

Sistema de Información Especializado para Administrar, Procesar y Corregir Datos Glaciológicos.

Erick Cuenca, Oswaldo Díaz, Mauricio Campaña

Departamento de Ciencias de la Computación, Escuela Politécnica del Ejército, Sangolquí, Ecuador.
ecuenca@inamhi.gob.ec, {odiaz, ecampana}@espe.edu.ec

RESUMEN: Para el estudio del comportamiento de un glaciar se hace imprescindible tener datos glaciológicos actualizados y validados que conlleven al análisis ordenado y profundo que se presenta en el glaciar. El presente artículo expone la implementación de un sistema de información especializado cuyo objetivo es remediar esta deficiencia informática mediante la administración, procesamiento, corrección y validación los datos glaciológicos que intervienen en el estudio de un glaciar, centralizando en una base de datos toda información proveniente de las lecturas de campo, posiciones geográficas y coherencia espacial de balizas del glaciar. Se ha conseguido la automatización de los cálculos, corrección y relleno de balances de masas mensuales y anuales, empleando la repartición de la ablación de la baliza en un determinado periodo de tiempo, tomando en cuenta la posición espacial de las balizas vecinas con las cuales se relaciona. En consecuencia, se han implementado rutinas dentro del sistema de información especializado tanto para la visualización y validación de los datos, como para la emisión de cuadros y gráficos más relevantes en la elaboración de informes.

ABSTRACT: To study the behavior of a glacier is essential to have updated and validated glaciological data that lead to orderly and thorough analysis presented in the glacier. This paper presents the implementation of a specialized information system which aims to remedy this deficiency by the administration computer, processing, correction and validation glaciological data involved in the study of a glacier in a centralized database of all information from field readings, geographic locations and spatial coherence of the glacier of beacons. It has achieved the automation of the calculations, correction and filling mass balances monthly and yearly, using the distribution of ablation of the mark in a given period of time, taking into account the spatial position of the neighboring beacons with which it relates. As a result, routines have been implemented within the specialized information system for both viewing and validating data, and for the issuance of relevant pictures and graphics in reporting.

1. INTRODUCCIÓN

El programa GREAT ICE (Glaciers et Ressources en Eau des Andes Tropicales Indicateurs Climatiques et Environnementaux), es un programa regional que se desarrolla en Ecuador, Perú y Bolivia, y tiene como objetivo la comprensión del clima a través del estudio de los glaciares tropicales andinos. Ha sido creado en Junio de 1994 con las contrapartes del IRD (Institut de Recherche pour le Développement), INAMHI (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología), EMAAP-Q (Empresa Metropolitana de Alcantarillado y Agua Potable de Quito), estudia el cambio climático y las consecuencias de los eventos ENSO (El Niño Southern Oscillation) y del calentamiento global en los glaciares tropicales (Antisana, monitoreo Glaciar 15 y Glaciar Crespos y Carihuairazo), con la medición, en lenguas glaciares, del balance de masa a nivel mensual o bianual y del balance de energía en continuo (Antisana), siendo la finalidad una modelización de los parámetros climáticos y meteorológicos que van hacer evolucionar al glaciar.

Frente a este escenario no existe en el mercado un sistema de información que brinde la funcionalidad de almacenar, procesar, corregir y presentar dichos datos aprovechando las mediciones tomadas de la red de balizas instaladas en los glaciares del Antisana y posteriormente los datos resultantes del cálculo del balance de masa mensual y anual, así como las coordenadas y mapas de la

red de balizas. Con las diferentes tecnologías informáticas y bases de datos existentes en la actualidad, es posible analizar, diseñar e implementar un sistema de información que ayude a la automatización del procesamiento, corrección y presentación de los datos glaciológicos.

El presente artículo está organizado de la siguiente manera: Sección 2 describe los fundamentos técnicos de los parámetros que intervienen en la administración de un glaciar y sus datos glaciológicos. Sección 3 detalla el diseño e implementación del sistema de información especializado y se muestra los resultados validados en cuadros y gráficos. Finalmente, en la sección 4 se presentan las conclusiones.

2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1. Glaciar

Un glaciar es una masa de hielo que se alimenta de agua sólida, nieve o granizo, la transforma por compactación o ciclos sucesivos de fusión y re congelamiento en hielo y la restituye luego en estado gaseoso (evaporación y sublimación) o estado líquido (agua del torrente emisario o de infiltraciones). El análisis de esos ingresos y esas pérdidas de agua se conoce con el nombre de balance de masa del glaciar. [1]

Un glaciar es considerado como un objeto hidrológico compuesto por acumulación, compactación y re cristalización de la nieve, cuya masa cambia a corto y largo plazo dependiendo de la evolución que tenga el clima. La fusión¹ y sublimación² son dos factores meteorológicos que influyen directamente en el comportamiento de un glaciar.

Los glaciares son una reserva de agua dulce para el planeta, las ciudades cercanas a éstos dependen de ellos para el suministro de agua. Aproximadamente, el 80% del abastecimiento de agua cruda para la ciudad de Quito proviene de cuencas que tienen una porción superficial con cobertura glaciar. Glaciares como el 15 y Crespos del Antisana son muy importantes en este contexto debido a que alimentan ríos, que recogen aguas producto de la fusión. [2]

2.2. Balance de Masa

Se define como la diferencia entre la acumulación (precipitaciones sólidas, escarchas, aportes del viento) y la ablación (fusión, sublimación) a lo largo del tiempo, en general un año hidrológico. Se expresa en metros cúbicos, en toneladas de hielo o de equivalente agua estimando la densidad del material de la nieve, de la neviza o del hielo.

El balance de masa durante un periodo puede ser positivo (ganancia de masa), negativo (pérdida de masa) o equilibrado. El balance de masa B se determina mediante la diferencia entre la acumulación y ablación que se ha producido durante cierto intervalo de tiempo (generalmente un año hidrológico) y representa el cambio de masa que ha experimentado el glaciar. Cuando el balance se expresa en términos de volumen equivalente de agua (ya sea en metros cúbicos o milímetros de agua prorrateada sobre toda la superficie del glaciar), se denomina balance neto específico (B_n) (Ecuación 1), y se define mediante la relación: [3]

$$B_n = \int S_c * b_n * dS + \int S_a * b_n * dS$$

Ecuación 1: Balance neto específico

Dónde:

B_n = Balance neto específico.

S_c = Es el área de la zona de acumulación.

S_a = Es el área de la zona de ablación.

b_n = Balance en cada punto glaciar.

¹ Paso del estado sólido al líquido, por el calor.

² Paso del estado sólido al gaseoso sin pasar por el estado líquido.

2.3. Estimación del balance

En la estimación del balance de masa de un glaciar se emplean diversos métodos, entre los cuales consta el método de las restitutiones aerofotogramétrica que permite calcular las variaciones del volumen de hielo entre dos fechas, separadas generalmente por varios años. [4]

Se utiliza también el método hidrológico que a escala anual, calcula la diferencia entre la cantidad de hielo acumulado por las precipitaciones sólidas P , y los egresos debidos a la ablación E (evaporación y sublimación) y la fusión R . Al disponer de la respectiva información, el balance neto B_n se obtiene aplicando la siguiente ecuación: [5]

$$B_n = P - R - E$$

Ecuación 2: Balance neto

Dónde:

B_n = Balance neto específico, en mm de agua.

P = Precipitación.

R = Esguerrimiento.

E = Evaporación o sublimación.

2.4. Área de acumulación en relación al área total del glaciar

El valor que tiene el balance en diversos puntos altitudinales del glaciar no es constante ya que varía de un lugar a otro. La tasa de variación que presenta el balance a medida que aumenta la posición altimétrica se denomina Gradiente Vertical del Balance (GVB), y se la calcula mediante su derivada db/dz . Usualmente se la expresa en: milímetros equivalentes de agua /metro de desnivel (mm/m). [6]

2.5. Línea de equilibrio

Equilibrium Line Altitude (ELA), es la línea que une los puntos de un glaciar donde el balance de masa tiene nivel altimétrico nulo, la misma delimita a la zona de acumulación (donde la acumulación es mayor a la ablación) respecto de la zona de ablación (donde la acumulación es menor a la ablación). La altura de la línea de equilibrio (Foto 1) está correlacionada negativamente con el balance de masa del glaciar. [7]



Foto 1: Línea de equilibrio, Antisana, glaciar 15a

Una vez que la posición de la línea de equilibrio ELA ha sido establecida, se puede calcular la relación (en %) entre la superficie de la zona de acumulación y la superficie total del glaciar (Accumulation Area Ratio AAR). Esta propiedad hace posible que luego de algunos años de medición, se puedan calcular los valores que tienen la línea ELA y la relación AAR cuando el balance alcanza su punto de equilibrio ($B_n = 0$); esos valores son representados con los símbolos ELA_0 y AAR_0 respectivamente. [8]

2.6. Red de balizas

Las balizas están constituidas por seis tubos de plástico, de dos metros cada uno, que se encuentran unidas entre sí y numeradas en forma ascendente desde la base en el glaciar, las cuales permiten realizar mediciones mensuales de la altura de la nieve para estimar el balance en la zona de ablación. Fueron instaladas mediante la sonda a vapor elaborada por el Laboratorio de Glaciología de Grenoble (LGGE, CNRS). La colocación de la primera red de balizas en el Antisana - Glaciar 15α se la realizó en el año de 1994 y en el Antisana - Glaciar Crespos en el año 2005. [9]



Foto 2: Baliza de ablación

2.7. Método de cálculo

Para realizar el cálculo del balance de masa en la zona de ablación, se toma en cuenta la medición de la emergencia total de cada baliza y el espesor total de la nieve que se acumula sobre la capa de hielo, se usa la siguiente ecuación:[10]

$$B = -0.9(H_{m+1} - H_m) + 0.4(N_m - N_{m+1})$$

Ecuación 3: Cálculo del balance de masa

Dónde:

B = Balance, equivalente en mm de agua de la cantidad de hielo/nieve perdida por el glaciar en el sitio de cada baliza.

N = Espesor de la capa de nieve en cm.

e = Emergencia del extremo de la baliza con respecto a la superficie superior en cm.

H = N + e = Emergencia de la baliza respecto a la superficie del hielo en cm.

m = Mes dado.

m + 1 = Mes posterior.

0.9 = Densidad promedio del hielo.

0.4 = Densidad promedio de la nieve.

2.8. Ejemplo de cálculo de masa

En el siguiente ejemplo (Figura 1) se muestra el resultado del cálculo de balance de masa en una baliza, utilizando la ecuación de cálculo establecida (Ecuación 3).

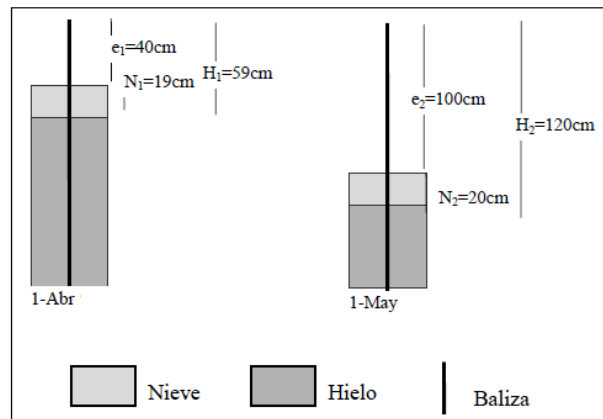


Figura 1: Ejemplo de cálculo de balance de masa

$$B = -0.9(H_{m+1} - H_m) + 0.4(N_m - N_{m+1})$$

Dónde:

B = Balance, equivalente en mm de agua de la cantidad de hielo/nieve perdida por el glaciar en el sitio de cada baliza.

N = Espesor de la capa de nieve en cm.

e = Emergencia del extremo de la baliza con respecto a la superficie superior en cm.

$H = N + e$ = Emergencia de la baliza respecto a la superficie del hielo en cm.

$Abril = H_m = 59cm$.

$Abril = N_m = 19cm$.

$Mayo = H_{m+1} = 120cm$.

$Mayo = N_{m+1} = 20cm$.

0.9 = Densidad promedio del hielo.

0.4 = Densidad promedio de la nieve.

Reemplazando en la ecuación de cálculo del balance de masa (Ecuación 3) se obtiene:

$$\begin{aligned} B &= -0.9(120cm - 59cm) + 0.4(19cm - 20cm) \\ B &= -0.9(61cm) + 0.4(-1cm) \\ B &= -54.9cm - 0.4cm \\ B &= -55.3cm \text{ de agua} \end{aligned}$$

3. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN

Para el sistema de información se utilizó el lenguaje de programación Visual Basic.NET 2010 Ultimate que posee herramientas de análisis y diseño que optimizan los procesos durante el desarrollo del sistema. Se usó Microsoft Excel 2010 que es un programa para analizar, administrar y compartir información y acceder fácilmente a datos importantes.

Con la finalidad de cumplir con las especificaciones del sistema de información se integró una base de datos en Microsoft SQL Server 2008, donde se encuentran centralizados los datos glaciológicos de los glaciares estudiados, así como se automatiza los cálculos, corrección y validación de balances de masa mensuales y anuales, posiciones geográficas y coherencia espacial de balizas y glaciares, con lo que se puede realizar un análisis ordenado y profundo de dichos datos, emitiendo los cuadros y gráficos más relevantes para la elaboración de informes en tiempo real, enlazando con Microsoft Excel para realizar importación de datos, los formatos para exportar datos son .XLS, .DOC, .PDF.

3.1. Metodología

La implementación del sistema de información requirió de una clasificación, organización y recopilación de datos de balizas y balances de masa existentes en el programa GREAT ICE y de un análisis previo de los procesos usados actualmente por los técnicos encargados de la administración, procesamiento y corrección de datos, para se puedan desarrollar reglas de negocio claras y funcionales, por lo cual se ha escogido la metodología RUP para el desarrollo de este sistema de información junto con el estándar UML, apoyado por la norma IEEE 830 asegurando la integración de los requerimientos desde la perspectiva del usuario y desarrollador, cumpliendo con todas las fases de la metodología desde su inicio hasta la transición y capacitación de uso del sistema de información hacia sus usuarios, y de esta manera culminar de manera exitosa el proyecto.

El RUP no es un sistema con pasos firmemente establecidos, sino es una metodología adaptable al contexto y necesidades de cada organización. [11]

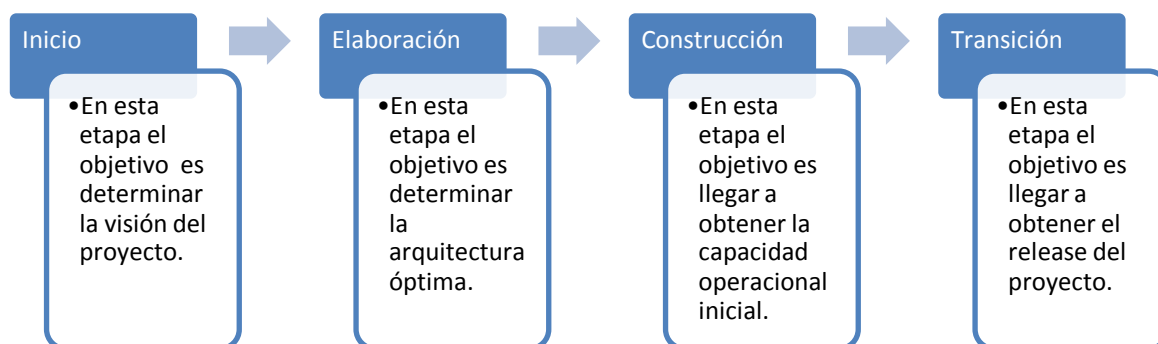


Figura 2: Fases aplicadas al sistema de información, en base a la metodología RUP

Todas las fases no son idénticas en términos de esfuerzo y tiempo ya que depende del proyecto, para el desarrollo del sistema de información se tiene la siguiente tabla de distribución de esfuerzo y tiempo en cada una de las fases de la metodología RUP:

	INICIO	ELABORACIÓN	CONSTRUCCIÓN	TRANSICIÓN	
Esfuerzo (%)	5%	20%	65%	10%	100%
Tiempo (%)	10%	30%	50%	10%	100%

Tabla 1: Esfuerzo y tiempo en las fases del RUP para el sistema de información

Para recoger la especificación de requisitos del sistema de información se utilizó la norma IEEE 830 1998, con la finalidad de satisfacer los requerimientos mediante entrevistas y el estudio de los problemas de las unidades afectadas y sus necesidades actuales, enfocado en establecer el mejor diseño que se ajuste a los requerimientos obtenidos de los técnicos.

La norma está orientada fundamentalmente a la especificación de requisitos para software cuyo desarrollo se va a contratar, pero puede aplicarse también como ayuda en la selección de productos de software comercial o desarrollado internamente en una organización. Esta norma describe la especificación de requisitos de software, cuyos principales beneficios son:

- Servir como base para el acuerdo entre cliente y proveedor sobre lo que el software ha de hacer.
- Reducir el esfuerzo de desarrollo.
- Proporcionar la base para la estimación de costes y plazos.
- Facilitar la transferencia de software, a nuevos usuarios o nuevas máquinas.
- Servir de base para ampliaciones o mejoras

3.2. Diagrama de comportamiento

El sistema de información interactúa con 4 actores diferentes:

- Asistente de digitación.
- Personal GREAT ICE (Co responsables del programa).
- Técnico glaciólogo.
- Administrador de base de datos.

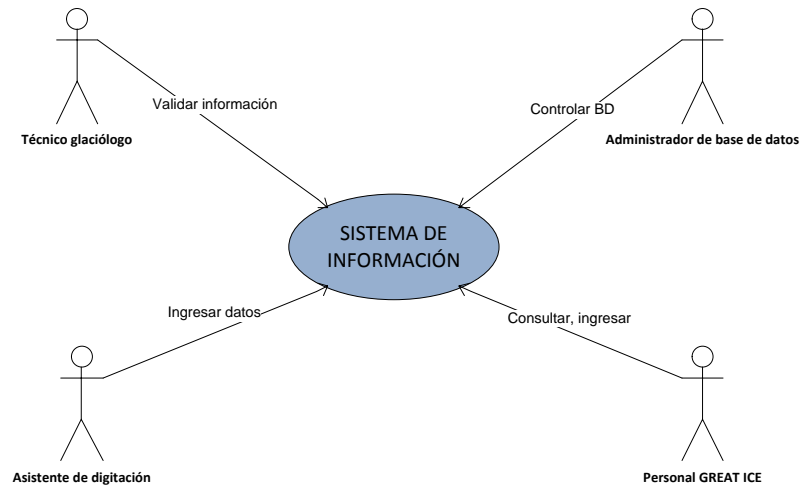


Figura 3: Diagrama de comportamiento del sistema de información

3.3. Diagrama de casos de uso general

Los actores que intervienen en el sistema de información tienen una jerarquía que está organizada desde el asistente de digitación hasta el administrador de base de datos, además tienen roles y funciones específicas, como se muestra a continuación.

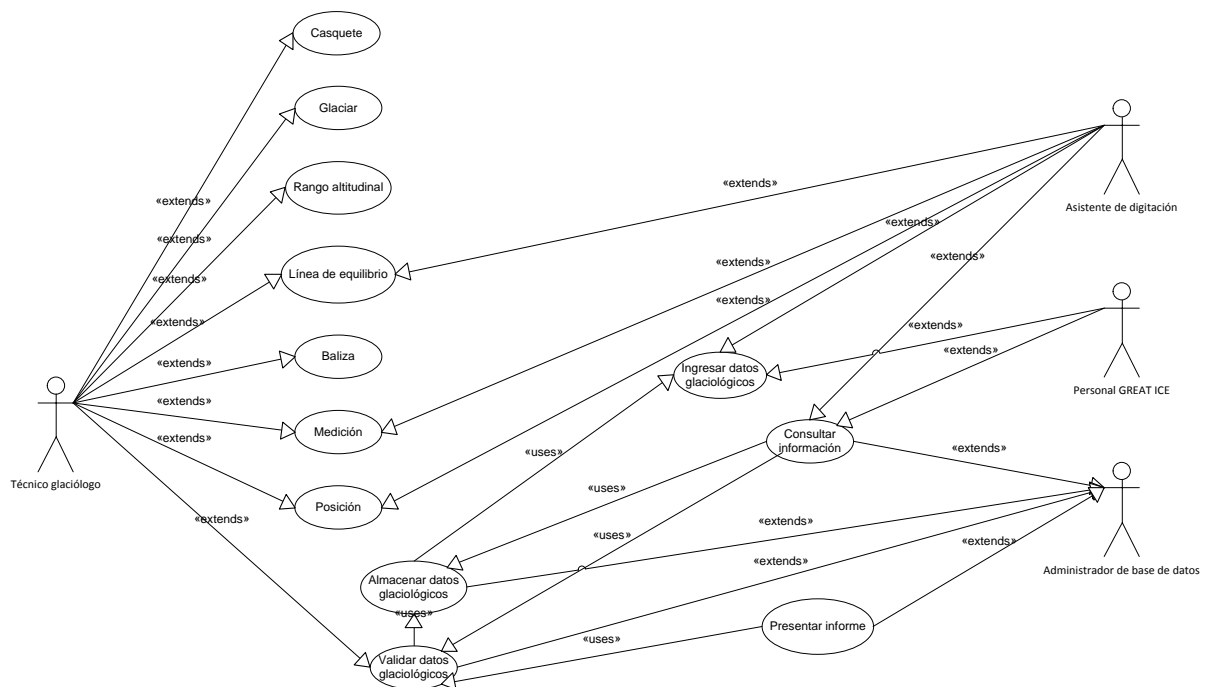


Figura 4: Diagrama de casos de uso general

3.4. Creación de la base de datos

Para proceder a la consolidación de la base de datos, se ordenaron cronológicamente y clasificaron por glaciación los datos almacenados en formato papel desde el año 1994 hasta el año 2005. Desde el año 2006 hasta la actualidad los datos mensuales se encuentran en formato digital de hojas Excel que de igual forma se clasificaron y organizaron para ser ingresados a la base de datos.

3.5. Diagrama de componentes del sistema de información

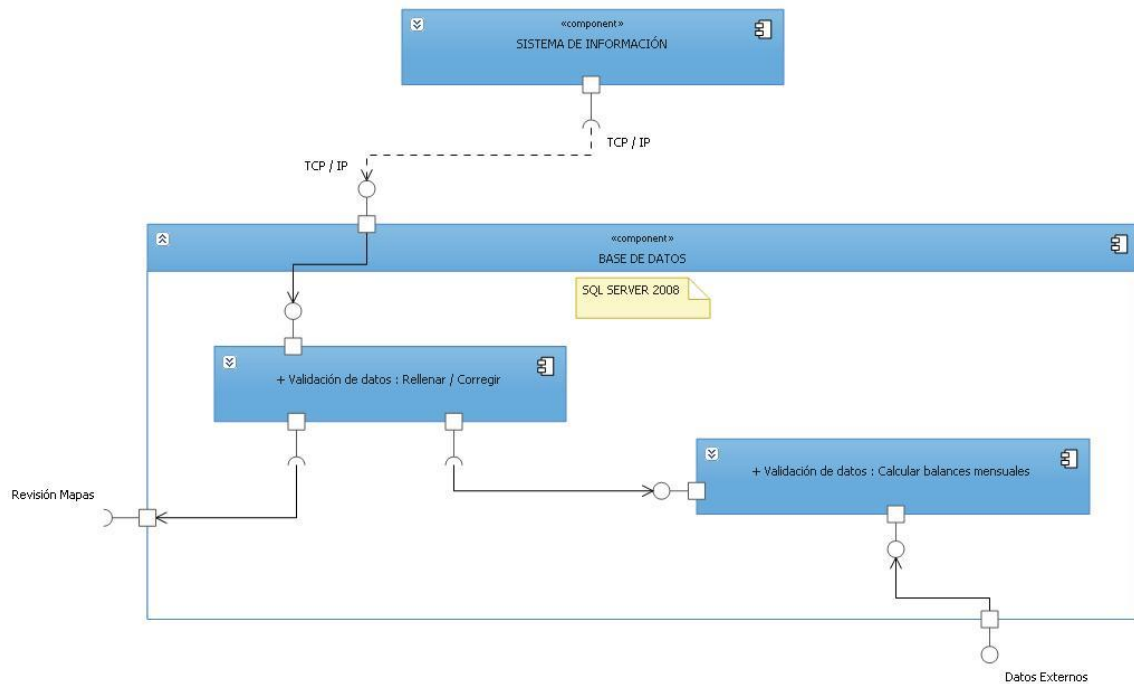


Figura 5: Diagrama de componentes del sistema de información

3.6. Diagrama de despliegue

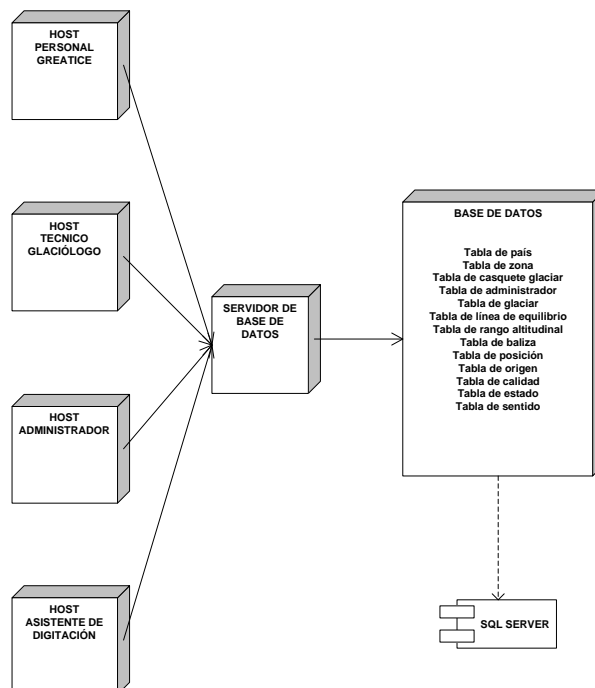
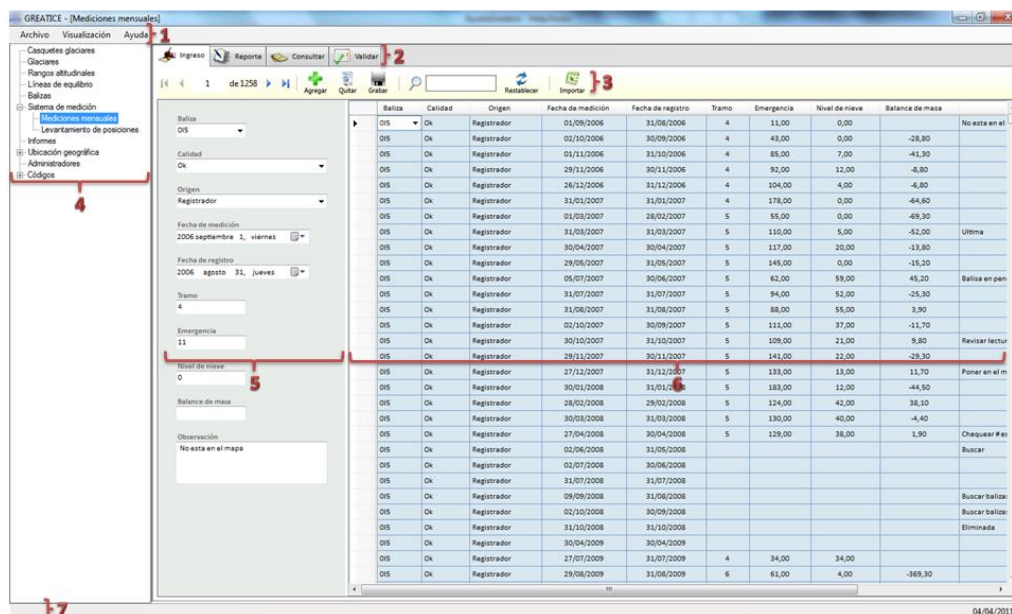


Figura 6: Diagrama de despliegue

3.7. Implementación del sistema de información

En la Figura 7 se visualiza la interfaz principal del sistema de información.



- | | |
|-----------------------|--|
| 1 Barra estándar | Contiene los botones más comunes del sistema de información. |
| 2 Panel de navegación | Interchangea entre las diferentes funciones de un módulo. |
| 3 Barra de navegación | Contiene los botones para desplazar e interactuar con los datos. |
| 4 Barra de acceso | Contiene los accesos a los módulos del sistema de información. |
| 5 Área de trabajo | Muestra la vista actual de trabajo. |
| 6 Datagridview | Muestra e interactúa con los datos del área de trabajo. |
| 7 Barra de estado | Contiene información sobre el estado del sistema. |

Figura 7: Interfaz principal

En la Figura 8 se visualiza la interfaz del asistente para validar el balance de masa, donde se automatiza los cálculos ayudando al técnico glaciólogo a escoger las balizas referenciales que se encuentren en el mismo rango altitudinal y tengan coherencia espacial para realizar el relleno. Este valor de balance de masa mensual se calcula mediante la repartición de la ablación en un determinado periodo de tiempo, los valores cálculos se ingresan al sistema de información y a la base de datos con el código de reconstitución.

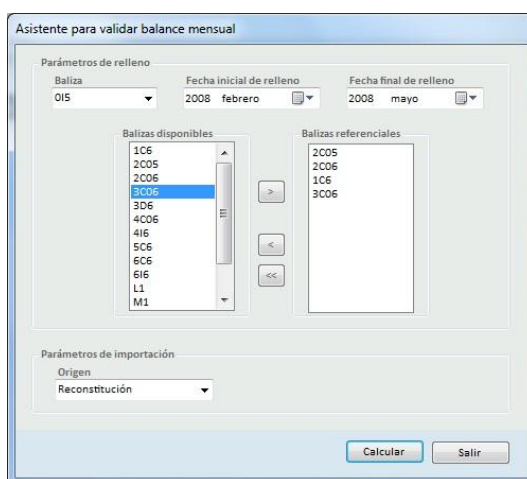


Figura 8: Asistente para validar balance de masa

Con periodos validados y completos de información se puede analizar de una mejor forma la evolución del glaciar y el balance de masa mensual, el sistema de información integra en su interfaz la emisión automática de los cuadros y gráficos más representativos para la elaboración del informe, optimizando el tiempo que emplea el técnico glaciólogo para su elaboración y análisis.

En la Figura 9 se visualiza el cuadro de balance de masa por rango altitudinal.

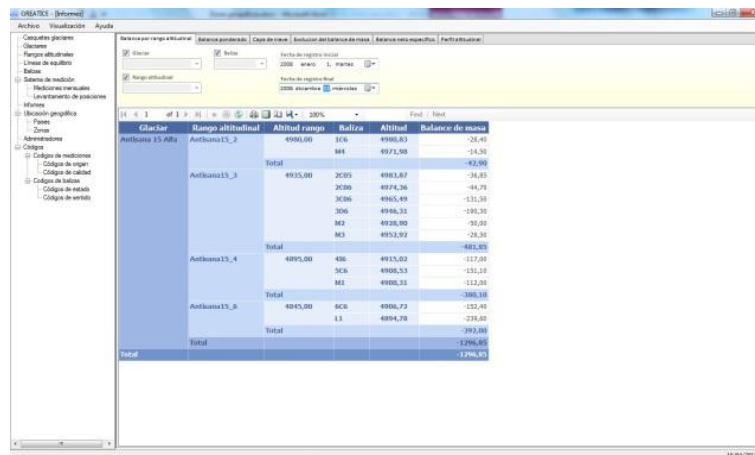


Figura 9: Balance de masa por rango altitudinal

En la Figura 10 se muestra el cuadro de balance de masa ponderado.

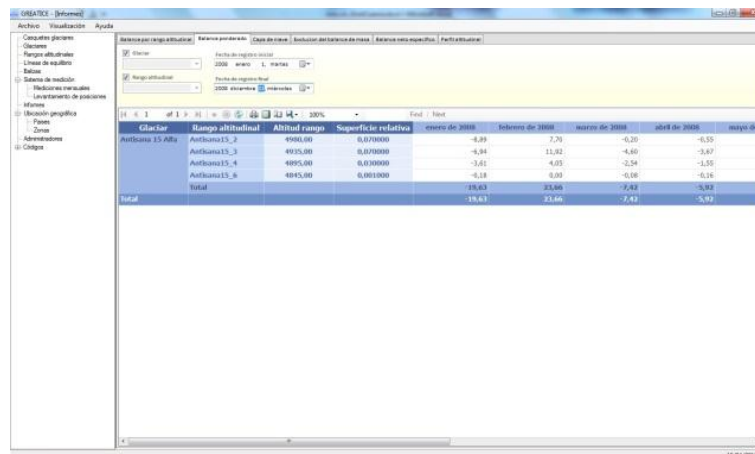


Figura 10: Balance de masa ponderado

En la Figura 11 se observa el cuadro y el gráfico de nivel de nieve por rango altitudinal.

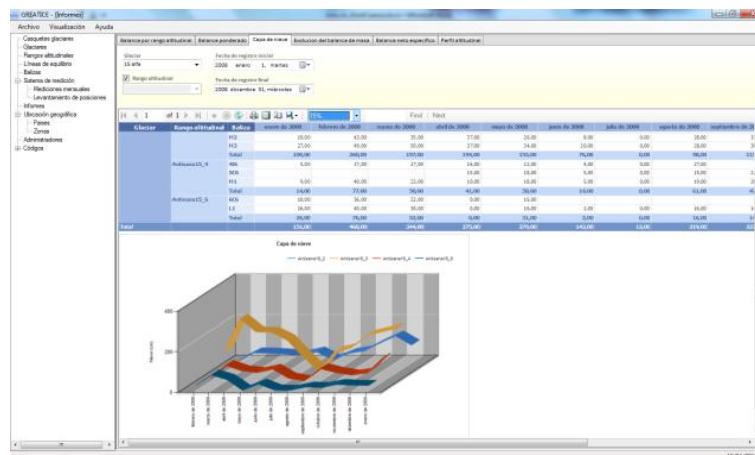


Figura 11: Nivel de nieve por rango altitudinal

En la Figura 12 se visualiza el cuadro y el gráfico de la evolución del balance de masa.

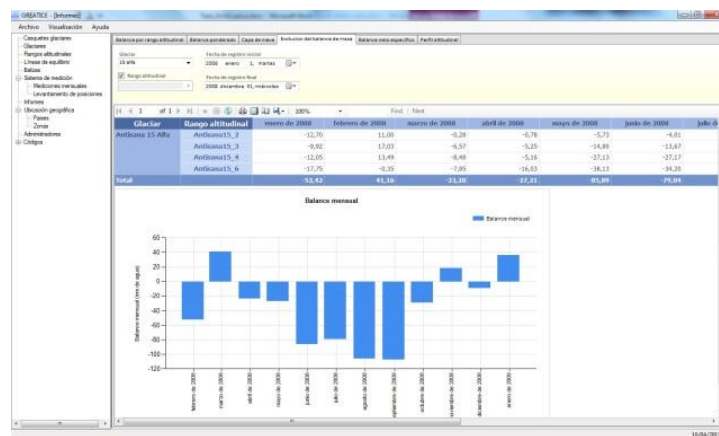


Figura 12: Evolución del balance de masa

En la Figura 13 se muestra el cuadro y el gráfico del balance neto específico.

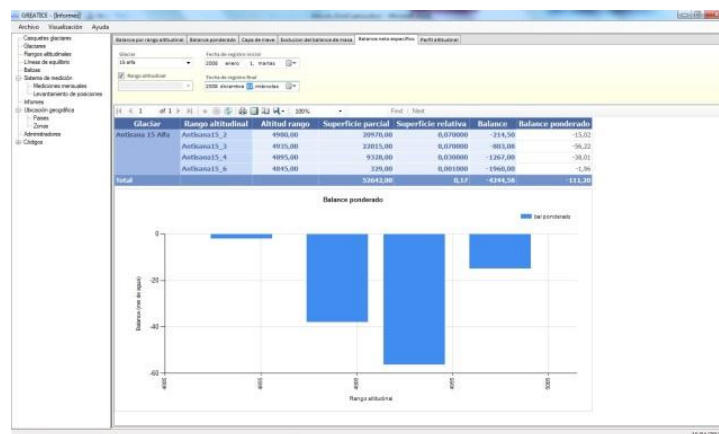


Figura 13: Balance neto específico

En la Figura 14 se presenta el cuadro y el gráfico del perfil altitudinal.

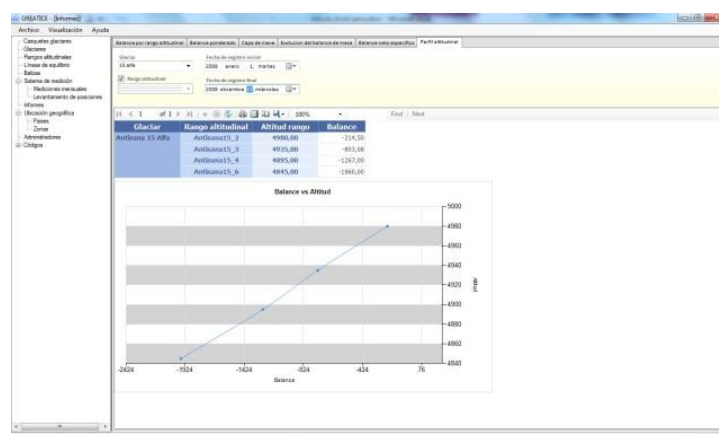


Figura 14: Perfil altitudinal

Los resultados de cuadros y gráficos son exportables a formatos conocidos como .XLS, .DOC, .PDF, teniendo un nivel alto de portabilidad y emisión. La información resultante puede ser analizada estadísticamente desde Excel si se tiene almacenado en el sistema de información un histórico de datos validados.

4. CONCLUSIONES

- Con la culminación de este proyecto se logró obtener una integración y manejo correcto de los datos glaciológicos de balizas y balances de masa en el glaciar 15a y glaciar Crespos en el nevado Antisana, mediante el desarrollo del sistema de información enfocado para este propósito.
- El sistema de información facilitará la administración, procesamiento y corrección de los datos glaciológicos, así como la visualización, presentación de resultados y cuadros de informes con datos validados y corregidos, usados para las publicaciones mensuales y anuales.
- Con el sistema de información se obtiene una reducción en el tiempo empleado por el técnico glaciólogo en el procesamiento y administración de los datos glaciológicos, lo que conlleva en la presentación de productos y resultados con mayor nivel de calidad en un menor tiempo.
- El desarrollo del sistema de información se concluyó utilizando las herramientas de desarrollo de Microsoft Visual Studio Ultimate 2010, Microsoft SQL Server 2008, permitiendo una gran ayuda para el desarrollo de un sistema confiable, escalable y sólido.
- Adoptar y seguir la norma IEEE 830 permitió establecer los procesos necesarios que intervienen en el sistema de información, así como los parámetros y las normas que se manejan dentro del programa GREAT ICE.

REFERENCIAS

- [1] Cáceres, B. (2000). *Comportamiento de un glaciar de los Andes ecuatorianos en relación con los factores climáticos. Estudios realizados en el Glaciar 15 alfa del Antisana*. Universidad Central del Ecuador.
- [2] Cáceres, B. (2004). Maisincho, L.; Taupin, J.; Francou, B.; Cadier. *Glaciares del Ecuador: Antisana y Carhuayrazo. Balance de masa, Topografía, Meteorología e Hidrología*. Quito: IRD, INAMHI, EMAAP-Q.
- [3] Cáceres, B. (2007). El Programa Glaciares Ecuador. *Internacional Oro y Petróleo*.
- [4] Cáceres, B., Maisincho, L., Taupin, J., Francou, B., Cadier, E., Delachaux, F., y otros. (2002). *Glaciares del Ecuador: Antisana y Carhuayrazo. Balance de masa, Topografía, Meteorología e Hidrología*. Quito: IRD, INAMHI, EMAAP-Q.
- [5] Cadier, E. (2007). Villacís, M.; Garcés, A.; Lhuissier, P.; Maisincho, L.; Laval, R.; Paredes, D.; Cáceres, B.; Bernard, F. *Variations of a low latitude Andean glacier according to global and local climate variations*. Quito.
- [6] Cadier, E., Villacís, M., Garcés, A., Lhuissier, P., Maisincho, L., Laval, R., y otros. (2005). *Glaciares del Ecuador: Antisana y Carhuayrazo. Balance de masa, Topografía, Meteorología e Hidrología*. Quito: IRD, INAMHI, EMAAP-Q.
- [7] Francou, B., Cáceres, B., Ayabaca, E., Bontron, G., Maisincho, L., Chango, R., y otros. (1999). *El Glaciar 15 del Antisana (Ecuador) Mediciones Glaciológicas, Hidrométricas, Meteorológicas y Topográficas (Años 1997 y 1998)*. Quito: IRD, INAMHI, EMAAP-Q.
- [8] Manciat, C., & Freile, D. (2007). *Relación a escala mensual y estacional entre la información hidrometeorológica local y regional y la fusión de los glaciares tropicales del Ecuador. Casos de estudio: Glaciar 15 y Crespos del Nevado Antisana*. Quito: Tesis de pregrado.
- [9] Sémioud, H. (1998). Francou, B.; Ayabaca, E.; De la Cruz, A.; Chango, R. *El Glaciar 15 del Antisana Investigaciones glaciológicas 1994*. Quito.
- [10] Villacís, M. (2001). *Influencia del Niño-Oscilación del Sur- ENOS sobre la precipitación en los Andes Centrales del Ecuador*. Quito: Tesis de pregrado.
- [11] Vinuesa Javier, Isabel Ramos Román, Javier Dolado Cosí. (2008). *Técnicas cuantitativas para la gestión en la ingeniería del software*. Netbiblo.