

PROYECTOS FONDEF IDEA I+D

INFORME DE AVANCE ANUAL

CIENTÍFICO–TECNOLÓGICO

Nº 1

Título del Proyecto: “Generando estimaciones actualizadas del equivalente de agua en nieve en la cordillera para la planificación del recurso hídrico en la región de Coquimbo”

Código del Proyecto: ID21I10129

Nombre Director(a) del Proyecto: Dra. Shelley MacDonell

Institución(es) Beneficiaria(s): CEAZA

Institución(es) Interesadas: JVRE, JVRGL, JVRH, JVRI, CAZALAC, ULS.

Nombre Ejecutivo(a) de FONDEF: [Andrea Hinojosa Moreno](#)

Fecha de emisión del informe: 25/01/2023

COMISIÓN NACIONAL DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA

MONEDA 1375 • FONO: 56 2 2365 44 00 • FAX: 56 2 2655 13 94 • SANTIAGO CHILE

INFORME DE AVANCE

ÍNDICE

1. PRESENTACIÓN DEL PROYECTO	3
3. RESULTADO DE PRODUCCIÓN E HITOS	5
3.1. Descripción detallada del avance del o los Resultados de Producción y sus hitos	5
3.1.1. Imágenes satelitales	6
3.1.2. Informe imágenes satelitales	6
3.1.3. Informe datos SWE [SS]	6
3.1.4. Datos meteorológicos [SS]	6
3.1.5. Informe datos meteorológicos [SS]	9
3.2. Descripción sintética del avance del o los resultados de Producción y sus hitos	10
4. OTROS RESULTADOS COMPROMETIDOS [Todos]	10
4.1. Descripción detallada del avance del o los otros resultados comprometidos	10
4.2. Descripción sintética del avance del o los otros resultados comprometidos	10
5. VIGENCIA DEL PROYECTO	10
5.1. Vigencia Científica y Tecnológica	10
6. Vigencia Económica y Social	12
7. MODELO DE TRANSFERENCIA/MASIFICACIÓN Y LAS ACCIONES REALIZADAS REFERENTE A LA PROPIEDAD INTELECTUAL	13
7.1. Estrategia de transferencias y negocios o masificación	13
7.2. Propiedad Intelectual	14
7.3. Comité Directivo	14
8. CONCLUSIONES Y PLAN DE ACCIÓN	16
8.1. Análisis del avance del proyecto y proyecciones de transferencia y masificación	16
8.2. Plan de Acción	17
9. OBSERVACIONES Y COMENTARIOS	17
10. ANEXOS	18
10.1. Índice de Anexos	18

1. PRESENTACIÓN DEL PROYECTO

En Chile Central, la precipitación se caracteriza por eventos episódicos que ocurren principalmente durante los meses de invierno, y por una gran variabilidad interanual influenciada por El Niño Oscilación del Sur (Masiokas et al., 2006; Montecinos et al., 2016). Debido a los efectos orográficos de la Cordillera de Los Andes, la precipitación generalmente aumenta con la elevación (Scaff et al., 2017) y por encima de cierta elevación, cae predominantemente en forma de nieve. La capa de nieve estacional resultante actúa como un embalse natural al almacenar agua en invierno y liberarla durante la estación de deshielo, que suele ser cálida y seca. Por lo tanto, la nieve derretida de áreas de gran altura domina la descarga y el suministro de agua dulce en el Chile semiárido (Ayala et al., 2020; Cornwell et al., 2016; Masiokas et al., 2010, 2006; Mernild et al., 2016; Ohlanders et al., 2013). El derretimiento de nieve juega un papel crucial en la esorrentía de los ríos, la recarga de acuíferos (Ribeiro et al., 2015; Valois et al., 2020) y el llenado de embalses naturales y artificiales. La mayoría de los sectores económicos en el Chile semiárido dependen del derretimiento de la nieve, incluida la agricultura y la minería, así como también el consumo humano y de los ecosistemas.

El agua que resultaría del derretimiento completo de la cobertura nival se denomina “equivalente en agua de nieve”, o en inglés “snow water equivalent” (SWE). El SWE de finales del invierno es una variable crucial para estimar el agua disponible para la esorrentía durante la temporada de deshielo y, por lo tanto, la planificación y la toma de decisiones sobre los recursos hídricos. A pesar de los avances recientes en técnicas de monitoreo y modelación numérica de la cobertura nival, los productos de monitoreo regional de nieve disponibles actualmente aún no satisfacen adecuadamente las necesidades operativas para mapear SWE en Chile Central. Para cerrar esta brecha, existen métodos prometedores para combinar tecnologías de percepción remota, observaciones in situ y modelos numéricos. Estos métodos se denominan de asimilación de datos y pueden producir mapas de SWE precisos con suficiente resolución y estimaciones casi en tiempo real. Sin embargo, aún no se han convertido en una herramienta operacional en la administración de recursos hídricos.

La hipótesis de este proyecto es: La combinación de la modelación numérica de la cobertura de nieve y los datos de percepción remota a través de esquemas de asimilación de datos pueden generar estimaciones precisas del SWE en cuencas no monitoreadas con fines operativos. El objetivo general del proyecto es generar estimaciones de SWE en tiempo casi-real, de alta resolución y acceso abierto para la Cordillera de los Andes de la región de Coquimbo, utilizando un esquema de asimilación de datos, para mejorar la toma de decisiones en la gestión regional del agua. Para ello se creará una base de datos de fSCA (fracción de área cubierta por nieve, del inglés “fractional snow covered area”) y SWE, se prepararán conjuntos de datos de forzamiento meteorológico y se implementarán un modelo numérico de nieve y un esquema de asimilación de datos para los sitios piloto y la Región de Coquimbo; también se diseñará y creará una plataforma web y se capacitará a los usuarios finales para el uso en la gestión y toma de decisiones relacionadas al Recurso Hídrico Regional. Finalmente se estima la publicación de resultados en artículos científicos y presentaciones en congresos.

2. EXIGENCIAS Y RECOMENDACIONES PREVIAS

N°	EXIGENCIA	Tiempo de resolución sugerido por FONDEF *	Tiempo de resolución aceptado por Director(a) *	RESPUESTA	TIEMPO DE RESPUESTA
1	Detallar variables relevantes en la metodología del proyecto, como son los formatos de entrega de los resultados, resoluciones espaciales y temporales de los datos que entregará el modelo. Además de especificar como se realizará la integración con los diferentes métodos.	Mes 03	Mes 03	Se envía documento con el detalle de variables relevantes en la metodología	may-22
2	Presentar plan de sustentabilidad a mediano y largo plazo, con el objetivo de asegurar el funcionamiento del sistema una vez finalizado el proyecto.	Mes 06	Mes 06	Se envía documento con Plan de sustentabilidad	oct-22
3	Enviar los certificados de grado de los(as) doctores(as) que participaran del proyecto en su ejecución.	Máximo 60 días desde la notificación de adjudicación.		Envío de certificados	feb-22
4	Enviar los contratos suscritos entre la(s) beneficiaria(s) y las entidades asociadas. Señalando como mínimo: monto, modalidad de aportes, participación en la propiedad de los resultados, negocios o masificación.	Máximo 60 días desde la notificación de adjudicación.		Se envían convenios firmados por todas las asociadas al proyecto	mar-22
5	Revisión e ingreso de la planilla de costos en la plataforma S+C.	Máximo 1 mes desde el inicio del proyecto.		Se envía planilla de costos por plataforma	feb-22
6	Revisión de resultados y su caracterización en la plataforma S+C. Incorporación de hitos, programación de fechas de logro, tanto de los hitos como de los resultados.	Máximo 2 meses desde el inicio oficial del proyecto.		Se realizan ajustes en los resultados y se envían por sistema S+C	feb-22

7	Constituir el Comité Directivo del proyecto.	Máximo 6 meses desde el inicio oficial del proyecto.	Se lleva a cabo la reunión para determinar el comité directivo del proyecto exitosamente. Se envía documento de constitución.	jul-22
8	Informar qué acciones se han realizado durante la ejecución del proyecto, en el ámbito de protección intelectual.	Máximo 1 mes antes de la finalización del proyecto.	En desarrollo	
9	Informar la realización de un evento de difusión o la participación en jornadas de perfeccionamiento de gestión tecnológica y negocios, mentoring o pasantías tecnológicas.	Máximo 1 mes antes de la finalización del proyecto.	En desarrollo	

3. RESULTADO DE PRODUCCIÓN E HITOS

3.1. Descripción detallada del avance del o los Resultados de Producción y sus hitos

El **resultado del proyecto** (Resultado Producción N°1 “Plataforma web SWEET-Coquimbo”) será una plataforma web para entregar estimaciones precisas y actualizadas del equivalente en agua de la nieve (SWE, del inglés snow water equivalent) en la Región de Coquimbo. El SWE corresponde a la cantidad de agua que resultaría del derretimiento completo de la cobertura nival y es un excelente indicador de la disponibilidad de agua en la temporada estival. La plataforma entregará los resultados de SWEET-Coquimbo, que corresponde a un sistema de asimilación de datos que combina modelos numéricos, percepción remota y datos de terreno para calcular el SWE en tiempo casi real. En este contexto, casi real significa dentro de dos a cuatro semanas. La plataforma web estará abierta al público general sin restricciones de ningún tipo. Para lograr el resultado, será necesario lograr el **hito 1** después del primer año y el **hito 2** después del segundo año.

El **hito 1** del primer año (“Elaboración de una base de datos”) corresponde a la generación de una base de datos básicos necesarios para calcular el equivalente en agua de la nieve. El hito 1 es verificado al final del primer año mediante la presentación de los siguientes resultados comprometidos:

1. **Imágenes satelitales:** Una carpeta con imágenes satelitales de la cobertura nival en la región de Coquimbo entre mayo y septiembre que incluye a lo menos 3 años con un mínimo de 3 imágenes por año. Un archivo excel resume esta información.
2. **Informe imágenes satelitales:** Un documento de texto (mínimo 5 páginas) donde se describen la metodología, las fuentes de información, los resultados y los metadatos.

3. **Informe datos SWE:** Un documento de texto que resume la recopilación de datos históricos de SWE.
4. **Datos meteorológicos:** Una carpeta con datos meteorológicos que incluye a las variables de entrada más importantes al modelo numérico de nieve (temperatura del aire, precipitaciones, viento, humedad) a la resolución adecuada (mínimo 1 km) para la parte alta (>1000 m snm.) de la región de Coquimbo, a nivel horario y para por lo menos 3 años.
5. **Informe datos meteorológicos:** Un documento de texto (mínimo 5 páginas) donde se describen las metodologías, las fuentes de información, el control de calidad, los resultados y los metadatos de la información meteorológica.

3.1.1. Imágenes satelitales

Estos datos se encuentran en los anexos, específicamente en la carpeta “datos_satelitales”.

3.1.2. Informe imágenes satelitales

Se presenta un informe describiendo la metodología, las fuentes de información, los resultados y los metadatos del punto anterior. Se encuentra 100% terminado y se encuentra en los anexos “informe_datos_satelitales.docx”. En relación a los datos satelitales, las imágenes Landsat 8, fueron procesadas directamente con Google Earth Engine (GEE). A partir de esto, se obtuvieron datos raster de Fracción de Área Cubierta por Nieve (fSCA) para los años hidrológicos 2019-2020, 2020-2021 y 2021-2022. Estos datos se encuentran en los anexos, específicamente en la carpeta “datos_satelitales”. Cada dato viene asociado a la fecha de la imagen Landsat 8 que se empleó para ser estimado fSCA.

3.1.3. Informe datos SWE [SS]

Se presenta un informe con la recopilación de datos existentes de SWE. Se encuentra 100% terminado y se encuentra en los anexos “informe_datos_swe_historicos.docx”.

3.1.4. Datos meteorológicos [SS]

Se presenta una carpeta que incluye los datos meteorológicos necesarios para correr el modelo numérico de la cobertura nival. Los datos cumplen con los siguientes requisitos:

- datos corregidos
- por lo menos 3 años de extensión
- nivel horario
- variables claves (temperatura del aire, precipitaciones, viento, humedad)
- una resolución necesaria para el modelo de nieve
- para la parte alta de la región de Coquimbo.

Todos los datos meteorológicos están en una carpeta con un archivo que explica la estructura de la carpeta y los diferentes archivos (“readme.txt”, Figura 3.1.4 A).

- Los datos brutos de ERA5 están en una carpeta “anexos_meteo/ERA5_data_raw” (para 3 años, nivel horario, variables claves, parte alta de la región de Coquimbo), vea Figura 3.1.4 B. En la Figura 3.1.4 C se ve que cada archivo contiene las variables claves (temperatura del aire t2m, precipitaciones tp, viento u10 y v10, humedad d2m).
- Los datos corregidos están en la carpeta “ERA5_data_corrected”, vea Figura 3.1.4 D.

```

2021_fondef_idea_sweet > Fondef_simone > 06_reports > informe_anual > anexos
Nombre
DEM
ERA5_data_corrected
ERA5_data_raw
OutputSnowmodel
py_downloadERA_cds_ap.py
py_prepare_data.py
readme.txt

#####
README for folder content
#####
author: SSchauwecker
#####

- py_downloadERA_cds_ap.py #script to download and store ERA5 data
- py_prepare_data.py #script to correct and prepare meteodata ERA5 to the format for Snowmodel

/ DEM # Folder containing DEM needed to prepare corrected ERA5 data

/ ERA5_data_raw # uncorrected reanalysis data (hourly, Coquimbo region)

// ERA5_allvar_hourly_2019_Coquimbo.nc
// ERA5_allvar_hourly_2020_Coquimbo.nc
// ERA5_allvar_hourly_2021_Coquimbo.nc

/ERA5_data_corrected # corrected reanalysis data (hourly, Coquimbo region)
// 2019
/// metfiles
- 1.csv # meteorological data for virtual station nr. 1 with
  # año, mes, día, hora, número estación, longitud, latitud, elevación,
  # temperatura del aire, humedad relativa, velocidad del viento,
  # dirección del viento, precipitación
- 2.csv # the same for virtual station nr. 2
- ...

/// metfiles_lw # meteorological data for virtual station nr. 1 with longwave radiation
- 1.csv
- 2.csv
- ...

/// metfiles_sfcp # meteorological data for virtual station nr. 1 with surface pressure
- 1.csv
- 2.csv
- ...

/// metfiles_sw # meteorological data for virtual station nr. 1 with shortwave radiation
- 1.csv
- 2.csv
- ...

// 2020 # the same as for folder "2019"
// 2021 # the same as for folder "2019"

/ OutputSnowmodel
- relh.nc # relative humidity
- rpre.nc # liquid precipitation
- spre.nc # solid precipitation
- tair.nc # air temperature
- wdir.nc # wind direction
- wspd.nc # wind speed

```

Figura 3.1.4 A: Carpeta con los datos comprometidos para el hito1 con la descripción de la carpeta en el archivo readme.txt.

ERA5_data_raw				
Nombre	Fecha de modificación	Tipo	Tamaño	
ERA5_allvar_hourly_2019_Coquimbo.nc	14/11/2022 10:22	Archivo NC	20.826 KB	
ERA5_allvar_hourly_2020_Coquimbo.nc	14/11/2022 11:11	Archivo NC	20.883 KB	
ERA5_allvar_hourly_2021_Coquimbo.nc	11/11/2022 13:26	Archivo NC	20.826 KB	

Figura 3.1.4 B: Carpeta con los datos meteorológicos no corregidos de ERA5 para 3 años a nivel horario para las variables claves (temperatura del aire t2m, precipitaciones tp, viento u10 y v10, humedad d2m) para toda la región de Coquimbo. La resolución es de ~30 km.

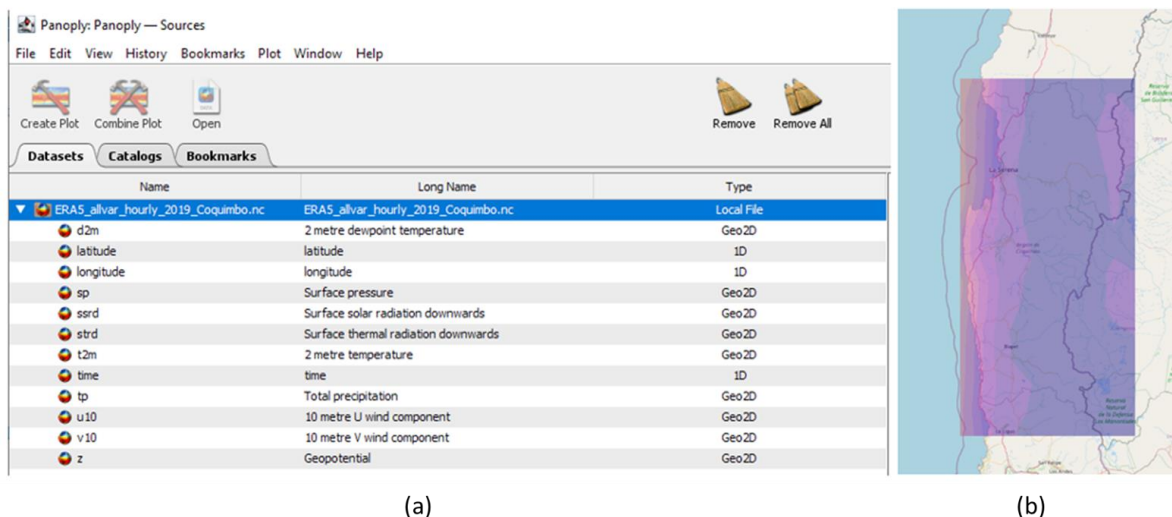


Figura 3.1.4 C: (a) Software Panoply que muestra que el archivo ERA5_allvar_hourly_2019_Coquimbo.nc contiene las variables claves (temperatura del aire t2m, precipitaciones tp, viento u10 y v10, humedad d2m). (b) mapa de la región mostrando la cobertura de los datos netcdf.

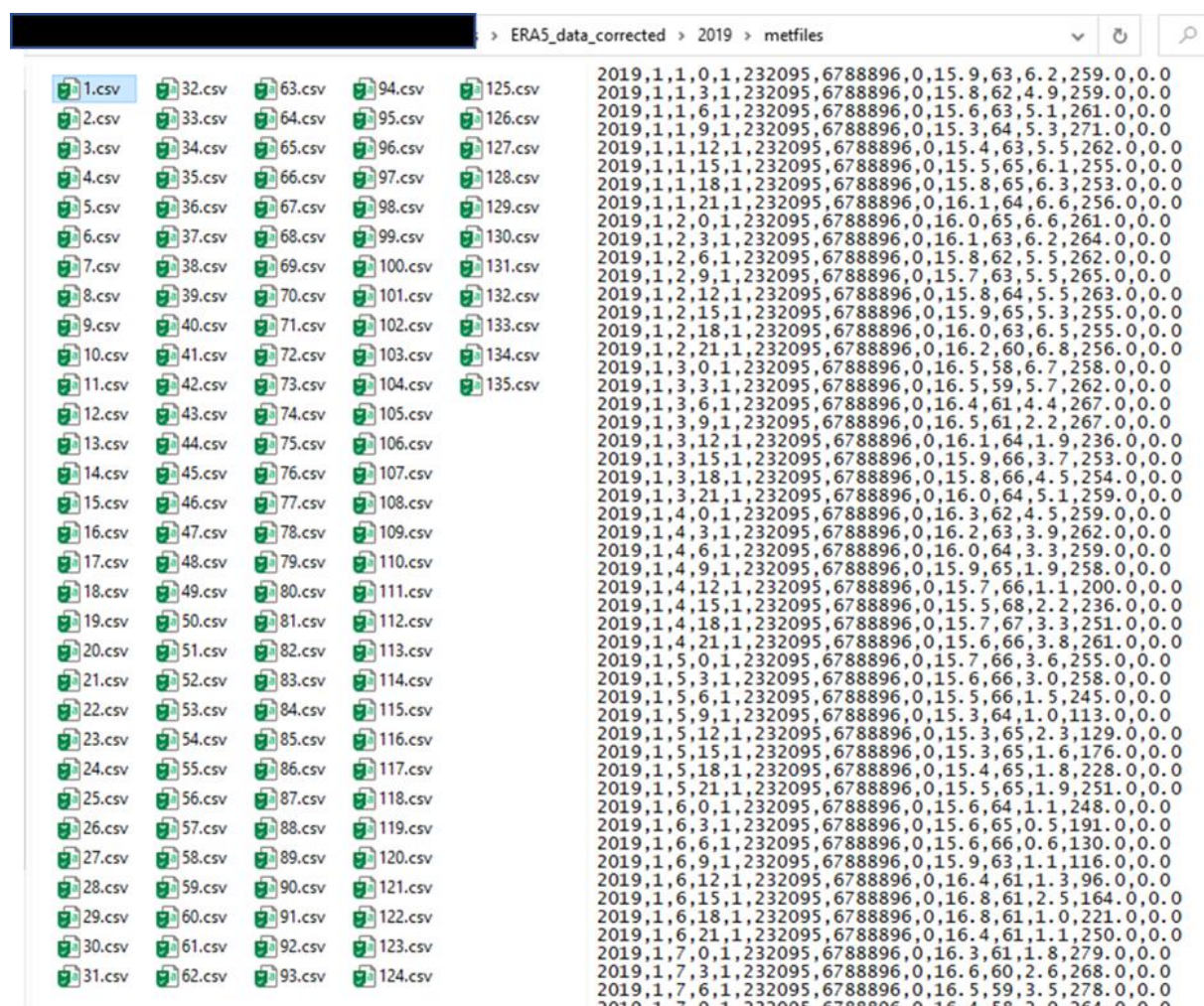


Figura 3.1.4 D: Carpeta con los datos meteorológicos corregidos del año 2019 para el modelo hidrológico para la región de Coquimbo. Cada archivo (1.csv, 2.csv, ..., 135.csv) contiene los datos

meteorológicos necesarios. Los datos están divididos en columnas (año, mes, día, hora, número estación, longitud, latitud, elevación, temperatura del aire, humedad relativa, velocidad del viento, dirección del viento, precipitación).

Para el hito 1 se comprometió presentar los datos en una resolución de 1 km. Sin embargo, en el modelo hidrológico a usar (“SnowModel”) no es necesario hacer este paso ya que el modelo tiene un módulo integrado para llevar los datos originales a una resolución de 500 m. Así, basta con ingresar los datos en la resolución original de 30 km y no es necesario llevar los datos a una resolución de 1 km. Para visualizar esto, se dejaron los datos generados por Snowmodel para la cuenca Elqui en Algarrobal en la carpeta “OutputSnowmodel”. La Figura 3.1.4 E muestra que la resolución de los datos generados por el modelo “Snowmodel” es de 500 m.

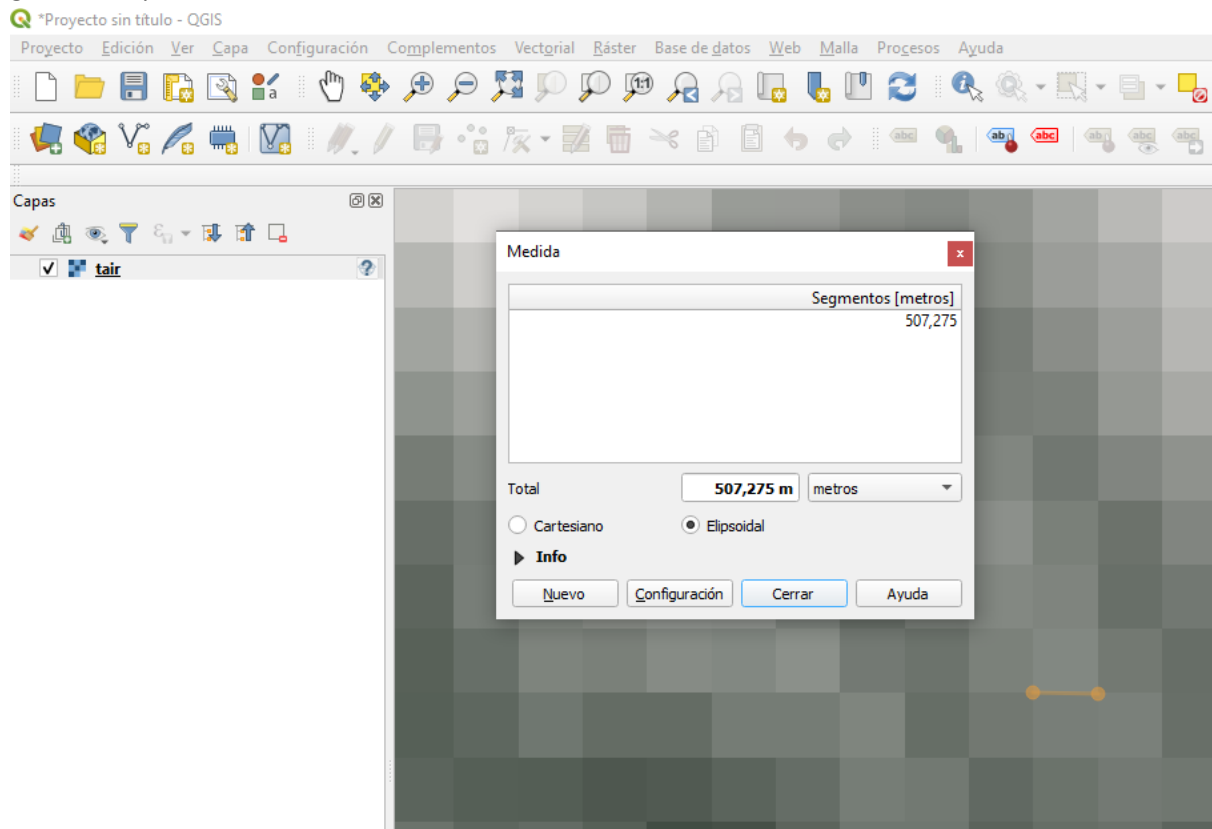


Figura 3.1.4 E: Vista en software QGIS donde se ve que la resolución de OutputSnowmodel/tair.nc es 500 m.

3.1.5. Informe datos meteorológicos [SS]

Se presenta un archivo de texto (mínimo 5 páginas) donde se describen las metodologías, las fuentes de información, el control de calidad, los resultados y los metadatos. El documento está terminado y se encuentra en los anexos “informe_datos_meteorológicos.docx”.

3.2. Descripción sintética del avance del o los resultados de Producción y sus hitos

Resultado Producción / Hitos	Fecha de logro comprometida en plataforma	Fecha de logro estimada *	Porcentaje de avance estimado
1. Resultado Producción N°1 “Plataforma web SWEET-Coquimbo”	15-01-2024	15-01-2024	50%
1.1 Hito 1 “Elaboración de una base de datos”	25-01-2023	25-01-2023	100%
1.2 Hito 2 “Activación de la plataforma web a todo público”	15-01-2024	15-01-2024	5%

4. OTROS RESULTADOS COMPROMETIDOS [Todos]

4.1. Descripción detallada del avance del o los otros resultados comprometidos

No hay otros resultados comprometidos

4.2. Descripción sintética del avance del o los otros resultados comprometidos

No hay otros resultados comprometidos

5. VIGENCIA DEL PROYECTO

5.1. Vigencia Científica y Tecnológica

Tanto el problema como la oportunidad identificados al momento de enviar la propuesta de nuestro proyecto siguen vigentes. En el contexto climático e hidrológico actual de las cuencas de la región de Coquimbo, una estimación precisa de los volúmenes acumulados de equivalente en agua de nieve sería muy útil para los diversos usuarios del agua. Sin embargo, a la fecha, aún no existen otros productos que estimen los volúmenes de nieve acumulados de forma operacional.

Desde el punto de vista científico y tecnológico, el monitoreo de la cobertura nival es un tópico de gran interés para instituciones científicas. Muestra de aquello es que, durante el año pasado, la Asociación Internacional de Ciencias Criosféricas (International Association of Cryospheric Sciences, IACS) junto a otras instituciones como la Organización Meteorológica Internacional (WMO) crearon una comisión especial del “Estado de la cobertura nival de las montañas” ([JB status mountain snow cover – IACS \(cryosphericciences.org\)](#)). Esta comisión está coordinada por científicos de destacados centros de investigación alrededor del mundo y tiene como objetivos i) proveer información robusta de la cobertura nival a escala global mediante datos en terreno, remotos, reanálisis atmosféricos y simulaciones numéricas, ii) compilar y analizar los datos existentes, y iii) garantizar el acceso abierto a

estos datos. La comisión estará activa hasta el año 2025 y demuestra la importancia, relevancia y vigencia del monitoreo de la cobertura nival en el mundo científico y tecnológico. Nuestro proyecto se ajusta perfectamente a dichos esfuerzos internacionales. Por otro lado, nuevos artículos científicos han seguido abordando las temáticas de nuestro proyecto (ver tabla siguiente).

La solución propuesta en nuestro proyecto consiste en desarrollar e implementar una nueva herramienta operacional para cuantificar el equivalente en agua de nieve en tiempo casi real usando un esquema de asimilación de datos en la región de Coquimbo. La solución propuesta entregará una base de datos robusta para diferentes usuarios que participan de la planificación de recursos hídricos al inicio de la temporada de riego. Si bien este tipo de esquemas han sido probados para la reconstrucción de la cobertura nival en décadas pasadas (Cortés y Margulis, 2017), no han sido usados de forma operacional en la Cordillera de Los Andes. En el desarrollo del proyecto se espera mejorar nuestro conocimiento acerca del clima de alta montaña y la hidrología de nieve de la región de Coquimbo. En particular, se espera producir mejores metodologías para el escalamiento de productos meteorológicos globales a escala de cuencas y mejorar la comprensión de procesos nivales en cuencas semiáridas. Con relación a estos puntos, durante el primer año del proyecto se publicaron algunos artículos científicos que proporcionan información valiosa al proyecto.

Título: Understanding wind-driven melt of patchy snow cover

Referencia: van der Valk, L. D., Teuling, A. J., Girod, L., Pirk, N., Stoffer, R., and van Heerwaarden, C. C.: Understanding wind-driven melt of patchy snow cover, *The Cryosphere*, 16, 4319–4341, <https://doi.org/10.5194/tc-16-4319-2022>, 2022.

Indicador de impacto: Presenta nuevos aspectos a considerar como limitaciones de nuestro modelo de nieve.

Observaciones y comentarios: El artículo describe en detalle un proceso físico (la advección de aire caliente desde zonas no cubiertas por nieve hacia zonas cubiertas por nieve) que no es parte de nuestro modelo de nieve. Lo entenderemos como una limitación de nuestro modelo y se analizarán estrategias para minimizar los posibles errores.

Título: The Snowline and 0°C Isotherm Altitudes During Precipitation Events in the Dry Subtropical Chilean Andes as Seen by Citizen Science, Surface Stations, and ERA5 Reanalysis Data

Referencia: Schauwecker, S., G. Palma, S. MacDonell, Á. Ayala, and M. Viale (2022), The Snowline and 0°C Isotherm Altitudes During Precipitation Events in the Dry Subtropical Chilean Andes as Seen by Citizen Science, Surface Stations, and ERA5 Reanalysis Data, *Front. Earth Sci.*, 10(June), 1–19, doi:10.3389/feart.2022.875795.

Indicador de impacto: Presenta un análisis de la isoterma cero y la línea de nieve en la región de Coquimbo

Observaciones y comentarios: El artículo realizado por miembros de nuestro equipo analiza la variación de la línea de nieve y la isoterma cero en la región de Coquimbo usando diversas metodologías. Los datos recopilados y la metodología usada sirven como insumos para la plataforma SWEET-Coquimbo.

Título: Solving Challenges of Assimilating Microwave Remote Sensing Signatures With a Physical Model to Estimate Snow Water Equivalent

Referencia: Merkouriadi, I., J. Lemmetyinen, G. E. Liston, and J. Pulliainen (2021), Solving Challenges of Assimilating Microwave Remote Sensing Signatures With a Physical Model to Estimate Snow Water Equivalent, Water Resour. Res., 57(11), 1–24, doi:10.1029/2021WR030119.

Indicador de impacto: Presenta una metodología para la asimilación de datos de microondas desde la cobertura nival

Observaciones y comentarios: Las metodologías propuestas en este artículo podrían ser incorporadas en futuras versiones del producto desarrollado en este proyecto.

6. Vigencia Económica y Social

Durante el primer año del proyecto, no se presentaron cambios en el entorno económico-social del proyecto que impacten los objetivos, resultados o diseminación del proyecto. Todavía existen deficiencias en la disponibilidad de información relacionado a la cantidad de agua almacenada en nieve dentro de las cabeceras regionales. Además, aún persiste la necesidad de mayor información básica para apoyar la toma de decisiones de los usuarios del agua, relativo al otorgamiento de derechos de agua. En nuestro conocimiento, el proyecto actual se mantiene como el único esfuerzo dedicado a calcular operativamente la cantidad de agua en nieve.

La iniciativa sigue manteniendo la solución original de implementar una plataforma web para diseminar información con respecto a la nieve. Una diferencia significativa en esta parte del trabajo ha sido la participación activa del Directorio del Proyecto, que nos ha permitido dirigir las ideas de la iniciativa en un marco de referencia fundamentado en necesidades reales de los potenciales usuarios del conocimiento que estamos generando. Basado en conversaciones con el Directorio del Proyecto, estamos planificando incorporar la plataforma en la página web de CEAZAmet, donde los usuarios ya están habituados a acceder y utilizar los datos meteorológicos en la región. Esta posibilidad significará que los datos de nieve generados por el proyecto ya tendrán un público potencial estable y permanente. Esta solución es la preferida por el Directorio, la que facilitará la sostenibilidad del producto final en el tiempo. Adicionalmente, incorporaremos la información en el boletín climático del CEAZAmet, a fin de potenciar/aumentar la distribución de la información a un público más amplio.

Estos dos mecanismos facilitarán la entrega de información al mercado principal de usuarios de agua, sin excluir otros potenciales interesados como científicos, organizaciones comunitarias, medios de comunicación y el público en general.

De acuerdo con los miembros del Directorio de la Iniciativa, la generación de esta información proveerá de conocimiento que permitirá, entre otras cosas, tomar decisiones sobre potenciales cultivos de la próxima temporada, particularmente por los datos de almacenamiento de agua en la cabecera de los ríos. Este ejemplo hace referencia a uno de los pasos más onerosos en el trabajo agrícola, una de las industrias más importantes de la Región de Coquimbo. Asimismo, es posible decir que la distribución de esta información en forma gratuita y abierta facilitará la toma de decisión a distintos niveles desde un agricultor individual hasta las asociaciones de usuarios. Por otro lado, los datos generados podrían ser utilizados en futuras proyecciones de agua en los caudales.

7. MODELO DE TRANSFERENCIA/MASIFICACIÓN Y LAS ACCIONES REALIZADAS REFERENTE A LA PROPIEDAD INTELECTUAL

7.1. Estrategia de transferencias y negocios o masificación

El resultado principal del proyecto es la elaboración de una plataforma web que mostrará la cantidad de nieve almacenada en las cuencas de la Región de Coquimbo. Basado en las conversaciones sostenidas con el Directorio del Proyecto hemos determinado que los resultados del proyecto estarán públicamente disponibles por dos vías: el primero es un sitio dedicado a la iniciativa que incorporará los resultados e información relevante del proyecto. El segundo es la incorporación de la plataforma dentro de la página web del CEAZAMet (www.ceazamet.cl). Este último sitio será mantenido por CEAZAMet, después del término de la iniciativa, y alojado en el servidor de CEAZA. Asimismo, esta página web será dinámica, lo que significa que su contenido variará cada un mes, de acuerdo a la asimilación de datos de nieve que se efectuará.

Los pasos a seguir para concretar los fines del proyecto son los siguientes:

1. Operacionalizar el proceso de asimilación de datos
2. Automatizar los scripts
3. Vincular a la infraestructura computacional de CEAZAMet
4. Actualizar mensualmente los datos de nieve.

Pasos 1 a 3 serán completados durante la ejecución del proyecto. Paso 4 se mantendrá en progreso posterior al término de la iniciativa. Esta parte quedará a cargo del coordinador del CEAZAMet e incorporado en sus funciones laborales.

Basado en los logros conseguidos a la fecha y por los acuerdos alcanzados con CEAZA, la probabilidad de implementación de la plataforma es muy alta. Los costos de este trabajo serían considerados parte de la inversión basal de CEAZAMet.

Principalmente, el proyecto agrega valor al trabajo agrícola desde la perspectiva tecnológica, al otorgar información de la presencia de elementos esenciales para el trabajo del sector (presencia/ausencia de agua o nieve). Con esta iniciativa, esta será la primera vez que este tipo de información estará disponible en forma operacional. Con la exitosa ejecución del proyecto se abren las puertas a la potencial implementación de este método en otras partes del país.

Para complementar el principal mecanismo de transferencia de información, también los resultados de la iniciativa serían presentados a través de medios de comunicación masivo (trabajos de prensa de CEAZA), congresos científicos, publicaciones científicas y en el Boletín Mensual de CEZAMet.

7.2. Propiedad Intelectual

El proyecto fue formulado y aprobado con la visión de que los resultados y la información obtenida sea de carácter público, por consiguiente, no es necesaria una estrategia para la protección de resultados obtenidos por el proyecto.

7.3. Comité Directivo

La interacción con las empresas asociadas ha sido positiva en cuanto a interés en el proyecto, comunicaciones y reuniones de trabajo; sin embargo; la mayor dificultad presentada es la coordinación de las diferentes agendas, debido a que el proyecto convoca a seis instituciones, tres de la provincia de Elqui, dos de la provincia de Limarí y una de la provincia del Choapa.

Para efectuar la reunión donde se constituyó el comité directivo del proyecto, fue necesario desarrollar una reunión virtual, que permitió contar con la mayor coincidencia de disponibilidad de agenda de los participantes, logrando contar con la asistencia de un representante de cada una de ellas. En esta instancia se aprobó como presidente del comité al Sr. Claudio Vásquez, quien pertenece a la institución Centro de Estudios Avanzados en Zonas Áridas, así como se determinó a cada representante y reemplazante de las diferentes entidades asociadas al proyecto.

La lista de los participantes del comité directivo del proyecto queda conformada de la siguiente manera:

Nombre de la entidad	Nombre del representante	Rol	Reemplazo
Centro de Estudios Avanzados en Zonas Áridas (CEAZA)	Claudio Vásquez	Presidente(a)**	Carlos Olavarría

Centro de Estudios Avanzados en Zonas Áridas (CEAZA)	Eduardo González	Secretario(a)	Simone Schauwecker
Junta de Vigilancia Río Grande y Limarí y sus afluentes (JVRGL)	Manuel Muñoz	Representante	José Eugenio González del Río
Dirección General de Aguas	Pedro Sanzana	Representante	Iván Pizarro
Centro del Agua para Zonas Áridas y Semiáridas de América Latina y el Caribe (CAZALAC)	Gabriel Mancilla	Representante	Manuel Soto
Junta de Vigilancia Río Elqui (JVRE)	Alex Cortés	Representante	Mario Jofré
Junta de Vigilancia Río Hurtado	Hugo Miranda	Representante	Rubén Espinosa
Junta de Vigilancia Río Illapel	Alex Faúndez	Representante	Marcela Jeneral
Universidad de La Serena	Eduardo Notte	Representante	Karina Stucken
Institución Beneficiaria	Álvaro Ayala	Representante	Nicole Schaffer
Proyecto	Shelley MacDonell	Director(a) proyecto*	Katerina Goubanova

Producto del escenario complejo para la coordinación de disponibilidad de tiempo para participación en reuniones del comité o mesas de trabajo, se ha optado por efectuar las reuniones de manera presencial y online, permitiendo enfrentar la problemática de tiempo y distancias físicas en que se encuentran los profesionales que participan en el Directorio.

Los alcances de la última reunión del comité directivo abordaron los temas de producto final, la frecuencia de información y el canal de comunicación para su acceso. Las Juntas de Vigilancia

solicitaron el envío de mapas en formato Shape de los sectores de interés, determinando su interés en recibir la información con una frecuencia mensual y la información de la temporada de invierno en el mes de agosto, periodo que permite la planificación del recurso hídrico regional estimado que estaría disponible para temporadas con escasa precipitación. Con relación al cómo recibir la información, las asociadas plantearon la opción de acceder a ella en plataformas que ya se encuentran en uso para su gestión, tal como la plataforma de CEAZAmet, además de agregar una sección en el boletín generado por la misma área de CEAZA. Finalmente, a modo de vincular los proyectos desarrollados por CEAZA, los socios plantearon la oportunidad de realizar las reuniones del comité directivo del proyecto en conjunto con el proyecto FONDEF IDEA 2022, llamado ***"Red de monitorización de agua de nieve equivalente, altura de nieve y temperatura del aire para prototipo de alta montaña basado en desarrollo de hardware abierto"***.

CEAZA a través del equipo del proyecto, ha realizado diversas comunicaciones virtuales y presenciales para mantener informados a las entidades asociadas al proyecto. En instancias en las que no se realizan mesas de trabajo, la transferencia de conocimientos se ha llevado a cabo en forma particular en cada institución y los canales utilizados fueron mediante reuniones virtuales y presenciales realizando visitas a sus oficinas.

Las entidades asociadas masifican la información a través de las reuniones de Directorio para el caso de las Juntas de Vigilancia, instancias de encuentro donde participan los socios que las componen y se abordan diferentes temas de interés para sus socios.

Para el caso de CAZALAC los profesionales asociados son de menor número, por lo que se realizan reuniones específicas donde se transmite la información del proyecto y realizan sus consultas y apreciaciones en reuniones del Directorio.

Finalmente, la Universidad de La Serena canaliza la información mediante el departamento de Investigación y Postgrado, del cual su Director es parte del comité directivo del proyecto. A través de reuniones presenciales y virtuales se ha transmitido el avance del proyecto efectuando una transferencia directa de la información, la cual por canales internos el Director de Investigación y Postgrado deriva a quienes estima conveniente compartirla.

8. CONCLUSIONES Y PLAN DE ACCIÓN

8.1. Análisis del avance del proyecto y proyecciones de transferencia y masificación

Los avances del proyecto están en línea con las hipótesis planteadas al inicio del proyecto. Durante el primer año, se han obtenido los principales insumos para la plataforma SWEET-Coquimbo. Estos insumos corresponden a las bases de datos de SWE, imágenes satelitales y los datos meteorológicos. Para las imágenes satelitales y los datos meteorológicos ya se cuenta con rutinas computacionales que permitirán la generación automática de nuevos datos en forma operacional. Adicionalmente, el modelo numérico de nieve (SnowModel) y el esquema de asimilación de datos ya cuentan con avances

importantes. Se espera que SWEET-Coquimbo funcione de la forma como se planificó inicialmente con muy buenas probabilidades de éxito en las fechas previstas.

En cuanto a la gestión administrativa del proyecto, la principal dificultad es el número, ubicación geográfica y diversidad de las instituciones asociadas, presentando un escenario complejo de oportunidades de coincidencias de agendas y obtención de firmas de documentos. Otra dificultad a la cual nos hemos visto enfrentado, es el cambio de jefatura de la Dirección General de Aguas de la Región de Coquimbo, debiendo gestionar una reunión con el director subrogante para presentar el proyecto y contar con su apoyo para firmas de documentos y respaldo de aportes valorizados de la institución al proyecto.

Los desafíos están relacionados a mantener una comunicación continua con las entidades asociadas, con la meta de derribar las barreras geográficas y administrativas particulares de cada una de las entidades.

8.2. Plan de Acción

No consideramos necesario realizar modificaciones en los resultados y actividades programados para el segundo año del proyecto.

9. OBSERVACIONES Y COMENTARIOS

Una dificultad del primer año fue la planificación de la salida a terreno en los meses de invierno. Las condiciones meteorológicas durante julio y agosto fueron inestables y pasaron varios sistemas frontales con precipitaciones en la cordillera, por lo cual tuvimos que posponer en varias instancias la salida a terreno. Esto fue necesario para asegurar condiciones seguras durante la salida (riesgo por avalanchas o caminos cortados).

También realizamos una primera salida a terreno con un dron DJI Mavic-Mini (1 a 3 de agosto 2022). Sin embargo, las condiciones no fueron óptimas para el dron. El viento fue demasiado intenso para ejecutar el vuelo de dron y tuvimos que abortar el vuelo para no correr riesgo de perder el instrumento. Para mitigar el impacto de esta situación, se tomaron mediciones manuales de profundidad y densidad de nieve.

El mapa de SWE para la validación de la plataforma SWEET-Coquimbo aún no está procesado porque se atrasó el trabajo en terreno y por ende el análisis de datos. La obtención del mapa de SWE acumulado durante el invierno 2022 requiere de dos vuelos UAV: Un vuelo durante el momento de máxima acumulación y un segundo vuelo durante un periodo sin nieve. Mientras el primer vuelo fue realizado en agosto de 2022, el segundo vuelo se realizó durante noviembre. Si bien este vuelo estaba originalmente programado para realizarse en octubre, se tuvo que posponer debido a la persistencia de parches de nieve en el sitio de estudio piloto (ver Figura 9-A).



Figura 9-A: Imagen satelital del sitio de estudio piloto (rectángulo blanco) que muestra los parches de nieve aún presentes el día 20 de octubre de 2022 (Fuente: Sentinel -2 L2A True color image).

10. ANEXOS

10.1. Índice de Anexos

- Informe “informe_datos_satelitales.docx”
- carpeta “datos_satelitales” donde se encuentran los datos satelitales
- Informe “informe_datos_swe_historicos.docx”
- carpeta “datos_meteo” donde se encuentran los datos meteorológicos
- Informe “informe_datos_meteorologicos.docx”.
- Carpeta “datos_swe” datos de equivalencia de agua en nieve de CEAZA, MODIS, rutas de nieve y vecinos de las nieves.
- Carpeta “scripts_meteo” donde hay códigos para preparar los inputs meteorológicos mencionados en el “informe_datos_meteorologicos.docx”.