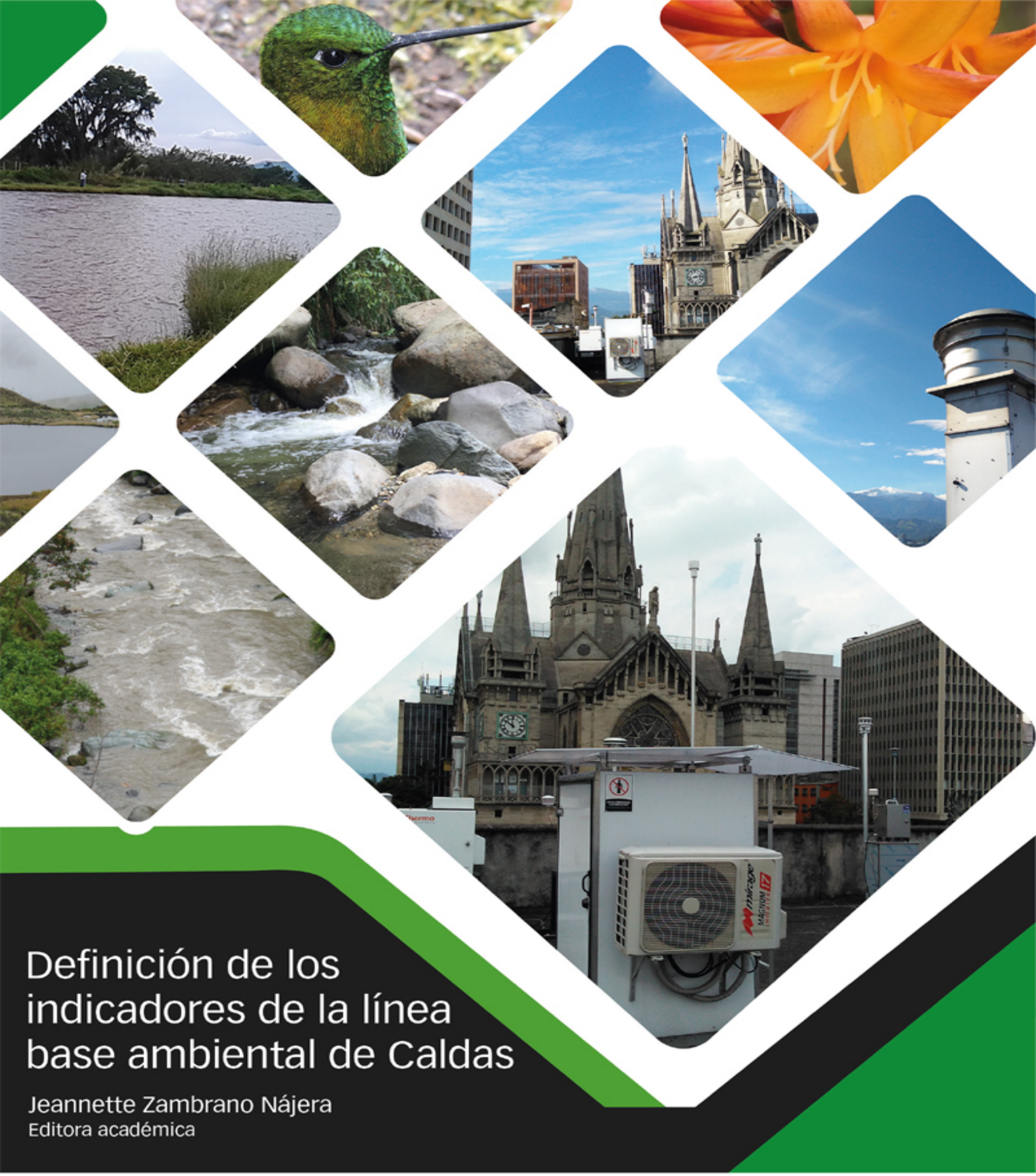


Definición de los indicadores de la línea base ambiental de Caldas

Jeannette Zambrano Nájera
Editora académica

Con el apoyo de:

Corpocaldas
Corporación Autónoma Regional de Caldas

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

Definición de los indicadores de la Línea base ambiental de Caldas

Definición de los indicadores de la Línea base ambiental de Caldas

Jeannette Zambrano Nájera
Editora académica

UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

Bogotá, D. C., 2022

© Universidad Nacional de Colombia - Sede Manizales
Facultad de Ingeniería y Arquitectura
© Jeannette Zambrano Nájera, editora académica
© Varios autores

Segunda edición, noviembre de 2022
ISBN 978-958-505-068-6 (digital)

Edición
Editorial Universidad Nacional de Colombia
direditorial@unal.edu.co
www.editorial.unal.edu.co

Julián Naranjo Guevara y Liliana C. Guzmán Ríos
Coordinación editorial
Anyeli Rivera Tancón
Corrección de estilo
Henry Ramírez Fajardo
Diseño de la colección
Martha Elena Echeverry Perico
Diagramación

Conversión a ePub
Mákina Editorial
https://makinaeditorial.com



Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives
4.0 International (CC BY-NC-ND 4.0)
https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/

Editado en Bogotá, D. C., Colombia.

Catalogación en la publicación Universidad Nacional de Colombia

Definición de los indicadores de la línea base ambiental de Caldas / Hábitat, 2019-2021 / Jeannette Zambrano Nájera, editora académica. -- Segunda edición. --Manizales: Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería y Arquitectura; Corporación Autónoma Regional de Caldas (Corpocaldas); Bogotá: Editorial Universidad Nacional de Colombia, 2022.

1 CD-ROM (260 páginas): ilustraciones (principalmente a color), diagramas, mapas

Incluye referencias bibliográficas al final de cada capítulo e índice analítico

ISBN 978-958-505-068-6 (e-pub)

1. Corporación Autónoma Regional de Caldas (Corpocaldas) -- Proceso de datos -- Informes 2. Universidad Nacional de Colombia (Sede Manizales) Centro de datos e Indicadores Ambientales (CDIAC) -- Proceso de datos -- Guías 3. Indicadores ambientales -- Investigaciones -- Caldas -- Colombia 4. Indicadores de calidad del aire -- Investigaciones -- Caldas -- Colombia 5. Sistemas de información 6. Medio ambiente 7. Vigilancia ambiental -- Investigaciones -- Caldas -- Colombia 8. Política ambiental -- Caldas -- Colombia 9. Conservación del medio ambiente -- Investigaciones -- Caldas --Colombia 10. Gestión ambiental -- Investigaciones -- Caldas -- Colombia 11. Protección del medio ambiente -- Normas -- Caldas -- Colombia. I. Zambrano Nájera, Jeannette, 1975-, editor académico

CDD-23 333.7286135 / 2022

Corpocaldas

Juan David Arango Gartner
Director general

Lina Marcela Quintero Velásquez
Profesional especializado
Subdirección de Planificación Ambiental del Territorio

Luz Adriana Ramírez López
Profesional Especializado
Subdirección de Planificación Ambiental del Territorio

Mauricio Velasco García
Profesional Especializado
Subdirección de Evaluación y Seguimiento Ambiental

Contenido

Introducción

Capítulo 1
Metodología y protocolos
Néstor Darío Duque Méndez
Germán Augusto Osorio Zuluaga
Carla Fernanda Rojas Ríos

Introducción

Antecedentes

Lineamientos para la construcción de los indicadores de la Línea base ambiental de Caldas

Marco ordenador para la construcción de los indicadores

Conclusiones del capítulo

Referencias

Capítulo 2
Indicadores de clima

Jeannette Zambrano Nájera
Fernando Mejía Fernández
John Alexander Pachón Gómez

Clima

Antecedentes sobre el seguimiento de indicadores en Caldas

Metodología de trabajo para la elección de indicadores

Análisis de indicadores definidos

Conclusiones del capítulo

Referencias

Capítulo 3
Indicadores de calidad del aire
Beatriz Helena Aristizábal
Wendy Hernández
Juan Camilo Ocampo

Introducción

Conclusiones del capítulo

Referencias

Capítulo 4
Indicadores de agua
Jeannette Zambrano Nájera

Aspectos generales

Sistema de indicadores hídricos de Colombia

Indicadores de agua propuestos para la Línea base ambiental de Caldas

Conclusiones del capítulo

Referencias

Capítulo 5
Indicadores de suelo y subsuelo
Jeannette Zambrano Nájera

Conceptos del suelo

Propuesta de indicadores de calidad y salud del suelo para el departamento de Caldas

Conclusiones del capítulo

Referencias

Conclusiones

Anexos

Hojas metodológicas de indicadores de clima

Referencias

Hojas metodológicas de calidad del aire

Referencias

Hojas metodológicas de agua

Referencias

Hojas metodológicas de indicadores suelos

Índice analítico

Lista de figuras

Figura 1. Distribución porcentual estaciones en Caldas por propietario

Figura 2. Ubicación de las estaciones hidrometeorológicas del departamento de Caldas y del municipio de Manizales

Figura 3. Mapa de Manizales con ubicación de las estaciones de calidad del aire y rosas de viento de estaciones meteorológicas representativas durante el periodo de enero-septiembre del 2019 (estaciones meteorológicas en orientación occidente a oriente: Gobernación de Caldas, Hospital de Caldas y La Nubia)

Figura 4. Indicadores de calidad del aire implementados en la región

Figura 5. Esquema para el cálculo del caudal ambiental adoptado por el Ideam

Figura 6. Conceptos asociados a la demanda por uso del agua

Figura 7. Sistema de indicadores hídricos del ENA 2018

Figura 8. Esquema metodológico para la categorización de subzonas hidrográficas por evaluación integrada del agua

Figura 9. Principales tipos de degradación de suelos y tierras en Colombia
Figura 10. Metodología FPEIR
Figura 11. Perfil del suelo con sus horizontes
Figura 12. Conceptos de uso de la tierra y cobertura de la tierra
Figura 13. Primer nivel de las unidades de coberturas de la tierra
Figura 14. Rosa de los vientos internacional de 16 puntos

Lista de tablas

Tabla 1. Campos para las hojas metodológicas
Tabla 2. Indicadores propuestos para clima
Tabla 3. Características de las estaciones de calidad del aire de Manizales
Tabla 4. Descripción de la información suministrada por indicador evaluado
Tabla 5. Categorías del IA
Tabla 6. Categorías del IRH
Tabla 7. Categorías del SPI
Tabla 8. Categorías de evaluación del IRS
Tabla 9. Categorías de calificación del IUA
Tabla 10. Categorías de calificación del IPHE
Tabla 11. Categorías de calificación del IARC
Tabla 12. Categorías de calificación del IEUA
Tabla 13. Categorías de calificación del ICA
Tabla 14. Categorías de calificación del Iacal
Tabla 15. Categorías de calificación del IVH en condiciones medias

Tabla 16. Categorías de porcentaje de reducción o aumento de la escorrentía anual. Para condición extrema debido a variabilidad hidroclimática
Tabla 17. VRH-Ex: variabilidad del recurso hídrico, condiciones de año seco
Tabla 18. Categorías para el análisis integrado de subzonas hidrográficas y priorización por afectación al agua
Tabla 19. Indicadores de agua propuestos para evaluar las condiciones naturales de oferta
Tabla 20. Indicadores de agua propuestos para evaluar la presión sobre el uso del recurso hídrico
Tabla 21. Indicadores de agua propuestos para evaluar el nivel de vulnerabilidad de la cuenca
Tabla 22. Unidades de coberturas de la tierra para la leyenda nacional
Tabla 23. Atributos claves del suelo y procesos relacionados
Tabla 24. Propiedades claves químicas y nutricionales del suelo y procesos relacionados
Tabla 25. Propiedades claves biológicas del suelo y procesos relacionados
Tabla 26. Clasificación climática de Lang
Tabla 27. Clasificación climática de Caldas-Lang
Tabla 28. Nivel de alerta para cada umbral de precipitación antecedente de los 25 días
Tabla 29. Escala de calificación de la anomalía de precipitación
Tabla 30. Clasificación climática de Caldas
Tabla 31. Clasificación climática de Lang
Tabla 32. Clasificación climática de Caldas, Lang
Tabla 33. Rangos de clasificación para identificar la dirección del viento
Tabla 34. Clasificación de las velocidades del viento registrados

Tabla 35. Intervalos de tiempo
Tabla 36. Frecuencia de medición en los equipos
Tabla 37. Rangos de tiempo para el cálculo del PELN
Tabla 38. Niveles máximos permisibles de cada contaminante
Tabla 39. Semáforo de calificación del PELN
Tabla 40. Datos de SO_2
Tabla 41. Definiciones para el cálculo de los promedios en el tiempo
Tabla 42. Puntos de corte de los índices de calidad del aire
Tabla 43. Efectos sobre la salud de acuerdo con el nivel de ICA
Tabla 44. Medidas preventivas según el nivel del ICA
Tabla 45. PCG reportado por el IPCC
Tabla 46. Categoría vehicular y descripción del vehículo
Tabla 47. Duración del periodo diurno y nocturno
Tabla 48. Valores del parámetro de ajuste
Tabla 49. Estándares permisibles de niveles de ruido
Tabla 50. Caracterización del tipo de riesgo de nivel de ruido
Tabla 51. Rango de calificación del índice de aridez
Tabla 52. Rango de calificación del índice de retención y regulación hídrica
Tabla 53. Clasificación de índice estandarizado de precipitación
Tabla 54. Rango de calificación del índice de uso del agua
Tabla 55. Matriz de relación para categorizar el Índice de vulnerabilidad al desabastecimiento (IVH)
Tabla 56. Clasificación de lluvias método norteamericano
Tabla 57. Clasificación de la lluvia según la intensidad media en una hora
Tabla 58. Clasificación de la lluvia según la regularidad de la intensidad

Introducción

En los diferentes procesos relacionados con la gestión ambiental y las dinámicas naturales se genera gran cantidad de información de variadas características y escalas, que permiten abordar el proceso de estructuración de la Línea base ambiental. El uso de indicadores no es nuevo en los temas ambientales y, actualmente, su aplicación se ha generalizado debido a la necesidad de conocer y monitorear las diferentes y múltiples variables en las situaciones ambientales que permitan seguir su evolución en el tiempo. La utilidad de los indicadores no radica en el indicador mismo sino en su aprovechamiento como medida de los constituyentes dinámicos que representan transiciones importantes en el tiempo, reflejando cómo factores naturales o antrópicos afectan los recursos naturales y el medio ambiente en general.

La dinámica y relación compleja de estas características es un tema de estudio abierto y promisorio, pues gran parte de la definición de políticas y acciones estatales y privadas y, consecuentemente, la sostenibilidad y sustentabilidad ambiental van a depender de esto. Para la construcción de la Línea base ambiental de Caldas y del Sistema de indicadores ambientales de Caldas se requiere contar con un mínimo de datos de calidad y apropiados. La integración, almacenamiento y disponibilidad al público de datos e indicadores reflejan el esfuerzo que se está llevando a cabo desde 2010 en nuestra región, que ha involucrado diferentes instituciones. Para que estos

esfuerzos generen algún impacto en la sociedad, deben, además, estar disponibles para los diferentes actores.

La Línea base incorpora varios aspectos que deben considerarse. Los datos originales provenientes de los diferentes sistemas de monitoreo deben revisarse y transformarse mediante el cálculo de indicadores de diferente tipo que representen las variables medidas, pero que le permitan al público una interpretación estandarizada. En este contexto, este libro aborda las diferentes etapas que se han generado en Caldas para construir estos indicadores considerando la espacialidad y la temporalidad de estos, e integrando diferentes instituciones que cuentan con equipos de medición. Este ejercicio puede servir como modelo para otras regiones en Colombia y Latinoamérica.

El esfuerzo inicial involucró aspectos de contexto tales como: análisis multitemporales, información de puntos de partida, indicadores de impacto y gestión, información existente y material disponible, bancos de registros de datos, contenidos de los planes de acción y los planes de gestión de la Corporación Autónoma Regional de Caldas (Corpocaldas), documentos de política y planes de gobierno, metodologías relacionadas y recomendadas para el cálculo de indicadores en Colombia, conocimiento actual de las diferentes variables, aspectos relacionados con territorio y demografía, inventarios de estudios existentes, descriptores cualitativos y cuantitativos, escalas de niveles de resolución de la información.

Retomando ideas de Quiroga-Martínez (2009), el desarrollo de indicadores ambientales requiere la compilación de definiciones básicas, tanto estadísticas como ambientales, que faciliten la elaboración y el diseño de tales indicadores. De igual forma, se requiere conocer la complejidad de las interrelaciones entre las dinámicas ambientales, sociales y económicas para trabajar y fortalecer la cooperación interinstitucional. A partir de esto, el dato es importante como actor central en la calidad del indicador. Por otro lado, la construcción misma de la ruta metodológica —para el diseño y alimentación de las variables que soportan el cálculo de los indicadores— implica la captura y preparación de los datos fuentes, el diseño y cálculo del indicador y la definición de los mecanismos para su permanente actualización.

La construcción de los indicadores para la Línea base ambiental de Caldas se ha enfocado en: proporcionar datos, información y conocimiento sobre los diferentes temas ambientales que permitan trazar planes, definir políticas y direccionar acciones en que participe toda la sociedad, orientadas a recuperar o mantener en el rango de condiciones favorables las variables que conforman dichos indicadores. Este ejercicio genera información consolidada, confiable y disponible para el mejoramiento en la toma de decisiones, mejor planeación del territorio, prospectiva y análisis de la información. Asimismo, pretende garantizar y propiciar escenarios que, teniendo en cuenta tiempo y espacio, permitan a la sociedad conocer y entender las dinámicas de la calidad y cantidad de recursos naturales, de los efectos de las acciones, y de la eficacia de las acciones de respuesta para contrarrestar factores negativos en estas tendencias.

Esta información se ha consolidado en el Sistema de Monitoreo Ambiental de Caldas (SIMAC) y en la plataforma Centro de Datos e Indicadores de Caldas (CDIAC), los cuales ya tienen amplio reconocimiento en la región y apoyo interinstitucional[1]. Las modificaciones de los indicadores y sus respectivas hojas metodológicas se han acompañado de un trabajo arduo de implementación en la bodega de datos del CDIAC, estos se actualizan y revisan periódicamente y están disponibles para consultarse por la comunidad en general de manera libre. Esta actividad ha permitido tener un proceso dinámico, donde se tienen aportes de diferentes grupos que consultan la información disponible.

Como se planteó al inicio del recorrido de esta expedición, el establecimiento de la Línea ambiental de Caldas desde sus indicadores no era un proceso finalizado, exigía un enfoque dinámico; de su aplicación surgirían nuevas necesidades de información y la actualización.

En este sentido, esta segunda edición recoge la experiencia y conocimiento obtenido desde el lanzamiento de la primera versión *Definición de los indicadores de la Línea base ambiental de Caldas* (2014). La experiencia adquirida durante el cálculo de los indicadores ha permitido el ajuste y actualización de las hojas metodológicas que se plantearon en la primera versión del libro y se han agregado otras nuevas en los componentes de clima, agua, calidad del aire y suelos. Es indudable que la

mejor forma de crecer en el conocimiento es compartirlo, discutirlo y enriquecerlo con el trabajo colaborativo.

En el primer capítulo de esta versión se presenta la metodología y protocolo del proceso llevado a cabo para llegar a los indicadores de la Línea base en cada uno de los temas y se propone la hoja metodológica estandarizada que orienta sobre su definición, cálculo, unidades de medida y cálculo, fuentes de la información usadas, normativa local si existe usada para la comparación de cada indicador. Este capítulo retoma aspectos presentados en la primera versión de libro (UN y Corpocaldas, 2014), ya que se requiere para la comprensión de los indicadores.

En el segundo capítulo se muestran las modificaciones realizadas al componente de clima, que fue separado del componente aire, por la cantidad de indicadores que han sido generados en ambas categorías. En este componente se modificaron las hojas metodológicas ya existentes y se propusieron nuevas formas de abordar los indicadores. Se enfatizó en la variable de precipitación la que es analizada por medio de varios indicadores, debido a la importancia que tiene en Caldas, ya que es fundamental en aspectos de planificación y gestión del riesgo.

En el tercer capítulo se presentan los indicadores de aire, a los cuales se les ha realizado una revisión minuciosa y se proponen varios indicadores nuevos que obedecen a la gran cantidad de información que se ha recopilado en estos cinco años. Estos indicadores se dividieron de acuerdo con la información, si son variables medidas en campo (indicadores primarios) o producto de los inventarios de emisiones que se han realizado en la ciudad (indicadores con información secundaria).

En el cuarto capítulo están los indicadores de agua que se han implementado en la plataforma CDIAC, ya que durante 2018 y 2019 se inició el proceso de aforo en quebradas y ríos; por tanto, se cuenta con información para estimar la oferta en los mismos. Se presentan las hojas metodológicas que fueron trabajadas en este periodo. Aunque faltan varios indicadores de este componente se considera que se ha tenido un gran avance al respecto. Finalmente, en el quinto capítulo están los avances realizados a los indicadores de suelos que se adelantaron durante la fase III del proyecto Línea base.

Este ha sido un esfuerzo interinstitucional que ha logrado consolidar hasta el momento varios indicadores, respectivamente, los indicadores de clima, 9; aire, 7 y agua, 13. Este avance está asociado con políticas de control en el país en el caso de calidad del aire, respecto a los indicadores de clima estos han tenido un gran avance en Colombia por los protocolos de cambio climático y la atención de emergencias relacionadas con deslizamientos. Los indicadores de agua y suelo a su vez están relacionados con la *Política nacional de gestión integrada de recursos hídricos* y el *Protocolo para el monitoreo de la degradación del suelo*.

Referencias

Quiroga-Martínez, R. (2009). Guía metodológica para desarrollar indicadores ambientales y de desarrollo sostenible en países de América Latina y el Caribe. En *Cepal serie manuales* (Vol. 61, pp. 7-97). Santiago de Chile: Editorial Cepal.

UN y Corpocaldas (2014). *Definición de los indicadores de la Línea base ambiental de Caldas*. Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales.

1 Pueden consultarse en: http://cdiac.manizales.unal.edu.co/inicio/

Capítulo 1
Metodología y protocolos

Néstor Darío Duque Méndez
Germán Augusto Osorio Zuluaga
Carla Fernanda Rojas Ríos

Universidad Nacional de Colombia,
Sede Manizales

Introducción

Desde el siglo pasado, Colombia ha utilizado indicadores económicos, sociales y demográficos para conocer su realidad, pero solo a partir de 1973

con la expedición de la Ley 23 se dictaron los principios fundamentales sobre la prevención y el control de la contaminación del suelo, el agua y el aire y se otorgaron facultades al presidente de la república para expedir el *Código de los recursos naturales* –Decreto ley 2811 de 1974– (Presidencia de la República de Colombia, 1974). Con este código nacional se reafirmó que el ambiente es patrimonio común, por ende, el Estado y los particulares deben participar en su preservación y manejo; adicionalmente, se reguló el manejo de los recursos naturales y también se abordó la defensa del ambiente y de los elementos que lo componen. Ya en esa década, en el ámbito mundial, los países vieron la necesidad de aplicar indicadores para conocer de manera sistemática la oferta natural y hacer seguimiento a diferentes fenómenos relacionados con la problemática ambiental suscitada como consecuencia de la relación sociedad-naturaleza (Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas-Sinchi, 2003).

En 2002, el Ministerio del Medio Ambiente junto a varios institutos de investigación ambientales consolidaron un sistema de indicadores a través de ejercicios interinstitucionales que dieron como resultado la primera generación de indicadores de la línea base de la información ambiental de Colombia; en este documento se estructuró una línea base a partir del estado de los recursos ambientales y la gestión ambiental, cuyo contenido abordó temas como: agua, atmósfera, clima, biodiversidad, bosques y usos de la tierra, tierras y suelos, amenaza, vulnerabilidad y riesgo por fenómenos naturales y antrópicos, generación y manejo de residuos sólidos, sostenibilidad de procesos antrópicos, población y capítulos regionales para Amazonia y Pacífico (UN y Corpocaldas, 2014).

Antecedentes

Algunos conceptos sobre indicadores ambientales

Para el Ministerio de Medio Ambiente (2002), los indicadores ambientales han sido definidos como la expresión de una variable o relaciones simples o

complejas entre variables y pueden tener un carácter cuantitativo o cualitativo. Se utilizan indicadores cualitativos cuando no es posible acceder a información cuantitativa porque no está disponible, el costo de generarla es alto o no es posible cuantificar el fenómeno.

Según Quiroga (2001, citado por Sinchi 2003, p. 32):

> un indicador es más que una estadística, es una variable que en función del valor que asume en determinado momento, despliega significados que no son aparentes inmediatamente, y que los usuarios decodificarán más allá de lo que muestran directamente, porque existe un constructor cultural y de significado social que se asocia al mismo.

La Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE, 1993) planteó en forma muy general que "un indicador puede ser definido como un parámetro o un valor derivado de parámetros, lo que proporciona información acerca de un fenómeno. Los indicadores son desarrollados para un propósito específico".

En el documento citado, la OCDE les asignó a los indicadores dos funciones principales:

1. Reducir el número de mediciones y parámetros que normalmente se requieren para dar una "exacta" presentación de una situación. El tamaño y el contenido de los mismos es un factor clave en el diseño para evitar confusiones por exceso o insuficiencia por defecto.
2. Simplificar y adaptar los resultados de las medidas a las necesidades de los usuarios.

Según los propósitos, la OCDE definió tres criterios para la selección de indicadores.

1. La relevancia política y utilidad para los usuarios: un indicador ambiental debe representar las condiciones y acciones ambientales actuales y ser sensible a los procesos asociados en el tiempo; también debe ser simple e interpretable, permitiendo

comparaciones a diferente escala. Un factor importante para el análisis son los valores de referencia para su confrontación.

2. La solidez analítica: un indicador ambiental debe tener sustento teórico, técnico y científico, respetando normas y estándares aceptados. Estas características le permiten interactuar con otros modelos y sistemas en el ámbito de aplicación.
3. Capacidad de medición: el valor de los indicadores está asociado a la posibilidad de que sea posible calcularlos tanto por la disponibilidad de los datos como por el costo asociado a su gestión en el tiempo.

Por otro lado, Winograd *et al*. (1996) plantearon que la definición, construcción y uso de indicadores permite:

- Conectar los datos estadísticos ambientales e información relacionada con la gestión ambiental en su integralidad.
- Integrar conjuntos de datos en una base cartográfica para apoyar el proceso de toma de decisiones.
- Identificar vacíos o duplicación de información.
- Mejorar y facilitar el intercambio y la calidad de la información.
- Comunicar a los diferentes usuarios, la información requerida para la toma de decisiones.

Enfoque ecosistémico para la construcción de indicadores

De acuerdo con *La teoría general de sistemas*, el análisis de los fenómenos y situaciones como un complejo de elementos interactuantes (Bertalanffy, 1994), necesariamente, esto es subjetivo ya que es construido por personas que son una parte integral del mismo. Este además proporciona una visión dinámica de sistemas en constante evolución, con grados de predictibilidad y de incertidumbre. Esta dinámica conlleva cambios suaves o abruptos (Klir, 1980).

Este enfoque sobre la estructura, procesos, funciones e interacciones es consistente con la definición de ecosistema como un complejo dinámico de comunidades vegetales, animales y microorganismos y su ambiente abiótico, interactuando como una unidad funcional (Sinchi, 2003).

En la misma línea de estas apreciaciones, la construcción de los indicadores, el abordaje metodológico y la definición de protocolos para su población y actualización debe reconocer las fronteras que limitan el sistema analizado y las relaciones con el exterior. Además, de acuerdo con Boyle:

> los procesos ecosistémicos son frecuentemente no-lineales y las salidas de tales procesos pueden presentar vacíos temporales. El resultado son discontinuidades que conducen a incertidumbres y procesos repentinos, por lo que el manejo debe ser adaptativo, con el fin de posibilitar respuestas a tales incertidumbres, contando con elementos de autoaprendizaje o retroalimentación. (1998, citado por Sinchi, 2003, p. 27)

Los indicadores en la gestión ambiental

La gestión ambiental ha pasado de ser simplemente acción humana para el aprovechamiento del medio externo, al incorporar al hombre como parte del sistema y reconocer que sus comportamientos son un factor clave en la afectación del mismo. En esa visión integral se requiere establecer mecanismos para medir los efectos ambientales o impactos de los fenómenos ocurridos y de las acciones antrópicas desarrolladas, monitoreando diversas variables e intentando predecir su estado futuro.

El monitoreo también puede realizarse por interés científico y para entender el comportamiento y la función de los ecosistemas, cuya información puede ayudar a anticipar y cuantificar los cambios e identificar o diagnosticar el problema y sus fuentes. El monitoreo de la salud integral de los ecosistemas (incluyendo aquellos dominados por el hombre, tales como las ciudades) nos proporciona una idea del bienestar general del sistema y de su capacidad para manejar las tensiones.

Sin embargo, cualquiera que sea la razón, el objetivo último del monitoreo es la medición del avance hacia unas metas de la sociedad. Esto

indica si estamos en la ruta adecuada y qué tan rápido nos movemos en una dirección positiva (Sinchi, 2003).

Lineamientos para la construcción de los indicadores de la Línea base ambiental de Caldas

Esta sección presenta el enfoque y lineamientos definidos para la construcción de los indicadores de la Línea base ambiental de Caldas.

Premisas en la construcción de los indicadores

Acorde con la discusión presentada anteriormente y basados en consensos obtenidos y soportados en otros trabajos (Sinchi, 2003; Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial de Colombia, 2007) para definir y desarrollar un indicador propuesto, este debe:

- Ser simple.
- Apuntar a situaciones claves en el contexto regional.
- Ser sensitivo a cambios en las condiciones de interés.
- Ser consistente y comparable en todo tiempo y espacio.
- No afectarse por un cambio menor en la metodología o escala usada para su construcción.
- Tener credibilidad científica y recoger normas y consenso internacional acerca de su validez.
- Ser fácilmente entendible.
- Estar basado sobre datos de conocimiento y calidad aceptable.
- Ser fácilmente evaluable.
- Permitir su medida o cálculo en el tiempo.

La construcción de los indicadores de la Línea base ambiental de Caldas se estructuró a partir de la organización de grupos de expertos en mesas de consenso con la participación de expertos locales y nacionales

para los diferentes temas ambientales como: ecosistemas estratégicos, biodiversidad, agua, clima y aire, suelo subsuelo y uso de los recursos.

La implementación de la metodología de las mesas de consenso ha sido utilizada en diferentes proyectos regionales por el Instituto de Estudios Ambientales (Idea) de la Universidad Nacional de Colombia sede Manizales; metodología que ha permitido que actores diferentes a la academia hagan parte de las discusiones de los temas propuestos. Por medio de estos encuentros y de las mesas de consenso se analizaron y discutieron los indicadores que promueven la evaluación y el monitoreo de los diferentes temas ambientales del departamento de Caldas.

Marco ordenador para la construcción de los indicadores

El marco ordenador para la construcción de estos indicadores se basó en el modelo de presión-estado-respuesta (PER) (OCDE, 1993). Este modelo tiene como ventaja que identifica las condiciones de los recursos naturales, las actividades antrópicas que ejercen las acciones humanas sobre estos recursos, cambiando la calidad y la cantidad de los mismos y la respuesta que da la sociedad a través de políticas ambientales, económicas generales y sectoriales:

1. Los indicadores de presión describen las presiones que las actividades humanas ejercen sobre el medio ambiente, incluyendo las presiones inmediatas o directas (emisiones, consumo, etc.) Y los indicadores de presiones indirectas cuantifican las actividades humanas que conducen a presiones al medio ambiente.
2. Los indicadores de estado reflejan las condiciones ambientales, a saber, la calidad y cantidad de los recursos naturales y deben dar una visión general de la situación (del estado) del medio ambiente y su evolución en el tiempo y no las presiones sobre este. En la práctica, la distinción entre las condiciones ambientales y las presiones puede ser ambigua y la medición de

las condiciones ambientales puede resultar difícil o muy costosa. Por esto, la medición de presiones ambientales se utiliza a menudo como un sustituto para la medición de las condiciones ambientales.

3. Los indicadores de respuesta de la sociedad miden si la sociedad está respondiendo a los cambios ambientales y sus preocupaciones. Las respuestas sociales se refieren a acciones individuales y colectivas para mitigar, adaptar o prevenir impactos antropogénicos negativos sobre el medio ambiente y para detener o revertir el daño ambiental ya causado. Las respuestas sociales también incluyen acciones para la preservación y la conservación del medio ambiente y los recursos naturales.

Hoja metodológica para cada indicador

La hoja metodológica es una descripción sintética de los elementos necesarios para comprender y medir un indicador. Es su "hoja de vida", ya que define el indicador en forma precisa, la pertinencia del mismo, la fórmula y su cálculo, las limitaciones y alcances de la medición, así como las fuentes y la disponibilidad de los datos.

El Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales de Guatemala definió un formato único de hoja metodológica como herramienta integradora del proceso de discusión, selección, concertación y diseño de cada indicador que recoge trabajos previos (Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial de Colombia, 2007; Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales- MARN, República de Guatemala, 2003; Quiroga-Martínez, 2009), pero que amplía sus campos con el fin de incluir los elementos metodológicos y de protocolos asociados al indicador. Igualmente, en algunos de los campos incluidos se hace referencia a la relación del indicador con políticas regionales, nacionales o internacionales.

Para su fácil análisis se determinó calificar el valor del indicador mediante semáforos (colores verde, amarillo, rojo) a partir de valores umbrales o de referencia contra los cuales se realiza comparación. Es

importante precisar que estos valores son dinámicos y pueden ser ajustados según las condiciones particulares.

Se incluyeron los indicadores requeridos según la opinión y consenso de los expertos, sin importar el tiempo y condiciones necesarias para su puesta en funcionamiento, por lo cual se tendrán indicadores a corto, mediano y largo plazo.

Para su definición se tuvieron en cuenta los indicadores mínimos definidos por la legislación actual y vigente (Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial de Colombia, 2007), para el seguimiento, evaluación y control del estado de los recursos naturales y del medio ambiente. Estos indicadores deben monitorear el nivel de avance y cumplimiento de los objetivos y metas establecidas en los planes de la corporación y deben guiar la formulación de las metas en futuros planes.

En este marco, la construcción de la línea base —organizada en un proceso de monitoreo de las dinámicas del sistema en estudio— busca establecer las estructuras, procesos y relaciones en Caldas, pero manteniendo, desde el enfoque de sistemas, las relaciones con el contexto regional y nacional. Esta línea base debe condensar el conocimiento actual y posterior de las situaciones relevantes en Caldas. En particular, debe representar el estado de los recursos, las presiones a que están sometidos y las acciones de la sociedad para evitar daños mayores y su mitigación. Los datos tienen diferente escala temporal y espacial, por lo cual, todos deben llevarse al mismo punto en el nivel de referencia. Incluso en algunos casos no se contará con datos que permitan alimentar los indicadores propuestos, pero por su importancia se indican. A continuación, la tabla 1 muestra y explica la hoja y cada uno de sus componentes.

Tabla 1. Campos para las hojas metodológicas

1. Identificador del indicador	Código único que identifica el indicador. Es importante en el proceso de sistematización. Puede ser un simple consecutivo.
2. Nombre	Se debe asignar un nombre claro, conciso y amistoso al usuario, que defina exactamente lo que muestra el indicador.
3. Tipo	Para el caso: fuerza motriz, presión, estado, impacto, respuesta, etc.

4. Descripción	Se debe realizar una descripción corta de lo que mide el indicador y su propósito, sobre todo, cuando este recibe un nombre científico o técnico, utilizando un lenguaje claro y simple que oriente al usuario.
5. Pertinencia o relevancia	Se debe especificar la importancia que tiene el indicador propuesto en la evaluación sobre el medio ambiente o respecto de la sostenibilidad. En esencia, se trata de conectar los contenidos del indicador con los problemas y desafíos de la sostenibilidad en el territorio concreto que abarque. Esto implica definir la variable o las variables que componen el indicador, vinculándola con los problemas ambientales o de desarrollo sostenible que puede percibir o entender el usuario.
6. Definición de variables	Cada una de las variables que componen el indicador debe ser definida detalladamente, de forma que no quede lugar a "interpretaciones". Comúnmente, se adopta la definición de la institución que produce el dato, por ejemplo: "se utiliza el concepto de fragmentación de ecosistemas del instituto x".
7. Fórmula de cálculo	Es la expresión matemática mediante la cual se calcula el indicador. Esta fórmula deberá contener las variables que inciden directamente en el resultado del indicador.
8. Unidad de medida	Hace referencia a las unidades en que se mide el indicador. Puede tratarse de porcentajes, hectáreas, habitantes, entre otros.
9. Criterio de calificación	Se trata de aclarar, explícitamente, cuál es la interpretación del indicador y de los cambios (aumentos o disminuciones) en el mismo. Prepara la interpretación del indicador, en el contexto de la sostenibilidad ambiental o del desarrollo.
10. Rango de calificación y semáforo	Cuáles son los valores que pueden tomar el indicador y las condiciones asociadas a subrangos en este intervalo. Se usarán semáforos (verde, amarillo, rojo) para mostrar el estado del indicador.
11. Alcance	Se debe especificar qué dinámicas son las que "captura" o "muestra" el indicador. Es decir, el alcance muestra exactamente qué cosas nos estaría diciendo el indicador en cuestión.
12. Restricciones	Situaciones que eventualmente conduzcan a que el indicador no pueda poblarse.
13. Sitio de muestreo	Lugar donde se hace la medición del indicador, expresado en coordenadas e información complementaria.
14. Cobertura o escala	La cobertura del indicador puede comprender distintas escalas o incluso combinar varias de estas; en todo caso, debe quedar bien especificado, considerando la cobertura de las variables que lo

	componen. Por ejemplo, comunal, provincial, departamental, ecorregional, cuenca, nacional, etc.
15. Fuente de los datos	La fuente del dato debe quedar estipulada para cada una de las variables en forma detallada, se debe especificar no solo la institución, sino también el departamento u oficina o la publicación física o electrónica donde se encuentra disponible (si correspondiera) y el nombre y correo electrónico de contacto de la persona a cargo.
16. Método de levantamiento o captura de los datos	Describir el método a través del cual se capturan o generan los datos básicos. En general, se pueden mencionar las encuestas, censos, registros administrativos y estaciones de monitoreo, entre otras.
17. Disponibilidad de los datos	La disponibilidad de los datos se refiere a que tan fácil o difícil es el acceso sistemático al dato, más allá de que formalmente se encuentre producido. Por ejemplo, se puede decir: "plenamente disponible en formato físico o electrónico", "disponible en forma restringida a organismos públicos", "dato primario disponible en encuesta de hogares, pero requiere procesamiento ulterior para generar la información requerida" o "información reservada".
18. Frecuencia de medición	Se debe especificar la periodicidad de toma del dato para cada variable que compone el indicador. Esta se entiende como el período de tiempo en que se actualiza el dato. Por ejemplo: "cada cuatro años", "anual", "bimensual", etc. Cuando corresponda, especificar la periodicidad de levantamiento, registro y publicación del dato.
19. Periodicidad de análisis	Se debe especificar cuál es el periodo para el análisis del indicador. En muchos casos puede ser igual al de la frecuencia de medición.
20. Relación del indicador con objetivos, políticas, normas, iniciativas locales o mundiales o metas ambientales	Se debe explicitar si existe relación con políticas, metas, normas de calidad o incluso líneas base relevantes para el indicador. En algunos casos esto sirve para evaluar el avance en el tiempo o en distintos territorios.
21. Datos complementarios o de soporte	Son datos que se consideran importantes.
22. Tabla de	Hace referencia a la ubicación de los datos.

datos	
23. Gráficos, mapas u otros diagramas	Se mencionará si el indicador requiere la elaboración de mapas, gráficos u otra figura de soporte.
24. Meta	La meta definida por la corporación o por la universidad para la medición del indicador.
25. Responsable interno	Las instancias responsables de la elaboración del indicador en la entidad.
26. Comentarios	Espacio para mejorar la documentación del indicador.
27. Créditos y agradecimientos	Para los casos donde el indicador se haya tomado directamente de una fuente o agradecer el apoyo de personas o instituciones.

Fuente: elaboración propia.

Conclusiones del capítulo

En este capítulo se recopilan los requisitos mínimos para la construcción de indicadores, pero también para el suministro de información, lo que ha resultado ser un elemento clave en el ejercicio de la planificación y ordenamiento ambiental, este es un apoyo fundamental para la gestión del riesgo y, adicionalmente, para la realización de actividades cotidianas de la población.

Contar con protocolos metodológicos para el levantamiento de información permite que muchas instituciones realicen sus propios monitoreos y más importante aún que se pueda comparar los diferentes tipos de monitoreo realizados, lo que permite que se construya sobre lo construido.

Por estas razones, cada vez es más importante definir claramente los protocolos o las metodologías para la generación de datos e indicadores, ya que estos pueden ser utilizados por la población para los diferentes ejercicios y, por tanto, aportar al desarrollo socio-económico.

Referencias

Bertalanffy, L. V. (1994). *Teoría general de los sistemas*. México: Fondo de Cultura Económica.

Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas (Sinchi). (2003). Construcción de la línea base para evaluar el estado de los recursos naturales y el ambiente en la Amazonia colombiana. Bases conceptuales y metodológicas. En *Informe final*. Bogotá: Ministerio de Vivienda, Ambiente y Desarrollo Territorial.

Klir, G. (1980). Teoría general de sistemas: un enfoque ecosistémico. *Economía y Administración, 10*(3), 125-132.

Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales de la República de Guatemala (MARN) (2003). *Manual de indicadores del ambiente y los recursos naturales*. República de Guatemala: autor.

Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial de Colombia (2007). *Resolución 0964 del 1 de junio de 2007*.

Ministerio del Medio Ambiente (Minambiente) (2002). *Sistema de indicadores de sostenibilidad ambiental* (*SISA*). Bogotá: autor.

Presidencia de la República de Colombia (1974). *Decreto 2811 del 18 de diciembre de 1974*.

Quiroga-Martínez, R. (2009). Guía metodológica para desarrollar indicadores ambientales y de desarrollo sostenible en países de América Latina y el Caribe. En *Cepal Serie Manuales* (Vol. 61, pp. 7-97).

UN y Corpocaldas (2014). *Definición de los indicadores de la Línea base ambiental de Caldas*. Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales.

Winograd, M., Fernández, N., Messias, R. (1995). Marco conceptual para el desarrollo y uso de indicadores ambientales y de sustentabilidad para toma de decisiones en Latinoamérica y el Caribe. México D.F.: CIAT, PNUMA.

Capítulo 2
Indicadores de clima

Jeannette Zambrano Nájera
Fernando Mejía Fernández
John Alexander Pachón Gómez

Universidad Nacional de Colombia,
Sede Manizales

Clima

El clima se puede definir como las condiciones atmosféricas predominantes en un lugar o región durante un período determinado. Es un factor

ambiental importante que influye en el desarrollo de diversas actividades socioeconómicas (Ideam *et al.*, 2002).

Cuando ocurren alteraciones en el clima se generan problemas ambientales que producen impactos socioeconómicos. Los cambios en el clima pueden ser generados por manifestaciones extremas de la variabilidad climática o por el cambio climático. La variabilidad climática es la fluctuación de las variables climatológicas respecto de las condiciones predominantes y el cambio climático se define como el cambio de estas. Las variaciones se presentan en escalas espaciales (que van desde lo local a lo mundial) y escalas temporales (desde algunos meses a decenios y periodos mayores) (Gleick, 1990; Ideam y UNAL, 2018; Ideam y Ministerio del Medio Ambiente, 2001; IPCC, 2013).

Sin embargo, las alteraciones de la variabilidad climática (como las asociadas a los fenómenos de El Niño o de La Niña) o del cambio climático pueden impactar negativamente los ecosistemas o la sociedad y generar o agudizar los problemas ambientales y el desarrollo de las actividades socioeconómicas (Gleick, 1990; Ideam y UNAL, 2018; IPCC, 2013).

En la evaluación de indicadores climáticos, el análisis de las variables meteorológicas permite determinar las condiciones climáticas específicas del medio, además de cambios en el clima, la susceptibilidad de los ecosistemas y de la sociedad ante eventos relacionados con la variabilidad climática, lo cual evidencia, en algunos casos, niveles de riesgo e impacto sobre la población. Algunas instituciones hacen uso de paquetes de *software* potentes para la homogeneización de datos y el cálculo estadístico de índices climáticos que proporcionan un tratamiento y análisis más avanzado a las variables medidas (IPCC, 2013).

Los indicadores climáticos comprenden dos clasificaciones principales: indicadores básicos y complejos. Los indicadores básicos son los que se derivan directamente de los datos climáticos, mientras que los complejos se derivan cruzando los indicadores básicos entre ellos mismos o con otros datos, tales como, la degradación agrícola, socioeconómica, del suelo, etc. (Quiroga-Martínez, 2009).

Antecedentes sobre el seguimiento de indicadores en Caldas

En el departamento de Caldas, Corpocaldas es la entidad encargada de realizar el seguimiento de las condiciones del clima, a través de la medición de distintos parámetros relacionados con el seguimiento de variables climáticas. Adicionalmente, existen otras entidades que monitorean el clima, por tanto, desde hace más de 20 años se vienen consolidando varias estaciones de monitoreo ambiental en el departamento dirigidas por instituciones como la Alcaldía de Manizales, la Gobernación de Caldas, la Empresa Metropolitana de Aseo (Emas) —que cuenta con una red— , la empresa Aguas de Manizales S.A. E.S.P. y la Central Hidroeléctrica de Caldas (CHEC) entre otras.

Es así como se han ido incorporando diferentes redes, generando desarrollos tecnológicos con diseños de estaciones perfectamente adaptadas a las condiciones topográficas propias del departamento, sistemas de captura de datos desarrollados totalmente por ingenieros locales formados en la Universidad Nacional de Colombia, programas computacionales para el manejo de información y metodologías para el montaje y mantenimiento de las redes.

Inicialmente, se propuso a la Alcaldía de Manizales, por intermedio de su anterior Oficina Municipal para la Prevención y Atención de Desastres (OMPAD), apoyar el proyecto de montaje de una Red de Estaciones Meteorológicas para Prevención de Desastres en Manizales, basada en estos desarrollos tecnológicos, en convenio con otras instituciones, aprovechando que algunas estaciones estaban ya en funcionamiento por iniciativa de la universidad y de una empresa de servicios (la estación Posgrados de la Universidad Nacional y la estación Emas del relleno sanitario La Esmeralda de la Empresa Metropolitana de Aseo). En 2003 se consolidó dicha propuesta cuyo objetivo era determinar la correlación entre la lluvia, los deslizamientos de ladera y los taludes urbanos, teniendo en cuenta la cantidad de desastres presentados por dicho motivo, según consta en los registros. Desde esa época se continúa fortaleciendo el monitoreo ambiental en el departamento de Caldas. En 2016 se consolidó un sistema integral de

monitoreo denominado Sistema Integrado de Monitoreo Ambiental de Caldas (Simac), administrado por la Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales, que integra, en lo referente al monitoreo del clima, las estaciones de la Alcaldía de Manizales, la Gobernación de Caldas, las empresas Emas S.A. E.S.P., Aguas de Manizales S.A. E.S.P., la CHEC S.A. E.S.P. y por supuesto, Corpocaldas, que sigue al mando de la construcción de los indicadores.

Las redes de estaciones de monitoreo de variables hidrometeorológicas que reportan datos a las centrales (con sede en el Idea de la Universidad Nacional) son detalladas en las figuras 1 y 2.

1. Red de estaciones meteorológicas e hidrometeorológicas para la gestión del riesgo ante desastres por deslizamientos en Manizales.
2. Red de estaciones hidrometeorológicas para la gestión del riesgo de desastres por inundaciones en cuencas urbanas de Manizales.
3. Red hidrometeorológica en cuencas urbanas y rurales de Manizales.
4. Red de estaciones meteorológicas e hidrometeorológicas del departamento de Caldas.
5. Red de estaciones meteorológicas e hidrometeorológicas en el Parque Nacional Natural Los Nevados (evaluar la oferta hídrica).
6. Red de estaciones hidrometeorológicas para la gestión del riesgo por inundación en el área de influencia del Nevado del Ruiz, cuencas de los ríos Claro y Chinchiná.
7. Red de estaciones hidrometeorológicas en las bocatomas de la CHEC.
8. Redes de estaciones comunitarias de Corpocaldas.
9. Redes de estaciones comunitarias de la Jefatura de Gestión del Riesgo y Cambio Climático de la Gobernación de Caldas (JDEGER).

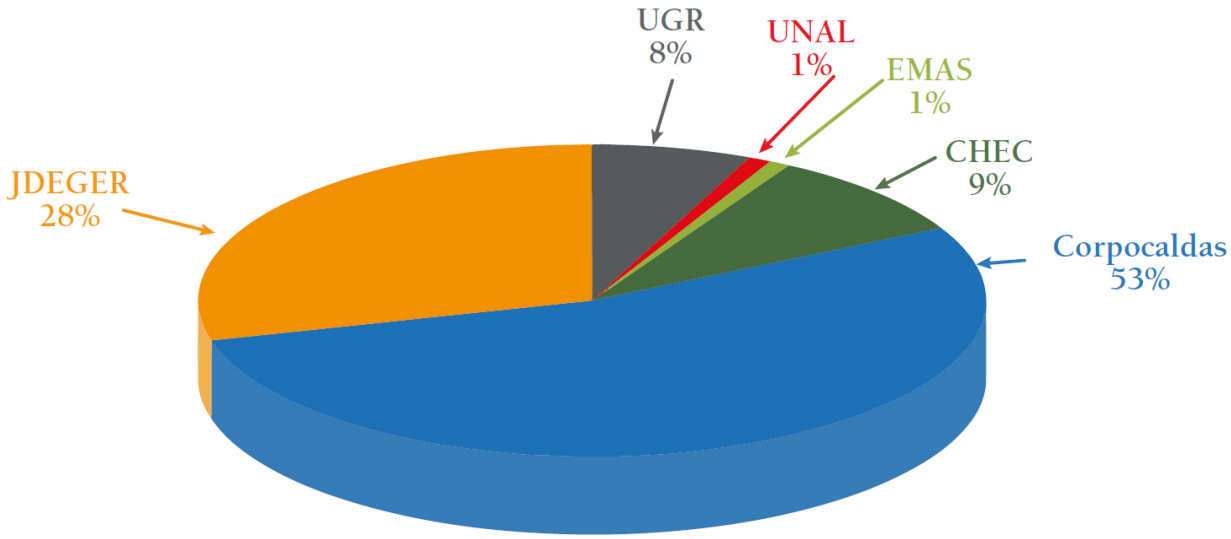


Figura 1. Distribución porcentual estaciones en Caldas por propietario.

Fuente: Zambrano y Delgado (2017).

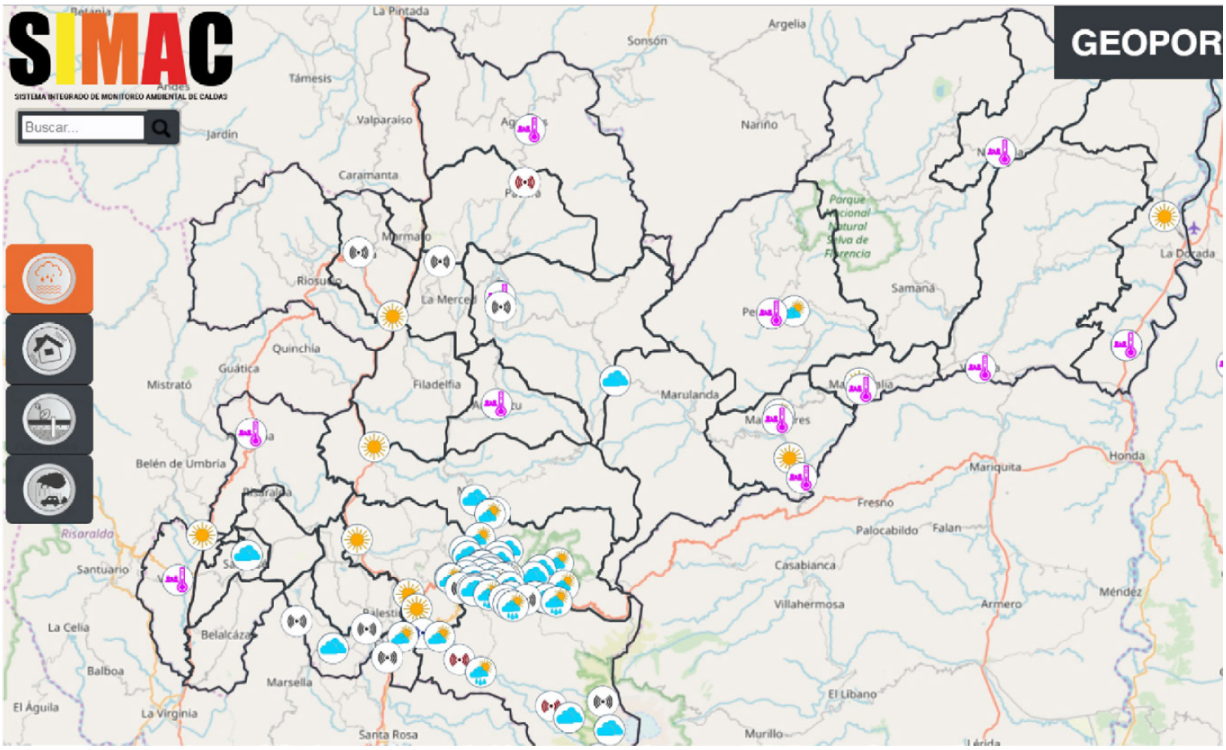


Figura 2. Ubicación de las estaciones hidrometeorológicas del departamento de Caldas y del municipio de Manizales.

Fuente: Zambrano y Delgado (2017).

Metodología de trabajo para la elección de indicadores

En la primera versión del proyecto Línea base ambiental de Caldas se realizó una revisión de indicadores ambientales implementados en otras regiones del país como Bogotá (Observatorio Ambiental de Bogotá, 2012 y en el Sistema de Información Ambiental de Colombia (SIAC) administrado por el Ideam), Medellín (Siata) entre otras, e incluso en otros países latinoamericanos como México, que cuentan con un completo seguimiento ambiental en cuanto al monitoreo de contaminantes. Posteriormente, se tuvieron en cuenta las variables que las redes meteorológicas e hidrometeorológicas de Caldas han medido y reportado por muchos años y que han servido como apoyo a los diferentes estudios de riesgo y de contaminación atmosférica. Además, se han observado las recomendaciones que al respecto realiza la Organización Meteorológica Mundial (OMM, 2008, 2011, 2014).

Análisis de indicadores definidos

A partir de los análisis de la contextualización del departamento de Caldas en el tema de indicadores de clima, el análisis de su topografía y las características climáticas propias se proponen los indicadores para que el departamento consolide aún más su Sistema de Información Ambiental (tabla 2). Estos han sido revisados teniendo en cuenta el sistema de Información Ambiental de Colombia y las hojas metodológicas propuestas para Colombia por el Ideam (2013) y el Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial (2007).

Tabla 2. Indicadores propuestos para clima

Nombre del indicador	Descripción
Precipitación	Conocer el comportamiento de la precipitación en un periodo de tiempo

acumulada (lluvia) (PPT)	en una localización específica permite mejorar la planificación, contar con un calendario agrícola, conocer la disponibilidad de agua o escasez, etc.; y este proceso también se utiliza para fines de gestión del riesgo y cambio climático. En contaminación atmosférica juega un papel importante el conocimiento de este indicador debido a su participación en fenómenos atmosféricos que interactúan con los contaminantes.
Precipitación acumulada en los últimos 25 días (A25)	Este indicador es útil para conocer el comportamiento de la precipitación acumulada en los últimos 25 días en una zona específica y a partir de este se generan niveles de alerta según los valores obtenidos del indicador A25.
	Es un indicador utilizado actualmente en los reportes de la red de estaciones hidrometeorológicas para la gestión del riesgo por deslizamientos en Manizales y es un insumo base para la declaratoria de alertas tempranas a la cabeza del Consejo Municipal de Gestión del Riesgo de la ciudad.
Anomalía de precipitación (AP)	Este indicador es nuevo en el Simac. Y define cómo ha sido el régimen de precipitación durante un mes con relación al promedio establecido como valor normal. Sirve para indicar periodos más secos o húmedos de lo normal.
Temperatura (máxima, media y mínima) (TEMP)	Este indicador es importante para el cambio climático y sus efectos en la región con miras a su mitigación y adaptación. La temperatura máxima registrada en un periodo determinado establece mediante estadísticas, cuáles serán las épocas calurosas. La temperatura media determina pronósticos y alertas meteorológicas, trabajos de investigación y estudios en climatología, clasificación climática y agroclimática, modelamiento, reacción de contaminantes en el aire, etc. Comparar la base de datos históricos establece condiciones de cambio de calentamiento o enfriamiento del aire. Por último, conocer la temperatura mínima registrada en un periodo frío. En otras palabras, conocer cuáles son los meses más fríos es importante para realizar estudios y aplicaciones futuras.
Rango o amplitud de la temperatura ambiente (rango TEMP)	Muestra la amplitud de la temperatura en un día, mes, año o varios años, calculando la diferencia que hubo entre la temperatura máxima y la temperatura mínima del periodo seleccionado. Este indicador es la medida entre el valor máximo y el mínimo, además tiene un valor ecológico y diferente para los distintos cultivos, ya que condiciona los ecosistemas.
Anomalía de temperatura (AT)	La anomalía de temperatura es la diferencia entre la temperatura media para el periodo de análisis, normalmente el mes y la temperatura media mensual multianual de ese mismo mes. El indicador permite evaluar el comportamiento de la temperatura en un periodo determinado de tiempo.
Humedad	El monitoreo de la humedad relativa media en un lugar está estrechamente

relativa (máxima, media y mínima) (HR)	relacionado con la probabilidad de que se presenten lluvias. Si la humedad relativa es alta dicha probabilidad también lo es. Este indicador influye a su vez en el confort térmico dependiendo principalmente de la altitud del lugar. Así, para zonas bajas, una alta humedad relativa y altas temperaturas afectan negativamente dicho confort generando una sensación de bochorno.
Velocidad media y dirección predominante del viento (DVV)	Este indicador permite establecer la velocidad de recorrido del aire que circula en un determinado lugar y la dirección predominante que lleva. Se puede relacionar con otras variables meteorológicas como las temperaturas, las precipitaciones, etc.
Presión barométrica (máxima, media y mínima) (PBM)	Es necesario establecer las condiciones de presión existente en una zona específica, con el fin de relacionar esta información con los demás parámetros meteorológicos para determinar el estado del tiempo. Es útil como insumo para los cálculos relacionados con la concentración de contaminantes atmosféricos.
Radiación solar (máxima y media) (RS)	Este indicador permite conocer el comportamiento de la radiación solar en un periodo de tiempo determinado y para una localización específica. Además, suministra información útil para la agricultura, pero también para la salud pública en programas de prevención de afectaciones a la piel por exposiciones prolongadas a dicha radiación y por los efectos nocivos de la radiación ultravioleta. En contaminación atmosférica juega un papel importante el conocimiento de este indicador debido a su participación en fenómenos atmosféricos que interactúan con los contaminantes. Además, este indicador es fundamental en el estudio del cambio climático y sus efectos en la región con miras a su mitigación y adaptación.

Fuente: elaboración propia.

Conclusiones del capítulo

En cuanto a los indicadores de clima, las redes meteorológicas de Caldas han proporcionado durante varios años registros muy completos de las variables meteorológicas básicas como temperatura, velocidad y dirección del viento, humedad relativa, presión barométrica, brillo solar, entre otras; estos son herramientas primordiales en análisis de estudios ambientales y de

gestión del riesgo a la ciudad. Sin embargo, es pertinente llevar a cabo análisis más profundos que incluyan la elaboración de indicadores adicionales para relacionar entre sí las variables ya medidas y proporcionar más información acerca de la variabilidad y cambio climáticos a la población. En dicho sentido, se buscará trabajar en las futuras versiones.

En general, los indicadores del componente clima implementados en otras regiones del país y del mundo fueron puntos de referencia importantes en la formulación de los indicadores para Caldas, el objetivo era que el departamento adquiera más instrumentación y tecnología que permita poblar nuevos indicadores y de esta forma mejorar el sistema de información ambiental de la región.

Referencias

Gleick, P. (1990). Vulnerability of water systems. In P. E. Waggoner (Ed.) *Climate change and US water resources* (pp. 223-240). Wiley.

Ideam (2013). *Hojas metodológicas. Sistema de Información Ambiental* (SIAC).

Ideam y Ministerio del Medio Ambiente (2001). *El medio ambiente en Colombia*. Segunda edición. Bogotá D. C.

Ideam y UNAL (2018). *Variabilidad climática y el cambio climático en Colombia*. Bogotá: Ideam.

Ideam, MVADT, Sinchi, IIAP, Invemar y IAvH. (2002). Conceptos, definiciones e instrumentos de la información ambiental de Colombia. En *Sistema de información ambiental de Colombia*. Tomo I.

IPCC (2013). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*.T. F. Stocker, D. Qin, G.K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex, & P. M. Midgley (Eds.). Cambridge University Press.

Minambiente, Sinchi, Instituto Von Humbolt, Cormarcarena, Corpoamazonía, Parques Nacionales Naturales de Colombia, y Sistema de información sobre biodiversidad de Colombia (2007). Sistema de información ambiental territorial de la Amazonia Colombiana SIAT-AC. Modelo conceptual. Bogotá D.C.: Minambiente.

Organización Meteorológica Mundial (OMM) (2008). *Guía de métodos de observación e instrumentos meteorológicos*. Génova, Suiza: autor.

Organización Meteorológica Mundial (OMM) (2011). *Guía de prácticas climatológicas*. Génova, Suiza: autor.

Organización Meteorológica Mundial (OMM) (2014). *Guía de instrumentos y métodos de observación meteorológicos*. Génova, Suiza: autor.

Quiroga-Martínez, R. (2009). Guía metodológica para desarrollar indicadores ambientales y de desarrollo sostenible en países de América Latina y el Caribe. En *Cepal serie manuales* (Vol. 61, pp. 7-97). Santiago de Chile: Cepal.

Zambrano, J. y Delgado, V. (2017). Sistema de información ambiental departamento de Caldas. *Boletín Ambiental, Instituto de Estudios Ambientales, 137*, 11.

Capítulo 3
Indicadores de calidad del aire

Beatriz Helena Aristizábal
Wendy Hernández
Juan Camilo Ocampo

Universidad Nacional de Colombia,
Sede Manizales

Introducción

Es importante hacer seguimiento de la calidad del aire mediante el monitoreo de contaminantes en la atmósfera para generar estrategias de

control que aminoren el impacto ambiental que puede ocasionar daños en la salud humana. El plan de gestión ambiental permite detectar la fuente de la contaminación ambiental y estimar las consecuencias para tomar acciones de control que permitan minimizarlos (Ministerio de Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010).

De acuerdo con las actividades antropogénicas y la legislación colombiana de calidad del aire es necesario establecer los indicadores de calidad del aire para la región; algunos de estos fueron propuestos inicialmente en el libro *Definición de los indicadores de la línea base ambiental de Caldas* (UN y Corpocaldas, 2014b). Estos indicadores consideran la información disponible, pero también los retos para la incorporación de nuevas mediciones y, posteriormente, la consolidación de indicadores relacionados con estas mediciones. En este sentido, el Sistema de Vigilancia de Calidad del Aire (SVCA) de Manizales ha ido incorporando nuevos instrumentos de medida de acuerdo con lo establecido por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (2010); también se han incorporado equipos automáticos que permiten tener mayor periodicidad de la medida, por lo tanto, la cantidad de datos también ha aumentado.

Actualmente el SVCA cuenta con ocho (8) equipos para el monitoreo de material particulado (PM) aplicando técnicas de monitoreo activo: cinco (5) equipos manuales de PM_{10} y uno (1) de $PM_{2.5}$ con datos cada 24 horas; dos (2) equipos automáticos (nefelómetros), que miden simultáneamente PM_{10} y $PM_{2.5}$ con datos cincominutales. El SVCA de Manizales también cuenta con una estación automática para el monitoreo de los gases ozono (O_3), dióxido de azufre (SO_2) y monóxido de carbono (CO) con datos cincominutales. Esta red es operada por el Grupo de Trabajo Académico en Ingeniería Hidráulica y Ambiental (GTAIHA) de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales, en convenio con Corpocaldas. La figura 3 muestra la ubicación de las estaciones de monitoreo en el área urbana de la ciudad y cuáles variables que se miden.

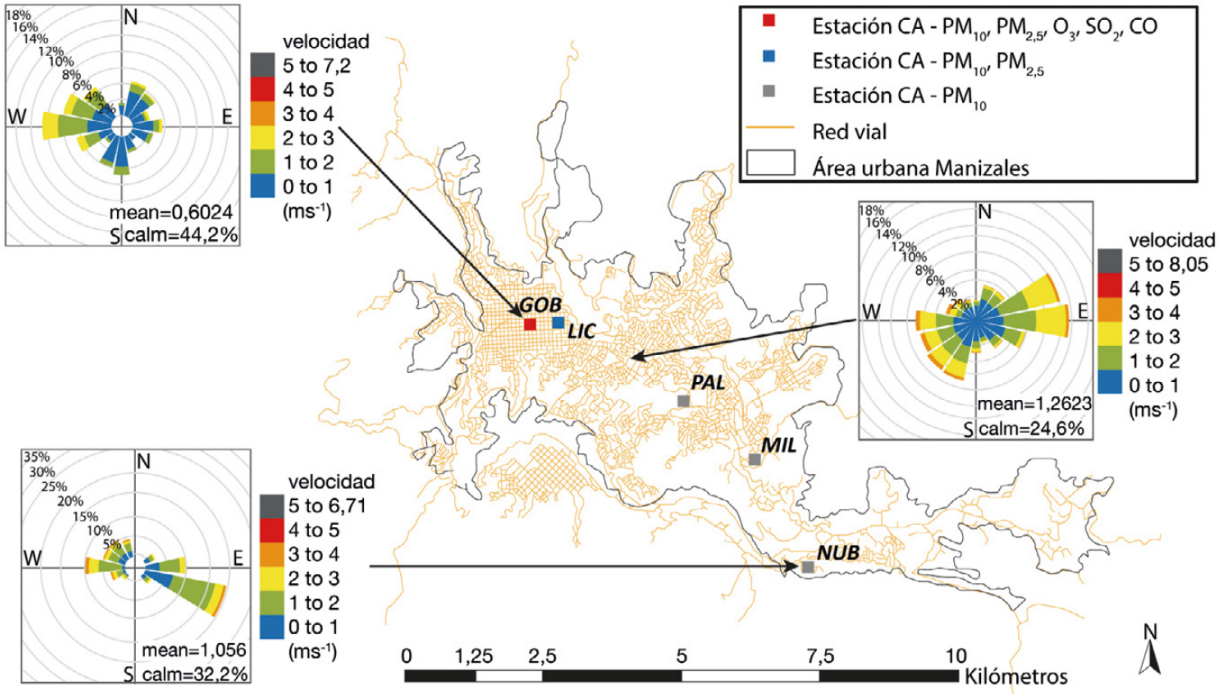


Figura 3. Mapa de Manizales con ubicación de las estaciones de calidad del aire y rosas de viento de estaciones meteorológicas representativas durante el periodo de enero-septiembre del 2019 (estaciones meteorológicas en orientación occidente a oriente: Gobernación de Caldas, Hospital de Caldas y La Nubia).

Fuente: elaboración propia.

La tabla 3 presenta las características principales y la fecha de inicio de operación de cada estación. En este periodo de consolidación de la línea base ambiental de Caldas se han incorporado varios equipos automáticos que permiten obtener datos en tiempo real de varios contaminantes que son importantes en el seguimiento de la calidad del aire (PM_{10}, $PM_{2.5}$, CO, SO_2 y O_3).

Tabla 3. Características de las estaciones de calidad del aire de Manizales

Estación	Características y fuentes de contaminantes*	Equipos	Año instalación	Latitud/ longitud	Altitud m s.n.m.
Gobernación	CU, SC, MTV, PAI	PM_{10}-manual[a]	2009	N 5° 4' 6.53" W 75° 31' 1.54"	2155
		$PM_{2.5}$-manual[a]	2009		
		SO_2-automático	2014		
		O_3-automático	2014		
		CO-automático	2014		
		PM_{10} y $PM_{2.5}$-automático[b]	2019		
UN Palogrande	ZC, SR, ATV, SAI	PM_{10}-manual[c]	2009	N 5° 3' 22.4" W 75° 29' 31.3"	2154
UN Nubia	ZSE, SR, BTV, AZI	PM_{10}-manual[c]	2009	N 5° 1' 47.0" W 75° 28' 18"	2091
Liceo	CU, SC, ATV, PAI	PM_{10}-manual[c]	2000	N 5° 4' 5.01" W 75° 30' 37.58"	2156
		PM_{10} y $PM_{2.5}$-automático[b]	2019		
Milán	ZC, SR, MAI, MTV	PM_{10}-manual[c]	2012	N 5° 2' 48.5" W 75° 28' 48.68"	2188

a: equipo de bajo volumen. b: equipo automático de PM (técnica nefelométrica). c: equipo de alto volumen.

*Características: SR: sector residencial, SC: sector comercial, ZSE: zona sureste, CU: centro urbano, ZC: zona central, ZI: zona industrial.

Fuentes de contaminación: ATV: alto tráfico vehicular, MTV: moderado tráfico vehicular, BTV: bajo tráfico vehicular, AAI: alta actividad industrial, MAI: moderada actividad industrial, PAI: pequeña actividad industrial, AZI: adyacente a zona industrial, SAI: sin actividad industrial.

Fuente: elaboración propia.

Considerando los datos de medición de contaminantes disponibles y los indicadores propuestos en el libro *Línea base ambiental de Caldas: indicadores de aire y clima* (2014) se inició la implementación y cálculo de

los indicadores, así como la actualización de las hojas metodológicas, estas consideran la legislación vigente en el tema de calidad del aire (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2017). La frecuencia para presentar los indicadores también es definida por la normativa (horario, octohorario, diario). Todos estos parámetros se presentan en cada hoja metodológica, es importante que la información esté organizada y actualizada, otros aspectos fundamentales son la metodología de cálculo y la fuente de la información.

Algunos indicadores se calculan considerando los datos tomados directamente por el SVCA según su periodicidad de medida, por ejemplo:

- Datos estadísticos de calidad del aire: este indicador permite conocer la concentración de los contaminantes medidos por las estaciones de calidad del aire de la región. Para gases y material particulado PM_{10} y $PM_{2.5}$ automático se muestran valores horarios promedio, máximos y mínimos a partir de mediciones cincominutales. Para material particulado PM_{10} y $PM_{2.5}$ gravimétrico se muestran valores diarios.
- Índice de calidad de aire (ICA): indicado el grado de contaminación atmosférica local y sus efectos sobre la salud, este considera los ICA propuestos por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA por sus siglas en inglés) (US Environmental Protection Agency, 2014).
- Porcentaje de excedencia de los límites normados (PELN): indica el grado de cumplimiento de la normatividad ambiental vigente y permitirá a la Corporación Autónoma Regional de Caldas y a la comunidad conocer la frecuencia y el nivel con el que los contaminantes criterio sobrepasan la norma de calidad del aire vigente para el país.

Un segundo grupo de indicadores está basado en información secundaria como los inventarios de emisiones, registros del parque automotor o medidas de ruido ambiental. La periodicidad de recolección de esta información es menor en algunos casos, anual (cambios en el parque

automotor) o entre dos y cuatros años como es el caso de los inventarios de emisiones antropogénicas y las mediciones de ruido ambiental. Estos indicadores son:

- Emisiones atmosféricas de contaminantes (Ematmos), Ematmos-sector industrial y Ematmos-sector vehicular: este indicador representa la cantidad de emisiones totales generadas por fuentes estacionarias puntuales y fuentes móviles en ruta del orden municipal en toneladas por año. Estos datos se adquieren a partir de los resultados generados en los inventarios de emisiones para el municipio de Manizales.
- Emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) per cápita: cantidad total de GEI expresados en dióxido de carbono (CO_2) equivalente emitido en una región como consecuencia de actividades humanas, dividida entre la población de la región de interés.
- Cambios en el parque automotor: el parque vehicular corresponde al conjunto de vehículos que atiende las necesidades de transporte. Este indicador permite conocer la distribución de vehículos en el parque automotor con base en los inventarios realizados para cada año base estudiado. Asimismo, permite identificar la distribución porcentual del combustible empleado por el vehículo (gasolina, gas natural comprimido y diésel).
- Ruido ambiental: este indicador permite especificar el nivel de presión sonora de intensidad constante expresado en decibeles que, en un periodo de tiempo establecido y en una localización determinada, tiene la misma energía sonora que el ruido medido (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2006). Nivel de presión sonora continuo equivalente corregido ($L_{RA,eq}$).

La figura 4 presenta un esquema del tipo de indicador, la frecuencia en la que se presenta y la variable que se calcula. Los datos son actualizados regularmente, según la frecuencia requerida para cada indicador. Esta información es presentada en el sistema del CDIAC. El CDIAC, por medio de

su página web[1], pone a disposición de la comunidad la información de los indicadores de calidad del aire de la ciudad de Manizales y el departamento de Caldas (UN y Corpocaldas, 2014a).

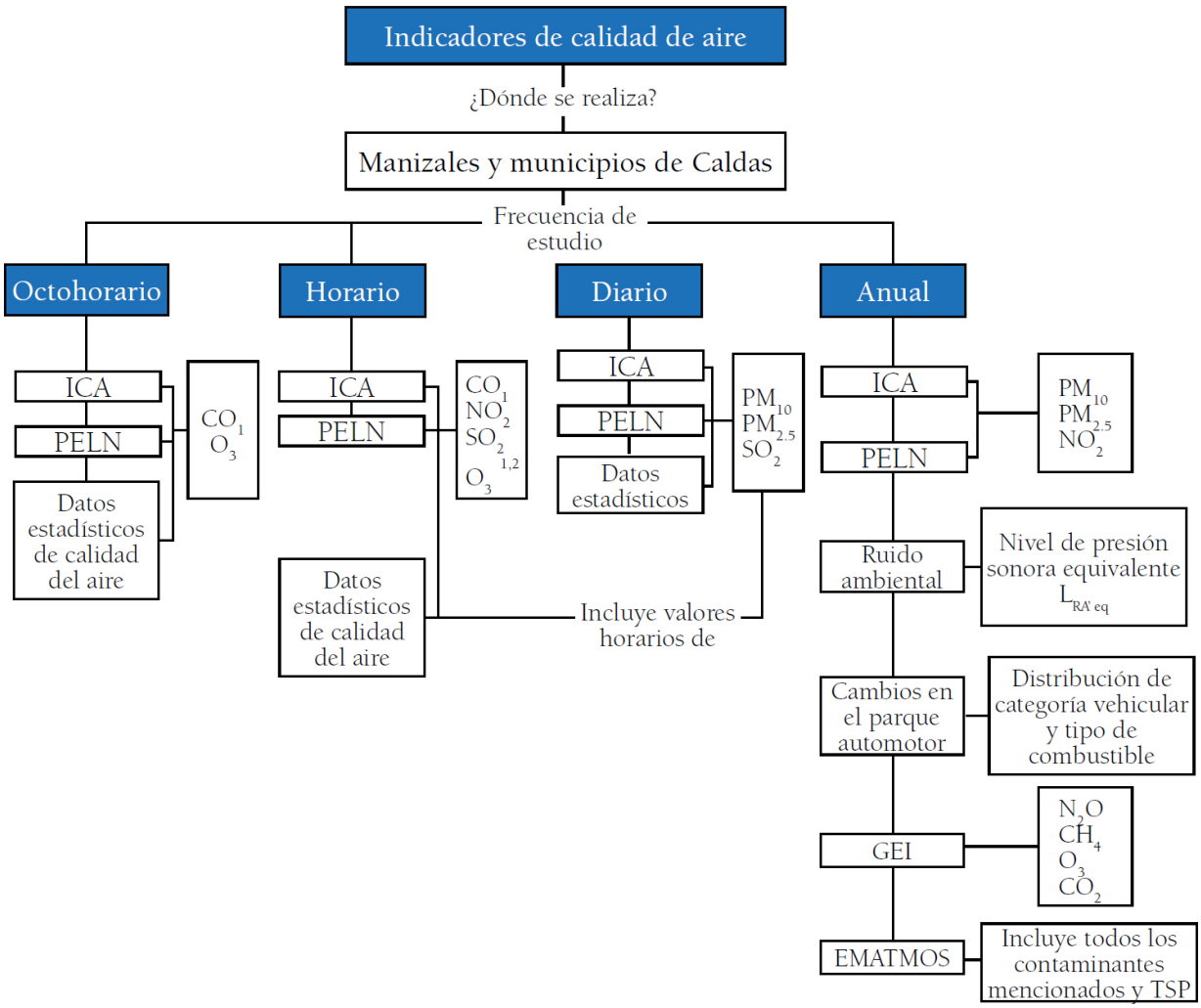


Figura 4. Indicadores de calidad del aire implementados en la región.

Fuente: elaboración propia.

Para la concentración de O_3 se consideran las variaciones temporales a dos escalas: diurna y nocturna.

El ICA de O_3 de 8 horas no será calculado para concentraciones superiores a 394 µg/m^3. Para valores superiores a 394 µg/m^3 se realiza únicamente el cálculo de ICA O_3 para 1 hora. En general, el reporte del ICA

de O_3 de 8 horas es requerido en todas las zonas de monitoreo. Sin embargo, en ocasiones el ICA de ozono de 1 hora puede ser más representativo. En estas situaciones se deben calcular ambos ICA de ozono y reportar el más alto de los dos.

Al comparar los registros desde 2014 se evidenció que se han implementado nuevos indicadores relacionados con el primer inventario de emisiones para la ciudad de Manizales en 2014 y la actualización de este en 2017; estos indicadores son: emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), cambios en el parque automotor incluyendo tasa de crecimiento y distribución del uso de combustible y Ematmos. En la tabla 4 se presentan estos indicadores, sus unidades, periodicidad y en el que se tiene información disponible.

Tabla 4. Descripción de la información suministrada por indicador evaluado

Indicador	Contaminante medido	Periodicidad	Localización	Año con información disponible
Datos estadísticos de calidad del aire Unidad de medida: µg/m^3 ppb	Monóxido de carbono (CO)	Horario (a partir de datos cincominutales)	Estación Gobernación	2014
	Dióxido de azufre (SO_2)	Horario (a partir de datos cincominutales)	Estación Gobernación	2014-2019
	Ozono (O_3)	Horario, diurno y nocturno (a partir de datos cincominutales)	Estación Gobernación	2014-2019
	Material particulado PM_{10}	Diario y horario	Estación Gobernación Estación La Nubia Estación Palogrande Estación Liceo Milán Malteria La dorada Riosucio Supía	2009-2019 2009-2019 2009-2019 2010-2019 2012 2018 2019 2017 2017
	Material particulado $PM_{2,5}$	Diario y horario	Estación Gobernación	2009-2019

	Ozono (O_3)	Horario (considerando las jornadas diurnas y nocturnas), octohorario, diario	Estación Gobernación	2014 -2019
Índice de calidad de aire Unidad de medida (adimensional)	Dióxido azufre (SO_2)	Diario y horario	Estación Gobernación	2014-2019
	Material particulado PM_{10}	Diario y horario	Estación Gobernación Estación Palogrande Estación Nubia Estación Liceo Estación Milán La Dorada Riosucio Supía	2009-2019 2009-2019 2009-2019 2010-2019 2012-2019 2012-2019 2019 2017 2017
	Material particulado $PM_{2.5}$		Estación Gobernación Estación Liceo	2009-2019 2019
	Ozono (O_3)	Anual	Estación Gobernación	2014
	Dióxido azufre (SO_2)	Anual	Estación Gobernación	2014
Porcentaje de excedencia de los límites normados (PELN) Unidad de medida: %	Material particulado PM_{10}	Anual	Estación Gobernación Estación Palogrande Estación Nubia Estación Liceo Estación Milán La Dorada Riosucio Supía	2014
	Material particulado $PM_{2.5}$	Anual	Estación Gobernación	2014

Ematmos Unidad de medida (Ton/año)	Monóxido de carbono (CO)	Anual	Emisión proveniente de fuente móvil e industrial	2014
	Óxido de nitrógeno (NO_X)	Anual	Emisión proveniente de fuente móvil e industrial	2014 y 2017
	Óxido de azufre (SO_X)	Anual	Emisión proveniente de fuente móvil e industrial	2014 y 2017
	Material particulado PM_{10}	Anual	Emisión proveniente de fuente móvil e industrial	2014 y 2017
	Partículas suspendidas totals (TSP)	Anual	Emisión proveniente de fuente móvil e industrial	2014 y 2017
	Metano (CH_4)	Anual	Emisión proveniente de fuente móvil	2014 y 2017
	Óxido nitroso (N_2O)	Anual	Emisión proveniente de fuente móvil	2014 y 2017
	Dióxido de carbono (CO_2)	Anual	Emisión proveniente de fuente móvil	2014 y 2017
Emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) Unidad de medida: Ton/año Ton CO_2/año	Dióxido de carbono (CO)	Anual	Emisión proveniente de fuente fija y fuente móvil	2014 y 2017
	Metano (CH_4)	Anual	Emisión proveniente de fuente fija y fuente móvil	2014 y 2017
	Óxido nitroso (N_2O)	Anual	Emisión proveniente de fuente fija y fuente móvil	2014 y 2017
Cambios en el parque atomotor Unidad de medida: %	Distribución de combustible	Anual	Manizales	2014 y 2017
	Tasa de crecimiento	Anual	Manizales	2000, 2010 2014 y 2017
	Parque automotor (diferentes tipos de vehículos)	Anual	Manizales	2000, 2010, 2014 y 2017

Ruido ambiental Unidad de medida: dB (A)	Ruido	Anual	Sector A (tranquilidad y silencio) Sector B (tranquilidad y ruido moderado) Sector C (ruido intermedio y restringido) Sector D (zona suburbana o rural de tranquilidad y ruido moderado)	2008 y 2014

Fuente: elaboración propia.

Conclusiones del capítulo

La importancia de los indicadores está relacionada con la consolidación de la información y la disponibilidad de los datos para que la población y autoridades puedan tener acceso de manera eficaz. También es fundamental resaltar el avance y consolidación de este componente durante el periodo de estabilización de la información.

Debido a la variedad de indicadores para diferentes contaminantes es necesario considerar los que reportan datos más periódicos, pues pueden implicar un riesgo en la salud humana y en el medio ambiente. Por lo cual, se requiere un mecanismo de alerta temprana para detectar señales en la etapa temprana y, consecuentemente, proporcionar las respuestas apropiadas.

Referencias

Ministerio de Vivienda y Desarrollo Territorial (2010). Manual de operación de sistemas de vigilancia de la calidad del aire. En *Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire* (p. 141). Bogotá, D.C.: autor.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) (2006). *Resolución 0627 del 07 de abril de 2006*.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) (2017). *Resolución 2254 de 2017*. Por la cual se adopta la norma de calidad del aire ambiente y se dictan otras disposiciones.

UN y Corpocaldas (2014a). *Centro de datos e indicadores ambientales de Caldas* (CDIAC). http://cdiac.manizales.unal.edu.co/

UN y Corpocaldas (2014b). *Definición de los indicadores de la Línea base ambiental de Caldas*, G. A. Osorio Zuluaga y N. D. Duque Méndez (Eds.). Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales.

US Environmental Protection Agency (2014). *A guide to air quality and your health*.

1 Consultar: http://cdiac.manizales.unal.edu.co/indicadores/public/index

Capítulo 4
Indicadores de agua

Jeannette Zambrano Nájera

Universidad Nacional de Colombia,
Sede Manizales

Aspectos generales

La definición de la oferta está fundamentada en el conocimiento del ciclo hidrológico, por tanto, la mayoría de los sistemas de indicadores planteados hacen referencia a los componentes del balance hídrico. Se evalúa dónde se encuentra el agua y, primero, se dividen en aguas superficiales y

subterráneas y la segunda división hace referencia al área de evaluación: oferta, calidad del agua, uso del recurso e impactos sobre las actividades (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia, 2010).

En lo referente a las aguas superficiales, el Ideam definió la oferta hídrica superficial como el "el volumen de agua continental que escurre por la superficie e integra los sistemas de drenaje superficial" (Ideam, 2010, 2019; MinAmbiente e Ideam, 2014). Es decir, que la oferta natural se determina a partir de la escorrentía o flujo superficiales, la que se define como la precipitación menos la evapotranspiración real y la infiltración en el suelo (MinAmbiente e Ideam, 2014) .Desde el punto de vista físico, el caudal de escorrentía es el volumen de agua que escurre por una sección por unidad de tiempo y que no se infiltra ni se evapora.

La oferta es definida como oferta hídrica total superficial (OHTS). Para determinarla se realiza un balance hídrico donde se contabilizan las entradas a la cuenca, es decir, la precipitación y las salidas de esta como evapotranspiración e infiltración. La oferta puede representarse en varias unidades como: a) volumen (m^3), b) en lámina de escorrentía (mm) y c) en rendimiento hídrico o caudal específico, que se define como la cantidad de agua superficial por unidad de superficie ($l/s/km^2$). El rendimiento hídrico evalúa la oferta por zonas. Adicionalmente, se analizan diferentes periodos donde lo común es hablar de las condiciones hidrológicas de año medio, es decir, los valores medio mensuales multianuales de la serie histórica de caudales.

Es importante mencionar que el concepto de oferta implica que el agua está disponible para su uso, sin embargo, no toda el agua que escurre naturalmente puede ser utilizada para realizar actividades humanas, ya que, si se deja sin flujo un cauce natural, esto causaría impactos muy negativos. Por tal razón, surgió el concepto de caudal ecológico y ambiental, que se define como "aquel que mantiene el funcionamiento, composición y estructura del ecosistema fluvial que el cauce contiene en condiciones naturales, preservando los valores ecológicos, el hábitat natural y funciones ambientales […]" (Ideam, 2010, p. 57). Este caudal se estima a partir de las características del régimen hidrológico representadas por la curva de frecuencias de caudales diarios (curva de duración de caudales-CDC). La

determinación se realiza a partir del índice de regulación hídrica, si es de 0,7 corresponde al caudal ambiental, el Q_{75} o percentil 75 de la CDC o de otra manera se deja el Q_{85} o percentil 85 de la CDC, como se observa en la figura 5. De esta manera, se tiene la oferta hídrica superficial disponible, la que también se puede definir como la resta entre la oferta hídrica superficial total y el caudal ambiental a la OHTS.

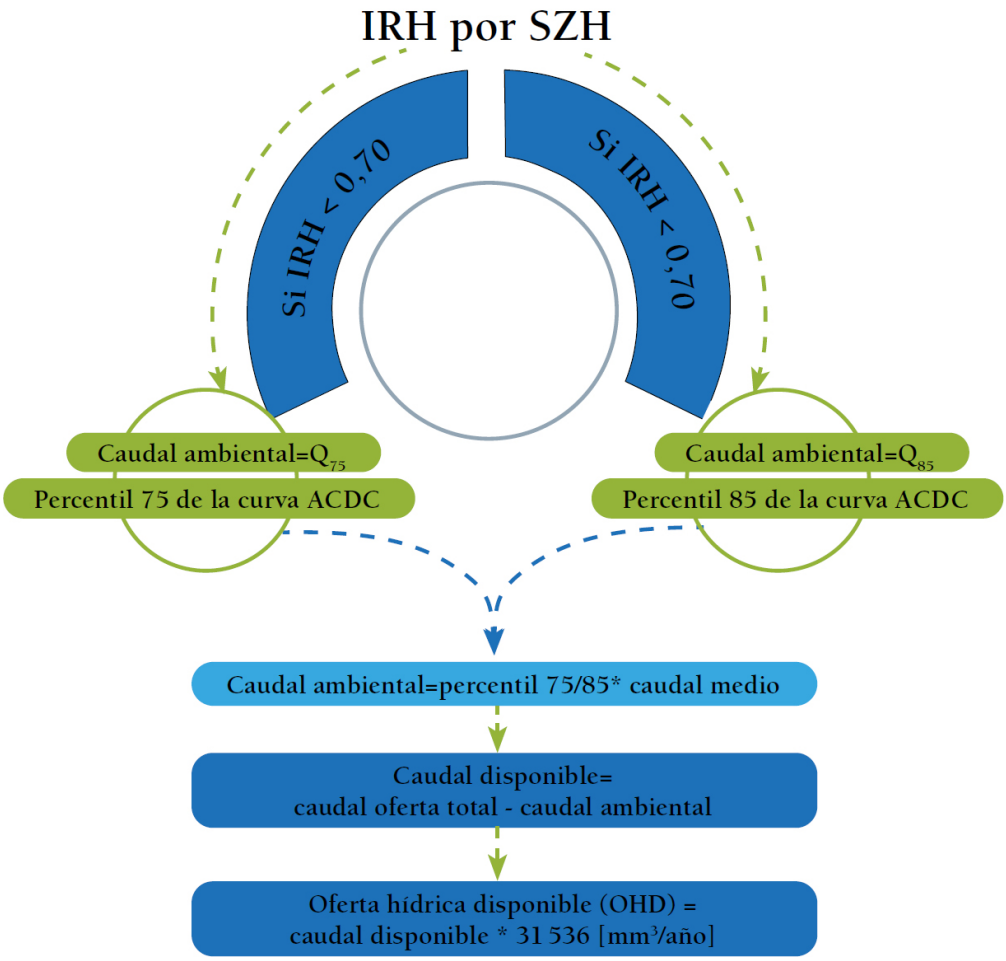


Figura 5. Esquema para el cálculo del caudal ambiental adoptado por el Ideam.

Fuente: Ideam (2019).

Respecto a la oferta de aguas subterráneas, su disponibilidad se determina por la recarga de acuíferos, la que depende del agua lluvia precipitada y de su recorrido superficial. Todo esto está altamente influenciado por el clima, la cobertura y usos del suelo y la geología. De

manera que, el Ideam ha desarrollado una metodología propia para la delimitación de las zonas potenciales de recarga de acuíferos (ZPRAS) (Ideam, 2019).

En lo referente a los usos del agua, se contabiliza su uso para la satisfacción directa de las necesidades humanas como parte de los procesos productivos y para el sostenimiento de los ecosistemas. De modo que la demanda se contabiliza según su extracción desde el cuerpo de agua (figura 6). Así, la demanda total corresponde a la suma del volumen de agua utilizada para cada uno de los diferentes usos que se presenten en cada cuenca (MinAmbiente e Ideam, 2014).

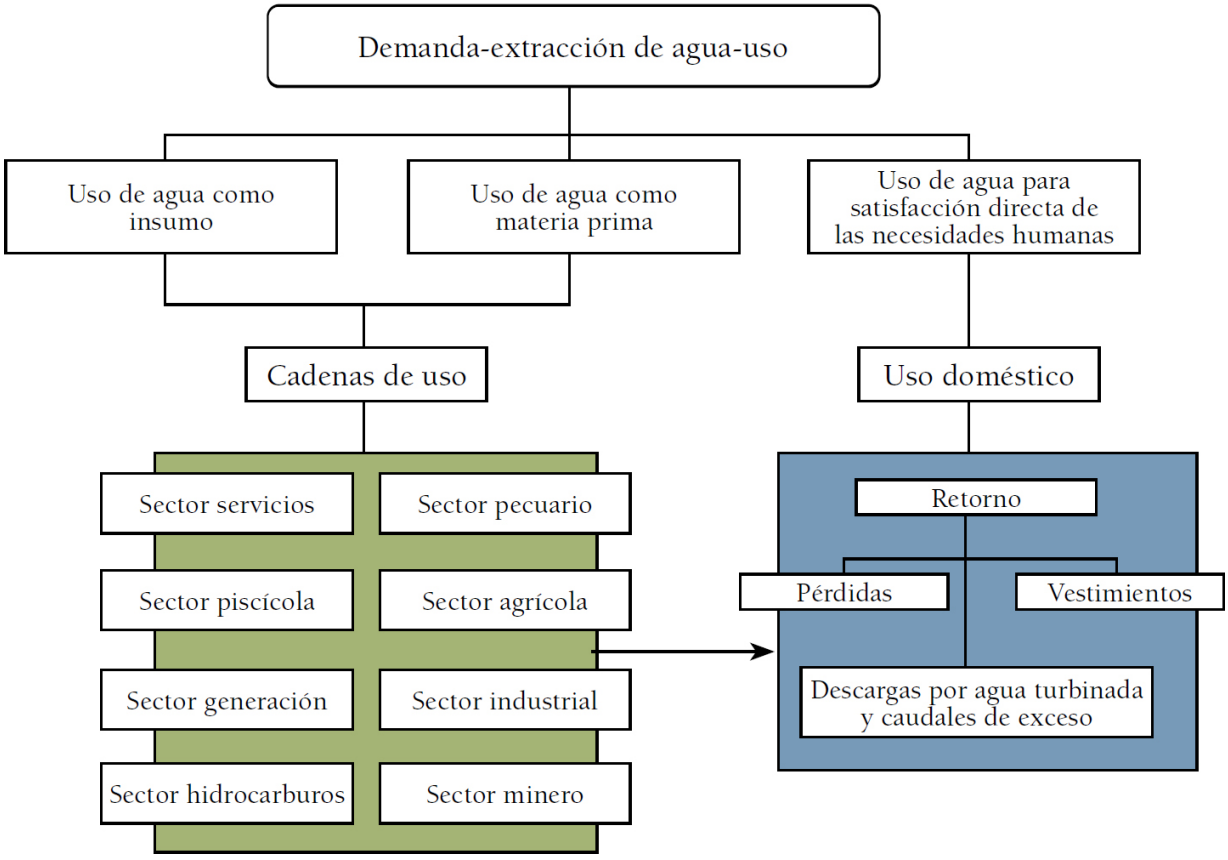


Figura 6. Conceptos asociados a la demanda por uso del agua.

Fuente: MinAmbiente e Ideam (2014).

Sistema de indicadores hídricos de Colombia

En Colombia, existe el Sistema de Información Ambiental Nacional (SINA), el que a su vez contiene el Sistema de Información Ambiental de Colombia (SIAC), que se ha dividido en siete componentes, uno de los cuales es el Sistema del Recurso Hídrico (SIRH). Este sistema es oficial y es el que nos rige por parte del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. En el SIRH se han propuesto indicadores para la medición de las diferentes condiciones hídrica (figura 7).

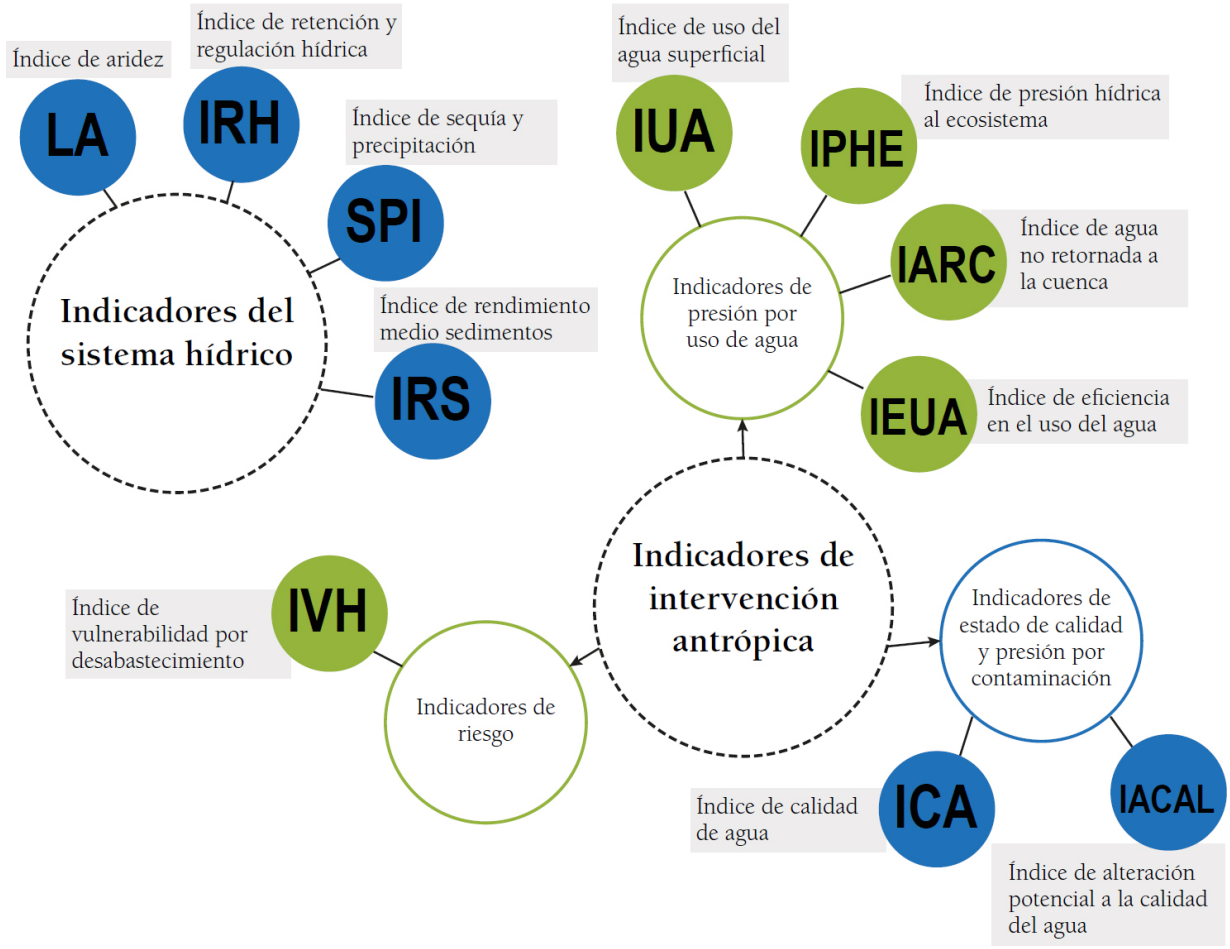


Figura 7. Sistema de indicadores hídricos del ENA 2018.

Fuente: Ideam (2019).

Así, para evaluar el sistema hídrico se tienen los siguientes indicadores:

Índice de aridez (IA)

Este indicador estima la suficiencia o insuficiencia de precipitación para sostenimiento de ecosistemas:

> Es una característica cualitativa del clima, que permite medir el grado de suficiencia o insuficiencia de la precipitación para el sostenimiento de los ecosistemas de una región. Identifica áreas deficitarias o de excedentes de agua, calculadas a partir del balance hídrico superficial. (Ideam, 2010)

La métrica de valoración del índice se presenta en la tabla 5.

Tabla 5. Categorías del IA

IA	Categoría
< 0,15	Altos excedentes
0,15-0,19	Excedentes
0,20-0,29	Moderado a excedentes
0,30-0,39	Moderado
0,40-0,49	Moderado a deficitario
0,50-0,59	Deficitario
> 0,60	Altamente deficitario

Fuente: Ideam (2019).

Índice de regulación y retención hídrica (IRH)

Este índice, asociado con el potencial de disponibilidad hídrica y regulación hidrológica, mide la cantidad de humedad que pueden retener las cuencas. Se calcula con base en la distribución de las series de frecuencias acumuladas de los caudales diarios. Este índice se mueve en el rango entre 0 y 1, siendo los valores más bajos los que se interpretan como de menor regulación. (Ideam, 2010, p. 323).

Es uno de los principales indicadores del sistema hídrico nacional y como su nombre lo indica sirve para evaluar qué tan bien regulada está una cuenca, por tanto, se utiliza frecuentemente. La métrica de valoración del índice está en la tabla 6.

Tabla 6. Categorías del IRH

IRH	Categoría
IRH ≤ 0,50	Muy baja
0,50 < IRH ≤ 0,65	Baja
0,65 < IRH ≤ 0,75	Moderada
0,75 < IRH ≤ 0,85	Alta
IRH < 0,85	Muy alta

Fuente: Ideam (2019).

Índice estandarizado de precipitación (SPI)

Es adecuado para determinar la ocurrencia y seguimiento de las sequías. El SPI permite cuantificar el déficit de precipitación en múltiples escalas temporales. También es apto para el estudio de sequías cortas (importantes para la agricultura) o prolongadas (relevantes para manejo de recursos hídricos). La métrica de valoración del índice se presenta en la tabla 7.

Tabla 7. Categorías del SPI

Rango	Categoría
SPI ≥ 2,00	Extremadamente húmedo
1,50 ≤ SPI < 2,00	Húmedo
1,00 ≤ SPI < 1,50	Moderadamente húmedo
-1,00 < SPI < 1,00	Normal
-1,50 < SPI ≤ -1,00	Moderadamente seco
-2,00 < SPI ≤ -1,50	Muy seco
SPI ≤ -2,00	Extremadamente seco

Fuente: Ideam (2019, p. 104).

Índice de rendimiento de sedimentos (IRS)

Este se define como la cantidad de sedimentos que pasan por un punto de control en un tiempo determinado sobre el área de la cuenca aferente a este punto. Da cuenta de los sedimentos producidos menos los sedimentos depositados en la cuenca aferente y tiene unidades de masa sobre tiempo por área [M/T*A] (Ideam, 2019). Este indicador también sirve para evaluar qué tanta producción de sedimentos se presenta en una cuenca y, por tanto, evaluar si la producción de sedimentos debido a los procesos erosivos se incrementa o disminuye. Ahora bien, aunque la medición es importante, solo da cuenta de lo que pasa por la sección de aforos, pero no se puede evaluar qué causa un aumento o diminución. Para realizar dichas evaluaciones se suele utilizar modelación acompañada de la medición. Es importante resaltar que la medición es imperativa. Para la oferta hídrica y el monitoreo de sedimentos se requiere la medición y la modelación. La métrica de valoración del índice es se presenta en la tabla 8.

Tabla 8. Categorías de evaluación del IRS

Rango erosión hídrica de sedimentos	Valores medios en subzonas (m^3/año)	Valor	Categoría
Sin evidencia	0-2	1	Muy baja
Ligera	2-10	2	Baja
Moderada	10-25	3	Media
Severa	25-100	4	Alta
Muy severa	>100	5	Muy alta

Fuente: Ideam (2019).

De otro lado, para evaluar la presión sobre los sistemas se han propuesto los siguientes indicadores:

Índice de uso de agua superficial (IUA)

Este sirve para:

> estimar la relación porcentual entre la demanda de agua con respecto a la oferta hídrica disponible. Corresponde a la cantidad de agua utilizada por los diferentes sectores usuarios, en un periodo *t* (anual mensual) y en una unidad especial de referencia *i* (área zona subzona etc.) en relación con la oferta hídrica superficial disponible para las mismas unidades de tiempo y espacio. (Ideam, 2010, p. 323)

Antiguo índice de escasez. La métrica de valoración del índice es la que se presenta en la tabla 9.

Tabla 9. Categorías de calificación del IUA

Rango IUA (Dh/Oh)*100	Categoría IUA	Significado
>50	Muy alto	La presión de la demanda es muy alta con respecto a la oferta disponible.
20,01-50	Alto	La presión de la demanda es alta con respecto a la oferta disponible.
10,01-20	Moderado	La presión de la demanda es moderada con respecto a la oferta disponible.
1-10	Bajo	La presión de la demanda es baja con respecto a la oferta disponible.
≤ 1	Muy bajo	La presión de la demanda no es significativa con respecto a la oferta disponible.

Fuente: Ideam (2010).

Índice de presión hídrica a los ecosistemas (IPHE)

Este se define como "el agua verde disponible para actividades productivas (DAV) relacionada con los consumos de agua verde en una cuenca (huella hídrica verde, HH verde) constituyen el índice de presión hídrica a los

ecosistemas (IPHE)"(Ideam, 2019, p. 207). La métrica de valoración del índice es la que se presenta en la tabla 10.

Tabla 10. Categorías de calificación del IPHE

Rango IPHE	Descripción	Significado
Menor a 0,1	Muy bajo	Alta disponibilidad de agua verde para el sector productivo y posibilidades de ampliación de la frontera agrícola, sin impactar a ecosistemas de protección.
0,1-0,3	Bajo	Disponibilidad de agua verde para el sector productivo y posibilidades de ampliación de la frontera agrícola, sin impactar a ecosistemas de protección.
0,3-0,5	Moderado	Ampliación de la frontera agrícola, la cual se encuentra a una distancia aceptable del límite de ecosistemas de protección.
0,5-0,8	Alto	Señal de alerta sobre la ampliación de la frontera agrícola, la cual se encuentra cerca del límite de ecosistemas de protección.
0,8-1,0	Muy alto	Señal de alerta sobre la ampliación de la frontera agrícola, la cual se encuentra muy cerca del límite de ecosistemas de protección.
Mayor a 1,0	Crítico	Se interpreta como una señal de que la frontera agrícola superó el límite de zonas de protección y se puede encontrar en riesgo la integridad ecológica de la cuenca, para la provisión de servicios ecosistémicos.

Fuente: Ideam (2019).

Índice de agua no retornada a la cuenca (IARC)

Es la relación entre la huella hídrica azul y la oferta hídrica disponible en un año medio, que determina la disponibilidad de agua azul en la cuenca durante el periodo de medición. Este indicador busca entender las

competencias entre demandas por el uso del agua azul. La métrica de valoración del índice se presenta en la tabla 11.

Tabla 11. Categorías de calificación del IARC

Rango IARC	Calificador
>1	Crítico
0,5-1	Muy alto
0,2-0,5	Alto
0,1-0,2	Moderado
< 0,1	Bajo
<0,1	Muy bajo

Fuente: MinAmbiente e Ideam (2014).

Índice de eficiencia en el uso del agua (IEUA)

Este índice se define como:

> La relación entre la huella hídrica azul y la demanda hídrica. La huella hídrica azul se cuantifica mediante la estimación del agua extraída que no retorna a la cuenca, fenómeno asociado a que el agua se ha incorporado a un producto, evaporado o trasvasado a otra cuenca vecina. Por su parte, la demanda hídrica se cuantifica mediante la estimación de la extracción del volumen de agua necesario para satisfacer el requerimiento hídrico total de un proceso, incluidos los usos consuntivos, no consuntivos (retornados posteriormente como vertimientos y descargas) y las pérdidas del sistema. (Ideam, 2019, p. 207)

La métrica de valoración del índice se presenta en la tabla 12.

Tabla 12. Categorías de calificación del IEUA

Rango IEUA		Descripción*
Menor a 0,01	Muy bajo	Más del 99 %

0,01-0,1	Bajo	Entre el 99 % y el 90 %
0,1-0,2	Moderado	Entre el 90 % y el 80 %
0,2-0,5	Alto	Entre el 80 % y el 50 %
0,5-1,0	Muy alto	Menos del 50 %

* Porcentaje de agua extraída asociada a usos que posteriormente retornan a la fuente, susceptible parcialmente de medidas de reuso y circulación, y pérdidas del sistema. Un aumento de la eficiencia en este volumen de agua tiende a reducir la demanda hídrica (extracción).

Fuente: Ideam (2019).

Para evaluar los niveles de contaminación:

Índice de calidad del agua (ICA)

De acuerdo con el Ideam:

> El ICA representa la calidad de agua en un punto específico de monitoreo y en el momento de la medición, a partir de la ponderación de seis variables: oxígeno disuelto (OD), conductividad eléctrica (CE), demanda química de oxígeno (DQO), sólidos totales en suspensión (SST), pH y la relación entre nitrógeno total y fósforo total (NT/PT). El resultado se analiza con las categorías de buena, aceptable, regular, mala o muy mala calidad. (Ideam, 2019, p. 207)

Este índice permite reconocer problemas de calidad en un punto determinado de la corriente. Sin embargo, no se pueden evaluar las causas. La métrica de valoración del índice se presenta en la tabla 13.

Tabla 13. Categorías de calificación del ICA

Categoría	Descriptor de presión	Percentiles ajustados	Percentiles DBO t/año	Percentiles DQO t/año	Percentiles SST t/año	Percentiles NT t/año	Percentiles PT t/año
1	Baja	65	753	1748	1685	127	37
2	Moderada	75	1468	3529	2736	214	59
3	Media alta	85	4218	8567	5914	440	115
4	Alta	95	12 205	27 346	17 935	1977	437
5	Muy alta	>95	>12 204	>27 346	>17 935	>1977	>437

Fuente: Ideam (2019).

Índice de alteración potencial de calidad del agua (Iacal)

Este determina las amenazas potenciales por alteración de la calidad del agua en las unidades de análisis. Se estiman los potenciales niveles de contaminación de cada actividad productiva que se encuentre en la cuenca por medio de factores de emisión. La métrica de valoración del índice se presenta en la tabla 14.

Tabla 14. Categorías de calificación del Iacal

Categoría	Calificador
1	Baja
2	Moderada
3	Media alta
4	Alta
5	Muy alta

Fuente: Ideam (2010).

Para evaluar el nivel de vulnerabilidad:

Índice de vulnerabilidad por desabastecimiento hídrico (IVH)

El IVH:

> Determina la fragilidad de mantener la oferta para abastecimiento. Es el grado de fragilidad del sistema hídrico para mantener la oferta para el abastecimiento de agua, que ante amenazas como periodos largos de estiaje o eventos como el fenómeno cálido del Pacífico (El Niño) podría generar riesgos de desabastecimiento. El IVH se determina a través de una matriz de relación de rangos de índice de regulación hídrica (IRH) y el índice de uso de agua (IAU). (Ministerio del Medio Ambiente, 2014, p. 296)

La métrica de valoración del índice es la que se presenta en la tabla 15.

Tabla 15. Categorías de calificación del IVH en condiciones medias

Análisis del recurso hídrico por presiones de demanda y variabilidad en condiciones promedio (VRH media)

IUA promedio = porcentaje (demanda/oferta)		Análisis de la variabilidad de oferta hídrica natural en condición promedio				
Rango	Categoría	Muy alta	Alta	Media	Baja	Muy baja
<1	Muy bajo	Media	Media	Media	Baja	Muy baja
1-10	Bajo	Media	Media	Media	Baja	Muy baja
10-20	Moderado	Alta	Alta	Media	Media	Baja
20-50	Alto	Muy alta	Alta	Alta	Media	Baja
50-100	Muy alto	Muy alta	Muy alta	Alta	Media	Media
>100	Crítico	Muy alta	Muy alta	Muy alta	Alta	Alta

Fuente: adaptada de Ideam (2019).

En resumen, estos indicadores permiten evaluar las subzonas hidrográficas (se refiere a las cuencas; sin embargo, el Ideam no mide cuencas inferiores a subzonas por la resolución de trabajo que maneja), como se muestra en la figura 8.

De acuerdo con este esquema metodológico se evalúan dos condiciones: primero, la variabilidad en la oferta debida a la variabilidad hidroclimática y considerando el rendimiento hídrico y el índice de regulación hídrica (IRH). Este se mide como la variación porcentual de la oferta. Segundo, evalúan las condiciones de uso, contaminación y

variabilidad para lo cual consideran varios índices en conjunto como se observa en la figura 8.

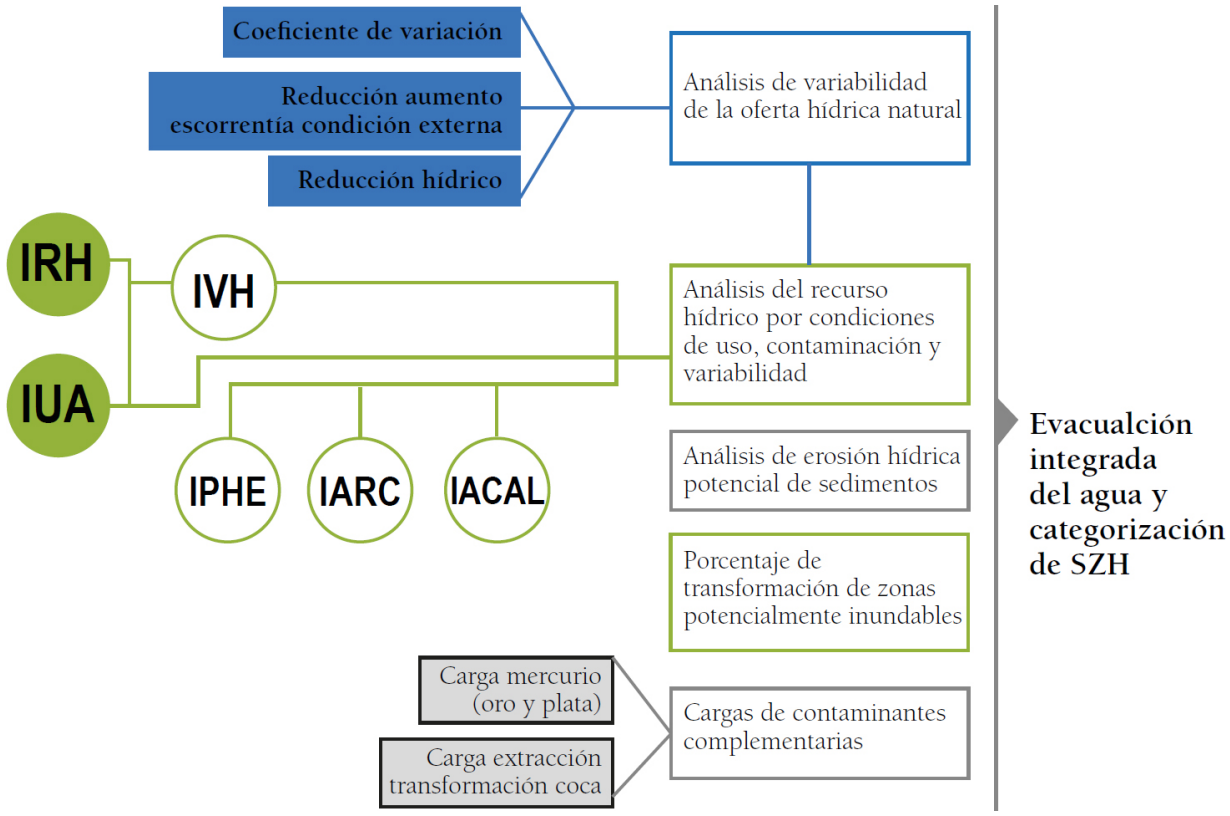


Figura 8. Esquema metodológico para la categorización de subzonas hidrográficas por evaluación integrada del agua.

Fuente: modificado de MinAmbiente e Ideam (2014).

Variabilidad de la oferta hídrica en condición extrema de año seco vox -Ex (P1)

De acuerdo con el Ideam:

> El componente de variabilidad de la oferta hídrica natural en el análisis integrado del agua se sustenta en el porcentaje de variación de la oferta, representado por el coeficiente de variación para diferentes condiciones hidrológicas. El análisis se realiza sobre las condiciones extremas y teniendo en cuenta que la escorrentía a escala anual se comporta con una distribución normal, se analizaron las colas de dicha distribución

correspondientes a un área de 5 % en ambos costados. (Ideam, 2019, p. 292)

Tabla 16. Categorías de porcentaje de reducción o aumento de la escorrentía anual. Para condición extrema debido a variabilidad hidroclimática

Categoría	Reducción o aumento
Muy alta	Mayor a 40 %
Alta	30 % a 40 %
Media	20 % a 30 %
Baja	10 % a 20 %
Muy baja	Menor a 10 %

Fuente: Ideam (2019).

Variabilidad del recurso hídrico en condiciones extremas VRH-Ex (P2)

Se mide a partir de las presiones sobre la oferta hídrica natural, condición hidrológica de año seco (IUA) y variabilidad de esta oferta natural en esta condición extrema.

Tabla 17. VRH-Ex: variabilidad del recurso hídrico, condiciones de año seco

Variabilidad del recurso hídrico, condiciones de año seco (VRH-Ex)

Porcentaje IUA año seco (demanda/ oferta)	Variabilidad de la oferta hídrica natural condiciones año seco				
	Muy alta	Alta	Media	Baja	Muy baja
Muy bajo	Media	Media	Media	Baja	Baja
Bajo	Alta	Alta	Media	Media	Baja
Moderado	Muy alta	Alta	Alta	Media	Media
Alto	Muy alta	Muy alta	Muy alta	Alta	Alta
Muy alto	Muy alta	Muy alta	Muy alta	Muy alta	Muy alta
Crítico	Muy alta	Muy alta	Muy alta	Muy alta	Muy alta

Fuente: Ideam (2019).

Estos indicadores proponen el cálculo de un indicador integrado, denominado AI, generando un promedio ponderado de todos los indicadores como se muestra en la siguiente ecuación:

$$AI = 0{,}25P1 + 0{,}25P2 + 0{,}25P3 + 0{,}1P4 + 0{,}05P5 + 0{,}1P6$$

Donde: P1 es el indicador VOX-Ex, P2 es el nuevo indicador VRH-Ex, P3 es el IPHE, P4 es Iacal, P5 es el indicador de erosión hídrica potencial y P6 es el porcentaje de transformación de zonas potencialmente inundables. Los pesos de cada indicador fueron otorgados por un equipo de expertos y la métrica de evaluación es la que muestra en la tabla 18.

Tabla 18. Categorías para el análisis integrado de subzonas hidrográficas y priorización por afectación al agua

Categorías del modelo integrado	
Muy alto	> 0,93
Alto	0,74-0,92
Medio	0,59-0,73
Bajo	0,48-0,58
Muy bajo	≤ 0,47

Fuente: Ideam (2019).

Indicadores de agua propuestos para la Línea base ambiental de Caldas

Los indicadores ambientales del componente agua propuestos en el proyecto Línea base ambiental de Caldas —se definieron mediante la *Resolución 0643 de 2004* del 11 de junio de 2004— monitorean los cambios en la cantidad y calidad de los recursos naturales renovables y el medio ambiente y miden la presión que se ejerce sobre ellos como resultado de su uso y aprovechamiento. Además, estos índices se relacionan con la oferta y disponibilidad, la calidad, los usos y demanda, las amenazas y vulnerabilidad del recurso hídrico. Los criterios para seleccionar estos índices fueron:

- Son indicadores manejados por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, el Ideam y Corpocaldas.
- Son indicadores empleados en la mayoría de los estudios que se han desarrollado en el departamento.
- La mayoría de los parámetros que requieren estos indicadores son los que normalmente se evalúan en toda campaña de monitoreo de cantidad y calidad del agua.
- El emplear los mismos indicadores que manejan entidades del orden nacional permite comparar diferentes regiones, zonas y departamentos.
- Unificar criterios en el uso de indicadores.

En la tabla 19 se describen cada uno de los indicadores relacionados con el componente agua, estos fueron ajustados a las recomendaciones del Ideam (disponibles en la primera edición de este libro).

Tabla 19. Indicadores de agua propuestos para evaluar las condiciones naturales de oferta

Nombre indicador	Descripción
Oferta hídrica mensual multianual	Comportamiento espacio-temporal de la escorrentía, esta es la parte de la precipitación que se presenta en forma de flujo en un curso de agua, una vez producida la precipitación, infiltración y evapotranspiración. Igualmente, se puede representar en forma de rendimiento, definido como el aporte de la cuenca en litros por segundo por kilómetro cuadrado ($l/s/km^2$).
Índice de aridez (IA)	Estima la suficiencia o insuficiencia de precipitación para sostenimiento de ecosistemas. Es una característica cualitativa del clima que permite medir el grado de suficiencia o insuficiencia de la precipitación para el sostenimiento de los ecosistemas de una región e identificar áreas deficitarias o de excedentes de agua, calculadas a partir del balance hídrico superficial (Ideam, 2010).
Índice de regulación hídrica (IRH)	Asociado con el potencial de disponibilidad hídrica y regulación hidrológica, mide la cantidad de humedad que pueden retener las cuencas. Se calcula con base en la distribución de las series de frecuencias acumuladas de los caudales diarios. Este índice se mueve en el rango entre 0 y 1, los valores más bajos son los que se interpretan como de menor regulación (Ideam, 2010).
Índice estandarizado de precipitación (SPI)	Es adecuado para determinar la ocurrencia y seguimiento de las sequías. El SPI permite cuantificar el déficit de precipitación en múltiples escalas temporales. Este es apto para el estudio de sequías cortas (importantes para la agricultura) o prolongadas (relevantes para manejo de recursos hídricos). Así se reflejan los efectos de la sequía en diferentes recursos hídricos.

Fuente: elaboración propia.

Tabla 20. Indicadores de agua propuestos para evaluar la presión sobre el uso del recurso hídrico

Nombre indicador	Descripción
Índice de uso de agua superficial (IUA)	Estima la relación porcentual entre la demanda de agua con respecto a la oferta hídrica disponible. Corresponde a la cantidad de agua utilizada por los diferentes sectores usuarios, en un periodo t (anual mensual) y en una unidad especial de referencia i (área zona subzona etc.) en relación con la oferta

	hídrica superficial disponible para las mismas unidades de tiempo y espacio (Ideam, 2010). Este es el antiguo índice de escasez.

Fuente: elaboración propia.

Tabla 21. Indicadores de agua propuestos para evaluar el nivel de vulnerabilidad de la cuenca

Nombre indicador	Descripción
Índice de vulnerabilidad por desabastecimiento hídrico (IVH)	Determina la fragilidad de mantener la oferta para abastecimiento. Es el grado de fragilidad del sistema hídrico para mantener la oferta y abastecer agua durante periodos largos de estiaje o eventos como el fenómeno cálido del Pacífico (El Niño), que podrían generar riesgos de desabastecimiento. El IVH se determina a través de una matriz de relación de rangos de índice de regulación hídrica (IRH) y el índice de uso de agua (IAU) (Ministerio del Medio Ambiente, 2014).
Intensidad media de eventos aislados de precipitación	Representa la cantidad de precipitación por unidad de tiempo que se puede registrar en un lugar determinado.

Fuente: elaboración propia.

Conclusiones del capítulo

Para llegar a una óptima administración del preciado recurso hídrico es necesario, entre otras cosas, elegir estrategias para evaluar no solo el estado de los recursos naturales sino además la eficiencia y pertinencia de los programas y proyectos adoptados en este sentido.

En este contexto, la generación de una serie de indicadores que permitan mejorar la gestión del recurso hídrico resulta pertinente y, por demás, necesaria. Sin embargo, para llegar a tener un adecuado sistema de indicadores que den soporte a la gestión del recurso hídrico se requiere que estos respondan a cuestiones como: hacia dónde se dirigen, qué temas se

deben abarcar en cada área, cuáles criterios de indicadores permiten llevar a cabo comparaciones locales, regionales e internacionales, entre otros.

Para generar una línea base de indicadores y gestionar los recursos naturales en el departamento de Caldas se partió de los indicadores existentes, se evaluaron aspectos como su pertinencia, a qué áreas se podían aplicar y si existía la información necesaria para alimentar los indicadores. Posteriormente, se continuó con la identificación de las áreas temáticas en las cuales no existían indicadores para generarlos.

En este punto, cabe resaltar que la consolidación de un sistema de indicadores no depende solamente de la evaluación de los indicadores existentes; también, depende de un adecuado sistema de monitoreo de las variables ambientales que alimentan los indicadores y de la continuidad e importancia de este.

Referencias

Ideam (2010). *Estudio nacional del agua 2010*. Bogotá, D.C.: autor.

Ideam (2019). *Estudio nacional del agua* (*ENA*) *2018*. Bogotá, D.C.: autor.

MinAmbiente e Ideam (2014). *Estudio nacional del agua 2014*. Bogotá, D.C.: autor.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia (2010). *Política nacional para la gestión integral del recurso hídrico*. Bogotá, D.C.: autor.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2015). *Sistema de información ambiental de Colombia* (*SIAC*).

Capítulo 5
Indicadores de suelo y subsuelo

Jeannette Zambrano Nájera

Universidad Nacional de Colombia,
Sede Manizales

Conceptos del suelo

Indicadores de monitoreo del suelo

El Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial desarrolló una investigación para definir los lineamientos y políticas que estandarizan la

generación de indicadores para el seguimiento y monitoreo de los suelos. En esta línea de acción, el Ideam está desarrollando un protocolo de degradación de los suelos. Por otra parte, Corpocaldas realizó el estudio semidetallado de suelos en el 2010, utilizando la metodología del IGAC. A continuación, se describe cada trabajo.

Propuesta para la gestión integral del recurso suelo: protocolo de degradación de suelos

Este protocolo (desarrollado por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial en conjunto con el Ideam) es un programa de monitoreo y seguimiento del suelo para identificar la degradación del suelo. La degradación del suelo es descrita en el documento de la Convención de las Naciones Unidas sobre la Lucha de la Desertificación (UNCCD por sus siglas en inglés) como "un proceso natural o una actividad humana que causa la incapacidad de la tierra para sostener adecuadamente las funciones económicas y/o las funciones ecológicas originales" (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible e Ideam, 2012, p. 2).

En este documento también se mencionó que las funciones de los suelos son:

> la producción de alimentos y fibras, servir como amortiguador entre la atmósfera y los recursos subterráneos, proporcionar recursos minerales y orgánicos, ser un apoyo para la infraestructura y ser la base para la memoria del conocimiento arqueológico. Las funciones de los suelos incluyen también los servicios tales como, proporcionar un medio de vida para el hombre, dar oportunidades para el turismo, almacenar carbono y preservar la diversidad biológica. (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible e Ideam, 2012)

Por ende, evaluar los efectos de la degradación es muy importante. Hay varios tipos de degradación, los cuales se muestran en la figura 9. En el documento son descritos con suficiencia cada uno de los tipos de degradación de manera que pueden consultarse allí (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible e Ideam, 2012, p. 17).

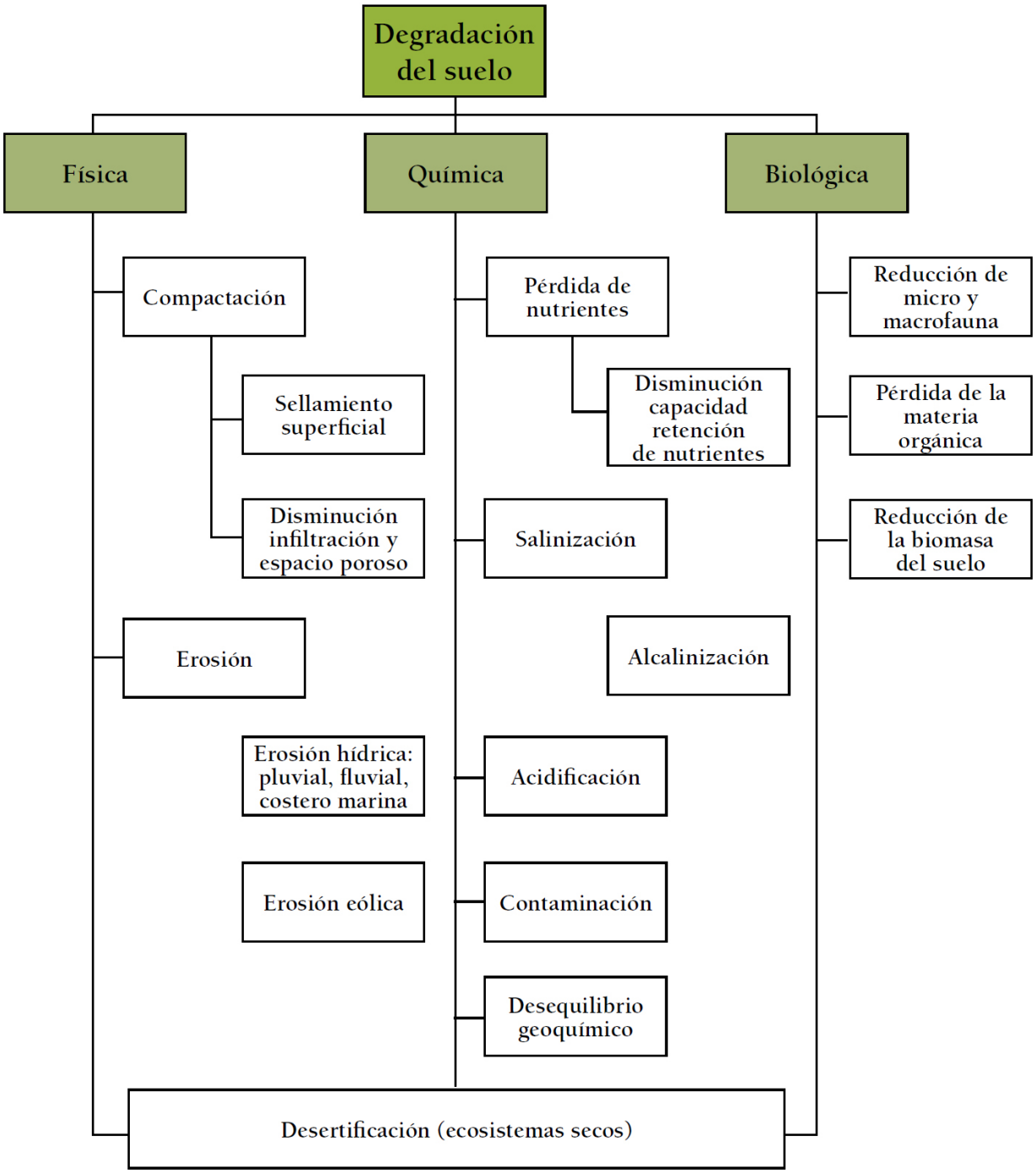


Figura 9. Principales tipos de degradación de suelos y tierras en Colombia.

Fuente: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible e Ideam (2012).

Adicionalmente, propusieron un plan de monitoreo utilizando el modelo FPEIR de Blum (figura 10).

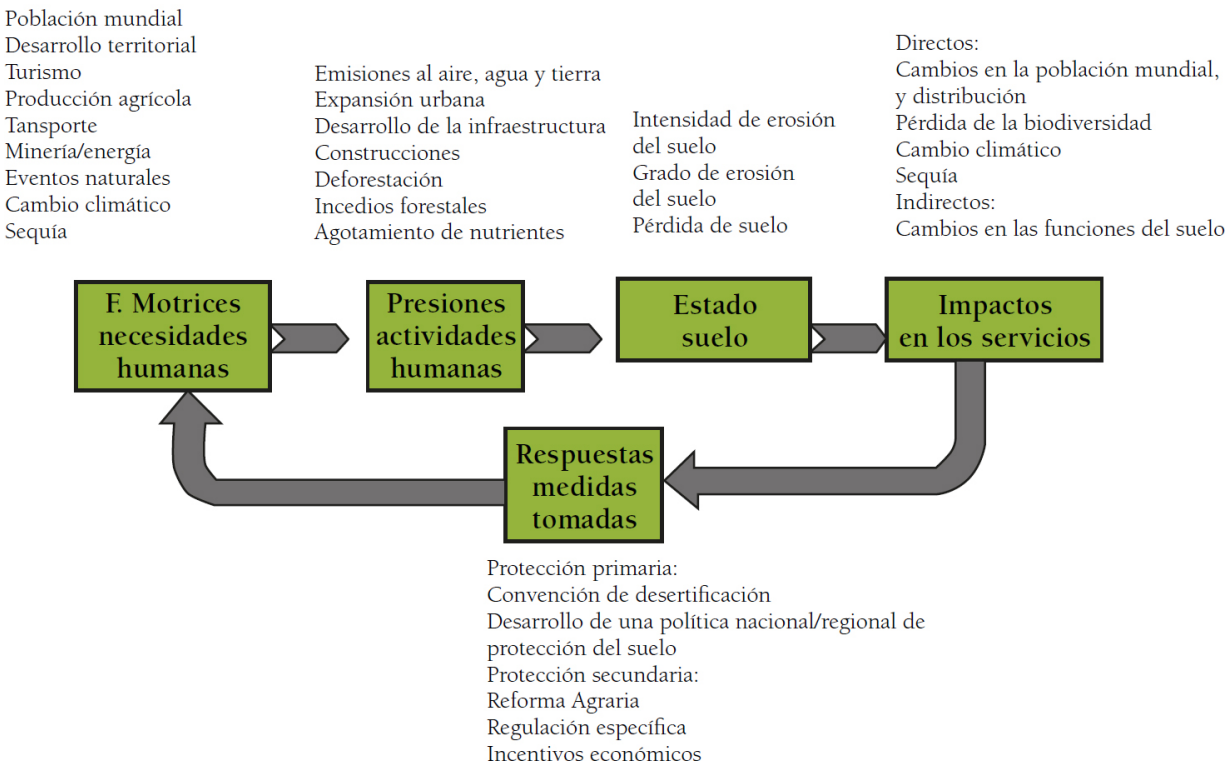


Figura 10. Metodología FPEIR.

Fuente: Blum (2004).

La metodología FPEIR evalúa las fuerzas motrices definidas como fuerzas indirectas socioeconómicas y socioculturales fundamentadas en la sociedad, que conducen las actividades humanas, por ejemplo, la necesidad de alimentos hace que se requieran zonas cultivadas. Las presiones son las fuerzas que ponen en riesgo el recurso suelo, por ejemplo, su excesivo uso para los cultivos puede generar agotamiento de los nutrientes del suelo. El estado describe la condición en que se encuentra el suelo en un momento dado. Los impactos se entienden como los efectos que tienen la degradación y pérdida del suelo. Estos están íntimamente relacionados con las actividades humanas, ya que, si las funciones del suelo se alteran, las actividades que dependen de estas también. Las respuestas son las acciones que emprende la sociedad frente a la situación del recurso suelo. Puede haber respuestas relacionadas con las actividades humanas, por ejemplo, prácticas más amigables con el recurso suelo, que respondan a las actividades fundamentales del ser humano, pero reduzcan las presiones que

se generan, por ejemplo, una buena clasificación de las basuras reduce la contaminación.

La propuesta aún no contiene indicadores específicos, ya que estos se construirán en el programa propuesto, pero estos se formularán de acuerdo con la metodología FPEIR de manera que se ajusten a lo trabajado en el Siac.

Sistema de Información Ambiental (Siac)

El Siac indica que los suelos están en igualdad de importancia que las aguas y los bosques. Pero reciben poca atención y, por tanto, existe menos información. Los suelos son importantes para la planificación y el ordenamiento territorial, sin embargo, el uso de la tierra, actualmente, carece de planificación, ya que el "32,7 % se sobreutiliza; el 29,7 % se subutiliza y solo el 37,6 % es utilizada correctamente; ello referido a las tierras intervenidas por el hombre (51,2 % del total del territorio de Colombia)" (Ideam, 2012).

Las causas de esa falta de congruencia entre vocación y uso han sido identificadas en términos generales, pero no de manera detallada en cada región. Por esta razón, se requiere un amplio conocimiento de los suelos, así como de los demás recursos del patrimonio nacional. Es así como el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial a través del IGAC ha venido impulsando (desde la Subdirección de Agrología) el desarrollo de estudios de suelos generales y departamentales del país a escala 1:100 000. En la página web del Siac se pueden encontrar los estudios de suelos de los departamentos de Caldas, Córdoba, Guajira y Magdalena. Para el departamento de Caldas también se realizó dicho estudio, pero a un nivel más detallado, escala 1:25 000.

Estudio semidetallado de suelos

El estudio semidetallado de suelos contratado por Corpocaldas se presenta por unidad de área cuenca, específicamente, la cuenca del río Chinchiná; este estudio resaltó la diversidad en los ambientes edafogenéticos y, adicionalmente, describió la variabilidad de los componentes de la

geomorfología, los materiales geológicos superficiales, las condiciones climáticas y las coberturas vegetales que intervienen directamente en el proceso de edafogénesis (Corpocaldas y IGAC, 2012).

El estudio citado presenta una clasificación taxonómica de los suelos de la cuenca, basado en el sistema taxonómico americano del Departamento Agrícola de los Estados Unidos. También se presenta una clasificación según la capacidad de uso. Las tierras se agruparon en seis (6) clases, veintisiete (27) subclases y cuarenta y dos (42) grupos de manejo. En el estudio se presentan tres (3) mapas que corresponden al mapa de suelos, de clasificación de tierras por capacidad de uso y de zonificación de tierras.

La clasificación de tierras por capacidad de uso se realizó teniendo en cuenta las características morfológicas, físicas, químicas y mineralógicas de los suelos y el análisis de otros factores como el clima, el relieve, la pendiente, la erosión, la inundación y la pedregosidad, los cuales tienen influencia directa en el uso de las tierras.

Por último, el documento presenta una propuesta para el manejo sostenible del recurso hídrico y del suelo. Dicha propuesta tiene como fin ofrecer una visión integral sobre los procesos que conducen al escurrimiento de agua, con base en el análisis de la morfología de los sistemas hídricos que componen el área de estudio junto con las pruebas hidrofísicas aplicadas a los suelos. Además, se introducen dos temas correspondientes a la sostenibilidad del recurso tierra: la fragilidad de los suelos a los procesos erosivos y las prácticas de manejo necesarias para la conservación de los suelos y las aguas.

Definición de suelo

El suelo es la capa superior de la tierra donde se desarrollan las raíces de las plantas. Es un cuerpo natural que tiene un origen definido y unas propiedades físicas, químicas y biológicas únicas en función de su evolución, a partir de estas se estima su fertilidad, calidad y salud (Forero, 1985).

El suelo es un sistema muy complejo que sirve como soporte de las plantas, despensa de agua y de otros elementos necesarios para el desarrollo

de los vegetales, también como soporte de las diferentes obras de infraestructura que se localizan en el territorio. El suelo es conocido como un ente vivo en el que habitan gran cantidad de seres vivos como insectos y microorganismos (hongos y bacterias) que influyen en la vida y desarrollo de las plantas (Red Nacional de Conservación de Suelos y Aguas, 2012).

El sistema de clasificación de suelos del USDA (Soil Survey Staff-SSS, 1999, p. 9) definió el suelo como:

> un cuerpo natural, compuesto de sólidos (materiales minerales y orgánicos), líquidos y gases que ocurren en la superficie de la tierra, ocupan espacio y se caracterizan por tener horizontes y/o capas diferenciables del material inicial como resultado de las adiciones, pérdidas, transferencias y transformaciones de energía y materia o por la habilidad para soportar plantas enraizadas en un ambiente natural.

El tema se dividió en dos. El primero usos del suelo entendiéndose como el material orgánico y natural que cubre la mayoría de la superficie, que está compuesta por materia viva y por vegetación, además de las transformaciones realizadas por la actividad humana (Ideam, 2012). Asimismo, el suelo consiste en los estratos cercanos a la superficie que han sido alterados por las interacciones entre clima, relieve, material parental y organismos vivos, durante el tiempo.

El segundo, el uso y cobertura del suelo, que se define como "la cobertura (bio)física que se observa sobre la superficie de la tierra" (Ideam, 2012); concepto extenso que se refiere a la vegetación y la infraestructura y otras superficies terrestres como las rocosas y los cuerpos de agua. Adicionalmente, se puede realizar una distinción entre cobertura y uso de suelo como es definido en el Sistemas de Información Ambiental de Colombia (UN y Corpocaldas, 2014) (ver figura 12).

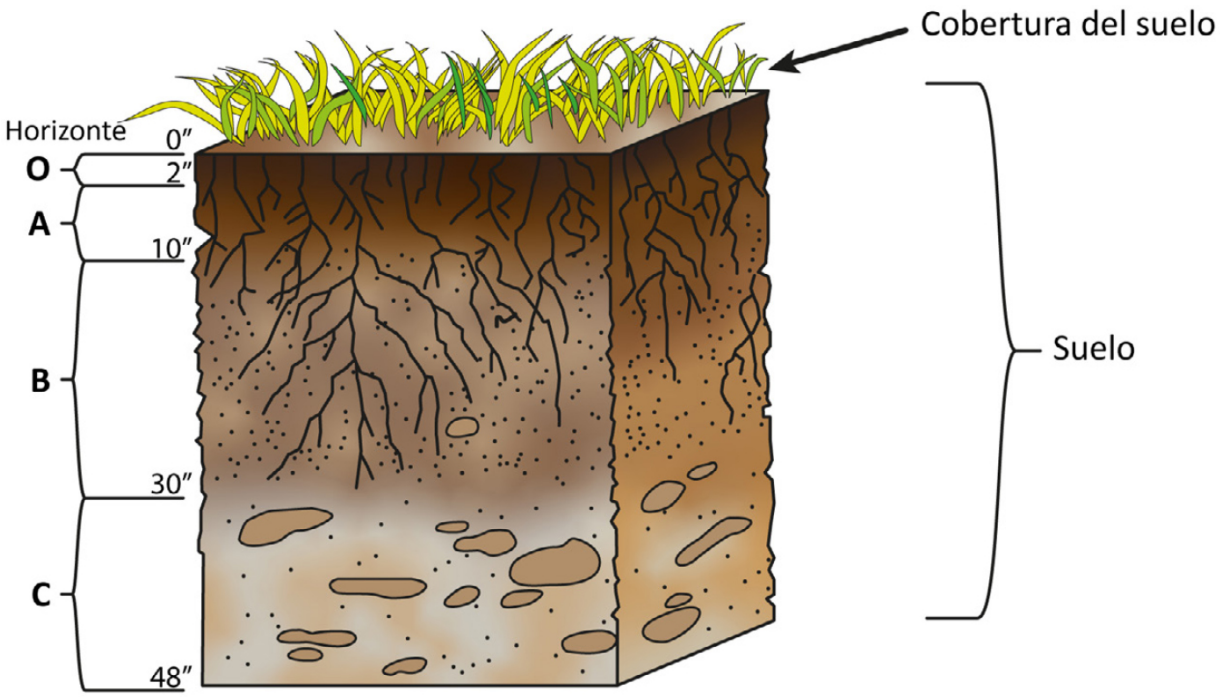


Figura 11. Perfil del suelo con sus horizontes.

Fuente: UN y Corpocaldas (2014).

Uso de la tierra	Cobertura de la tierra
❏ El término *uso* implica la utilidad que presta un tipo de cobertura al ser humano. ❏ Se relaciona con las actividades humanas o las funciones económicas de una porción específica de la tierra (como el uso urbano o industrial, de reserva natural, etc.).	❏ La cobertura se describe como la unidad delimitable que surge a partir de un análisis de respuestas espectrales determinadas por sus características fisionómicas y ambientales, diferenciables con respecto a la unidad próxima.

Figura 12. Conceptos de uso de la tierra y cobertura de la tierra.

Fuente: Ideam (2012).

Usos y coberturas del suelo

En la metodología PFEIR (fuerzas motrices-presiones-estado-impactos-respuestas) es muy importante conocer las presiones sobre el suelo,

entendidas como emisiones al aire, suelo y agua, expansiones urbanas, deforestación, desarrollo de infraestructura, etc., lo que se puede lograr analizando las variaciones de cada tipo de uso y cobertura del suelo indicado a través de los años. Por ende, es relevante contar con mapas de usos y coberturas de los suelos estandarizados que puedan ser analizados temporal y espacialmente para reconocer las variaciones. El MAVDT reconoció dicha importancia y, a través del Siac, ha venido trabajando en la estandarización de los mapas de cobertura y usos del suelo.

Para facilitar la construcción de los mapas de cobertura y usos del suelo, desde 2004, se ha adaptado en el ámbito nacional la metodología europea Corine Land Cover, estandarizando la metodología y la leyenda de coberturas terrestres en el contexto nacional. Este proceso surge de la necesidad de unificar las diferentes leyendas y metodologías para lograr un sistema de monitoreo con información actualizada y confiable. Por eso:

> La base de datos de Corine Land Cover Colombia (CLC) permite describir, caracterizar, clasificar y comparar las características de la cobertura de la tierra, interpretadas a partir de la utilización de imágenes de satélite de resolución media (Landsat), para la construcción de mapas de cobertura a escala 1:100 000. (Ideam, 2010, p. 72)

Siguiendo esta metodología, el Ideam publicó en 2010: *Leyenda nacional de coberturas de la Tierra, adaptada para Colombia* (*CLCC*), la cual fue ajustada y ampliada a otras clases presentes en el país. Este proceso de ajuste fue llevado a cabo por un equipo de profesionales expertos de los institutos Ideam, IGAC, Sinchi, IAvH y la UAESPNN.

La leyenda brinda la directriz fundamental para la realización de mapas de coberturas de la tierra, que se pueden adaptar a escalas regionales. Además, presenta un catálogo de coberturas de tierra; una herramienta básica que permite entender las características fundamentales de las diferentes clases de coberturas que conforman la leyenda validada para Colombia.

Esta fue constituida de manera jerárquica, es decir, se determinaron las unidades de coberturas por criterios fisonómicos de altura y densidad, definidos de manera clara y aplicables a todas las unidades en el grupo de

coberturas del mismo tipo. Por lo tanto, se garantiza la posibilidad de incluir nuevas unidades (o niveles de unidades en el caso de un estudio más detallado), las cuales se definen y se ubican de manera rápida.

El primer nivel de la leyenda tiene 5 clases, las cuales se traducen en 5 niveles de entrada al sistema de clasificación y están conformados por los ítems que se muestran en la figura 13.



Figura 13. Primer nivel de las unidades de coberturas de la tierra.

Fuente: modificado de Ideam (2012).

Las unidades de coberturas de la tierra se observan en la tabla 22 y son cartografiables a escala 1:100 000.

Tabla 22. Unidades de coberturas de la tierra para la leyenda nacional

1. Territorios artificializados	
1.1. Zonas urbanizadas	
1.1.1. Tejido urbano continuo	1.1.2. Tejido urbano discontinuo
1.2. Zonas industriales o comerciales y redes de comunicación	
1.2.1. Zonas industriales o comerciales	1.2.2. Red vial, ferroviarias y terrenos asociados
1.2.2. Red vial, ferroviarias y terrenos asociados	1.2.3. Zonas portuarias
1.2.4. Aeropuertos	1.2.5. Obras hidráulicas
1.3. Zonas de extracción minera y escombreras	
1.3.1. Zonas de extracción minera	1.3.2. Zonas de disposición de residuos
1.4. Zonas verdes artificializadas, no agrícolas	
1.4.1. Zonas verdes urbanas	1.4.2. Instalaciones recreativas
2. Territorios agrícolas	
2.1. Cultivos transitorios	
2.1.1. Otros cultivos transitorios	2.1.2. Cereales
2.1.3. Oleaginosas y leguminosas	2.1.4. Hortalizas
2.1.5. Tubérculos	
2.2. Cultivos permanentes	
2.2.1. Cultivos permanentes herbáceos	
2.2.1.1. Otros cultivos permanentes herbáceos	2.2.1.2. Caña
2.2.1.3. Plátano y banano	2.2.1.4. Tabaco
2.2.1.5. Papaya	2.2.1.6. Amapola
2.2.2. Cultivos permanentes arbustivos	
2.2.2.1. Otros cultivos permanentes arbustivos	2.2.2.2. Café
2.2.2.3. Cacao	2.2.2.4. Viñedos
2.2.2.5. Coca	
2.2.3. Cultivos permanentes arbóreos	
2.2.3.1. Otros cultivos permanentes arbóreos	2.2.3.2. Palma de aceite
2.2.3.3. Cítricos	2.2.3.4. Mango
2.2.4. Cultivos agroforestales	2.2.5. Cultivos confinados
2.3. Pastos	
2.3.1. Pastos limpios	2.3.2. Pastos arbolados
2.3.3. Pastos enmalezados	

2.4. Áreas agrícolas heterogéneas	
2.4.1. Mosaico de cultivos	2.4.2. Mosaico de pastos y cultivos
2.4.3. Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	2.4.4. Mosaico de pastos con espacios naturales
2.4.5. Mosaico de cultivos y espacios naturales	
3. Bosques y áreas seminaturales	
3.1. Bosques	
3.1.1. Bosque denso	
3.1.1.1.1. Bosque denso alto de tierra firme	3.1.1.1.2. Bosque denso alto inundable
3.1.1.2.1. Bosque denso bajo de tierra firme	3.1.1.2.2. Bosque denso bajo inundable
3.1.2. Bosque abierto	
3.1.2.1.1. Bosque abierto alto de tierra firme	3.1.2.1.2. Bosque abierto alto inundable
3.1.2.2.1. Bosque abierto bajo de tierra firme	3.1.2.2.2. Bosque abierto bajo inundable
3.1.3. Bosque fragmentado	3.1.4. Bosque de galería y ripario
3.1.5. Plantación forestal	
3.2. Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	
3.2.1.1. Herbazal denso	
3.2.1.1.1.1. Herbazal denso de tierra firme no arbolado	3.2.1.1.1.2. Herbazal denso de tierra firme arbolado
3.2.1.1.1.3. Herbazal denso de tierra firme con arbustos	3.2.1.1.2.1. Herbazal denso inundable no arbolado
3.2.1.1.2.2. Herbazal denso inundable arbolado	3.2.1.1.2.3. Arracachal
3.2.1.1.2.4. Helechal	
3.2.1.2. Herbazal abierto	
3.2.1.2.1. Herbazal abierto arenoso	3.2.1.2.2. Herbazal abierto rocoso
3.2.2.1. Arbustal denso	3.2.2.2. Arbustal abierto
3.2.3. Vegetación secundaria o en transición	
3.3. Áreas abiertas, sin o con poca vegetación	
3.3.1. Zonas arenosas naturales	3.3.2. Afloramientos rocosos
3.3.3. Tierras desnudas y degradadas	3.3.4. Zonas quemadas
3.3.5. Zonas glaciares y nivales	
4. Áreas húmedas	
4.1. Áreas húmedas continentales	
4.1.1. Zonas pantanosas	4.1.2. Turberas
4.1.3. Vegetación acuática sobre cuerpos de agua	

4.2. Áreas húmedas costeras	
4.2.1. Pantanos costeros	4.2.2. Salitral
4.2.3. Sedimentos expuestos en bajamar	
5. Superficies de agua	
5.1. Aguas continentales	
5.1.1. Ríos (50 m)	5.1.2. Lagunas, lagos y ciénagas naturales
5.1.3. Canales	5.1.4. Cuerpos de agua artificiales
5.2. Aguas marítimas	
5.2.1. Lagunas costeras	5.2.2. Mares y océanos
5.2.3. Estanques para acuicultura marina	

Fuente: Ideam (2012).

Calidad y salud del suelo

Los conceptos de calidad y salud del suelo, aunque parecen similares, son diferentes. Algunos autores han propuesto distintas definiciones y conceptos basados en las propiedades diagnósticas del suelo y su posibilidad de utilización en función del tiempo (Jaramillo, 2002; Somex, 2012).

El concepto calidad del suelo ha venido evolucionando desde mediados del siglo pasado, inicialmente, fue comparado con la productividad de los cultivos y sus repercusiones en su degradación. En la medida en que se avanzó en reconocer la funcionalidad del suelo, este concepto se fue depurando, se tuvieron en cuenta factores de productividad, pero sin degradar sus propiedades físicas, químicas y biológicas, para garantizar así la buena calidad ambiental y la salud de plantas, animales y seres humanos. Últimamente, calidad del suelo ha venido evolucionando en conceptos integrales, holísticos y ambientales, para ello, se considera al suelo como un elemento vital y dinamizador de la oferta ambiental de un territorio, debido a su capacidad de suministrar nutrientes a la cobertura vegetal, almacenar agua, facilitar procesos de producción agropecuaria y, por ende, aportar a la mejora de condiciones de la salud humana y conservar los ecosistemas.

La salud del suelo está estrechamente relacionada con sus propiedades físicas, químicas y biológicas, que permiten conceptualizar una fertilidad integral, esencial para la productividad sustentable agropecuaria bajo mínimos impactos ambientales.

Indicadores de calidad y salud del suelo

Existe varios indicadores físicos, químicos y biológicos que estiman la calidad y salud del suelo. Se recomienda seleccionar unos pocos de acuerdo con los objetivos planteados, la disponibilidad de información básica secundaria (haciendo énfasis en la escala y nivel de detalle de los estudios), la oferta de instrumentación para el monitoreo y la disponibilidad de recursos económicos y de personal capacitado.

Según Lal (1994), es recomendable tener en cuentas los siguientes aspectos al proponer indicadores de calidad y salud del suelo: que sean extrapolables y predecibles, simples y fáciles de medir, versátiles, orientados a procesos, aplicables a las escalas seleccionadas, fáciles de analizar e interpretar y relevantes para las condiciones ecológicas del territorio analizado.

Indicadores de propiedades físicas del suelo

Las propiedades físicas son muy importantes como se observa en la figura 9, ya que se constituye como uno de los principales tipos de degradación. Estas propiedades a su vez garantizan las principales funciones del suelo como: la infiltración, el almacenamiento y la percolación del agua en los diferentes horizontes, lo cual, a su vez, garantiza la dilución y absorción de los minerales por el sistema radical de las plantas, los almacenamientos de agua para fines agropecuarios o de consumo humano, la regulación del ciclo hidrológico y la optimización de los ecosistemas. Los atributos claves del suelo se pueden observar en la tabla 23.

Tabla 23. Atributos claves del suelo y procesos relacionados

Atributos	Procesos
Mecánicos	
Textura	Encostramiento, difusión gaseosa, infiltración.
Densidad aparente	Compactación, crecimiento de raíces, infiltración.
Agregación	Erosión, encostramiento de raíces, infiltración.
Distribución de tamaño y continuidad de poros	Transmisión y retención de agua, crecimiento de raíces, intercambio gaseoso.
Hidrológicos	
Capacidad de retención de agua	Estrés por sequía, producción de biomasa, contenido de materia orgánica del suelo.
Sin limitación de agua	Sequía, desbalance hídrico, estructura del suelo.
Tasa de infiltración	Escorrentía, erosión, lavado.
Zona de raíces	
Profundidad efectiva de raíces	Crecimiento de raíces, uso eficiente de agua y nutrientes.
Temperatura del suelo	Flujo de calor, calentamiento del suelo, actividad y diversidad de especies de la fauna del suelo.

Fuente: Lal (1994).

Indicadores de propiedades químicas del suelo

Las propiedades químicas han sido las que mayor énfasis y prelación han tenido en la medición de la fertilidad del suelo. Se deben considerar en las propiedades químicas del suelo una serie de procesos relacionados con la disponibilidad de nutrientes, la degradación de suelos y su interrelación con procesos físicos y biológicos (tabla 24).

Tabla 24. Propiedades claves químicas y nutricionales del suelo y procesos relacionados

Atributos	Procesos
pH	Acidificación y reacción del suelo, disponibilidad de nutrientes.
Saturación de bases	Adsorción, absorción y solubilización.

Capacidad de intercambio catiónico	Intercambio iónico, lavado.
Contenido total y disponible de nutrientes	Fertilidad del suelo, reserva de nutrientes.
Contenido de materia orgánica	Formación estructural, mineralización retención del nutriente carbono por la biomasa.

Fuente: Lal (1994).

Indicadores de propiedades biológicas del suelo

Varios indicadores se pueden estimar, pero debido a su gran variabilidad y propagación es importante seleccionar indicadores sencillos que estén relacionados con procesos del ciclo de nutrientes, descomposición de la materia orgánica, respiración y formación de estructura del suelo (tabla 25).

Tabla 25. Propiedades claves biológicas del suelo y procesos relacionados

Atributos	Procesos
Población de lombrices y otra macrofauna del suelo y su actividad	Ciclaje de nutrientes, descomposición de materia orgánica, formación de la estructura del suelo.
Carbono en la biomasa del suelo	Transformaciones y respiración microbial, formación de la estructura del suelo y complejos órgano-minerales.
Carbono orgánico total del suelo	Incorporación y fuente de nutrientes del suelo, carbón de la biomasa, respiración del suelo y flujo gaseoso.

Fuente: Lal (1994).

Propuesta de indicadores de calidad y salud del suelo para el departamento de Caldas

En las primeras etapas de Línea base (debido al gran limitante de la baja disponibilidad de información básica secundaria por el escaso monitoreo

del suelo) se propusieron los siguientes indicadores a corto plazo:

- Variación de las áreas de coberturas boscosas en suelos.
- Grado de variación de las áreas de las coberturas de pastos.
- Grado de variación de las áreas de las coberturas de cultivos en suelos.
- Grado de variación de las áreas de las coberturas de infraestructura de vías terrestres en suelos.
- Grado de variación de las áreas de las coberturas de infraestructura de telecomunicaciones en suelos.
- Grado de variación del área urbana en suelos.
- Grado de variación de áreas del suelo urbanizables.

Posteriormente, se decidió unificar los indicadores en dos para facilidad del manejo de la información y a partir de estos se generaron los demás:

- Porcentaje de un tipo de uso y cobertura del suelo determinado en un año dado.
- Porcentaje de variación de un tipo de uso y cobertura del suelo determinado entre dos años dados.

Conclusiones del capítulo

El departamento de Caldas tiene una gran oferta de megabiodiversidad en cuanto respecta a sus bienes y servicios ambientales. Sus suelos son el producto de las interacciones de los factores formadores del suelo, caracterizándose por la alta variabilidad espacial de sus propiedades físicas, químicas y biológicas.

Para seleccionar los indicadores de calidad y salud del suelo es fundamental partir de un riguroso proceso de conceptualización y contextualización que permita estimar la oferta ambiental del territorio, identificando sus debilidades, fortalezas, amenazas y oportunidades.

En esa línea, en la construcción de indicadores de calidad y salud del suelo es importante tener claros aspectos como: escala y nivel de detalle de la información básica secundaria; necesidades de información básica primaria, que sean fáciles y sencillos de monitorear, procesar y evaluar, extrapolables y predecibles, versátiles, relevantes para las condiciones ecológicas y oferta ambiental, además, que estén orientados a procesos de planificación integral y participativa del territorio. Estos son los fundamentos para producir con eficacia indicadores ambientales que tengan transcendencia y para llevar a cabo procesos integrales de sensibilización hacia el uso, manejo y conservación de los bienes y derechos ambientales del territorio.

Al observar y analizar la oferta de información básica secundaria de suelos del departamento de Caldas se identificó una tendencia generalizada de la disponibilidad de cartografía temática de suelos (taxonomía y cartografía de suelos, erosión, usos del suelo, suelos urbanos y rurales) a escala 1:200 000. Este factor es de suma importancia en la selección de los indicadores que conformarán la Línea base ambiental en suelos del departamento de Caldas. Inicialmente, se proponen indicadores sencillos y que se adecuen a la escala disponible, es recomendable tener como área de referencia las cuencas hidrográficas. Dependiendo de la viabilidad de inversión en equipos de monitoreo y personal capacitado para su recolección, procesamiento y análisis se podría pensar en otros indicadores que fortalecerían el proceso de Línea base ambiental del departamento de Caldas.

Con base en este criterio, los indicadores de calidad y salud del suelo que se pueden generar a corto plazo son pocos, utilizando la información básica secundaria disponible, a saber: porcentaje del grado de variación de las coberturas boscosas, porcentaje del grado de variación de las coberturas de pastos, porcentaje del grado de variación de las coberturas de cultivos, porcentaje del grado de variación de las coberturas de infraestructuras de vías terrestres, porcentaje del grado de variación de las coberturas de infraestructuras de telecomunicaciones, porcentaje del grado de variación del área urbana en suelos del departamento de Caldas, porcentaje del grado

de variación del suelo urbanizable, porcentaje de variación de suelos urbanos y rurales y porcentaje de variación de los grados de erosión.

A mediano y largo plazo se pueden generar procesos que permitan estimar los indicadores mínimos necesarios para la valoración de calidad y salud del suelo en los ecosistemas y ecorregiones del departamento de Caldas, en lo que respecta a las propiedades físicas, químicas y biológicas de sus suelos.

Como ya se ha mencionado, existen serias limitantes para monitorear y producir indicadores ambientales en lo que respecta a la calidad y salud suelo y subsuelo debido a la alta variabilidad espacial de sus propiedades físicas, químicas y biológicas, las frágiles políticas en el monitoreo ambiental y el incipiente desarrollo en la construcción de indicadores ambientales en el país.

Referencias

Blum, W. (2004). *Soil Indicators for decision making-sharing knowledge between science, stake holders and politics*. 13th International Soil Conservation Organisation (ISCO). Conference 5.

Corpocaldas y IGAC (2012). *Estudio semidetallado de suelos de los municipios de Manizales, Chinchiná, Palestina, Neira y Villamaría*. Bogotá, D.C.: autor.

Forero, M. C. (1985). Aplicación de la taxonomía de suelos del USDA en la cartografía, interpretación y correlación de los suelos. *Revista Suelos Ecuatoriales, XV*(1), 85-87.

Ideam (2010). *Leyenda nacional de coberturas de la Tierra. Metodología Corine Land Cover adaptada para Colombia Escala 1:100 000*. Bogotá, D. C.: autor.

Ideam (2012). *Sistema de Información Ambiental de Colombia* (*Siac*). www.siac.gov.co

Jaramillo, D. F. (2002). *Introducción a la ciencia del suelo*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia.

Lal, R. (1994). *Métodos y normas para evaluar el uso sostenible de los recursos suelo y agua en el trópico*. Servicios de apoyo para el Manejo de Suelos (SMSS). Servicio de Conservación del Suelo (USDA). Agencia Americana. Ohio State University.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible e Ideam (2012). *Propuesta del programa nacional de monitoreo y seguimiento de la degradación de suelos y tierras*

en Colombia: diseño estructura y estrategias para su implementación. Bogotá, D.C.: autor.

Red Nacional de Conservación de Suelos y Aguas (2012). *El recurso suelo*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agropecuarias.

Soil Survey Staff (SSS) (1999). *Soil Taxonomy. A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys. Agriculture Handbook N.° 436*. 2nd ed. Washington D.C.: Soil Survey Staff.

Somex (2012). *El suelo*. Recuperado de http://www.somexnutricion.com/

UN y Corpocaldas (2014). *Definición de los indicadores de la Línea base ambiental de Caldas*. G. A. Osorio Zuluaga yN. D. Duque Méndez (Eds.). Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales.

Conclusiones

El proyecto de la estructuración de la Línea base ambiental de Caldas se logró gracias al trabajo colectivo de todos los actores que participaron; los indicadores se construyeron por temas ambientales (ecosistemas estratégicos, biodiversidad, agua, clima, aire, suelo, subsuelo y uso de los recursos), se trabajó con los expertos en cada área, sin perder la visión sistémica del problema. Cada tema ambiental utilizó el marco estado-presión-respuesta para la clasificación de los indicadores. De igual forma, se consideraron los problemas ambientales teniendo en cuenta las escalas espaciales y temporales.

La batería de indicadores presentada ha sido asociada a políticas o normas acordes con su ámbito. Esto permite que los datos e indicadores

sean transversales a diferentes sectores y se puedan conectar a sistemas de información nacionales como el SIRH o el Sisaire, por mencionar algunos. Este aspecto es de gran importancia y debe ser revisado detalladamente en futuros trabajos, ya que permite realizar evaluaciones en el tiempo y establecer cambios en los estados, presiones o respuestas sobre el recurso analizado y, además, permitirá evaluar los impactos causados a los ecosistemas y a la población.

Las fuentes de los datos existentes a partir del conocimiento de los expertos se determinaron en cada hoja metodológica. Este es un aspecto de especial relevancia ya que permite que los usuarios finales (sector productivo, educativo, institucional, etc.) accedan a la información y no dependa de personas específicas.

Por otro lado, se construyeron las fórmulas con la definición específica de las variables en sus unidades y coberturas. Para cada construcción se aportaron ejemplos de cálculo, indicando claramente las temporalidades de generación del indicador y el entorno en el que es válido el mismo. Esto es muy importante, ya que se generan procesos metodológicos que pueden ser consultados para la construcción de sus propios indicadores con datos que no son reportados en el CDIAC.

También se consideró la dinámica del indicador y lo que representa de acuerdo con rangos de calificación, utilizando el esquema de semáforo para desplegar su condición en un momento determinado. Los valores de referencia fueron acordados por los expertos o ajustados según la normativa (por ejemplo, en el caso de los indicadores de calidad del aire), pero el comportamiento de las variables puede requerir que estos umbrales se ajusten.

Finalmente, con los volúmenes de consulta de información del CDIAC y las consultas adicionales (que aún no pueden ser resueltas con la información que se ha generado hasta la fecha) es posible concluir que aún falta trabajo de investigación para determinar los indicadores que se requieren en Caldas y los métodos apropiados para su construcción, así como la implementación de la infraestructura tecnológica y de capacidades necesarias para poblar dichos indicadores.

Este ejercicio dinámico ha permitido establecer prioridades para la región y Corpocaldas ha definido estrategias para avanzar en la recopilación de información y en la generación de información con calidad, para lo cual es importante el dato primario que se agrupa de diferentes maneras para generar diversos indicadores.

Anexos

Hojas metodológicas de indicadores de clima

Precipitación



Citación: UN y Corpocaldas (2014). *Hojas metodológicas*. Centro de Datos e Indicadores Ambientales de Caldas (CDIAC).

http://cdiac.manizales.unal.edu.co/inicio/

Identificador del indicador

PPT

Nombre del indicador

Precipitación acumulada (lluvia)

Tipo de indicador

Indicador de estado

Descripción de la variable

La precipitación se define como el producto líquido o sólido de la condensación de vapor de agua que cae de las nubes o es depositado desde el aire sobre la Tierra. Esto incluye lluvia, granizo, nieve, rocío, escarcha y niebla. La cantidad total de precipitación que llega al suelo en un periodo determinado se expresa en términos de la profundidad vertical de agua (o agua equivalente en el caso de formas sólidas) para la cual cubre una proyección horizontal de la superficie de la Tierra (OMM, 2008, 2014).

Relevancia o pertinencia del indicador

Conocer el comportamiento de la precipitación en un periodo de tiempo determinado y para una localización específica permite mejorar la planificación, contar con un calendario agrícola, conocer la disponibilidad o escasez de agua, etc.; este proceso también se utiliza para fines de gestión del riesgo y cambio climático. En contaminación atmosférica juega un papel importante el conocimiento de este indicador debido a su participación en fenómenos atmosféricos que interactúan con los contaminantes.

Definición del indicador

Precipitación diaria: suma de los registros de precipitación durante un día en una estación.

Precipitación mensual: suma de los registros de precipitación diaria durante un mes en una estación.

Precipitación anual: suma de los registros de precipitación mensual durante un año en una estación.

Fórmula de cálculo del indicador

Precipitación diaria, mensual o anual:

$$PPT_t = \sum_{i=1}^{i=n} PPT_i$$

Donde:

PPT_t = precipitación durante el periodo t, que puede ser día, mes o año.

PPT_i = precipitación durante el intervalo i de medición, que puede ser cincominutal, horario, diario o mensual.

n = número de registros en el periodo t, que puede ser día, mes o año.

Estadísticas del indicador

Valores medios

Precipitación media mensual para un año determinado:

$$\overline{PPT}_m = \frac{1}{12} \sum_{i=1}^{i=12} PPT_i$$

Donde:

$\overline{PPT}_m$ = precipitación media mensual para un año determinado.
PPT_i = precipitación durante cada mes.

Precipitación media mensual multianual para un mes determinado de todos los años de los cuales se tiene registro:

$$\overline{PPT}_{mmi} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{i=n} PPT_i$$

Donde:
$\overline{PPT}_{mmi}$ = precipitación media mensual multianual para el mes i.
PPT_i = precipitación para el mes i de cada año de registro.
n = número de años de registro.

Precipitación media anual multianual:

$$\overline{PPT}_{am} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{i=n} PPT_i$$

Donde:
$\overline{PPT}_{am}$ = precipitación media anual multianual para el número de años de los cuales se tenga registro.
PPT_i = precipitación para el año i durante los años de registro.
n = número de años de registro.

Valores mínimos

Precipitación mínima mensual o anual:

PPT_{min} = mínimo valor de la precipitación mensual o anual durante los años de registro

Donde:

PPT_{min} = precipitación mínima mensual o anual durante los años de registro

Valores máximos

Precipitación máxima diaria mensual:

PPT_{maxd} = máximo valor de la precipitación diaria para el mes i durante un año específico

Donde:

PPT_{maxd} = precipitación máxima diaria mensual durante un año específico

Precipitación máxima mensual multianual (para cada mes calendario):

PPT_{maxm} = máximo valor de la precipitación mensual para un mes calendario durante los años de registro

Donde:

PPT_{maxm} = precipitación máxima mensual para un mes calendario durante los años de registro

Precipitación máxima histórica diaria, mensual o anual:

PPT_{maxh} = máximo valor de la precipitación diaria, mensual o anual durante todo el tiempo de registro

Donde:

PPT_{maxh} = precipitación máxima histórica para un día, mes o año durante todo el periodo de registro

Nota: para este indicador se obtiene un solo valor para el día, mes o año.

Unidad de medida del indicador

Milímetros (mm)

Criterio de calificación

El criterio de calificación involucra la magnitud de la precipitación en distintos periodos de tiempo, identificando temporadas altas y bajas de lluvias y fenómenos de variabilidad climática, así como las condiciones base de una zona determinada. La identificación de línea base se realiza utilizando la precipitación media mensual multianual para definir el tipo de régimen monomodal (el cual se caracteriza por presentar una temporada seca y otra lluviosa durante un año) o bimodal (se alternan dos temporadas secas o semisecas con dos temporadas lluviosas) de las lluvias en una zona determinada.

Además, la precipitación mensual al ser comparada con el anterior valor permite definir si un mes es más o menos lluvioso. Por otra parte, la precipitación interanual permite analizar el clima ante fenómenos como El Niño o La Niña.

La precipitación evaluada de manera conjunta con otras variables como la temperatura y la evapotranspiración se usa para caracterizar el clima de una región determinada.

Rango de calificación y semáforo

Se establece este rango en función de la clasificación climática de la zona. Para ello, se utilizan clasificaciones climáticas comúnmente usadas como la de Lang y la de Caldas-Lang (tablas 26 y 27).

Tabla 26. Clasificación climática de Lang

Factor de humedad	Factor de Lang (P/T)
Desértico	0 a 20
Árido	20,1 a 40

Semiárido	40,1 a 60
Semihúmedo	60,1 a 100
Húmedo	100,1 a 160
Superhúmedo	> a 160

Nota: P: precipitación media anual multianual (mm). T: temperatura media anual multianual (°C).

Fuente: Ideam (2017).

Tabla 27. Clasificación climática de Caldas-Lang

N.°	Clima	Símbolo
1	Cálido superhúmedo	CSH
2	Cálido húmedo	CH
3	Cálido semihúmedo	Csh
4	Cálido semiárido	Csa
5	Cálido árido	CA
6	Cálido desértico	CD
7	Templado superhúmedo	TSH
8	Templado húmedo	TH
9	Templado semihúmedo	Tsh
10	Templado semiárido	Tsa
11	Templado árido	TA
12	Templado desértico	TD
13	Frío superhúmedo	FSH
14	Frío húmedo	FH
15	Frío semihúmedo	Fsh
16	Frío semiárido	Fsa
17	Frío árido	FA
18	Frío desértico	FD
19	Páramo bajo superhúmedo	PBSH
20	Páramo bajo húmedo	

		PBH
21	Páramo bajo semihúmedo	PBsh
22	Páramo bajo semiárido	PBsa
23	Páramo alto superhúmedo	PASH
24	Páramo alto húmedo	PAH
25	Nieves perpetuas	NP

Fuente: Castañeda (2014).

Alcance

Aplica para la magnitud de la precipitación diaria, mensual y anual en los diferentes municipios donde se tienen estaciones de monitoreo que poseen equipos de medición de la precipitación.

Restricciones del indicador

Calibración y mantenimiento del equipo.

Sitio de muestreo

Este indicador aplica para aquellos municipios de Caldas en los cuales se tienen estaciones de monitoreo con equipos de medición de precipitación.

Cobertura o escala del indicador

Municipal y departamental.

Fuente de los datos

Diversos propietarios de estaciones de monitoreo que incluyen pluviómetros en municipios de Caldas.

Método de levantamiento o captura de los datos

Protocolos nacionales e internacionales (OMM, 2008) de monitoreo de la precipitación utilizando pluviómetros.

Disponibilidad de los datos (cualitativo)

Plenamente disponibles.

Frecuencia de medición

Depende del tipo de estación. Puede ser cada cinco minutos, cada hora o diariamente.

Periodicidad de análisis

Diario, mensual, anual o multianual.

Relación del indicador con objetivos, políticas, normas, iniciativas locales o mundiales o metas ambientales

De acuerdo con la información suministrada por el Ideam, el indicador se enmarca en los siguientes planes y lineamientos (Ideam, 2013a): en el contexto internacional, este indicador es propuesto por el Sistema de Información de Medio Ambiente (Sima) de la Comunidad Andina de Naciones (CAN), el marco para el desarrollo de estadísticas ambientales (FDES) y la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE).

En ese sentido, la precipitación total es un indicador que sirve para realizar seguimiento al clima según lo indicado por la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y el cambio climático según lo establecido por el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC).

Por otra parte, en el contexto nacional, el Ideam tiene este indicador en el sistema de indicadores del Sistema de Información Ambiental de Colombia (SIAC). En este sistema se recolecta información del país para

realizar los informes del estado del medio ambiente y los recursos naturales renovables, evaluar la variabilidad climática y el cambio climático.

Tabla de datos

Se pueden generar tablas de datos resumiendo los resultados obtenidos.

Gráficos, mapas u otros diagramas

La precipitación se representa, generalmente, en diagramas de barras llamados hietogramas.

Meta y actividades mínimas

Este indicador está ligado a la implementación de más estaciones meteorológicas en el departamento. Para calcular adecuadamente este indicador es imprescindible hacer mantenimientos periódicos a las estaciones que monitorean precipitación.

Responsable interno del indicador

Corporación Autónoma Regional de Caldas (Corpocaldas).

Créditos y agradecimientos

- Instituto de Estudios Ambientales (Idea) de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales.
- Propietarios de estaciones de monitoreo.

Comentarios

Para lograr una adecuada medición de estos indicadores y garantizar su consistencia y homogeneidad en el tiempo, se requiere ejecutar un protocolo de densificación de la red, operación continua, mantenimiento

preventivo o correctivo, reposición de equipos y componentes y calibración de los mismos.

Precipitación acumulada en los últimos 25 días



Citación: UN y Corpocaldas (2014). *Hojas metodológicas*. Centro de Datos e Indicadores Ambientales de Caldas (CDIAC).http://cdiac.manizales.unal.edu.co/indicadores/public/searchClimatological

Identificador del indicador

A25.

Nombre del indicador

Precipitación acumulada en los últimos 25 días.

Tipo de indicador

Indicador de estado.

Descripción del indicador

Precipitación acumulada en los últimos 25 días, conocido como A25.

Relevancia o pertinencia del indicador

Este indicador es de utilidad para conocer el comportamiento de la precipitación acumulada en los últimos 25 días en una zona específica y a partir de ella generar niveles de alerta según los valores obtenidos del indicador A25.

Es un indicador utilizado en los reportes de la red de estaciones hidrometeorológicas para la gestión del riesgo por deslizamientos en Manizales y como insumo base para la declaratoria de alertas tempranas a la cabeza del Consejo Municipal de Gestión del Riesgo de la ciudad.

Definición de las variables que componen el indicador

Precipitación total diaria

Precipitación total (mm) registrada para un día (entre las 00:00 y las 24:00 horas) en estaciones de monitoreo con equipos de medición de precipitación.

Fórmula de cálculo del indicador

Se realiza la sumatoria de precipitaciones totales diarias de los últimos 25 días. Así, cada nuevo día entra un nuevo registro y se descuenta el primero, manteniendo una ventana fija de tiempo de 25 días.

$$A25 = \sum_{i=1}^{i=25} PPT_i$$

Donde:
A25 = precipitación acumulada en los últimos 25 días (mm).
PPT_i = precipitación diaria (mm) del día i.

Unidad de medida del indicador

Milímetros (mm).

Criterio de calificación

Se utilizan los valores de precipitación diaria obtenidos en las estaciones de monitoreo. El criterio principal de calificación es el nivel de alerta manejado en los reportes de la red de estaciones hidrometeorológicas para la gestión del riesgo por deslizamientos en Manizales: alerta amarilla, naranja o roja según el valor de A25, adoptado por el Consejo Municipal para la Gestión del Riesgo de Manizales.

Rango de calificación y semáforo

El indicador A25, incorporado por el Instituto de Estudios Ambientales Idea de la Universidad Nacional de Colombia sede Manizales, se basa en los resultados de la investigación de Terlien (1996) y fue adoptado por la Unidad de Gestión del Riesgo de Manizales (UGR), incluso la misma directiva, posteriormente, asoció rangos a los umbrales que permitirían determinar en un momento dado, niveles de alerta temprana en la ciudad, como se muestra en la tabla 28.

Tabla 28. Nivel de alerta para cada umbral de precipitación antecedente de los 25 días

Nivel de alerta	Color	Rango A25
Baja	Amarillo	200 mm <= A25 < 300 mm
Media	Naranja	300 mm <= A25 < 400 mm
Alta	Rojo	A25 >= 400 mm

Fuente: Terlien (1996).

Alcance

Para la interpretación del indicador se debe tener presente que solo aplica para los efectos de la infiltración del agua en el suelo y su acción en la

estabilidad de las laderas. No aplica para deslizamientos causados por eventos extremos de alta intensidad. Inicialmente, fue diseñado para aplicar en la zona urbana de Manizales.

Restricciones del indicador

Indicador sujeto a la densidad de la red de estaciones de monitoreo de la precipitación, a la zonificación del mismo y a las actualizaciones del A25 producto de investigaciones.

Sitio de muestreo

Este indicador aplica para aquellos lugares de Manizales en los cuales se tienen estaciones de monitoreo con equipos de medición de precipitación.

Cobertura o escala del indicador

Municipio de Manizales.

Fuente de los datos

Diversos propietarios de estaciones de monitoreo de la precipitación en Manizales.

Método de levantamiento o captura de los datos

Protocolos nacionales e internacionales (OMM, 2008) de monitoreo de la precipitación utilizando pluviómetros.

Disponibilidad de los datos (cualitativo)

Plenamente disponibles, previo monitoreo de la precipitación y generación del reporte meteorológico diario de registros del A25.

Frecuencia de medición

Diaria.

Periodicidad de análisis

Diaria.

Relación del indicador con objetivos, políticas, normas, iniciativas locales o mundiales o metas ambientales

Tiene relación con los planes de gestión municipales en el tema de gestión del riesgo de los desastres y con la política nacional para la gestión integral del recurso hídrico, que retoma los esfuerzos de otras entidades del tema agua tales como el Ideam y las corporaciones autónomas regionales, entre otros. En esta se condensa y se tiene en cuenta toda la normativa relativa al tema.

Datos complementarios o de soporte

NA.

Tabla de datos

Reportes diarios de precipitación e indicador A25, generados por el Simac, e históricos del A25 en el CDIAC (que pueden ser consultados en su página: http://cdiac.manizales.unal.edu.co/indicadores/public/index).

Gráficos, mapas u otros diagramas

Gráficos comparativos por mes y por año para cada estación de monitoreo. Se representan por líneas.

Meta y actividades mínimas

Realizar la zonificación del indicador en el área urbana de Manizales, la actualización de los umbrales y validar su posible implementación en otros municipios de Caldas.

Responsable interno del indicador

Corporación Autónoma Regional de Caldas (Corpocaldas), la UGR de la Alcaldía de Manizales y el Consejo Municipal para la Gestión del Riesgo de Manizales.

Créditos y agradecimientos

Instituto de Estudios Ambientales (Idea) de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales.

Propietarios de estaciones de monitoreo.

Comentarios

El indicador A25 debe ser sometido a ajuste basado en las investigaciones que se realicen en el municipio de Manizales. Para lograr una adecuada medición de este indicador y garantizar su consistencia y homogeneidad en el tiempo, se requiere ejecutar un protocolo de densificación de la red, operación continua, mantenimiento preventivo o correctivo, reposición de equipos y componentes y calibración de los mismos.

Anomalía de precipitación



Citación: UN y Corpocaldas (2014). Hojas metodológicas. Centro de Datos e Indicadores Ambientales de Caldas (CDIAC). http://cdiac.manizales.unal.edu.co/inicio/

Identificador del indicador

AP.

Nombre del indicador

Anomalía de precipitación.

Tipo de indicador

Indicador de estado.

Descripción del indicador

La anomalía de precipitación es la relación entre la precipitación acumulada para el periodo i y la media multianual para el mismo periodo. Es decir, mide la desviación en porcentaje con respecto al valor medio histórico de un periodo de referencia (de acuerdo con el Ideam el periodo considerado apropiado para establecer una precipitación normal climatológica es de 30 años).

Relevancia o pertinencia del indicador

El indicador define cómo ha sido el régimen de precipitación durante un mes, con relación al promedio establecido como valor normal. Sirve para indicar periodos más secos o húmedos de lo normal.

Definición de las variables que componen el indicador

La precipitación se define como el producto líquido o sólido de la condensación de vapor de agua que cae de las nubes o es depositado desde el aire sobre la Tierra. Esto incluye lluvia, granizo, nieve, rocío, escarcha y niebla. La cantidad total de precipitación que llega al suelo en un periodo determinado se expresa en términos de la profundidad vertical de agua (o agua equivalente en el caso de formas sólidas) para la cual cubre una proyección horizontal de la superficie de la Tierra (OMM, 2008).

Fórmula de cálculo del indicador

$$AP = \frac{PPT_i}{PPT_{mmi}} x100$$

Donde PPT_i es la precipitación del mes i, y PPT_{mmi} es la precipitación media mensual multianual del mismo mes.

Unidad de medida del indicador

Milímetros (mm).

Criterio de calificación

Se utiliza la misma propuesta por el Ideam (2013b) en la tabla 29.

Tabla 29. Escala de calificación de la anomalía de precipitación

Anomalía de precipitación (%)	Calificación
0-29	Muy por debajo de lo normal
30-59	Moderadamente por debajo de lo normal
60-89	Ligeramente por debajo de lo normal
90-109	Normal
110-139	Ligeramente por encima de lo normal
140-169	Moderadamente por encima de lo normal
>170	Muy por encima de lo normal

Fuente: Ideam (2013b).

Según dicha escala si el indicador está por debajo de 90 se tomará como indicativo de sequía.

Alcance

Aplica para la magnitud de la precipitación mensual, trimestral y anual en los diferentes municipios donde se tienen estaciones de monitoreo que poseen equipos de medición de la precipitación.

Restricciones del indicador

Calibración y mantenimiento del equipo.

Sitio de muestreo

Este indicador aplica para aquellos municipios de Caldas en los cuales se tienen estaciones de monitoreo con equipos de medición de precipitación.

Cobertura o escala del indicador

Municipal y departamental.

Fuente de los datos

Diversos propietarios de estaciones de monitoreo que incluyen pluviómetros en municipios de Caldas.

Método de levantamiento o captura de los datos

Protocolos nacionales e internacionales (OMM, 2008) de monitoreo de la precipitación utilizando pluviómetros.

Disponibilidad de los datos (cualitativo)

Plenamente disponibles.

Frecuencia de medición

Depende del tipo de estación. Puede ser cada cinco minutos, cada hora o diariamente.

Perioricidad de análisis

Diario, mensual, anual o multianual.

Relación del indicador con objetivos, políticas, normas, iniciativas locales o mundiales o metas ambientales

En el contexto nacional el Ideam tiene este indicador en el sistema de indicadores del SIAC. En este sistema se recolecta información del país para realizar los informes del estado del medio ambiente y los recursos naturales renovables, evaluar la variabilidad climática y cambio climático (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015).

Datos complementarios o de soporte

NA.

Tabla de datos

Se pueden generar tablas de datos resumiendo los resultados obtenidos.

Gráficos, mapas u otros diagramas

La anomalía de precipitación se representa generalmente en diagramas de barras.

Meta y actividades mínimas

NA.

Responsable interno del indicador

Corporación Autónoma Regional de Caldas (Corpocaldas).

Créditos y agradecimientos

Instituto de Estudios Ambientales (Idea) de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales.

Propietarios de estaciones de monitoreo.

Comentarios

Para lograr una adecuada medición de estos indicadores y garantizar su consistencia y homogeneidad en el tiempo, se requiere ejecutar un protocolo de densificación de la red, operación continua, mantenimiento preventivo o correctivo, reposición de equipos y componentes y calibración de los mismos.

Temperatura media del aire



Citación: UN y Corpocaldas (2014). *Hojas metodológicas*. Centro de Datos e Indicadores Ambientales de Caldas (CDIAC). http://cdiac.manizales.unal.edu.co/inicio/

Identificador del indicador

T.

Nombre del indicador

Temperatura (máxima, media y mínima).

Tipo de indicador

Indicador de estado.

Descripción del indicador

- Temperatura media diaria: promedio de los registros instantáneos de temperatura durante un día en una estación.
- Temperatura media mensual: promedio de los registros de temperatura diaria durante un mes en una estación.
- Temperatura media anual: promedio de los registros de temperatura mensual durante un año en una estación.

- Temperatura media anual multianual: promedio de los registros de temperatura anual durante varios años en una estación.
- Temperatura máxima.
- Temperatura mínima.

Relevancia o pertinencia del indicador

El Sistema de Información Ambiental de Caldas (SIAC) describe la finalidad e interpretación de cada representación de la temperatura (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015).

> Temperatura máxima: conocer la temperatura máxima promedio registrada en un periodo determinado y establecer mediante estadísticas, las épocas calurosas. En otras palabras, conocimiento de los periodos de mayor calor, con la finalidad de realizar estudios y aplicaciones futuras. Realizar pronósticos y alertas hidrometeorológicas (alertar a la población sobre posibles olas de calor); además, los datos brindan información para diversos estudios en climatología. Evaluar la situación y tendencias de las temperaturas máximas medias del aire; este indicador puede asociarse con otros de naturaleza climática, tales como: humedad relativa, precipitación pluvial, velocidad de vientos, etc.
>
> Temperatura media: determinar pronósticos y alertas meteorológicas, trabajos de investigación y estudios en climatología, clasificación climática y agroclimática, modelamiento, reacción de contaminantes en el aire, etc. Realizar comparaciones sobre la base de datos históricos, permitiendo establecer condiciones de cambio de calentamiento o enfriamiento del aire. Obtener la temperatura media del aire en un lugar determinado. La temperatura media es un indicador térmico muy utilizado en diferentes áreas del conocimiento ya que la temperatura es un factor determinante en muchos procesos tanto naturales como antropogénicos.
>
> Temperatura mínima: conocer la temperatura mínima registrada en un periodo frío. En otras palabras, conocimiento de los meses más fríos, con la finalidad de realizar estudios y aplicaciones futuras. Realizar pronósticos y alertas hidrometeorológicas, ocurrencia de heladas meteorológicas y agronómicas, trabajos específicos e investigación en climatología. Evaluar la situación y tendencias de las temperaturas mínimas medias del aire; este indicador puede asociarse con otros de

naturaleza climática, tales como: humedad relativa, precipitación pluvial, velocidad de viento, etc.

Este indicador tiene importancia en el cambio climático y sus efectos en la región con miras a su mitigación y adaptación.

Definición de las variables que componen el indicador

La temperatura del aire es la magnitud física (medida en grados Celsius) que refleja la cantidad de calor percibida, en este caso en el ambiente, a una determinada altitud.

Fórmula de cálculo del indicador

Temperatura media

$$Tmd_i = \frac{1}{nh} \sum_{h=1}^{nh} T_h$$

Tmd_i es la temperatura media diaria del día i (i=1,….365), T_h es la temperatura horaria, h es el número de horas del día h=1,….,24.

$$Tmm_i = \frac{1}{nd} \sum_{d=1}^{nd} Tmd_d$$

Tmm_i es la temperatura media mensual del mes i (i=1,….,12), para lo que se promedia la temperatura media diaria de cada día de dicho mes d (d=1,….,nd) donde nd es 28, 30 o 31 según el mes.

$$Tma_i = \frac{1}{12} \sum_{m=1}^{12} Tmm_m$$

Tma_i es la temperatura media anual di (i=1,….,na) el número de años dependerá de la estación a revisar. Se calcula como el promedio de la temperatura media mensual de todos los meses de ese año m (m=1,….,12).

$$Tmma_i = \frac{1}{na} \sum_{a=1}^{na} Tmm_{ai}$$

$Tmma_i$ es la temperatura media mensual multianual del mes i (i=1,…..,12). Se calcula como el promedio de la temperatura media mensual de cada mes para todos los años que tiene registros esa estación (a=1,….,na); na es el número total de años de registros de la estación.

Temperatura máxima

$T_{(max),d,m,a,ma}$ = máximo valor de la temperatura media diaria, mensual o anual durante el periodo n.

Nota: siempre se debe especificar el periodo de cálculo del indicador.

Temperatura mínima (Ideam, 2013a):

$T_{(min),d,m,a,ma}$ = mínimo valor de la temperatura media diaria, mensual o anual durante el periodo n.

Unidad de medida del indicador

Grados Celsius (°C).

Criterio de calificación

Este indicador es relativo y calificado de acuerdo con las temperaturas de referencia del lugar. Ver las clasificaciones de las tablas 30, 31 y 32.

Rango de calificación y semáforo

Este indicador permite definir una clasificación climática de la zona de estudio y la temperatura media mensual multianual. Para ello, se utilizan las

tres clasificaciones climáticas comúnmente usadas la de Caldas, la de Lang y la de Caldas-Lang, como se muestra en las tablas 5, 6 y 7.

Tabla 30. Clasificación climática de Caldas

Piso térmico	Rango elevación m s.n.m.	Rango temperatura °C
Cálido	0 a 800	T >= 24
Templado	800 a 1800	24 > T > 18
Frío	1800 a 2800	18 > T > 12
Muy frío	2800 a 3700	12 > T > 6
Extremadamente frío	3700 a 4700	6 > T > 0
Nivel	>4700	T < 0

Fuente: Ideam (2017).

Tabla 31. Clasificación climática de Lang

Factor de humedad	Factor de Lang (P/T)
Desértico	0 a 20
Árido	20,1 a 40
Semiárido	40,1 a 60
Semihúmedo	60,1 a 100
Húmedo	100,1 a 160
Superhúmedo	> a 160

Fuente: Castañeda (2014).

Nota: P: precipitación media anual multianual (mm). T: temperatura media anual multianual (°C).

Tabla 32. Clasificación climática de Caldas, Lang

N.°	Clima	Símbolo

1	Cálido superhúmedo	CSH
2	Cálido húmedo	CH
3	Cálido semihúmedo	Csh
4	Cálido semiárido	Csa
5	Cálido árido	CA
6	Cálido desértico	CD
7	Templado superhúmedo	TSH
8	Templado húmedo	TH
9	Templado semihúmedo	Tsh
10	Templado semiárido	Tsa
11	Templado árido	TA
12	Templado desértico	TD
13	Frío superhúmedo	FSH
14	Frío húmedo	FH
15	Frío semihúmedo	Fsh
16	Frío semiárido	Fsa
17	Frío árido	FA
18	Frío desértico	FD
19	Páramo bajo superhúmedo	PBSH
20	Páramo bajo húmedo	PBH
21	Páramo bajo semihúmedo	PBsh
22	Páramo bajo semiárido	PBsa
23	Páramo alto superhúmedo	PASH
24	Páramo alto húmedo	PAH
25	Nieves perpetuas	NP

Fuente: Castañeda (2014).

Alcance

Temperatura: máxima, media y mínima.

Restricciones del indicador

Calibración del equipo.

Sitio de muestreo

Los equipos para medir temperatura son ubicados en las estaciones meteorológicas e hidrometeorológicas que deben cumplir con los lineamientos de la *Guía de instrumentación meteorológica y métodos de observación* (OMM, 2008).

Cobertura o escala del indicador

Municipal y departamental.

Fuente de los datos

Diversos propietarios de estaciones de monitoreo que incluyen termómetros en municipios de Caldas.

Método de levantamiento o captura de los datos

Protocolos nacionales e internacionales (OMM, 2008, 2014) de monitoreo de la temperatura utilizando termómetros.

Disponibilidad de los datos (cualitativo)

Plenamente disponibles.

Frecuencia de medición

Depende del tipo de estación. Puede ser cada cinco minutos, cada hora o diariamente.

Perioricidad de análisis

Diario, mensual, anual o multianual.

Relación del indicador con objetivos, políticas, normas, iniciativas locales o mundiales o metas ambientales

No hay políticas ni acuerdos locales o internacionales relacionados.

Datos complementarios o de soporte

NA.

Tabla de datos

Se pueden generar tablas de datos resumiendo los resultados obtenidos.

Gráficos, mapas u otros diagramas

Gráficos de tendencias y gráficos comparativos por estación (comparación temporal). Representados por puntos o líneas punteadas.

Meta y actividades mínimas

Este indicador está ligado a la implementación de más estaciones meteorológicas en el departamento.

Responsable interno del indicador

Corporación Autónoma Regional de Caldas (Corpocaldas).

Créditos y agradecimientos

- Instituto de Estudios Ambientales (Idea) de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales.

- Propietarios de estaciones de monitoreo.

Comentarios

Para lograr una adecuada medición de estos indicadores y garantizar su consistencia y homogeneidad en el tiempo se requiere ejecutar un protocolo de densificación de la red, operación continua, mantenimiento, reposición de equipos y componentes y calibración de los mismos.

Rango de temperatura ambiente



Citación: UN y Corpocaldas (2014). *Hojas metodológicas*. Centro de Datos e Indicadores Ambientales de Caldas (CDIAC). http://cdiac.manizales.unal.edu.co/inicio/http://cdiac.manizales.unal.edu.co/inicio/

Identificador del indicador

Rango-Temp.

Nombre del indicador

Rango o amplitud de la temperatura.

Tipo de indicador

Indicador de estado.

Descripción del indicador

Muestra la amplitud de la temperatura en un día, mes, año o varios años calculando la diferencia que hubo entre la temperatura máxima y la temperatura mínima del periodo seleccionado.

Relevancia o pertinencia del indicador

En términos de la amplitud de temperatura, esta medida entre el valor máximo y el mínimo tiene un valor ecológico y diferente para los distintos cultivos, ya que condiciona los ecosistemas.

Definición de las variables que componen el indicador

$T_{máx}$: registros de temperatura máxima.
T_{min}: registros de temperatura mínima.

Registros de datos técnicos de temperatura provenientes de las estaciones meteorológicas e hidrometeorológicas y periodos monitoreados.

Fórmula de cálculo del indicador

Diferencia entre los valores máximo y mínimo de la temperatura ambiente en un periodo de tiempo determinado.

$$Rango_{Temp} = T_{máx} - T_{mín}$$

Donde:
$Rango_{Temp}$ = rango de la temperatura.
$T_{máx}$ = temperatura máxima en un periodo de un día, mes o año.

$T_{mín}$ = temperatura mínima en un periodo de un día, mes o año.

Unidad de medida del indicador

Grados Celsius (°C).

Criterio de calificación

Este indicador es relativo y calificado de acuerdo con las temperaturas de referencia del lugar.

Rango de calificación y semáforo

Este indicador es relativo y calificado de acuerdo con las temperaturas de referencia del lugar.

Alcance (qué mide el indicador)

Rango o amplitud de la temperatura ambiente.

Restricciones del indicador

Calibración del equipo.

Sitio de muestreo

Los equipos para medir temperatura son ubicados en las estaciones meteorológicas e hidrometeorológicas que deben cumplir con los lineamientos de la *Guía de instrumentación meteorológica y métodos de observación* (OMM, 2008).

Cobertura o escala del indicador

Municipal y departamental.

Fuente de los datos

Diversos propietarios de estaciones de monitoreo que incluyen termómetros en municipios de Caldas.

Método de levantamiento o captura de los datos

Protocolos nacionales e internacionales (OMM, 2008, 2014) de monitoreo de la temperatura utilizando termómetros.

Disponibilidad de los datos (cualitativo)

Plenamente disponibles.

Frecuencia de medición

Depende del tipo de estación. Puede ser cada cinco minutos, cada hora o diariamente.

Perioricidad de análisis

Diario, mensual, anual o multianual.

Relación del indicador con objetivos, políticas, normas, iniciativas locales o mundiales o metas ambientales

De acuerdo con la información suministrada por el Ideam (2013a), el indicador se enmarca en los siguientes planes y lineamientos:

En el contexto internacional este indicador es propuesto por el Sistema de Información de Medio Ambiente (Sima) de la Comunidad Andina de Naciones (CAN), el marco para el desarrollo de estadísticas ambientales (FDES) y la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE).

También señalan que es un indicador que sirve para realizar seguimiento al clima según lo indicado por la Organización Meteorológica Mundial (OMM).

Por otra parte, en el contexto nacional el Ideam tiene este indicador en el sistema de indicadores el Sistema de Información Ambiental de Colombia (SIAC). En este sistema se recolecta información del país para realizar los Informes del estado del medio ambiente y los recursos naturales renovables, evaluar la variabilidad climática y el cambio climático.

Datos complementarios o de soporte

NA.

Tabla de datos

Se pueden generar tablas de datos resumiendo los resultados obtenidos.

Gráficos, mapas u otros diagramas

Gráficos de tendencias y gráficos comparativos por estación (comparación temporal). Representados por puntos o líneas punteadas.

Meta y actividades mínimas

Este indicador está ligado a la implementación de más estaciones meteorológicas en el departamento.

Responsable interno del indicador

Corporación Autónoma Regional de Caldas (Corpocaldas).

Comentarios

N/A.

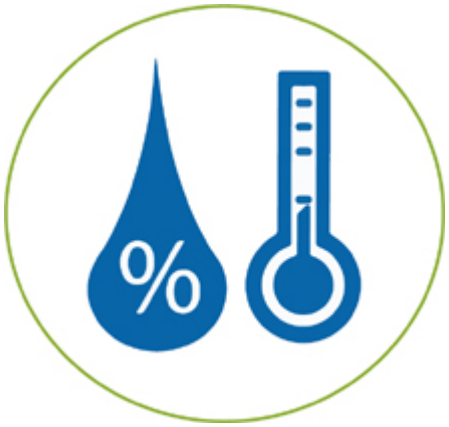
Créditos y agradecimientos

- Instituto de Estudios Ambientales (Idea) de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales.
- Propietarios de estaciones de monitoreo.

Comentarios

Para lograr una adecuada medición de estos indicadores y garantizar su consistencia y homogeneidad en el tiempo, se requiere ejecutar un protocolo de densificación de la red, operación continua, mantenimiento, reposición de equipos y componentes y calibración de los mismos.

Humedad relativa media



Citación: UN y Corpocaldas (2014). *Hojas metodológicas*. Centro de Datos e Indicadores Ambientales de Caldas (CDIAC). http://cdiac.manizales.unal.edu.co/inicio/

Identificador del indicador

HR.

Nombre del indicador

Humedad relativa (máxima, media y mínima).

Tipo de indicador

Indicador de estado.

Relevancia o pertinencia del indicador

El monitoreo de la humedad relativa media en un lugar está estrechamente relacionado con la probabilidad de que se presenten lluvias. Si la humedad relativa es alta, dicha probabilidad también lo es. Este indicador influye a su vez en el confort térmico dependiendo, principalmente, de la altitud del lugar. Así, para zonas bajas, una alta humedad relativa y altas temperaturas afectan negativamente dicho confort generando una sensación de bochorno.

Definición de las variables que componen el indicador

La humedad relativa es la relación porcentual entre la cantidad de vapor de agua que tiene el aire y el máximo que podría contener a una temperatura determinada.

Fórmula de cálculo del indicador

Humedad relativa media

$$HRmd_i = \frac{1}{nh} \sum_{h=1}^{nh} HR_h$$

$HRmd_i$ es la humedad relativa media diaria del día i (i=1,….365), HR_h es la humedad relativa horaria, h es el número de horas del día h=1,….,24.

$$HRmm_i = \frac{1}{nd} \sum_{d=1}^{nd} HRmd_d$$

$HRmm_i$ es la humedad relativa media mensual del mes i (i=1,….,12), para lo que se promedia la humedad relativa media diaria de cada día de

dicho mes d (d=1,….,nd) donde nd es 28, 30 o 31 según el mes.

$$HRma_i = \frac{1}{12}\sum_{m=1}^{12} HRmm_m$$

$HRmma_i$ es la humedad relativa media anual di (i=1,….,na), el número de años dependerá de la estación a revisar. Se calcula como el promedio de la humedad relativa media mensual de todos los meses de ese año m (m=1,….,12).

$$HRmma_i = \frac{1}{na}\sum_{a=1}^{na} HRmm_a$$

$HRmma_i$ es la humedad relativa media mensual multianual del mes i (i=1,…..,12). Se calcula como el promedio de la humedad relativa media mensual de cada mes para todos los años que tiene registros esa estación (a=1,….,na); na es el número total de años de registros de la estación.

Humedad relativa máxima

$HR_{(max),d,m,a,ma}$= máximo valor de la dirección media del viento diaria, mensual o anual durante el periodo n.

Humedad relativa mínima

$HR_{(min),d,m,a,ma}$ = mínimo valor de la dirección media del viento diaria, mensual o anual durante el periodo n.

Nota: siempre se debe especificar el periodo de cálculo del indicador.

Unidad de medida del indicador

Porcentaje (%).

Criterio de calificación

Según el análisis de series históricas. Para valores diarios es una variable que se asocia con los eventos de precipitación y con la temperatura.

Rango de calificación y semáforo

Rango: 0 %-100 %.

Alcance

Aplica para los valores medios, máximos y mínimos de la humedad diaria, mensual, anual y multianual en los diferentes municipios donde se tienen estaciones de monitoreo que poseen higrómetros.

Restricciones del indicador

Calibración y mantenimiento del equipo.

Sitio de muestreo

Este indicador aplica para aquellos municipios de Caldas en los cuales se tienen estaciones de monitoreo con higrómetros.

Cobertura o escala del indicador

Municipal y departamental.

Fuente de los datos

Diversos propietarios de estaciones de monitoreo que incluyen higrómetros en municipios de Caldas.

Método de levantamiento o captura de los datos

Protocolos nacionales e internacionales (OMM, 2014) de monitoreo de la humedad relativa utilizando higrómetros.

Disponibilidad de los datos (cualitativo)

Plenamente disponibles.

Frecuencia de medición

Depende del tipo de estación. Puede ser cada cinco minutos, cada hora o diariamente.

Periodicidad de análisis

Diario, mensual, anual o multianual.

Relación del indicador con objetivos, políticas, normas, iniciativas locales o mundiales o metas ambientales

De acuerdo con la información suministrada por el Ideam (2013a), el indicador se enmarca en los siguientes planes y lineamientos:

En el contexto internacional este indicador es propuesto por el Sistema de Información de Medio Ambiente (Sima) de la Comunidad Andina de Naciones (CAN), el marco para el desarrollo de estadísticas ambientales (FDES) y la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE).

También señalan que es un indicador que sirve para realizar seguimiento al clima según lo indicado por la Organización Meteorológica Mundial (OMM).

Por otra parte, en el contexto nacional el Ideam tiene este indicador en el sistema de indicadores el Sistema de Información Ambiental de Colombia (SIAC). En este sistema se recolecta información del país para realizar los informes del estado del medio ambiente y los recursos naturales renovables, evaluar la variabilidad climática y cambio climático.

Datos complementarios o de soporte

NA.

Tabla de datos

Se pueden generar tablas de datos resumiendo los resultados obtenidos para diferentes periodos.

Gráficos, mapas u otros diagramas

Gráficos de tendencias representados por puntos o líneas.

Meta y actividades mínimas

Este indicador está ligado a la implementación de más estaciones meteorológicas en el departamento. Para calcular adecuadamente este indicador es imprescindible que se realicen mantenimientos periódicos a las estaciones que monitorean humedad relativa.

Responsable interno del indicador

Corporación Autónoma Regional de Caldas (Corpocaldas).

Créditos y agradecimientos

- Instituto de Estudios Ambientales (Idea) de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales.
- Propietarios de estaciones de monitoreo.

Comentarios

Para lograr una adecuada medición de estos indicadores y garantizar su consistencia y homogeneidad en el tiempo, se requiere densificar la red, la

operación continua, mantenimiento, reposición de equipos y componentes y calibración de los mismos.

Velocidad media y dirección predominante del viento



Citación: UN y Corpocaldas (2014). *Hojas metodológicas*. Centro de Datos e Indicadores Ambientales de Caldas (CDIAC). http://cdiac.manizales.unal.edu.co/inicio/

Identificador del indicador

DVV.

Nombre del indicador

Velocidad media y dirección predominante del viento.

Tipo de indicador

Indicador de estado.

Descripción del indicador

Este indicador permite establecer la velocidad de recorrido del aire que circula en un determinado lugar y la dirección predominante que lleva. Se

puede relacionar con otras variables meteorológicas como las temperaturas, las precipitaciones, etc.

Relevancia o pertinencia del indicador

Conocer las variaciones de la dirección del viento y su predominancia en una zona específica favorece procesos de planificación urbana, orientación de estructuras y ubicación de otras, por ejemplo, rellenos sanitarios o aquellas que son fuentes de contaminación, lo que puede conllevar restricciones y normas para su control.

En contaminación atmosférica este indicador juega un papel importante debido a su participación en procesos de dispersión de contaminantes y de arrastre de partículas y gases nocivos para la salud, como en este caso particular, las cenizas y gases que emite el cráter Arenas del volcán Nevado del Ruiz.

Definición de las variables que componen el indicador

La velocidad del viento en superficie media:

> es la relación de la distancia recorrida por el aire con respecto al tiempo empleado en recorrerla. En meteorología esta palabra se refiere, en general, a un movimiento de conjunto del aire cerca de la superficie terrestre o en altitud. El viento puede ser considerado como un vector con magnitud y dirección. La dirección del viento es la de su procedencia. (Ideam, 2013a)

Fórmula de cálculo del indicador

Dirección media del viento

$$HDVmd_i = \frac{1}{nh} \sum_{h=1}^{nh} DV_h$$

$HDVmd_i$ es la dirección del viento media diaria del día i (i=1,….365), DV_h es la dirección del viento horaria, h es el número de horas del día h=1,….,24.

$$DVmm_i = \frac{1}{nd} \sum_{d=1}^{nd} DVmd_d$$

$DVmm_i$ es la dirección del viento media mensual del mes i (i=1,….,12), para lo que se promedia la dirección del viento media diaria de cada día de dicho mes d (d=1,….,nd) donde nd es 28, 30 o 31 según el mes.

$$DVma_i = \frac{1}{12} \sum_{m=1}^{12} DVmm_m$$

$DVma_i$ es la dirección del viento media anual di (i=1,….,na) el número de años dependerá de la estación a revisar. Se calcula como el promedio de la dirección del viento media mensual de todos los meses de ese año m (m=1,….,12).

$$DVmma_i = \frac{1}{na} \sum_{a=1}^{na} DVmm_{ai}$$

$DVmma_i$ es la dirección del viento media mensual multianual del mes i (i=1,…..,12). Se calcula como el promedio de la dirección del viento media mensual de cada mes para todos los años que tiene registros esa estación (a=1,….,na) siendo na el número total de años de registros de la estación.

Dirección del viento máxima

$DV_{(max),d,m,a,ma}$=Máximo valor de la dirección media del viento diaria, mensual o anual durante el periodo n.

Dirección del viento mínima

$DV_{(min),d,m,a,ma}$ = mínimo valor de la dirección media del viento diaria, mensual o anual durante el periodo n.

Nota: siempre se debe especificar el periodo de cálculo del indicador.

La dirección del viento se define por el punto del horizonte del observador desde el cual el viento sopla. En la actualidad, se usa internacionalmente la rosa de los vientos dividida en 16 rumbos (figura 14). Cada rumbo indica el nombre de la dirección desde donde sopla el viento. También se utiliza para su determinación el azimut medido en grados (º) en la dirección de las manecillas del reloj. La relación entre los rumbos de la rosa de los vientos con el azimut está en la tabla 33.

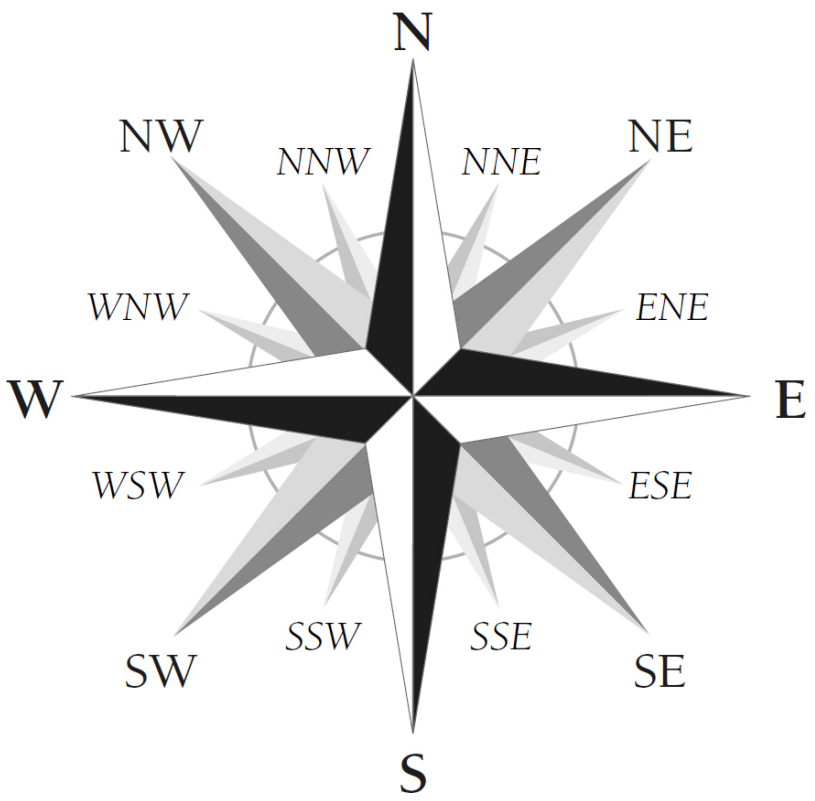


Figura 14. Rosa de los vientos internacional de 16 puntos.

Tabla 33. Rangos de clasificación para identificar la dirección del viento

Rango inferior azimut (°)	Rango superior azimut (°)	Rumbos	Nombre de la dirección del viento
348,75	11,25	N	Norte
11,25	33,75	NNE	Nornoreste
33,75	56,25	NE	Noreste
56,25	78,75	ENE	Estenoreste
78,75	101,25	E	Este
101,25	123,75	ESE	Estesureste
123,75	146,25	SE	Sureste
146,25	168,75	SSE	Sursureste
168,75	191,25	S	Sur
191,25	213,75	SSO	Sursuroeste
213,75	236,25	SO	Suroeste
236,25	258,75	OSO	Oestesuroeste
258,75	281,25	O	Oeste
281,25	303,75	ONO	Oestenoroeste
303,75	326,25	NO	Noroeste
326,25	348,75	NNO	Nornoroeste

Fuente: elaboración propia.

Adicionalmente, se estima la frecuencia de ocurrencia de cada rumbo por jornada diurna y nocturna. La jornada diurna es medida desde la hora 06:00 hasta las 17:59, mientras que la jornada nocturna es medida desde la hora 18:00 hasta las 05:59.

$$FDV = \frac{m}{N} * 100$$

Donde, FDV es la frecuencia con que el viento sopla en una determinada dirección en la jornada diurna o nocturna, m es la cantidad de veces que se detecta un rumbo en el periodo diurno o nocturno y N es el número total de mediciones realizadas en cada periodo (si las mediciones se

realizan cada cinco minutos exactamente en cada jornada se tendrían 144 mediciones de dirección del viento).

Unidad de medida del indicador

Azimut en grados sexagesimales o en rumbos definidos por la rosa de los vientos.

Criterio de calificación

La velocidad del viento se evalúa según su intensidad de acuerdo con la escala presentada en la tabla 34.

Rango de calificación y semáforo

Tabla 34. Clasificación de las velocidades del viento registrados

Número en la escala de Beaufort y descripción	Viento velocidad equivalente a una altura estándar de 10 m sobre el suelo plano abierto (m/s)
0 Calma	0-0,2
1 Aire ligero	0,3-1,5
2 Brisa muy ligera	1,6-3,3
3 Brisa suave	3,4-5,4
4 Brisa moderada	5,5-7,9
5 Brisa fresca	8,0-10,7
6 Brisa fuerte	10,8-13,8
7 Cercano a vendaval	13,9-17,1
8 Vendaval	17,2-20,7
9 Vendaval fuerte	20,8-24,4
10 Tormenta	24,5-28,4
11 Tormenta violenta	28,5-32,6
12 Huracán	32,7 en adelante

Fuente: OMM (2008, 2014).

Alcance (qué mide el indicador)

Dirección predominante obtenida a partir de un análisis de distribuciones de frecuencias relativas con los registros obtenidos de la veleta (nombre del instrumento utilizado para la medición de esta variable).

Restricciones del indicador

Calibración y mantenimiento del equipo.

Sitio de muestreo

Los equipos para medir la dirección y velocidad del viento son ubicados en las estaciones meteorológicas que deben cumplir con los lineamientos de la *Guía de instrumentación meteorológica y métodos de observación* (OMM, 2008).

Cobertura o escala del indicador

Municipal o departamental

Fuente de los datos

Diversos propietarios de estaciones de monitoreo de la velocidad y dirección del viento en Manizales.

Método de levantamiento o captura de los datos

Protocolos nacionales e internacionales de monitoreo de la velocidad y dirección del viento utilizando anemómetros y veletas (OMM, 2008, 2014).

Disponibilidad de los datos (cualitativo)

Plenamente disponible.

Frecuencia de medición

Depende del tipo de estación. Puede ser cada cinco minutos, cada hora o diariamente.

Periodicidad de análisis

Diario, mensual, anual o multianual.

Responsable interno del indicador

Corporación Autónoma Regional de Caldas (Corpocaldas).

Relación del indicador con objetivos, políticas, normas, iniciativas locales o mundiales o metas ambientales

De acuerdo con la información suministrada por el Ideam (2013a), el indicador se enmarca en los siguientes planes y lineamientos:

En el contexto internacional este indicador es propuesto por el Sistema de Información de Medio Ambiente (Sima) de la Comunidad Andina de Naciones (CAN), el Marco para el desarrollo de estadísticas ambientales (FDES) y la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE).

También señalan que es un indicador que sirve para realizar seguimiento al clima según lo indicado por la Organización Meteorológica Mundial (OMM).

Por otra parte, en el contexto nacional el Ideam tiene este indicador enl sistema de indicadores el Sistema de Información Ambiental de Colombia (SIAC). En este sistema se recolecta información del país para realizar los Informes del estado del medio ambiente y los recursos naturales renovables, evaluar la variabilidad climática y cambio climático y realizar informes y boletines.

Datos complementarios o de soporte

NA.

Tabla de datos

Se pueden generar tablas de datos resumiendo los resultados obtenidos.

Gráficos, mapas u otros diagramas

Gráficos de tendencias y rosas de vientos (comparación espacial y temporal).

Meta y actividades mínimas

Este indicador está ligado a la implementación de más estaciones meteorológicas en el departamento. Para calcular adecuadamente este indicador es imprescindible que se realicen mantenimientos periódicos a las estaciones que monitorean dirección del viento.

Créditos y agradecimientos

- Instituto de Estudios Ambientales (Idea) de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales.
- Propietarios de estaciones de monitoreo.

Comentarios

Para lograr una adecuada medición de este indicador y garantizar su consistencia y homogeneidad en el tiempo, se requiere ejecutar un protocolo de densificación de la red, operación continua, mantenimiento preventivo o correctivo, reposición de equipos y componentes y calibración de los mismos.

Presión barométrica media



Citación: UN y Corpocaldas (2014). *Hojas metodológicas*. Centro de Datos e Indicadores Ambientales de Caldas (CDIAC). http://cdiac.manizales.unal.edu.co/inicio/

Identificador del indicador

PBM.

Nombre del indicador

Presión barométrica (máxima, media y mínima).

Tipo de indicador

Indicador de estado.

Descripción del indicador

Presión barométrica media diaria
Presión barométrica promedio registrada para un monitoreo de 24 horas (entre las 00:00 y las 24:00 horas) en estaciones de monitoreo con equipos de medición de presión barométrica.

Relevancia o pertinencia del indicador

Establecer las condiciones de presión existente en una zona específica, con el fin de relacionarla con los demás parámetros meteorológicos para determinar el estado del tiempo. Es útil como insumo para los cálculos relacionados con la concentración de contaminantes atmosféricos.

Definición de las variables que componen el indicador

Se entiende por presión barométrica o atmosférica a la presión que ejerce la atmósfera que rodea la tierra sobre todos los objetos que se hallan en contacto con ella.

Es un elemento climático cuya existencia se debe a la presencia de la masa atmosférica, varía en forma temporal y espacial.

Fórmula de cálculo del indicador

Presión barométrica media:

$$PBMd_i = \frac{1}{nh} \sum_{h=1}^{nh} PBM_h$$

$PBMd_i$ es la presión barométrica media diaria del día i (i=1,…365), PBM_h es la presión barométrica horaria, h es el número de horas del día (h=1,...24).

$$PBMmm_i = \frac{1}{nd} \sum_{d=1}^{nd} PBMmd_h$$

$PBMmm_i$ es la presión barométrica media mensual del mes i (i=1,…12), para lo que se promedia la presión barométrica media diaria de cada día de dicho mes d (d=1,….,nd) donde nd es 28, 30 o 31 según el mes.

$$PBMma_i = \frac{1}{12} \sum_{m=1}^{12} PBMmm_m$$

$PBMma_i$ es la presión barométrica media anual di (i=1,...na) el número de años dependerá de la estación a revisar. Se calcula como el promedio de la presión barométrica media mensual de todos los meses de ese año m (m=1,…12).

$$PBMmma_i = \frac{1}{na} \sum_{a=1}^{na} PBMmm_{ai}$$

$PBMmma_i$ es la presión barométrica media mensual multianual del mes i (i=1,…12). Se calcula como el promedio de la presión barométrica media mensual de cada mes para todos los años que tiene registros esa estación (a=1,…na) na es el número total de años de registros de la estación.

Presión barométrica máxima

$PBM_{(max),d,m,a,ma}$= máximo valor de la dirección media del viento diaria, mensual o anual durante el periodo n.

Presión barométrica mínima:

$PBM_{(min),d,m,a,ma}$= mínimo valor de la dirección media del viento diaria, mensual o anual durante el periodo n.

Nota: siempre se debe especificar el periodo de cálculo del indicador.

Unidad de medida del indicador

Hectopascales (HPa).

Criterio de calificación

NA.

Rango de calificación y semáforo

NA.

Alcance (qué mide el indicador)

La variación mensual de la presión atmosférica genera históricos de promedios mensuales multianuales.

Restricciones del indicador

Calibración del equipo.

Sitio de muestreo

Este indicador aplica para aquellos municipios en los cuales se tienen estaciones de monitoreo de presión barométrica.

Cobertura o escala del indicador

Municipal y departamental.

Fuente de los datos

Diversos propietarios de estaciones de monitoreo que incluyen barómetros en municipios de Caldas.

Método de levantamiento o captura de los datos

Protocolos nacionales e internacionales (OMM, 2008, 2014) de monitoreo de la presión barométrica utilizando barómetros.

Disponibilidad de los datos (cualitativo)

Plenamente disponibles.

Frecuencia de medición

Variable según el tipo de estación (cada cinco minutos, cada media hora o cada hora son frecuencias usuales).

Periodicidad de análisis

Diario, mensual, anual o multianual.

Relación del indicador con objetivos, políticas, normas, iniciativas locales o mundiales o metas ambientales

De acuerdo con la información suministrada por el Ideam (2013a), el indicador se enmarca en los siguientes planes y lineamientos:

En el contexto internacional este indicador es propuesto por el Sistema de Información de Medio Ambiente (Sima) de la Comunidad Andina de Naciones (CAN), el marco para el desarrollo de estadísticas ambientales (FDES) y la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE).

También señalan que es un indicador que sirve para realizar seguimiento al clima según lo indicado por la Organización Meteorológica Mundial (OMM).

Por otra parte, en el contexto nacional el Ideam tiene este indicador enl sistema de indicadores el Sistema de Información Ambiental de Colombia (SIAC). En este sistema se recolecta información del país para realizar los Informes del estado del medio ambiente y los recursos naturales renovables, evaluar la variabilidad climática y cambio climático.

Este indicador además está relacionado con indicadores de calidad del aire ya que es necesaria esta variable para calcular la concentración de contaminantes.

Datos complementarios o de soporte

NA.

Tabla de datos

Se pueden generar tablas de datos resumiendo los resultados obtenidos para los diferentes meses.

Gráficos, mapas u otros diagramas

Gráficos de tendencias representados por puntos o líneas.

Meta y actividades mínimas

Este indicador está ligado a la implementación de más estaciones meteorológicas en el departamento.

Responsable interno del indicador

Corporación Autónoma Regional de Caldas (Corpocaldas).

Créditos y agradecimientos

- Instituto de Estudios Ambientales (Idea) de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales.
- Propietarios de estaciones de monitoreo.

Comentarios

Para lograr una adecuada medición de estos indicadores y garantizar su consistencia y homogeneidad en el tiempo, se requiere ejecutar un protocolo de densificación de la red, operación continua, mantenimiento, reposición de equipos y componentes y calibración de los mismos.

Radiación solar media



Citación: UN y Corpocaldas (2014). *Hojas metodológicas*. Centro de Datos e Indicadores Ambientales de Caldas (CDIAC). http://cdiac.manizales.unal.edu.co/inicio/

Identificador del indicador

RS.

Nombre del indicador

Radiación solar (máxima y media).

Tipo de indicador

Indicador de estado.

Descripción del indicador

Radiación solar.

Relevancia o pertinencia del indicador

Conocer el comportamiento de la radiación solar en un periodo de tiempo determinado y para una localización específica. Suministra información útil para la agricultura, pero también para la salud pública en programas de prevención de afectaciones a la piel, por exposiciones prolongadas a dicha radiación y por los efectos nocivos de la radiación ultravioleta. En contaminación atmosférica, este indicador juega un papel importante debido a su participación en fenómenos atmosféricos que interactúan con los contaminantes. Este indicador también tiene importancia en el estudio del cambio climático y sus efectos en la región con miras a su mitigación y adaptación.

Definición de las variables que componen el indicador

Es la cantidad de energía por unidad de área en forma de ondas electromagnéticas, principalmente de longitud de onda corta, que emite el sol y que llega a un punto de la superficie de la tierra en un momento determinado.

Fórmula de cálculo del indicador

Radiación solar media

$$RSmd_i = \frac{1}{nh} \sum_{h=1}^{nh} RS_h$$

$RSmd_i$ es la radiación solar media diaria del día i (i = 1,…365), RS_h es la radiación solar horaria, h es el número de horas del día (h = 1,…24).

$$RSmm_i = \frac{1}{nd} \sum_{d=1}^{nd} RSmd_d$$

$RSmm_i$ es la radiación solar media mensual del mes i (i=1,….,12), para lo que se promedia la radiación solar media diaria de cada día de dicho mes d (d=1,….,nd) donde nd es 28, 30 o 31 según el mes.

$$RSma_i = \frac{1}{12} \sum_{m=1}^{12} RSmm_m$$

$RSma_i$ es la radiación solar media anual del año i (i=1,….,na) el número de años dependerá de la estación a revisar. Se calcula como el promedio de la radiación solar media mensual de todos los meses de ese año m (m=1,….,12).

$$RSmma_i = \frac{1}{na} \sum_{a=1}^{na} RSmm_{ai}$$

$RSmma_i$ es la radiación solar media mensual multianual del mes i (i=1,…..,12). Se calcula como el promedio de la radiación solar media mensual de cada mes para todos los años que tiene registros esa estación (a=1,….,na) siendo na el número total de años de registros de la estación.

Radiación solar máxima

$RS_{(max),d,m,a,ma}$= máximo valor de la dirección media del viento diaria, mensual o anual durante el periodo n.

Nota: siempre se debe especificar el periodo de cálculo del indicador.

Unidad de medida del indicador

Energía, en Watios, por unidad de área, en m^2 (W/m^2), sin decimales.

Criterio de calificación

NA.

Rango de calificación y semáforo

NA.

Alcance (qué mide el indicador)

Radiación solar: máximas y promedios diarios, mensuales, anuales y multianuales.

Restricciones del indicador

Calibración, mantenimiento y reposición periódica por vida útil limitada del sensor.

Sitio de muestreo

Los equipos para medir la radiación solar son ubicados en las estaciones meteorológicas que deben cumplir con los lineamientos de la *Guía de instrumentación meteorológica y métodos de observación* (OMM, 2008, 2014).

Cobertura o escala del indicador

Municipal.

Fuente de los datos

Diversos propietarios de estaciones de monitoreo que incluyen sensores de medición de la radiación solar (piranómetros) en municipios de Caldas.

Método de levantamiento o captura de los datos

Protocolos nacionales e internacionales (OMM, 2014) de monitoreo de la radiación solar utilizando piranómetros.

Disponibilidad de los datos (cualitativo)

Plenamente disponibles.

Frecuencia de medición

Depende del tipo de estación. Puede ser cada cinco minutos, cada hora o diariamente.

Periodicidad de análisis

Diario, mensual, anual o multianual.

Relación del indicador con objetivos, políticas, normas, iniciativas locales o mundiales o metas ambientales

De acuerdo con la información suministrada por el Ideam (2013a), el indicador se enmarca en los siguientes planes y lineamientos:

En el contexto internacional este indicador es propuesto por el Sistema de Información de Medio Ambiente (Sima) de la Comunidad Andina de Naciones (CAN), el marco para el desarrollo de estadísticas ambientales (FDES) y la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE).

También señalan que es un indicador que sirve para realizar seguimiento al clima según lo indicado por la Organización Meteorológica Mundial (OMM).

Por otra parte, en el contexto nacional el Ideam tiene este indicador enl sistema de indicadores el Sistema de Información Ambiental de Colombia (SIAC). En este sistema se recolecta información del país para realizar los Informes del estado del medio ambiente y los recursos naturales renovables, evaluar la variabilidad climática y cambio climático.

Datos complementarios o de soporte

NA.

Tabla de datos

Se pueden generar tablas de datos resumiendo los resultados obtenidos.

Gráficos, mapas u otros diagramas

Gráficos de tendencias representados por puntos o líneas.

Meta y actividades mínimas

Este indicador está ligado a la implementación de más estaciones meteorológicas en el departamento. Para calcular adecuadamente este indicador es imprescindible que se realicen mantenimientos periódicos a las estaciones que monitorean radiación solar.

Responsable interno del indicador

Corporación Autónoma Regional de Caldas (Corpocaldas).

Créditos y agradecimientos

- Instituto de Estudios Ambientales (Idea) de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales.
- Propietarios de estaciones de monitoreo.

Comentarios

Para lograr una adecuada medición del indicador y garantizar su consistencia y homogeneidad en el tiempo, se requiere ejecutar un

protocolo de densificación de la red, operación continua, mantenimiento, reposición de equipos y componentes y calibración de los mismos.

Referencias

Castañeda, P. M. (2014). *Zonificación climatológica según el modelo Caldas-Lang de la cuenca Río negro mediante el uso del Sistema de Información Geográfica* SIG. Recuperado de: http://hdl.handle.net/10654/11701.

Ideam (2013a). *Hojas metodológicas. Sistema de Información Ambiental* SIAC. Bogotá, D.C.: autor.

Ideam (2013b). *Zonificación y codificación de unidades hidrográficas e hidrogeológicas de Colombia*. Bogotá, D.C.: autor.

Ideam (2017). *Atlas climatológico de Colombia*. Bogotá, D.C.: autor.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2015). *Sistema de Información Ambiental de Colombia* (SIAC). http://www.ideam.gov.co/web/siac/suelo

OMM (2008). Capítulo 6: Medición de la precipitación. En *Guía de instrumentos y métodos meteorológicos y métodos de observación*.

OMM (2012). *Índice normalizado de precipitación. Guía del usuario N.° 1090*.

Terlien, M. (1996). Modelling Spatial and Temporal Variations in Rainfall-Triggered Landslides. ITC (32).

OMM (2014). *Guía de Instrumentos y Métodos de Observación Meteorológicos. N.° 8*. Génova, Suiza.

Hojas metodológicas de calidad del aire

Datos estadísticos de calidad del aire



Citación: UN y Corpocaldas (2014). *Hojas metodológicas*. Centro de Datos e Indicadores Ambientales de Caldas (CDIAC).

Identificador del indicador

Datos estadísticos de calidad del aire.

Nombre del indicador

Datos estadísticos de calidad del aire.

Tipo de indicador

Indicador de estado.

Descripción del indicador

Este indicador permite conocer la concentración de los contaminantes medidos por las estaciones de calidad del aire. Para gases y material particulado PM_{10} y $PM_{2.5}$ automático, se muestran valores horarios promedio, máximos y mínimos a partir de mediciones cincominutales. Para material particulado PM_{10} y $PM_{2.5}$ gravimétrico, valores diarios (Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial de Colombia, 2010a).

Relevancia o pertinencia del indicador

Es importante mostrar los valores medidos por los equipos en concentraciones provenientes de las estaciones de calidad del aire ya que la comunidad científica suele usar la información sin procesar para realizar sus investigaciones.

Fórmula de cálculo del indicador

Gases y material particulado automático (medida continua)

$$C_{h,prom} = \frac{\sum_{i=1}^{n} C_i}{n}$$

$$C_{h,max} = máx(C_i)$$

$$C_{h,min} = \min(C_i)$$

$C_{h,prom}$= concentración horaria promedio.
$C_{h,max}$= concentración máxima durante la hora de medición.
$C_{h,min}$= concentración mínima durante la hora de medición.
C_i=concentración cincominutal del contaminante i.
n= número de datos cincominutales.

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(C_i - \bar{C}_1)}{n}}$$

S= desviación estándar.
C_i= concentración cincominutal del contaminante i.
$\bar{C}_1$= media artimética de la concentración promedio cincominutal del contaminante i.
n= número de datos cincominutales.

Nota: los valores de material particulado PM_{10} y $PM_{2.5}$ se reportan en términos de concentraciones anuales.

La tabla 35 representa los diferentes espacios de tiempo donde pueden ser evaluados los contaminantes.

Tabla 35. Intervalos de tiempo

Frecuencia	Intervalo de tiempo	Explicación
Horaria	Se define como el periodo de 60 minutos trascurridos inmediatamente antes de la hora reportada o de vigilancia.	Los datos de vigilancia que corresponden a las 7 a. m. son los que se recolectaron desde las 6:01 a. m. (si son datos cincominutales desde las 6:05 a. m.) hasta las 7 a. m.
Octohorario	Los promedios corridos (medias móviles) corresponden al tiempo que precede el reportado.	El procedimiento seria tomar el conjunto de ocho datos y calcular su promedio, por ejemplo, entre las 00:00 hasta las 7:00, se calcula el promedio. Luego se toman los datos de 1:00 hasta las 8:00, ese sería el segundo valor de la media móvil y así sucesivamente, hasta que todo el conjunto de datos esté completo.
Diaria	El día se define como el periodo de 24 horas transcurrido.	Los datos se toman desde el primer dato disponible del día (00:01 o 00:05 si se tienen datos cincominutales) hasta la medianoche (24:00).

Semanal	Cuando se define un promedio semanal se tiene en cuenta desde el lunes hasta el domingo sin importar si se pasa de un mes a otro.	Los datos que se tomarían desde el lunes a las 00:01 hasta el domingo a las 24:00.
Mensual	El promedio mensual se tiene como los datos de todo un mes sin tener en cuenta el número de días en cuenta, debido a que no todos los meses tienen el mismo número de días.	Los datos se tomarían desde el primer día del mes a las 00:01 hasta el último día del mes a las 24:00.
Anual	El promedio anual se define como el primer dato del año, es decir, el 1 enero hasta el 31 de diciembre.	Los datos se tomarían desde las 00:01 del 1 de enero hasta las 24:00 del 31 de diciembre.

Fuente: MAVDT (2010a).

Definición de las variables que componen el indicador

Concentraciones de contaminantes durante el tiempo definido.

Unidad de medida del indicador

Gases: partes por billón (ppb).

Material particulado: microgramos por metro cúbico ($\mu g/m^3$) a condición estándar (760 mmHg y 25 °C).

Criterio de calificación

NA.

Rango de calificación y semáforo

NA.

Alcance

¿Qué mide el indicador?

El indicador presenta niveles horarios promedio (con desviación estándar), máximos y mínimos de los gases CO, SO_2 y O_3 y de material particulado PM_{10} y $PM_{2.5}$ automático, para el punto de muestreo de la estación Gobernación.

También se presentan los estadísticos para las concentraciones diarias de material particulado $PM_{2.5}$ y PM_{10} en las estaciones de la ciudad que utilizan monitores activos de tipo manual (Hi-Vol y Low-Vol).

Restricciones del indicador

La medida gravimétrica de material particulado genera una concentración por día, la cual es recuperada por los operarios de la red cada tres días. En la estación Gobernación, el material particulado PM_{10} y $PM_{2.5}$ gravimétrico es medido implementando dos muestreadores semiautomáticos de bajo volumen (Low-vol), modelos Partisol de la marca Thermo. En las demás estaciones de la ciudad el material particulado es medido implementando un equipo de alto volumen (Hi-vol) marca Graseby (Airmon SOP 222, 2012; *Manual de operación*, 2017).

Disponibilidad de los datos cincominutal y horario de los equipos automáticos:

- Material particulado PM_{10} y $PM_{2.5}$ automático: Comde Derenda modelo APM-2 (*Manual de instrucción nefelómetro*. Monitor Contaminación de Aire 2 APM -2 Para PM_{10} y $PM_{2.5}$. COMDE DERENDA, 2017).
- CO: Thermo modelo 48I-ACSCC (Instruction Manual. Gas Filter Correlation CO Analyzer. Part Number 101891-00. 2017, 2017).

- SO_2: Teledyne modelo T-100 (*Operation Manual. Model T100*. UV Fluorescence SO_2: Analyzer, 2017).
- O_3: Teledyne modelo T-400 (*Operation Manual. Model T400*. UV Photometric Ozone Analyzer, 2017).

Sitio del muestreo

Estaciones de calidad del aire ubicadas en la ciudad de Manizales. Los contaminantes $PM_{2.5}$, CO, SO_2 y O_3 se miden en la estación Gobernación ubicada en el edificio la licorera (ver el mapa de estaciones: http://cdiac.manizales.unal.edu.co/inicio/mapas.php).

El material particulado PM_{10} gravimétrico se mide en 5 puntos de la ciudad y otros municipios.

Cobertura o escala de indicador

Municipio de Manizales.

Fuente de los datos

- Instituto de Estudios Ambientales (IDEA) de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales.
- Corporación Autónoma Regional de Caldas (Corpocaldas).

Método de levantamiento o captura de los datos

- Material particulado gravimétrico: monitoreo activo manual o semiautomático de alto (Hi-Vol) y bajo (Low-Vol) volumen, el cual genera datos por día.
- Material particulado automático: monitoreo activo automático que genera datos cada cinco minutos.
- Gases: monitoreo activo automático genera datos cada cinco minutos.

Disponibilidad de los datos (cualitativo)

Plenamente disponible. Se pueden ver y descargar a través del CDIAC (http://cdiac.manizales.unal.edu.co/inicio/).

Frecuencia de medición

La 36 muestra la frecuencia de medición de material particulado y gases reportados.

Tabla 36. Frecuencia de medición en los equipos

Contaminante	Frecuencia
PM_{10} y $PM_{2.5}$ gravimétrico	24 horas, cada 3 días
PM_{10} y $PM_{2.5}$ automático	5 minutos
SO_2 y O_3	5 minutos

Fuente: MAVDT (2010a).

Periodicidad de análisis

Dependiendo el contaminante evaluado se realizan mediciones horarias, diarias u octohorarias.

Responsable interno del indicador

- Instituto de Estudios Ambientales (IDEA) de la Universidad Nacional, Sede Manizales
- Corporación Autónoma Regional de Caldas, Subdirección de Planificación Ambiental del Territorio.

Relación del indicador con objetivos, políticas, normas, iniciativas locales o mundiales o metas ambientales

Muestra el monitoreo de contaminantes en Manizales. Cumpliendo con los estándares nacionales presentados en el Protocolo de monitoreo de la calidad del aire en Colombia, *Manual de diseño*.

Comentarios

NA.

Datos complementarios o de soporte

NA.

Tabla de datos

Se pueden generar tablas de datos resumiendo los resultados obtenidos para cada contaminante (disponible en la bodega de datos: http://cdiac.manizales.unal.edu.co/inicio/).

Gráficos, mapas u otros diagramas

Gráficos de barras por estación y por contaminante (comparación temporal).

Valor actual del indicador

Actualmente ya se encuentra disponible *online* (disponible en la bodega de datos: http://cdiac.manizales.unal.edu.co/inicio/).

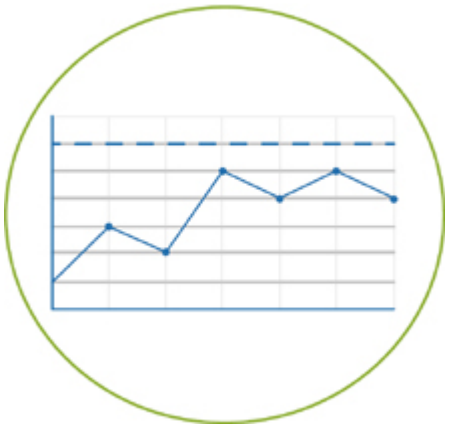
Fecha de cálculo del indicador

NA.

Créditos y agradecimientos

NA.

Porcentaje de excedencia de los límites normados



Citación: UN y Corpocaldas (2014). *Hojas metodológicas*. Centro de Datos e Indicadores Ambientales de Caldas (CDIAC). http://cdiac.manizales.unal.edu.co/inicio/

Identificador del indicador

Porcentaje de excedencia de los límites normados (PELN).

Nombre del indicador

PELN.

Tipo de indicador

Indicador de estado.

Descripción del indicador

El porcentaje de excedencia de los límites normados presentará un indicativo del grado de cumplimiento de la normatividad ambiental vigente y permitirá a la corporación autónoma y a la comunidad conocer la

frecuencia y el nivel con el que los contaminantes criterio sobrepasan la norma de calidad del aire.

Relevancia o pertinencia del indicador

Indicador útil para conocer el estado actual y las tendencias en la calidad del aire para los municipios en los cuales se realiza el monitoreo de contaminantes criterio. Este indicador es complementario al ICA y permite a las corporaciones autónomas evaluar sus planes de gestión de calidad del aire y tomar medidas correctivas en caso de incumplimiento a la normatividad vigente. También a la comunidad conocer el estado de calidad del aire de su ciudad.

Fórmula de cálculo del indicador

Para tiempo de exposición t

$$PELN_{it} = \frac{C_{CT_{it}} - LM_{it}}{LM_{it}} * 100$$

Donde:

i= contaminante criterio.

t= tiempo de exposición definido en la *Resolución 2254* de noviembre de 2017 para cada contaminante i.

$PELN_t$ = porcentaje de excedencia a los límites normados para tiempo de exposición t y el contaminante i.

C_{CTt} = concentración promedio en el tiempo t del contaminante criterio i.

LM_t = límite máximo permisible para el contaminante i en el tiempo de exposición t.

> Nota: cuando el cálculo reporte un valor negativo, el indicador tomará el valor de cero.

Para los cálculos de los intervalos de tiempo que se tienen para los diferentes contaminantes se tiene en cuenta los rangos de la 37.

Tabla 37. Rangos de tiempo para el cálculo del PELN

Frecuencia	Intervalo de tiempo	Explicación
Horaria	Se define como el periodo de 60 minutos trascurridos "inmediatamente antes "de la hora reportada o de vigilancia	Los datos de vigilancia que corresponden a las 7 a. m. son los que se recolectaron desde las 6:01 (Si son datos cincominutales desde las 6:05) hasta las 7 a. m.
Octohorario	Los promedios corridos (medias móviles) corresponden al tiempo que precede el reportado	El procedimiento seria tomar el conjunto de ocho datos y calcular su promedio, por ejemplo, entre las 00:00 hasta las 7:00, se calcula el promedio. Luego se toman los datos de 1:00 hasta las 8:00, ese sería el segundo valor de la media móvil y así sucesivamente, hasta que todo el conjunto de datos este completo.
Diaria	El día se define como el periodo de 24 horas transcurrido entre las 00:01 hasta las 24:00	Los datos se toman desde el primer dato disponible del día (00:01 o 00:05 si se tienen datos cincominutales) hasta la medianoche (24:00).
Anual	El promedio anual se define como el primer dato del año, es decir el 1 enero hasta el 31 de diciembre	Los datos se tomarían desde las 00:01 del 1 de enero hasta las 24:00 del 31 de diciembre.

Fuente: MAVDT (2010a).

Definición de las variables que componen el indicador

Concentración media horaria del contaminante

Cálculo de la media en el tiempo de exposición definido para dióxido de azufre (SO_2) y monóxido de carbono (CO) en la *Resolución 2254* de noviembre de 2017. Basado en un monitoreo con una estación de calidad del aire (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2017).

Concentración octohoraria del contaminante criterio

Cálculo de la media móvil en el tiempo de exposición definido para ozono (O_3) y monóxido de carbono (CO) en la *Resolución 2254* de noviembre de 2017. Basado en un monitoreo con una estación de calidad del aire (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2017).

Concentración diaria del contaminante criterio

Cálculo de la media en el tiempo de exposición definido para material particulado PM_{10}, material particulado $PM_{2.5}$ y para dióxido de azufre (SO_2) en la *Resolución 2254* de noviembre de 2017. Basado en un monitoreo con una estación de calidad del aire (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2017).

Concentración anual del contaminante criterio

Cálculo de la media en el tiempo de exposición definido para material particulado PM_{10} y material particulado $PM_{2.5}$ en la *Resolución 2254* de noviembre de 2017. Basado en un monitoreo con una estación de calidad del aire (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2017).

Límite máximo permisible

Reportado para cada contaminante según la *Resolución 2254* de noviembre de 2017 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

Unidad de medida del indicador

Porcentaje de incumplimiento o excedencia (%).

Criterio de calificación

Según comparación con los estándares máximos permisibles establecidos en la *Resolución 2254* de noviembre de 2017. Se presentan niveles máximos para cada contaminante criterio a condición estándar:

Tabla 38. Niveles máximos permisibles de cada contaminante

Contaminante	Nivel máximo permisible ($\mu g/m^3$)	Tiempo de exposición
PM_{10}	50*	Anual
	75	24 horas
$PM_{2.5}$	25	Anual
	37*	24 horas
SO_2	50	24 horas
	100	1 hora
NO_2	60	Anual
	200	1 hora
O_3	100	8 horas
CO	5000	8 horas
	35 000	1 hora

Fuente: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2017).

*El parágrafo 1 del artículo 2 define que a partir de julio de 2018 los niveles máximos permisibles de PM_{10} y $PM_{2.5}$ no serán más 100 $\mu g/m^3$ y 50 $\mu g/m^3$ sino 75 $\mu g/m^3$ y 37 $\mu g/m^3$ respectivamente.

Rango de calificación y semáforo

Una vez definido el valor del PELN se estableció el semáforo de calificación (tabla 39).

Tabla 39. Semáforo de calificación del PELN

PELN (%)	Color	Clasificación
0	Verde	Cumplimiento de la normativa.
50	Amarillo	Excedencia para algunos periodos de monitoreo. Realizar evaluación de la situación de la calidad del aire en la zona.
>50	Rojo	Excedencia importante para la mayoría del periodo de monitoreo. Tomar medidas correctivas para disminución de la contaminación del aire.

Fuente: elaboración propia.

Alcance

¿Qué mide el indicador?

Porcentaje de excedencia de los límites normados de contaminantes criterio según el límite de exposición establecido en la *Resolución 2254* de noviembre de 2017 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2017).

Restricciones del indicador

- Indicador sujeto a los contaminantes criterio que se estén monitoreando en cada municipio.
- La mayoría de los municipios del departamento de Caldas presentan deficiencias en cuanto al monitoreo de contaminantes atmosféricos.
- Si el cálculo del indicador reporta un valor negativo, el indicador tomará el valor de cero.

Sitio del muestreo

Este indicador aplica para aquellos municipios en los cuales se tienen datos de contaminantes criterio monitoreados. Es de importancia en municipios con actividad industrial y vehicular relevante, como Manizales.

Ejemplo aplicativo

Se tiene una concentración de PM_{10} de 129 $\mu g/m^3$ en una medida de 24 horas. La excedencia de los límites normados:

$$PELN = \frac{(129 - 75)\mu g/m^3}{75\ \mu g/m^3} * 100\% = 72\%$$

Una excedencia del 72 % indica una alerta roja.

Se desea calcular el PELN de las 8 p. m. con respecto al contaminante SO_2, pero se tienen los datos cincominutales que se presentan en la tabla 40.

Tabla 40. Datos de SO_2

Hora [p.m.]	Concentración [$\mu g/m^3$]
7:00	101
7:05	45
7:10	114
7:15	98
7:20	48
7:25	70
7:30	91
7:35	65

7:40	96
7:45	93
7:50	52
7:55	112
8:00	70

Fuente: elaboración propia.

Al realizar el promedio horario como se explica en la tabla 40 se obtiene un valor de 82 µg/m^3, con este valor se puede calcular el valor de PELN para SO_2

$$PELN = \frac{(82 - 100)\mu g/m^3}{100\ \mu g/m^3} * 100\% = -18\%$$

Al tener un valor negativo se considera que el PELN es igual a 0, esto genera que se cumpla la normativa.

Cobertura o escala de indicador

Ciudad de Manizales.

Fuente de datos

- Instituto de Estudios Ambientales (IDEA) de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales.
- Corporación Autónoma Regional de Caldas (Corpocaldas).

Método de levantamiento o captura de los datos

Monitoreo de contaminantes criterio según el método EPA y lineamientos descritos en el *Manual de operación de sistemas de vigilancia de la calidad del*

aire (Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial de Colombia, 2010a) aprobado mediante *Resolución 650* de 2010.

Disponibilidad de los datos (indicador)

Plenamente disponible (previo monitoreo del contaminante). Se pueden ver y descargar a través del CDIAC.

Frecuencia de medición

Actualmente, se calcula el indicador según la disponibilidad de datos. En Manizales, generalmente, para los contaminantes, PM_{10} y $PM_{2.5}$ se realizan monitoreos cada 3 días y para los gases O_3, SO_2 se tienen datos cincominutales.

También se están realizando algunas mediciones de material particulado en municipios de Caldas (La Dorada, Riosucio y Supía).

Periodicidad de análisis

Según lo defina la *Resolución 2254* de noviembre de 2017.

Responsable interno del indicador

- Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales (IDEA).
- Corporación Autónoma Regional de Caldas, Subdirección de Planificación Ambiental del Territorio.

Relación del indicador con objetivos, políticas, normas, iniciativas locales o mundiales o metas ambientales

Normatividad Nacional (*Resolución 2254* de 2017): niveles máximos permisibles para contaminantes criterio (descritos previamente en la sección de criterio de calificación).

Normativa internacional: límites internacionales sugeridos por la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2011):

- PM_{10}: 20 µg/m^3 promedio anual y 50 µg/m^3 promedio en 24 horas.
- $PM_{2.5}$: 10 µg/m^3 promedio anual y 25 µg/m^3 promedio en 24 horas.
- O_3: 100 µg/m^3 promedio en 8 horas.

Comentarios

N/A.

Datos complementarios o de soporte

NA.

Tabla de datos

Se pueden generar tablas de datos resumiendo los resultados obtenidos para cada PELN.

Actualmente ya se encuentra calculado *online* y se pueden ver y descargar a través de http://cdiac.manizales.unal.edu.co/indicadores/public/searchAir

Gráficos, mapas u otros diagramas

Gráficos de tendencias por estación y por contaminante (comparación espacial y temporal).

Valor actual del indicador

Actualmente se encuentra calculado *online* e históricamente. Disponible en la bodega de datos:

http://cdiac.manizales.unal.edu.co/indicadores/public/searchAir

Créditos y agradecimientos

NA.

Índice de calidad del aire



Citación: UN y Corpocaldas (2014). *Hojas metodológicas*. Centro de Datos e Indicadores Ambientales de Caldas (CDIAC). http://cdiac.manizales.unal.edu.co/indicadores/public/calculationAir

Identificador del indicador

Índice de calidad del aire (ICA).

Nombre del indicador

ICA.

Tipo de indicador

Indicador de estado.

Descripción del indicador

Este indicador se calcula para los contaminantes criterio catalogados por la *Resolución 610* de 2006 (modificada por la *Resolución 2254* de 2017) y la Organización Mundial de la Salud (OMS) (Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial de Colombia, 2010b; Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2017). En este sentido, es necesario hacer seguimiento continuo de estos contaminantes para evaluar sus niveles de concentración en el ambiente y el riesgo asociado de exposición en los pobladores. El ICA permite establecer el estado de la calidad del aire por contaminante criterio en función de un código de colores que definen si la calidad del aire es buena, aceptable o muy peligrosa en la salud.

Para ozono (O_3)

El ozono troposférico es un contaminante secundario que se forma en la atmósfera a partir de la reacción de precursores como los óxidos de nitrógeno y los hidrocarburos (gases compuestos de carbono e hidrógeno principalmente) en presencia de luz solar (Capó-Martí, 2002; Secretaría Distrital de Ambiente, 2012).

Material particulado (PM)

El material particulado (PM) consiste en una mezcla de pequeñas partículas sólidas o líquidas suspendidas en el aire. Algunas partículas son emitidas directamente; otras se forman cuando contaminantes emitidos por varias fuentes reaccionan en la atmósfera (EPA, 2009).

Las partículas en la atmósfera surgen de fuentes naturales como el polvo transportado por el viento, los volcanes, y fuentes antropogénicas como actividades que involucran el uso de combustibles fósiles (Seinfeld y Pandis, 2006).

Las partículas se producen en una amplia gama de tamaños. Aquellas menores de 10 micrómetros de diámetro, PM_{10}, (más pequeñas que el grosor de un cabello humano) pueden entrar a los pulmones y causar serios

problemas en la salud; las partículas finas, aquellas de 2.5 micrómetros de diámetro o menor, $PM_{2.5}$, son mucho más pequeñas y pueden ser detectadas únicamente con un microscopio (EPA, 1996).

Monóxido de carbono (CO)

El CO es un gas inflamable, incoloro, que puede ser generado en una combustión incompleta de combustibles a base de hidrocarburos (gas, gasolina, queroseno, petróleo o madera). Puede causar la muerte cuando se inhala en niveles elevados (EPA, 2009).

Dióxido de azufre (SO_2)

El dióxido de azufre es un contaminante primario, un gas incoloro, de olor picante e irritante en concentraciones superiores a 3 ppm. Es producto principalmente de la utilización de combustibles fósiles con contenido de azufre como el carbón, la gasolina y el diésel, que son usados en la industria y el transporte. Otra fuente importante de SO_2 son las emisiones naturales producto de actividad volcánica (OMS, 2016).

Relevancia o pertinencia del indicador

Ozono (O_3)

El exceso de ozono en el aire puede producir efectos adversos de consideración en la salud humana, por ejemplo, problemas respiratorios, asma, reducción de la función pulmonar entre otras enfermedades pulmonares (OMS, 2016).

De forma similar a otros oxidantes fotoquímicos el ozono produce irritación de los ojos, fosas nasales, garganta y bronquios, causando inflamación en las mucosas y conjuntiva. Manizales cuenta con varias fuentes generadoras de contaminantes primarios que pueden conllevar a la producción de O_3.

Material particulado (PM)

Los niveles de PM en el aire son de vital importancia en términos de contaminación atmosférica y salud pública de una región. La exposición crónica a las partículas aumenta el riesgo de enfermedades cardiovasculares y respiratorias, así como de cáncer de pulmón (OMS, 2016).

Específicamente, la región Caldense cuenta con fuentes importantes de generación de PM, concentradas en ciertos lugares del departamento con elevada actividad económica y densidad poblacional, como es el caso de su capital, Manizales que tiene alta densidad vehicular y actividad industrial importante. Además, el volcán Nevado del Ruiz también es una fuente natural de PM que podría afectar poblaciones aledañas.

Monóxido de carbono (CO)

El exceso de monóxido de carbono en el aire puede generar problemas en la salud ya que tiene mayor afinidad con la hemoglobina en la sangre que el oxígeno, produciendo un compuesto denominado carboxihemoglobina y dificultando el transporte de oxígeno en el torrente sanguíneo. En Caldas, específicamente, en la ciudad de Manizales, las condiciones topográficas y su alta densidad vehicular son factores que potencian la emisión de este contaminante, ya que las fuentes móviles se han establecido como las de mayor importancia en la ciudad (Velasco, 2005).

Dióxido de azufre (SO_2)

El dióxido de azufre puede reaccionar químicamente con otros compuestos y generar lluvia ácida y material particulado secundario. Su inhalación continua puede producir problemas respiratorios como tos, secreción mucosa y agravamiento del asma y la bronquitis crónica; además del riesgo de las personas a contraer infecciones del sistema respiratorio (EPA, 2009).

En Caldas, la información base sobre este contaminante es limitada en la mayoría de los municipios del departamento. Sin embargo, en Manizales se cuenta con mediciones desde 2014.

Lo anterior se fundamenta en los reportes de estudios previos en los cuales se ha identificado la presencia de lluvia ácida, destacando la necesidad de identificar las causas principales de formación de este fenómeno; además, la influencia de fuentes móviles en varios puntos de Manizales (zona centro principalmente) y las emisiones provenientes del sector industrial (González, 2012; Vélez *et al*., 2010).

Es importante resaltar las emisiones volcánicas provenientes del volcán Nevado del Ruiz en el departamento de Caldas, por su cercanía a algunos municipios como Manizales, Villamaría, Chinchiná y Neira. Los estudios de Vélez *et al*. (2010) y González (2012) han puesto de manifiesto la influencia que podrían tener las emisiones de compuestos azufrados provenientes del volcán Nevado del Ruiz en la calidad del aire en el departamento de Caldas, principalmente, en la formación de precipitación ácida, por ende, la necesidad de estudios y monitoreo de contaminantes atmosféricos como el SO_2 en el departamento.

Fórmula de cálculo del indicador

$$ICA_C = \frac{I_{Alto} - I_{Bajo}}{PC_{Alto} - PC_{Bajo}} (C_C - PC_{Bajo}) + I_{Bajo}$$

Donde:

ICA_c = índice de calidad del aire para el contaminante c.

C_c = concentración medida para el contaminante c.

PC_{Alto} = punto de corte mayor o igual a C_c.

PC_{Bajo} = punto de corte menor o igual a C_c.

I_{Alto} = valor del índice de calidad del aire (ICA) correspondiente a PC_{alto}.

I_{Bajo} = valor del índice de calidad del aire (ICA) correspondiente a PC_{bajo}.

En la tabla 41 se presenta el tiempo que debe ser empleado para el análisis de datos del ICA.

Tabla 41. Definiciones para el cálculo de los promedios en el tiempo

Frecuencia	Intervalo de tiempo	Explicación
Octohorario	Las "medias móviles" corresponden al tiempo que precede el reportado.	El procedimiento sería tomar el primer conjunto de ocho datos y calcular su valor promedio, por ejemplo, los datos tomados entre las 00:00 y las 07:00 horas. Luego se procede a calcular el valor promedio para los datos correspondientes a las horas 01:00 hasta las 08:00, el tercer valor calculado de la media móvil corresponderá al promedio del grupo de datos reportados para las horas comprendidas entre las 02:00 hasta las 09:00 y así sucesivamente para todo el conjunto de datos que se tengan y que se vayan a evaluar.
Horario	Corresponde a 60 minutos transcurridos "inmediatamente antes". El Ideam, ente encargado de recopilar la información sobre mediciones de calidad del aire, requiere que el formato remitido por las entidades que realizan la vigilancia utilice el esquema de "hora antes".	Los datos de vigilancia correspondientes a las 7 a. m. son los recolectados desde las 6:05 a. m. a las 7:00 a. m.
Diario	El día se define como el periodo de 24 horas transcurrido entre las 00:01 y las 24:00, donde 00:01 es el primer minuto del día.	Los datos se deben tomar desde 00:05 hasta las 24:00.

Fuente: Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial de Colombia (2010a).

Definición de las variables que componen el indicador

Variables meteorológicas

Las variables meteorológicas como temperatura, presión atmosférica, radiación solar y velocidad del viento son útiles para el cálculo de la concentración a condiciones estándar (25 °C y 1 atm) y el análisis de los resultados en cuanto a estabilidad atmosférica, entre otros.

Concentración media de O_3

Cálculo basado en un monitoreo de 1 hora y 8 horas, en los cuales se obtienen los promedios de concentración de O_3 para cada periodo.

Concentración media de PST, PM_{10} y $PM_{2.5}$

Cálculo basado en un monitoreo de 24 horas, en los cuales se obtienen los promedios de concentración de PM_{10} y $PM_{2.5}$.

Concentración media de CO

Cálculo basado en un monitoreo de 8 horas en el cual se obtiene el promedio de concentración de CO.

Concentración media de SO_2

Cálculo basado en un monitoreo de 24 horas en el cual se obtiene el promedio de concentración de SO_2.

Unidad de medida del indicador

Adimensional.

Criterio de calificación

Los niveles de contaminantes criterio son calificados de acuerdo con los índices de calidad del aire (ICA) (EPA, 2009). En general, un ICA se define

como un valor adimensional que permite establecer el estado de la calidad del aire en función de un código de colores al que se asocian efectos generales sobre la salud (*Resolución 2254* de 2017).

Valores elevados del ICA sugieren que existen varias fuentes de emisión de los contaminantes (procesos industriales, transporte vehicular, entre otras) en un área específica, o una de ellas con grandes aportes de contaminación y, por lo tanto, la calidad del aire respirable es deficiente y puede llevar al desarrollo de enfermedades cardiovasculares y respiratorias en la población que lo circunda.

Rango de calificación y semáforo

En la 42 se presentan los puntos de corte para la clasificación como corresponde para cada contaminante criterio. Estos puntos de corte están relacionados con un rango numérico y color afines con efectos sobre la salud como los que se muestran en la 43.

Tabla 42. Puntos de corte de los índices de calidad del aire

ICA	Color	Clasificación	PM_{10} 24 h µg/m³	$PM_{2.5}$ 24 h µg/m³	CO 8 h µg/m³	SO_2 1 h µg/m³	NO_2 1 h µg/m³	O_3 8 h µg/m³	O_3 1 h (2) µg/m³
0-50	Verde	Buena	0 54	0.0 12	0 5094	0 93	0 100	0 106	----
51-100	Amarillo	Aceptable	55 154	13 37	5095 10 819	94 197	101 189	107 138	----
101-150	Naranja	Dañina a la salud para grupos sensibles	155 254	38 55	10 820 14 254	198 486	190 677	139 167	245 323
151-200	Rojo	Dañina a la salud	255 354	56 150	14 255 17 688	487 797	678 1221	168 207	324 401
201-300	Púrpura	Muy dañina a la salud	355 424	151 250	17 689 34 862	798 1583	1222 2349	208 393	402 794
301-500	Marrón	Peligrosa	425 604	251 500	34 863 57 703	1584 2629	2350 3853	394 (1)	795 1185

Fuente: Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial de Colombia (2010a).

(1) El ICA de ozono de 8 horas no será calculado para concentraciones superiores a 394 394 µg/m³. Para valores superiores a 394 µg/m³ se realiza únicamente el cálculo de ICA ozono para 1 hora. (2) En general, el reporte del ICA de ozono de 8 horas es requerido en todas las zonas de monitoreo. Sin embargo, en ocasiones el ICA de ozono de 1 hora puede ser más representativo. En estas situaciones se deben calcular ambos ICA de ozono y reportar el más alto de los dos.

Tabla 43. Efectos sobre la salud de acuerdo con el nivel de ICA

ICA	O_3 8 h	PM_{10} 24 h	$PM_{2.5}$ 24 h	SO_2 24 h
	ppm	µg/m³	µg/m³	ppm
Buena 0-50	Buena	Ninguno	Ninguno	Ninguno
Moderada 51-100	Individuos no sensibles pueden experimentar síntomas respiratorios.	Posibles síntomas respiratorios en individuos no sensibles. Posible agravamiento de enfermedad del corazón o de pulmón en personas con enfermedades cardiopulmonares y adultos mayores.	Posibles síntomas respiratorios en individuos no sensibles. Posible agravamiento de enfermedad del corazón o de pulmón en personas con enfermedades cardiopulmonares y adultos mayores.	Ninguno
Dañina a la salud para grupos sensibles 101-150	Incremento de la probabilidad de ocurrencia de síntomas y molestias respiratorias en niños activos, adultos y personas con enfermedades respiratorias, como asma.	Aumento de riesgo de síntomas respiratorios en individuos sensibles, agravamiento de enfermedad del corazón o de pulmón y mortalidad prematura en personas con enfermedades cardiopulmonares y adultos mayores.	Aumento de riesgo de síntomas respiratorios en individuos sensibles, agravamiento de enfermedad del corazón o de pulmón y mortalidad prematura en personas con enfermedades cardiopulmonares y adultos mayores.	Incremento de la probabilidad de ocurrencia de síntomas respiratorios, tales como opresión en el pecho y dificultad al respirar en personas con asma.
Dañina a la salud 151-200	Mayor probabilidad de ocurrencia de síntomas respiratorios y dificultad para respirar en niños activos, adultos y personas con enfermedad respiratoria, como asma; posibles efectos respiratorios de la población en general.	Incremento de los síntomas respiratorios y recrudecimiento de las enfermedades pulmonares tales como asma; posibles efectos respiratorios en la población en general.	Incremento de los síntomas respiratorios y recrudecimiento de las enfermedades pulmonares tales como asma; posibles efectos respiratorios en la población en general.	Incremento de síntomas respiratorios, tales como opresión en el pecho y jadeo en personas con asma; posible recrudecimiento de enfermedades cardiacas y pulmonares.

Muy dañina a la salud 201-300	Síntomas cada vez más severos y respiración deteriorada probablemente en niños, adultos y personas activas con enfermedad respiratoria, como asma; incremento en la probabilidad de efectos respiratorios en la población en general.	Aumento significativo en síntomas respiratorios y aumento de la gravedad de enfermedades pulmonares como asma; incremento de la probabilidad de ocurrencia de efectos respiratorios para la población en general.	Aumento significativo en síntomas respiratorios y aumento de la gravedad de enfermedades pulmonares como asma; incremento de la probabilidad de ocurrencia de efectos respiratorios para la población en general.	Aumento significativo en síntomas respiratorios tales como jadeo y respiración corta en personas con asma; recrudecimiento de enfermedades cardiacas y pulmonares.
Peligroso 301-500	Efectos respiratorios severos, daños respiratorios en niños activos, adultos y personas con enfermedad respiratoria como asma; incremento de los efectos respiratorios severos probables en la población en general.	Riesgo serio de síntomas respiratorios y recrudecimiento de enfermedades pulmonares como asma; probables efectos respiratorios en la población en general.	Riesgo serio de síntomas respiratorios y recrudecimiento de enfermedades pulmonares como asma; probables efectos respiratorios en la población en general.	Síntomas respiratorios severos como jadeo y disminución de la respiración en personas con asma; incremento de la gravedad de enfermedades cardiacas y pulmonares; posibles efectos respiratorios en la población general.

Fuente: Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial de Colombia (2010a).

Algunas medidas preventivas pueden ser tomadas según el nivel del ICA como las definidas por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo que se muestran en la tabla 44.

Tabla 44. Medidas preventivas según el nivel del ICA

ICA	O_3 8 h	PM_{10} 24 h	$PM_{2.5}$ 24 h	SO_2 24 h
	ppm	$\mu g/m^3$	$\mu g/m^3$	ppm
Buena 0-50	Ninguna	Ninguna	Ninguna	Ninguna
Aceptable 51-100		Personas extremadamente sensibles con asma y adultos con enfermedad cardio cerebrovascular como hipertensión arterial, enfermedad isquémica del miocardio o pulmonar como asma, enfisema y bronquitis crónica deben reducir la actividad física fuerte o prolongada.	Personas extremadamente sensibles con asma y adultos con enfermedad cardio cerebrovascular como hipertensión arterial, enfermedad isquémica del miocardio o pulmonar como asma, enfisema y bronquitis crónica deben reducir la actividad física fuerte o prolongada.	
Dañina a la salud para grupos sensibles 101-150	Niños activos, adultos y personas con enfermedades respiratorias, como asma, deben reducir la actividad física al aire libre.	Personas con enfermedades cardiacas o respiratorias, mayores de 60 años y niños deben evitar la actividad física fuerte o prolongada.	Personas con enfermedades cardiacas o respiratorias, mayores de 60 años y niños deben evitar la actividad física fuerte o prolongada.	Personas con asma deben considerar reducir la actividad al aire libre.
Dañina a la salud 151-200	Niños y adultos activos y personas con enfermedades respiratorias deben reducir la actividad física prolongada al aire libre, especialmente los niños.	Personas con enfermedades cardiovascular o respiratorias, mayores de 60 años y niños deben evitar actividad física fuerte o prolongada.	Personas con enfermedades cardiovascular o respiratorias, mayores de 60 años y niños deben evitar actividad física fuerte o prolongada.	Los niños, los asmáticos y las personas con enfermedades cardiacas y pulmonares deben reducir el esfuerzo al aire libre.

Muy dañina a la salud 201 - 300	Niños activos, adultos y personas con enfermedades respiratorias como asma deben reducir la actividad física al aire libre; especialmente los niños.	Personas con enfermedades cardiacas o respiratorias mayores de 60 años y niños deben evitar cualquier actividad física en exteriores. Las demás personas deben evitar la actividad fuerte o prolongada.	Personas con enfermedades cardiacas o respiratorias, mayores de 60 años y niños deben evitar cualquier actividad física en exteriores. Las demás personas deben evitar la actividad fuerte o prolongada.	Niños, asmáticos y personas con enfermedades cardiacas y pulmonares deben evitar el esfuerzo al aire libre; todos los demás deben reducir el esfuerzo al aire libre.
Peligroso 301-500	Todas las personas deben evitar el esfuerzo al aire libre.	Todas las personas deben evitar el esfuerzo al aire libre.	Todas las personas deben evitar el esfuerzo al aire libre.	Niños, asmáticos y personas con enfermedades cardiacas o pulmonares no deben estar al aire libre; todos los demás deben evitar el esfuerzo al aire libre.

Fuente: Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial de Colombia (2010a).

Alcance

¿Qué mide el indicador?

- Niveles de cada contaminante a nivel troposférico.
- Nivel de exposición de la población.
- Nivel de riesgo para la salud derivado de la concentración de cada contaminante en el ambiente para un lugar específico.

Restricciones del indicador

Ozono (O_3), monóxido de carbono (CO) y dióxido de azufre (SO_2)

Existen pocos datos históricos de los contaminantes, estos se monitorean continuamente desde agosto del 2014. Este monitoreo solo se está realizando en el municipio de Manizales.

Sitio del muestreo

Los lineamientos para la determinación de los sitios de muestreo son definidos por el Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire (*Resolución 2254* de 2017), de acuerdo con el número de pobladores y de las problemáticas específicas relacionadas con la calidad del aire para cada municipio del departamento. Manizales cuenta con 7 equipos de PM_{10} y 2 equipos de $PM_{2.5}$ ubicados en puntos estratégicos de la ciudad. Además, cuenta con tres equipos para la medición de gases: O_3, CO y SO_2.

Para los municipios como Chinchiná, Villamaría, Riosucio y La Dorada, que son en su orden los que le siguen en número de pobladores, el SVCA propone el tipo I, en este se definen mínimo 2 estaciones de PM_{10}, únicamente, con mediciones cada 3 años en dos estaciones como mínimo. Una ubicada vientos arriba de la localidad sin influencia de las fuentes estudiadas y otra, vientos abajo de las fuentes de mayor influencia (*Resolución 2254* de 2017).

Actualmente, se cuenta con registros de PM_{10} en municipios como la Dorada, Riosucio y Supía. Los contaminantes evaluados en cada estación son mostrados en la tabla 3. Se sugiere que sean realizadas campañas de monitoreo de PM_{10} en el centro de estos y de otros municipios, así como en sus zonas más densamente pobladas durante los periodos recomendados por el protocolo.

Dióxido de azufre (SO_2)

Este indicador aplica para aquellos municipios con actividad económica de importancia y fuentes de emisión relevantes. Actualmente, se realiza la medición continua en Manizales (hay un equipo en la Gobernación de

Caldas), porque este es el municipio de mayor actividad económica en el departamento y presenta influencia importante de las fuentes móviles, además, porque se identificó el fenómeno de lluvia ácida en el área urbana. También es importante generar este indicador para municipios con influencia de las emisiones provenientes del volcán Nevado del Ruiz, tales como Villamaría, Chinchiná y Neira.

Ejemplo aplicativo

Supongamos una concentración de PM_{10} de 283 µg/m^3 medida en 24 h. El índice de calidad de aire correspondiente se calculará de la siguiente forma:

$$ICA = \frac{200 - 151}{354 - 255} * (283 - 255) + 151 = 164{,}86$$

La clasificación roja es considerada dañina para la salud.

Determinar el estado de la calidad del aire del registro medido durante 24 horas de $PM_{2.5}$ de 54,8 µg/m^3 proveniente de una estación de monitoreo.

$$ICA = \frac{150 - 101}{55 - 38} * (54{,}8 - 38) + 101 = 147{,}12$$

La clasificación naranja es considerada dañina a la salud para grupos sensibles.

Cobertura o escala de indicador

Ciudad de Manizales.

Fuente de los datos

- Instituto de Estudios Ambientales (IDEA) de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales.

- Corporación Autónoma Regional de Caldas (Corpocaldas).

Método de levantamiento o captura de los datos

Se siguen los lineamientos descritos en el *Manual de operación de sistemas de vigilancia de la calidad del aire* (Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial de Colombia, 2010c) aprobado mediante *Resolución 650* de 2010. Cada estación de calidad del aire tiene asociada una estación meteorológica.

Para ozono (O_3)

Estaciones de monitoreo continuo de O_3 según el método EPA 40-CFR. Partes 50, 53 y 58 de julio de 2018.

Para material particulado (PM)

Estaciones de monitoreo de PM_{10} y $PM_{2.5}$ según el método EPA 40-CFR. Partes 50, 53 y 58 de julio de 2018.

Para monóxido de carbono (CO)

Estaciones de monitoreo de CO según el método EPA 40- CFR. Partes 50, 53 y 58 de julio de 2018.

Para dióxido de azufre (SO_2)

Estaciones de monitoreo de SO_2 según el método EPA 40-CFR. Partes 50, 53 y 58 de julio de 2018.

Disponibilidad de los datos (indicador)

Plenamente disponible (previo monitoreo del contaminante). Se pueden ver y descargar a través del CDIAC.

Frecuencia de medición

Para ozono (O_3), monóxido de carbono (CO) y dióxido de azufre (SO_2), las estaciones de gases entregan datos cada 5 minutos.

Para material particulado (PM)

Para el municipio de Manizales se monitorea material particulado cada 3 días durante 24 horas con un equipo de monitoreo activo. Además, se cuenta con un equipo automático que presenta datos cada 5 minutos de PM_{10} y $PM_{2.5}$.

Periodicidad de análisis

Según la que se especifica en la tabla 41 para cada contaminante.

Responsable interno del indicador

- Instituto de Estudios Ambientales (IDEA) de la Universidad Nacional, Sede Manizales
- Corporación Autónoma Regional de Caldas, Subdirección de Planificación Ambiental del Territorio.

Relación del indicador con objetivos, políticas, normas, iniciativas locales o mundiales o metas ambientales

Relación con los planes de gestión de calidad de aire (PGCA), las corporaciones autónomas están en obligación de implementar y optimizar en los centros poblados de importancia.

Esto permite obtener información de utilidad para conocer el comportamiento de los contaminantes criterio evaluados en las redes de vigilancia de la calidad del aire.

Comentarios

Para material particulado (PM) se sugiere implementar equipos de PM_{10} y más campañas de monitoreo de gases para los municipios de Chinchiná, Villamaría, La Dorada y Supía.

Datos complementarios o de soporte

Se recomienda seguir los lineamientos de la EPA: EPA 40-CFR

Tabla de datos

Mediante la página CDIAC se pueden generar tablas de datos resumiendo los resultados obtenidos para cada indicador, también se pueden descargar los datos brutos del monitoreo (http://cdiac.manizales.unal.edu.co/indicadores/public/searchAir).

Gráficos, mapas u otros diagramas

Gráficos de barras y de tendencias por estación y por contaminante (comparación espacial y temporal) especificados por color según su nivel de ICA.

Valor actual del indicador

Actualmente ya se encuentra calculado *online* e históricamente. Disponible en la bodega de datos.

Créditos y agradecimientos

NA.

Emisiones atmosféricas de contaminantes



Citación: UN y Corpocaldas (2014). *Hojas metodológicas*. Centro de Datos e Indicadores Ambientales de Caldas (CDIAC). http://cdiac.manizales.unal.edu.co/inicio/

Identificador del indicador

- Ematmos-sector industrial.
- Ematmos-sector vehicular.

Nombre del indicador

Emisiones atmosféricas de contaminantes por:

- Sector industrial a nivel municipal: fuentes estacionarias puntuales.
- Sector vehicular a nivel municipal: fuentes móviles en ruta.

Tipo de indicador

Indicador de estado.

Descripción del indicador

Este indicador representa la cantidad de emisiones totales generadas por fuentes estacionarias puntuales y fuentes móviles en ruta, del orden

municipal, en toneladas por año. Estos datos se adquieren a partir de los resultados generados en los inventarios de emisiones para el municipio de Manizales.

Para fuentes estacionarias puntuales, se muestran los flujos emitidos de óxidos de azufre (SOx), óxidos de nitrógeno (NOx), monóxido de carbono (CO) y material particulado (de diferentes tamaños como PM_{10} y TSP).

Para fuentes móviles en ruta, se muestran los flujos emitidos de monóxido de carbono (CO), compuestos orgánicos volátiles (COV), óxidos de azufre (SOx), óxidos de nitrógeno (NOx), material particulado menor a 10 micras (PM_{10}) y flujos de gases de efecto invernadero (GEI) como dióxido de carbono (CO_2), óxido nitroso (N_2O) y metano (CH_4), los cuales poseen un potencial de calentamiento global específico y suelen ser analizados en términos de dióxido de carbono equivalente ($CO_{2\text{-}eq}$). Este tipo de análisis se explica detalladamente en la hoja metodológica Emisiones de gases de efecto invernadero.

Relevancia o pertinencia del indicador

Las emisiones a la atmósfera de contaminantes producto de actividades antrópicas son responsables del deterioro de la calidad del aire. Las consecuencias que se conocen producto de la contaminación del aire a partir de industrias y vehículos son varias. Por ejemplo, en muchas ciudades del mundo, las fuentes móviles han sido las responsables de la mayoría de las emisiones de contaminantes criterio y han aportado en gran escala a la contaminación mundial (González *et al.*, 2017).

Son diferentes los efectos producto de las emisiones de contaminantes del aire: en el ámbito global, se relacionan con el efecto invernadero, el calentamiento global, la destrucción de la capa de ozono y la lluvia ácida. En el ámbito regional, con los fenómenos de oxidación fotoquímica, generando, por ejemplo, el smog fotoquímico; y en el ámbito local, son responsables de enfermedades respiratorias en la población (Dane, 2004).

En el departamento de Caldas, la información relativa a las emisiones de origen antrópico es limitada. En Manizales se han realizado dos inventarios de emisión que incluyen fuentes estacionarias puntuales y

fuentes móviles en ruta, los cuales fueron estimados teniendo como años base 2014 (González *et al.*, 2017) y 2017 (Valencia, 2019). Estos inventarios han sido también una herramienta importante para aplicación de modelos de dispersión y la conformación de los planes de gestión de la calidad del aire. El cálculo de las emisiones provenientes de los sectores industrial y vehicular permite evaluar el impacto potencial de las emisiones atmosféricas originadas por la actividad económica, establecer planes de control y prevención en torno al recurso aire y buscar estrategias para la reducción de las emisiones generadas por la actividad humana, entre otros (*Conpes 3344*, 2005).

A medida que se actualice el inventario de emisiones es posible analizar las tendencias y cambios asociados a las fuentes de emisión.

Fórmula de cálculo del indicador

Emisiones industriales

La mejor forma de obtener los valores de emisiones provenientes de fuentes estacionarias puntuales es a través de una medición directa. Para los casos en que una medición directa no es viable, el valor estimado del flujo de contaminante emitido se obtiene a partir de su cálculo mediante el método de factores de emisión, cuya ecuación general es:

$$E_i = \sum FE_{ij} \times A \times \left(1 - \frac{n}{100}\right)$$

Donde:

i = subíndice que representa el tipo de contaminante.

j = subíndice que representa el tipo de combustible o actividad industrial.

E_i = emisión atmosférica respecto al contaminante i.

A = parámetro asociado a la actividad en términos de consumo de combustible, volumen de producción, consumo de materia prima, entre

otros.
$FE_{i,j}$ = factor de emisión para el contaminante i y el combustible o actividad industrial.
n = eficiencia de reducción de la emisión, en caso de que exista un sistema de control obtenido de la EPA (Environmental Protection Agency) (EPA, AP-42).

Emisiones vehiculares

Para los inventarios de fuentes móviles en ruta estimado en base 2014 se usó el modelo y metodología IVE, en la cual se utiliza información de entrada principalmente asociada con patrones de conducción y de partidas, composición dinámica y distribución tecnológica del parque automotor. El parque automotor suele clasificarse en las siguientes cinco categorías generales: automóviles, motocicletas, buses, taxis y vehículos pesados. Es importante mencionar que una de las características del modelo IVE es que se enfoca, principalmente, en las estimaciones de la potencia específica vehicular (VSP) y en la tensión o estrés del motor los cuales son descritos en ISSRC (2008).

Fórmula global del modelo IVE

$$E_{i,j,k} = \sum (FE_{i,j,k})(A_j)(N_j)$$

Donde:
j = subíndice que representa el tipo de contaminante.
i = subíndice que representa el tipo de categoría vehicular.
k = subíndice que representa la categoría vehicular.
$E_{i,j,k}$ = emisión del contaminante i, para la categoría j y tecnología vehicular k.
A_j = actividad vehicular para el contaminante j.

N = número de vehículos asociado a la categoría vehicular.
$FE_{i,j,k}$ = factor de emisión ajustado a condiciones locales.

Definición de las variables que componen el indicador

Parámetro asociado a la actividad asociada (A)

Este es tomado a partir de información secundaria. Las fuentes de información pueden ser las visitas presenciales a las industrias, los expedientes ambientales y las bases de datos del Dane y la Andi.

Factor de emisión (FE)

Aplica para un tipo específico de actividad y proceso generador de emisiones. Los factores de emisión más utilizados provienen de fuentes internacionales como la EPA (base de datos AP-42) y la Unión Europea. Se recomienda utilizar factores de emisión locales en caso de existir dicha información.

Coeficiente de reducción de emisiones (n)

Se deriva del porcentaje de reducción de emisiones asociado a la tecnología de reducción empleada en el proceso productivo.

Número de vehículos (N)

Proveniente del parque automotor.

Unidad de medida del indicador

Toneladas de contaminante/año.

Criterio de calificación

Cantidad anual de emisiones industriales y vehiculares por tipo de contaminante, en términos de toneladas anuales.

Rango de calificación y semáforo

No existe un rango asociado con este indicador. Sin embargo, se pueden identificar a partir de los valores del indicador las empresas y los tipos de vehículos que generan mayor cantidad de contaminantes atmosféricos en el municipio objeto de estudio.

Alcance

¿Qué mide el indicador?

Emisiones de contaminantes atmosféricos provenientes de fuentes estacionarias puntuales y fuentes móviles en ruta.

Restricciones del indicador

- Disponibilidad de los inventarios de emisiones para fuentes estacionarias puntuales y fuentes móviles en ruta realizados en Caldas.
- Tiene un margen de error implícito en el cálculo. Para fuentes estacionarias puntuales se debe a que el cálculo de las emisiones se realiza empleando una metodología de estimación indirecta. Para fuentes móviles en ruta se puede dar por factores como incertidumbre de factores de emisión del modelo usado y nivel de detalle de la información de entrada.
- Este indicador calcula las emisiones provenientes de diferentes tipos de fuentes, no su influencia en la calidad del aire y afectación sobre la población.
- Su nivel de detalle y relevancia está sujeto a la disponibilidad de información primaria y secundaria necesaria para el cálculo.

Sitio del muestreo

Este indicador aplica para aquellos municipios con actividad económica de importancia y alta tasa vehicular. Es importante realizar el cálculo en Manizales, inicialmente, porque este es el municipio de mayor actividad económica en el departamento; además, Manizales es la tercera ciudad con mayor tasa de motorización en el país con 424.8 vehículos por cada mil habitantes, superado por Medellín y Bucaramanga con una tasa de 589 y 434 vehículos cada 1000 habitantes respectivamente (*Manizales cómo vamos*, 2018).

Cobertura o escala de indicador

Municipio de Manizales.

Fuente de los datos

- Primera comunicación Nacional ante la convención Marco de las Naciones Unidas sobre el cambio Climático, 2001.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam).
- Corporación Autónoma Regional de Caldas (Corpocaldas).
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística (Dane).
- Asociación Nacional de Industriales (Andi).
- Environmental Protection Agency (EPA).
- Corinair.
- Banco Mundial.
- Secretaría de Tránsito Municipal.
- Centro de Diagnóstico Automotor (CDA).
- Registro Único Nacional de Tránsito (RUNT).
- Asociación Nacional de Movilidad Saliente (Andemos).

Método de levantamiento o captura de los datos

Fuentes estacionarias puntuales

La recolección de información relacionada con cada fuente consta de:

- Datos sobre tipo de actividad económica realizada e información sobre la producción y consumos de materia prima por unidad de tiempo (que va desde diaria a anual). A menor escala de tiempo se tendrá una mayor rigurosidad en el cálculo y la posibilidad de obtener perfiles de emisiones.
- Según el factor de emisión utilizado es posible requerir el tipo de combustible empleado, su consumo (por unidad de tiempo) y el tipo de equipo fuente empleado para la combustión (por ejemplo, caldera, horno, entre otros).
- Información sobre equipos y tecnología utilizada para la reducción de emisiones atmosféricas, así como el porcentaje de reducción obtenido al implementar dichos equipos.
- Información sobre jornadas de trabajo, tiempos de funcionamiento de unidades que generan emisiones e información relevante relacionada con el proceso productivo que afecte los procesos de emisión de contaminantes atmosféricos.

La información descrita anteriormente se puede obtener directamente con la empresa o a través de fuentes de información como los archivos y expedientes relacionados con licencias ambientales, permisos de emisión, reportes del Dane, Andi, Banco Mundial, entre otros.

Fuentes móviles

Información de entrada al modelo IVE:

- Conteos vehiculares.
- Información de patrones de conducción.

- Información de las tecnologías del parque automotor obtenida de fuentes como los centros de diagnóstico automotor (CDA), páginas oficiales, encuestas, entre otros.
- Información sobre perfiles de encendido/apagado del vehículo obtenidos a partir de encuestas.
- Información del parque automotor obtenida en la Secretaría de Tránsito Municipal.
- Información del parque automotor obtenida en el Registro Único Nacional de Tránsito (RUNT).

Disponibilidad de los datos (cualitativo)

Plenamente disponible. Se pueden ver y descargar a través del CDIAC.

Frecuencia de medición

Se recomienda hacerlo cada 4 años.

Periodicidad de análisis

Anual.

Responsable interno del indicador

- Instituto de Estudios Ambientales (IDEA) de la Universidad Nacional, Sede Manizales.
- Corporación Autónoma Regional de Caldas, Subdirección de Planificación Ambiental del Territorio.

Relación del indicador con objetivos, políticas, normas, iniciativas locales o mundiales o metas ambientales

Relación con los planes de gestión de calidad de aire (PGCA), las corporaciones autónomas están en la obligación de implementarlos y optimizarlos en los centros poblados de importancia. Permite obtener información de utilidad para la elaboración de inventarios de emisiones, insumo necesario para la modelación de calidad del aire como la guía sobre elaboración de inventarios de emisiones publicada por el Ministerio de Ambiente (2017).

Los protocolos para la elaboración de PGCA en el país fueron adoptados mediante *Resolución 650* de 2010 (Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial de Colombia, 2010c).

Comentarios

NA.

Datos complementarios o de soporte

Con el objetivo de hacer los datos comparables se recomienda: para fuentes estacionarias puntuales, seguir los lineamientos de la EPA: Emission Factors-AP 42. Y para fuentes móviles en ruta, usar el modelo y metodología IVE.

Tabla de datos

Se pueden generar tablas de datos resumiendo los resultados obtenidos para cada contaminante y fuente. Disponible en la bodega de datos (http://cdiac.manizales.unal.edu.co/indicadores/public/searchInventory).

Tablas más detalladas se encuentran en los informes de Corpocaldas:

- Inventario de emisiones por fuentes móviles y estacionarias puntuales año base 2014 (Corpocaldas y Unal, 2016).
- Inventario de emisiones por fuentes móviles y estacionarias año base 2017 (Corpocaldas y Unal, 2019).

Gráficos, mapas u otros diagramas

Gráficos comparativos por contaminante disponibles en la bodega de datos citada.

Valor actual del indicador

Se tienen datos de emisiones totales anuales según la base de contaminantes para los inventarios de emisiones como PST, PM_{10}, COV, SO_x, NO_x, CO, N_2O, NH_4 y CO_2 en Manizales.

Fecha de cálculo del indicador

Año base 2014, considerando el inventario disponible.

Meta y actividades mínimas

Realizar los inventarios para Manizales periódicamente.

Créditos y agradecimientos

NA.

Emisiones de gases de efecto invernadero



Citación: UN y Corpocaldas (2014). *Hojas metodológicas*. Centro de Datos e Indicadores Ambientales de Caldas (CDIAC). http://cdiac.manizales.unal.edu.co/inicio/

Identificador del indicador

GEI-$CO_{2\text{-}eq}$

Nombre del indicador

Emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) per cápita.

Tipo de indicador

Indicador de estado.

Descripción del indicador

Es la cantidad total de gases de efecto invernadero (GEI) expresados en dióxido de carbono (CO_2) equivalente emitido en una región como consecuencia de actividades humanas, dividida entre la población de la región de interés. El CO_2 equivalente, según la IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) se define como: cantidad de emisión de CO_2 que causarían el mismo forzamiento radiativo integrado o cambio de temperatura, en un horizonte temporal dado, como una cantidad emitida de un gas de efecto invernadero (GEI) o una mezcla de GEI. Los GEI primarios en la atmósfera terrestre corresponden al vapor de agua H_2O, dióxido de carbono (CO_2), dióxido de carbono (CO_2), óxido nitroso (N_2O), metano (CH_4) y ozono (O_3) (IPCC, 2019). Los GEI analizados en esta plataforma son: dióxido de carbono (CO_2), óxido nitroso (N_2O) y metano (CH_4).

Relevancia o pertinencia del indicador

Permite contar con un referente de emisiones de gases efecto invernadero con el fin de desarrollar políticas y estrategias para abordar los problemas ambientales. Este indicador muestra la cantidad de CO_2 equivalente emitido por habitante a la atmósfera y permite, entre otros, evaluar el impacto potencial de las emisiones atmosféricas originadas por la actividad económica, establecer lineamientos de política en torno al recurso aire y prioridades de gestión para la reducción de las emisiones generadas. Además, representa con un buen grado de confiabilidad el estado de desarrollo de las actividades productivas de un país (Ideam, 2012).

Fórmula de cálculo del indicador

Las emisiones de dióxido de carbono per cápita son calculadas dividiendo las emisiones de dióxido de carbono equivalente entre el número de personas en el ámbito nacional o regional. Las emisiones de GEI diferentes al CO_2 se convierten a CO_2 equivalente mediante el potencial de calentamiento global (Ideam, 2012).

$$E_{iT} = \frac{\sum_{j=1}^{n} [(P_j * FE_{ij})(1 - R_{ij})] * PCG}{PT}$$

Donde:

i = subíndice que representa el tipo de contaminante.

j = subíndice que representa el tipo de actividad económica.

E_i = emisión atmosférica total del GEI en toneladas de CO_2 equivalente per cápita.

P_j = parámetro asociado a la actividad económica j en términos de volumen de producción, valor de producción, consumo de combustible o valor agregado.

FE_{ij} = factor de emisión del gas de efecto invernadero i en la actividad económica j.

R_{ij} = coeficiente de reducción de emisiones para emisiones del gas efectos.
PT = población total de la región de interés (nacional, departamental, municipal).
PCG = potencial de calentamiento global de gas de efecto invernadero diferente a CO_2.

Definición de las variables que componen el indicador

Parámetro asociado a la actividad (P)

Tomado a partir de información secundaria. Las fuentes de información pueden ser las visitas presenciales a las industrias, los expedientes ambientales y las bases de datos del Dane y Andi.

Factor de emisión (FE)

Aplica para un tipo específico de actividad económica y proceso productivo. Los factores de emisión más utilizados provienen de fuentes internacionales como el IPCC, la EPA y Corinair. Se recomienda utilizar factores de emisión locales en caso de existir dicha información.

Coeficiente de reducción de emisiones (R)

Se deriva del porcentaje de reducción de emisiones según sistema de control existente y la tecnología de reducción empleada.

Población total (PT)

Al considerarse la medición percápita es requerido el número de habitantes en la región de análisis, el dato puede ser obtenido del Dane.

Potencial de calentamiento global del contaminante a 100 años (PCG)

Este valor adimensional se usa para comparar los efectos de los diferentes gases de efecto invernadero. El potencial de calentamiento de un determinado gas se expresa en comparación con el que posee el mismo volumen de CO_2 durante el mismo periodo de tiempo. Los valores de PCG a 100 años sugeridos para cada contaminante son actualizados de acuerdo con los reportes de evaluación que se lleven a cabo por el IPCC. En la tabla 45 se muestran los valores de PCG para un horizonte temporal de 100 años respecto a cada contaminante; son actualizados de acuerdo con los reportes de evaluación realizados por el IPCC.

Tabla 45. PCG reportado por el IPCC

Compuesto	Fórmula química	PCG reportado por el IPCC		
		1995	2007	2014
Dióxido de carbono	CO_2	1	1	1
Metano	CH_4	21	25	28
Óxido nitroso	N_2O	310	298	265

Fuente: IPCC (2014).

En el caso de óxido nitroso (N_2O) y de metano (CH_4) se usaron los valores reportados en el reporte de evaluación de 1995 (segundo reporte).

Unidad de medida del indicador

Toneladas de CO_2 equivalente por habitante por año (ton CO_2 eq/habitante por año).

Criterio de calificación

Cantidad total gases efecto invernadero (GEI) expresados en dióxido de carbono equivalente emitido por una región como consecuencia de las actividades humanas dividida entre la población del país o región.

Rango de calificación y semáforo

No existe un rango asociado con este indicador. Sin embargo, se pueden identificar a partir de los valores del indicador cuáles empresas generan más contaminantes atmosféricos en el municipio objeto de estudio.

Alcance

¿Qué mide el indicador?

Emisiones de gases efecto invernadero por habitante.

Restricciones del indicador

No mide directamente las emisiones de CO_2 equivalente. El indicador está fundamentado en estimaciones de las cargas contaminantes mediante métodos de cálculo con factores de emisión y no en mediciones directas de dichas cargas contaminantes. Sin embargo, la metodología de factores de emisión es ampliamente utilizada en el ámbito mundial debido a los elevados costos financieros, humanos y técnicos para determinar las cargas contaminantes mediante métodos de medición directa (MADS, 2017). Está basado en los inventarios de emisiones realizados por categorías, fuentes de emisión antropogénicas o naturales. Información más detallada sobre los inventarios de emisiones está disponible en la hoja metodológica emisiones atmosféricas de contaminantes. Se obtiene a partir del inventario de emisiones de fuentes móviles en ruta y fuentes estacionarias puntuales.

Sitio del muestreo

Este indicador aplica para aquellos municipios con actividad económica de importancia. Es primordial realizar la medición en Manizales, inicialmente, por ser el municipio de mayor actividad económica, representando un 55,6 % de empresas en el departamento de Caldas según la Cámara de Comercio de Manizales por Caldas (Ramírez e*t al*., 2019).

Cobertura o escala de indicador

Municipio de Manizales.

Fuente de los datos

- Primera comunicación nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam).
- Corporación Autónoma Regional de Caldas (Corpocaldas).
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística (Dane).
- Asociación Nacional de Industriales (Andi).
- Environmental Protection Agency (EPA).
- Corinair.
- Banco Mundial.
- Secretaría de Tránsito Municipal.
- Centros de Diagnóstico Automotor (CDA).
- Registro Único Nacional de Tránsito (RUNT).
- Asociación Nacional de Movilidad Saliente (Andemos).
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).

Método de levantamiento o captura de los datos

Encuestas, registros administrativos, estimaciones directas, estimaciones indirectas e información cartográfica. Lo anterior hace parte de la recolección de información secundaria, para su posterior aplicación de la metodología de factores de emisión.

Disponibilidad de los datos (cualitativo)

Plenamente disponible. Se pueden ver y descargar a través del (CDIAC).

Frecuencia de medición

Anual.

Periodicidad de análisis

Anual.

Responsable interno del indicador

- Instituto de Estudios Ambientales (IDEA) de la Universidad Nacional, Sede Manizales.
- Corporación Autónoma Regional de Caldas, Subdirección de Planificación Ambiental del Territorio.

Relación del indicador con objetivos, políticas, normas, iniciativas locales o mundiales o metas ambientales

La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático es un convenio relacionado con este indicador, ya que, obliga a los países miembros a reducir las emisiones antropogénicas de los gases efecto invernadero (Ideam, 2012).

El Protocolo de Kyoto estableció que los países miembros debían reducir sus emisiones totales, de al menos seis gases de efecto invernadero, por debajo del 5 % de los niveles de 1990; esto entre el periodo de 2008 al 2012. En cuanto a Colombia no está comprometido a presentar metas de reducción de las emisiones de CO_2 (Ideam, 2012). Sin embargo, sería conveniente generar para Manizales y para los municipios que lo requieran una línea base para este indicador.

Comentarios

Los inventarios nacionales de emisiones de GEI son elaborados y reportados según la disponibilidad de recursos económicos y humanos para tal fin.

Datos complementarios o de soporte

Se recomienda seguir los lineamientos del Panel Intergubernamental de Cambio climático (IPCC).

Tabla de datos

Se pueden generar tablas de datos resumiendo los resultados obtenidos para cada contaminante y fuente (disponible en la bodega de datos: http://cdiac.manizales.unal.edu.co/indicadores/public/searchInventory).

Gráficos, mapas u otros diagramas

Gráficos comparativos por contaminante disponibles en la bodega de datos mencionada.

Valor actual del indicador

Se tienen datos de emisiones promedio para 2014 de N_2O, CH_4 y CO_2 y emisiones de CO_2 equivalentes para Manizales.

Fecha de cálculo del indicador

Año base 2014 o considerando el inventario disponible.

Meta y actividades mínimas

Realizar los inventarios para Manizales periódicamente.

Créditos y agradecimientos

NA.

Cambios en el parque automotor



Citación: UN y Corpocaldas (2014). *Hojas metodológicas*. Centro de Datos e Indicadores Ambientales de Caldas (CDIAC). http://cdiac.manizales.unal.edu.co/indicadores/public/calculationAir

Identificador del indicador

Cambios en el parque automotor.

Nombre del indicador

Cambios en el parque automotor.

Tipo de indicador

Indicador de estado.

Descripción del indicador

El parque vehicular corresponde al conjunto de vehículos que atiende las necesidades de transporte. Este indicador permite conocer la distribución de vehículos dentro del parque automotor con base en los inventarios realizados para cada año base estudiado. Asimismo, permite conocer la distribución porcentual del combustible empleado por el vehículo (gasolina, gas natural comprimido y diésel).

Relevancia o pertinencia del indicador

Es importante conocer la distribución del parque vehicular para evaluar los cambios que pueden afectar la dinámica de movilidad y los motivos del impacto ambiental que causan los cambios en la flota vehicular (respecto a emisiones atmosféricas de contaminantes criterio), gases de efecto invernadero, entre otros. Con ayuda del parque automotor es posible realizar estudios sobre inventarios de emisiones por fuentes móviles.

Metodología general

La determinación de la distribución vehicular y del uso de combustible se realizó con la información recopilada por la Secretaría de Tránsito y Transporte, información del parque automotor obtenida en el Registro Único Nacional de Tránsito (RUNT), Asociación Nacional de Movilidad Sostenible, base de datos de empresas de transporte y la información de los Centros de Diagnóstico Automotor (CDA) de la ciudad de Manizales.

Fórmula de cálculo del indicador

La siguiente ecuación determina la distribución porcentual del parque automotor:

$$P_i = \frac{V_i}{V_{total}} * 100$$

Donde:

i: categoría vehicular, según la tabla 46.

V_i: cantidad de vehículos para la categoría i.

V_{total}: cantidad total de vehículos evaluados para la categoría i.

P_i: porcentaje vehicular para la categoría i [%].

La siguiente ecuación determina la distribución de combustible en flota vehicular:

$$P_{ij} = \frac{V_{ij}}{V_{total}} * 100$$

Donde:

i: categoría vehicular, según la tabla 46.

j: tipo de combustible empleado (diésel, gasolina y gas natural).

V_{ij}: cantidad total de vehículos para la categoría vehicular i que utilizan el combustible j.

V_{total}: cantidad total de vehículos.

P_{ij}: porcentaje vehicular para la categoría i y el combustible j [%].

La siguiente ecuación determina la tasa de crecimiento entre de estudio y un año de referencia previo:

$$P_{TC} = \frac{NV_f - NV_i}{NV_i} * 100$$

NV_f: número de vehículos al final de estudio.

NV_i: número de vehículos de referencia.

NV_{TC}: tasa de crecimiento [%].

Definición de las variables que componen el indicador

Cantidad según categorías de vehículos registrados para un año base seleccionado.

Unidad de medida del indicador

Cantidad de vehículos y distribución porcentual.

Criterio de calificación

NA.

Rango de calificación y semáforo

NA.

Alcance

¿Qué mide el indicador?

El indicador presenta la cantidad de vehículos registrados para cada categoría vehicular, incluye información sobre la distribución de uso de combustible (diésel, gasolina y gas natural comprimido) y tasa de crecimiento. La categoría vehicular empleada para el parque automotor se muestra en la tabla 46 suministrada por Mintransporte (MinTransporte, 2013).

Tabla 46. Categoría vehicular y descripción del vehículo

Vehículo	Descripción
Particular	Automóviles particulares.
Moto	Ciclomotores, cuatrimotos, motocarros y motocicletas.
Taxi	Automóviles de servicio público.
Buses	Buses, busetas, microbuses.
Camioneta	Ambulancias, camionetas, camperos.
Van	Minibuses.
Liviano 2 ejes	*Bulldozers*, excavadoras, máquinas industriales, miniexcavadoras, minitractores, retroexcavadoras, volquetas.
Pesados 2 ejes	Bulldozers, excavadoras, máquinas industriales, miniexcavadoras, minitractores, retroexcavadoras, volquetas.
Pesado 3 o más ejes	Camiones doble troque, montacargas, semiremolques, tractocamiones, volquetas doble troque.

Vehículos de carga	Máquinas agrícolas, minicargadores, remolques, retrocargadores.

Fuente: MinTransporte (2013).

Restricciones del indicador

- El indicador del parque automotor presenta información anual.
- Tiene un margen de error implícito en el cálculo, debido al uso de combustible obtenido de una muestra aleatoria del parque automotor, suministrado por la base de datos del Centro de Diagnóstico Automotor de Caldas (CDA) y estudio de estaciones de servicio (Valencia, 2019).

Sitio del muestreo

Manizales cuenta con 400 436 habitantes según el censo realizado por el (Dane, 2019). Respecto a la movilidad, la ciudad de Manizales es la tercera ciudad con la mayor tasa de motorización en el país con 455,2 vehículos por cada mil habitantes en 2017 en área urbana, esta fue superada por Medellín y Bucaramanga con una tasa de 589 y 434 vehículos cada 1000 habitantes, respectivamente (*Manizales cómo vamos*, 2019).

Cobertura o escala de indicador

Municipio de Manizales.

Fuente de los datos

- Conteos vehiculares. Información de las tecnologías del parque automotor obtenida de fuentes como los centros de diagnóstico automotor (CDA), páginas oficiales, encuestas, entre otros Información del parque automotor obtenida en el Registro Único Nacional de Tránsito (RUNT).

- *Manizales cómo vamos* (2018).

Método de levantamiento o captura de los datos

Conteos vehiculares.

Información sobre los registros automotores suministrada por la Secretaría de Tránsito y Transporte, RUNT y Centro de Diagnóstico (CDA).

Disponibilidad de los datos (cualitativo)

Disponible, previo procesamiento de información tomada en campo, el resumen de cada estudio se presenta de forma libre en la página del CDIAC (http://cdiac.manizales.unal.edu.co/indicadores-test/public/AutomotivePark).

Frecuencia de medición

Para parque automotor: anual.
Para distribución de combustible: cada tres años, asociado a los datos evaluados por Ematmos (ver hoja metodológica).
Para tasa de crecimiento: anual.

Periodicidad de análisis

Anual.

Responsable interno del indicador

- Instituto de Estudios Ambientales (IDEA) de la Universidad Nacional, Sede Manizales.
- Corporación Autónoma Regional de Caldas, Subdirección de Planificación Ambiental del Territorio.

Relación del indicador con objetivos, políticas, normas, iniciativas locales o mundiales o metas ambientales

La Ley 769 de 2002, mediante la cual se expide el *Código nacional de tránsito*, estableció en su artículo 8° la obligación por parte del Ministerio de Transporte de poner en funcionamiento el Registro Único Nacional de

Tránsito (RUNT) para brindar información sobre los registros automotores, conductores, licencia de tránsito, empresas de transporte públicos, entre otros (Congreso de la República de Colombia, 2002).

Comentarios

NA.

Tabla de datos

Se pueden generar tablas de datos resumiendo los resultados obtenidos a través de la página del CDIAC (http://cdiac.manizales.unal.edu.co/indicadores-test/public/AutomotivePark).

Gráficos, mapas u otros diagramas

Gráficos de distribución porcentual por categoría vehicular.
Gráficos de distribución porcentual por tipo de combustible empleado.
Gráficos de distribución porcentual por tasa de crecimiento vehicular.

Valor actual del indicador

Se tienen datos del parque automotor para los años 2000, 2010, 2014 y 2017.

Fecha de cálculo del indicador

Años bases: 2000, 2010, 2014 y 2017, considerando los inventarios disponibles.

Marco normativo

Resolución 1111 de 2013 por la cual se modifica la resolución de 2008 (Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial de Colombia, 2013).

Créditos y agradecimientos

NA.

Ruido ambiental



Citación: UN y Corpocaldas (2014). *Hojas metodológicas*. Centro de Datos e Indicadores Ambientales de Caldas (CDIAC). http://cdiac.manizales.unal.edu.co/inicio/

Identificador del indicador

Ruido ambiental.

Nombre del indicador

Ruido ambiental.

Tipo de indicador

Indicador de estado.

Descripción del indicador

Este indicador permite especificar el nivel de presión sonora de intensidad constante expresado en decibeles que, en un periodo de tiempo establecido y en una localización determinada, tiene la misma energía sonora que el ruido medido (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2006). Nivel de presión sonora continuo equivalente corregido ($L_{RA,eq}$).

Relevancia o pertinencia del indicador

Puede ser utilizado para realizar el diagnóstico de los niveles de presión sonora en el ambiente. Los resultados podrán ser llevados a mapas de ruido con el fin de identificar zonas críticas y posibles fuentes de emisión de ruido. Entre los objetivos que se pueden cumplir con el análisis de este indicador se tienen:

- Permitir la evaluación ambiental de cada municipio, ciudad y zonas o áreas de estudio en lo referente a contaminación por ruido.
- Informar al público acerca del estado del ruido ambiental y del incremento de amenazas.
- Determinar conformidades con normas nacionales o internacionales.
- Establecer las condiciones en las cuales se encuentran los niveles de ruido ambiental en el ámbito nacional.
- Permitir un diagnóstico general con respecto a las tendencias de los niveles de ruido por zonas.
- Desarrollar y validar herramientas de gestión (modelos de simulación y predicción de ruido).
- Posibilitar el diseño y adopción de planes de acción en materia de contaminación por ruido y en general de las medidas correctivas, preventivas y de seguimiento adecuadas.

- Proveer información para el manejo de la contaminación por ruido, el planeamiento del tráfico y del uso del suelo.
- Evaluar tendencias para identificar problemas futuros o progresos frente a objetivos de administración y control.

Fórmula de cálculo del indicador

El indicador se calcula tanto para periodo diurno como nocturno. Los periodos se establecen como se muestra en la tabla 47.

Tabla 47. Duración del periodo diurno y nocturno.

Diurno	Nocturno
De las 7:01 a las 21:00 horas	De las 21:01 a las 7:00 horas

$$L_{RAeq,t} = L_{Aeq,d} + (K_I, K_R, K_T, K_S)$$

Donde:

$$L_{Aeq,t} = 10 \log \left[\frac{\sum T_i \times 10^{\left(\frac{L_{Aeq,t}}{10}\right)}}{\sum T_i} \right]$$

$L_{Aeq,t}$ = nivel de presión sonora continuo equivalente promedio para el periodo t (diurno o nocturno), dB(A).
$L_{Aeq,ti}$ = nivel de presión sonora continuo equivalente de cada evento durante el periodo, dB(A).
T_i = intervalo de tiempo del evento individual, min.
K_I: parámetros de ajuste por impulsos [dB(A)].
K_T: parámetros de ajuste por tono y contenido de información [dB(A)].

K_R: parámetros de ajuste por hora del día [dB(A)].
K_S: parámetros de ajuste (positivo o negativo) [dB(A)].

Definición de las variables que componen el indicador

L_{Aeq}: nivel continuo de presión sonora equivalente promedio para el periodo medido (diurno o nocturno), dB(A).

Tabla 48. Valores del parámetro de ajuste

Parámetro	Característica	Valor dB(A)
K_S	Periodo diurno. Periodo nocturno.	5 8
K_R	Si se desea calcular el nivel equivalente corregido ponderado por frecuencia A para el día y la noche LRA_{eq}, dn, se efectúa la medición nocturna de ruido de la fuente específica, si esta funciona durante la noche, para tener en cuenta el grado de molestia que pueda causar a las personas se hace una corrección*.	Adición de 10 dB(A) para el periodo nocturno en el cual funcione la fuente específica*.
K_T	Por percepción nula de componentes tonales. Por percepción neta de componentes tonales. Por percepción fuerte de componentes tonales.	0 3 6
K_I	Por percepción nula de componentes impulsivos. Por percepción neta de componentes impulsivos. Por percepción fuerte de componentes impulsivos.	0 3 6

Fuente: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2006).

Unidad de medida del indicador

Decibelio dB(A): unidad de nivel utilizada para medir el nivel de presión sonora empleando el filtro de ponderación frecuencial A.

Nivel de presión sonora continuo equivalente corregido ($L_{RA,eq}$).

Criterio de calificación

Nivel de riesgo de exposición por ruido según la comparación con los estándares máximos permisibles establecidos (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2006). Los estándares máximos por sectores se presentan en la tabla 49.

Tabla 49. Estándares permisibles de niveles de ruido

Sector	Subsector	Estándares máximos permisibles de niveles de ruido ambiental en dB(A)	
		Día	Noche
Sector A. Tranquilidad y silencio	Hospitales, bibliotecas, guarderías, sanatorios, hogares geriátricos.	55	45
Sector B. Tranquilidad y ruido moderado	Zonas residenciales o exclusivamente destinadas para desarrollo habitacional, hotelería y hospedajes.	65	50
	Universidades, colegios, escuelas, centros de estudio e investigación.		
	Parques en zonas urbanas diferentes a los parques mecánicos al aire libre.		
Sector C. Ruido intermedio restringido	Zonas con usos permitidos industriales, como industrias en general, zonas portuarias, parques industriales, zonas francas.	75	70
	Zonas con usos permitidos comerciales, como centros comerciales, almacenes, locales o instalaciones de tipo comercial, talleres de mecánica automotriz e industrial, centros deportivos y recreativos, gimnasios, restaurantes, bares, tabernas, discotecas, bingos, casinos.	70	55
	Zonas con usos permitidos de oficinas.	65	55
	Zonas con usos institucionales.		
	Zonas con otros usos relacionados, como parques mecánicos al aire libre, áreas destinadas a espectáculos públicos al aire libre, vías troncales, autopistas, vías arterias, vías principales.	80	70

Sector D. Zona suburbana o rural de tranquilidad y ruido moderado	Residencial suburbana. Rural habitada destinada a explotación agropecuaria. Zonas de recreación y descanso como parques y reservas naturales.	55	45

Fuente: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2006).

Rango de calificación y semáforo

Este es definido según el valor de ruido medido (tabla 50).

Tabla 50. Caracterización del tipo de riesgo de nivel de ruido

Tipo de riesgo	Clasificación	Color
Sin riesgo por exposición	Si el valor de ruido está por debajo del riesgo por exposición moderada	Verde
Riesgo por exposición moderada	Si valor de ruido se encuentra entre el 10 % menor que el límite máximo permitido por la norma	Amarillo
Riesgo por exposición máxima	Si el valor de ruido es igual o mayor al establecido en la norma	Rojo

Fuente: elaboración propia.

Alcance

¿Qué mide el indicador?

Niveles de ruido por determinados sectores y riesgo según los valores de presión sonora definidos.

Restricciones del indicador

Tecnología de los sonómetros, correcta calibración y configuración del equipo.

Sitio del muestreo

Las mediciones fueron llevadas a cabo en puntos de monitoreo estratégicos ubicados en diversas zonas de la ciudad. Se toman como referencia los estudios de ruido ambiental realizados por Corpocaldas (2008 y 2014) para Manizales.

- Se propone conservar los puntos definidos en estos estudios con el fin de tener datos comparativos para diferentes años de medición.
- Incluir nuevos puntos según la pertinencia y los cambios llevados a cabo en los municipios durante los últimos años.

Cobertura o escala de indicador

Municipio de Manizales.

Fuente de los datos

Corporación Autónoma Regional de Caldas (Corpocaldas). Para más información solicitar los informes directamente en la a esta corporación.

Método de levantamiento o captura de los datos

Mediciones de ruido ambiental de acuerdo con los lineamientos establecidos en la *Resolución 627* de 2006.

Disponibilidad de los datos (cualitativo)

Plenamente disponible previo procesamiento de información tomada en campo, el resumen de cada estudio se presenta de forma libre en la página

del CDIAC.

Frecuencia de medición

De acuerdo con la normativa colombiana (*Resolución 627* de 2006) cada cuatro años para municipios con población mayor a 100 000 habitantes.

Periodicidad de análisis

Cada cuatro años.

Responsable interno del indicador

- Instituto de Estudios Ambientales (IDEA) de la Universidad Nacional, Sede Manizales.
- Corporación Autónoma Regional de Caldas, Subdirección de Planificación Ambiental del Territorio.

Relación del indicador con objetivos, políticas, normas, iniciativas locales o mundiales o metas ambientales

Relación directa con los límites máximos de niveles de presión sonora establecidos en la *Resolución 627* de 2006. Permite elaborar planes de acción en materia de contaminación por ruido y, en general, de las medidas correctivas, preventivas y de seguimiento adecuadas.

Es útil para elaboración de planes de ordenamiento territorial, planes de movilidad, eventos de importancia regional, entre otros.

Comentarios

Los mapas de niveles de ruido disponibles en la página del CDIAC no fueron realizados mediante una misma metodología por lo que no todos pueden ser comparables. La presentación de los datos publicados en la página del CDIAC depende de cómo son mostrados en los respectivos informes.

Datos complementarios o de soporte

Se recomienda seguir el protocolo de medición establecido en la *Resolución 627* de 2006.

Tabla de datos

Se pueden generar tablas de datos resumiendo los resultados obtenidos a través de la página del CDIAC (http://cdiac.manizales.unal.edu.co/indicadores/public/SearchNoise).

Gráficos, mapas u otros diagramas

Se presentan mapas de niveles de ruido ambiental tanto de ruido diurnos como nocturnos en la página del CDIAC. Mapas más detallados se encuentran en los informes de Corpocaldas.

Valor actual del indicador

Se tienen datos de ruido como promedios anuales para los años 2008 y 2014.

Fecha de cálculo del indicador

Años base: 2008 y 2014 considerando los inventarios de ruido disponibles.

Meta y actividades mínimas

Implementar campañas de medición del indicador en los municipios con población mayor a 100 000 habitantes.

Créditos y agradecimientos

NA.

Referencias

Airmon SOP 222 (2012). *Standard Operating Procedure Partisol 2025 $PM_{2.5/10}$*. Recuperado de https://www.dcsa.mil/Portals/91/Documents/CTP/special/STANDARD_OPERATING_PROCEDURES_(SOP)_TEMPLATE.pdf

Capó-Martí, M. (2002). *Principios de ecotoxicología. Diagnóstico, tratamiento y gestión del medio ambiente*. McGraw-Hill.

Congreso de la República de Colombia (2002). *Ley 769 de 2002*.

Corpocaldas (2008). *Medición de ruido en la ciudad de Manizales contrato 200-208*. Recuperado de http://www.corpocaldas.gov.co/publicaciones/543/InformefinalmaparuidoMzles.pdf

Corpocaldas (2014). *Medición de ruido en la ciudad de Manizales contrato 198-2013*. Recuperado de http://www.corpocaldas.gov.co/publicaciones/543/MedicionRuidoAmbientalManizales-Parte1.pdf

Corpocaldas y Unal (2016). *Apoyo y fortalecimiento de la red de monitoreo de calidad del aire en la ciudad de Manizales y cuantificación de emisiones atmosféricas por fuentes móviles. Convenio Interadministrativo 130-2014*. Manizales, Colombia.

Corpocaldas y Unal (2019). *Actualización del inventario de emisiones atmosféricas en la ciudad de Manizales año base 2017. Boletín de resultados. Convenio Interadministrativo 107-2018*. Manizales, Colombia.

Dane (2004). *Vulnerabilidad asentamientos humanos y ciudades sostenibles Colombia*.

Dane (2019). *Resultados censo nacional de población y vivienda 2018*.

Conpes 3344 (2005). *Lineamientos para la formulación de la política de prevención y control de la contaminación del aire*.

EPA (1996). *Enviromental Protection Agency. Emision Factors*. Recuperado de https://www.epa.gov/air-emissions-factors-and-quantification/ap-42-compilation-air-emissions-factors

EPA (2009). *Air Emissions Modeling. Biogenic Emission Inventory System (BEIS)*. Recuperado de https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-10/documents/pouliot.pdf

González, C. M. (2012). *Calidad del aire en la zona centro y oriente de Manizales: influencia del material particulado PM_{10} y lluvia ácida*. Tesis de Maestría. Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales.

González, C. M., Gómez, C. D., Rojas, N. Y., Acevedo, H., y Aristizábal, B. H. (2017). Relative impact of on-road vehicular and point-source industrial

emissions of air pollutants in a medium-sized Andean city. *Atmospheric Environment, 152*, 279-289. https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2016.12.048

Ideam (2012a). *Sistema de Información Ambiental de Colombia* (*SIAC*).

Ideam (2012b). *Aire y atmósfera: Emisiones de gases efecto invernadero* (*GEI*). Hoja de ruta metodológica, 1-6.

IPCC (2014). *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Global Warming Potential Values GWP, 2014*.

IPCC (2019). *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Glossary 2019*. Recuperado de https://www.IPCC.ch/site/assets/uploads/2019/06/19R_V0_02_Glossary_advance.pdf

ISSRC (2008). International Vehicle Emissions Model. In *Attachment C Characterizing Emission Variations due to Driving Behavior from On-Road Vehicles* (pp. 51-64). Recuperado de https://doi.org/10.1109/R10-HTC.2017.8288998

Manizales cómo vamos (2018). *Informe calidad de vida 2018*. Recuperado de https://manizalescomovamos.org/informe-de-calidad-de-vida-asivamanizales-2018-2/

Manizales cómo vamos (2019). *Informe calidad de vida 2019*. Recuperado de http://manizalescomovamos.org/informe2019/

Manual de instrucción nefelómetro (2017). Monitor contaminación de aire 2 APM-2 para PM_{10} y $PM_{2.5}$.

Manual de operación (2017). PM_{10} (HVPM10) Hi-Vol Thermo Andersen. https://vdocuments.mx/manual-de-operacion-hivol.html

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2006). *Resolución 627 del 7 de abril*.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2017). *Resolución 2254 de 2017*. Por la cual se adopta la norma de calidad del aire ambiente y se dictan otras disposiciones.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2017). *Guía para la elaboración de inventarios de emisiones atmosféricas*. Bogotá, D.C.: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible-Dirección de Asuntos Ambientales, Sectorial y Urbana.

Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial de Colombia (2010a). Manual de operación de sistemas de vigilancia de la calidad del aire. En *Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire* (p. 141).

Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial de Colombia (2010b). *Resolución 610 de 2010*.

Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial de Colombia (2010c). *Resolución 650 de 2010*.

Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial de Colombia (2013). *Resolución 1111*.

MinTransporte (2013). *Caracterización del transporte terrestre automotor de carga por carretera en Colombia 2010 -2012*.

Operation Manual. Model T100. (2017).UV Fluorescence SO_2 Analyzer.

Operation Manual. Model T400. (2017). UV Photometric Ozone Analyzer. Recuperado de http://www.teledyne-api.com/prod/Downloads/T400Manual-06870.pdf

Organización Mundial de la Salud (OMS) (s.f.). *Contaminación del aire ambiente. Nota descriptiva*. Recuperado de https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health.

OMS (2016). *Organización Mundial de la Salud*. Recuperado de https://www.who.int/es/news/item/02-05-2018-9-out-of-10-people-worldwide-breathe-polluted-air-but-more-countries-are-taking-action

Ramírez, M., Mejía, A., Barrera, A., Castellanos, J., García, J. y Rivera, A. (2019). *Informe económico anual 2018*. Recuperado de http://estudios.ccmpc.org.co/wp-content/uploads/2019/01/Informe-Económico-Anual-de-Manizales-y-Caldas-2018.pdf.

Secretaría Distrital de Ambiente (SDA) (2012). *Observatorio ambiental de Bogotá. Datos e indicadores*. Recuperado de https://oab.ambientebogota.gov.co/indicadores-ambientales-por-recurso-natural/aire/

Seinfeld, J. H., & Pandis, S. N. (2006). *Chemistry of the Upper and Lower Atmosphere* (2nd ed.). John Wiley & Sons.

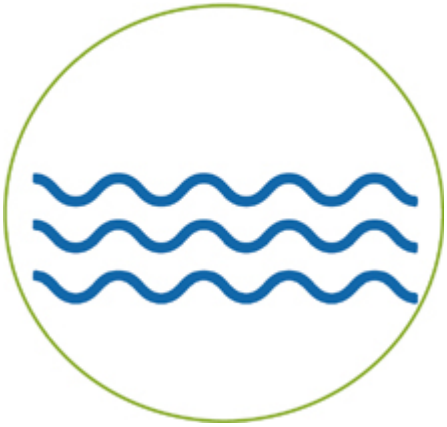
Valencia, M. C. (2019). *Actualización del inventario de emisiones por fuentes móviles y estimación de emisiones atmosféricas por resuspensión y distribución de combustible en la ciudad de Manizales*. Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales.

Velasco, M. (2005). *La calidad del aire asociado con metales pesados en la ciudad de Manizales*. Tesis, Universidad Nacional de Colombia.

Vélez, J. J., Valencia, M., Londoño, A., González, C. M., y Mariscal, J. P. (2010). *Contaminación del aire y lluvia ácida: diagnóstico del fenómeno para la ciudad de Manizales*. Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales.

Hojas metodológicas de agua

Variación de escorrentía superficial



Citación: UN y Corpocaldas (2014). *Hojas metodológicas*. Centro de Datos e Indicadores Ambientales de Caldas (CDIAC). http://cdiac.manizales.unal.edu.co/inicio/

Identificador del indicador

ESC.

Nombre del indicador

Variación de escorrentía superficial.

Tipo de indicador

Indicador de estado.

Descripción del indicador

Comportamiento espacio-temporal de la escorrentía, esta es la parte de la precipitación que se presenta en forma de flujo en un curso de agua, una vez producida la precipitación, infiltración y evapotranspiración. Igualmente, se puede representar en forma de rendimiento, definido como el aporte de la cuenca en litros por segundo por kilómetro cuadrado (l/s/km²) (Ideam, 2019).

Relevancia o pertinencia del indicador

El recurso agua es de vital importancia para la conservación de la vida y además forma parte esencial de la mayoría de las actividades económicas; por ello la variabilidad en su disponibilidad, en este caso de cantidad, durante distintas épocas, es un factor restrictivo para el abastecimiento de los sectores usuarios, bien sea consumo humano, agrícola, hidroenergético, etc. A través del balance hídrico, el cual se basa en la ley física universal de la conservación de masas, se determina la disponibilidad hídrica en cualquier región, contando con información de los componentes dinámicos que hacen parte de la ecuación y del cual la escorrentía superficial es uno de ellos. La escorrentía superficial, expresada en milímetros de lámina de agua, constituye la producción hídrica que fluye superficialmente en un área determinada e incluye en cierta medida el agua subterránea reflejada como el caudal base de una corriente, el cual soporta los caudales de los ríos durante periodos prolongados sin precipitaciones.

Este indicador es básico en la toma de decisiones, la planificación y gestión ambiental orientada a la sostenibilidad tanto del recurso, como de los sectores que dependen de él.

Definición de las variables que componen el indicador

Caudal de escorrentía es el volumen de agua que escurre por una sección por unidad de tiempo y que no se infiltra ni se evapora y área A (km^2) es la superficie de la cuenca hasta las estaciones, puntos de control o sistemas hídricos que se establezcan.

Fórmula de cálculo del indicador

$$Y = \frac{\overline{Q} \cdot T}{A \cdot 10^3}$$

Donde, Y es la escorrentía superficial expresada en términos de lámina [mm], $\overline{Q}$ es elcaudal modal para el periodo de agregación seleccionado [m^3/s], T es la cantidad de segundos en el periodo de agregación [s], A es el Área aferente al nodo de mediciones [km^2] (Ideam, 2019).

$$M = \frac{\overline{Q} \cdot 10^3}{A}$$

Donde M es la escorrentía superficial expresada en términos de rendimiento hídrico [$l/s.km^2$].

Unidad de medida del indicador

m^3/s, mm o $l/s/km^2$.

Criterio de calificación

La variación anual de la escorrentía es comparada con una condición media, que es la base de referencia para realizar el seguimiento de la variación.

Rango de calificación y semáforo

NA.

Alcance

¿Qué mide el indicador?

En términos de la escorrentía superficial netamente, se habla de exceso o déficit de determinadas zonas dependiendo si su valor estuviera por encima o por debajo del valor medio respectivamente.

Restricciones del indicador

Calibración y funcionamiento de los equipos que miden el nivel de las quebradas y ríos y la obtención de las curvas de calibración nivel-caudal.

Sitio del muestreo

Departamento de Caldas.

Cobertura o escala de indicador

Cuenca, subzonas.

Fuente de los datos

Diversos propietarios de estaciones de monitoreo de la precipitación en Caldas.

Método de levantamiento o captura de los datos

Estaciones de monitoreo hidrométrico o hidrometeorológico dotadas de instrumental apropiado para dicha labor de medición.

Disponibilidad de los datos (cualitativo)

Plenamente disponibles.

Frecuencia de medición

Mensual y anual.

Periodicidad de análisis

Mensual y anual.

Relación del indicador con objetivos, políticas, normas, iniciativas locales o mundiales o metas ambientales

Este indicador ha sido adoptado de la primera generación de indicadores de la *Línea base de la información ambiental de Colombia* de 2002, capítulo 1: "Agua: oferta hídrica"; cuyos referentes fueron:

- Instituto de Hidrología de España/Unesco, Métodos de cálculo del balance hídrico, *Guía internacional de investigación y métodos*, versión española. Rafael Heras, 1981.
- Unesco/ROSTLAC, *Guía metodológica para la elaboración del balance hídrico de América del Sur*, Montevideo-Uruguay, 1982.
- Ideam, *El medio ambiente en Bogotá, Colombia*, 2000. Ministerio de Medio Ambiente, Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental.
- *Indicadores ambientales, una propuesta para España* (series monografías). Madrid, España, 2000.
- Ideam, *Estudio Nacional del agua, balance hídrico y relaciones de demanda-oferta de agua en Bogotá, Colombia*. Versión 2000.
- Cepal, *Indicadores de desarrollo sustentable: estado del arte y perspectivas, documento borrador para diagrama e imprenta*. Santiago de Chile, marzo de 2001.

Datos complementarios o de soporte

NA.

Tabla de datos

Se pueden generar tablas de datos resumiendo los resultados obtenidos.

Gráficos, mapas u otros diagramas

Gráficos de líneas.

Meta y actividades mínimas

NA.

Responsable interno del indicador

Corporación Autónoma Regional de Caldas (Corpocaldas).

Créditos y agradecimientos

- Instituto de Estudios Ambientales (Idea) de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales.
- Propietarios de estaciones de monitoreo.

Comentarios

Para lograr una adecuada medición de este indicador y garantizar su consistencia y homogeneidad en el tiempo, se requiere ejecutar un protocolo de densificación de la red, operación continua, mantenimiento preventivo o correctivo, reposición de equipos y componentes y calibración de los mismos.

Índice de aridez



Citación: UN y Corpocaldas (2014). *Hojas metodológicas*. Centro de Datos e Indicadores Ambientales de Caldas (CDIAC). http://cdiac.manizales.unal.edu.co/inicio/

Identificador del indicador

IA.

Nombre del indicador

Índice de aridez.

Tipo de indicador

Indicador de estado.

Descripción del indicador

El índice de aridez (IA) es un indicador del régimen natural hidrológico de una región que califica cualitativamente las condiciones naturales de aridez, midiendo el grado de suficiencia o insuficiencia de la precipitación para el sostenimiento de los ecosistemas de una región. A lo largo de la historia, el IA ha estado en constante evolución y en Colombia se adoptó una relación entre la ETP y ETR (Ideam, 2010).

Relevancia o pertinencia del indicador

De acuerdo con el Ideam, este indicador "es una característica cualitativa del clima que muestra en mayor o menor grado la insuficiencia de los volúmenes precipitados para mantener la vegetación y los demás ecosistemas de una región" (Ideam, 2010, p. 60). La región caldense tiene fuerte actividad económica en el cultivo y producción de café, por lo tanto, es de vital importancia conocer este indicador en aplicación a dichas cosechas. También, este indicador tiene importancia para el cambio climático. El índice se adoptó en Colombia con el fin de conocer la dinámica superficial del suelo.

Definición de las variables que componen el indicador

Evapotranspiración potencial y real.

Fórmula de cálculo del indicador

$$I_a = \frac{ETP - ETR}{ETP}$$

Donde, ETP es la evapotranspiración potencial anual multianual (mm), ETR es la evapotranspiración real potencial anual multianual (mm).

Unidad de medida del indicador

Adimensional.

Criterio de calificación

La calificación de este indicador se basa en la clasificación cualitativa en siete categorías, indicando las características de excedencias o déficits de agua a largo plazo en cierta región (Ideam, 2010).

Rango de calificación y semáforo

Tabla 51. Rango de calificación del índice de aridez

Rango de valores del índice de aridez	Color	Cualificación
<0,15		Altos excedentes de agua
0,15-0,19		Excedentes de agua
0,20-0,29		Moderado y excedente de agua
0,30-0,39		Moderado
0,40-0,49		Moderado o deficitario de agua
0,50-0,59		Deficitario de agua
>0,60		Altamente deficitario de agua

Fuente: Ideam (2019).

Alcance

¿Qué mide el indicador?

El índice de aridez mide los grados de excedencia o déficit de agua en las diversas regiones del país para una condición promedio anual (Ideam, 2010).

Restricciones del indicador

Calibración y funcionamiento de los equipos que miden la variable temperatura.

Sitio del muestreo

Departamento de Caldas.

Cobertura o escala de indicador

Municipal y departamental.

Fuente de los datos

Diversos propietarios de estaciones de monitoreo de la precipitación en Manizales.

Método de levantamiento o captura de los datos

Protocolos nacionales e internacionales (OMM, 2008, 2014) de monitoreo de la temperatura por medio de termómetros.

Disponibilidad de los datos (cualitativo)

Plenamente disponibles.

Frecuencia de medición

Mensual y anual.

Periodicidad de análisis

Mensual y anual.

Relación del indicador con objetivos, políticas, normas, iniciativas locales o mundiales o metas ambientales

El índice está establecido en el sistema de indicadores del Ideam y es reportado cada cuatro años en el *Estudio nacional del agua*. Este índice junto con los indicadores como el índice de regulación hídrica y de sequía permiten caracterizar el sistema natural, es decir, dan cuenta de las condiciones del sistema hídrico natural (Ideam, 2010; MinAmbiente e Ideam, 2014, 2018).

Datos complementarios o de soporte

NA.

Tabla de datos

Se pueden generar tablas de datos resumiendo los resultados obtenidos.

Gráficos, mapas u otros diagramas

Gráficos de líneas.

Meta y actividades mínimas

NA.

Responsable interno del indicador

Corporación Autónoma Regional de Caldas (Corpocaldas).

Créditos y agradecimientos

- Instituto de Estudios Ambientales (Idea) de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales.
- Propietarios de estaciones de monitoreo.

Comentarios

Para lograr una adecuada medición de este indicador y garantizar su consistencia y homogeneidad en el tiempo, se requiere ejecutar un protocolo de densificación de la red, operación continua, mantenimiento preventivo o correctivo, reposición de equipos y componentes y calibración de los mismos.

Índice de retención y regulación hídrica



Citación: UN y Corpocaldas (2014). *Hojas metodológicas*. Centro de Datos e Indicadores Ambientales de Caldas (CDIAC). http://cdiac.manizales.unal.edu.co/inicio/

Identificador del indicador

Índice de retención y regulación hídrica (IRH).

Nombre del indicador

IRH.

Tipo de indicador

Indicador de estado.

Descripción del indicador

"Este índice mide la capacidad de retención de humedad de las cuencas con base en la distribución de las series de frecuencias acumuladas de los caudales diarios. Este índice se mueve en el rango entre 0 y 1, siendo los valores más bajos los que se interpretan como de menor regulación" (Ideam, 2010, p. 323).

Relevancia o pertinencia del indicador

Establecer el régimen hidrológico de la misma y la disponibilidad del recurso a lo largo del tiempo.

La capacidad de regulación de una cuenca está relacionada con las características de la cuenca: topografía, geología, suelos, vegetación y clima. Entre los factores de mayor influencia en la regulación están el relieve, el área de cuenca, la lluvia media anual y la altitud. La frecuencia de ocurrencia de los caudales diarios, expresadas en la curva de duración, sintetiza en gran medida esta interacción de factores.

Definición de las variables que componen el indicador

Vp: volumen representado por el área que se encuentra por debajo de la línea de caudal medio en la curva de duración de caudales diarios (CDC).

Vt: volumen total representado por el área bajo la a curva de duración de caudales diarios.

Fórmula de cálculo del indicador

$$IRG = \frac{V_P}{V_T}$$

Donde, Vp es el volumen medio de la CDC (m^3), Vt es el volumen total debajo de la CDC (m^3).

Unidad de medida del indicador

Adimensional.

Criterio de calificación

La calificación de este indicador se basa en la clasificación cualitativa en cinco categorías, indicando el nivel de retención del agua que tiene el suelo

en la región analizada (Ideam, 2010).

Rango de calificación y semáforo

Tabla 52. Rango de calificación del índice de retención y regulación hídrica

Calificador	Ámbito numérico
Muy baja retención y regulación de humedad	<0,50
Baja retención y regulación de humedad	0,50-0,65
Media retención y regulación de humedad media	0,65-0,75
Alta retención y regulación de humedad	0,75-0,85
Muy alta retención y regulación de humedad	>0,85

Fuente: Ideam (2010).

Alcance

¿Qué mide el indicador?

Permite medir la capacidad de retención de humedad de las cuencas para interpretar las características del régimen hidrológico de la cuenca de un río en su parte alta, media y baja.

Restricciones del indicador

Calibración y funcionamiento de los equipos que miden la oferta y cuantificaciones que se realicen de la demanda.

Sitio del muestreo

Departamento de Caldas.

Cobertura o escala de indicador

Cuenca, subzonas.

Fuente de los datos

Diversos propietarios de estaciones de monitoreo de la precipitación en Caldas.

Método de levantamiento o captura de los datos

La metodología propone obtener el indicador a partir de la construcción de la curva de duración de caudales medios mensuales o diarios en las estaciones de la red de monitoreo seleccionadas, se calcula la relación del área o el volumen que se encuentra por debajo de la línea del caudal medio sobre el área o volumen total, que está por debajo de la curva total de duración caudales mensuales o diarios. Los valores obtenidos se agrupan en rangos para facilitar la comparación entre unidades hídricas de análisis. A cada rango se le asigna una calificación cuantitativa.

Disponibilidad de los datos (cualitativo)

Plenamente disponibles.

Frecuencia de medición

Mensual y anual.

Periodicidad de análisis

Mensual y anual.

Relación del indicador con objetivos, políticas, normas, iniciativas locales o mundiales o metas ambientales

El índice está establecido en el sistema de indicadores del Ideam y es reportado cada cuatro años en el *Estudio nacional del agua*. Este índice junto con otros indicadores permite caracterizar la oferta natural de las cuencas (Ideam, 2010; MinAmbiente e Ideam, 2014, 2018).

Datos complementarios o de soporte

NA.

Tabla de datos

Se pueden generar tablas de datos resumiendo los resultados obtenidos.

Gráficos, mapas u otros diagramas

Gráficos de líneas.

Meta y actividades mínimas

NA.

Responsable interno del indicador

Corporación Autónoma Regional de Caldas (Corpocaldas).

Créditos y agradecimientos

- Instituto de Estudios Ambientales (Idea) de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales.
- Propietarios de estaciones de monitoreo.

Comentarios

Para lograr una adecuada medición de este indicador y garantizar su consistencia y homogeneidad en el tiempo se requiere ejecutar un protocolo de densificación de la red, operación continua, mantenimiento preventivo o correctivo, reposición de equipos y componentes y calibración de los mismos.

Índice estandarizado de precipitación



Citación: UN y Corpocaldas (2014). *Hojas metodológicas*. Centro de Datos e Indicadores Ambientales de Caldas (CDIAC). http://cdiac.manizales.unal.edu.co/inicio/

Identificador del indicador

SPI.

Nombre del indicador

Índice estandarizado de precipitación.

Tipo de indicador

Indicador de estado.

Descripción del indicador

El SPI clasifica en distintas categorías los periodos húmedos y secos de una región determinada.

Relevancia o pertinencia del indicador

Es adecuado para determinar la ocurrencia y seguimiento de las sequías. El SPI permite cuantificar el déficit de precipitación en múltiples escalas temporales. El SPI es apto para el estudio de sequías cortas (importantes para la agricultura) o prolongadas (relevantes para manejo de recursos hídricos). Así se reflejan los efectos de la sequía en diferentes recursos hídricos.

Definición de las variables que componen el indicador

Precipitación total diaria

Precipitación total (mm) registrada para un monitoreo de 24 horas (entre las 00:00 y las 24:00 horas) en estaciones de monitoreo con equipos de medición de precipitación.

Fórmula de cálculo del indicador

Metodología de cálculo del SPI

El SPI se calcula usando los datos estandarizados (normalizados) de series de precipitación acumuladas a diferentes escalas temporales (p. ej. 1, 3, 6, 12, 24, etc. meses) (MinAmbiente e Ideam, 2018; OMM, 2012). Los pasos para seguir son:

1. Se selecciona la serie de precipitación histórica de referencia. La serie se obtiene de los monitoreos históricos de precipitación de

la red de estaciones hidrometeorológicas y otras estaciones del departamento.

2. La serie de precipitación histórica de referencia se ajusta a una distribución de probabilidad. Se recomienda la distribución gamma de dos parámetros.
3. La serie de precipitación de interés para el cálculo del SPI (la cual puede ser diferente a la serie de referencia) se convierte en distribución normal estandarizada, con media 0 y varianza 1. Esta conversión se realiza utilizando los parámetros obtenidos en el paso 2. En la abscisa se ubica el SPI.

   Nota: la serie de precipitación de interés depende de la escala de tiempo elegida. Para el cálculo del SPI en el departamento de Caldas; se recomienda utilizar escalas temporales de 1, 3, 6, 9 y 12 meses.

Unidad de medida del indicador

Adimensional.

Criterio de calificación

El criterio de calificación del indicador se basa en determinar, para diferentes escalas temporales, periodos de sequía o periodos húmedos según los valores de precipitación analizados, comparándolos con la tabla siguiente.

Rango de calificación y semáforo

Categorías de periodos húmedos y secos según los valores del SPI.

Tabla 53. Clasificación de índice estandarizado de precipitación

ISP	Categoría
>= 2,0	Extremadamente húmedo

1,5 a 2,0	Muy húmedo
1,0 a 1,5	Moderadamente húmedo
-1,0 a 1,0	Normal
-1,5 a -1,0	Moderadamente seco (sequía moderada)
-2,0 a -1,5	Muy seco (sequía severa)
<= -2,0	Extremadamente seco (sequía extrema)

Fuente: Ideam (2019).

Alcance

Periodos de sequía o periodos húmedos para escalas temporales de 1, 3, 6, 9 y 12 meses analizados para series históricas de precipitación.

Restricciones del indicador

Indicador sujeto a la densidad de la red de estaciones meteorológicas y aquellos municipios con puntos de monitoreo en los cuales se genere información sobre precipitación. Es menos representativo a medida que la serie histórica de datos es pequeña, ya que disminuye la exactitud de la densidad de probabilidad de la serie de datos. Es un indicador basado únicamente en la precipitación, es decir, que no incluye otros componentes del ciclo hidrológico como la humedad en el suelo, por lo que no necesariamente explica de manera apropiada la ocurrencia de sequías en un sitio.

Sitio del muestreo

Este indicador aplica para aquellos municipios en los cuales se tienen estaciones de monitoreo de precipitación.

Cobertura o escala de indicador

Municipal y departamental.

Fuente de los datos

Diversos propietarios de estaciones de monitoreo de la precipitación en Manizales.

Método de levantamiento o captura de los datos

Protocolos nacionales e internacionales de monitoreo de la precipitación utilizando pluviómetros (OMM, 2008, 2014).

Disponibilidad de los datos (cualitativo)

Plenamente disponibles, previo monitoreo de la precipitación y organización de la base de datos con los registros históricos.

Frecuencia de medición

Depende de la frecuencia de medición de las estaciones de dónde se tomen los datos.

Periodicidad de análisis

Mensual.

Relación del indicador con objetivos, políticas, normas, iniciativas locales o mundiales o metas ambientales

Este indicador es ampliamente utilizado por diferentes servicios meteorológicos del mundo. Se destacan la Organización Meteorológica Mundial (OMM), la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA) por sus siglas en inglés, el Servicio Meteorológico Nacional de Argentina, Instituto Nacional de Meteorología de Brasil, entre otros. En Colombia, el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam) lo ha usado para el análisis de los periodos secos extremos en el país, en el *Estudio nacional del agua* desde 2018, específicamente, "se busca identificar

tendencias de precipitación en escalas temporales medias, en las que un valor extremo puede indicar efectos en el almacenamiento de los embalses y afectaciones en el abastecimiento nacional" (Ideam, 2019, p. 70). Por esta razón, en el ENA del 2018 se mostró únicamente los resultados correspondientes a la escala de acumulación del SPI de 1 y 12 meses.

Datos complementarios o de soporte

NA.

Tabla de datos

Se pueden generar tablas de datos resumiendo los resultados obtenidos para los diferentes meses.

Gráficos, mapas u otros diagramas

Mapas de condiciones de sequía o humedad según valores del SPI. Evolución del SPI para diferentes años.

Meta y actividades mínimas

Implementar el indicador en Manizales, así como en los municipios que lo requieran.

Responsable interno del indicador

Corporación Autónoma Regional de Caldas (Corpocaldas).

Créditos y agradecimientos

- Instituto de Estudios Ambientales (Idea) de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales.

  Propietarios de estaciones de monitoreo.

Comentarios

Para lograr una adecuada medición de este indicador y garantizar su consistencia y homogeneidad en el tiempo, se requiere ejecutar un protocolo de densificación de la red, operación continua, mantenimiento, reposición de equipos y componentes y calibración de los mismos.

Índice de uso del agua



Citación: UN y Corpocaldas (2014). *Hojas metodológicas*. Centro de Datos e Indicadores Ambientales de Caldas (CDIAC). http://cdiac.manizales.unal.edu.co/inicio/

Identificador del indicador

IUA.

Nombre del indicador

Índice de uso del agua.

Tipo de indicador

Indicador de estado.

Descripción del indicador

Estima la suficiencia o insuficiencia de precipitación para sostenimiento de ecosistemas. Es una característica cualitativa del clima que permite medir el grado de suficiencia o insuficiencia de la precipitación para el sostenimiento de los ecosistemas de una región. Identifica áreas deficitarias o de excedentes de agua, calculadas a partir del balance hídrico superficial (Ideam, 2010).

Relevancia o pertinencia del indicador

Este indicador representa la demanda de agua que ejercen en su conjunto las actividades económicas y sociales para su uso y aprovechamiento frente a la oferta hídrica disponible (neta). Esta relación se calcula para condiciones hidrológicas medias y secas, dando una visión general de la situación de la disponibilidad de agua actual y con las proyecciones futuras del abastecimiento en el ámbito nacional y regional, de tal manera que los organismos del Estado involucrados en la gestión ambiental y en los recursos hídricos tomen las medidas necesarias para que los planes de ordenamiento del uso de los recursos naturales y manejo sostenible de las cuencas hidrográficas tengan en cuenta zonas que presentan índices de escasez con niveles preocupantes y otras características desfavorables.

Definición de las variables que componen el indicador

Oferta hídrica (OHTD) (m^3)

Volumen de agua disponible para una unidad de análisis dada (cuenca hidrográfica, área municipal y sistemas hídricos que abastecen cabeceras municipales) en un periodo determinado (anual, mensual, etc.), teniendo en cuenta las fases fundamentales del ciclo hidrológico.

Demanda hídrica (Dh) (m^3)

Volumen de agua utilizado por las actividades socioeconómicas en una unidad espacial de análisis y un periodo determinado. Se determina asociando los siguientes usos, así:

$$DT = Dud + Dui + Dus + Dua + Dup$$

D_{ud} = demanda de agua para consumo doméstico.
D_{ui} = demanda de agua para uso industrial.
D_{us} = demanda de agua para el sector de servicios.
D_{ua} = demanda de agua para uso agrícola.
D_{up} = demanda de agua para uso pecuario.

Fórmula de cálculo del indicador

$$IUA = \frac{Dh}{OHDT}$$

Donde, Dh es la demanda hídrica sectorial total (m^3/s) y OHDT es la oferta hídrica disponible total (m^3/s).

Unidad de medida del indicador

Adimensional.

Criterio de calificación

La calificación de este indicador se basa en la clasificación cualitativa en cinco categorías, indicando las características de presión sobre el recurso hídrico en cierta región (Ideam, 2010).

Rango de calificación y semáforo

Tabla 54. Rango de calificación del índice de uso del agua

Calificador	Significado	Ámbito numérico
Muy alto	La presentación de la demanda es muy alta con respecto a la oferta disponible	>50
Alto	La presión de la demanda es alta con respecto a la oferta disponible	20,01-50
Moderado	La presión de la demanda es moderada con respecto a la oferta disponible	10,01-20
Bajo	La presión de la demanda es baja con respecto a la oferta disponible	1-10
Muy bajo	La presión de la demanda no es significativa con respecto a la oferta disponible	<= 1

Fuente: Ideam (2010).

Alcance

¿Qué mide el indicador?

Estimar la relación entre la oferta y demanda de agua incluyendo las reducciones en la oferta total de agua para mantener el funcionamiento ecosistémico de las fuentes abastecedoras de agua.

Restricciones del indicador

Calibración y funcionamiento de los equipos que miden la oferta y cuantificaciones que se realicen de la demanda.

Sitio del muestreo

Departamento de Caldas.

Cobertura o escala de indicador

Cuenca, subzonas.

Fuente de los datos

Diversos propietarios de estaciones de monitoreo de la precipitación en Caldas.

Método de levantamiento o captura de los datos

Protocolos nacionales e internacionales (OMM, 2008, 2014) de monitoreo de la temperatura por medio de termómetros.

Disponibilidad de los datos (cualitativo)

Plenamente disponibles.

Frecuencia de medición

Mensual y anual.

Periodicidad de análisis

Mensual y anual.

Relación del indicador con objetivos, políticas, normas, iniciativas locales o mundiales o metas ambientales

El índice está establecido en el sistema de indicadores del Idea, y es reportado cada cuatro años en el *Estudio nacional del agua*. Este índice junto con otros indicadores permite caracterizar las presiones sobre los recursos hídricos (Ideam, 2010; MinAmbiente e Ideam, 2014, 2018).

Datos complementarios o de soporte

NA.

Tabla de datos

Se pueden generar tablas de datos resumiendo los resultados obtenidos.

Gráficos, mapas u otros diagramas

Gráficos de líneas.

Meta y actividades mínimas

NA.

Responsable interno del indicador

Corporación Autónoma Regional de Caldas (Corpocaldas).

Créditos y agradecimientos

- Instituto de Estudios Ambientales (Idea) de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales.
- Propietarios de estaciones de monitoreo.

Comentarios

Para lograr una adecuada medición de este indicador y garantizar su consistencia y homogeneidad en el tiempo, se requiere ejecutar un protocolo de densificación de la red, operación continua, mantenimiento preventivo o correctivo, reposición de equipos y componentes y calibración de los mismos.

Índice de vulnerabilidad por desabastecimiento hídrico



Citación: UN y Corpocaldas (2014). *Hojas metodológicas*. Centro de Datos e Indicadores Ambientales de Caldas (CDIAC). http://cdiac.manizales.unal.edu.co/inicio/

Identificador del indicador

Índice de vulnerabilidad por desabastecimiento hídrico (IVH).

Nombre del indicador

IVH.

Tipo de indicador

Indicador de estado.

Descripción del indicador

Este indicador determina la fragilidad de mantener la oferta para abastecimiento. Es el grado de fragilidad del sistema hídrico para mantener la oferta para el abastecimiento de agua, que ante amenazas como periodos largos de estiaje o eventos como el fenómeno cálido del Pacífico (El Niño) podría generar riesgos de desabastecimiento. El IVH se determina a través de

una matriz de relación de rangos de Índice de Regulación Hídrica (IRH) y el índice de uso de agua (IAU) (MinAmbiente e Ideam, 2014).

Relevancia o pertinencia del indicador

Permite el análisis de la posible pérdida de oferta en una región específica.

Definición de las variables que componen el indicador

Se requiere el cálculo de los índices IRH y IUA.

Fórmula de cálculo del indicador

El IVH se determina a través de una matriz de relación de rangos del índice de regulación hídrica (IRH) y el Índice de uso de agua (IUA).

Unidad de medida del indicador

Adimensional.

Criterio de calificación

La calificación de este indicador se basa en la clasificación cualitativa en cinco categorías, indicando el nivel de desabastecimiento en la región analizada (Ideam, 2010).

Rango de calificación y semáforo

Tabla 55. Matriz de relación para categorizar el Índice de vulnerabilidad al desabastecimiento (IVH)

IRH / Rango IUA	Alto	Moderado	Bajo	Muy bajo
Muy bajo	Muy bajo	Bajo	Medio	Medio
Bajo	Bajo	Bajo	Medio	Medio
Medio	Medio	Medio	Alto	Alto
Alto	Medio	Alto	Alto	Muy Alto
Muy alto	Medio	Alto	Alto	Muy Alto

Fuente: elaboración propia.

Alcance

¿Qué mide el indicador?

NA.

Restricciones del indicador

Calibración y funcionamiento de los equipos que miden la oferta y cuantificaciones que se realicen de la demanda.

Sitio del muestreo

Departamento de Caldas.

Cobertura o escala de indicador

Cuenca, subzonas.

Fuente de los datos

Diversos propietarios de estaciones de monitoreo de la precipitación en Caldas.

Método de levantamiento o captura de los datos

NA.

Disponibilidad de los datos (cualitativo)

Plenamente disponibles.

Frecuencia de medición

Mensual y anual.

Periodicidad de análisis

Mensual y anual.

Relación del indicador con objetivos, políticas, normas, iniciativas locales o mundiales o metas ambientales

El índice está establecido en el sistema de indicadores del Ideam y es reportado cada cuatro años en el *Estudio nacional del agua*. Este índice junto con otros indicadores permite caracterizar la vulnerabilidad en las cuencas (Ideam, 2010, 2019; MinAmbiente e Ideam, 2014).

Datos complementrios o de soporte

NA.

Tabla de datos

Se pueden generar tablas de datos resumiendo los resultados obtenidos.

Gráficos, mapas u otros diagramas

Gráficos de líneas.

Meta y actividades mínimas

NA.

Responsable interno del indicador

Corporación Autónoma Regional de Caldas (Corpocaldas).

Créditos y agradecimientos

- Instituto de Estudios Ambientales (Idea) de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales.
- Propietarios de estaciones de monitoreo.

Comentarios

Para lograr una adecuada medición de este indicador y garantizar su consistencia y homogeneidad en el tiempo, se requiere ejecutar un protocolo de densificación de la red, operación continua, mantenimiento preventivo o correctivo, reposición de equipos y componentes y calibración de los mismos.

Intensidad media de eventos de precipitación



Citación: UN y Corpocaldas (2014). *Hojas metodológicas*. Centro de Datos e Indicadores Ambientales de Caldas (CDIAC). http://cdiac.manizales.unal.edu.co/inicio/

Identificador del indicador

Intensidad media de eventos de precipitación (IM).

Nombre del indicador

IM.

Tipo de indicador

Indicador de estado.

Descripción del indicador

Este indicador permitirá llevar registros de los eventos de lluvia de manera individual, diferenciando cada uno y definiendo sus principales características. De esta manera, se podrá realizar una identificación de los eventos más intensos, de los de mayor duración, o de los de mayor magnitud.

Relevancia o pertinencia del indicador

Es importante en la evaluación de los eventos de lluvia y la definición de características climáticas regionales. Además, la clasificación de eventos puede acompañar otros indicadores en el establecimiento de umbrales y establecimiento de alertas para prevenir posibles estados de riesgo en la población. Puede ser un insumo en la información suministrada a tomadores de decisiones en los temas relacionados con prevención y atención de desastres (Suárez *et al*. 2017).

Definición de un evento de lluvia

Un evento de lluvia se define como una precipitación continua con una duración mayor a quince (15) minutos que supera los 2 mm de lluvia acumulada (Suárez *et al*. 2017). Según la anterior definición, un evento de lluvia será considerado de forma individual, si está separado de otro por un periodo seco de más de quince (15) minutos.

Definición de las variables que componen el indicador

Intensidad media horaria

Es la cantidad de precipitación acumulada equivalente a aquella que hubiera ocurrido si el evento tuviese duración de una hora. Se lo llama intensidad media, porque la acumulación de lluvia a lo largo del periodo de tiempo definido no es homogénea.

Curva de intensidad media máxima (IMM) (Monjo, 2012)

Es una relación entre intensidad y duración que puede resumirse con el parámetro adimensional (n). Llevar esta relación hacia un parámetro adimensional permite que esta metodología de clasificación de eventos pueda ser acoplada a cualquier lugar del planeta.

Fórmula de cálculo del indicador

Intensidad media

$$I = \frac{Ppt * 60}{D}$$

Donde:

I = intensidad media de la lluvia en un intervalo de tiempo, en este caso en una hora (mm/h).
Ppt_i = precipitación acumulada para la duración de la precipitación (mm).
D = duración del evento de lluvia (min).

Curva de intensidad media máxima (IMM) (Monjo, 2012)

$$\frac{I_1}{I_2} = \left(\frac{t_2}{t_1}\right)^n$$

Donde:
I_1 = intensidad media máxima para un periodo de tiempo en (mm/min) o (mm/h) dentro de un evento de referencia.
I_2 = intensidad media máxima para el tiempo total de duración del evento de referencia en (mm/min) o (mm/h).
t_1 = periodo de tiempo considerado para I_1 (min o h).
t_2 = periodo de tiempo considerado para I_2 (min o h).
n = parámetro adimensional.

Unidad de medida del indicador

Para los métodos de clasificación basados en la intensidad de la lluvia, la unidad de medida es milímetros por hora (mm/h) y para los métodos basados en la variabilidad de la lluvia, milímetros (mm).

Criterio de calificación

El índice posee tres metodologías distintas para la clasificación de los eventos de lluvia:

- Método norteamericano: este método está basado en la intensidad de la lluvia (sugerido por Linsley *et al.*, 1977) y establece como

criterio el valor de la intensidad de los eventos de lluvia. Posee tres categorías de lluvia: ligera, moderada y fuerte.

- Método de la Agencia Estatal de Meteorología de España (Aemet): este método, al igual que el método norteamericano, define diferentes umbrales de lluvia dependiendo de su intensidad. La Aemet definió los umbrales en una campaña denominada Previmet, que buscaba definir los riesgos generados por la precipitación (Llasat, 2001). La clasificación se basa en la intensidad media horaria y establece cinco umbrales de intensidad: débil, moderado, fuerte, muy fuerte y torrencial.
- Método basado en el índice n: este método se basa en el cálculo del índice n de la precipitación intensa, propuesto por Monjo (2012). Se definen cinco tipos de precipitación en función de la variabilidad de la precipitación, asociándolas a tres características específicas: tipo de curva, intensidad y distribución temporal. Consiste en ordenar de mayor a menor la intensidad media máxima (IMM) para diferentes intervalos de tiempo. Cada tipo de lluvia muestra la siguiente clasificación:
  - Según el tipo de curva: muy suave, suave, normal, pronunciada, muy pronunciada.
  - Según su intensidad: prácticamente constante, débilmente variable, variable, moderadamente variable, fuertemente variable.
  - Según su distribución temporal: muy regular, regular, irregular, muy irregular, casi instantánea.

Rango de calificación y semáforo

Método norteamericano

Tabla 56. Clasificación de lluvias método norteamericano

Clasificación	Intensidad	Observación
Ligera	Para tasas de caída hasta 2,5 mm/h	Las gotas se pueden identificar fácilmente unas de otras. Cuando existe una superficie expuesta seca, esta tarda más de dos minutos en mojarse completamente.
Moderada	Para tasas desde 2,5 hasta 7,6 mm/h	No se pueden identificar gotas individuales, se forman charcos con gran rapidez. Las salpicaduras de la precipitación se observan hasta cierta altura del suelo.
Fuerte	Por encima de 7,5 mm/h	La visibilidad es escasa y las gotas que salpican sobre la superficie se levantan varios centímetros.

Fuente: Linsley *et al*. (1977).

Método Aemet

Tabla 57. Clasificación de la lluvia según la intensidad media en una hora

Clasificación	Intensidad
Débil	Entre 0,1 y 2 mm/h
Moderado	Entre 2,1 y 15 mm/h
Fuerte	Entre 15,1 y 30 mm/h
Muy fuerte	Entre 30,1 y 60 mm/h
Torrencial	Más de 60 mm/h

Fuente: Amet (2015). Método basado en el índice n.

Tabla 58. Clasificación de la lluvia según la regularidad de la intensidad

n	Tipo de curva	Intensidad	Distribución temporal
0,00-0,20	Muy suave	Prácticamente constante	Muy regular
0,20-0,40	Suave	Débilmente variable	Regular
0,40-0,60	Normal	Variable	Irregular
0,60-0,80	Pronunciada	Moderadamente variable	Muy irregular
0,80-1,00	Muy pronunciada	Fuertemente variable	Casi instantánea

Fuente: Monjo (2012).

Alcance

¿Qué mide el indicador?

Clasifica los eventos de lluvia bajo tres metodologías diferentes.

Restricciones del indicador

Calidad, homogeneidad y consistencia de los registros de lluvia generados por la red de estaciones meteorológicas. Las metodologías basadas en intensidad de lluvia definen sus umbrales de acuerdo con el comportamiento de la lluvia, en las regiones para las cuales fueron adaptadas.

Sitio del muestreo

Se puede aplicar para aquellos sitios donde exista un registro consistente de datos de precipitación.

Cobertura o escala de indicador

Departamento de Caldas.

Fuente de los datos

Diversos propietarios de estaciones de monitoreo de la precipitación en Caldas.

Método de levantamiento o captura de los datos

Las establecidas para el levantamiento de precipitación (OMM, 2008, 2014).

Disponibilidad de los datos (cualitativo)

Plenamente disponibles.

Frecuencia de medición

Depende de la frecuencia de medición de la estación.

Periodicidad de análisis

Diario, mensual, anual.

Relación del indicador con objetivos, políticas, normas, iniciativas locales o mundiales o metas ambientales

NA.

Datos complementarios o de soporte

NA.

Tabla de datos

Se pueden generar tablas de datos resumiendo los resultados obtenidos.

Gráficos, mapas u otros diagramas

Gráficos de líneas.

Meta y actividades mínimas

NA.

Responsable interno del indicador

Corporación Autónoma Regional de Caldas (Corpocaldas).

Créditos y agradecimientos

- Instituto de Estudios Ambientales (IDEA) de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales.
- Propietarios de estaciones de monitoreo.

Comentarios

Para lograr una adecuada medición de este indicador y garantizar su consistencia y homogeneidad en el tiempo, se requiere ejecutar un protocolo de densificación de la red, operación continua, mantenimiento preventivo o correctivo, reposición de equipos y componentes y calibración de los mismos.

Referencias

Aemet (2015). Manual de uso de términos meteorológicos. *Agencia Estatal de Meteorología, 36*. Recuperado de http://www.aemet.es/documentos/es/eltiempo/prediccion/comun/Manual_de_uso_de_terminos_met_2015.pdf

Ideam (2010). *Estudio nacional del agua 2010*. Bogotá, D.C.: autor.

Ideam (2013). *Hojas metodológicas. Sistema de Información Ambiental* (SIAC). Bogotá, D.C.: autor.

Ideam (2019). *Estudio nacional del agua 2018*. Bogotá, D.C.: autor.

Linsley, R. K. J., Kolher, M. A., r Paulus, J. L. H. (1977). *Hidrología para ingenieros*. Segunda edición. McGraw-Hill Latinoamérica.

Llasat, M. C. (2001). An objective classification of rainfall events on the basis of their convective features: application to rainfall intensity in the northeast of spain. *International Journal of Climatology, 21*(11), 1385-1400. https://doi.org/10.1002/joc.692

MinAmbiente e Ideam (2014). *Estudio nacional del agua 2014*.

Monjo, R. (2012). *El índice N de la precipitación intensa*.

OMM (2008). *Guía de métodos de observación e instrumentos meteorológicos*.

OMM (2014). Capítulo 2: Medición de la temperatura. En *Guía de instrumentos y métodos de observación meteorológicos*. N.° 8.

Suárez, J. N., Romo Melo, L., Vélez-Upegui, J. J., y Chang, P. E. (2016). Identificación y clasificación de eventos de lluvia de diferente duración en una región del área Andina colombiana. En *XXVII Congreso Latinoamericano de Hidráulica*. Lima, Perú.

Hojas metodológicas de indicadores suelos

Porcentaje de área de cada tipo de cobertura



Citación: UN y Corpocaldas (2014). *Hojas metodológicas*. Centro de Datos e Indicadores Ambientales de Caldas (CDIAC). http://cdiac.manizales.unal.edu.co/inicio/

Identificador del indicador

Porcentaje de área de la cobertura tipo a para el año i en suelos del departamento de Caldas (Cobert).

Nombre del indicador

Cobert.

Tipo de indicador

Indicador de estado.

Descripción del indicador

El indicador permite definir el porcentaje de área de un tipo de cobertura C existente en una región para un año dado.

Relevancia o pertinencia del indicador

La pertinencia hace referencia a la importancia de conocer el estado de cada cobertura como producto del uso que le da a los suelos.

Aunque el indicador permite conocer el estado del análisis de un tipo específico de cobertura, lo que servirá de base para establecer indicadores de tendencia o de presión sobre el medio natural.

Definición de las variables que componen el indicador

A_i = área de un tipo de cobertura o usos del suelo para i.

At_i = área total del departamento de Caldas para i.

Fórmula de cálculo del indicador

$$Ca_i = \frac{A_i}{A_t} 100$$

Donde:
Ca_i =la porción de área del tipo de cobertura a para i.
A_i = área de un tipo de cobertura o usos del suelo para el mismo año i.
At_i =área total del departamento de Caldas para i.

Unidad de medida del indicador

Porcentaje.

Criterio de calificación

La depresión es un criterio de clasificación, ya que se debe comparar cada indicador con el respectivo plan de ordenamiento y con el mapa de vocación del suelo para definir si se ejerce presión sobre el medio natural y de qué magnitud. No existe un criterio de calificación único, este debe ser establecido por los organismos de control.

Rango de calificación y semáforo

NA.

Alcance

¿Qué mide el indicador?

Definir el estado en un año específico de un determinado tipo de cobertura.

Restricciones del indicador

Los datos se obtienen principalmente de imágenes remotas. Con los recursos actuales es posible llegar a resoluciones muy detalladas, pero los costos pueden ser elevados para estudio de áreas grandes, como es el caso del departamento de Caldas.

Sitio del muestreo

Departamento de Caldas.

Cobertura o escala de indicador

Cuencas.

Fuente de los datos

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), Ministerio de Medio Ambiente, Corpocaldas, centros de investigación y universidades.

Método de levantamiento o captura de los datos

Los datos se obtienen mediante interpretación de imágenes remotas, en este caso las utilizadas para generar el mapa de ecosistemas de Caldas.

Disponibilidad de los datos (cualitativo)

Disponible después de la toma de imágenes en digital y físico. Los datos están actualizados en el estudio realizado por Corpocaldas (WWF, 2010): mapa de ecosistemas de Caldas. Se requiere seguir adelantando monitoreo permanente, los datos se toman de los mapas de usos y coberturas de los suelos para el departamento los que están disponibles en los Pomca de cada cuenca.

Frecuencia de medición

5 años.

Periodicidad de análisis

5 años.

Relación del indicador con objetivos, políticas, normas, iniciativas locales o mundiales o metas ambientales

Se enmarca en proyectos orientados a determinar los niveles de degradación de suelos o su posible afectación, así como a determinar características hidrológicas.

Datos complementarios o de soporte

NA.

Tabla de datos

Se pueden generar tablas de datos resumiendo los resultados obtenidos.

Gráficos, mapas u otros diagramas

Mapas.

Meta y actividades mínimas

NA.

Responsable interno del indicador

Corporación Autónoma Regional de Caldas (Corpocaldas).

Créditos y agradecimientos

- Instituto de Estudios Ambientales (IDEA) de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales.

Comentarios

Para lograr una adecuada medición de este indicador y garantizar su consistencia y homogeneidad en el tiempo se requiere ejecutar un protocolo de densificación de la red, operación continua, mantenimiento preventivo o correctivo, reposición de equipos y componentes y calibración de los mismos.

Variación temporal de la cobertura



Citación: UN y Corpocaldas (2014). *Hojas metodológicas*. Centro de Datos e Indicadores Ambientales de Caldas (CDIAC).

Identificador del indicador

Grado de variación del área de la cobertura tipo C para el periodo t en suelos del departamento de Caldas (VAR-Cobert-t).

Nombre del indicador

VAR-Cobert-t.

Tipo de indicador

Indicador de estado-respuesta.

Descripción del indicador

El indicador permite identificar las dinámicas de variación (expansión o retroceso) de los diferentes tipos de coberturas y usos del suelo.

Relevancia o pertinencia del indicador

Este indicador debe ser complementado con las políticas de uso y los planes de ordenamiento territorial, ambiental y de recursos para su correcta lectura.

Al considerar los porcentajes de variación (tendencias) en el tiempo el indicador permitirá definir si se están efectuando procesos eficaces o deficientes en el manejo y conservación de los recursos naturales.

Definición de las variables que componen el indicador

Ca_i es el porcentaje de un tipo de cobertura o usos del suelo a para inicial i y Caf es el porcentaje de un tipo de cobertura o usos del suelo a para final f.

Fórmula de cálculo del indicador

$$Ca_t = Ca_i - Ca_f$$

Donde:

Ca_t= porcentaje de área del tipo de cobertura a para el periodo t.

Ca_i = porcentaje de un tipo de cobertura o usos del suelo a para inicial i.

Caf= porcentaje de un tipo de cobertura o usos del suelo a para final f.

Unidad de medida del indicador

Porcentaje.

Criterio de calificación

De tendencia: se definirá si la tendencia es decreciente o creciente a lo largo de los años y la velocidad de cambio entre periodos. Es decir, no existe un criterio de calificación único. Este debe ser establecido según las políticas de ordenamiento de las entidades de control para cada caso.

Rango de calificación y semáforo

NA.

Alcance

¿Qué mide el indicador?
El indicador solo mide variaciones multitemporales de cada tipo de cobertura.

Restricciones del indicador

Los datos se obtienen principalmente de imágenes remotas. Con los recursos actuales es posible llegar a resoluciones muy detalladas, pero los costos pueden ser elevados para estudio de áreas grandes, como es el caso del departamento de Caldas.

Sitio del muestreo

Departamento de Caldas.

Cobertura o escala de indicador

Cuencas. Escala o resolución para el nivel departamental 1:200 000, escala a nivel de cuenca 1:25 000.

Fuente de los datos

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), Ministerio de Medio Ambiente, Corpocaldas, centros de investigación y universidades.

Método de levantamiento o captura de los datos

Los datos se obtienen mediante interpretación de imágenes remotas, en este caso las utilizadas para generar el mapa de ecosistemas de Caldas.

Disponibilidad de los datos (cualitativo)

Disponible después de la toma de imágenes en digital y físico. Los datos están actualizados en el estudio realizado por Corpocaldas (WWF, 2010): mapa de ecosistemas de Caldas. Se requiere seguir adelantando monitoreo permanente, se enmarca en proyectos orientados a determinar los niveles de degradación de suelos o su posible afectación, así como a determinar características hidrológicas.

Frecuencia de medición

5 años.

Periodicidad de análisis

5 años.

Relación del indicador con objetivos, políticas, normas, iniciativas locales o mundiales o metas ambientales

Se enmarca en proyectos orientados a determinar los niveles de degradación de suelos o su posible afectación, así como a determinar características hidrológicas.

Datos complementarios o de soporte

NA.

Tabla de datos

Se pueden generar tablas de datos resumiendo los resultados obtenidos.

Gráficos, mapas u otros diagramas

Mapas.

Meta y actividades mínimas

NA.

Responsable interno del indicador

Corporación Autónoma Regional de Caldas (Corpocaldas).

Créditos y agradecimientos

Instituto de Estudios Ambientales (IDEA) de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales.

Comentarios

Para lograr una adecuada medición de este indicador y garantizar su consistencia y homogeneidad en el tiempo, se requiere ejecutar un protocolo de densificación de la red, operación continua, mantenimiento preventivo o correctivo, reposición de equipos y componentes y calibración de los mismos.

Índice analítico

"Aviso: En esta versión ePub de la obra no hay números de página fijos. Los números que aparecen a continuación corresponden a las páginas de la versión impresa, por lo cual podrían no dirigir al pasaje del texto correcto. Sin embargo, estas listas de términos funcionan como un índice de palabras clave".

A

Abiótico 26
Anomalía de precipitación (AP) 40, 110, 111, 112, 114, 182, 184, 188, 211

B

Biodiversidad 24, 28, 43, 78, 95

C

Clasificación climática
- de Lang 101, 102, 118
- de Caldas-Lang 101, 102, 118

D

Dióxido de azufre 46, 52, 159, 166, 168, 176, 178
Dióxido de carbono 50, 54, 181, 190, 192

E

El Niño 36, 68, 73, 101, 237

Escala de Beaufort 136

I

Índice de regulación hídrica 58, 68, 69, 72, 73, 221, 237, 238
Índice de uso de agua 64, 68, 73, 237, 238
Intervención antrópica 61

M

Macrofauna 77, 90
Material particulado
$PM_{2.5}$ 46, 47, 48, 49, 51, 52, 53, 150, 151, 153, 154, 155, 159, 160, 163, 166, 170, 171, 172, 173, 174, 175, 176, 177, 178, 210, 211
PM_{10} 46, 47, 48, 49, 51, 52, 53, 54, 150, 151, 153, 154, 155, 159, 160, 161, 166, 170, 171, 172, 173, 174, 175, 176, 177, 178, 179, 181, 188, 210, 211 Metano 54, 181, 190, 192
Microfauna
Monóxido de carbono 46, 52, 54, 159, 166, 167, 176, 178, 181

O

Ordenamiento ambiental 32
Óxido de nitrógeno 54, 166, 181
Óxido nitroso 54, 181, 190, 192
Ozono 46, 51, 52, 53, 159, 166, 167, 171, 176, 178, 181, 190

P

Precipitación acumulada (lluvia) (PPT) 40, 97, 98, 99, 100, 101, 106, 107, 111, 242,

S

Sedimentos 61, 63, 64, 69, 87

Definición de los indicadores de la línea base ambiental de Caldas

Se editó en la Editorial
Universidad Nacional de Colombia.
Bogotá, D. C., Colombia.
El libro se digitalizó en formato ePub
por Mákina Editorial en enero de 2023.

Esta publicación es un producto del proyecto "Estructuración de la Línea Base Ambiental de Caldas, Fase IV" desarrollado por la Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales, para la Corporación Autónoma Regional de Caldas (Corpocaldas). El libro, que aquí presenta su segunda edición, tiene por objetivo aportar a los ciudadanos y profesionales que trabajan en la planificación y gestión ambiental, y en la definición de indicadores clave para realizar monitoreo y seguimiento al estado de los recursos naturales, la respuesta a las acciones adelantadas, así como a la identificación de aquellas acciones que están causando impactos negativos y que, por tanto, deben ser corregidos.

Igualmente, el libro se propone como un soporte básico para los ejercicios de planificación, de manera que se pueda guiar a quienes se inicien en dicho proceso y tengan inquietudes sobre la forma en que se debe manipular la información, qué información se tiene disponible y cómo se deben construir los indicadores. Además, sus indicadores están conectados con su implementación en el departamento de Caldas en el Centro de Datos e Indicadores Ambientales (CDIAC), en el que se pueden consultar indicadores ya construidos con la base teórica que se indica en este libro.

www.libreriaunal.com



Índice

Portadilla 4
Página legal 7
Contenido 10
Introducción 18
Capítulo 1 Metodología y protocolos 23
- Introducción 23
- Antecedentes 24
- Lineamientos para la construcción de los indicadores de la Línea base ambiental de Caldas 28
- Marco ordenador para la construcción de los indicadores 29
- Conclusiones del capítulo 34
- Referencias 35

Capítulo 2 Indicadores de clima 36
- Clima 36
- Antecedentes sobre el seguimiento de indicadores en Caldas 38
- Metodología de trabajo para la elección de indicadores 41
- Análisis de indicadores definidos 41
- Conclusiones del capítulo 43
- Referencias 44

Capítulo 3 Indicadores de calidad del aire 46
- Introducción 46
- Conclusiones del capítulo 57
- Referencias 57

Capítulo 4 Indicadores de agua 59
- Aspectos generales 59
- Sistema de indicadores hídricos de Colombia 62
- Indicadores de agua propuestos para la Línea base ambiental de Caldas 76

Conclusiones del capítulo 78
Referencias 79
Capítulo 5 Indicadores de suelo y subsuelo 80
Conceptos del suelo 80
Propuesta de indicadores de calidad y salud del suelo para el departamento de Caldas 96
Conclusiones del capítulo 97
Referencias 99
Conclusiones 101
Anexos 104
Hojas metodológicas de indicadores de clima 104
Referencias 165
Hojas metodológicas de calidad del aire 166
Referencias 238
Hojas metodológicas de agua 241
Referencias 281
Hojas metodológicas de indicadores suelos 282
Índice analítico 292
Cubierta posterior 295