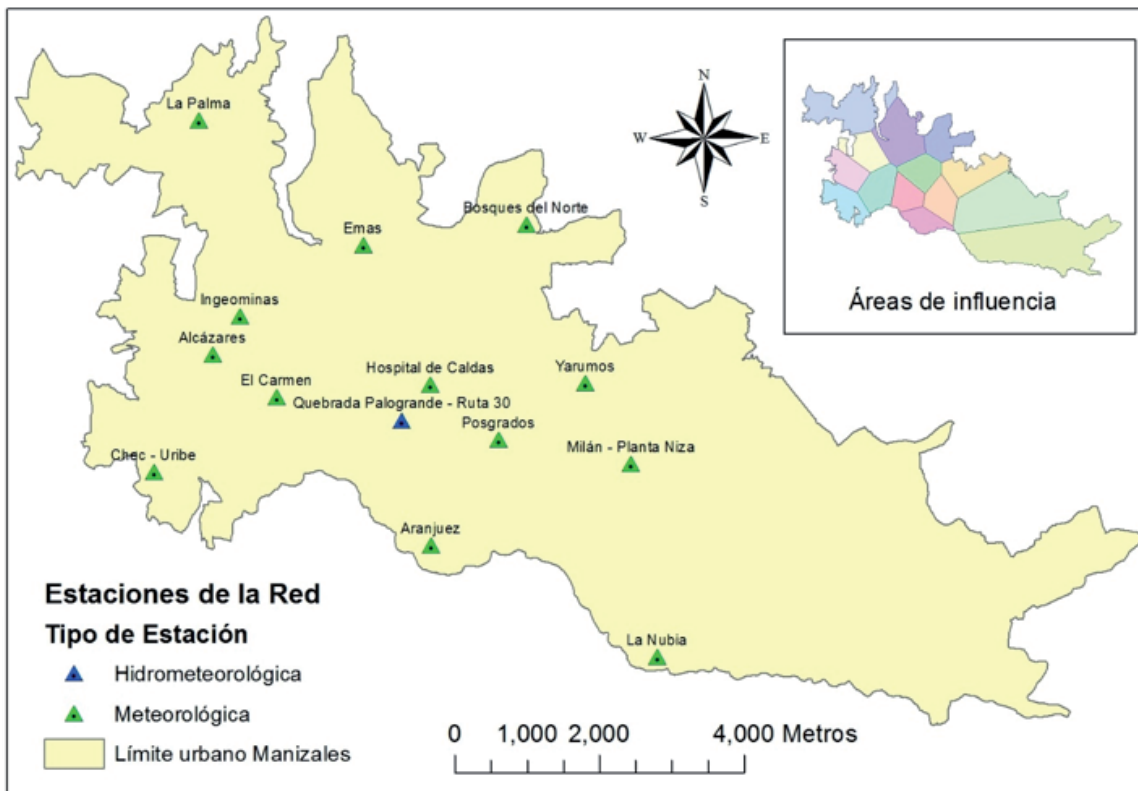


## Sistema Integrado de Monitoreo Ambiental de Caldas – SIMAC Red de estaciones meteorológicas e hidrometeorológicas automáticas de Manizales Estaciones para la gestión del riesgo ante desastres por deslizamientos

PRIMERA PARTE



Red de estaciones meteorológicas e  
hidrometeorológicas automáticas de Manizales  
Estaciones para la gestión del riesgo ante  
desastres por deslizamientos  
PRIMERA PARTE

JOHN ALEXANDER PACHÓN GÓMEZ, Ingeniero Civil, especialista en Ingeniería Hidráulica y Ambiental, operador de la Red Hidrometeorológica de Manizales administrada por el Instituto de Estudios Ambientales – IDEA de la Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales. [meteoro\\_man@unal.edu.co](mailto:meteoro_man@unal.edu.co)

FERNANDO MEJÍA FERNÁNDEZ, Ingeniero Civil, M. Sc. en Recursos Hidráulicos, profesor jubilado Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales. [fmejiaf@unal.edu.co](mailto:fmejiaf@unal.edu.co)

JEANNETTE ZAMBRANO NÁJERA, Ingeniera Civil, Ph.D, profesora asociada Departamento de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales. [jdzambnanona@unal.edu.co](mailto:jdzambnanona@unal.edu.co)

## RESUMEN

En este artículo se presenta un resumen de la existencia y funcionamiento de la red meteorológica e hidrometeorológica instalada en la ciudad de Manizales, que opera con el fin prioritario de gestionar el riesgo ante la ocurrencia de desastres por deslizamientos, y a la vez sirve para definir la línea base ambiental, el seguimiento de variables ambientales y la gestión de recursos medioambientales del municipio (esto se

realiza con las otras estaciones instaladas). Forma parte de un conjunto de redes de este mismo tipo, del municipio de Manizales y del departamento de Caldas, perteneciente a diferentes instituciones y entidades, que integran con las redes: sísmica, de calidad del aire y freaticométrica de Manizales, el Sistema Integrado de Monitoreo Ambiental de Caldas – SIMAC, en proceso de consolidación durante el 2017.

El escrito hace parte de una serie que busca mostrar los diferentes avances en el departamento y en la ciudad durante los últimos 20 años, para que los usuarios puedan conocer la importancia del monitoreo ambiental en el desarrollo de las sociedades y en el manejo de problemas como el de los riesgos de desastres causados por fenómenos naturales extremos como las lluvias intensas y los deslizamientos de ladera, que tantas pérdidas de bienes y vidas han causado en Manizales.

## DESCRIPCIÓN DE LA RED

### El concepto de una Red automática telemétrica de estaciones de monitoreo meteorológico e hidrometeorológico

Es un conjunto en el que interactúan estaciones emisoras o de monitoreo, que envían datos meteorológicos y/o hidrométricos teleméricamente cada determinado período de tiempo a una estación central o de acopio, donde personal especializado se encarga

de la administración y operación de la red, garantizando su funcionamiento continuo en el tiempo y generando información valiosa con diferentes finalidades, que apunten al bienestar de la comunidad en general.

### Importancia de una red de estaciones de monitoreo meteorológico e hidrometeorológico en Manizales

Manizales es una ciudad de media montaña centro andina, que se ha desarrollado urbanísticamente sobre un filo de la cordillera Central colombiana en su vertiente occidental, con vista hacia la zona de volcanes que conforman el volcán del Ruiz y el vol-

cán Cerro Bravo, entre otros (Mejía, 2003).

Las condiciones geográficas de la ciudad, sumadas a las climáticas (clima ecuatorial de montaña – régimen bimodal), a las geológico-tec-

tónicas (atravesada por una red de fallas submeridianas pertenecientes al sistema de fallas de Romeral – amenaza sísmica alta) y a las geológico-vulcanológicas (determinadas por la proximidad de volcanes como el Nevado del Ruiz, Cerro Bravo y Santa Isabel) que han influenciado la conformación de los suelos de la ciudad con aportes de cenizas volcánicas deleznable y susceptibles a remociones en masa, por efectos de las lluvias abundantes que caracterizan la región (2000 mm promedio anual) y han puesto de manifiesto, a lo largo del tiempo, terremotos que han sacudido la ciudad y erupciones volcánicas con emisiones piroclásticas hacia ella, especialmente ceniza y arena. (Mejía & Pachón, J. A. , 2006; CORPOCALDAS, 2010). Sin embargo, los deslizamientos de ladera (en una ciudad que ha crecido sin adecuado control en el uso del suelo urbano y ha

terminado ocupando zonas vetadas por la naturaleza para asentamientos humanos) se han constituido en una de las problemáticas que más emergencias, pérdidas de vida y daños a bienes ha causado históricamente y que tiene a la lluvia (fuertes, largos y continuos aguaceros) como el principal factor detonante. (Mejía, Char-don, A-C., Londoño, J. P., & Estrada, J. H., 2005).

De acuerdo con lo anterior, se justifica con creces el esfuerzo de las autoridades ambientales locales y regionales así como de la academia para contar con una red de estaciones de monitoreo meteorológico e hidrometeorológico que sirva como herramienta base para apoyar acciones de las entidades tomadoras de decisiones y que estén encaminadas a preservar la vida e infraestructura de las comunidades. (Mejía, 2003).

## RED ENFOCADA A LA PREVENCIÓN DE DESASTRES

Dadas las condiciones de vulnerabilidad en la ciudad de Manizales, de los 1141 eventos desastrosos registrados entre 1917 y 2007, los 972 correspondientes al 85% están asociados a deslizamientos (CORPOCALDAS, 2010).

Tabla 1. Registros de desastres históricos. Manizales 1917 – 2007

Fuente: Adaptado de Desinventar. Inventario Histórico de Desastres. Proyecto Gestión Integral del Riesgo en Manizales. CORPOCALDAS (2010)

Periodos	Deslizamientos	Hidrológico meteorológicos	Sismos	Erupciones volcánicas	Antrópico tecnológico	Total
1917-1962	25	37	6	0	0	68
1963-1977	163	9	6	0	2	180
1978-1982	85	13	1	0	5	104
1983-1989	78	10	0	2	13	103
1990-1994	149	7	0	0	5	161
1995-1998	195	10	1	0	2	208
2002-2007	277	27	1	0	12	317
<b>Total</b>	<b>972</b>	<b>113</b>	<b>15</b>	<b>2</b>	<b>39</b>	<b>1141</b>
Porcentaje de eventos de este tipo sobre el total	85.2%	9.9%	1.3%	0.2%	3.4%	100%

Teniendo en cuenta que los deslizamientos son el tipo de eventos desastrosos más recurrentes en la ciudad, como se demuestra en numerosas publicaciones académicas y de prensa (La Patria, 2011; La Patria, 2013; La Patria, 2017); la red se diseñó para que permitiera realizar seguimiento a la precipitación, uno de los factores más relevantes que detonan deslizamientos.

Adicionalmente al montaje de la red desde el año 2003 se realizó investigación paralela que permitiera correlacionar

lluvia con deslizamientos. Para esto se adoptó el indicador de lluvia antecedente de 25 días, denominado A25, como uno de los resultados de la tesis doctoral realizada en la ciudad por el holandés M. T. J. Terlien en el año 1996, y en cuya investigación correlaciona la ocurrencia de deslizamientos con acumulados de lluvia diaria. El umbral asociado al A25 fue de 200 mm, lo que significa que un acumulado de lluvia durante 25 días cercano a los 200 mm, incorpora una alta probabilidad de ocurrencia de deslizamientos (Terlien, 1996).

En el año de elaboración de dicha tesis en la ciudad solo se contaba con las estaciones de Agronomía y Aeropuerto La Nubia, de las cuales usó Terlien para su trabajo, datos de la estación Agronomía (ubicada en el centro-oriente de la ciudad) con 40 años de registros diarios al momento de la investigación (1956–1996), Terlien realizó las respectivas correlaciones con suelos y eventos del sector

norte de la ciudad (barrios Minitas, La Cumbre).

Este indicador, incorporado por el IDEA, fue adoptado por la Unidad de Gestión del Riesgo (UGR) e incluso, la misma directiva, posteriormente, le asoció rangos a los umbrales que permitirían determinar en un momento dado niveles de alerta temprana en Manizales, como se muestra a continuación:

Tabla 2. Niveles de alerta según indicador A25 adoptados por la UGR-Manizales

Nivel de alerta	Rango A25
Amarilla	200 mm <= A25 < 300 mm
Naranja	300 mm <= A25 < 400 mm
Roja	A25 >= 400 mm

Desde entonces, los reportes de lluvias e indicador A25 se generan diariamente como soporte a la toma de decisiones de las entidades y organismos encargados de manejar la prevención, reducción y atención de desastres en la ciudad de Manizales.

### Antecedentes de la red

Hace unos veinte años, la ciudad solo contaba con dos estaciones meteorológicas convencionales de referencia obligatoria; la primera es la estación Agronomía (activa desde el año 1956), propiedad del Centro Nacional de Investigaciones del Café – Cenicafé, ubicada en predios de la Universidad de Caldas (Jardín Botánico) hasta el año 2006 y reubicada en 2007 en instalaciones del Instituto Colombiano Agropecuario – ICA, a 300 m del lugar inicial. La segunda estación es la del Aeropuerto La Nubia (activa desde el año

1968), propiedad del IDEAM y emplazada en dicho aeropuerto al oriente de la ciudad. De acuerdo con los registros históricos de ellas, ya era evidente para entonces la alta variabilidad espacial de la lluvia entre los dos sectores, con una diferencia mayor a los 300 mm por año (ver tabla 3 y figura 1), valores siempre mayores en la estación Agronomía y teniendo en cuenta que la distancia entre las dos estaciones es solo de 4 km aproximadamente en línea recta.

Tabla 3. Registros de precipitación multianual promedio estaciones Agronomía – Aeropuerto La Nubia  
Fuente: Elaboración propia con base en datos de Cenicafé e IDEAM

Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Agronomía	131.1	130.9	164.2	201.7	192.6	120.3	78.8	91.2	151.2	257.0	230.0	151.9	1900.8
Aeropuerto La Nubia	103.5	94.0	133.9	176.2	161.9	108.9	74.2	74.2	139.8	209.0	176.5	131.5	1583.7

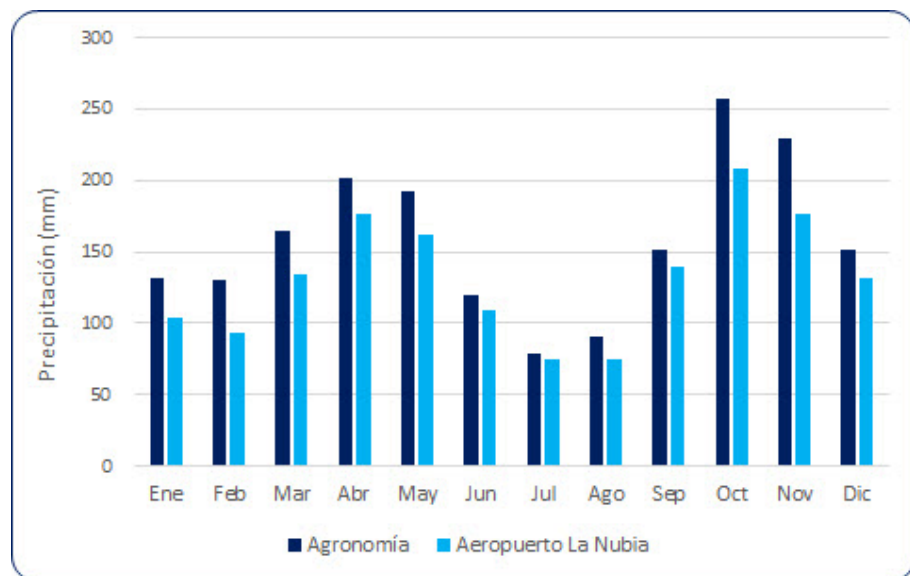


Figura 1. Precipitación multianual promedio estaciones Agronomía – Aeropuerto La Nubia  
Fuente: Elaboración propia con base en datos de Cenicafé e IDEAM

Las características de alto riesgo en Manizales, expuesta a procesos de desestabilización de laderas, deslizamientos, avalanchas, derrumbes, etc., ha requerido las acciones, desde tiempo atrás, de diferentes organismos según sus propósitos, como CORPOCALDAS (antiguo CRAMSA), la Alcaldía Municipal, la Oficina Municipal para la Prevención y Atención de Desastres – OMPAD (hoy Unidad de Gestión del Riesgo–UGR), la Secretaría de Planeación de Manizales, el Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Manizales – Ingeominas, la Empresa Metropolitana de Aseo –EMAS S.A E.S.P y los organismos de socorro, entre otros. Además, ha dado pie para estudios multidisciplinarios sobre causas y efectos de los fenómenos naturales o antrópicos generadores de desastres y emergencias en Manizales (Mejía, Chardon, A-C., Londoño, J. P., & Estrada, J. H., 2005).

En este orden de ideas, ya hace veinte años (agosto de 1997), EMAS recurrió a la Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales con el fin de instalar una estación meteorológica moderna para medir variables asociadas a la operación y control ambiental del Relleno Sanitario La Esmeralda.

A principios del 2002, la Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales emplaza una segunda estación en la terraza del Edificio de Posgrados del Campus Palogrande con fines académicos y como aporte de la institución al monitoreo del clima de la ciudad.

En el 2003 se presenta una propuesta a la UGR para el diseño, implementación y puesta en funcionamiento de una red meteorológica automática, que es aprobada por su director, el ingeniero civil Carlos Alberto García Montes, quien entendía la importancia de contar con dicha red. Esta red respondía a los problemas presentados en la ciudad por los más de 90 deslizamientos que detonaron las emergencias en marzo 18 y 19 del año 2003, y cuyo saldo fue de 16 muertos y 32 heridos, además de numerosas viviendas destruidas, familias damnificadas, y las consecuentes pérdidas millonarias.

En ese proyecto se instalaron 2 estaciones meteorológicas y 1 estación central así: la estación Ingeominas (2003) en el Centro Vulcanológico y Sismológico de Manizales – en Chipre; la estación Enea (hoy La Nubia) (2003) que se ubicaría en el

Bloque W del Campus La Nubia de la Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales y una estación central en el Instituto de Estudios Ambientales IDEA. Al año siguiente (2004) se instaló la estación Yarumos en el marco del proyecto Observatorios Ambientales para el Desarrollo Urbano Sostenible en Manizales, que se ubicó en la Biblioteca Orlando Sierra Hernández del Ecoparque Los Yarumos, actualmente sede del Centro de Biotecnología y Biología Computacional - BIOS.

Posteriormente, mediante convenios y contratos sucesivos año tras año entre la UGR de la Alcaldía de Manizales y la Universidad Nacional Sede Manizales, por medio del IDEA, se densificó la red incluyendo ocho (8) nuevas estaciones meteorológicas entre los años 2005 y 2010 (Ver tabla 4).

En el 2011, la Central Hidroeléctrica de Caldas CHEC aportó una nueva estación de su propiedad para incorporarla a la red, la estación CHEC – Uribe (2011) ubicada en predios de su sede administrativa en la estación Uribe.

Tabla 4. Listado de estaciones de la Red Hidrometeorológica de Manizales

Estación	Tipo	Año de instalación	Latitud N	Longitud W	Propietario	Ubicación
Emas	M	1997	5° 4' 49,42"	75° 30' 32,19"	EMAS	Relleno Sanitario La Esmeralda - EMAS S.A.E.S.P
Posgrados	M	2002	5° 3' 21,86"	75° 29' 31,46"	UNAL	Campus Palogrande Universidad Nacional, Bloque I
Ingeominas	M	2003	5° 4' 17,2"	75° 31' 27,5"	UGR	Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Manizales - Barrio Chipre
La Nubia	M	2003	5° 1' 44,1"	75° 28' 20"	UGR	Campus La Nubia Universidad Nacional, Bloque P

Estación	Tipo	Año de instalación	Latitud N	Longitud W	Propietario	Ubicación
Yarumos	M	2004	5° 3' 47,6"	75° 28' 52,63"	UGR	Centro de Bioinformática y Biología Computacional - BIOS
El Carmen	M	2005	5° 3' 41"	75° 31' 11"	UGR	Centro Integral de Servicios Comunitarios-El Carmen
Aranjuez	M	2006	5° 2' 34,2"	75° 30' 1,6"	UGR	Institución Educativa Aranjuez
Bosques del Norte	M	2006	5° 4' 59"	75° 29' 19"	UGR	Institución Educativa Bosques del Norte
La Palma	M	2006	5° 5' 45,5"	75° 31' 45,9"	UGR	Hospital Geriátrico San Isidro
Hospital de Caldas	M	2007	5° 3' 46,6"	75° 30' 2,1"	UGR	S.E.S Hospital de Caldas
Quebrada Palogrande - Ruta 30	HM	2008	5° 3' 30,58"	75° 30' 15,07"	UNAL	Lava Autos Ruta 30
Milán – Planta Niza	M	2009	5° 3' 11,16"	75° 28' 32,16"	UGR	Planta de Tratamiento Niza - Aguas de Manizales S.A. E.S.P
Alcázares	M	2010	5° 4' 0,2"	75° 31' 39,9"	UGR	Instituto de Valorización de Manizales INVAMA
Chec – Uribe	M	2011	5° 3' 6,95"	75° 32' 6,14"	CHEC	Sede Administrativa Estación Uribe - CHEC S.A. E.S.P

Convenciones: M: Meteorológica, HM: Hidrometeorológica

En el 2008, con recursos propios, la Universidad Nacional Sede Manizales financió la instalación y puesta en marcha de una estación hidrometeorológica, cuya concepción es un híbrido entre una estación hidrométrica y una meteorológica, la Estación Quebrada Palogrande – Ruta 30. Con dicha estación esta red queda finalmente como se muestra en la tabla 4 y Figura 2.

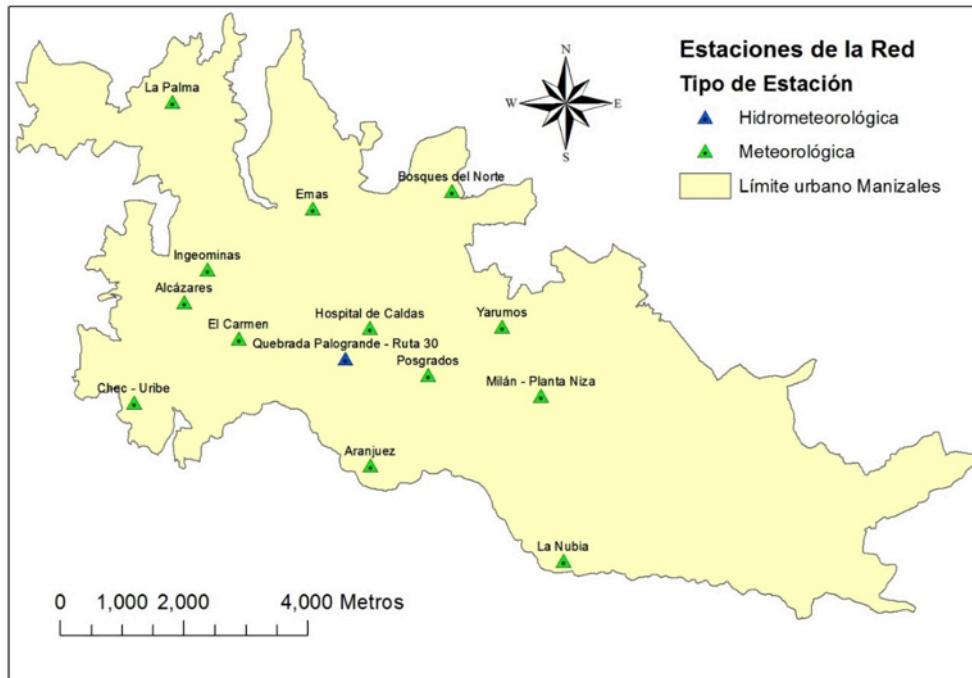


Figura 2. Localización estaciones de la Red hidrometeorológica de Manizales

Con lo anterior, se muestra el cubrimiento del área urbana para monitoreo climático que busca configurar una solución con recursos técnicos y humanos calificados de la ciudad, al problema de carecer de sistemas de toma de datos en red, transmisión en tiempo real, alerta temprana frente a eventuales desastres, acopio y procesamiento de la información en forma confiable y económica, tanto en su montaje como en su mantenimiento.

### Descripción del funcionamiento de la red

Las 14 estaciones listadas en la tabla 4 transmiten de manera telemétrica vía radio-enlace a una (1) estación central localizada en las instalaciones del IDEA

de la Universidad Nacional en Manizales, donde se registran, almacenan y procesan los datos en tiempo real (indispensable para prevención de desastres), para ser evaluados posteriormente, ya sea mediante software específico o por personal especializado capaz de interpretar, procesar, analizar y dar uso a la información obtenida (ver Figura 3).

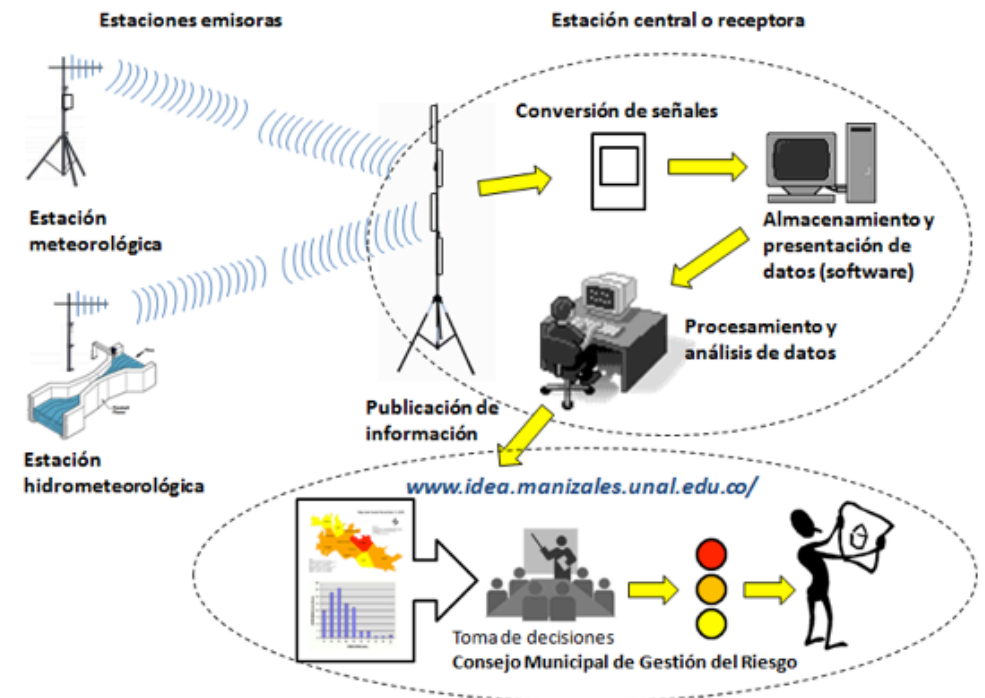


Figura 3. Funcionamiento de la Red

La red tiene una densidad de 4.35 Km<sup>2</sup>/estación, ya que el área del casco urbano de Manizales es de 60.94 Km<sup>2</sup>. A continuación se muestran las áreas de influencia para cada estación de la red (Tabla 5 y Figura 4).

Tabla 5. Áreas de influencia para las estaciones de la red

No.	Estación	Área de influencia (m <sup>2</sup> )	Área de influencia (Km <sup>2</sup> )	Área de influencia (%)
1	Emas	5052801.9	5.05	8.3%
2	Posgrados	2534367.8	2.53	4.2%
3	La Nubia	13131077.0	13.13	21.5%
4	Ingeominas	2716020.5	2.72	4.5%
5	Yarumos	3878109.9	3.88	6.4%
6	El Carmen	2898237.1	2.90	4.8%
7	Bosques del Norte	3013762.8	3.01	4.9%
8	Aranjuez	1905352.1	1.91	3.1%
9	La Palma	6150671.2	6.15	10.1%
10	Hospital de Caldas	2444003.5	2.44	4.0%
11	Quebrada Palogrande - Ruta 30	2089338.0	2.09	3.4%
12	Milán - Planta Niza	10013290.4	10.01	16.4%
13	Alcázares	2392159.7	2.39	3.9%
14	CHEC - Uribe	2723720.5	2.72	4.5%
Totales		60942912.4	60.94	100.0%

En la segunda parte se tratarán con más detalle las estaciones de monitoreo que componen la red, el sistema de adquisición de datos, los sistemas de comunicación con telemetría y la información disponible en la plataforma web del estado del tiempo en Manizales y Caldas.

### CONCLUSIONES

Para dar apoyo a la toma de decisiones orientadas a la Prevención de Desastres

en Manizales es necesario garantizar la operación continua de la red por la vía de convenios interadministrativos.

El acopio, procesamiento, análisis e interpretación sistemática y continua de registros meteorológicos obtenidos de la medición de diversas variables físicas e hidrometeorológicas, garantizará emplear la información para atender las necesidades específicas de la comunidad, presentar solución a problemas asociados al

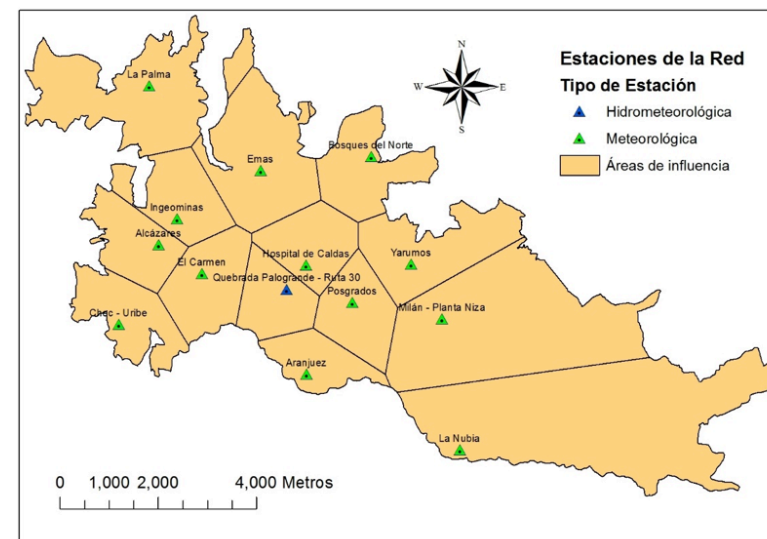


Figura 4. Áreas de influencia para las estaciones de la red

comportamiento del clima, brindar bases confiables para desarrollar investigación, gestión, mitigación del riesgo y prevención de desastres, y a mediano plazo, disponer de una base de datos sólida para caracterizar la dinámica de las lluvias y los deslizamientos de forma detallada en la ciudad.

Manizales se ubica entre las ciudades con mejor monitoreo de clima en tiempo real en el país, mediante un esfuerzo conjunto de la academia, las instituciones públicas y la empresa privada.

Se resalta la importancia del desarrollo y adaptación tecnológica nacional y local aplicado a sistemas de monitoreo y

telemetría, logrando un posicionamiento y reconocimiento de sistemas con la ventaja del bajo costo, comparables funcionalmente con los importados que se encuentran en el mercado.

Se cuenta con un sistema de alerta temprana que ha funcionado en temporadas de lluvias extremas como las del 2008 y 2011. Los esfuerzos van de la mano con las acciones de mitigación que realizan el municipio de Manizales y Corpocaldas, con la construcción de obras de estabilidad de laderas en puntos críticos de la ciudad, reubicación de familias asentadas en zonas de alto riesgo, programas de protección y mantenimiento de estructuras de vertimiento y manejo de aguas



(programa Guardianas de la Ladera), etc.; pero es indispensable que se reoriente la planificación y expansión urbana de la ciudad, que se cuente con una norma geotécnica local y otros puntos críticos que permitan contar con una adecuada Gestión del Riesgo de Desastres para la ciudad.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se ha desarrollado en el marco del convenio interadministrativo No. 221-2016 celebrado entre la Corporación Autónoma Regional de Caldas - Corpocaldas y la Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales. La información utilizada ha sido recopilada por el IDEA de la Universidad Nacional.

## BIBLIOGRAFÍA

- CORPOCALDAS. (2010). Proyecto Gestión Integral del Riesgo en Manizales. Módulo 1. Identificación del riesgo. Obtenido de [http://www.corpocaldas.gov.co/images/noticias/re/03-Anexo\\_ID%20\\_01%20Proy%20Gesti%F3n%20Integral%20del%20Riesgo%20Manizales.pdf](http://www.corpocaldas.gov.co/images/noticias/re/03-Anexo_ID%20_01%20Proy%20Gesti%F3n%20Integral%20del%20Riesgo%20Manizales.pdf)
- La Patria. (07 de noviembre de 2011). Deslizamientos históricos de Manizales.
- La Patria. (06 de noviembre de 2013). 48 vidas imborrables del barrio Cervantes. Obtenido de <http://www.lapatria.com/manizales/48-vidas-imbrrables-del-barrio-cervantes-47729>
- La Patria. (19 de abril de 2017). Personas muertas, viviendas desalojadas e inundaciones, saldo de las lluvias de la madrugada en Manizales.
- Mejía, F. (2003). Red de Estaciones Meteorológicas del Municipio de Manizales - Caldas (Colombia). Revista el Cable. ISSN: 0124-7859.
- Mejía, F., Chardon, A-C., Londoño, J. P., & Estrada, J. H. (2005). Zonificación de riesgos por deslizamientos en áreas urbanas andinas. Instrumentos de ayuda a la toma de decisión en procesos de ordenamiento territorial. FASE 1. Instrumentación pluviométrica, caracterización morfológica e identificación de factores preliminares de vulnerabilidad de contexto relevantes. Convocatoria multidisciplinar DIMA 2005-2007. Manizales, Colombia: Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales.
- Mejía, F., & Pachón, J. A. . (2006). Monitoreo del clima para prevención de desastres en Manizales - Caldas (Colombia). Revista Agenda Ciudadana del Medio Ambiente. Manizales - Caldas. p. 35 - 45.
- Mejía, F., & Valencia, M. (2006). Monitoreo ambiental urbano. Memorias del diplomado en el Diseño e Implementación de un Sistema de Planificación Ambiental Urbana Participativa en Centros Poblados Intermedios del Valle del Cauca. Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca - CVC. Instituto de Estudios Ambientales IDEA.
- Oficina Municipal para Prevención y Atención de Desastres de Manizales - OMPAD. (2003). Balance general de emergencias ocurridas en Manizales en el año 2003.
- Terlien, M. (1996). Modelling Spatial And and Temporal Variations In Rainfall-Triggered Landslides. ITC (32).

**Instituto de Estudios Ambientales - IDEA -**  
Teléfono: 8879300 Ext. 50190 / Fax 8879383  
Cra 27 #64-60 / Manizales - Caldas  
<http://idea.manizales.unal.edu.co>  
[idea\\_man@unal.edu.co](mailto:idea_man@unal.edu.co)