333	5	11,111111	3,33333333	2,77777778	5,55555556	4,44444444
Medida con nivel optico	129,3	130	166,5	172,5	121,9	109,5	64,5	136	139,2	135	x	x
Altura pretil (en caso de tener)	7	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Altura respecto al punto de rebalse	0	-2,3	44,2	50,2	-0,4	-12,8	-57,8	13,7	16,9	12,7		
Observaciones	Pendiente nor-oeste con pretil	Pretil	Pendiente sur-oeste	Punto más bajo	Pendiente nor-este	Pendiente nor-este	Pendiente norte (Punto mayor altitud)	Pendiente sur-este	Pendiente Nor-este	Pendiente Norte	Pendiente nor-oeste	Pendiente Nor-este

Tabla 5: Valores de pendiente y alturas obtenido con la ayuda de niveles ópticos y manuales, puntos guías graficados en la Figura 4.

Para obtener los valores de nivel y altitud, se utilizó como herramienta, un nivel carpintero, con la cual se midió la distancia entre la superficie del suelo y la línea imaginaria proyectada por el nivel. Con esta técnica, se determinaron las pendientes, mediante la aplicación de la regla de tres, además de identificar la dirección de caída, como se muestra gráficamente en la **Figura 4**, con la simbología amarilla, donde el extremo más pequeño, indica la caída de la pendiente. En cuanto a la medición con el nivel óptico, se proyectó en función del punto amarillo, visible en la misma figura, recogiendo un total de 12 puntos guías (Círculos celestes y naranja) a lo largo de toda la superficie del patio de acopio (PA).

Una vez obtenidos los datos, en hoja de cálculo Excel, se fijó el punto P1 como referencia, para determinar la zona máxima de acumulación de agua. Este punto se define como el límite máximo, antes de superación de losa, por la acumulación de agua. A partir de este punto, se estableció que los valores más cercanos a 0 en la fila de altura con respecto al punto de rebalse, corresponden a las áreas más cercanas a la máxima acumulación de agua. Los valores positivos indican zonas más bajas, mientras que los valores negativos corresponden a las zonas más altas, que permiten el escurrimiento del agua. Según estos límites, se definió como área de contención del ril, desde la losa contigua a la zona de hidrolavado, hasta el límite con el galpón

de la planta de tratamiento, extendiéndose hasta la altura del galpón de mantención, tal como se observa en el recuadro amarillo de la **Figura 8**. Esta área resultó en una superficie de **672 m²**.



Figura 8: Zona de acumulación de agua en el patio de acopio de mallas.

Siguiendo el método topográfico, para el cálculo de volumen, según superficies de referencia, se decidió utilizar los puntos al interior de la zona de acumulación de agua (cuadros naranjas en **tabla 7**. Es importante también considerar los puntos ubicados fuera de los límites establecidos, pero que aún se encuentran cercanos al área de escurrimiento, ya que podrían influir en la distribución del agua acumulada.

Obteniendo como resultado;

$$V = \frac{-2,3 + 44,2 + 50,2 - 0,4 + 13,7 + 16,9 + 12,7}{7} \times 672$$

$$V \text{ de acumulación de agua en losa} = 129,6 \text{ mts}^3$$

Finalmente se procede a determinar el agua derramada, de acuerdo al balance de masa, en el periodo correspondiente al 7 de junio del 2023 (00:00 y las 23:59) y el 8 de junio del 2023, (00:00 y 11:59)

$$V_d = V_p + V_h - V_{pt} - V_c =$$

$$-6,79\text{m}^3 = 252,41\text{m}^3 + 50,4\text{m}^3 - 180\text{m}^3 - 129,6\text{m}^3$$

Donde:

V_d = Volumen de agua derramada

V_p = Volumen de agua lluvia precipitada sobre losa acopio redes sucias

V_h = Volumen ril generado por el proceso de lavado (Hidrolavadoras).

V_{pt} = Volumen agua ingresada a planta tratamiento y estanque australiano

V_c = Volumen de agua lluvia que permite acumular en la losa

Esta ecuación, permite determinar la cantidad de agua ril derramada fuera de la losa. Como el resultado da un valor negativo, indica la no ocurrencia de desborde y valor “6,79” indica que al final del periodo evaluado, (12:00 del día del 8 de junio), la losa aún contaba con una capacidad de retención de 6,79 m³

Resultando en los datos mostrados en la **tabla 8**;

<i>Total Escurrido según antecedentes</i>		
<i>Lugar</i>	<i>Día</i>	<i>Volumen escurrido (mts3)</i>
Patio de Acopio (PA)	Día 7-6 completo	-62,0272
PA	Día 8-6 madrugada/Jornada am	-6,7856

Tabla 6: Porcentaje de metros cúbicos escurridos desde patio de acopio, separado en dos periodos.

5.2 Muestreo y análisis de calidad de suelos y subsuelo.

CA1 (figura 9), realizada en el punto (-72.77783617/-45.44629587), con una profundidad de 225cm, se detectó un nivel freático ubicado a los 163 cm. En esta calicata, se determinaron 3 niveles de suelo (Sub) y 3 capas geológicas (GEO), con un total de 6 horizontes. Muestras colectadas; **Calicata1 Suelo1 (CA1SUB1) (0-39cm)**, extraída a 20cm de profundidad, corresponde a un estrato (horizonte o nivel de suelo) de 39 cm de espesor, de tonalidad marrón, y compuesto por granos de material fino y arenoso. En la capa, destaca, gran cantidad de restos orgánicos; **CA1GEO1 (39-59cm)**, extraída a los 50 cm de profundidad, con un espesor de

20cm, se colectó una muestra compuesta de granos mayores, de tonos claros y ligeros al tacto, con una estructura de gradación normal “*granos más gruesos hacia la base (más profundo)*”, en ella, destacan restos de líticos (trozos de rocas) con alta cantidad de vesículas; **CA1SUB2 (59-113cm)**, colectada a 80cm de profundidad, corresponde a una capa fina arcillosa, moldeable al tacto, que presenta un espesor de 54cm. Se destaca la presencia de restos orgánicos, y una tonalidad marrón oscura de la capa; **CA1GEO2 (113-128cm)**, extraída a los 120cm de profundidad, corresponde a una capa ligera al tacto, de un espesor de 14cm. Presenta tonalidades oscuras, de grises a negros; **CA1SUB3 (128-154cm)**, colectada a los 150cm de profundidad, se determinó una capa fina, tendiendo a arcillosa, de 26cm de espesor. Las tonalidades de la capa eran grises verdosos, y en ella, destaca la presencia de cristales (puntos brillosos) y un fuerte olor a azufre. Hacia su base se determina un contacto erosivo; **CA1GEO3 (154-225cm)**, extraída a los 200cm de profundidad, y con un espesor no determinado (+ de 70cm), se determinó un estrato con grandes clastos (rocas de origen sedimentario), entre los 4mm a los 150mm de diámetro, y con un aumento de tamaño a su base (gradación normal). En esta capa se determinó el nivel freático, y a diferencia del resto de las muestras, la colecta se hizo en sacos de 20kg.

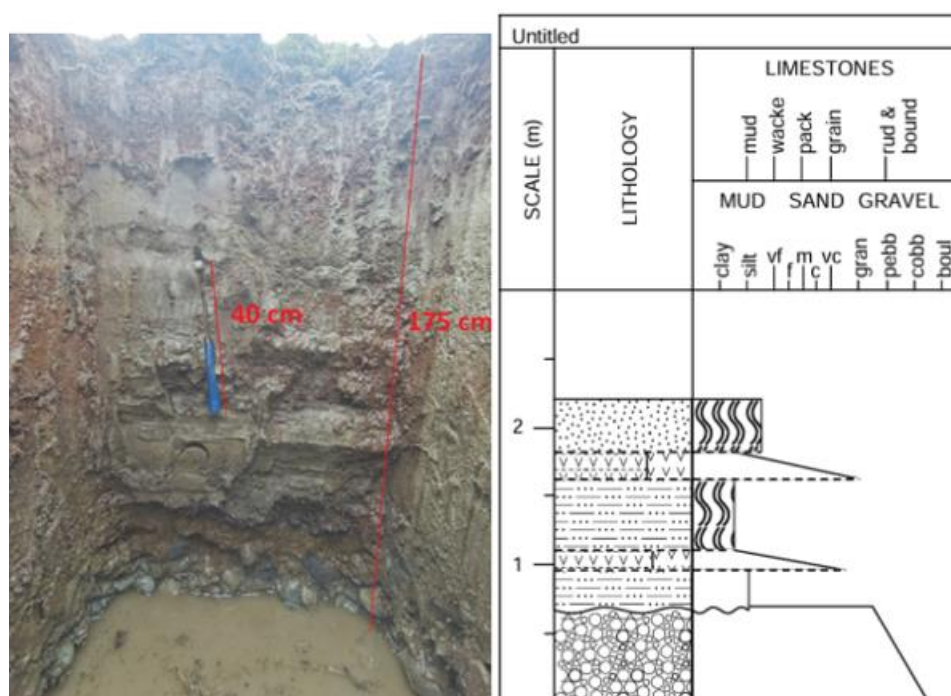


Figura 9: fotografía del perfil estratigráfico de calicata 1, hacia la derecha, ilustración de representación de calicata.

CA2 (figura 10), ubicada en el punto (-72.77806706/-45.44629522), con una profundidad alcanzada de 240cm, y un nivel freático encontrado a los 159cm, se determinaron 3 niveles de suelo y 3 capas geológicas, además de, una pequeña capa de relleno superficial. Al ser tan cercana a **CA1**, no se recolectarán muestras de todos los horizontes, solo algunos para ser rectificadas en terreno. Los horizontes determinados corresponden a; **Capa1 (0-16)**, este depósito, de 16cm de espesor,



corresponde a una mezcla de arena y gravas. Entre los clastos presentes, se encontraron líticos de 50-60mm de diámetro, moderadamente redondeados y de mala selección (Una alta diferencia entre los tamaños de las partículas); **Capa 2 (16-51)**, corresponde a un nivel de suelo, de un espesor de 35cm, y características arenosas. Esta capa es comparable con *CA1SUB1*; **Capa 3 (51-71cm)**, pequeño estrato de 20 cm de espesor, corresponde a un depósito con restos líticos ligeros a la mano, de tonalidades claras, relacionada a la muestra (*CA1GEO1*); **CA2SUB1 (71-129)**, colectada a 90 cm de profundidad, es un nivel de suelo de 58cm de espesor, de tonalidad marrón, y moldeable a la mano. Se relaciona a la muestra *CA1SUB2*; **CA2GEO1 (129-147cm)**, extraída a los 140cm de profundidad, es una capa ligera al tacto, de tonos grisáceos a negros, relacionada a la muestra *CA1GEO2*; **CA2SUB2 (147-171cm)**, extraída a los 160cm de profundidad, corresponde a un depósito plástico al tacto, con clastos arcillosos-limosos, de coloración clara gris verdosa, y un fuerte olor a azufre, en esta capa determinamos el nivel freático; **capa 4 (171cm)**, debajo del nivel freático, salieron grandes clastos de rocas, con un diámetro mayor a los 100mm, similar a los vistos en *CA1GEO3*.

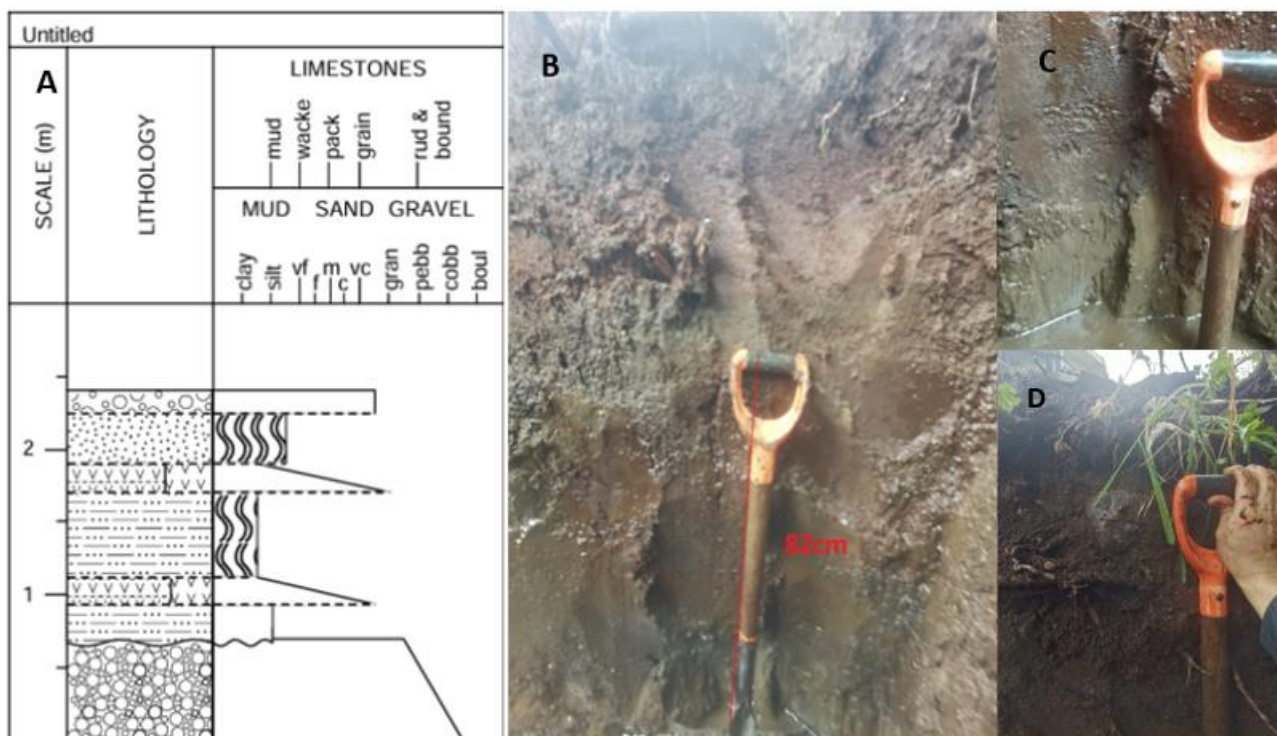


Figura 10: Perfiles de calicata 2, (A), representación gráfica de los horizontes de la calicata; (B) perfil de profundidad de calicata; (C) nivel freático en calicata, dispuesto en CA2SUB2; (D) Deposito superficial, vistas de arenas con clastos mayores, posible relleno antropogénico.

CA3 (figura 11), Ubicada en el punto (-72.77801566/-45.44611905), con una profundidad de 80cm, se realizó para tener una muestra contrastada, con las otras calicatas. En ella se identificaron 3 horizontes distintos; **Capa1 (0-35cm)**, nivel de suelo superficial, de tonalidad marrón, relacionado con *CASUB1*; **CA3GEO1 (35-55cm)**, tomada a 50cm de profundidad, se toma muestra de capa con gradación, de tonalidad clara, relacionada con la muestra *CA1GEO1*; **CA3SUB1 (55-80cm)**, colectada a 80cm de



profundidad, se tomó una muestra plástica al tacto, bien húmeda, de tonos oscuros y con presencia de raíces en proceso de transformación a turba (relacionada a muestras CA1SUB2, CA2SUB1).

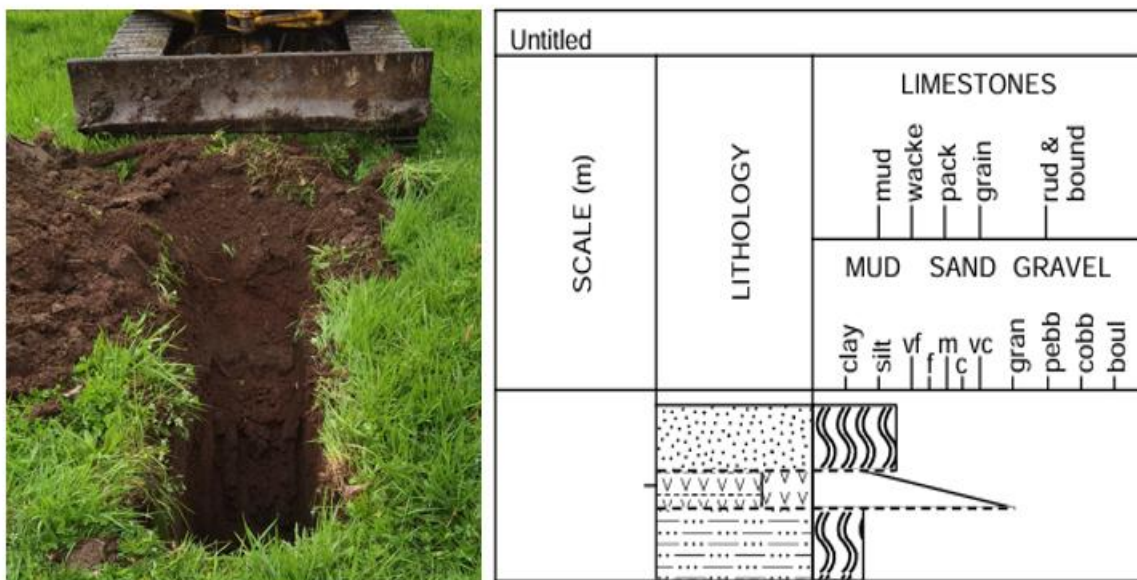


Figura 11: vista perfil de Calicata 3, hacia derecha representación realizada con el programa de creación de curvas granulométricas Sedlog.

En base a la información recopilada en el terreno, se realizó una descripción detallada de las muestras en gabinete, revelando que los perfiles de suelos están constituidos por 6 horizontes bien definidos, como se detalla en la Figura 9 a la izquierda. Las composiciones analizadas macroscópicamente, desde el techo hasta la base, son las siguientes:

1. **Suelo superficial (SS):** Presenta una alta cantidad de materia orgánica, restos de troncos y ramas, de hasta 2 metros de largo, y de las cuales algunas están iniciando el proceso de carbonización. El color del suelo es **marrón (terroso) (figura 12)**, con leves patinas negras, debido a la descomposición de la madera. En términos de textura, se clasifica como un **suelo areno-francoso (metodología descrita en SAG (2011))**, con una muy baja cantidad de cristales minerales (no se identificaron feldespatos, ni minerales máficos), encontrándose, principalmente, arcillas indeterminadas y restos líticos pequeños, en cúmulos puntuales (acumulación de minerales), encontramos bajas concentraciones de cuarzo. Según sus características, esta capa corresponde a un **Horizonte O**, con alta cantidad de materia orgánica, y una buena infiltración. Este depósito se relaciona, **CA1SUB1, CA2CAPA2, CA3CAPA1**.



Figura 12: Suelo superficial, moderadamente seco.

2. **Depósito de caída piroclástico (DCP):** Corresponde a una capa de origen volcánico, relacionada a una erupción, específicamente, un depósito de caída. Según el análisis granulométrico (Figura 13), el **71% de los granos** tiene un tamaño menor a un milímetro y está compuesto principalmente de ceniza de color claro (más silícea). Entre los granos mayores, destacan la presencia de **pumitas**, con una gran cantidad de **vesículas** debido al escape de gases (Figura 13), los cuales son depositados hacia la base (**gradación normal**) Este depósito, es clasificado como un **Horizonte A**, aportando minerales y elementos químicos al suelo, es relacionado con las capas **CA1GEO1; CA2CAPA3; CA3GEO1**.



Figura 13: División de granos de depósito de caída, según el tamaño de sus granos. (A) Lapilli $>4.5\text{mm}$ / (B) Lapilli fino $4.5 > x > 1\text{mm}$ / (C) Ceniza $1 > x > 0.6\text{mm}$ / (D) Ceniza $<0.6\text{mm}$.



Figura 14: Lapilli de mayor tamaño, se aprecia claramente vesículas y texturas típicas de rocas volcánicas piroclásticas.

3. **Paleo Suelo (PS1):** *Corresponde al nivel de suelo de mayor espesor identificado en la calicata. Presenta un color **pardo negruzco, húmedo (Figura 15), y tonos grisáceos, seco.** Tiene una alta cantidad de materia orgánica, con restos de antiguas raíces que se están recrystalizando a **turba**. Cuando está saturado de agua, tiene una textura entre **suave con granos** al tacto, y la tonalidad negruzca observada en gabinete y terreno. En algunas zonas puntuales, se observan cúmulos de granos, pero no fue posible distinguir minerales, texturalmente, se clasifica como un **suelo arcilloso limoso**, además por su alta carga orgánica y restos de turba, se clasifica en el **Horizonte O**. Un análisis más detallado, podría indicar si corresponde a un antiguo Horizonte O lixiviándose, y perdiendo su carga mineral, ósea en transformación a un Horizonte tipo E. Capas asociadas a este estrato (**CA1SUB2; CA2SUB1; CA3SUB2**).*



Figura 15: Paleosuelo 1, altos niveles de materia orgánica, ramas recrystalizando a turba, inicio proceso carbonificación.

4. **Depósito piroclástico (DP):** Se identificó un depósito con clastos volcanoclasticos, de tonalidad **gris a gris oscuro**, con una alta cantidad de componentes piroclásticos (Figura 16). El **69% de los clastos** presentan un tamaño menor a **1 mm**, una estructura de matriz es soportada (elementos pequeños



mantienen la estabilidad de la roca), y de composición principalmente **escorácea** (roca originada por erupciones volcánicas, y compuesta de elementos como Fe-Mg y otros metales pesados). Entre los clastos mayores, destacan la presencia de **líticos ígneos** de la cordillera y volcánicos. Se asume que esta capa podría ser un antiguo **depósito de Caída de piroclastos o un flujo de la misma erupción**. En cuanto a la composición de los clastos, se observa una predominancia de líticos escoráceos, con presencia de **máficos**. Este depósito, clasificado como un Horizonte A. Se relaciona con las capas **CA1GEO2 y CA2GEO1**.



Figura 16: Depósitos volcanoclásticos tamizados; (A) Granos $1 < x < 4.5\text{mm}$ / (B) Granos $x > 4.5\text{mm}$ / (C) Granos $< 1\text{mm}$

5. Paleosuelo (PS2): Este suelo, de color grisáceo verdoso a amarillento con un **fuerte olor a azufre** (Figura 17a), se encuentra saturado de agua y presenta una textura plástica al tacto, clasificado texturalmente como un suelo **franco-arcilloso**. A nivel mineralógico, se observó una alta cantidad de granos, destacando la presencia de **cuarzo y feldespato K**, además de, una significativa cantidad de minerales **máficos**, también se identificó un mineral plateado (figura 17b), con exfoliación laminar perfecta, baja dureza (rompible con la uña) y raya platinada a verdosa, que, según sus características, podría tratarse de una molibdenita o especularita. El fuerte olor a azufre podría estar asociado a la presencia de sulfuros, lo que hace más probable que los cristales observados sean de **molibdenita**. Este nivel, clasificado como un Horizonte B, por la acumulación de minerales lixiviados, y la presencia de arcillas. A este nivel se asocian las capas **CA1SUB3; CA2SUB2**.

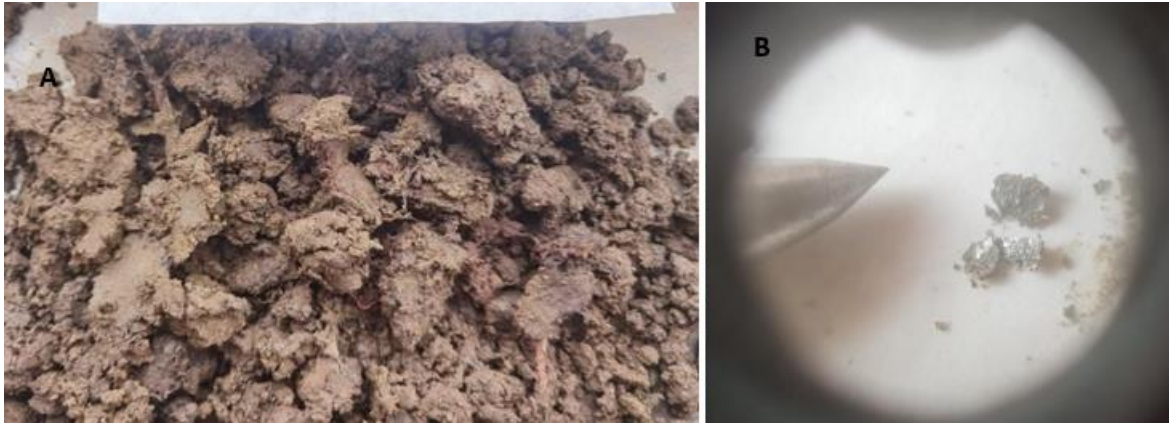


Figura 17: (A) Vista del paleosuelo A, capa donde se encontraba nivel freático en Calicata2; (B) Mineral, posiblemente molibdenita, producido por recristalización y enriquecimiento de elementos por erupciones volcánicas en la zona.

6. Capa Fluvial (CF) (Depositado por un agente fluvial) (Deposito gravoso) (más de 50 cm de espesor): Esta capa corresponde a la base de la columna estratigráfica, y se caracteriza por una tonalidad gris, con grandes clastos de rocas, principalmente de origen ígneo cordillerano (**Figura 18**). Los clastos presentan una imbricación (dirección de caída por arrastre de agua), lo que indica que se trata de un antiguo depósito fluvial. Esta capa también actúa como el acuífero libre, y en ella se determinó la presencia del nivel freático a 1,59 metros de profundidad. Se compone principalmente de cobbles/grava con tamaños que varían entre 64 y 100 mm, redondeados y comuna moderada a buena selección. Este depósito fluvial, entraría a la clasificación de un Horizonte C, ya siendo un material parental.



Figura 18: Vista en planta de depósito fluvial que mantiene nivel freático. Creación propia.

La matriz es principalmente cuarcífera, con algunos restos de feldespato K y líticos, máficos presentes en baja cantidad, entre ellos hornblendas y algunas micas, pero con una alta cantidad de cristales en la matriz (**figura 19**), esto se relaciona a un transporte y erosión continua.



Figura 19: Matriz de capa fluvial, clastos menores a 1 milímetro.

En relación a la química de suelos a las muestras evaluadas (CA1SUB3 /CA1SUB2/ CA3SUB1/ CA2SUB2), los datos nos entregan valores similares en las muestras descritas (**Anexos 8; 9; 10; 11**), en relación a los niveles de Zn, CA1SUB2 (**99mg/kg**); CA2SUB2 (**78mg/kg**); CA3SUB1 (**87mg/kg**), presentan valores similares en las concentraciones de zinc, mientras que en CA1SUB3 (**176mg/kg**) tenemos un aumento en la cantidad, sabemos que el nivel de suelo 3, actúa como una capa de enriquecimiento, cargándose de minerales y elementos. Un caso similar ocurre con los valores de cobre CA1SUB2 (**143mg/kg**); CA2SUB2 (**100mg/kg**); CA3SUB1 (**118mg/kg**); CA1SUB3 (**192mg/kg**), donde en ambos casos, vemos levemente un aumento de los metales en **CA1**. En función al fósforo y nitrógeno; CA1SUB2 (**88mg P/kg**) (**10383 mg N/kg**); CA2SUB2 (**35mg P/kg**) (**4056 mg N/kg**); CA3SUB1 (**57mg P/kg**) (**9475mg N/kg**) CA1SUB3 (**45 mg P/kg**) (**3448 mg N/Kg**), de aquí obtenemos que las muestras asociadas al PaleoSuelo1 (**PS1**), presentan niveles más altos de P y N, que las muestras relacionadas a **PS2**.

5.3 Análisis de aguas subterráneas en la zona de estudio

Los resultados del análisis químico de aguas, provenientes de la napa subterránea, son valores bajos, con respecto a la cantidad de estos elementos en las muestras de suelo, resultando en valores promedios de **0,217 mg Zn/L; 0,299 mg Cu/L; 0,88 mg P/L; 1,1 mg N/L**, donde las mayores concentraciones las presenta el nitrógeno, que contiene 1,1 partes por millón de nitrógeno en la muestra (0,00011%).

5.4 Infiltración y escorrentía de aguas en área de estudio

5.2.1 Infiltración de aguas.

El estudio de infiltración se llevó a cabo con la metodología dispuesta en el estudio de **Benítez; et. Al., (2017)**, que consistió en el método de doble cilindro.

Se realizaron 4 ensayos de infiltración (*EI1; EI2; EI3; EI4*), dispuestos en distintos puntos, con el fin de contrastar los resultados obtenidos entre las diferentes áreas medidas (**Ver Figura 3, capítulo III “Antecedentes”**).

- **Ensayo de infiltración 1 (EI1);**

Este primer ensayo, (cuyos datos se encuentran visibles en la tabla del **Anexo 4**) se realizó en la coordenada geográfica (-72.77783627; -45.44626636), a una distancia de 3-4 metros de CA1, consistió en un muestreo de casi 2 horas continuas, llegando a calcular una infiltración acumulada de 77 centímetros aproximadamente. Durante este ensayo, se tuvo que retirar gran cantidad de ramas, incluso de hasta 1.5 metros de largo, que estaban enterradas en la zona.

En este punto se obtuvo una tasa de infiltración promediada en **606 mm/hr** durante todo el rango de tiempo, y valores que varían desde **1920 mm/hr a los 333 mm/hr (Gráfico 2)**, este resultado nos indica una tasa de infiltración bastante alta, considerando que se trata del suelo superficial de características (*areno francoso*).

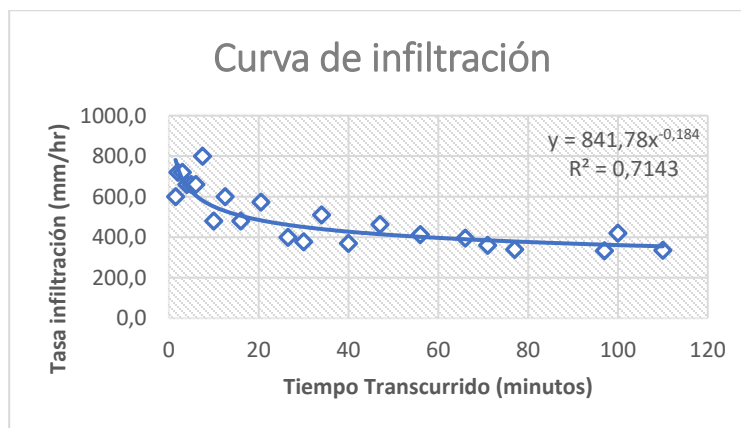


Gráfico 2: Curva de infiltración en punto EI1, indica altas tasas de infiltración en el tiempo

En el **gráfico 2** apreciamos que la curva de infiltración, comenzó a estabilizarse al cabo de 30 min, obteniendo un ponderado de **340 mm/hr**, siendo esta la tasa de infiltración considerada para esta sección de suelo. Los valores de R^2 (Coeficiente de determinación) nos indican que el 71% de los datos se acerca a la estabilidad de la línea de ponderación, “Este coeficiente nos indica que porcentaje de nuestros datos se relacionan a la curva estimada”.



- **Ensayo de infiltración 2 (EI2)**

El segundo ensayo (Cuyos datos se encuentran visibles en el **Anexo 5**), fue realizado en cercanías de la CA2, a 4 metros de distancia, sus coordenadas son (-72.77808147; -45.44626999). El muestreo duró 1 hora 1/4, con una infiltración de 56 cm de agua acumulada.

El promedio de las tasas de infiltración fue de **570mm/hr**, con un rango entre los **2400 y los 340 mm/hr** (**Gráfico 3**), este resultado, similar a los valores encontrados en *EI1*, también nos indica una muy alta infiltración de suelo.

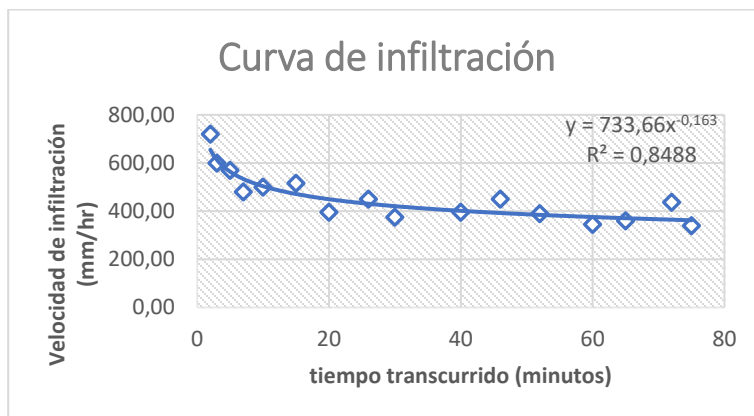


Gráfico 3: Curva de infiltración realizado en la zona del EI2, indica altas tasas de infiltración para el suelo

La ponderación, alcanzada después de un lapso de 30 minutos, tendió a una tasa de infiltración de **360 mm/hr**. En este gráfico se observa que el coeficiente de determinación llegó 84%.

- **Ensayo de infiltración 3 (EI3);**

El gráfico del tercer ensayo (Cuyos datos se encuentran visibles en el **Anexo 6**) observamos tasas de infiltración mucho más bajas, que en los ensayos anteriores la ubicación, cercana a CA3, tiene como referencia las coordenadas geográficas (-72.77795292; - 45.44611323), el ensayo duro 54 minutos, y se obtuvo una infiltración de **2.9 cm** de agua. A diferencia de los otros ensayos, este se realizó en una zona con mayor carga de vegetación, y un pasto más frondoso (el cual fue retirado para el estudio).

Las tasas de infiltración, variaron entre los **720 y los 7.5 mm/hr** (**Gráfico 4**), con un promedio de **110 mm/hr**, a diferencia de los estudios anteriores, este nos muestra una infiltración bastante baja en el suelo, típica de suelos más franco limosos.

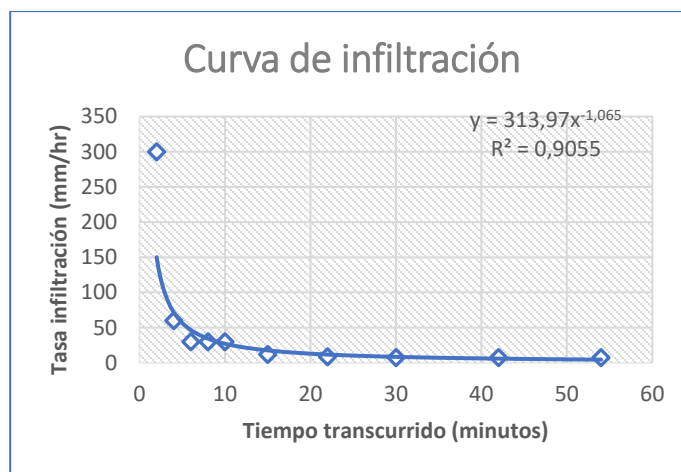


Gráfico 4: Curva de infiltración relacionada al ensayo EI3, nos entrega valores muy bajo para los suelos arenosos

Los valores se estabilizaron a los 15 minutos, llegando a un ponderado de **7.5mm/hr** de tasas de infiltración, valor mucho más bajo a los ya vistos, y más bajo a los referidos a suelos areno francos. Los datos tuvieron una muy buena ponderación en función a la línea de tendencia, obteniendo un coeficiente de determinación del 91%.

- **Ensayo de infiltración 4 (EI4);**

Se realizó un último ensayo entre las zonas de **EI1 y EI3**, para tener un contraste mayor de los datos, esto debido a la diferencia entre los datos tomados, las coordenadas de la ubicación corresponden (72.77786277, -45.44617072). Este ensayo duró 1 hora, y obtuvimos una infiltración acumulada 9,8 cm en este rango de tiempo.

Las tasas de infiltración variaron entre los **1800 y los 66 mm/hr (gráfico 5)**, y presentamos un promedio de **230 mm/hr**, estos valores se contrastan de mejor manera con suelos *areno francos*, el cual corresponde a la clasificación textural del suelo superficial en la zona.

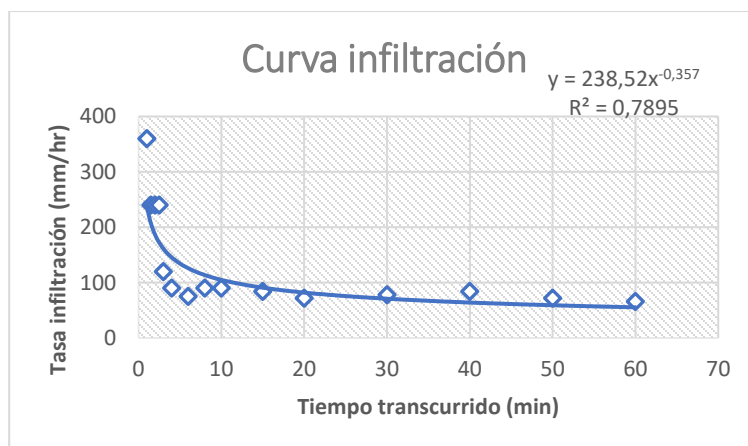


Gráfico 5: Curva de infiltración obtenida del ensayo EI4, valores normales para el tipo de suelo presente

A partir del gráfico, obtenemos una estabilidad de los valores al cabo de los 15 minutos, tendiendo a ponderar a una tasa de infiltración de **60mm/hr**, con un 78% de rectificación, estos valores son concordantes al tipo de suelo presente.

5.2.2 Escorrentías de aguas;

El estudio de la escorrentía superficial se llevó a cabo mediante métodos topográficos, utilizando GPS y niveles ópticos para determinar los patrones de flujo del agua en la zona. Los resultados obtenidos indican que la escorrentía se origina en la zona de infiltración de aguas, y fluye hacia el punto P1 y sus alrededores. P1, se encuentra 2.4 cm por debajo de la zona de llegada del agua (P0), lo que favorece su acumulación en este punto antes de continuar su curso.

Desde P1, el flujo principal se dirige hacia **P5**, con un desnivel de **17 cm**, siendo esta la zona principal de los aportes de escorrentías. En relación con **P3**, P1 presenta una diferencia de altitud de **-3 cm**, mientras que con **P4**, registra una diferencia de **-1cm**, indicando dos zonas más altas que no permitirían el escurrimiento. Con respecto a **P8**, zona ubicación calicata 3, tenemos una diferencia de **7 cm**, mientras con **P2**, una diferencia de 4cm, permitiendo el escurrimiento secundario hacia estos sectores. **P7 y P6**, dieron valores muy similares a P1, con diferencias **milimétricas**, esto indica que solo al ser sobresaturada la zona, tendríamos escurrimiento a estos puntos. **(Figura 20)**

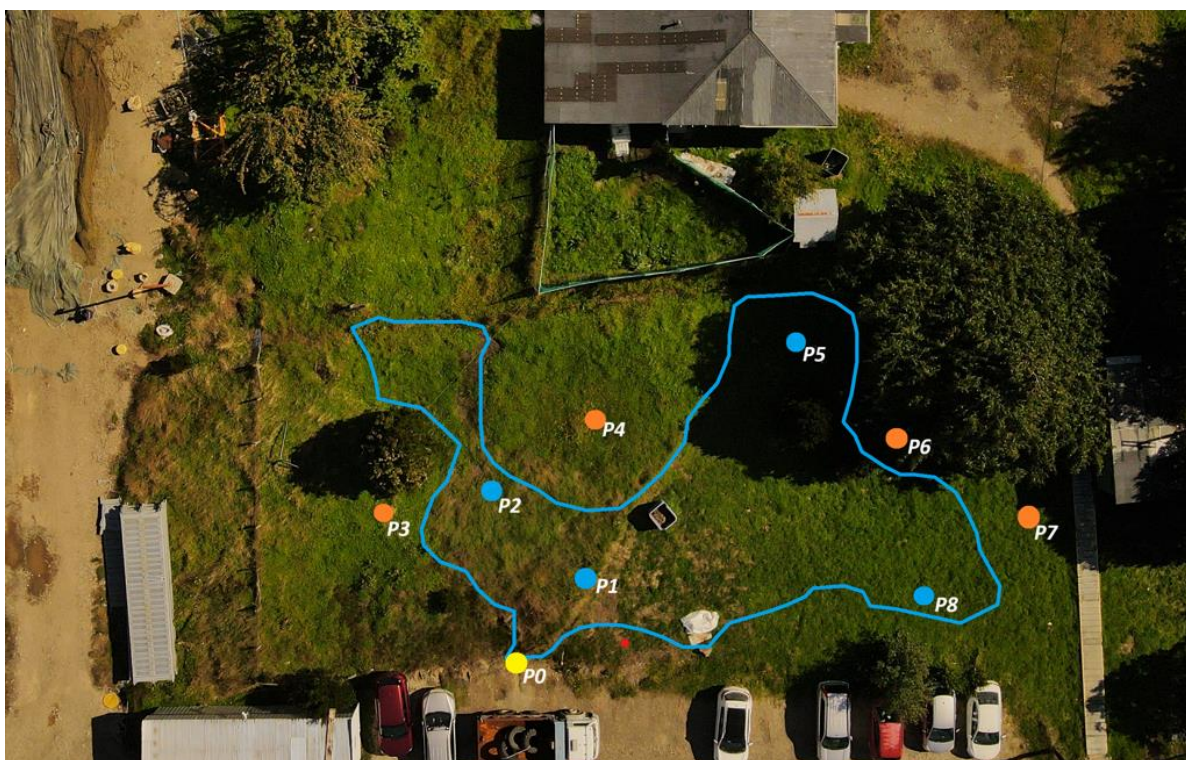


Figura 20: Zona de escurrimiento de aguas provenientes desde el sector de la calle interior, aguas no superarían elevación encontrada a la altura del cerco de la casa, hacia el río.

6 ANÁLISIS Y CONCLUSIONES

En este estudio, se contrastaron parámetros geológicos, químicos, físicos y climáticos, para obtener una visión general del comportamiento de la zona, en función al evento de las lluvias generadas durante los días 07 y 08 de junio del 2023, en el recinto de la empresa **Badinotti Net Services Aysén**.

6.1 Análisis de la relación entre la capacidad de la losa de acopio y la infiltración de agua en la zona de estudio.

Si analizamos la información obtenida del capítulo anterior, se desprende que entre el 7 y 8 de junio circularon, por el patio de acopio, un total de 303 m^3 entre agua lluvia ($252,4 \text{ m}^3$ agua lluvia de contacto y $50,4 \text{ m}^3$ de ril resultante del hidrolavado) de esta cantidad, la planta pudo procesar un total de 140 m^3 y el estanque australiano (considerando que tenía una capacidad disponible de un 30%), pudo contener 40 m^3 . Aplicando balance de masa, se pudo determinar, que, sobre la losa de acopio, se mantuvo un excedente de agua ril de $124,8 \text{ m}^3$.

Los resultados obtenidos de los cálculos realizados en el capítulo anterior, asociado a la capacidad de la losa, arroja un total de $129,6 \text{ m}^3$ de capacidad de retención, por lo tanto hasta las 12:00 del día 8 de junio, dicha losa aún tenía una capacidad de retención de $6,7 \text{ m}^3$ para llegar al límite de desborde.

Paralelamente en el área contigua a la planta de tratamiento, (zona estabilizada) se identificó la caída de aguas lluvias de los techos de la planta de RILES, bodega y reparación, que en conjunto abarcan un área de 654 m^2 , aplicando el mismo método de cálculo, se determinó que esta variable aportó un total de $47,5 \text{ m}^3$ de agua lluvia proveniente de los techos.

Conclusiones asociadas a la capacidad de retención de la losa de acopio e infiltración

Entre el periodo evaluado (7 y 8 de junio del 2023), fluyeron por la losa de acopio 303 m^3 de agua de contacto y de proceso productivo.

En la planta de tratamiento y estanques de respaldo, se procesaron 180 m^3 de los 303 m^3 generados, quedando un excedente sobre la losa de acopio de $124,8 \text{ m}^3$.

Se concluye que a las 12:00 del día 8 de junio de 2023, se contaba con un volumen disponible de $6,7 \text{ m}^3$, para retención de agua dentro de la losa.

Conclusiones asociadas a la infiltración de agua en el área de estudio

Considerando las metodologías topográficas, recopilación de datos de pluviosidad y capacidad de retención de agua, permite concluir, que no hubo derrame durante el periodo evaluado, desde el patio de acopio de la empresa Badinotti Net Services Aysén, ya que la losa, aún tenía una capacidad de retención igual a $6,7 \text{ m}^3$.

El agua infiltrada en la zona de estudio, durante el periodo evaluado, corresponde a las aguas lluvias provenientes de los techos, del área de reparación, bodega y galpón planta de tratamiento, con un aporte de 47,5m³, sin considerar, el agua lluvia, que caída directamente en la zona y la que escurría, de sectores aledaños, tales como el camino interior.

6.2 Análisis y conclusión de los estudios de suelo

En esta área, a través del análisis geológico en los puntos de calicatas **CA1, CA2 y CA3**, se identificaron las mismas capas en cada una de ellas, indicando que toda la zona debiera tener un comportamiento similar en capacidad de infiltración y escurrimiento.

En función a la descripción de muestras en condiciones húmedas y secas, se identificaron **seis horizontes de suelo naturales** (visibles en **CA1 y CA2**). En la superficie, se encontraron las capas **Suelo Superficial y Paleosuelo 1**, relacionadas a las muestras (**CA1SUB2/CA3SUB1**), las cuales se caracterizaron por presentar una alta carga orgánica, con abundantes **raíces, ramas y troncos** en **descomposición**, lo que sugiere un proceso de formación de **turba**. Estos suelos, clasificados como **histosoles**, presentan potencial para generar reservorios de carbono, especialmente **PS1**, que se encuentra enterrada bajo un depósito de cenizas volcánicas.

En **PS1**, las concentraciones fósforo y nitrógeno obtenidas **[(88mg P/kg) (10383 mg N/kg)] [(57mg P/kg) (9475mg N/kg)]**, a diferencia de la capa **PS2**, que dio valores máximos de estos parámetros en **4000 mg N/kg y 45 mg P/kg**, los valores elevados en estos parámetros, se relacionan con alta carga orgánica presente en los suelos, especialmente en **PS1 y SS**, donde se apreció turba y restos de troncos en proceso de descomposición. Consistentes con esta teoría, estudios como los de **Loisel j., et. Al. (2021)**, indican que las concentraciones de nitrógenos en suelos, pueden ser tan altas como **13–15 g/kg** o más, especialmente en suelos ricos en materia orgánica, que han recibido grandes aportes de nitrógeno de fuentes atmosféricas o de la descomposición de vegetación, ambos elementos pueden aumentar su concentración según el volcanismo de la zona, donde las cenizas volcánicas pueden proveer fósforo y nitrógeno al suelo.

En la capa **PS2** se detectó una alta mineralización, la cual es potenciada, por la presencia de capas volcánicas hacia la superficie, que aportan elementos como, **Al, P, K, Mg, Fe y Zn**, además de contenidos de **Cu, As, Mo, Pb y S**. Al estar cercana al nivel freático, esta capa muestra enriquecimiento mineral, facilitando la formación de sulfuros y otros compuestos, entre los minerales hallados destacamos la presencia, **galena (PbS) o molibdenita (MoS)**, en donde ambos pueden tener trazas de Cu y Zn. En relación a los parámetros de **Cu y Zn**, en las muestras de suelo, en **CA1**, detectamos un aumento en las concentraciones de estos metales, en comparación con **CA2 y CA3**. Las muestras colectadas en **CA1PS1** arrojaron valores de **(143 mg Zn/kg) (99 mg Cu/kg)** mientras que **CA1PS2**, entregó valores de **(192 mg Cu/kg) (176 mg Zn/kg)**, valores más elevados en

PS2, se relacionan a la fuerte mineralización de la capa y la presencia de sulfuros en este suelo. Las muestras colectadas en **CA2**, entregaron valores de **78 mg Zn/kg y 100mg Cu/kg** para el Paleo Suelo 2(**PS2**), mientras que las muestras de **CA3**, arrojaron valores de **87 mg Zn/kg y 118 mg Cu/kg** en **PS1**. Según estudios realizados en el Fiordo de Puerto Aysén, se encontraron concentraciones de Zn de hasta **(90 mg Zn/kg)**, en la boca del fiordo y **(176 mg Zn/Kg)** hacia el sector de puerto Chacabuco, indicando que, en condiciones naturales, podemos encontrar concentraciones de **80 - 100 mg Zn/kg en la zona del Fiordo Aysén**, pero el impacto antropogénico aumenta las concentraciones hacia el puerto (**Ahumada et. Al. 2004**), por otro lado, estudios de **Sadzawka et al. (2006)**, reportó concentraciones de **Cu**, en suelos volcánicos, de **60 a 100 mg/kg** en área de Alerce Andino y el Volcán Osorno. La presencia de Capas volcanoclásticas (**DPC y DP**) en la columna estratigráfica realizada, la mineralización, la fuerte presencia de azufre en **PS2**, y la cercanía a los volcanes Maca y Cay, nos proveen ciertos lineamientos para justificar la presencia de las concentraciones medidas de estos metales.

Por su parte, la capa **CF** contiene más del **60 %** de su composición en clastos mayores a **10 cm**, lo que la convierte en un excelente reservorio para el agua subterránea. Las capas superiores están compuestas principalmente por depósitos volcánicos porosos, histosoles y una delgada capa **PS2**, que podría actuar como filtro natural para el agua. Sin embargo, debido a la naturaleza de la zona –predominantemente humedal y mallín– la infiltración es rápida, lo que facilita una eficiente recarga del acuífero. El nivel freático se encontró a una profundidad de **1,6 – 1,75 m**.

Como no existe una línea base, no se puede determinar si las tasas de concentración de los elementos analizados en la zona de estudio, pudiesen ser producto de un impacto antrópico en el sector, especialmente, en el punto de **CA1**. Aun así, las capas geológicas presentes, la mineralización encontrada y la alta carga orgánica, son atribuibles a generar aumentos en las concentraciones de los elementos descritos, donde para los valores de las muestras en **CA2 Y CA3**, son correlacionables a concentraciones similares determinadas en otros estudios, y que se encontraron de forma natural. En resumen, si es posible que un suelo natural normal, tenga concentraciones de cobre que varíen entre 150 mg/kg y 190 mg/kg, dependiendo de factores geológicos, pero también patogenéticos y humanos.

En Chile existe preocupación por la contaminación de los suelos con metales. Sin embargo, no se cuenta con ninguna legislación nacional al respecto. El reglamento del SEIA (D.S.40/2012), presenta una lista de 14 países, cuyas normas de calidad ambiental y de emisión, pueden ser usadas, como referencia, para la evaluación de impacto ambiental en Chile, en base a esto, se realizó un exhaustivo análisis y se concluyó, que Italia es uno de los países que más se asemeja a Chile, desde el punto de vista geoquímico. Considerando que Italia establece concentraciones máximas de metales en suelo y específicamente asociado al Cu, establece un valor máximo de 120mg/kg. Para determinar si es adecuado aplicar dicha normativa en Chile, se estudiaron los suelos ubicados de la cuenca del río Aconcagua, en áreas donde no se realizaban actividades Antrópicas, indicando que las concentraciones de metales en suelos de esas áreas, representan una condición natural o de línea base,



el resultado fue de 134mg/kg, valor por encima, del límite legislativo de Italia, por lo tanto aplicando la legislación italiana, se puede llegar a conclusión errónea, de que todos los suelos están contaminados.

Hoy día la ciencia no es capaz de predecir correctamente la biodisponibilidad de los metales en el suelo, se ha demostrado que solo una fracción del total del metal, se encuentra biodisponible, justamente por eso, la presencia, de altas concentraciones de metales en suelos, no significa la ocurrencia de efectos tóxicos.
“Metales en el suelo”(Alexander Neaman), Idesia Vol 40.

Si nos basamos en el artículo del investigador, Alexander Neaman, quien ha estudiado las concentraciones naturales de metales en suelo de Chile, encontrando que estas concentraciones pueden ser altas en ciertas regiones, podemos dilucidar, que los resultados obtenidos, pueden tener relación a determinadas características geológicas y otras variables, pero que la única forma de determinarlo es realizar estudios de línea base en la cuenca hidrográfica, que actualmente no existen.

6.3 Conclusión asociada al agua derramada en la zona vegetativa, de acuerdo a los resultados de capacidad de la losa y al estudio de infiltración

Después de terminado el estudio, se puede aseverar que no hubo desborde de aguas desde la losa de acopio, esta afirmación se sustenta en la recopilación de información precisa y verificable, como es la utilizada para determinar las precipitaciones presentadas durante el periodo evaluado, las que se obtuvieron de la estación pluviométrica de la Dirección General De Aguas, que se encuentra instalada en Puerto Chacabuco, siendo además muy cercana a la zona de estudio (Aproximadamente 4,8km), paralelamente se realizaron mediciones de manera rigurosa y sistemática, cuyos datos fueron verificados y validados, para garantizar su precisión y exactitud, esto referido al cálculo de la capacidad de la losa de acopio de redes sucias. Por lo tanto, los datos utilizados para los cálculos de pendientes y alturas, son reales y se basan en información confiable y comprobable, lo que asegura la fiabilidad de los resultados obtenidos en el capítulo anterior.

Por lo tanto, se puede concluir que el día 08 de junio del 2023 a las 12:00 hrs. (Medio día) aún quedaba en la losa, una capacidad de retención, cercana a los 7m³.

Considerando la conclusión anterior, se puede validar la teoría, de que los aportes de agua infiltrada en el área de estudio, (suelo vegetativo) durante el periodo evaluado, corresponde al agua lluvia proveniente de los techos, los cuales en su totalidad, se infiltraron en el suelo vegetativo en estudio, sin generar escurrimientos adicionales significativos, debido a que los análisis de infiltración **E11 y E12**, donde la tasa de infiltración ponderada, supera los **300 mm/hr**, siendo valores muy altos de infiltración, relacionados al comportamiento mallinoso del sector, donde grandes cantidades de materia orgánica, la formación de turba y los grandes troncos encontrados en profundidad, aumentan las tasas de infiltración, y por ello, presentan menos escorrentía.

Como conclusión final, se puede determinar que de acuerdo a los análisis y estudios realizados, y conclusiones anteriores, no hubo desborde de la losa de acopio de redes sucias, por ende, no pudo haber afectación de los suelos estudiados, producto del evento.

7 BIBLIOGRAFIA

Anderson, J., & Mikhail, E. (1998). *Surveying: Theory and Practice* (7th ed.). McGraw-Hill.

AASHTO. (2021). *Standard Specifications for Transportation Materials and Methods of Sampling and Testing*. American Association of State Highway and Transportation Officials.

Ahumada, R., Contreras, S., & Muñoz, C. (2004). Especiación de zinc en sedimentos marinos del fiordo Aysén. *Revista de la Sociedad Química de Chile*, 49(1), 41–48. Disponible en: https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0717-71782004000100001&script=sci_arttext

Benítez, J., et al. (2017). *Métodos de medición de la infiltración en suelos*.

Casanova, M., et al. (2004). *Guía para determinar manualmente la clase textural de los suelos*.

Chow, V. T., & Mays, L. W. (1998). *Applied Hydrology* (2nd ed.). McGraw-Hill.

FAO. (2009). *Guía para la interpretación de las propiedades del suelo*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.

ISO 5667-11. (2009). *Water quality – Sampling – Part 11: Guidance on sampling of groundwaters*. International Organization for Standardization.

ITRC. (2014). *Methodology for Passive Sampling in Water Bodies*. Interstate Technology & Regulatory Council.

Loisel, J., Yu, Z., Beilman, D. W., Camill, P., Alm, J., Amesbury, M. J., ... & Zhou, W. (2021). Variation in carbon and nitrogen concentrations among peatland types globally. *Environmental Research Letters*, 16(12), 124014. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac3a5f>

SAG. (2011). *Pauta para estudio de suelo rectificada*. Servicio Agrícola y Ganadero. Santiago, Chile.

Sadzawka, A., Grez, R., Carrasco, M. A., Mora, M. L., & Flores, H. (2006). Niveles de nutrientes y elementos traza en suelos volcánicos de los Parques Nacionales Alerce Andino y Volcán Osorno. *Boletín INIA, Instituto de Investigaciones Agropecuarias*

US EPA. (1997). *Guidance for field activities: Standard Operating Procedures (SOPs) for collecting and handling water samples for laboratory analysis*. U.S. Environmental Protection Agency.

Wolf, P. R., & Ghilani, C. D. (2013). *Elementary Surveying: An Introduction to Geomatics* (13th ed.). Pearson.

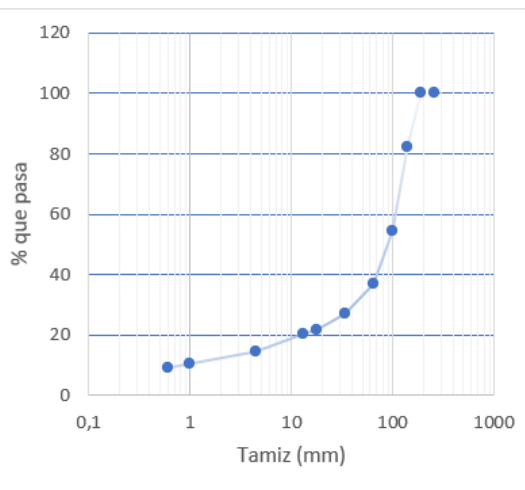
Editorial Idesia vol 40 N°2 Arica (2022) Alexander Neaman “ Metales en los suelos”, Facultad de ciencias Agronómicas, Universidad deTarapacá, Arica- Chile



8 ANEXOS

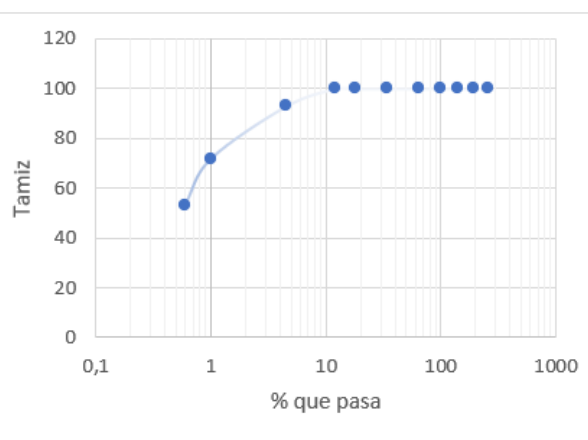
Anexo 1: Tabla y curva granulométrica de la capa basal, relacionada al subsuelo correspondiente al depósito de origen fluvial

Tamiz (mm)	Peso retenido (grs)	Peso pasa (grs)	% Peso retenido	% retenido Acumulado	% que pasa
256	0	23408	0	0	100
190	0	23408	0	0	100
140	4155	19253	17,75034	17,75034	82,2496
100	6500	12753	27,76828	45,51862	54,4813
64	4141	8612	17,69053	63,20915	36,7908
34	2235	6377	9,548017	72,75717	27,2428
18	1311	5066	5,600649	78,35782	21,6421
13	334	4732	1,426862	79,784	20,2153
4,5	1313	3419	5,609193	85,39388	14,6061
1	988	2431	4,220779	89,61466	10,3853
0,6	249	2182	1,063738	90,67840	9,32159
Matriz	2182		9,321599	100	



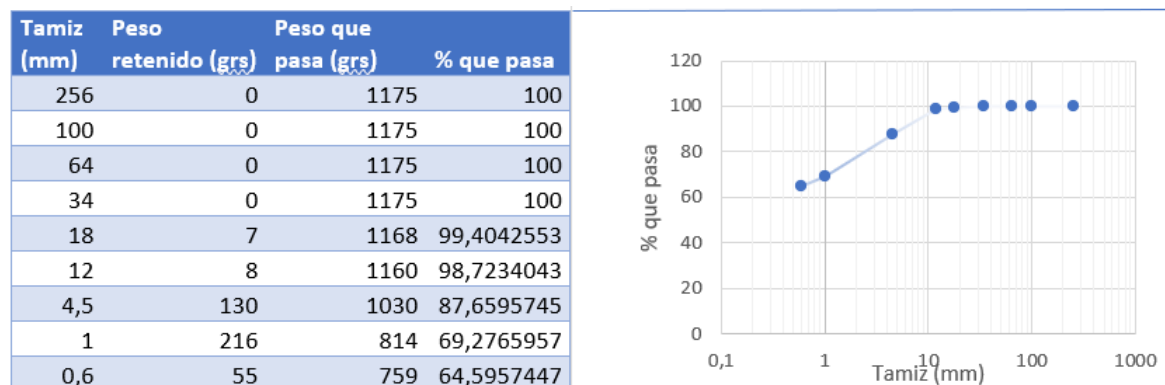
Anexo 2: Tabla y curva Granulométrica del depósito piroclástico con gradación

Tamiz (mm)	Peso retenido (grs)	Peso que pasa (grs)	% que pasa
256	0	1834	100
190	0	1834	100
140	0	1834	100
100	0	1834	100
64	0	1834	100
34	0	1834	100
18	0	1834	100
12	0	1834	100
4,5	130	1704	92,911668
1	386	1318	71,864776
0,6	340	978	53,326063



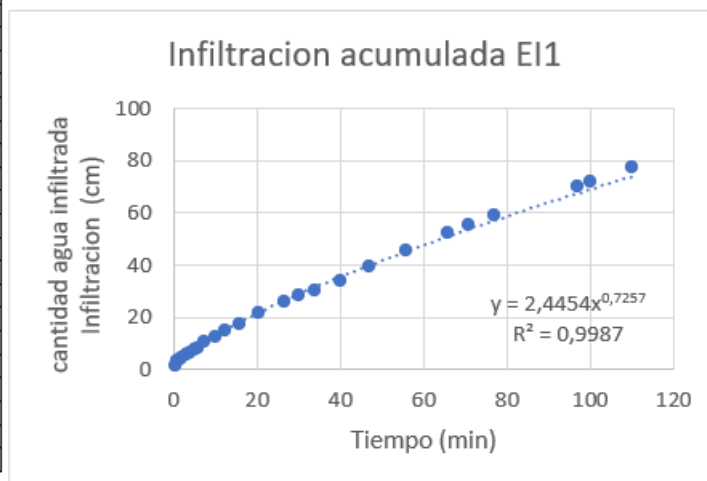


Anexo 8.3: Tabla y curva granulométrica del depósito tufáceo



Anexo 8.4: Tabla de muestreo de infiltración por método del doble cilindro en EI1 y curva de infiltración acumulada en el punto a cercanías de CA1, y la zona de escurrimiento inicial.

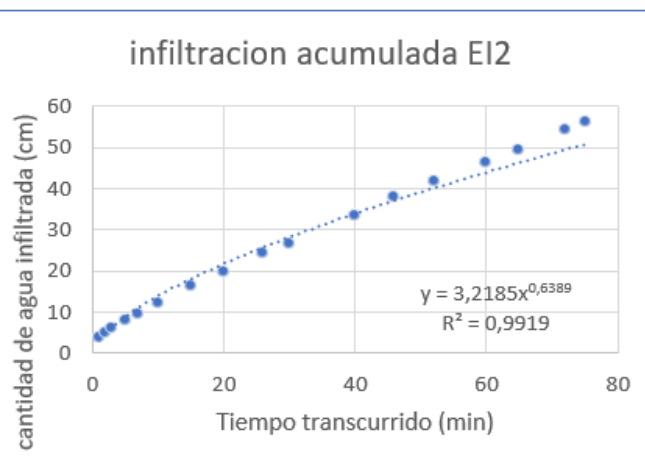
Tiempo de muestreo (min)	infiltración acumulada (cm)	Infiltración instantánea (cm)	Tasa infiltración (mm/hr)
0	0	0	0
0,5	1,3	1,3	1560,0
1	3,1	1,6	1920,0
1,5	3,6	0,5	600,0
2	4,2	0,6	720,0
3	5,4	1,2	720,0
4	6,5	1,1	660,0
5	7,4	1,1	660,0
6	8,3	1,1	660,0
7,5	10,3	2	800,0
10	12,3	2	480,0
12,5	14,8	2,5	600,0
16	17,6	2,8	480,0
20,5	21,9	4,3	573,3
26,5	25,9	4	400,0
30	28,1	2,2	377,1
34	30,5	3,4	510,0
40	34,2	3,7	370,0
47	39,6	5,4	462,9
56	45,8	6,2	413,3
66	52,4	6,6	396,0
71	55,4	3	360,0
77	58,8	3,4	340,0
97	69,9	11,1	333,0
100	72,1	2,1	420,0
110	77,7	5,6	336,0





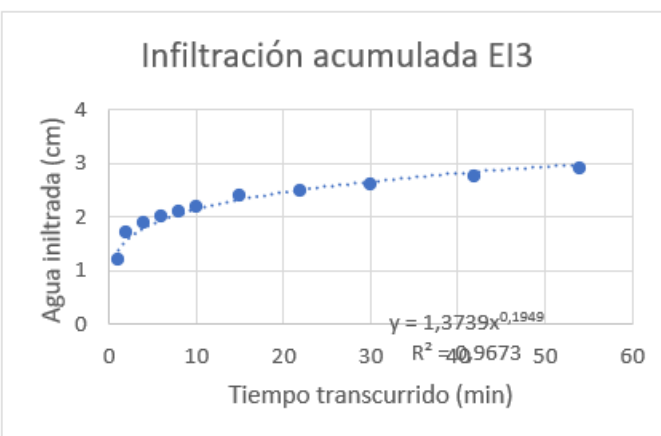
Anexo 8.5: Tabla de muestreo de infiltración por método del doble cilindro en EI2 y curva de infiltración acumulada en el punto a cercanías de CA2.

infiltración instantánea (cm)	Tiempo de medición (min)	infiltración acumulada (cm)	Tasa infiltración (mm/hr)
0	0	0	0
4,1	1	4,1	2460,00
1,2	2	5,3	720,00
1	3	6,3	600,00
1,9	5	8,2	570,00
1,6	7	9,8	480,00
2,5	10	12,3	500,00
4,3	15	16,6	516,00
3,3	20	19,9	396,00
4,5	26	24,4	450,00
2,5	30	26,9	375,00
6,6	40	33,5	396,00
4,5	46	38	450,00
3,9	52	41,9	390,00
4,6	60	46,5	345,00
3	65	49,5	360,00
5,1	72	54,6	437,14
1,7	75	56,3	340,00



Anexo 8.6: Tabla de muestreo de infiltración por método del doble cilindro en EI3 y curva de infiltración acumulada en el punto a cercanías de CA3.

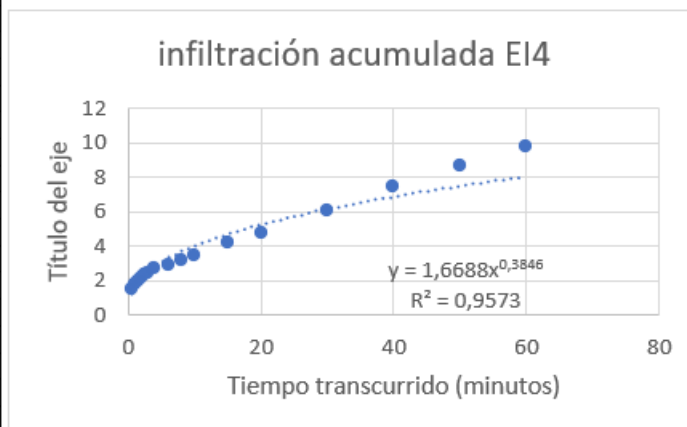
Tiempo de muestreo (minutos)	Infiltración acumulada (cm)	Infiltración instantánea (cm)	Tasa infiltración (mm/hr)
0	0	0	0
1	1,2	1,2	720
2	1,7	0,5	300
4	1,9	0,2	60
6	2	0,1	30
8	2,1	0,1	30
10	2,2	0,1	30
15	2,4	0,1	12
22	2,5	0,1	8,6
30	2,6	0,1	7,5
42	2,75	0,15	7,5
54	2,9	0,15	7,5





Anexo 8.7: Tabla de muestreo de infiltración por método del doble cilindro en EI4 y curva de infiltración acumulada en el punto medial entre CA1 y CA3.

tiempo de muestreo (min)	infiltración acumulada (cm)	Infiltración instantánea (cm)	tasa infiltración (mm/hr)
0	0	0	0
0,5	1,5	1,5	1800
1	1,8	0,3	360
1,5	2	0,2	240
2	2,2	0,2	240
2,5	2,4	0,2	240
3	2,5	0,1	120
4	2,75	0,15	90
6	2,9	0,25	75
8	3,2	0,3	90
10	3,5	0,3	90
15	4,2	0,7	84
20	4,8	0,6	72
30	6,1	1,3	78
40	7,5	1,4	84
50	8,7	1,2	72
60	9,8	1,1	66



Anexo 8.8 Informes de laboratorio, análisis químico de las muestras



ESTUDIO DE ESCURRIMIENTO E INFILTRACIÓN EN LAS DEPENDENCIAS BADINOTTI NETS SERVICES AYSÉN

“Sector El Salto, Región de Aysén”



Contenido

I INTRODUCCIÓN	4
II ANTECEDENTES	5
2.1 Antecedentes generales.....	5
2.2 Antecedentes pluviométricos	5
2.3 Antecedentes constructivos y especificaciones técnicas del área de acopio de redes sucias.....	7
2.4 Antecedentes de la zona de estudio	8
III OBJETIVOS.....	9
3.1 Objetivo General	9
3.2 Objetivos Específicos	9
IV METODOLOGÍA	10
4.1 Cálculo del volumen de agua derramada	10
4.2 Estudio de suelos y subsuelo	12
4.3 Análisis de aguas subterráneas	15
4.4 Análisis de infiltración y drenaje.	17
5 RESULTADOS	20
5.1 Estimación de volumen de agua lluvia de contacto desbordada.....	20
Para poder estimar este volumen, se debe calcular primero, la cantidad de agua acumulada en la losa, durante el periodo evaluado.....	20
Cálculo de cantidad de agua acumulada en la losa, durante el periodo en estudio	20
5.2 Muestreo y análisis de calidad de suelos y subsuelo	24
5.3 Análisis de aguas subterráneas en la zona de estudio.....	32
5.4 Infiltración y escorrentía de aguas en área de estudio.....	33
5.2.1 Infiltración de aguas	33
5.2.2 Escorrentías de aguas	36
6 ANÁLISIS Y CONCLUSIONES.....	37
6.1 Análisis de la relación entre la capacidad de la losa de acopio y la infiltración de agua en la zona de estudio.	37
6.2 Análisis y conclusión de los estudios de suelo	38
6.3 Conclusión asociada al agua derramada en la zona vegetativa, de acuerdo a los resultados de capacidad de la losa y al estudio de infiltración	40
7 BIBLIOGRAFIA.....	41



8 ANEXOS	42
Anexo 1: Tabla y curva granulométrica de la capa basal, relacionada al subsuelo correspondiente al depósito de origen fluvial.....	42
Anexo 2: Tabla y curva Granulométrica del depósito piroclástico con gradación	42
Anexo 8.3: Tabla y curva granulométrica del depósito tufáceo	43
Anexo 8.4: Tabla de muestreo de infiltración por método del doble cilindro en EI1 y curva de infiltración acumulada en el punto a cercanías de CA1, y la zona de escurrimiento inicial.	43
Anexo 8.5: Tabla de muestreo de infiltración por método del doble cilindro en EI2 y curva de infiltración acumulada en el punto a cercanías de CA2.....	44
Anexo 8.6: Tabla de muestreo de infiltración por método del doble cilindro en EI3 y curva de infiltración acumulada en el punto a cercanías de CA3.....	44
Anexo 8.7: Tabla de muestreo de infiltración por método del doble cilindro en EI4 y curva de infiltración acumulada en el punto medial entre CA1 y CA3.....	45
Anexo 8.8 Informes de laboratorio, análisis químico de las muestras	45

I INTRODUCCIÓN

La empresa Badinotti Net Services Aysén, en el marco en el Plan de cumplimiento, adquiere un compromiso en repuesta a la Res. Ex. N°1/ROL D-274-2024 del 25-Nov- 2024, asociado al hecho constitutivo de infracción N°1 “Rebalse y disposición en suelo, de aguas contactadas con residuos orgánicos de las redes sucias, acumuladas en la losa de acopio, sin ser canalizadas a la Planta de Tratamiento de Riles”. Bajo este contexto, a solicitud de la empresa, se realiza estudio, con el fin de determinar si la calidad del suelo y de las aguas subterráneas, se vieron afectadas en el tiempo, por evento ocurrido entre la tarde del 7 junio y madrugada del 8 de junio del año 2023, el área a estudiar se encuentra dentro de las dependencias de la Empresa, específicamente en un sector de la zona vegetativa, ubicada contiguo a un estacionamiento interior y camino de acceso a la planta, esta situación se asocia a un rebalse y posterior infiltración de aguas lluvias contactadas con residuos orgánicos, de las redes sucias acumuladas en losa de acopio y otros aportes a determinar.

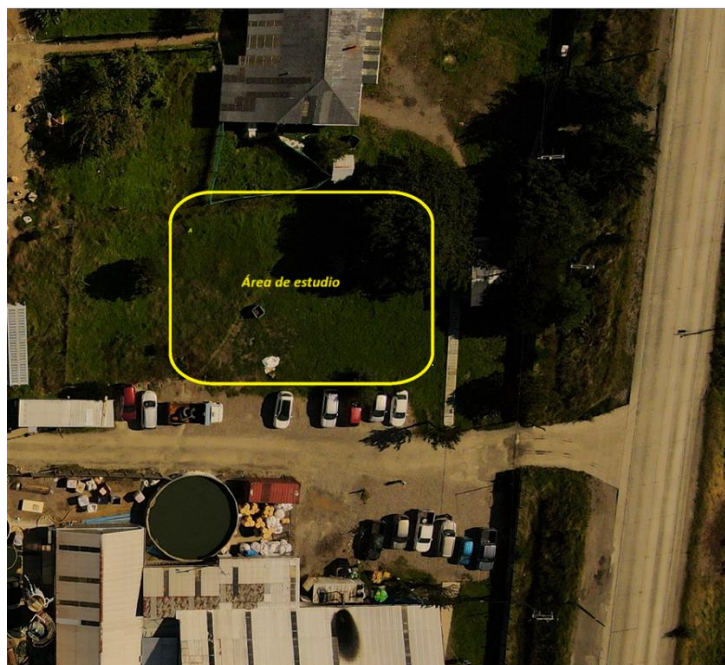


Imagen N°1 Vista aérea de la zona de estudio

Para ello, se considera: Identificar la zona a estudiar/ Determinar los aportes de aguas más significativos en área en estudio, en un periodo de tiempo determinado/Realizar análisis y estimación de volumen de agua escurrida, desde la losa de acopio de redes sucias/Determinar la capacidad de infiltración de la zona de estudio, considerando topografía, uso de suelo, geología, hidrología/Estimar dirección del escurrimiento/Muestreo y análisis de la calidad del suelo y subsuelo.

II ANTECEDENTES

2.1 Antecedentes generales

El área de estudio se encuentra, dentro de las dependencias de la Empresa Badinotti Nets Services Aysén, ubicada en el kilómetro 10 de la ruta 240, entre Puerto Aysén y Puerto Chacabuco, específicamente en el sector El Salto (*figura 1*).



Figura 1: Mapa de ubicación de empresa

La empresa *Badinotti Net Services Aysén*, cuenta con un área de acopio de redes sucias, que corresponde a una losa de hormigón, con pendiente suficiente, de tal forma, que las aguas lluvias de contacto y el ril del proceso productivo, escurran hacia la planta de tratamiento, para su neutralización. Esta zona cuenta también con pretils, panderetas y rampas de contención, con el fin de mantener contenidos, dentro de esta área, tanto los residuos sólidos, como los residuos líquidos. Sin embargo, durante la fiscalización realizada por la SMA, durante la madrugada del 8 de junio del año 2023 se observó, según lo indicado, un desborde desde la zona contigua a la planta de tratamiento, debido a la alta pluviosidad del momento, cuyas aguas lluvias contaminadas, provenientes del área sucia, fluyen hacia dicho sector. Por lo tanto se entiende que las aguas que escurrieron hacia una zona de suelo vegetativo, ubicada en el sector lateral del portón número 2” corresponden a las aguas lluvias de contacto del patio de acopio de redes sucias.(Ver figura 3).

2.2 Antecedentes pluviométricos

La región de Aysén, específicamente la cuenca del río Aysén, presenta una diversidad climática y una alta cobertura vegetal en medio de cadenas montañosas. Esta cuenca abarca un área de 11.456 km², cubriendo

parcialmente las provincias de Aysén y Coyhaique (**DGA, 2004**). Su clima predominante es frío oceánico, con una marcada diferencia entre su sector oriental y su sector occidental, este último caracterizado por archipiélagos, islas y fiordos, es la zona donde se enmarca el estudio. Aquí se registran altas tasas pluviométricas, con valores de precipitaciones anuales que fluctúan entre los 3.000 y 4.000 milímetros (mm).

Para ejemplificar estas variaciones, se pueden citar algunos casos dentro de la cuenca: Puerto Aysén registra un promedio anual de precipitaciones de 2.940mm, mientras que en Coyhaique este valor es de 1.385mm. Los meses más lluviosos suelen ser mayo, julio y agosto (**DGA, 2004**). Debido a las diferencias pluviométricas de la cuenca, nos basaremos en las estaciones más cercanas;

- 450001, Estación puerto Aysén, aeródromo, Dirección Meteorológica de Chile
- 11342002, Estación Puerto Aysén, Aguas Muertas, DGA
- 11400001-9, Estación Puerto Chacabuco, zona alta centro, DGA
- 11342001-4, Estación Los Rápidos, Confluencia río Aysén y río Blanco, DGA
- 11180000-6, Islas Huichas, DGA

Entre las estaciones pluviométricas disponibles, la más cercana a la zona de estudio corresponde a la estación 11400001-9 de Puerto Chacabuco. De esta estación se obtendrán los datos pluviométricos correspondientes al mes de junio de 2023, los cuales son accesibles a través de la base de datos del MOP, específicamente de la DGA, mediante el hipervínculo “<http://www.dga.cl/Páginas/hidrolineasatel.asp>.”

Los datos pluviométricos recabados indican que durante los primeros 8 días de junio de 2023, se registraron tres eventos de lluvia significativos. El primero ocurrió entre los días 2 y 3 de junio, con una precipitación acumulada de 50 mm; El segundo, en la tarde del 5 de junio, con 60 mm; Y el tercero, un evento mayor que tuvo lugar entre la tarde-noche del 7 de junio y la madrugada del 8 de junio, con más de 70 mm acumulados (**gráfico 1**). De este modo, se observa que el evento más significativo, ocurrió en la madrugada del 8 de junio de 2023, acumulando un total de 200 mm en estos primeros 8 días.

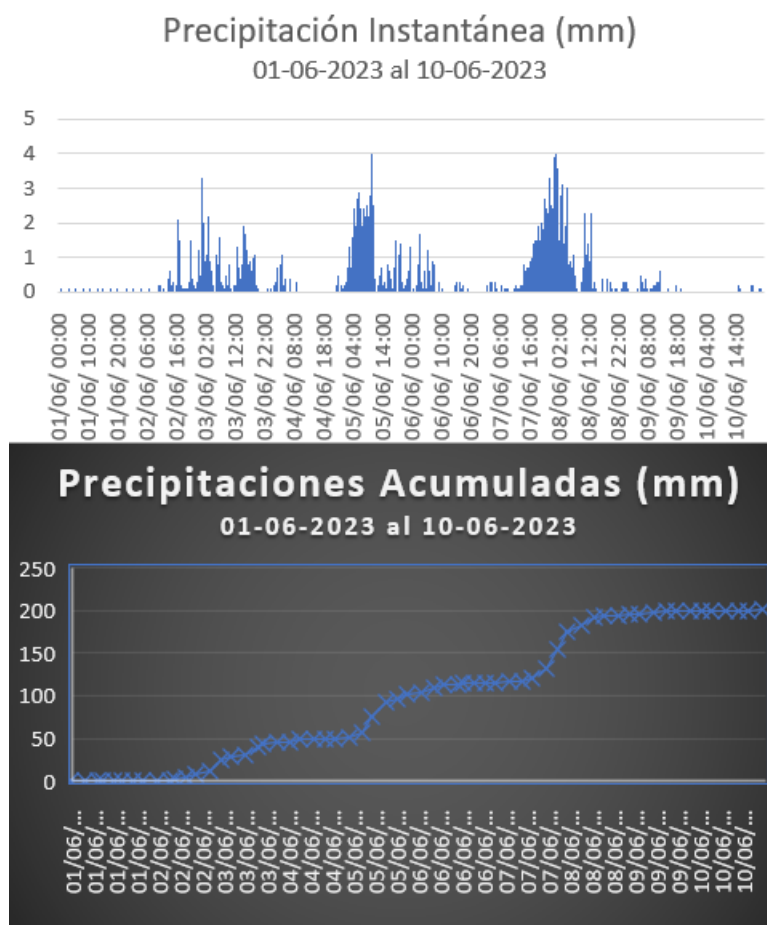


Gráfico 1: Pluviosidad acumulada e instantánea durante la primera semana de junio del 2023, creación propia.

2.3 Antecedentes constructivos y especificaciones técnicas del área de acopio de redes sucias

El patio de acopio, (cuadro amarillo en figura 2a), corresponde a una losa de hormigón armado, que abarca un área de 3.472 m², cuyas medidas son: 62 metros de largo por 56 metros de ancho. Esta losa, en todo su perímetro, cuenta con pretil y panderetas de protección, con una altura sobre el 1.80 mts. Según lo indicado por la empresa, el objetivo de esta pandereta, es impedir la salida los residuos sólidos como líquidos, fuera de La losa. Paralelamente cuenta con sistema de canaletas y con una pendiente de aproximadamente 3%, que permite que todo el ril que se genera, tanto por el proceso productivo (lavado de redes), como por el agua lluvia de contacto, pueda escurrir con facilidad, hacia la planta de tratamiento.

Dentro de esta superficie, se distinguen 3 zonas importantes:

Zona de acopio (**figura 2b**).

Zona de hidrolavado (**figura 2c**)

Zona de pretratamiento y de acceso a la planta de riles.

Para el adecuado funcionamiento de estas tres áreas, se cuenta con, canaletas, filtros y **piscinas (Figuras 2 B, C y D)**, las cuales permiten retener un total de 56 m³ del ril, (Agua lluvia de contacto y ril proveniente del proceso productivo) antes de que estas ingresen al tratamiento propiamente tal.

La zona hacia donde se dirigen todas las aguas que se generan en los 3.472m² de superficie, corresponde a la losa contigua a la planta de tratamiento (**Fig. 2D**) esto se debe a la pendiente de la losa, que en la mayoría de los sectores corresponde a un 3%, y en otros está sobre ese porcentaje. El sector hacia el que fluyen y se

acumula la mayor cantidad de agua, de esta área, está protegido por un pretil que se encuentra, sobre una de rampa de cemento, con una pendiente aproximada del 10%. Esta área de acumulación, juega un papel fundamental, ante una contingencia de alta pluviosidad.



Figura 2: (A) Vista aérea de la Empresa; (B) Piscina de recepción del ril, proveniente de proceso de lavado y de las aguas lluvias de contrato, detrás zona de acopio de mallas; (C) Zona de hidrolavado, vista de filtros de residuos sólidos; (D) Zona contigua a planta de tratamiento, sector de acumulación de agua.

2.4 Antecedentes de la zona de estudio

La zona de estudio, fue definida a petición de la empresa, quien entrega antecedentes asociados a un evento ocurrido *18 de junio de 2023*, comprende un área de 0.2 hectáreas. En este sector se realizaron tres calicatas, dos de las cuales superaron los dos metros de profundidad, alcanzando el nivel freático, mientras que la tercera alcanzó una profundidad de 0.8 metros. El objetivo de las calicatas fue determinar los tipos de suelos, y recolectar muestras, para determinar la calidad del agua y el suelo en este sector. A modo gráfico, se elaborarán dos columnas estratigráficas, mostrando los distintos horizontes de suelo presentes en las calicatas más profundas. La ubicación de las calicatas se aprecia en la **figura 3**, y, según la *“ficha SU-04”* obtenida de los datos del **SAG (2015)**, se espera un nivel de detalle muy alto para el área estudiada.

Paralelamente se realizó en esta zona, un estudio de infiltración, cuyo objetivo es determinar la cantidad agua que se absorbe en el suelo, y la que escurre en la superficie, siendo esta etapa clave, en la evaluación del comportamiento del área, en función a la carga de agua presente. Este estudio se realizó utilizando el método de doble cilindro, que permite obtener datos precisos sobre la capacidad de infiltración en condiciones específicas (**Benítez et al., 2017**).



Figura 3: Fotogrametría de planta de Badinotti Net Services, indicando los puntos de toma de muestra en la zona de estudio.

III OBJETIVOS

3.1 Objetivo General

Determinar si el área en estudio, se vio afectada por algún aporte de agua lluvia de contacto, considerando la alta pluviosidad caída entre la tarde del día 7 de junio a la mañana del día 8 de junio del 2023. Y si este generó algún impacto en el área de suelo vegetativo.

3.2 Objetivos Específicos

- ✓ Determinar la capacidad de contención de la losa de acopio.
- ✓ Estimar el volumen de agua, que superó los límites de la losa de acopio.
- ✓ Estimar los flujos de drenaje y el volumen de agua infiltrada, el día del evento, en el área en estudio.
- ✓ Determinar los aportes de agua, el día del evento, al área en estudio
- ✓ Definir la capacidad de infiltración del suelo, en el área de estudio
- ✓ Determinar el patrón de escurrimiento.
- ✓ Realizar un análisis físico y químico del suelo y subsuelo en el área en estudio
- ✓ Evaluar si la calidad del suelo, subsuelo y agua de la napa freática, se vio afectada por el evento del día 8 de junio del 2023.

IV METODOLOGÍA

4.1 Cálculo del volumen de agua derramada

Para determinar el volumen de agua derramada, se utilizarán los datos de las estaciones pluviométricas de la comuna, centrando el análisis en la estación 400001-9 de Puerto Chacabuco, que es la más cercana al área de estudio y la que proporcionará los valores más representativos de las precipitaciones ocurridas durante el evento. Según **Chow y Mays (1998)**, 1 milímetro de precipitación equivale a 1 litro de agua, por metro cuadrado, lo que permitirá calcular la cantidad de metros cúbicos de agua acumulada, en función al área solicitada, utilizando la siguiente fórmula:

$$V = P \times A / 1000$$

Con;

V= Volumen en Metros cúbicos

P= Precipitación acumulada en milímetros

A= El área de la superficie a calcular

En el análisis, se considerará la pluviometría acumulada desde las 00:00 am del 7 de junio, hasta las 11:59 pm del 8 de junio de 2023 (**Tabla 1**).

Para lograr un cálculo confiable e irrefutable, se consideraron todas las variables que puedan haber influido en generar el evento, y aquellas que aportan para minimizar el riesgo, tales como: La capacidad de las piscinas de pretratamiento; La capacidad de tratamiento de la planta de riles; Las horas de funcionamiento de las hidrolavadoras; La pluviosidad acumulada del día 7 y 8 de junio; La capacidad de retención de la losa, entre otras variables. A partir de los datos medidos y otros proporcionados por *Badinotti Net Services Aysén*, se determinó la cantidad de agua ya presente en las piscinas y estanques, así como la cantidad de agua procesada y utilizada por las hidrolavadoras (**Tabla 1**). Con estos datos, se calculó el total de agua acumulada en el patio para determinar cuánto de este volumen superó el pretil y escurrió hacia la zona en estudio.

<u>Pluviometría acumulada por lapsos de 12 horas</u>		<u>Dimensiones de edificaciones</u>	
<u>Horarios</u>	<u>Lluvia Acumulada (mm)</u>	<u>Lugar</u>	<u>medidas (mts2)</u>
06-06-2023 00:00- 11:59	9,1	Patio de Acopio	3472
06-06-2023 12:00- 23:59	1,2	Planta de riles	180
07-06-2023 00:00-11:59	2,1	Bodega	264
07-06-2023 12:00-23:59	32,8	reparación	210
08-06-2023 00:00-11:59	37,8	<u>Aqua procesada en planta tratamiento</u>	
08-06-2023 12:00-23:59	5,9	<u>Día</u>	<u>Agua Procesada (mts3)</u>
09-06-2023 00:00-11:59	3,5	07-06-2023	64
09-06-2023 12:00-23:59	1,0	08-06-2023	76

Tabla 1: Tablas de precipitaciones diarias, superficie de edificaciones y proceso diario de agua en planta de tratamiento.

Para realizar estos cálculos, inicialmente estimaremos la capacidad de contención en mts³ de la losa, para ello se utilizan los principios de la topografía y la geomática (**Anderson & Mikhail, 1998**), de esta forma se obtiene resultados consistentes de la capacidad de retención del ril, antes de que ocurra la contingencia de rebalse. Este volumen se calcula a partir de datos topográficos, *mediante la comparación entre superficies de referencia y superficies proyectadas*

Basándose en el método nombrado, se utilizó un nivel óptico, con el fin de obtener con precisión las cotas en puntos específicos del terreno, que presenten superficies de interés, como cambios drásticos en las pendientes de la losa, pretilos u otras características. para determinar el área susceptible a ellas, y así obtener el punto más propenso a desbordar, tomando como referencia, el pretil ubicado en la zona lateral de la sala de mantención (**punto 1, Figura 4**).



Figura 4: Ubicación de los puntos para medir altitud y pendientes a lo largo del patio de acopio.

Refiriéndose al método de superficie de referencia vs superficies estimadas (**Wolf & Ghilani, 2013**), se interpolan distintos puntos en el patio de acopio (**Figura 4**). En primer lugar, se determina la zona que se encuentra por debajo de la cota del punto N°1, el cual será utilizado como punto de referencia ante escurrimientos de agua desde la losa. Luego, según el grado de sus pendientes, se estima el área susceptible a inundarse. Finalmente, utilizando los puntos más cercanos a esta área, se calcula la capacidad de volumen acumulable del sector, siguiendo la formula;

$$V = \frac{h_1 + h_2 + h_3 + \dots + h_n}{n} \times A$$

Donde;

V= volumen estimado.

H= diferencia de alturas medidas con el punto de referencia.

N= cantidad de medidas de altura utilizadas.

A= Área de la superficie considerada.

Finalmente, se agrupan todos los datos en una formula, que consiste en un balance de masa, entre los factores que generan acumulación de agua en el patio de acopio, y aquellos que contribuyen a su eliminación o tratamiento; Por un lado se incluye agua de proceso de hidrolavado y la pluviometría acumulada en la losa; Por el otro, el agua acumulada en piscinas y filtros primarios, la capacidad del estanque australiano, el agua procesada en la planta de tratamiento y volumen de contención en losa.

4.2 Estudio de suelos y subsuelo

El objetivo principal de la investigación edafológica, es comprender la naturaleza, propiedades, dinámicas y funciones del suelo como parte del paisaje y los ecosistemas. Un requerimiento fundamental para lograr este objetivo, es la disponibilidad de información confiable, que permita determinar la cantidad de horizontes presentes en el suelo. Estos horizontes son capas que contienen características distintas debido a su composición mineral, cantidad de materia orgánica, grado de descomposición de la roca, textura granulométrica, entre otros factores **(FAO, 2009)**.

El área del estudio, abarca una zona de 0.2 ha, que limita con calle de ingreso a la empresa por el portón 2 **(Figura 3)**. En esta área, se realizan tres calicatas utilizando una mini-excavadora **(Figura 5)**, en puntos definidos a partir de la zona en estudio establecida por, la “*visita inspectiva de la SMA la madrugada del 8 de junio de 2023*”.



Figura 5: proceso de realizado de calicatas con la ayuda de miniexcavadora.

Los puntos a considerar en el estudio edafológico, se definen a partir de los criterios establecidos en “la pauta para estudios de suelo rectificada” (**SAG, 2011**). Para la recolección de datos, se emplea metodología estandarizada que permite obtener información precisa y representativa del área de estudio. Entre los parámetros a evaluar se incluyen la profundidad, pendiente, pedregosidad, drenaje (asociado al estudio de infiltración) y textura del suelo.

El muestreo de suelo se realiza mediante calicatas, en puntos estratégicamente seleccionados, siguiendo los procedimientos planteados por la **FAO (2006)** para la descripción de perfiles y caracterización de horizontes. La recolección de muestras de suelo, se basa en la técnica de muestreo por calicatas (**FAO, 2006**), siguiendo los pasos siguientes:

- *Excavación calicatas, de al menos 1,5 metros de profundidad (o hasta alcanzar el nivel freático).*
- *Identificación y descripción de los horizontes del suelo, según su color, textura, estructura y contenido de materia orgánica.*
- *Toma de muestras representativas, rotuladas de cada horizonte, para análisis físico-químico.*

Por otro lado, el análisis químico de las muestras, será realizado por el laboratorio “**HidroLab**”, utilizando metodologías certificadas (**Tabla 3**) para la determinación de *cobre, zinc, nitrógeno, fósforo*. Estas pruebas seguirán los protocolos establecidos por la normativa ambiental vigente, asegurando la representatividad y confiabilidad de los resultados obtenidos.

Análisis	Unidad	LD	Metodología de Referencia
Cobre (B)	mg Cu/Kg	0,125	PFQ-005 Rev.9, EPA 6010D
Humedad (B)	%	0,01	PFQ-085 Rev.1
Fósforo	mg P/Kg	1,00	PFQ-005 Rev.9, EPA 6010 D
Cadmio (B)	mg Cd/Kg	0.025	PFQ-005 Rev.9, EPA 6010D
Nitrógeno total (B)	mg N/Kg	0,01	CNA 14.1

Tabla 2: Metodología empleada por “Hidrolab” para el análisis químico en suelos

Para la determinación granulométrica del suelo en terreno, se emplea el método del tacto y cohesión (**SAG, 2011**), complementado con la **Guía para determinar manualmente la clase textural de los suelos (Casanova, M. et al, 2004)**, descrita en el ANEXO N°3 del mismo estudio. Estas técnicas permiten estimar la proporción de arena, limo y arcilla, sin necesidad de análisis de laboratorio, proporcionando una clasificación preliminar de la textura del suelo. Los resultados obtenidos se contrastarán con la **carta textural del USDA** para definir la categoría del suelo y evaluar su capacidad de infiltración y retención de agua.

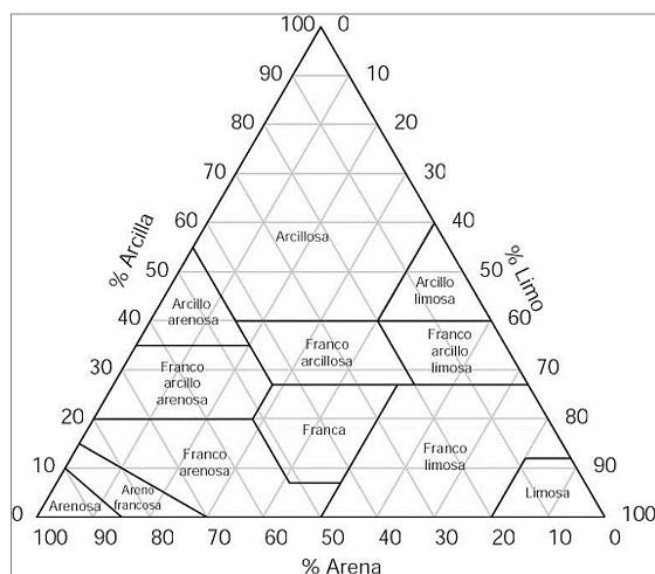


Ilustración 1: Clasificación del Suelo según la Carta Textural USDA, obtenido de; (SAG, 2015).

La composición mineral del subsuelo, es analizada exclusivamente mediante una descripción macroscópica con lupa, con el objetivo de identificar la mineralogía predominante, y sus posibles variaciones en profundidad. El análisis granulométrico de las muestras geológicas se lleva a cabo, conforme a las especificaciones del **Manual de Carreteras (2015), Volumen 8**, siguiendo los protocolos establecidos por la **AASHTO (2021)**. La clasificación granulométrica se determina mediante el uso de tamices normalizados, según no indicado en la **Tabla 3**.

Tamiz (mm)	Tamiz (")	Tipo de roca retenido
256	100,7	Bloques/Boulder
100	39,4	Grava/Cobbles
64	25,2	Grava/Cobbles
34	13,4	Guijarros /Pebbles
18	7,1	Guijarros/ Pebbles
12	4,7	Guijarros /Pebbles
4,5	1,77	Guijarros/Pebbles
1	0,39	Gravilla/granule & arena gruesa/coarse sand
0,6	0,236	Arena fina/Sand
		Arena muy fina, limo y arcilla

Tabla 3: Tamices a utilizar para realizar tablas granulométricas de subsuelo, obtenido de AASHTO, 2021.

Para los análisis químicos, granulométricos y físicos, se recopilarán muestras de las distintas calicatas, siguiendo el siguiente procedimiento;

- Realización de la calicata, y determinación de la cantidad de horizontes o estratos presentes
- Retirar con herramientas; palas, picotas u otros, muestras de los distintos estratos y calicatas
- Empaquetar muestras en bolsas de 2 kg, de ser necesario en sacos de 20kg (si presentamos clastos mayores a los 5 cm)
- Rotular las muestras, según la calicata de la que se extrajo (CA#) y si corresponde a una muestra de suelo fino o deposito geológico (Sub/Geo#)

4.3Análisis de aguas subterráneas

El estudio de las aguas subterráneas, se enfoca exclusivamente en el análisis químico de la napa. Para ello, se toman muestras de las 2 calicatas profundas.

En **CA1 (calicata N°1)**, se aplica un procedimiento adaptado de la metodología de **Muestreo en pozos de monitoreo (ISO 5667-11, 2009)**, cuyo método consiste en lo siguiente:

- Extraer una muestra inicial de agua, con un recipiente esterilizado.
- Insertar bomba de bajo caudal a la capa freática (Motobomba).
- Bombear hasta extraer entre 1/3 a 1/5 del volumen de agua.
- Esperar 5-10 minutos para relleno natural de la napa freática y luego tomar una segunda muestra de agua con recipiente esterilizado.
- Repetir proceso de bombeo (1/3 a 1/5 de volumen de agua).
- Finalmente, tomar una 3° muestra después del relleno de la napa.

Para **CA2 (Calicata N°2)**, se utiliza el método de **Muestreo con filtros pasivos (ITRC, 2014)**, el cual permite recolectar muestras sin bombeo, mediante la inserción de filtros que capturan el agua subterránea de manera pasiva. Esta metodología es adecuada para la determinación de contaminantes orgánicos y metales disueltos en el agua.

Las muestras de agua se recolectan siguiendo los lineamientos de la **Norma EPA 815-B-97-001 (US EPA, 1997)**, garantizando que sean almacenadas en frascos esterilizados y transportadas en condiciones controladas (Por medio de un recipiente de temperatura regulada) para prevenir alteraciones microbiológicas.

Finalmente, las muestras de ambas calicatas serán enviadas al CIEP e *HidroLab* para la determinación de **Cu, Zn, N, P**. En el “*CIEP*”, se analizan las muestras obtenidas por el método de bombeo, mientras que en “*HidroLab*”, se analiza la muestra recolectada mediante el método de filtros pasivos.

Para envío de muestras “*HidroLab*”, se utilizan recipientes con conservantes específicos, con el fin de evitar alteraciones en los parámetros analizados (**Tabla 4**).

Tipo de Recipiente	Capacidad	Conservantes	Métodos de Análisis
Plástico	250 mL		Conductividad, EAM-Nitrito, EIS-Rob-Nitrato, Potenciometría
Vidrio	1000 mL	HCl 1+1	IR-AyG
Plástico	250 mL	HNO ₃	ICPOES-Metales
Plástico	500 mL	H ₂ SO ₄	EAM-P-Vanadato, EIS-Rob-NKT

Tabla 2: Recipientes y conservantes utilizados según los parámetros a analizar en las muestras de agua.

4.4 Análisis de infiltración y drenaje.

Para evaluar la capacidad de infiltración de los suelos en la zona de estudio, se realizan 4 ensayos basados en el método de doble cilindro, muy utilizado para medir la tasa de infiltración, en suelos con diversas características (*Benítez et al., 2017*). Este método consiste en colocar dos cilindros concéntricos en el suelo: El interior se utiliza para medir la cantidad de agua que se infiltra, mientras que el exterior permite disminuir la escorrentía lateral, que es un factor externo que pudiese afectar en los resultados. El procedimiento general será el siguiente:

1. **Instalación de cilindros:** Se insertarán dos cilindros de plástico en el suelo hasta una profundidad adecuada que permita una medición precisa de la infiltración, generalmente a una profundidad de 10-15 cm (*Figura 6a*).
2. **Aplicación de agua:** Se añadirá una cantidad controlada de agua en el cilindro interior, permitiendo que el agua se infiltre de manera natural en el suelo (*Figura 6b*).
3. **Monitoreo:** Durante un período determinado, se registrará el tiempo y la cantidad de agua infiltrada, observando la variabilidad en la tasa de infiltración en función de las condiciones del suelo (*Figura 6c*).
4. **Cálculo de tasa de infiltración:** La tasa de infiltración se calcula utilizando la ecuación estándar, para el método del doble cilindro, en función del volumen de agua infiltrada y el tiempo requerido para ello.



Figura 6: (A) Nivelación de cilindros / (B) Relleno de agua cuando queda menos del 10% del total de agua / (C) Recopilación de datos medidos en el tiempo

Este procedimiento permitirá obtener una estimación precisa de la capacidad de infiltración del suelo y, en consecuencia, de su capacidad para manejar la escorrentía en situaciones de alta precipitación, en la *ilustración 2*, observamos una representación de la ubicación de los cilindros en la superficie del suelo.

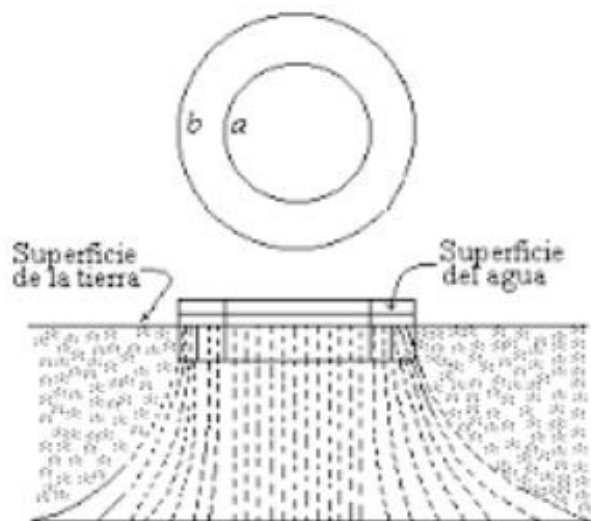


Ilustración 2: Vista en planta y perfil del método de infiltración con 2 cilindros, ilustración de abajo muestra cómo se comportaría el agua infiltrada.

Para evaluar la escorrentía del agua en el área de estudio y cómo esta se desplaza según las pendientes del terreno, se utiliza un **nivel óptico** y un **GPS de alta gama**. El uso combinado de estas tecnologías permite, obtener mediciones precisas tanto de las variaciones de pendiente, como de la ubicación exacta de los puntos de referencia, para un análisis más detallado de la escorrentía.

A continuación, se detalla el procedimiento utilizado:

1. **Trazado de puntos de referencia:** Se establecen puntos específicos, en las zonas más relevantes del área de estudio. El **GPS de alta gama (figura 7)** se utiliza para registrar las coordenadas exactas de cada uno de estos puntos, asegurando que las mediciones se realicen en ubicaciones precisas.
2. **Medición de altura:** Utilizando el nivel óptico (*figura 7*), se miden las diferencias de altura entre los puntos de referencia establecidos, registrando las pendientes de las zonas de interés. El GPS permite

obtenerlas coordenadas exactas, de cada punto de medición, mejorando la precisión de la evaluación de las pendientes.

3. **Cálculo de escorrentía:** A partir de las pendientes obtenidas y las coordenadas proporcionadas por el GPS, se estima la dirección y el flujo de la escorrentía, tomando en cuenta la topografía del terreno y Este análisis complementa el estudio de infiltración, permitiendo identificar con mayor precisión, las zonas donde el agua se acumula rápidamente, y donde podría, ayudando a predecir y gestionar posibles problemas de escorrentía.



Figura7: Uso de metodologías topográficas para determinar ubicación o diferencias de altitud. Figura derecha muestra método de utilización GPS RTK Emlid rs+, para determinar coordenadas geográficas, figura izquierda, muestra utilización de nivel óptico topográfico para determinar diferencias de alturas.

5 RESULTADOS

5.1 Estimación de volumen de agua lluvia de contacto desbordada

Para poder estimar este volumen, se debe calcular primero, la cantidad de agua acumulada en la losa, durante el periodo evaluado.

Cálculo de cantidad de agua acumulada en la losa, durante el periodo en estudio

Durante la visita a terreno, se observó que el patio de acopio de la empresa Badinotti Net Services Aysén, presenta una pendiente con dirección suroeste-noreste (SW-NE), orientada hacia la Planta de tratamiento, considerando parte del galpón de mantención. Tal como se indica en el capítulo II “Antecedentes” (**Tabla 1**), se recopilaron datos, para determinar la cantidad de agua acumulada en el patio de acopio y en los techos durante los días 7 y 8 de junio de 2023. Para este cálculo, se consideran dos factores clave: La precipitación acumulada durante el período de estudio y las dimensiones del área de influencia.

$$V = P \times A / 1000$$

$$V = 72,7 \times 3.422$$

$$V = 252.414 \text{ lts./1000}$$

$$V = 252,41 \text{ m}^3$$

Aplicando esta misma fórmula para determinar acumulación de agua en función de la precipitación y las dimensiones de cada superficie, se calculó también la cantidad de agua acumulada, de los techos, considerando ambos en conjunto y por separado. Los resultados de estos cálculos se presentan en la **Tabla 5**.

<i>Calculo Agua Acumulada por lluvia</i>			
<i>Lugar</i>	<i>Horarios</i>	<i>Agua Acumulada (lts)</i>	<i>Mts3</i>
<i>Patio de Acopio</i>	<i>Día 7-6 completo</i>	<i>121172,8</i>	<i>121,1728</i>
<i>Techos</i>	<i>Día 7-6 completo</i>	<i>22824,6</i>	<i>22,8246</i>
<i>Patio de Acopio + Techos</i>	<i>Día 7-6 completo</i>	<i>143997,4</i>	<i>143,9974</i>
<i>Patio de Acopio</i>	<i>Día 8-6 madrugada/Jornada am</i>	<i>131241,6</i>	<i>131,2416</i>
<i>Techos</i>	<i>Día 8-6 madrugada/Jornada am</i>	<i>24721,2</i>	<i>24,7212</i>
<i>Patio de Acopio + Techos</i>	<i>Día 8-6 madrugada/Jornada am</i>	<i>155962,8</i>	<i>155,9628</i>
<i>Total PA</i>			<i>252,4144</i>
<i>Total techos</i>			<i>47,5458</i>
<i>Total PA+Techos</i>			<i>299,9602</i>

Tabla 3: Acumulación de agua dividido por día y zona de influencia. Creación propia.

Los cálculos indican que la mayor acumulación de agua se produce en el patio de acopio, alcanzando un volumen de **252,4 m³** en un período de 18 horas. En contraste, los techos acumularon **47,9 m³** de agua durante el mismo lapso de tiempo.

Para poder determinar la cantidad de agua desbordada, desde el patio de acopio, se deben considerar también otras variables:

a) Aporte de agua ril, generado por el proceso de lavado de redes, durante los días evaluados

Según la información entregada, cada hidrolavadora consume **1.260 litros de agua, por hora de operación**. considerando que estaban funcionando 5 hidrolavadoras, la cantidad de agua utilizada, aumenta a 6300 litros hora, Con base en esta información, la **Tabla 6** presenta el consumo total de agua utilizado en el proceso de lavado por día.

Calculo Agua usada Hidrolavadora					
fecha	Horas de trabajo	Personal	Consumo hidro/hora	Total consumido mts ³	
07-06-2023	6	5	1260	37,8	
08-06-3034	2	5	1260	12,6	

Tabla 4: consumo de agua por el proceso de hidrolavado durante los días 07-08 de junio del 2023, creación propia.

b) Capacidad de respaldo del estanque australiano

Durante las lluvias del día 07 de junio y 08 de junio del 2023, se contaba con el 30% de capacidad del estanque australiano, la cual fue utilizada completamente para el evento. El primer día, movilizand un total **27,4mts³** a esta sección, y el segundo día, un total de **12,6mts³**, con el uso del 100% de su capacidad para este momento.

c) Cantidad de agua tratada por la planta de riles

De acuerdo a los antecedentes entregados por la empresa, la planta de riles, trató i un total de **140mts³** de agua. El día 7 se procesaron **64 mts³**, mientras que el día 8 se procesaron **76 mts³** de agua ril.

d) Capacidad de retención en la losa

Para el cálculo del volumen de agua contenido por la losa del patio de acopio (PA), se siguió la siguiente metodología: Medición de las altitudes de la losa, con la ayuda de un nivel topográfico óptico (**Figura 4**). Durante la visita de campo, se efectuó un levantamiento completo de la zona, utilizando niveles de mano,

para medir las pendientes, a continuación, se registran las altitudes de puntos específicos descritos en la **Figura 4 y 8**, permitiendo determinar, los valores del volumen retenido, que se presentan en la **Tabla 7**.

Punto	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12
Nivel vs altitud	10	x	2,0	2	1,5	3,0	4,5	10	3	3	5	4
Pendiente obtenida	11,111111	x	2,222222222	2,22222222	1,66666667	3,33333333	5	11,111111	3,33333333	2,77777778	5,55555556	4,44444444
Medida con nivel optico	129,3	130	166,5	172,5	121,9	109,5	64,5	136	139,2	135	x	x
Altura pretil (en caso de tener)	7	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Altura respecto al punto de rebalse	0	-2,3	44,2	50,2	-0,4	-12,8	-57,8	13,7	16,9	12,7		
Observaciones	Pendiente nor-oeste con pretil	Pretil	Pendiente sur-oeste	Punto más bajo	Pendiente nor-este	Pendiente nor-este	Pendiente norte (Punto mayor altitud)	Pendiente sur-este	Pendiente Nor-este	Pendiente Norte	Pendiente nor-oeste	Pendiente Nor-este

Tabla 5: Valores de pendiente y alturas obtenido con la ayuda de niveles ópticos y manuales, puntos guías graficados en la Figura 4.

Para obtener los valores de nivel y altitud, se utilizó como herramienta, un nivel carpintero, con la cual se midió la distancia entre la superficie del suelo y la línea imaginaria proyectada por el nivel. Con esta técnica, se determinaron las pendientes, mediante la aplicación de la regla de tres, además de identificar la dirección de caída, como se muestra gráficamente en la **Figura 4**, con la simbología amarilla, donde el extremo más pequeño, indica la caída de la pendiente. En cuanto a la medición con el nivel óptico, se proyectó en función del punto amarillo, visible en la misma figura, recogiendo un total de 12 puntos guías (Círculos celestes y naranja) a lo largo de toda la superficie del patio de acopio (PA).

Una vez obtenidos los datos, en hoja de cálculo Excel, se fijó el punto P1 como referencia, para determinar la zona máxima de acumulación de agua. Este punto se define como el límite máximo, antes de superación de losa, por la acumulación de agua. A partir de este punto, se estableció que los valores más cercanos a 0 en la fila de altura con respecto al punto de rebalse, corresponden a las áreas más cercanas a la máxima acumulación de agua. Los valores positivos indican zonas más bajas, mientras que los valores negativos corresponden a las zonas más altas, que permiten el escurrimiento del agua. Según estos límites, se definió como área de contención del ril, desde la losa contigua a la zona de hidrolavado, hasta el límite con el galpón

de la planta de tratamiento, extendiéndose hasta la altura del galpón de mantención, tal como se observa en el recuadro amarillo de la **Figura 8**. Esta área resultó en una superficie de **672 m²**.



Figura 8: Zona de acumulación de agua en el patio de acopio de mallas.

Siguiendo el método topográfico, para el cálculo de volumen, según superficies de referencia, se decidió utilizar los puntos al interior de la zona de acumulación de agua (cuadros naranjas en **tabla 7**. Es importante también considerar los puntos ubicados fuera de los límites establecidos, pero que aún se encuentran cercanos al área de escurrimiento, ya que podrían influir en la distribución del agua acumulada.

Obteniendo como resultado;

$$V = \frac{-2,3 + 44,2 + 50,2 - 0,4 + 13,7 + 16,9 + 12,7}{7} \times 672$$

$$V \text{ de acumulación de agua en losa} = 129,6 \text{ mts}^3$$

Finalmente se procede a determinar el agua derramada, de acuerdo al balance de masa, en el periodo correspondiente al 7 de junio del 2023 (00:00 y las 23:59) y el 8 de junio del 2023, (00:00 y 11:59)

$$V_d = V_p + V_h - V_{pt} - V_c =$$

$$-6,79\text{m}^3 = 252,41\text{m}^3 + 50,4\text{m}^3 - 180\text{m}^3 - 129,6\text{m}^3$$

Donde:

V_d = Volumen de agua derramada

V_p = Volumen de agua lluvia precipitada sobre losa acopio redes sucias

V_h = Volumen ril generado por el proceso de lavado (Hidrolavadoras).

V_{pt} = Volumen agua ingresada a planta tratamiento y estanque australiano

V_c = Volumen de agua lluvia que permite acumular en la losa

Esta ecuación, permite determinar la cantidad de agua ril derramada fuera de la losa. Como el resultado da un valor negativo, indica la no ocurrencia de desborde y valor “6,79” indica que al final del periodo evaluado, (12:00 del día del 8 de junio), la losa aún contaba con una capacidad de retención de 6,79 m³

Resultando en los datos mostrados en la **tabla 8**;

<i>Total Escurrido según antecedentes</i>		
<i>Lugar</i>	<i>Día</i>	<i>Volumen escurrido (mts3)</i>
Patio de Acopio (PA)	Día 7-6 completo	-62,0272
PA	Día 8-6 madrugada/Jornada am	-6,7856

Tabla 6: Porcentaje de metros cúbicos escurridos desde patio de acopio, separado en dos periodos.

5.2 Muestreo y análisis de calidad de suelos y subsuelo.

CA1 (figura 9), realizada en el punto (-72.77783617/-45.44629587), con una profundidad de 225cm, se detectó un nivel freático ubicado a los 163 cm. En esta calicata, se determinaron 3 niveles de suelo (Sub) y 3 capas geológicas (GEO), con un total de 6 horizontes. Muestras colectadas; **Calicata1 Suelo1 (CA1SUB1) (0-39cm)**, extraída a 20cm de profundidad, corresponde a un estrato (horizonte o nivel de suelo) de 39 cm de espesor, de tonalidad marrón, y compuesto por granos de material fino y arenoso. En la capa, destaca, gran cantidad de restos orgánicos; **CA1GEO1 (39-59cm)**, extraída a los 50 cm de profundidad, con un espesor de

20cm, se colectó una muestra compuesta de granos mayores, de tonos claros y ligeros al tacto, con una estructura de gradación normal “*granos más gruesos hacia la base (más profundo)*”, en ella, destacan restos de líticos (trozos de rocas) con alta cantidad de vesículas; **CA1SUB2 (59-113cm)**, colectada a 80cm de profundidad, corresponde a una capa fina arcillosa, moldeable al tacto, que presenta un espesor de 54cm. Se destaca la presencia de restos orgánicos, y una tonalidad marrón oscura de la capa; **CA1GEO2 (113-128cm)**, extraída a los 120cm de profundidad, corresponde a una capa ligera al tacto, de un espesor de 14cm. Presenta tonalidades oscuras, de grises a negros; **CA1SUB3 (128-154cm)**, colectada a los 150cm de profundidad, se determinó una capa fina, tendiendo a arcillosa, de 26cm de espesor. Las tonalidades de la capa eran grises verdosos, y en ella, destaca la presencia de cristales (puntos brillosos) y un fuerte olor a azufre. Hacia su base se determina un contacto erosivo; **CA1GEO3 (154-225cm)**, extraída a los 200cm de profundidad, y con un espesor no determinado (+ de 70cm), se determinó un estrato con grandes clastos (rocas de origen sedimentario), entre los 4mm a los 150mm de diámetro, y con un aumento de tamaño a su base (gradación normal). En esta capa se determinó el nivel freático, y a diferencia del resto de las muestras, la colecta se hizo en sacos de 20kg.

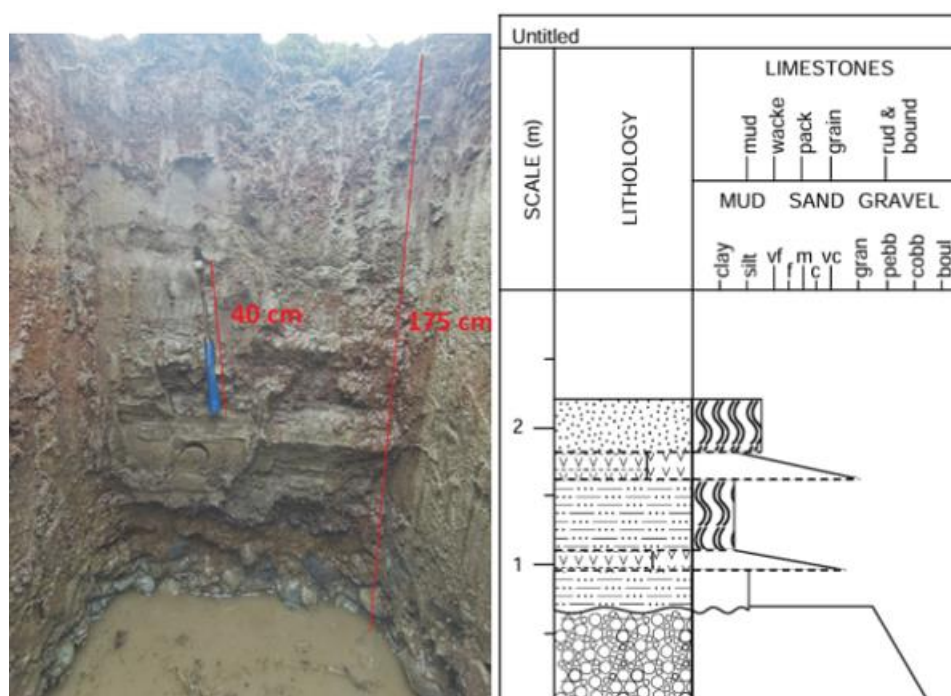


Figura 9: fotografía del perfil estratigráfico de calicata 1, hacia la derecha, ilustración de representación de calicata.

CA2 (figura 10), ubicada en el punto (-72.77806706/-45.44629522), con una profundidad alcanzada de 240cm, y un nivel freático encontrado a los 159cm, se determinaron 3 niveles de suelo y 3 capas geológicas, además de, una pequeña capa de relleno superficial. Al ser tan cercana a **CA1**, no se recolectarán muestras de todos los horizontes, solo algunos para ser rectificados en terreno. Los horizontes determinados corresponden a; **Capa1 (0-16)**, este depósito, de 16cm de espesor,



corresponde a una mezcla de arena y gravas. Entre los clastos presentes, se encontraron líticos de 50-60mm de diámetro, moderadamente redondeados y de mala selección (Una alta diferencia entre los tamaños de las partículas); **Capa 2 (16-51)**, corresponde a un nivel de suelo, de un espesor de 35cm, y características arenosas. Esta capa es comparable con *CA1SUB1*; **Capa 3 (51-71cm)**, pequeño estrato de 20 cm de espesor, corresponde a un depósito con restos líticos ligeros a la mano, de tonalidades claras, relacionada a la muestra (*CA1GEO1*); **CA2SUB1 (71-129)**, colectada a 90 cm de profundidad, es un nivel de suelo de 58cm de espesor, de tonalidad marrón, y moldeable a la mano. Se relaciona a la muestra *CA1SUB2*; **CA2GEO1 (129-147cm)**, extraída a los 140cm de profundidad, es una capa ligera al tacto, de tonos grisáceos a negros, relacionada a la muestra *CA1GEO2*; **CA2SUB2 (147-171cm)**, extraída a los 160cm de profundidad, corresponde a un depósito plástico al tacto, con clastos arcillosos-limosos, de coloración clara gris verdosa, y un fuerte olor a azufre, en esta capa determinamos el nivel freático; **capa 4 (171cm)**, debajo del nivel freático, salieron grandes clastos de rocas, con un diámetro mayor a los 100mm, similar a los vistos en *CA1GEO3*.

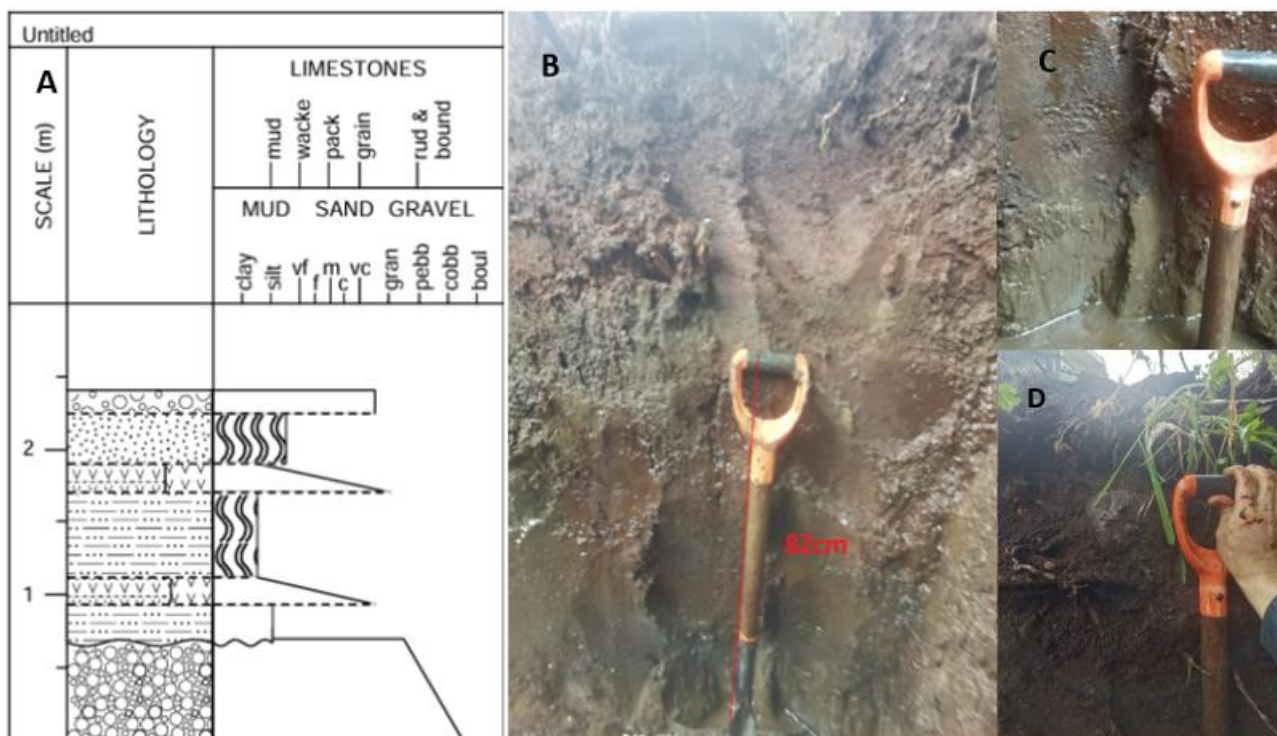


Figura 10: Perfiles de calicata 2, (A), representación gráfica de los horizontes de la calicata; (B) perfil de profundidad de calicata; (C) nivel freático en calicata, dispuesto en CA2SUB2; (D) Deposito superficial, vistas de arenas con clastos mayores, posible relleno antropogénico.

CA3 (figura 11), Ubicada en el punto (-72.77801566/-45.44611905), con una profundidad de 80cm, se realizó para tener una muestra contrastada, con las otras calicatas. En ella se identificaron 3 horizontes distintos; **Capa1 (0-35cm)**, nivel de suelo superficial, de tonalidad marrón, relacionado con *CASUB1*; **CA3GEO1 (35-55cm)**, tomada a 50cm de profundidad, se toma muestra de capa con gradación, de tonalidad clara, relacionada con la muestra *CA1GEO1*; **CA3SUB1 (55-80cm)**, colectada a 80cm de



profundidad, se tomó una muestra plástica al tacto, bien húmeda, de tonos oscuros y con presencia de raíces en proceso de transformación a turba (relacionada a muestras *CA1SUB2*, *CA2SUB1*).

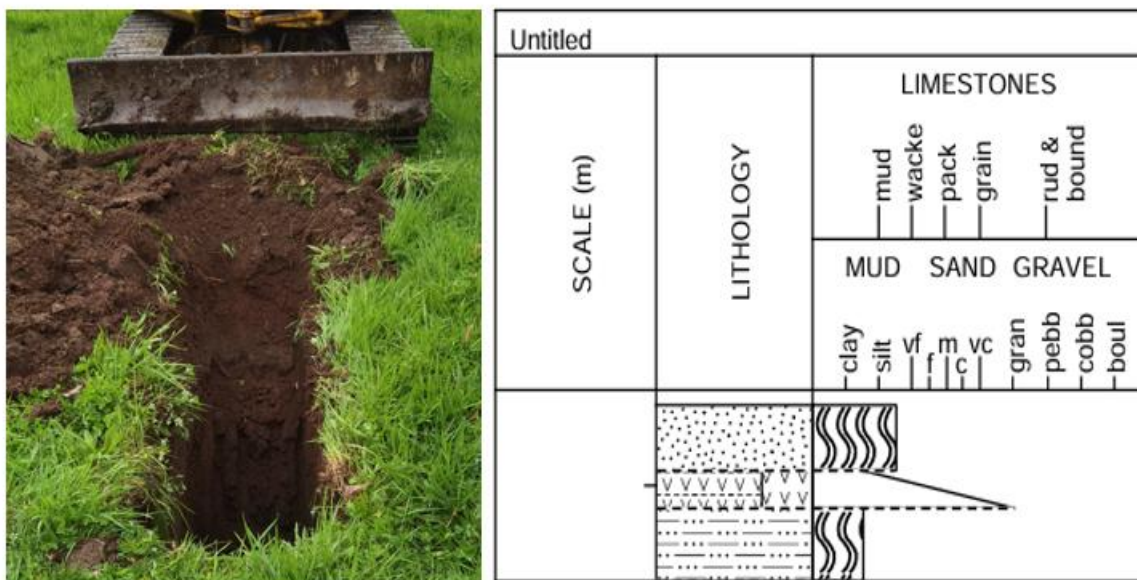


Figura 11: vista perfil de Calicata 3, hacia derecha representación realizada con el programa de creación de curvas granulométricas *Sedlog*.

En base a la información recopilada en el terreno, se realizó una descripción detallada de las muestras en gabinete, revelando que los perfiles de suelos están constituidos por 6 horizontes bien definidos, como se detalla en la Figura 9 a la izquierda. Las composiciones analizadas macroscópicamente, desde el techo hasta la base, son las siguientes:

1. **Suelo superficial (SS):** Presenta una alta cantidad de materia orgánica, restos de troncos y ramas, de hasta 2 metros de largo, y de las cuales algunas están iniciando el proceso de carbonización. El color del suelo es **marrón (terroso) (figura 12)**, con leves patinas negras, debido a la descomposición de la madera. En términos de textura, se clasifica como un **suelo areno-francoso (metodología descrita en SAG (2011))**, con una muy baja cantidad de cristales minerales (no se identificaron feldespatos, ni minerales máficos), encontrándose, principalmente, arcillas indeterminadas y restos líticos pequeños, en cúmulos puntuales (acumulación de minerales), encontramos bajas concentraciones de cuarzo. Según sus características, esta capa corresponde a un **Horizonte O**, con alta cantidad de materia orgánica, y una buena infiltración. Este depósito se relaciona, **CA1SUB1, CA2CAPA2, CA3CAPA1**.



Figura 12: Suelo superficial, moderadamente seco.

2. **Depósito de caída piroclástico (DCP):** Corresponde a una capa de origen volcánico, relacionada a una erupción, específicamente, un depósito de caída. Según el análisis granulométrico (Figura 13), el **71% de los granos** tiene un tamaño menor a un milímetro y está compuesto principalmente de ceniza de color claro (más sílicea). Entre los granos mayores, destacan la presencia de **pumitas**, con una gran cantidad de **vesículas** debido al escape de gases (Figura 13), los cuales son depositados hacia la base (**gradación normal**) Este depósito, es clasificado como un **Horizonte A**, aportando minerales y elementos químicos al suelo, es relacionado con las capas **CA1GEO1; CA2CAPA3; CA3GEO1**.



Figura 13: División de granos de depósito de caída, según el tamaño de sus granos. (A) Lapilli >4.5mm/ (B) Lapilli fino 4.5>x>1mm/(C) Ceniza 1>x>0.6mm/ (D) Ceniza <0.6mm.



Figura 14: Lapilli de mayor tamaño, se aprecia claramente vesículas y texturas típicas de rocas volcánicas piroclásticas.

3. **Paleo Suelo (PS1):** *Corresponde al nivel de suelo de mayor espesor identificado en la calicata. Presenta un color **pardo negruzco, húmedo (Figura 15), y tonos grisáceos, seco.** Tiene una alta cantidad de materia orgánica, con restos de antiguas raíces que se están recrystalizando a **turba**. Cuando está saturado de agua, tiene una textura entre **suave con granos** al tacto, y la tonalidad negruzca observada en gabinete y terreno. En algunas zonas puntuales, se observan cúmulos de granos, pero no fue posible distinguir minerales, texturalmente, se clasifica como un **suelo arcilloso limoso**, además por su alta carga orgánica y restos de turba, se clasifica en el **Horizonte O**. Un análisis más detallado, podría indicar si corresponde a un antiguo Horizonte O lixiviándose, y perdiendo su carga mineral, ósea en transformación a un Horizonte tipo E. Capas asociadas a este estrato (**CA1SUB2; CA2SUB1; CA3SUB2**).*



Figura 15: Paleosuelo 1, altos niveles de materia orgánica, ramas recrystalizando a turba, inicio proceso carbonificación.

4. **Depósito piroclástico (DP):** Se identificó un depósito con clastos volcanoclasticos, de tonalidad **gris a gris oscuro**, con una alta cantidad de componentes piroclásticos (Figura 16). El **69% de los clastos** presentan un tamaño menor a **1 mm**, una estructura de matriz es soportada (elementos pequeños



mantienen la estabilidad de la roca), y de composición principalmente **escorácea** (roca originada por erupciones volcánicas, y compuesta de elementos como Fe-Mg y otros metales pesados). Entre los clastos mayores, destacan la presencia de **líticos ígneos** de la cordillera y volcánicos. Se asume que esta capa podría ser un antiguo **depósito de Caída de piroclastos o un flujo de la misma erupción**. En cuanto a la composición de los clastos, se observa una predominancia de líticos escoráceos, con presencia de **máficos**. Este depósito, clasificado como un Horizonte A. Se relaciona con las capas **CA1GEO2 y CA2GEO1**.



Figura 16: Depósitos volcanoclásticos tamizados; (A) Granos $1 < x < 4.5\text{mm}$ / (B) Granos $x > 4.5\text{mm}$ / (C) Granos $< 1\text{mm}$

5. Paleosuelo (PS2): Este suelo, de color grisáceo verdoso a amarillento con un **fuerte olor a azufre** (Figura 17a), se encuentra saturado de agua y presenta una textura plástica al tacto, clasificado texturalmente como un suelo **franco-arcilloso**. A nivel mineralógico, se observó una alta cantidad de granos, destacando la presencia de **cuarzo y feldespato K**, además de, una significativa cantidad de minerales **máficos**, también se identificó un mineral plateado (figura 17b), con exfoliación laminar perfecta, baja dureza (rompible con la uña) y raya platinada a verdosa, que, según sus características, podría tratarse de una molibdenita o especularita. El fuerte olor a azufre podría estar asociado a la presencia de sulfuros, lo que hace más probable que los cristales observados sean de **molibdenita**. Este nivel, clasificado como un Horizonte B, por la acumulación de minerales lixiviados, y la presencia de arcillas. A este nivel se asocian las capas **CA1SUB3; CA2SUB2**.

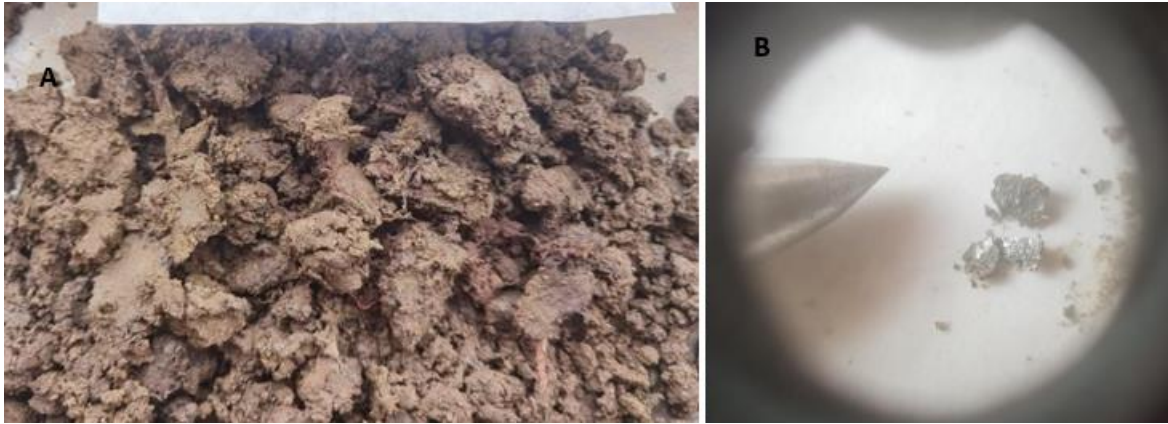


Figura 17: (A) Vista del paleosuelo A, capa donde se encontraba nivel freático en Calicata2; (B) Mineral, posiblemente molibdenita, producido por recristalización y enriquecimiento de elementos por erupciones volcánicas en la zona.

6. Capa Fluvial (CF) (Depositado por un agente fluvial) (Deposito gravoso) (más de 50 cm de espesor): Esta capa corresponde a la base de la columna estratigráfica, y se caracteriza por una tonalidad gris, con grandes clastos de rocas, principalmente de origen ígneo cordillerano (**Figura 18**). Los clastos presentan una imbricación (dirección de caída por arrastre de agua), lo que indica que se trata de un antiguo depósito fluvial. Esta capa también actúa como el acuífero libre, y en ella se determinó la presencia del nivel freático a 1,59 metros de profundidad. Se compone principalmente de cobbles/grava con tamaños que varían entre 64 y 100 mm, redondeados y comuna moderada a buena selección. Este depósito fluvial, entraría a la clasificación de un Horizonte C, ya siendo un material parental.



Figura 18: Vista en planta de depósito fluvial que mantiene nivel freático. Creación propia.

La matriz es principalmente cuarcífera, con algunos restos de feldespato K y líticos, máficos presentes en baja cantidad, entre ellos hornblendas y algunas micas, pero con una alta cantidad de cristales en la matriz (**figura 19**), esto se relaciona a un transporte y erosión continua.



Figura 19: Matriz de capa fluvial, clastos menores a 1 milímetro.

En relación a la química de suelos a las muestras evaluadas (CA1SUB3 /CA1SUB2/ CA3SUB1/ CA2SUB2), los datos nos entregan valores similares en las muestras descritas (**Anexos 8; 9; 10; 11**), en relación a los niveles de Zn, CA1SUB2 (**99mg/kg**); CA2SUB2 (**78mg/kg**); CA3SUB1 (**87mg/kg**), presentan valores similares en las concentraciones de zinc, mientras que en CA1SUB3 (**176mg/kg**) tenemos un aumento en la cantidad, sabemos que el nivel de suelo 3, actúa como una capa de enriquecimiento, cargándose de minerales y elementos. Un caso similar ocurre con los valores de cobre CA1SUB2 (**143mg/kg**); CA2SUB2 (**100mg/kg**); CA3SUB1 (**118mg/kg**); CA1SUB3 (**192mg/kg**), donde en ambos casos, vemos levemente un aumento de los metales en **CA1**. En función al fósforo y nitrógeno; CA1SUB2 (**88mg P/kg**) (**10383 mg N/kg**); CA2SUB2 (**35mg P/kg**) (**4056 mg N/kg**); CA3SUB1 (**57mg P/kg**) (**9475mg N/kg**) CA1SUB3 (**45 mg P/kg**) (**3448 mg N/Kg**), de aquí obtenemos que las muestras asociadas al PaleoSuelo1 (**PS1**), presentan niveles más altos de P y N, que las muestras relacionadas a **PS2**.

5.3 Análisis de aguas subterráneas en la zona de estudio

Los resultados del análisis químico de aguas, provenientes de la napa subterránea, son valores bajos, con respecto a la cantidad de estos elementos en las muestras de suelo, resultando en valores promedios de **0,217 mg Zn/L; 0,299 mg Cu/L; 0,88 mg P/L; 1,1 mg N/L**, donde las mayores concentraciones las presenta el nitrógeno, que contiene 1,1 partes por millón de nitrógeno en la muestra (0,00011%).

5.4 Infiltración y escorrentía de aguas en área de estudio

5.2.1 Infiltración de aguas.

El estudio de infiltración se llevó a cabo con la metodología dispuesta en el estudio de **Benítez; et. Al., (2017)**, que consistió en el método de doble cilindro.

Se realizaron 4 ensayos de infiltración (*EI1; EI2; EI3; EI4*), dispuestos en distintos puntos, con el fin de contrastar los resultados obtenidos entre las diferentes áreas medidas (**Ver Figura 3, capítulo III “Antecedentes”**).

- **Ensayo de infiltración 1 (EI1);**

Este primer ensayo, (cuyos datos se encuentran visibles en la tabla del **Anexo 4**) se realizó en la coordenada geográfica (-72.77783627; -45.44626636), a una distancia de 3-4 metros de CA1, consistió en un muestreo de casi 2 horas continuas, llegando a calcular una infiltración acumulada de 77 centímetros aproximadamente. Durante este ensayo, se tuvo que retirar gran cantidad de ramas, incluso de hasta 1.5 metros de largo, que estaban enterradas en la zona.

En este punto se obtuvo una tasa de infiltración promediada en **606 mm/hr** durante todo el rango de tiempo, y valores que varían desde **1920 mm/hr a los 333 mm/hr (Gráfico 2)**, este resultado nos indica una tasa de infiltración bastante alta, considerando que se trata del suelo superficial de características (*areno francoso*).

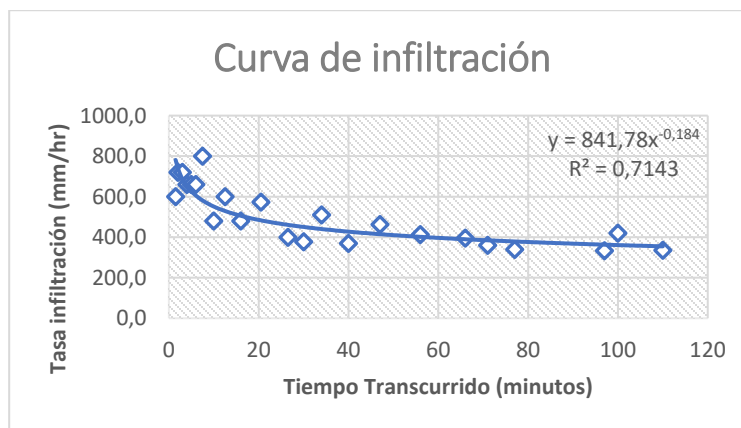


Gráfico 2: Curva de infiltración en punto EI1, indica altas tasas de infiltración en el tiempo

En el **gráfico 2** apreciamos que la curva de infiltración, comenzó a estabilizarse al cabo de 30 min, obteniendo un ponderado de **340 mm/hr**, siendo esta la tasa de infiltración considerada para esta sección de suelo. Los valores de R^2 (Coeficiente de determinación) nos indican que el 71% de los datos se acerca a la estabilidad de la línea de ponderación, “Este coeficiente nos indica que porcentaje de nuestros datos se relacionan a la curva estimada”.



- **Ensayo de infiltración 2 (EI2)**

El segundo ensayo (Cuyos datos se encuentran visibles en el **Anexo 5**), fue realizado en cercanías de la CA2, a 4 metros de distancia, sus coordenadas son (-72.77808147; -45.44626999). El muestreo duró 1 hora 1/4, con una infiltración de 56 cm de agua acumulada.

El promedio de las tasas de infiltración fue de **570mm/hr**, con un rango entre los **2400 y los 340 mm/hr** (**Gráfico 3**), este resultado, similar a los valores encontrados en *EI1*, también nos indica una muy alta infiltración de suelo.

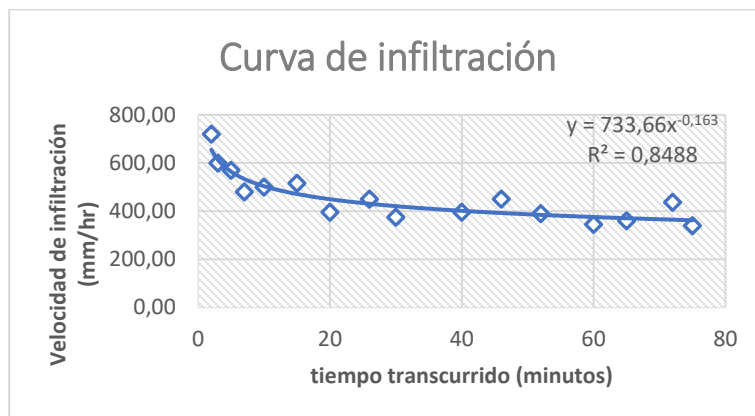


Gráfico 3: Curva de infiltración realizado en la zona del EI2, indica altas tasas de infiltración para el suelo

La ponderación, alcanzada después de un lapso de 30 minutos, tendió a una tasa de infiltración de **360 mm/hr**. En este gráfico se observa que el coeficiente de determinación llegó 84%.

- **Ensayo de infiltración 3 (EI3);**

El gráfico del tercer ensayo (Cuyos datos se encuentran visibles en el **Anexo 6**) observamos tasas de infiltración mucho más bajas, que en los ensayos anteriores la ubicación, cercana a CA3, tiene como referencia las coordenadas geográficas (-72.77795292; - 45.44611323), el ensayo duro 54 minutos, y se obtuvo una infiltración de **2.9 cm** de agua. A diferencia de los otros ensayos, este se realizó en una zona con mayor carga de vegetación, y un pasto más frondoso (el cual fue retirado para el estudio).

Las tasas de infiltración, variaron entre los **720 y los 7.5 mm/hr** (**Gráfico 4**), con un promedio de **110 mm/hr**, a diferencia de los estudios anteriores, este nos muestra una infiltración bastante baja en el suelo, típica de suelos más franco limosos.

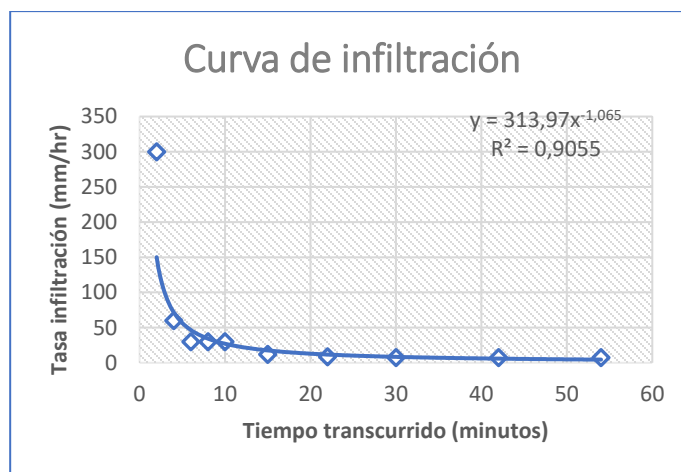


Gráfico 4: Curva de infiltración relacionada al ensayo EI3, nos entrega valores muy bajo para los suelos arenosos

Los valores se estabilizaron a los 15 minutos, llegando a un ponderado de **7.5mm/hr** de tasas de infiltración, valor mucho más bajo a los ya vistos, y más bajo a los referidos a suelos areno francosos. Los datos tuvieron una muy buena ponderación en función a la línea de tendencia, obteniendo un coeficiente de determinación del 91%.

- **Ensayo de infiltración 4 (EI4);**

Se realizó un último ensayo entre las zonas de **EI1 y EI3**, para tener un contraste mayor de los datos, esto debido a la diferencia entre los datos tomados, las coordenadas de la ubicación corresponden (72.77786277, -45.44617072). Este ensayo duró 1 hora, y obtuvimos una infiltración acumulada 9,8 cm en este rango de tiempo.

Las tasas de infiltración variaron entre los **1800 y los 66 mm/hr (gráfico 5)**, y presentamos un promedio de **230 mm/hr**, estos valores se contrastan de mejor manera con suelos *areno francosos*, el cual corresponde a la clasificación textural del suelo superficial en la zona.

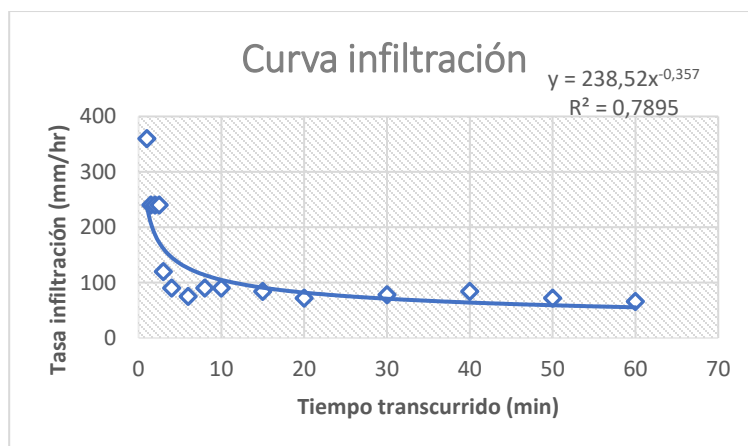


Gráfico 5: Curva de infiltración obtenida del ensayo EI4, valores normales para el tipo de suelo presente

A partir del gráfico, obtenemos una estabilidad de los valores al cabo de los 15 minutos, tendiendo a ponderar a una tasa de infiltración de **60mm/hr**, con un 78% de rectificación, estos valores son concordantes al tipo de suelo presente.

5.2.2 Escorrentías de aguas;

El estudio de la escorrentía superficial se llevó a cabo mediante métodos topográficos, utilizando GPS y niveles ópticos para determinar los patrones de flujo del agua en la zona. Los resultados obtenidos indican que la escorrentía se origina en la zona de infiltración de aguas, y fluye hacia el punto P1 y sus alrededores. P1, se encuentra 2.4 cm por debajo de la zona de llegada del agua (P0), lo que favorece su acumulación en este punto antes de continuar su curso.

Desde P1, el flujo principal se dirige hacia **P5**, con un desnivel de **17 cm**, siendo esta la zona principal de los aportes de escorrentías. En relación con **P3**, P1 presenta una diferencia de altitud de **-3 cm**, mientras que con **P4**, registra una diferencia de **-1cm**, indicando dos zonas más altas que no permitirían el escurrimiento. Con respecto a **P8**, zona ubicación calicata 3, tenemos una diferencia de **7 cm**, mientras con **P2**, una diferencia de 4cm, permitiendo el escurrimiento secundario hacia estos sectores. **P7 y P6**, dieron valores muy similares a P1, con diferencias **milimétricas**, esto indica que solo al ser sobresaturada la zona, tendríamos escurrimiento a estos puntos. **(Figura 20)**

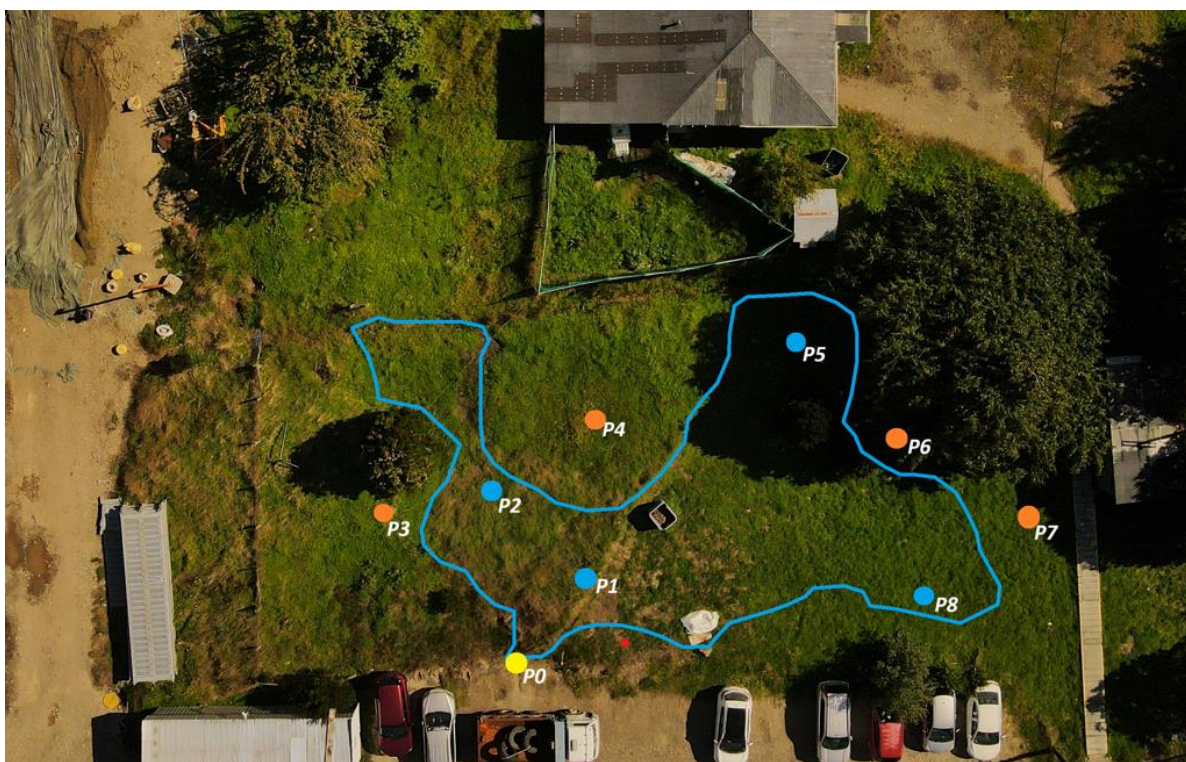


Figura 20: Zona de escurrimiento de aguas provenientes desde el sector de la calle interior, aguas no superarían elevación encontrada a la altura del cerco de la casa, hacia el río.

6 ANÁLISIS Y CONCLUSIONES

En este estudio, se contrastaron parámetros geológicos, químicos, físicos y climáticos, para obtener una visión general del comportamiento de la zona, en función al evento de las lluvias generadas durante los días 07 y 08 de junio del 2023, en el recinto de la empresa **Badinotti Net Services Aysén**.

6.1 Análisis de la relación entre la capacidad de la losa de acopio y la infiltración de agua en la zona de estudio.

Si analizamos la información obtenida del capítulo anterior, se desprende que entre el 7 y 8 de junio circularon, por el patio de acopio, un total de 303 m^3 entre agua lluvia ($252,4 \text{ m}^3$ agua lluvia de contacto y $50,4 \text{ m}^3$ de ril resultante del hidrolavado) de esta cantidad, la planta pudo procesar un total de 140 m^3 y el estanque australiano (considerando que tenía una capacidad disponible de un 30%), pudo contener 40 m^3 . Aplicando balance de masa, se pudo determinar, que, sobre la losa de acopio, se mantuvo un excedente de agua ril de $124,8 \text{ m}^3$.

Los resultados obtenidos de los cálculos realizados en el capítulo anterior, asociado a la capacidad de la losa, arroja un total de $129,6 \text{ m}^3$ de capacidad de retención, por lo tanto hasta las 12:00 del día 8 de junio, dicha losa aún tenía una capacidad de retención de $6,7 \text{ m}^3$ para llegar al límite de desborde.

Paralelamente en el área contigua a la planta de tratamiento, (zona estabilizada) se identificó la caída de aguas lluvias de los techos de la planta de RILES, bodega y reparación, que en conjunto abarcan un área de 654 m^2 , aplicando el mismo método de cálculo, se determinó que esta variable aportó un total de $47,5 \text{ m}^3$ de agua lluvia proveniente de los techos.

Conclusiones asociadas a la capacidad de retención de la losa de acopio e infiltración

Entre el periodo evaluado (7 y 8 de junio del 2023), fluyeron por la losa de acopio 303 m^3 de agua de contacto y de proceso productivo.

En la planta de tratamiento y estanques de respaldo, se procesaron 180 m^3 de los 303 m^3 generados, quedando un excedente sobre la losa de acopio de $124,8 \text{ m}^3$.

Se concluye que a las 12:00 del día 8 de junio de 2023, se contaba con un volumen disponible de $6,7 \text{ m}^3$, para retención de agua dentro de la losa.

Conclusiones asociadas a la infiltración de agua en el área de estudio

Considerando las metodologías topográficas, recopilación de datos de pluviosidad y capacidad de retención de agua, permite concluir, que no hubo derrame durante el periodo evaluado, desde el patio de acopio de la empresa Badinotti Net Services Aysén, ya que la losa, aún tenía una capacidad de retención igual a $6,7 \text{ m}^3$.

El agua infiltrada en la zona de estudio, durante el periodo evaluado, corresponde a las aguas lluvias provenientes de los techos, del área de reparación, bodega y galpón planta de tratamiento, con un aporte de 47,5m³, sin considerar, el agua lluvia, que caída directamente en la zona y la que escurría, de sectores aledaños, tales como el camino interior.

6.2 Análisis y conclusión de los estudios de suelo

En esta área, a través del análisis geológico en los puntos de calicatas **CA1, CA2 y CA3**, se identificaron las mismas capas en cada una de ellas, indicando que toda la zona debiera tener un comportamiento similar en capacidad de infiltración y escurrimiento.

En función a la descripción de muestras en condiciones húmedas y secas, se identificaron **seis horizontes de suelo naturales** (visibles en **CA1 y CA2**). En la superficie, se encontraron las capas **Suelo Superficial y Paleosuelo 1**, relacionadas a las muestras (**CA1SUB2/CA3SUB1**), las cuales se caracterizaron por presentar una alta carga orgánica, con abundantes **raíces, ramas y troncos en descomposición**, lo que sugiere un proceso de formación de **turba**. Estos suelos, clasificados como **histosoles**, presentan potencial para generar reservorios de carbono, especialmente **PS1**, que se encuentra enterrada bajo un depósito de cenizas volcánicas.

En **PS1**, las concentraciones fósforo y nitrógeno obtenidas **[(88mg P/kg) (10383 mg N/kg)] [(57mg P/kg) (9475mg N/kg)]**, a diferencia de la capa **PS2**, que dio valores máximos de estos parámetros en **4000 mg N/kg y 45 mg P/kg**, los valores elevados en estos parámetros, se relacionan con alta carga orgánica presente en los suelos, especialmente en **PS1 y SS**, donde se apreció turba y restos de troncos en proceso de descomposición. Consistentes con esta teoría, estudios como los de **Loisel j., et. Al. (2021)**, indican que las concentraciones de nitrógenos en suelos, pueden ser tan altas como **13–15 g/kg** o más, especialmente en suelos ricos en materia orgánica, que han recibido grandes aportes de nitrógeno de fuentes atmosféricas o de la descomposición de vegetación, ambos elementos pueden aumentar su concentración según el volcanismo de la zona, donde las cenizas volcánicas pueden proveer fósforo y nitrógeno al suelo.

En la capa **PS2** se detectó una alta mineralización, la cual es potenciada, por la presencia de capas volcánicas hacia la superficie, que aportan elementos como, **Al, P, K, Mg, Fe y Zn**, además de contenidos de **Cu, As, Mo, Pb y S**. Al estar cercana al nivel freático, esta capa muestra enriquecimiento mineral, facilitando la formación de sulfuros y otros compuestos, entre los minerales hallados destacamos la presencia, **galena (PbS) o molibdenita (MoS)**, en donde ambos pueden tener trazas de Cu y Zn. En relación a los parámetros de **Cu y Zn**, en las muestras de suelo, en **CA1**, detectamos un aumento en las concentraciones de estos metales, en comparación con **CA2 y CA3**. Las muestras colectadas en **CA1PS1** arrojaron valores de **(143 mg Zn/kg) (99 mg Cu/kg)** mientras que **CA1PS2**, entregó valores de **(192 mg Cu/kg) (176 mg Zn/kg)**, valores más elevados en

PS2, se relacionan a la fuerte mineralización de la capa y la presencia de sulfuros en este suelo. Las muestras colectadas en **CA2**, entregaron valores de **78 mg Zn/kg y 100mg Cu/kg** para el Paleo Suelo 2(**PS2**), mientras que las muestras de **CA3**, arrojaron valores de **87 mg Zn/kg y 118 mg Cu/kg** en **PS1**. Según estudios realizados en el Fiordo de Puerto Aysén, se encontraron concentraciones de Zn de hasta **(90 mg Zn/kg)**, en la boca del fiordo y **(176 mg Zn/Kg)** hacia el sector de puerto Chacabuco, indicando que, en condiciones naturales, podemos encontrar concentraciones de **80 - 100 mg Zn/kg en la zona del Fiordo Aysén**, pero el impacto antropogénico aumenta las concentraciones hacia el puerto (**Ahumada et. Al. 2004**), por otro lado, estudios de **Sadzawka et al. (2006)**, reportó concentraciones de **Cu**, en suelos volcánicos, de **60 a 100 mg/kg** en área de Alerce Andino y el Volcán Osorno. La presencia de Capas volcanoclásticas (**DPC y DP**) en la columna estratigráfica realizada, la mineralización, la fuerte presencia de azufre en **PS2**, y la cercanía a los volcanes Maca y Cay, nos proveen ciertos lineamientos para justificar la presencia de las concentraciones medidas de estos metales.

Por su parte, la capa **CF** contiene más del **60 %** de su composición en clastos mayores a **10 cm**, lo que la convierte en un excelente reservorio para el agua subterránea. Las capas superiores están compuestas principalmente por depósitos volcánicos porosos, histosoles y una delgada capa **PS2**, que podría actuar como filtro natural para el agua. Sin embargo, debido a la naturaleza de la zona –predominantemente humedal y mallín– la infiltración es rápida, lo que facilita una eficiente recarga del acuífero. El nivel freático se encontró a una profundidad de **1,6 – 1,75 m**.

Como no existe una línea base, no se puede determinar si las tasas de concentración de los elementos analizados en la zona de estudio, pudiesen ser producto de un impacto antrópico en el sector, especialmente, en el punto de **CA1**. Aun así, las capas geológicas presentes, la mineralización encontrada y la alta carga orgánica, son atribuibles a generar aumentos en las concentraciones de los elementos descritos, donde para los valores de las muestras en **CA2 Y CA3**, son correlacionables a concentraciones similares determinadas en otros estudios, y que se encontraron de forma natural. En resumen, si es posible que un suelo natural normal, tenga concentraciones de cobre que varíen entre 150 mg/kg y 190 mg/kg, dependiendo de factores geológicos, pero también patogenéticos y humanos.

En Chile existe preocupación por la contaminación de los suelos con metales. Sin embargo, no se cuenta con ninguna legislación nacional al respecto. El reglamento del SEIA (D.S.40/2012), presenta una lista de 14 países, cuyas normas de calidad ambiental y de emisión, pueden ser usadas, como referencia, para la evaluación de impacto ambiental en Chile, en base a esto, se realizó un exhaustivo análisis y se concluyó, que Italia es uno de los países que más se asemeja a Chile, desde el punto de vista geoquímico. Considerando que Italia establece concentraciones máximas de metales en suelo y específicamente asociado al Cu, establece un valor máximo de 120mg/kg. Para determinar si es adecuado aplicar dicha normativa en Chile, se estudiaron los suelos ubicados de la cuenca del río Aconcagua, en áreas donde no se realizaban actividades Antrópicas, indicando que las concentraciones de metales en suelos de esas áreas, representan una condición natural o de línea base,



el resultado fue de 134mg/kg, valor por encima, del límite legislativo de Italia, por lo tanto aplicando la legislación italiana, se puede llegar a conclusión errónea, de que todos los suelos están contaminados.

Hoy día la ciencia no es capaz de predecir correctamente la biodisponibilidad de los metales en el suelo, se ha demostrado que solo una fracción del total del metal, se encuentra biodisponible, justamente por eso, la presencia, de altas concentraciones de metales en suelos, no significa la ocurrencia de efectos tóxicos.
“Metales en el suelo”(Alexander Neaman), Idesia Vol 40.

Si nos basamos en el artículo del investigador, Alexander Neaman, quien ha estudiado las concentraciones naturales de metales en suelo de Chile, encontrando que estas concentraciones pueden ser altas en ciertas regiones, podemos dilucidar, que los resultados obtenidos, pueden tener relación a determinadas características geológicas y otras variables, pero que la única forma de determinarlo es realizar estudios de línea base en la cuenca hidrográfica, que actualmente no existen.

6.3 Conclusión asociada al agua derramada en la zona vegetativa, de acuerdo a los resultados de capacidad de la losa y al estudio de infiltración

Después de terminado el estudio, se puede aseverar que no hubo desborde de aguas desde la losa de acopio, esta afirmación se sustenta en la recopilación de información precisa y verificable, como es la utilizada para determinar las precipitaciones presentadas durante el periodo evaluado, las que se obtuvieron de la estación pluviométrica de la Dirección General De Aguas, que se encuentra instalada en Puerto Chacabuco, siendo además muy cercana a la zona de estudio (Aproximadamente 4,8km), paralelamente se realizaron mediciones de manera rigurosa y sistemática, cuyos datos fueron verificados y validados, para garantizar su precisión y exactitud, esto referido al cálculo de la capacidad de la losa de acopio de redes sucias. Por lo tanto, los datos utilizados para los cálculos de pendientes y alturas, son reales y se basan en información confiable y comprobable, lo que asegura la fiabilidad de los resultados obtenidos en el capítulo anterior.

Por lo tanto, se puede concluir que el día 08 de junio del 2023 a las 12:00 hrs. (Medio día) aún quedaba en la losa, una capacidad de retención, cercana a los 7m³.

Considerando la conclusión anterior, se puede validar la teoría, de que los aportes de agua infiltrada en el área de estudio, (suelo vegetativo) durante el periodo evaluado, corresponde al agua lluvia proveniente de los techos, los cuales en su totalidad, se infiltraron en el suelo vegetativo en estudio, sin generar escurrimientos adicionales significativos, debido a que los análisis de infiltración **EI1 y EI2**, donde la tasa de infiltración ponderada, supera los **300 mm/hr**, siendo valores muy altos de infiltración, relacionados al comportamiento mallinoso del sector, donde grandes cantidades de materia orgánica, la formación de turba y los grandes troncos encontrados en profundidad, aumentan las tasas de infiltración, y por ello, presentan menos escorrentía.

Como conclusión final, se puede determinar que de acuerdo a los análisis y estudios realizados, y conclusiones anteriores, no hubo desborde de la losa de acopio de redes sucias, por ende, no pudo haber afectación de los suelos estudiados, producto del evento.

7 BIBLIOGRAFIA

Anderson, J., & Mikhail, E. (1998). *Surveying: Theory and Practice* (7th ed.). McGraw-Hill.

AASHTO. (2021). *Standard Specifications for Transportation Materials and Methods of Sampling and Testing*. American Association of State Highway and Transportation Officials.

Ahumada, R., Contreras, S., & Muñoz, C. (2004). Especiación de zinc en sedimentos marinos del fiordo Aysén. *Revista de la Sociedad Química de Chile*, 49(1), 41–48. Disponible en: https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0717-71782004000100001&script=sci_arttext

Benítez, J., et al. (2017). *Métodos de medición de la infiltración en suelos*.

Casanova, M., et al. (2004). *Guía para determinar manualmente la clase textural de los suelos*.

Chow, V. T., & Mays, L. W. (1998). *Applied Hydrology* (2nd ed.). McGraw-Hill.

FAO. (2009). *Guía para la interpretación de las propiedades del suelo*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.

ISO 5667-11. (2009). *Water quality – Sampling – Part 11: Guidance on sampling of groundwaters*. International Organization for Standardization.

ITRC. (2014). *Methodology for Passive Sampling in Water Bodies*. Interstate Technology & Regulatory Council.

Loisel, J., Yu, Z., Beilman, D. W., Camill, P., Alm, J., Amesbury, M. J., ... & Zhou, W. (2021). Variation in carbon and nitrogen concentrations among peatland types globally. *Environmental Research Letters*, 16(12), 124014. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac3a5f>

SAG. (2011). *Pauta para estudio de suelo rectificada*. Servicio Agrícola y Ganadero. Santiago, Chile.

Sadzawka, A., Grez, R., Carrasco, M. A., Mora, M. L., & Flores, H. (2006). Niveles de nutrientes y elementos traza en suelos volcánicos de los Parques Nacionales Alerce Andino y Volcán Osorno. *Boletín INIA, Instituto de Investigaciones Agropecuarias*

US EPA. (1997). *Guidance for field activities: Standard Operating Procedures (SOPs) for collecting and handling water samples for laboratory analysis*. U.S. Environmental Protection Agency.

Wolf, P. R., & Ghilani, C. D. (2013). *Elementary Surveying: An Introduction to Geomatics* (13th ed.). Pearson.

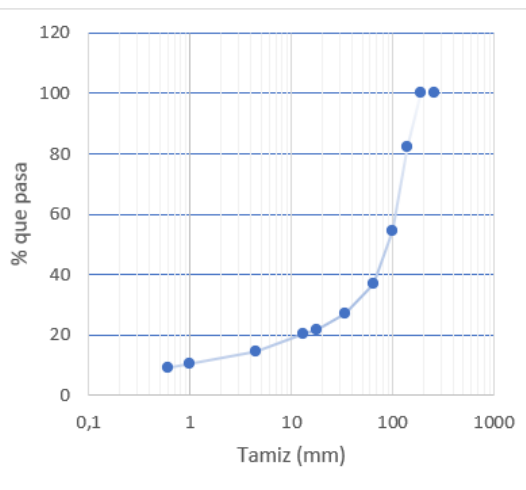
Editorial Idesia vol 40 N°2 Arica (2022) Alexander Neaman “ Metales en los suelos”, Facultad de ciencias Agronómicas, Universidad deTarapacá, Arica- Chile



8 ANEXOS

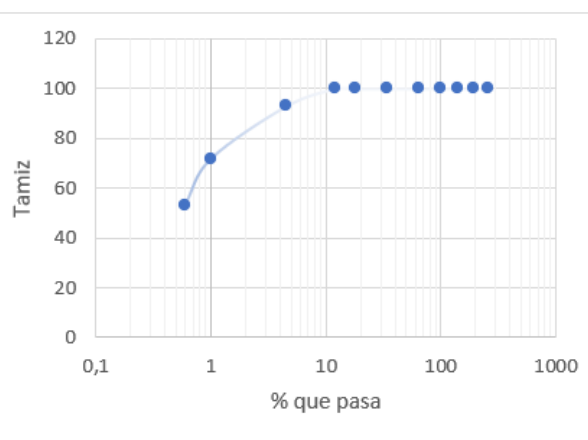
Anexo 1: Tabla y curva granulométrica de la capa basal, relacionada al subsuelo correspondiente al depósito de origen fluvial

Tamiz (mm)	Peso retenido (grs)	Peso pasa (grs)	% Peso retenido	% retenido Acumulado	% que pasa
256	0	23408	0	0	100
190	0	23408	0	0	100
140	4155	19253	17,75034	17,75034	82,2496
100	6500	12753	27,76828	45,51862	54,4813
64	4141	8612	17,69053	63,20915	36,7908
34	2235	6377	9,548017	72,75717	27,2428
18	1311	5066	5,600649	78,35782	21,6421
13	334	4732	1,426862	79,784	20,2153
4,5	1313	3419	5,609193	85,39388	14,6061
1	988	2431	4,220779	89,61466	10,3853
0,6	249	2182	1,063738	90,67840	9,32159
Matriz	2182		9,321599	100	



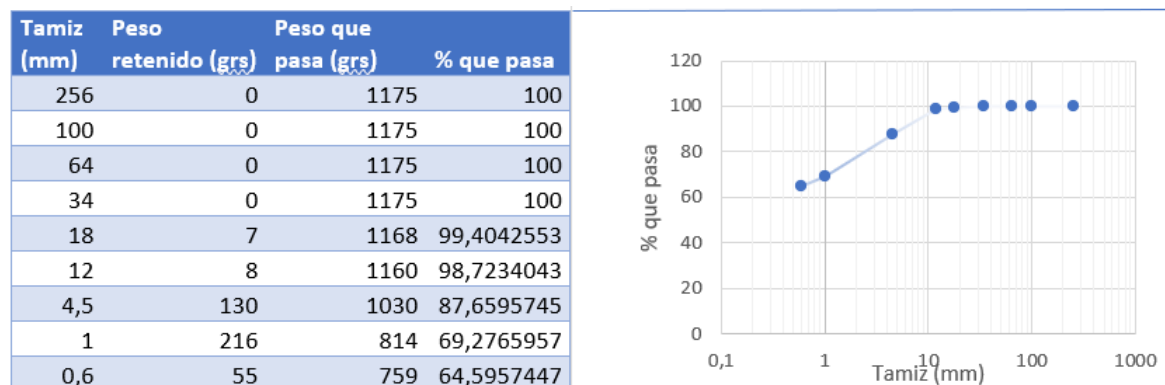
Anexo 2: Tabla y curva Granulométrica del depósito piroclástico con gradación

Tamiz (mm)	Peso retenido (grs)	Peso que pasa (grs)	% que pasa
256	0	1834	100
190	0	1834	100
140	0	1834	100
100	0	1834	100
64	0	1834	100
34	0	1834	100
18	0	1834	100
12	0	1834	100
4,5	130	1704	92,911668
1	386	1318	71,864776
0,6	340	978	53,326063



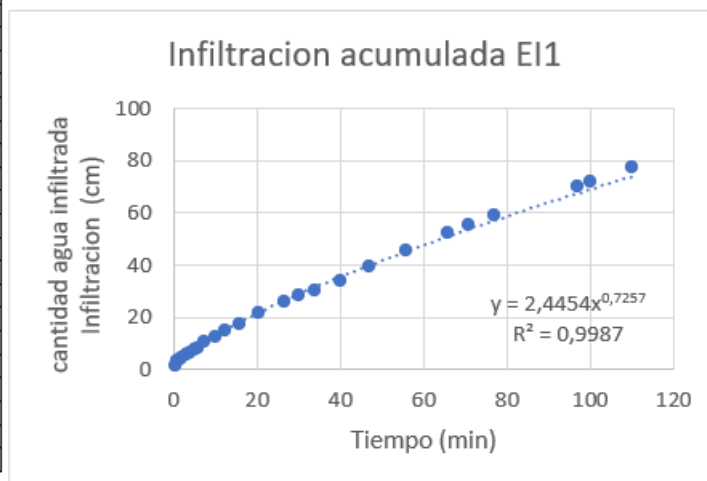


Anexo 8.3: Tabla y curva granulométrica del depósito tufáceo



Anexo 8.4: Tabla de muestreo de infiltración por método del doble cilindro en EI1 y curva de infiltración acumulada en el punto a cercanías de CA1, y la zona de escurrimiento inicial.

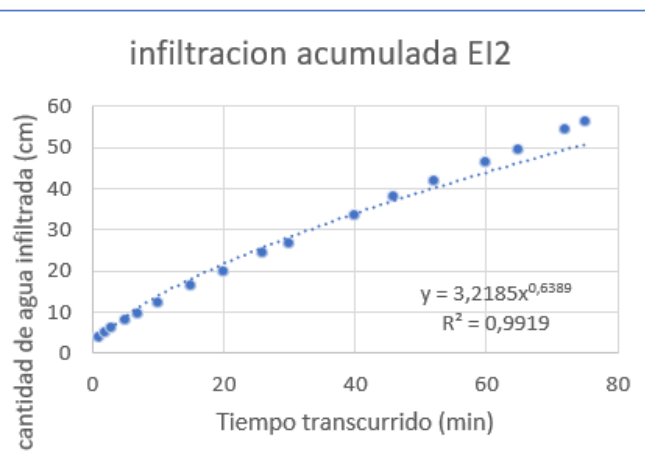
Tiempo de muestreo (min)	infiltración acumulada (cm)	Infiltración instantánea (cm)	Tasa infiltración (mm/hr)
0	0	0	0
0,5	1,3	1,3	1560,0
1	3,1	1,6	1920,0
1,5	3,6	0,5	600,0
2	4,2	0,6	720,0
3	5,4	1,2	720,0
4	6,5	1,1	660,0
5	7,4	1,1	660,0
6	8,3	1,1	660,0
7,5	10,3	2	800,0
10	12,3	2	480,0
12,5	14,8	2,5	600,0
16	17,6	2,8	480,0
20,5	21,9	4,3	573,3
26,5	25,9	4	400,0
30	28,1	2,2	377,1
34	30,5	3,4	510,0
40	34,2	3,7	370,0
47	39,6	5,4	462,9
56	45,8	6,2	413,3
66	52,4	6,6	396,0
71	55,4	3	360,0
77	58,8	3,4	340,0
97	69,9	11,1	333,0
100	72,1	2,1	420,0
110	77,7	5,6	336,0





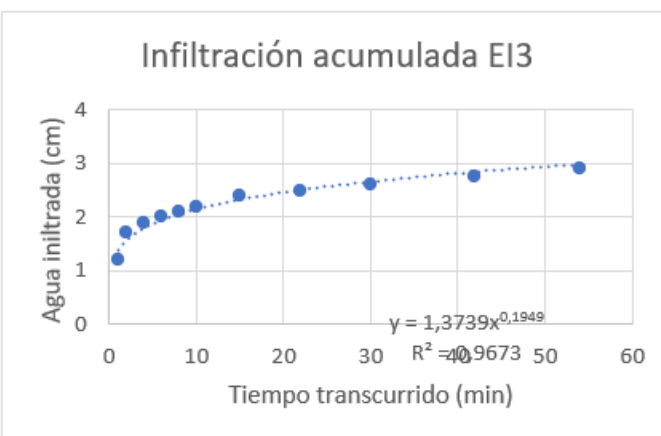
Anexo 8.5: Tabla de muestreo de infiltración por método del doble cilindro en EI2 y curva de infiltración acumulada en el punto a cercanías de CA2.

infiltración instantánea (cm)	Tiempo de medición (min)	infiltración acumulada (cm)	Tasa infiltración (mm/hr)
0	0	0	0
4,1	1	4,1	2460,00
1,2	2	5,3	720,00
1	3	6,3	600,00
1,9	5	8,2	570,00
1,6	7	9,8	480,00
2,5	10	12,3	500,00
4,3	15	16,6	516,00
3,3	20	19,9	396,00
4,5	26	24,4	450,00
2,5	30	26,9	375,00
6,6	40	33,5	396,00
4,5	46	38	450,00
3,9	52	41,9	390,00
4,6	60	46,5	345,00
3	65	49,5	360,00
5,1	72	54,6	437,14
1,7	75	56,3	340,00



Anexo 8.6: Tabla de muestreo de infiltración por método del doble cilindro en EI3 y curva de infiltración acumulada en el punto a cercanías de CA3.

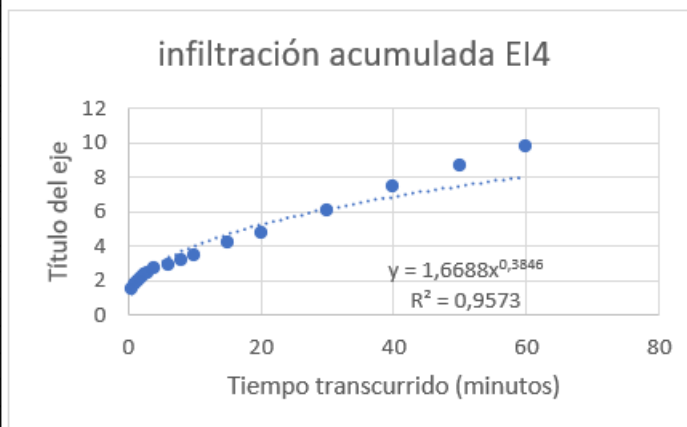
Tiempo de muestreo (minutos)	Infiltración acumulada (cm)	Infiltración instantánea (cm)	Tasa infiltración (mm/hr)
0	0	0	0
1	1,2	1,2	720
2	1,7	0,5	300
4	1,9	0,2	60
6	2	0,1	30
8	2,1	0,1	30
10	2,2	0,1	30
15	2,4	0,1	12
22	2,5	0,1	8,6
30	2,6	0,1	7,5
42	2,75	0,15	7,5
54	2,9	0,15	7,5





Anexo 8.7: Tabla de muestreo de infiltración por método del doble cilindro en EI4 y curva de infiltración acumulada en el punto medial entre CA1 y CA3.

tiempo de muestreo (min)	infiltración acumulada (cm)	Infiltración instantánea (cm)	tasa infiltración (mm/hr)
0	0	0	0
0,5	1,5	1,5	1800
1	1,8	0,3	360
1,5	2	0,2	240
2	2,2	0,2	240
2,5	2,4	0,2	240
3	2,5	0,1	120
4	2,75	0,15	90
6	2,9	0,25	75
8	3,2	0,3	90
10	3,5	0,3	90
15	4,2	0,7	84
20	4,8	0,6	72
30	6,1	1,3	78
40	7,5	1,4	84
50	8,7	1,2	72
60	9,8	1,1	66



Anexo 8.8 Informes de laboratorio, análisis químico de las muestras