

República de Colombia
Formato Común de Hoja Metodológica de Indicadores Ambientales

Balance de masa glaciar (Bn)
(Hoja metodológica versión 1,00)

Código Único Nacional del Indicador

Registre la nomenclatura nacional asignada al indicador

Identificación del Indicador	
Contexto nacional o internacional en la que se encuentra	<ul style="list-style-type: none"> • Servicio Mundial de Monitoreo Glaciar (WGMS, por sus siglas en inglés). • Grupo de Trabajo en Hielo y Nieves Andinos (GTNH, PHI-UNESCO). • Informe del Estado del Medio Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables. • Comunicaciones nacionales ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático.
Tema de referencia	Ecosistemas – Recursos forestales
Código de identificación para Indicadores de Iniciativas Internacionales (ID)	No aplica
Unidad de medida	Milímetros equivalentes de agua (mm w. e.)
Periodicidad	<input checked="" type="checkbox"/> Anual <input type="checkbox"/> Semestral <input type="checkbox"/> Trimestral <input checked="" type="checkbox"/> Mensual <input type="checkbox"/> Diario <input type="checkbox"/> Otra, cuál: _____
Cobertura geográfica	<input checked="" type="checkbox"/> Nacional <input type="checkbox"/> Departamental <input type="checkbox"/> Municipal <input checked="" type="checkbox"/> Otra, cuál: <u>Glaciares piloto</u>
Cobertura temporal	Abril de 2006 – Abril de 2014

Descripción del Indicador	
Definición	El balance de masa glaciar (B_n) corresponde a la sumatoria de la acumulación y de la ablación glaciar, en la unidad espacial de referencia j en el tiempo t . Ese cambio de masa se ve representado en un volumen equivalente de agua ocurrido durante un periodo de tiempo definido, determinado normalmente, por la duración de un año hidrológico.
Pertinencia	<p>Finalidad / Propósito</p> <p>Obtener información precisa, confiable y actualizada de la cobertura glaciar y su cambio en el tiempo. Esta información permite conocer la intensidad del calentamiento de la baja atmosfera y percibir los impactos en el sistema de alta montaña; así como conocer el comportamiento de los glaciares en función de los fenómenos que se presentan en las diferentes escalas de variabilidad climática.</p>
Metas / Estándares	Ninguna
Marco conceptual	<p>Los numerales 2 y 4 del artículo 2 del Decreto 1277 de 1994, por medio del cual se establece el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM, determinan que en desarrollo de su objeto, el IDEAM genere y maneje información de temáticas relacionadas con este indicador (Republica de Colombia, 1994).</p> <p>A nivel mundial, es un hecho ampliamente reconocido que el cambio climático y la variabilidad climática ejercerá una influencia creciente en el desarrollo social y económico de todos los países. Los Informes de Evaluación del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC) mencionan a los glaciares como pruebas del inequívoco calentamiento del sistema climático. Así mismo, el IPCC dentro de sus objetivos fija la importancia de las redes de observación terrestre y se recomienda a los países que posean glaciares sobre sus territorios realizar seguimiento. Las fluctuaciones de los glaciares son reconocidas como indicadores de cambio climático (IPCC) y como variable en las estrategias de detección temprana en el sistema de vigilancia del clima mundial.</p> <p>La observación de los glaciares se ha efectuado de forma coordinada a nivel mundial desde finales del siglo XIX y existen datos estandarizados, compilados y divulgados por entidades internacionales como World Glacier Monitoring Service (WGMS), National Snow and Ice Data Center (NSIDC) y Global Land Ice Measurements from Space (GLIMS).</p> <p>Solo tres zonas en el mundo presentan masas glaciares cerca a la línea del Ecuador (Colombia/Ecuador, Este de África y Nueva Guinea), su estudio resulta entonces de importancia para comprender la variabilidad climática intranual en zonas de montaña.</p> <p>Colombia en la actualidad tiene sobre su territorio seis masas glaciares independientes en el espacio:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sierra Nevada de El Cocuy, Güican o Chita. • Sierra Nevada de Santa Marta • Volcán nevado Ruiz • Volcán nevado Santa Isabel • Volcán nevado Tolima • Volcán nevado Huila

Cada una de estas masas glaciares es objeto de la aplicación del indicador. La sumatoria de los seis datos corresponde al dato del país para un periodo de tiempo t.

Para este indicador existen las siguientes definiciones:

Glaciar:

“Una masa perenne de hielo, y, posiblemente, neviza y nieve, que se origina en la superficie de la Tierra por la recristalización de la nieve u otras formas de precipitación sólida que muestra evidencia actual o pasada de flujo” (Cogley, J.G., et al. 2011).

Fluctuaciones de un glaciar:

“Los cambios del glaciar en el tiempo, como los cambios de longitud, área, espesor, volumen y masa” (Francou B. et al 2004).

Altitud de la línea de equilibrio (ELA):

Es el nivel altimétrico donde el balance de masa alcanza el valor de 0 mm equivalentes de agua y separa la zona de ablación de la zona de acumulación glaciar (Francou B. et al 2004).

Acumulación glaciar:

Proceso mediante el cual el glaciar acumula masa, esencialmente gracias a las precipitaciones sólidas recogidas en su superficie. La acumulación comprende también los aportes de la escarcha, del desplazamiento de la nieve por el viento, de las avalanchas y de las coladas provenientes de las paredes empinadas. La zona de acumulación de un glaciar es la región donde el depósito resiste a la ablación, durante un año. La extensión de la zona de acumulación de un glaciar varía de un año a otro con el balance de masa (Francou B., Vincent C. 2007).

Ablación glaciar: Proceso por el cual un glaciar pierde masa. Las pérdidas en superficie vienen de un aporte de energía desde la atmósfera. Una parte de la ablación, limitada en cantidad excepto en las regiones volcánicas, proviene del calor del suelo (flujo geotérmico) y de los esfuerzos mecánicos debidos a las deformaciones sufridas por el hielo. La zona de ablación, donde la ablación supera la acumulación durante el año, forma la parte baja del glaciar. Esta zona varía de un año a otro (Francou B., Vincent C. 2007).

Fusión (o derretimiento): Transformación del hielo o de la nieve en agua líquida. Este proceso requiere de una energía de 334,000 Joules por kilogramo. La fusión es el proceso de ablación dominante en los glaciares, principalmente cuando la atmósfera tiene una temperatura positiva, cuando está húmeda y la recorren vientos de baja intensidad (Francou B., Vincent C. 2007).

Según Francou et al (2004), la medición del balance de masa en un momento de tiempo t1, en mm w.e. (milímetros equivalentes de agua), para un glaciar o nevado específico se genera por varios métodos que pueden ser:

-Método directo de terreno: es el método más comúnmente utilizado y mide directamente en terreno el cambio de masa del glaciar. Esta medición se lleva a cabo a partir de la instalación de una red de estacas en la mayor parte del glaciar. **Este es el método seleccionado y aplicado para el cálculo del balance de masa en Colombia.**

-Métodos topográficos de terreno: tiene como insumo principal el cálculo periódico del área y el contorno del glaciar a estudiar. Por medio de esta información se generan modelos digitales de terreno (MDT) que permiten calcular los cambios en el volumen y área del glaciar.

-Método de restitución aerofotogramétrica: permite estimar los cambios de superficie y de volumen de hielo por medio del análisis de pares estereoscópicos compuestos por fotografías aéreas de diferentes fechas, generalmente separadas por varios años.

-Método indirecto del balance hidrológico: este método establece una comparación, a escala de tiempo anual, entre la cantidad de hielo acumulado por las precipitaciones sólidas

	<p>medidas/estimadas (P) y la ablación medida/estimada (fusión). Esta ablación se estima por medio de una estación limnigráfica ubicada en el emisario o cause principal proveniente de la fusión glaciaria.</p> <p>Por cualquiera de estos métodos es posible establecer las variaciones del volumen de un glaciar, es importante resaltar que el método directo de terreno permite calcular el balance de masa a escalas temporales finas como la mensual.</p>
<p>Fórmula de cálculo</p>	<p>El balance de masa por el método directo, se calcula por medio de las siguientes ecuaciones (Lliboutry, 1964; Paterson, 1994):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Balance de masa en el sitio durante un periodo de tiempo definido [Ecuación 1 y 2]. <p>La ecuación básica del balance de masa en un punto del glaciar entre dos periodos de medición db/dt se escribe de la siguiente manera (Ecuación 1):</p> $\frac{db}{dt} = \frac{\rho_0 \Delta h}{dt} + \int \frac{d\rho}{dt} dz \quad \text{[Ecuación 1]}$ <p>Donde ρ es la densidad del hielo de espesor h, que varía según el tiempo t. El primer término de la ecuación representa el cambio de masa en el hielo (con densidad constante) durante un periodo de tiempo. El segundo término es el cambio de densidad de la columna de espesor z sobre el periodo de tiempo t.</p> <p>Simplificando la expresión tenemos que:</p> $b_i = \rho_0 \Delta h + (\rho_2 h_2 - \rho_1 h_1) \quad \text{[Ecuación 2]}$ <p>Donde:</p> <p>b_i: Balance de masa en el sitio i (mm w.e.) Δh: Cambio de espesor en el hielo (mm) ρ_0: Densidad del hielo (0.82 - 0.92 g/cm³) ρ_2: Densidad de la nieve (0.4 g/cm³) h_1: Espesor de nieve anterior (mm) h_2: Espesor de nieve actual (mm)</p> <p>El primer término de la ecuación corresponde al balance en el hielo mientras que el segundo es el balance del material poroso (nieve o neviza).</p> <ul style="list-style-type: none"> • Para extender el balance a todo el glaciar, se utilizan diversos puntos de medición (balizas, pozos, sondeos) organizados en una red bien definida. El principio básico es de ponderar el balance medido por el área del rango relativo del glaciar, según la expresión: $Bn = \left(\frac{1}{S}\right) \left[\sum (bn_1 S_1 + bn_2 S_2 + \dots + bn_j S_j) \right] \quad \text{[Ecuación 3]}$ <p>Donde:</p> <p>Bn: Balance neto específico del glaciar (mm w.e.) S: Superficie total (Km²) bn_j: balance ponderado por el área S_j entre los diferentes rangos altitudinales</p>

<p>Metodología de cálculo</p>	<p>El balance de masa por el método directo, corresponde al resultado de la suma de la acumulación y de la ablación, éste determina la variación de volumen del glaciar, el desplazamiento del hielo y las cantidades de nieve precipitada.</p> <p>La presentación de los datos calculados del indicador se debe realiza de la siguiente manera:</p> <ul style="list-style-type: none"> - El cuadro de datos debe mostrar el balance neto específico (<i>Bn</i>) mensual y acumulado, referenciando el periodo de tiempo de cálculo. - El balance neto específico (<i>Bn</i>) mensual y anual se debe presentar en graficas tipo balance de masa contra tiempo (grafico de barras). - El balance en el punto <i>Bi</i> se debe espacializar y extrapolar en función de la elevación para su presentación en mapas del balance de masa. 	
<p>Interpretación</p>	<p>El indicador puede tomar valores negativos, positivos o iguales a cero. Valores positivos del indicador señalan una ganancia de masa glaciar. El valor nulo o igual a cero significa un equilibrio donde no se presentaron pérdidas ni ganancias de masa. Valores negativos indican una pérdida de masa glaciar.</p>	
<p>Restricciones Limitaciones</p>	<ul style="list-style-type: none"> • La disponibilidad y facilidad de realizar visitas periódicas al glaciar de estudio, pues es indispensable el trabajo de campo. • Se requiere de una instrumentación especializada para la recolección de datos. • Los métodos indirectos para el cálculo del balance de masa dependen de factores como la disponibilidad de imágenes de satélite y/o fotografías aéreas. • Riesgos asociados a la visita periódica de los glaciares. • El balance de masa de masa se calcula para tres glaciares piloto (Ritacuba Negro y Blanco en la sierra nevada de El Cocuy y glaciar Conejeras en el volcán nevado Santa Isabel) y se estima que este comportamiento es igual en el resto de las masas de hielo existentes en Colombia. 	
<p>Facilidad de obtención</p>	<p> <input type="checkbox"/> Fácil <input checked="" type="checkbox"/> Regular <input type="checkbox"/> Difícil </p> <p>¿Por qué?: <u> Dificultad de la captura de los datos. </u></p>	
<p><u>Responsable del Indicador</u></p>		
<p>1</p>	<p>Entidad</p>	<p>Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM</p>
	<p>Dependencia</p>	<p>Subdirección de Ecosistemas e Información Ambiental. Grupo de suelos y tierras</p>
	<p>Nombre del funcionario</p>	<p>María Saralux Valbuena López Jorge Luis Ceballos Liévano</p>

Cargo	Subdirectora de Ecosistemas e Información Ambiental Profesional Especializado Grupo Suelos y Tierras
Correo electrónico	ecosistemas@ideam.gov.co, mvalbuena@ideam.gov.co jceballos@ideam.gov.co
Teléfono	57 (1) 3527160 Ext. 1700, 1702
Dirección	Calle 25D No. 96B – 70 Bogotá

Ubicación principal para la consulta del Indicador

Nombre	<p>Ceballos J., Meneses I. 2014. Informe de Actividades Glaciológicas: Sierra nevada de El Cocuy y Volcán Nevado Santa Isabel. Colombia, 2013. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM. Subdirección de Ecosistemas e Información Ambiental. Bogotá D.C.</p> <p>IDEAM, GLACIARES DE COLOMBIA MÁS, QUE MONTAÑAS CON HIELO, Bogotá D.C., Noviembre de 2012. 344 Paginas.</p> <p>Ceballos J., Real E., Meneses I. 2010. Informe de Actividades Glaciológicas: Sierra nevada de El Cocuy y Volcán Nevado Santa Isabel. Colombia, 2010. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM. Subdirección de Ecosistemas e Información Ambiental. Bogotá D.C.</p> <p>Ceballos J., Real E., Meneses I. 2009. Informe de Actividades Glaciológicas: Sierra nevada de El Cocuy y Volcán Nevado Santa Isabel. Colombia, 2008-2009. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM. Subdirección de Ecosistemas e Información Ambiental. Bogotá D.C.</p> <p>Ceballos J, Tobón E. 2008. Informe de Actividades Glaciológicas: Sierra nevada de El Cocuy y Volcán Nevado Santa Isabel. Colombia, 2006-2007. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM. Subdirección de Ecosistemas e Información Ambiental. Bogotá D.C.</p>
Física	Subdirección de Ecosistemas e información ambiental.
URL	<p>http://institucional.ideam.gov.co/jsp/loader.jsf?Servicio=Publicaciones&ITipo=publicaciones&IFuncion=loadContenidoPublicacion&id=1734</p> <p>http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/Bvirtual/022428/022428.htm</p> <p>http://institucional.ideam.gov.co/jsp/consulte-los-indicadores-ambientales_577</p>

Fuente de las Variables

V1	Nombre de la variable	
		<i>Bn</i> : Balance neto específico del glaciar (mm w.e.)

Tipo	Registro primario de información <input type="checkbox"/> Censo <input type="checkbox"/> Muestra <input type="checkbox"/> Registro administrativo <input type="checkbox"/> Teledetección <input checked="" type="checkbox"/> Estación de monitoreo <input type="checkbox"/> Otro, cual: _____
	Registro secundario de información <input type="checkbox"/> Estimaciones directas <input type="checkbox"/> Estimaciones indirectas <input type="checkbox"/> Otro, cual: _____
Frecuencia de medición	<input type="checkbox"/> Anual <input type="checkbox"/> Semestral <input type="checkbox"/> Trimestral <input checked="" type="checkbox"/> Mensual <input type="checkbox"/> Diario <input type="checkbox"/> Otra, cual: _____
Ubicación para consulta	
Nombre	Cálculo y espacialización del balance de masa glaciar.
Física	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM. Subdirección de Ecosistemas e Información Ambiental. Carrera 10 No. 20-30 Bogotá D.C. Piso 6.
URL	No disponible
Responsable	
Entidad	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM.
Dependencia	Subdirección de Ecosistemas e Información Ambiental. Grupo de suelos y tierras
Nombre del funcionario	Jorge Luis Ceballos Liévano

Cargo	Profesional Especializado Grupo Suelos y Tierras
Correo electrónico	jceballos@ideam.gov.co
Teléfono	57 (1) 3527160 Ext. 1702
Dirección	Calle 25D No. 96B – 70 Bogotá

Observaciones Generales

Bibliografía

Ceballos J., Meneses I. 2014. Informe de Actividades Glaciológicas: Sierra nevada de El Cocuy y Volcán Nevado Santa Isabel. Colombia, 2013. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM. Subdirección de Ecosistemas e Información Ambiental. Bogotá D.C.

WGMS 2013. Glacier Mass Balance Bulletin No. 12 (2010–2011). Zemp, M., Nussbaumer, S. U., Naegeli, K., Gärtner-Roer, I., Paul, F., Hoelzle, M., and Haeberli, W. (eds.), ICSU(WDS)/IUGG(IACS)/UNEP/UNESCO/WMO, World Glacier Monitoring Service, Zurich, Switzerland, 106 pp., publication based on database version: doi:10.5904/wgms-fog-2013-11.

IDEAM, GLACIARES DE COLOMBIA MÁS, QUE MONTAÑAS CON HIELO, Bogotá D.C., Noviembre de 2012. 344 Paginas.

Cogley, J.G., R. Hock, L.A. Rasmussen, A.A. Arendt, A. Bauder, R.J. Braithwaite, P. Jansson, G. Kaser, M. Möller, L. Nicholson and M. Zemp, 2011, Glossary of Glacier Mass Balance and Related Terms, IHP-VII Technical Documents in Hydrology No. 86, IACS Contribution No. 2, UNESCO-IHP, Paris.

Ceballos J., Real E., Meneses I. 2010. Informe de Actividades Glaciológicas: Sierra nevada de El Cocuy y Volcán Nevado Santa Isabel. Colombia, 2010. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM. Subdirección de Ecosistemas e Información Ambiental. Bogotá D.C.

Ceballos J., Real E., Meneses I. 2009. Informe de Actividades Glaciológicas: Sierra nevada de El Cocuy y Volcán Nevado Santa Isabel. Colombia, 2008-2009. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM. Subdirección de Ecosistemas e Información Ambiental. Bogotá D.C.

Ceballos J, Tobón E. 2008. Informe de Actividades Glaciológicas: Sierra nevada de El Cocuy y Volcán Nevado Santa Isabel. Colombia, 2006-2007. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM. Subdirección de Ecosistemas e Información Ambiental. Bogotá D.C.

Francou, B., y Vincent, C. (2007). Les glaciers vont-ils disparaître ? Les glaciers face au changement climatique. IRD Editions et CNRS Editions.

Francou, B & Pouyand, B. 2004. Métodos de observación de glaciares en los Andes tropicales. IRD. Bolivia. 243 p

Kaser G., Fountain A., Jansson P. 2003. A manual for monitoring the mass balance of mountain glaciers. Technical Documents in

Hydrology N° 59. UNESCO. Paris.

Lliboutry, L. (1964). Traité de Glaciologie. 2 tomos, Masson, Paris.

Paterson, W.S.B. (1994). The Physics of Glaciers. 3rd Edition, Pergamon, Elsevier Science Ltd, Oxford, U.K.

Republica de Colombia. 1994. Decreto 1277, 21 de julio de 1994. Ministerio del Medio Ambiente.

Información sobre la Hoja Metodológica

Fecha	Versión	Datos del autor o de quien ajustó la hoja metodológica	Descripción de los ajustes
04/06/2014	1,00	<p>Nombre funcionario: Jorge Luis Ceballos Liévano, Edgard Leonardo Real Núñez</p> <p>Cargo: Profesional especializado, Contratista</p> <p>Dependencia: Subdirección de Ecosistemas e Información Ambiental. Grupo de suelos y tierras.</p> <p>Entidad: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM</p> <p>Correo electrónico: jceballos@ideam.gov.co, real@ideam.gov.co,</p> <p>Teléfono: 57 (1) 3527160 Ext. 1702</p> <p>Dirección: Carrera 10 No. 20-30 Bogotá D.C. Piso 6.</p> <p>Cítese como:</p> <p>Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM. (2014). Hoja metodológica del indicador Balance de masa (Versión 1,00). Sistema de Indicadores Ambientales de Colombia. Colombia: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM. 10p.</p>	