

MANUAL DEL USUARIO PLATAFORMA DE OBSERVACIÓN DE COBERTURA NIVAL Y ESTIMACIÓN DE BALANCE DE MASA DE NIEVES

Proyecto FONDEF N° D13R20005

Versión 1, 2017

Santiago, Chile
2017

Equipo de trabajo

Rodrigo Fuster G., James McPhee T., Andrés de la Fuente, Cristián Escobar A., Miguel A. Lagos Z.,
Edward Cornwell V., Karina Palacios Q. y Katherinne Silva U.

Documento preparado por el Laboratorio de Análisis Territorial de la Universidad
de Chile.

Tabla de contenido

Introducción	4
Descripción general del sistema.....	5
Sub-sistema de descarga.....	6
Sub-sistema de almacenamiento.....	7
Sub-sistema de corrección de imágenes.....	7
Sub-sistema de estadísticas.....	8
Sub-sistema de balance de masa de nieves.....	9
Modelos estadísticos para estimación de pérdidas, transporte y derretimiento de nieve.....	9
Sub-sistema de despliegue.....	12
Sistema de despliegue de la información	13
Menú “Inicio”	13
Menú “Descripción del proyecto”	13
Menú “Sistema de Monitoreo de Cobertura Nival”	14
Visualización de imágenes satelitales	15
Visualización de estadísticas de la cobertura nival	17
Menú “Balance de Masa de Nieves”	19
Referencias.....	20
Glosario	22

Introducción

El presente documento corresponde a la guía de uso de la Plataforma de Observación de Cobertura Nival y Estimación de Balance de Masa de Nieves, desarrollado en el Proyecto “Determinación de aportes por escorrentía y pérdidas por sublimación de nieves en la cuenca del Río Copiapó D13R20005” financiado con el aporte del programa FONDEF-R de la Comisión Nacional de Investigación Científica y Tecnológica (CONICYT).

Esta plataforma tecnológica se diseñó para transferir en forma simplificada la información derivada del modelo de balance hídrico desarrollado en el proyecto con el fin de que ésta pueda ser incorporada a los procesos de gestión y planificación donde se la necesite. Para ello, el sistema proporciona un conjunto de herramientas informáticas de propósito específico diseñadas especialmente para apoyar las funciones de los socios de la Junta de Vigilancia del Río Copiapó así como instituciones públicas (Ministerio de Agricultura) y otros productores agrícolas.

Este manual está dirigido a los usuarios de aguas pertenecientes a la Junta de Vigilancia del río Copiapó. No obstante lo anterior, se espera que, por intermedio de la SEREMI de Agricultura de la Región de Atacama, esta herramienta pueda ser dada a conocer a otros actores relevantes de la cuenca.

Este manual está conformado por 2 grandes capítulos. El primer capítulo denominado “Descripción General del Sistema” es de carácter técnico y describe de forma general la metodología utilizada para la construcción de la plataforma tecnológica. El segundo capítulo denominado “Sistema de Despliegue de la Información” corresponde a una guía de cómo usar los diferentes módulos de la plataforma tecnológica. Además el manual contiene un Glosario con términos utilizados en el documento.

Finalmente, es importante señalar que debido a su carácter público, esta plataforma no es comercializable.

Descripción general del sistema.

La “Plataforma de Observación de Cobertura Nival y Estimación de Balance de Masa de Nieves” consiste en un software que da soporte para la adquisición, almacenamiento y consulta de información de carácter hidrológico para la cuenca alta de la cuenca del Río Copiapó, específicamente para las subcuencas de los ríos Jorquera, Pulido y Manflas. Este sistema está diseñado para realizar una captura y procesamiento automatizado de información satelital que permite estimar la cobertura de nieves en el área de estudio y presentar esta información de manera apropiada para usuarios que deberán usar esta información como referencia en sus procesos de toma de decisiones, para lo cual cuenta con una interfaz web que puede ser consultada desde cualquier navegador. Junto con la información de cobertura de nieves, el sistema cuenta con herramientas que le permiten realizar estimaciones estadísticas de los distintos componentes del balance de masa de nieves mediante modelos lineales de regresión. Esta información se calcula anualmente y está disponible para los usuarios mediante la misma interfaz que permite la visualización de información de cobertura de nieves.

El sistema que provee información respecto a la cobertura de nieves se basa en el uso de imágenes de los productos de cobertura nival diaria de los sensores MODIS/TERRA (Producto MOD10A1v6) y MODIS/AQUA (Producto MYD10A1v6) (Hall y Riggs, 2016a; Hall y Riggs, 2016b). Estos productos entregan la cobertura de nieves y el albedo calculado a partir de la radiancia obtenida por los sensores *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS) a bordo de los satélites TERRA y AQUA. Estas imágenes son de libre acceso y pueden obtenerse gratuitamente desde el servidor del NSIDC (<http://nsidc.org/>).

La herramienta tecnológica está compuesta por un sub-sistema de descarga automatizada de imágenes desde el servidor del NSIDC, un sub-sistema de corrección de imágenes por nubosidad y otros defectos, un sub-sistema de almacenamiento y cálculo de estadísticas, un subsistema de cálculo de las componentes de balance hídrico y finalmente un sistema de despliegue de la información en una página web (Figura 1).

Todos estos sistemas se desarrollaron mediante el lenguaje informático PHP 7.0 y para el almacenamiento y consulta de la información se utilizó un gestor de bases de datos PostgreSQL 9.4 con extensión Postgis. La descarga se realiza mediante programas desarrollados específicamente para esta aplicación en el lenguaje PHP 7.0. La transformación e importación de imágenes a la base de datos se realiza con la ayuda de *Pymodis* 2.0, un conjunto de bibliotecas desarrolladas en el lenguaje *Python*, especializadas en el manejo de imágenes MODIS. El despliegue en la página Web utiliza la *api* de *Google Maps V3* para el despliegue de imágenes y *Chartjs* para el despliegue de datos estadísticos en forma de gráficos. Todos los componentes utilizados son de uso libre, por lo que no requieren el pago de licencia.

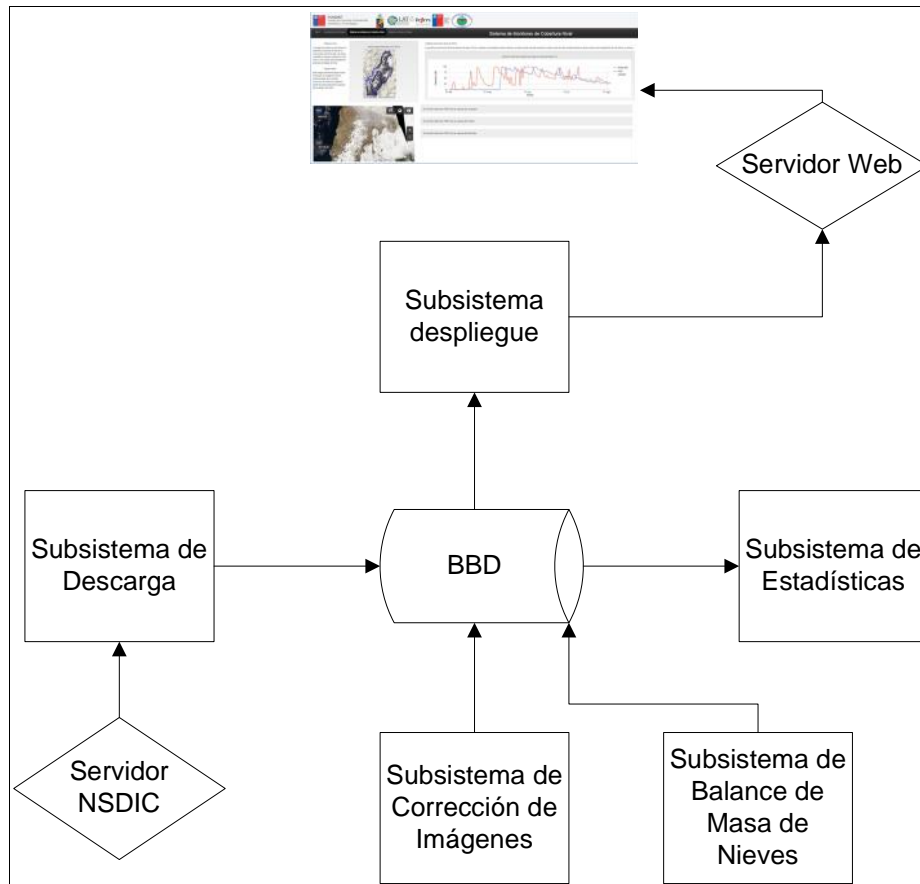


Figura 1 Esquema simplificado del sistema de monitoreo de la cobertura nival.

Sub-sistema de descarga.

El sub-sistema se encarga de mantener actualizada la base de datos con las imágenes que van quedando disponibles diariamente en el servidor NSIDC. Hay dos características importantes del servidor NSIDC que deben tomarse en consideración:

1. Existe un retardo entre la fecha de adquisición de las imágenes originales que se utilizan para calcular la cobertura de nieves y la fecha en que el producto terminado queda disponible para su descarga. Este retardo es aproximadamente de **dos días, por lo que normalmente la última imagen disponible en la base de datos no coincidirá con la fecha de la consulta.**
2. El servidor desde donde se deben descargar estas imágenes suele ser inestable y es común que al intentar una descarga no se obtenga respuesta. Este último aspecto es muy importante para un sistema de descarga ya que no sólo debe ser capaz de descargar automáticamente imágenes desde un servidor remoto, sino que también debe ser capaz de evaluar el resultado de cada descarga y – de ser necesario – reintentar la descarga de aquellos datos perdidos.

Para realizar esta tarea se desarrolló un conjunto de *scripts*¹ en PHP 7.0 que realizan la conexión automática con el servidor NSDIC mediante el protocolo HTTPS y realiza una comparación entre las nuevas imágenes disponibles y las últimas imágenes disponibles en la base de datos local. Una vez descargadas, las imágenes se inyectan en la base de datos, previa transformación a la proyección UTM 19S con DATUM WGS84. Posteriormente, las imágenes ingresadas a la base de datos se someten a una operación de intersección con la cartografía de las cuencas de interés para restringir su extensión al área de estudio.

Todo el proceso de descarga está controlado por un sistema de ejecución programada dependiente del sistema operativo del servidor donde se alojan los datos, el cual ejecuta los *scripts* de descarga diariamente a las 02:15 AM, hora local.

Sub-sistema de almacenamiento.

Este sub-sistema está compuesto por una base de datos de tipo relacional manejada con el gestor de bases de datos PostgreSQL 9.4 alojado en un servidor Linux Centos 7.0. Este gestor cuenta además con la extensión PostGis 2.2 que permite el almacenamiento, consulta y análisis de datos geográficos en el modelo vectorial y raster.

Las características de este sistema de almacenamiento permiten que además de almacenar datos se puedan realizar operaciones de corrección de imágenes y estadísticas. Adicionalmente, por tratarse de un servidor que puede responder a solicitudes en forma remota, este sistema permite el despliegue de la información sobre internet.

Sub-sistema de corrección de imágenes.

La imágenes de cobertura de nieves de MODIS (MOD10A1v6 y MYD10A1v6) versión 6 expresan la cobertura en términos de *Normalized Difference Snow Index* (NDSI), el cual toma valores entre -1 y 1. No obstante, por razones de almacenamiento, las imágenes de estos productos entregan los valores del índice entre 0 y 100, donde 0 se considera terreno desprovisto de cobertura nival y 100 terreno completamente cubierto. Pero además, las imágenes pueden contener presencia de nubes y otros defectos que en las imágenes se codifican con valores que van entre 100 y 255.

Para superar la limitación que significa la presencia de nubes en el monitoreo de cobertura de nieves, se implementó un algoritmo de corrección basado en Zapata (2016) quien aplicó una simplificación del método propuesto por Gafurov y Bárdossy (2009). Básicamente, este proceso consiste en análisis sucesivos entre pares de imágenes para reducir la cantidad de datos no válidos, hasta conseguir una imagen final con el mínimo posible de interferencia por nubosidad:

1. El primer paso consistió en reparar los posibles errores con la utilización de una imagen compuesta con información de MOD10A1v6 (Producto del satélite Terra) y

¹ Pequeño programa, o archivo de órdenes, que realiza diversas tareas como combinar componentes, interactuar con el sistema operativo o con el usuario.

MYD10A1v6 Producto del satélite Aqua) para la misma fecha. Puesto que ambos satélites pasan por el mismo punto con horas de diferencia, es posible suponer que la cobertura de nieves en ambos momentos será equivalente y es posible además que un *pixel*² de una imagen que esté cubierto por nubes, en la otra no lo esté. De esta forma, la primera corrección se obtiene calculando el valor máximo de NSDI entre ambas imágenes.

2. Como segundo paso se utilizó una imagen del día anterior y otra del día posterior a la imagen que se está corrigiendo. En el caso en que un *pixel* esté cubierto por nubes, el valor se estimó por el promedio entre el valor de NSDI de la imagen del día anterior y de la imagen del día posterior.
3. El tercer paso consistió en utilizar un par de imágenes del día posterior y dos días anteriores o bien del día anterior y dos días posteriores. En caso de existir un *pixel* con nubosidad en la imagen que se está corrigiendo, el valor se estimó con los valores de la imagen del día posterior y de dos días antes. Si ese par no existió o alguna de las imágenes presentó nubes, se intentó con la imagen del día anterior y de dos días posteriores.
4. En caso de persistir *pixeles* con nubes, se llevó a cabo una corrección por interpolación de los vecinos más cercanos, asignándose al *pixel* el valor del promedio ponderado por el inverso de la distancia.

Aunque el algoritmo descrito permite corregir efectivamente los *pixeles* inválidos, durante un periodo de marcha blanca realizado el año 2017 se pudo constatar que el producto original de cobertura de nieves de MODIS presenta un error de comisión bajo condiciones de alta presencia de nieve, confundiendo esta cobertura de nieves con cobertura de nubes. Este error en los datos originales limita la efectividad del algoritmo de corrección de nubes ya que bajo estas condiciones no es posible encontrar información que permita corregir dicha información, además del hecho obvio de que se está intentando reparar un error que en realidad no existe. Para solucionar este problema fue necesario recurrir a imágenes con un nivel inferior de procesamiento y aplicar un paso previo al algoritmo de corrección, consistente en la demarcación de zonas del área de estudio que efectivamente está cubierta de nubes y separarla de la que tienen una alta expresión de nieve.

Todo este proceso se realiza de manera automática, utilizando una combinación de *scripts* en PHP 7.0 y operaciones realizadas con PostGIS en el gestor de bases de datos.

Sub-sistema de estadísticas.

El sub-sistema de estadísticas cumple la función de cuantificar y registrar la cobertura de nieves en el área de estudio. Para esto realiza una serie de operaciones de álgebra de mapas sobre las imágenes de cobertura para obtener lo se conoce como estadística zonal. Para esta versión del sistema, las estadísticas zonales solamente comprenden los promedios de NSDI del área de estudio total y dividido por las sub-cuencas Jorquera, Pulido y Manflas. Adicionalmente, se realiza un análisis de cobertura nival sobre imágenes binarias de

² Unidad básica de una imagen digitalizada en pantalla a base de puntos de color o en escala de grises.

cobertura de nieves, donde 1 corresponde a todos los píxeles que se consideran efectivamente cubiertos por nieve y 0 para aquellos en que no lo están. Para esto se realiza una interpretación del valor del NSDI de las imágenes, de manera tal que en aquellos píxeles donde el valor del índice es superior a 40 (o 0.4 en el valor original del índice) se considera cubierto efectivamente por nieve y valores inferiores se consideran descubiertos. El análisis que se realiza en este caso es el porcentaje de la superficie total del área de estudio y de cada una de las sub-cuencas que está cubierta por nieve.

El resultado de estos análisis se almacena en una tabla dentro de la base de datos y queda disponible para su análisis y despliegue posterior.

Sub-sistema de balance de masa de nieves

Este sub-sistema se diseñó para estimar y almacenar información del balance de masa de nieves para las sub-cuencas de los ríos Jorquera, Pulido y Manflas, obtenida por modelación. El sistema utiliza información recolectada en la base de datos del sistema durante el período húmedo de cada año (abril a septiembre) para determinar las variables que se utilizan en el cálculo de la estimación de las componentes del balance. Los algoritmos utilizados permiten calcular las componentes y los intervalos de confianza de cada estimación.

Este sistema opera automáticamente al final de cada período húmedo (abril-septiembre), generando una nueva estimación. Esta estimación se almacena en la base de datos para permitir su consulta en el momento que se desee y facilitar la comparación entre distintos años hidrológicos.

A continuación se hace referencia a aspectos metodológicos de este sub-sistema.

Modelos estadísticos para estimación de pérdidas, transporte y derretimiento de nieve.

Para efectos de poder realizar una predicción anual de las pérdidas y el derretimiento en relación a la cantidad total de nieve caída durante la temporada húmeda (abril-septiembre) se desarrolló un conjunto de ecuaciones de regresión para las subcuencas del río Jorquera, Pulido y Manflas.

El objetivo principal es que los usuarios de la plataforma tecnológica, una vez finalizada la temporada de precipitaciones, puedan hacer una **estimación del orden de magnitud anual** tanto de las pérdidas como del derretimiento del manto de nieve. Esto para efectos de conocer, de forma general, el comportamiento del sistema hídrico en la parte alta de la cuenca del río Copiapó.

Las predicciones respecto a las pérdidas, transporte y derretimiento de nieves se obtienen de un conjunto de ecuaciones de regresión desarrolladas para las subcuencas del río Jorquera, Pulido y Manflas.

Para la construcción de los modelos de regresión se consideraron como variables dependientes las **pérdidas** (sublimación + evaporación), el **derretimiento** y el **transporte** de nieves expresados en unidades de milímetros equivalentes en agua (mm). A continuación se definen los procesos nivales tomados en consideración:

- **Sublimación:** La sublimación corresponde a un proceso físico en donde el agua en estado sólido pasa al estado gaseoso sin pasar por el estado líquido. En la plataforma tecnológica solo se muestra la cantidad de nieve que se sublima desde el manto de nieve durante la temporada húmeda (abril-septiembre).
- **Evaporación:** Proceso físico en el cual el agua en estado líquido cambia a un estado gaseoso. Corresponde a la cantidad de nieve que luego de derretirse se evapora desde el manto de nieve. En la plataforma tecnológica solo se muestra la cantidad de nieve evaporada durante la temporada húmeda (abril-septiembre).
- **Derretimiento:** Proceso físico en el cual el agua en estado sólido cambia a un estado líquido. En la plataforma tecnológica solo se muestra la cantidad de nieve que se derrite durante la temporada húmeda (abril-septiembre).
- **Transporte:** Corresponde a la cantidad de nieve acumulada que es transportada por el viento durante la temporada húmeda (abril-septiembre).

Al respecto, se consideraron los valores promedios simulados por el modelo *Cold Regions Hydrological Model* (CRHM) para el periodo abril-septiembre. Dicho periodo corresponde al momento en que la mayoría de los procesos nivales (evaporación, sublimación, derretimiento y transporte) ocurren en mayor magnitud. CRHM corresponde al modelo utilizado en el proyecto para modelar el balance hídrico de las subcuencas de estudio.

Como variables independientes o predictores de los procesos nivales se consideraron la precipitación y la fracción de cobertura de nieve (FSCA). Para el caso de FSCA se consideró el promedio de la fracción de cobertura de nieves entre los meses de abril y septiembre por subcuenca. Los datos para esta variable derivaron de la interpretación de las imágenes MODIS cuya obtención y análisis es desarrollado de manera automática por la plataforma tecnológica (ver subsistemas de corrección de imágenes y estadísticas). Respecto a la precipitación, se consideraron los montos acumulados entre abril y septiembre. Los datos fueron obtenidos desde la estación DGA Lautaro Embalse por lo que dicha variable es única para las tres subcuencas.

En la plataforma se entregan los intervalos de confianza al 95% para cada estimación expresado en milímetros equivalentes en agua (mm). Además un gráfico muestra los valores estimados para cada proceso expresado en mm en equivalente en agua. Los ajustes de los modelos de regresión se muestran en las siguientes tablas:

Tabla 1 Valores del coeficiente de determinación (R^2) para modelos de regresión desarrollado para la cuenca del río Jorquera.

Variable dependiente	Variabes independientes	R^2	<i>P-value</i>
Pérdidas	FSCA; Precipitación	0.79	< 0.001
Derretimiento	FSCA; Precipitación	0.79	< 0.001
Transporte	FSCA; Precipitación	0.67	0.002

Los valores R^2 y *P-value* corresponden a aquellos calculados para las ecuaciones desarrolladas con los variables dependientes e independientes transformadas.

Tabla 2. Valores del coeficiente de determinación (R^2) para modelos de regresión desarrollado para la cuenca del río Manflas

Variable dependiente	Variabes independientes	R^2	<i>P-value</i>
Pérdidas	Precipitación	0.77	< 0.001
Derretimiento	Precipitación	0.86	< 0.001
Transporte	Precipitación	0.67	< 0.001

Los valores R^2 y *P-value* corresponden a aquellos calculados para las ecuaciones desarrolladas con los variables dependientes e independientes transformadas.

Tabla 3 Valores del coeficiente de determinación (R^2) para modelos de regresión desarrollado para la cuenca del río Pulido

Variable dependiente	Variabes independientes	R^2	<i>P-value</i>
Pérdidas	Precipitación	0.91	< 0.001
Derretimiento	Precipitación	0.90	< 0.001
Transporte	Precipitación	0.77	< 0.001

Los valores R^2 y *P-value* corresponden a aquellos calculados para las ecuaciones desarrolladas con los variables dependientes e independientes transformadas.

Advertencias:

1. Es importante señalar que se buscó correlacionar predictores para cuales se tenga **acceso público y en tiempo real**, por lo que estas variables no se corresponden necesariamente con las forzantes meteorológicas de los procesos nivales considerados en las simulaciones desarrolladas con CRHM.
2. Los modelos de regresión fueron construidos con una **cantidad limitada de datos (14 datos)** por lo que dichos modelos podrían estar **sobreajustados** (ej. valores altos de coeficiente de determinación (R^2)).
3. Se debe considerar que al utilizar valores modelados como variables dependientes, el error de modelación asumido para dichas variables es transmitido al error de los modelos de regresión.
4. Para efectos de cumplir con los supuestos que demandan la construcción de un modelo de regresión lineal (homocedasticidad, normalidad de los residuos del modelo y linealidad) **los datos originales de las variables fueron transformados al momento de desarrollar cada ecuación de regresión.** Finalmente, para obtener una mejor cuantificación del error del modelo (RMSE) se desarrolló una validación cruzada con el método *leave-one-out*.

Sub-sistema de despliegue.

Para facilitar la consulta y visualización de los datos almacenados en el sistema, se desarrolló un sitio web que opera con la tecnología WEB 2.0, vale decir que la información que se despliega en cada visita se actualiza en función de la información disponible en la base de datos.

Este sitio se desarrolló utilizando la técnica de desarrollo Ajax, con HTML 5, Javascript y PHP 7.0. Para el diseño de la página propiamente tal se utilizó *Bootstrap* 3.3.7. Para el despliegue de información cartográfica se utilizó la api de *Google Maps V3* y para el despliegue de las estadísticas de cobertura nival se utilizó *Chartjs*. Todos estos recursos de desarrollo son de uso libre.

Desde el punto de vista funcional este sub-sistema se detalla en la sección siguiente.

Sistema de despliegue de la información

Menú “Inicio”

La Figura 2 muestra la página de inicio de la plataforma. En el menú inferior de esta interfaz inicial, se encuentran enlaces de acceso directo a las diferentes secciones o menús.

En la sección “El Proyecto”, se aborda de manera descriptiva y general la descripción del proyecto, los objetivos e hipótesis y los principales resultados alcanzados. En el menú “Sistema de Monitoreo” se muestran los gráficos de evolución diaria de la cobertura de nieves para la cuenca alta del río Copiapó y las imágenes satelitales de espectro visible y producto de cobertura de nieves de MODIS. Finalmente, en la sección “Balance de masa de nieves” se muestran las estimaciones de los órdenes de magnitud esperados para la temporada húmeda (abril-septiembre) para los componentes del balance de masa de nieves para las subcuencas de los ríos Jorquera, Manflas y Pulido.

Los enlaces de acceso directo a las diferentes secciones se pueden encontrar, también, en el menú superior de la interfaz de inicio.

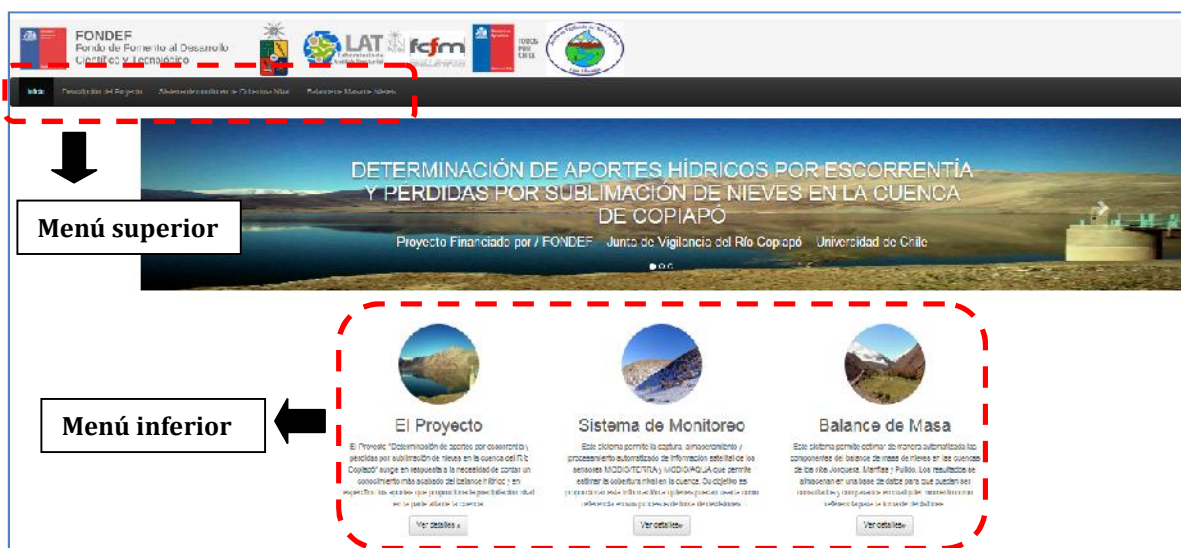


Figura 2. Interfaz de inicio de la plataforma tecnológica de transferencia de la información.

Menú “Descripción del proyecto”

La Figura 3 muestra la página correspondiente al menú “Descripción del proyecto”. En esta sección se describe de manera general el alcance del proyecto, los objetivos y las hipótesis científicas que motivaron la realización del presente proyecto. Además se hace mención a los principales resultados obtenidos. A esta página se accede haciendo *click* en el enlace “Descripción del Proyecto”.



Figura 3 Interfaz correspondiente a la sección “Descripción del Proyecto”.

Menú “Sistema de Monitoreo de Cobertura Nival”

La Figura 4 muestra la página correspondiente al menú “Sistema de Monitoreo de Cobertura Nival”. En esta interfaz se muestra información respecto a la cobertura de nieves que proviene del análisis de los productos MOD10A1v6 y MYD10A1v6 de MODIS y su variabilidad a través del tiempo tanto a nivel de subcuenca como de toda la cuenca alta del río Copiapó. Además, la interface permite acceder a imágenes satelitales MOIDS de espectro visible.

A esta página se accede haciendo *click* en el enlace “Sistema de Monitoreo de Cobertura Nival”.

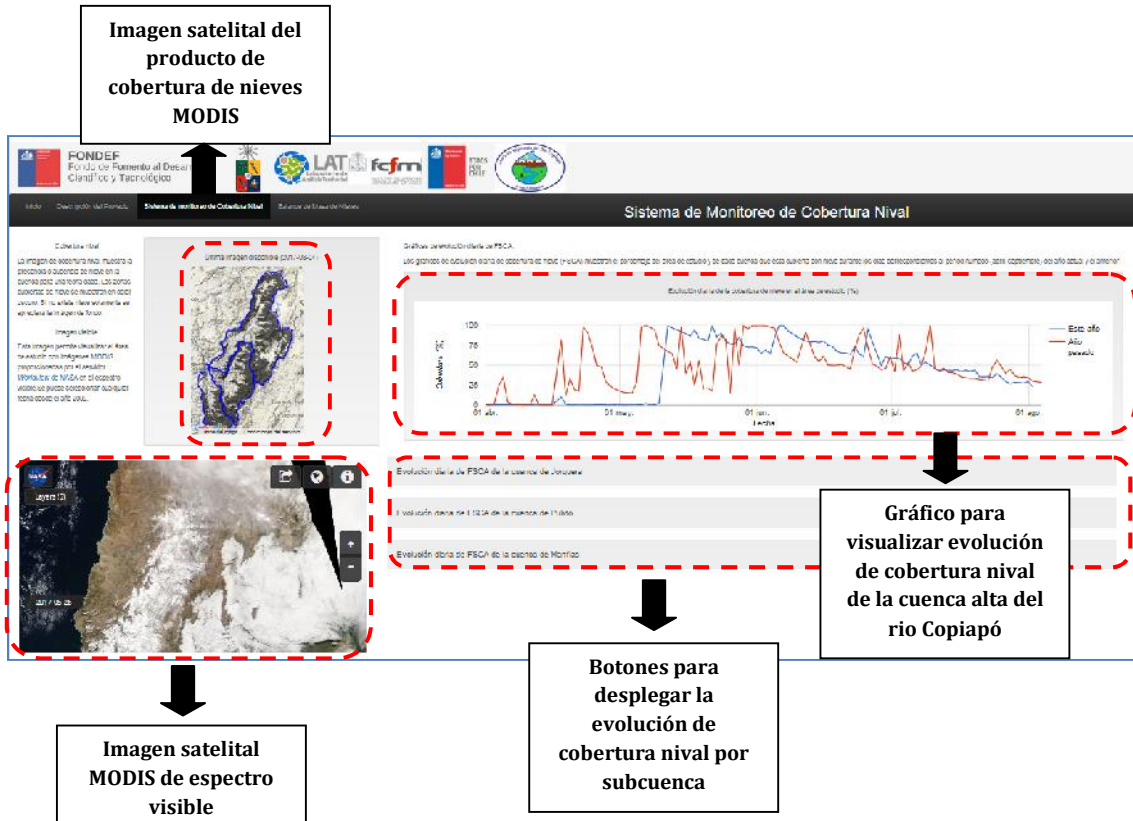


Figura 4 Interfaz de despliegue de información de cobertura nival, visualizado sobre un navegador Mozilla Firefox 55.0.3

Visualización de imágenes satelitales

El sitio ubicado dentro del menú “Sistema de Monitoreo de Cobertura Nival” permite al usuario visualizar la última imagen de cobertura de nieves disponible en la base de datos, en su forma binaria tal como se describe en la sección de estadísticas, sobre una ventana de *Google Maps* de tipo “terreno” que carga además un mapa vectorial de las cuencas del estudio a modo de referencia (Figura 5). En este modo de visualización, las zonas cubiertas por nieve según la interpretación del índice NSDI a su forma binaria aparecen en color gris, mientras que las zonas no cubiertas muestran solamente el terreno de fondo proporcionado por *Google Maps* (Figura 5).



Figura 5. Despliegue de la última imagen satelital disponible en la base de datos sobre una ventana de Google Maps. Las áreas cubiertas con nieve se visualizan en color gris oscuro.

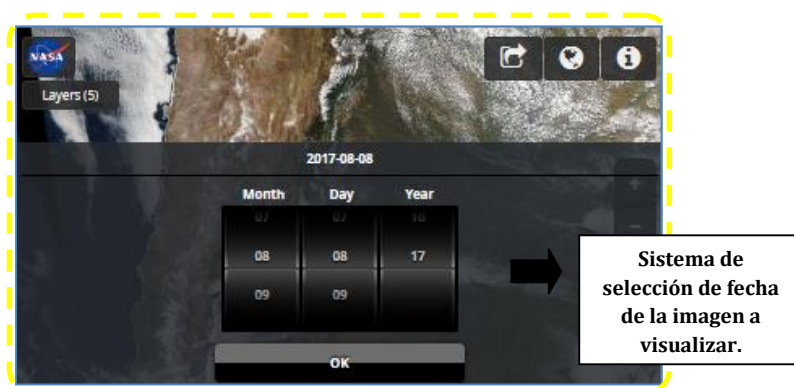
A diferencia del tipo de imagen anterior (Figura 5), la imagen MODIS de espectro visible (Figura 6) corresponde a una imagen en la que es posible visualizar la superficie de la tierra tal como “si la estuviéramos viendo con nuestros ojos”. Es importante señalar que esta imagen está disponible solamente de día y que las nubes impiden la observación de la superficie aunque exista luz solar. Es importante señalar que estas imágenes y las herramientas del visualizador son proporcionadas por el servidor EOSDIS Worldview de NASA (<https://worldview.earthdata.nasa.gov/>) y se incorporan a la plataforma mediante un enlace a dicho servidor.

La fecha de la imagen puede ser seleccionada por el usuario a través del “botón de selección” (ver Figura 6). Tal como se muestra en la Figura 6 el usuario debe presionar el “botón de selección” para que se despliegue el “sistema de selección de fechas”. Una vez seleccionada la fecha, el usuario debe presionar el botón “OK” para que pueda desplegarse la imagen elegida.

El objetivo de poner ambos tipos de imágenes (imagen de cobertura de nieves e imagen de espectro visible) es que el usuario pueda tener una mejor claridad de la situación actual respecto a la cobertura de nieves para una determinada fecha.



A



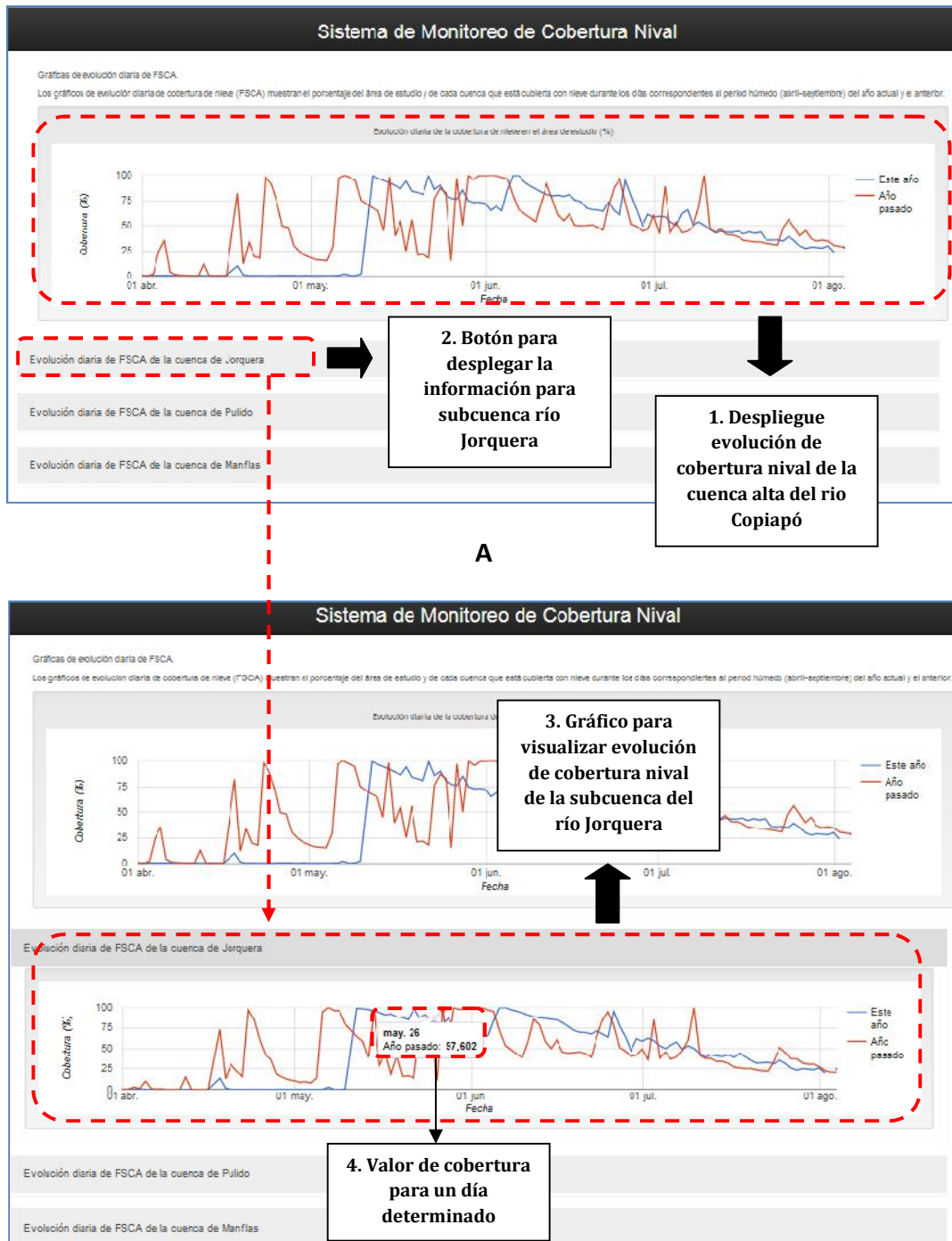
B

Figura 6. A. Despliegue de imagen satelital visible MODIS para la fecha seleccionada por el usuario. **B.** Interfaz para selección de fecha de la imagen a visualizar.

Visualización de estadísticas de la cobertura nival

Las estadísticas de cobertura para el área de estudio se presentan al usuario en la forma de gráficos de series de tiempo que muestran la evolución diaria de la cobertura de nieves en términos del **porcentaje del área total cubierta (%)**, para el área de estudio total y separado por las cuencas de los ríos Jorquera, Pulido y Manflas. Esta información se presenta como una serie de tiempo que cubre desde el primer día del año en que se realiza la consulta y el último dato disponible en la base de datos. Esta serie se muestra además compara con el mismo periodo del año anterior (Figura 7).

ADVERTENCIA: Es importante recalcar que estas estadísticas **solo describen la cobertura de nieves** para un determinado momento y **no hacen referencia a la cantidad de nieve caída** en la cuenca alta del río Copiapó. Por lo tanto, **no es posible hacer una inferencia sobre el volumen de nieve** existente en un momento dado ni su expresión en término de equivalente en agua.



A

B

Figura 7. Despliegue de series de tiempo para el área de estudio y las distintas sub-cuencas.

En la Figura 7 se muestran los diferentes elementos de esta interface. Al respecto, para poder desplegar la información de una subcuenca en particular, el usuario deberá presionar el botón de despliegue (Caja N°2 en la figura) correspondiente a la subcuenca que se quiere visualizar (Jorquera, Pulido o Manflas). Una vez presionado dicho botón (Caja N°2 en la figura) se

desplegará la serie estadística de la subcuenca elegida (Caja N°3 en la figura). Además el usuario podrá consultar la información respecto a la cobertura de nieves existente en un momento en particular (Caja N°4 en la figura), haciendo un *click* con el mouse del computador sobre la línea que representa la serie de tiempo a consultar (roja: año pasado; azul: año actual).

Menú “Balance de Masa de Nieves”

La Figura 8 muestra la interface del menú “Balance de Masa de Nieves”. Al respecto, el usuario podrá consultar, para cada subcuenca, las estimaciones calculadas de los diferentes componentes del balance de masa de nieves una vez finalizado la temporada húmeda (periodo abril-septiembre). Este periodo corresponde al momento dentro del año hidrológico en el cual se producen los procesos nivales en su mayor magnitud. En función de las variables precipitación y cobertura de nieves (ver sección “Sub-sistema de balance de masa de nieves”), el sistema estimará, de manera automática y al día 1 de octubre de cada año, **el orden de magnitud** de los procesos de sublimación, evaporación, derretimiento y transporte de nieves.

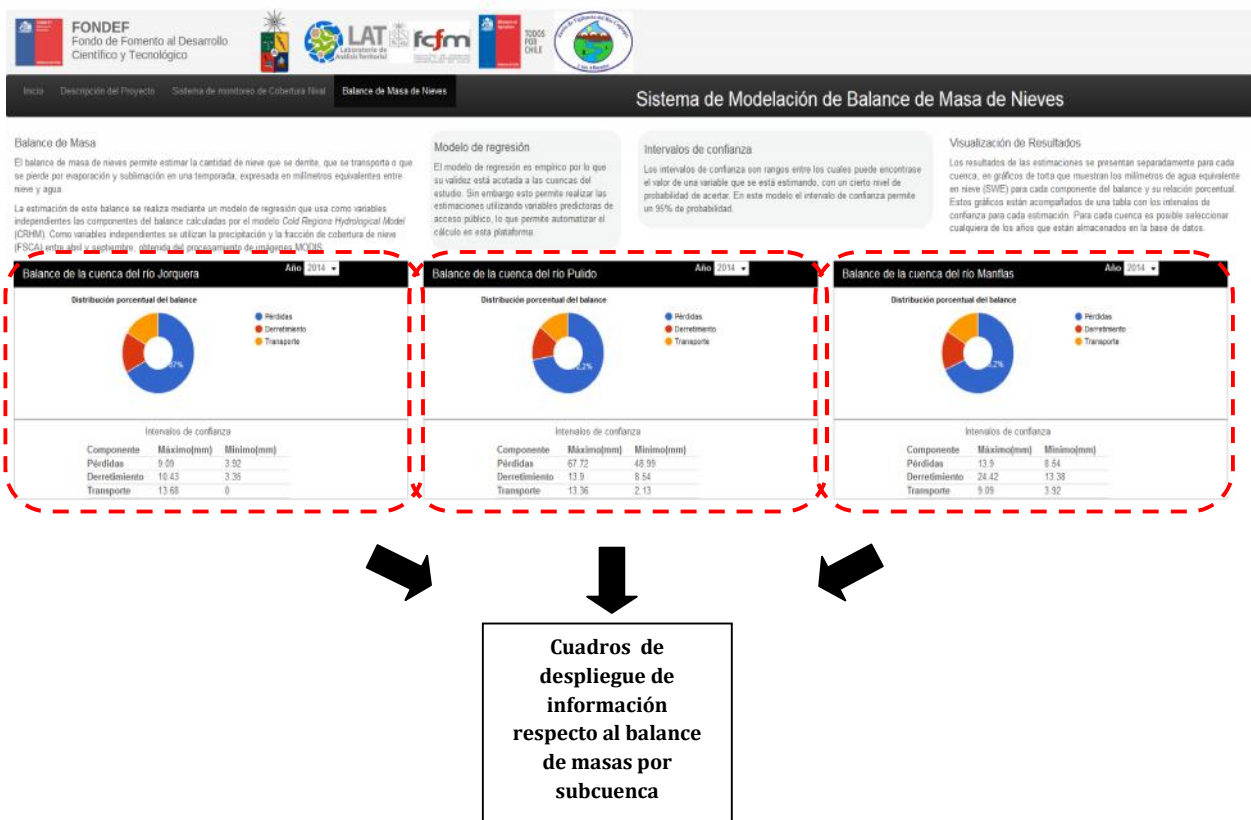


Figura 8 Interfaz de despliegue de información de balance de masa de nieves por subcuenca

En la Figura 9, se muestra en detalle la información entregada a nivel de subcuenca. Para realizar la consulta, el usuario deberá seleccionar el año de interés utilizando el selector

indicado por la Caja N°1 de la figura. Una vez seleccionado el año, se desplegarán los valores promedio estimados para el periodo abril-septiembre para los componentes: pérdidas, transporte de nieve y derretimiento (para ver definición de cada componente ir a sección Sub-sistema de balance de masa de nieves). Las unidades de cada estimación corresponden a milímetros (mm) en equivalente en agua.

El sitio muestra un gráfico de tortas que describe la distribución porcentual de cada componente (Caja N°2 de la Figura 9), y una tabla con los valores promedio mínimos y máximos estimados (Caja N°3).

Se recalca que la información entregada en este menú es de carácter referencial y está sujeta a las limitaciones metodológicas y científicas explicadas en la sección “Sub-sistema de balance de masa de nieves”.

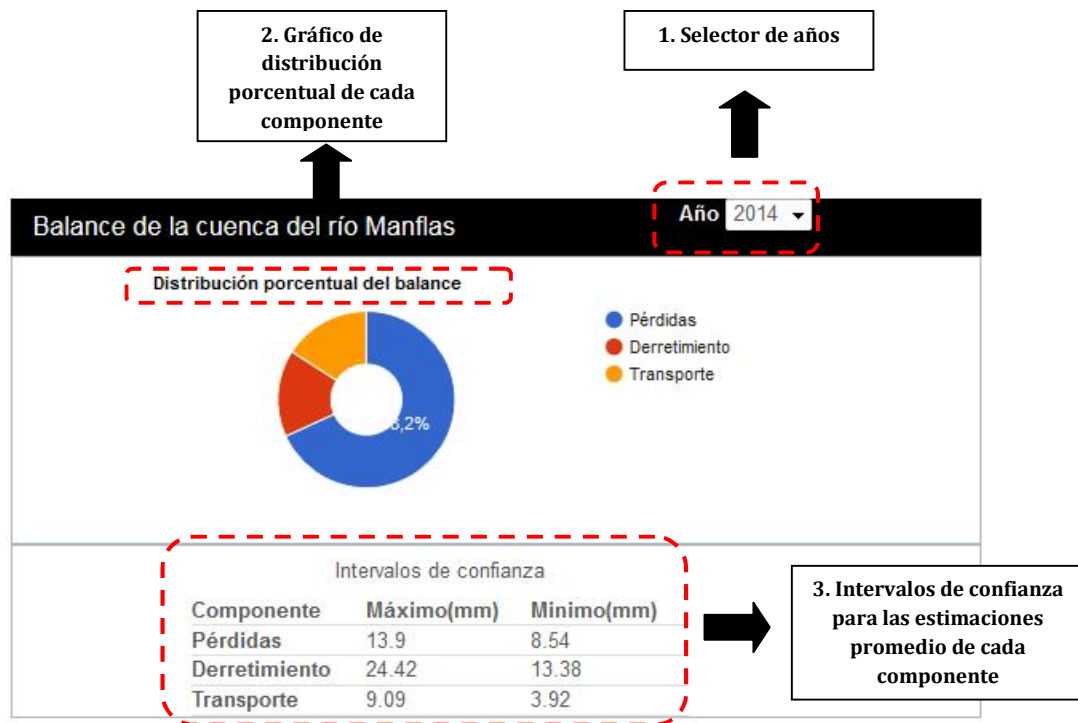


Figura 9 Interfaz de despliegue de información de balance de masa de nieves para una cuenca en particular.

Referencias

Gafurov, A., & Bárdossy, A. (2009). Cloud removal methodology from MODIS snow cover product. *Hydrology and Earth System Sciences*, 13(7), 1361-1373.

Hall, D. K. and G. A. Riggs. 2016 a. *MODIS/Terra Snow Cover Daily L3 Global 500m Grid, Version 6. MOD10A1*. Boulder, Colorado USA. NASA National Snow and Ice Data Center Distributed Active Archive Center. doi: <http://dx.doi.org/10.5067/MODIS/MOD10A1.006>.

Hall, D. K. and G. A. Riggs b. 2016. *MODIS/Aqua Snow Cover Daily L3 Global 500m Grid, Version 6. MYD10A1*. Boulder, Colorado USA. NASA National Snow and Ice Data Center Distributed Active Archive Center. doi: <http://dx.doi.org/10.5067/MODIS/MYD10A1.006>.

Zapata, C. 2016. Relación entre la cobertura nival y la escorrentía superficial en las cuencas cabeceras del río Copiapó. Memoria para optar al título profesional de Ingeniero en Recursos Naturales Renovables. Universidad de Chile.

Glosario

Balance de masa de nieves. Corresponde al equilibrio entre todos los componentes nivales (ej. nieve caída, derretimiento, sublimación, evaporación, transporte) que ingresan al sistema (ej. subcuenca) y los que salen del mismo en un intervalo de tiempo determinado.

Balance hídrico. Corresponde al equilibrio entre todos los componentes hídricos que ingresan al sistema (ej. subcuenca) y los que salen del mismo en un intervalo de tiempo determinado.

Derretimiento: Proceso físico en el cual el agua en estado sólido cambia a un estado líquido. En la plataforma tecnológica solo se muestra la cantidad de nieve que se derrite durante la temporada húmeda (abril-septiembre).

Evaporación: Proceso físico en el cual el agua en estado líquido cambia a un estado gaseoso. Corresponde a la cantidad de nieve que luego de derretirse se evapora desde el manto de nieve. En la plataforma tecnológica solo se muestra la cantidad de nieve evaporada durante la temporada húmeda (abril-septiembre).

Fracción de cobertura de nieve (FSCA). Corresponde a la fracción o porcentaje de un área (ej. una subcuenca) que se encuentra cubierta de nieve.

Intervalo de confianza. En estadística corresponde a un intervalo en donde es posible, bajo un rango de probabilidad (ej. 95%), encontrar un valor determinado (ej. el valor de derretimiento dada un valor de precipitación y FSCA).

Modelo de regresión lineal. En estadística corresponde a un modelo matemático usado para aproximar la relación de dependencia entre una variable dependiente (ej. derretimiento) y las variables independientes (ej. Precipitación, FSCA). Tiene asociado un término que explica el error.

Pérdidas. En la plataforma tecnológica corresponde a la suma de los componentes nivales de sublimación y evaporación.

R². Coeficiente de determinación. Indica la proporción de variación de la variable dependiente (ej. derretimiento) que es explicada por la/las variables independientes (ej. precipitación y/o FSCA).

Sublimación: La sublimación corresponde a un proceso físico en donde el agua en estado sólido pasa al estado gaseoso sin pasar por el estado líquido. En la plataforma tecnológica solo se muestra la cantidad de nieve que se sublima desde el manto de nieve durante la temporada húmeda (abril-septiembre).

Transporte: Corresponde a la cantidad de nieve acumulada que es transportada por el viento durante la temporada húmeda (abril-septiembre).

Valor promedio estimado. Corresponde al valor calculado para la variable dependiente (ej. derretimiento) por el modelo de regresión lineal dado valores determinados en las variables independientes (ej. precipitación y/o FSCA).