



**TALLER INTERNACIONAL SOBRE GESTIÓN DEL RIESGO A NIVEL LOCAL  
EL CASO DE MANIZALES, COLOMBIA  
La administración pública y el rol de la universidad  
MANIZALES: UNA CIUDAD LABORATORIO**

**RED DE ESTACIONES METEOROLÓGICAS PARA PREVENCIÓN  
DE DESASTRES EN MANIZALES – CALDAS (COLOMBIA)**

**NETWORK OF METEOROLOGICAL STATIONS FOR PREVENTION  
OF DISASTERS IN MANIZALES – CALDAS (COLOMBIA)**

Fernando Mejía Fernández

M.Sc. en Aprovechamiento de Recursos Hidráulicos  
Director Instituto de Estudios Ambientales IDEA Sede Manizales  
Profesor Asociado  
Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales  
[fmejiaf@unal.edu.co](mailto:fmejiaf@unal.edu.co)

Juan Pablo Londoño Linares

Estudiante de Doctorado en Sostenibilidad, tecnología y humanismo  
Universidad Politécnica de Cataluña, España  
[jplondo@yahoo.com](mailto:jplondo@yahoo.com)

John Alexander Pachón Gómez  
Ingeniero Civil

Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales  
Operador de la Red Meteorológica  
[redmeteoro@yahoo.es](mailto:redmeteoro@yahoo.es)

INSTITUTO DE ESTUDIOS AMBIENTALES IDEA  
UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA SEDE MANIZALES

Manizales, Septiembre 28-29 de 2006

Enviar correspondencia a:  
Fernando Mejía Fernández  
Carrera 27 # 64-60. Manizales - Caldas  
Tel (6)8810000 Ext. 190,317,322. Fax (6)8863182  
Instituto de Estudios Ambientales IDEA  
Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales

## **RESUMEN**

Se presenta en este artículo la existencia en Manizales de una red de estaciones meteorológicas que miden y transmiten teleméricamente en tiempo real datos de variables climáticas asociadas a la prevención de desastres, y en particular a aquellos eventos extremos (aguaceros muy fuertes o muy extensos) que detonan deslizamientos en laderas y taludes de la ciudad, con pérdidas de vidas y de infraestructura, y, en general, al monitoreo permanente del clima para un mejor conocimiento de nuestro entorno urbano ambiental y para establecer a futuro, por la vía de la investigación, indicadores de calidad de vida y bienestar para la comunidad. Representa un esfuerzo conjunto de la Universidad Nacional de Colombia, su Instituto de Estudios Ambientales IDEA, la Administración Municipal (OMPAD, Planeación Municipal) y otras entidades locales, como la empresa de aseo EMAS.

## **ABSTRACT**

It is presented in this article the existence in Manizales of a network of meteorological stations that measure and transmit in time real data of climatic variables associated to the prevention of disasters, and in particular to those extreme events (very strong or very extensive cloudbursts) that detonate slips in hillsides and banks of the city, with losses of lives and of infrastructure, and, in general, to the permanent monitoring of the climate for a better knowledge of our environmental urban environment and to settle down to future, for the way of the investigation, indicators of quality of life and well-being for the community. It represents a combined effort of the National University of Colombia, their Institute of Environmental Studies IDEA, the Municipal Administration (OMPAD, Planeación Municipal) and other local entities, as the company EMAS.

**PALABRAS CLAVES:** Estaciones meteorológicas, monitoreo climático, telemetría, transmisión en tiempo real, prevención de desastres.

## 1. ANTECEDENTES

La Universidad, como medio que difunde el conocimiento, no puede escapar a la tendencia de preservación y manejo del patrimonio ambiental del país y plantea dentro de su misión servir a la sociedad mediante la construcción de Nación desde la región y la formación de profesionales integrales, competentes nacional e internacionalmente, con una base ética, humanística, científica, creativa, crítica y socialmente responsable y cuya imagen se proyecta mediante la docencia, la investigación y la extensión, con programas de impacto social a partir de la diversidad y la pluralidad.

La Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales entendió bien esta premisa, cumpliendo con algunos de sus fines como son “estudiar y enriquecer el patrimonio cultural, natural y ambiental de la nación y contribuir a su conservación”; y “asimilar críticamente y crear conocimiento en los campos avanzados de las ciencias, la técnica, la tecnología, el arte y la filosofía”, (Decreto 1210, 28 de Junio de 1993), e inició desde hace aproximadamente 20 años por medio de su Laboratorio de Hidráulica trabajos de investigación y experimentación para el uso del computador como instrumento de medida, construyendo modelos y probando varios instrumentos electrónicos desarrollados para este fin, entre ellos instrumentos para mediciones de variables climáticas e hidrometeorológicas, en grupos interdisciplinarios de trabajo entre Ingenieros Civiles, Electrónicos, Médicos, estudiantes y profesionales de áreas afines. Este es el caso del Grupo de Trabajo Académico en Ingeniería Hidráulica y Ambiental, adscrito al Departamento de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, vinculado al Instituto de Estudios Ambientales IDEA Sede Manizales y clasificado en Colciencias en la categoría B, con el cual se han llevado a cabo varias actividades que combinan tecnología con conocimientos propios de la ingeniería, como son la instalación de redes de estaciones meteorológicas e hidrométricas telemétricas modernas que buscan ampliar las redes de monitoreo para conocer el comportamiento de variables climáticas y ambientales y poder con estos datos realizar estudios en distintos aspectos. Es de anotar que todo ello juega un papel fundamental en el beneficio de la comunidad de los sitios monitoreados, pues en la medida en que se tenga el conocimiento y la experiencia, es más fácil tomar decisiones confiables que solucionen problemas de carácter ambiental y permitan generar programas de impacto social.

En un principio estos desarrollos se hicieron con interfase alámbrica, posteriormente se probó con la comunicación vía modem y por último se lograron desarrollos en telemetría para transmitir los datos en tiempo real vía radio; gracias a esto, los conocimientos se han perfeccionado y consolidado, y se ha logrado un posicionamiento y reconocimiento importante en la región y en el país, llegando a desarrollar sistemas comparables funcionalmente a los que se encuentran en el mercado, importados, pero con la ventaja del bajo costo a través de la apropiación de tecnología. Los centros de investigación y especialmente las universidades son el principal surtidor de avances y técnicas innovadoras que redundan en el bienestar común, por ser ellas entidades que por su naturaleza buscan el avance de la ciencia más que beneficios económicos particulares. Este desarrollo se dio de la mano de la ejecución de otros proyectos: Red de estaciones meteorológicas del Parque Nacional Natural los Nevados para evaluar la oferta hídrica de sus glaciares, Red de estaciones hidrométricas y meteorológicas en la cuenca del río Lejos en Pijao – Quindío, Instalación y puesta en funcionamiento de una Red de estaciones climatológicas y ambientales del Proyecto Observatorios para el Desarrollo Urbano Sostenible en Manizales, Instalación y puesta en funcionamiento de una estación meteorológica en el Relleno Sanitario La Glorita de

Pereira, Instalación y puesta en funcionamiento de una estación meteorológica en el Relleno Sanitario La Esmeralda de la Empresa de Aseo de Manizales, Estación hidrométrica telemétrica en la quebrada El Oso de Pereira, Estación Hidrométrica en la Bocatoma Montevideo de la CHEC, Estaciones de Monitoreo Hidrometeorológico en cuencas abastecedoras de Aguas de Manizales, Cuencas experimentales urbanas – Caso Manizales, etc.

Los ingenieros electrónicos que participaron como estudiantes en estos proyectos, una vez graduados, crearon empresas de innovación y desarrollo tecnológico sin desligarse del Grupo de Investigación (G.T.A. en Ingeniería Hidráulica y Ambiental) y pasaron a convertirse en “proveedores” de la Universidad, relación que se mantuvo en razón de que el Alma Mater tenía interés en que estas empresas surgidas de su seno se consolidaran. Simultáneamente, con este proceso se tuvo la idea de formularle a la Alcaldía de Manizales a través de su Oficina Municipal para la Prevención y Atención de Desastres, OMPAD, una propuesta para el montaje , en convenio con la Universidad y otras instituciones, de una Red de Estaciones Meteorológicas para Prevención de Desastres apoyada en estos desarrollos tecnológicos, propuesta que después de varios años tuvo eco y se dio inicio al Montaje de la Red en el segundo semestre del año 2003, aunque varias 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).

A la OMPAD se le llegó con la propuesta de que ya existía una Red incipiente conformada por dos estaciones aportadas por la Universidad Nacional y EMAS y por tanto se requería de su participación para consolidar la Red, especialmente apuntando a la prevención de desastres por la vía de la correlación lluvia – deslizamientos de laderas y taludes urbanos; esto reforzó los niveles de confianza de la Alcaldía en cuanto a lo que la Universidad era capaz de realizar científica y tecnológicamente hablando en beneficio de la comunidad, puesto que, como es sabido, en la ciudad de Manizales existe una serie de antecedentes de desastres, especialmente provocados por deslizamientos de tierra. Los registros se remontan al año 1948 y según la OMPAD, se pueden resumir en la siguiente tabla:

*Tabla 1. Eventos de deslizamientos en la ciudad de Manizales a lo largo de su historia*

PERÍODOS	DESLIZAMIENTOS		
	CANTIDAD	EFECTOS	
		Muertos	Heridos
1948-1962	25	45	65
1963-1977	163	170	49
1978-1982	85	98	154
1983-1989	78	34	64
1990-1994	149	21	11
1995-1998	195	1	
2002	4	2	1
2003 (*)	90	16	32
<b>TOTAL</b>	<b>789</b>	<b>387</b>	<b>376</b>

(\*) Corresponde al evento del 18 y 19 de Marzo de 2003.

FUENTE: Oficina Municipal para la Prevención y Atención de Desastres OMPAD Manizales

Al normalizar estos datos por año puede notarse una tendencia al incremento en el número de eventos en años recientes; entre los años 1948 a 1989 (41 años) se tiene un total de 32 eventos, mientras que para el período comprendido entre 1990 y 2003 (13 años) se registran 196 eventos, lo que muestra una tendencia al aumento en la frecuencia de los deslizamientos.

*Tabla 2. Eventos de deslizamientos en la ciudad de Manizales a lo largo de su historia*

<b>PERÍODO</b>	<b>EVENTOS POR AÑO</b>	<b>MUERTOS POR AÑO</b>	<b>HERIDOS POR AÑO</b>
1948-1962	1.79	3.21	4.64
1963-1977	11.64	12.14	3.50
1978-1982	6.07	7.00	11.00
1983-1989	13.00	5.67	10.67
1990-1994	37.25	5.25	2.75
1995-1998	65.00	0.33	0.00
2002	4.00	2.00	1.00
2003 (*)	90.00	16.00	32.00
<b>TOTAL</b>	<b>13.84</b>	<b>6.79</b>	<b>6.60</b>

(\*) Corresponde al evento del 18 y 19 de Marzo de 2003.

FUENTE: Oficina Municipal para la Prevención y Atención de Desastres OMPAD Manizales.

Un registro especialmente recordado para la ciudad fue el período del 18 y 19 de marzo de 2003, cuando se presentó un evento de lluvias fuertes de magnitud nunca antes registrada, fluctuante entre 81 y 146 mm según el sitio de medición, con una intensidad pico de 124 mm/hr en cinco minutos y una duración que también fluctuó entre 4 y 6 horas según el sitio. El carácter extremo de las tres variables que caracterizaron este singular aguacero – magnitud, intensidad y duración – aunado a las condiciones antecedentes de lluvias caídas los días anteriores (entre el 14 y 18 de marzo se registraron en la Estación Posgrados un total de 135.9 mm de lluvia y en la Estación EMAS del Relleno Sanitario La Esmeralda un total de 199.6 mm para el mismo lapso de tiempo, que corresponden al 65% y 81% respectivamente, del total de lluvia registrada para ese mes), provocó una rápida saturación del suelo por la intensidad y magnitud del aguacero y finalmente una escorrentía abundante que “lavó” la tierra y la vegetación y produjo deslizamientos superficiales en su mayoría en muchas de las laderas de fuerte pendiente que circundan la ciudad y que sirven de apoyo a una buena parte de su infraestructura urbana. Fue tal el carácter extraordinario del evento, que rebasó la capacidad de muchas de las obras de drenaje, vertimiento de aguas y estabilidad de laderas que existen en la ciudad, porque el Periodo de Retorno de los eventos con los cuales se diseñan estas estructuras se vio evidentemente superado con creces por el de este evento, que según cálculos preliminares se situaría alrededor de los cien años y más (en cálculos posteriores, 149 años).

Estos eventos dejaron un costo total de la emergencia para la ciudad de \$17.538 millones y el siguiente balance de afectados en la ciudad de Manizales:

**Tabla 3. Balance general de la emergencia ocurrida en Manizales los días 18 y 19 de marzo de 2003**

CONSECUENCIAS		CANTIDAD	TOTAL
PERSONAS AFECTADAS	Niños (**)	1369	3031
	Adultos (**)	1662	
FAMILIAS DAMNIFICADAS	Inquilinos (**)	216	713
	Propietarios (**)	497	
VÍCTIMAS	Ilesos (*)	2776	2980
	Heridos (*)	32	
	Muertos (*)	16	
	Desaparecidos (*)	3	
VIVIENDA	Destruídas (*)	74	497
	Afectadas (*)	104	
	Evacuadas preventivamente (**)	319	
REVISIONES TÉCNICAS BOMBEROS (**)		910	910

Fuentes: (\*) Cruz Roja (\*\*) Cuerpo Oficial de Bomberos Información actualizada a Abril 5 de 2003

FUENTE: Oficina Municipal para la Prevención y Atención de Desastres OMPAD Manizales.

El día 4 de diciembre de ese mismo año se presentó otro evento impactante para los habitantes de la ciudad: un deslizamiento de tierra sepultó varias viviendas en el barrio La Sultana, provocando la muerte de 16 personas del sector bajo del talud, de estrato 3, y causando daños en viviendas emplazadas en la corona del talud, de estrato 4. Demostrando así que, actualmente, el problema de los deslizamientos para la ciudad no se restringe necesariamente a la población marginada y a los barrios considerados “cinturones de miseria”, sino que se hace extensiva a todos los habitantes de ladera, sin importar su condición socioeconómica. El 28 de octubre de 2004 se presentaron lluvias fuertes en los sectores norte y occidente de la ciudad con intensidades máximas en cinco minutos de 112.8 mm/h (Estación Yarumos) y 149.4 mm/h (Estación Ingeominas) aún mayores que los anteriormente mencionados y el 10 de junio de 2005 se registró en los sectores centro y occidente de la ciudad un aguacero que duró algo más de siete (7) horas y media con una magnitud de 148.33 mm (Estación El Carmen) y 124.97 mm (Estación Ingeominas) y con intensidades máximas en cinco minutos de 88.32 mm/h y 91.44 mm/h respectivamente, eventos realmente extraordinarios que generaron múltiples derrumbes y la inmediata evacuación de varias edificaciones en el sector occidente de la ciudad, en la salida de Manizales hacia Chinchiná.

Precisamente, por la vulnerabilidad que presenta Manizales a este tipo de sucesos, el Municipio por medio de la OMPAD ha venido aportando los recursos económicos necesarios para que la ciudad hoy en día cuente con siete (7) estaciones telemétricas modernas (antes de finalizar el presente año se pondrán en marcha otras dos (2) estaciones más en los sectores norte y nor-occidente de la ciudad, para completar nueve (9) estaciones) cuya información se recoge y almacena en un Centro de Acopio ubicado en las oficinas del IDEA de la Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales, información que está siendo utilizada con fines investigativos y

para generación de alertas tempranas (utilización de indicadores como, por ejemplo, la lluvia antecedente de 25 días (<sup>1</sup>)) asociando lluvias y deslizamientos.

## **MANIZALES: UN ENTORNO PROPICIO PARA EXPERIMENTAR**

Física y climatológicamente, Manizales se caracteriza por los siguientes aspectos:

Se encuentra localizada en la Región Andina, con una altitud promedio de 2150 m.s.n.m., un clima característico ecuatorial de montaña, con dos períodos de máxima precipitación en el año (tipo bimodal), uno entre marzo y mayo y otro hacia los meses de septiembre a diciembre, un promedio anual aproximado de precipitación de 2000 mm y de temperatura de 18°C. En la actualidad posee unos 400.000 habitantes.

En cuanto al crecimiento urbano y sus patrones de expansión, en términos generales, se tiene una ciudad que nació en una meseta estrecha y poco a poco se fue extendiendo sobre las vertientes de ésta, llegando a urbanizar terrenos difíciles de fuertes pendientes.

Su ubicación espacial coincide con la zona más amenazada en el país y está sometida principalmente a las amenazas de terremoto, deslizamientos, erupciones volcánicas, y en menor medida inundaciones. En el aspecto sísmico la zona es atravesada por el sistema de fallas de Romeral, lo que determina su clasificación como zona de amenaza sísmica alta (NSR-98). La composición de los suelos está determinada por la proximidad de varios volcanes que se han encargado de moldear el relieve. El volcán Nevado del Ruiz, Cerro Bravo, El Cisne y Santa Isabel aportan a la dinámica y composición de los suelos existentes. Estos factores, aunados entre sí, han desencadenado históricamente procesos de desestabilización de laderas, deslizamientos, avalanchas, derrumbes, etc. que han afectado la vida de la comunidad y de la ciudad, al punto de que pudiera considerarse éste el mayor problema ambiental de Manizales y un obstáculo a los principios del desarrollo sostenible que deben seguir su vida y su crecimiento.

Tal situación ha sido enfrentada desde tiempo atrás con empeño por diferentes organismos según sus propósitos, como CORPOCALDAS (antiguo CRAMSA), la Alcaldía Municipal, la Oficina Municipal para la Prevención y Atención de Desastres – OMPAD, la Secretaría de Planeación de Manizales, el Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Manizales – Ingeominas, y los organismos de socorro, entre otros. Además, ha dado pie para estudios multidisciplinarios sobre causas y efectos de los fenómenos naturales o antrópicos que generan desastres y emergencias en Manizales.

Pero una constante para todos ha sido la falta de información histórica confiable, cuantificable, sistemática, sobre el comportamiento de las variables que describen esos fenómenos y los caracterizan: magnitud, intensidad, duración y espacialidad de las lluvias; infiltración; escorrentía; humedad del suelo; temperatura; dirección y velocidad del viento; radiación solar; humedad relativa; presión de poros en el subsuelo; entre otros. Solo disponiendo de tal información es posible establecer, por ejemplo, la relación de la lluvia con los caudales de crecientes en las quebradas y ríos de la ciudad, o la relación entre las condiciones antecedentes

---

<sup>1</sup> Terlien, M.T.J. Modelling spatial and temporal variations in rainfall-triggered landslides. Publication number 32. 1996. Investigación realizada con registros de lluvia diaria de la Estación Agronomía de Cenicafé y suelos del sector norte de la ciudad de Manizales.

del suelo por lluvias consecutivas y la potencialidad de deslizamientos en nuestras laderas, para no mencionar sino dos de múltiples estudios por realizar con adecuados niveles de detalle.

Adicional a esto, se ha visto conceptualmente el fenómeno de deslizamiento como una consecuencia de factores netamente físicos, relacionados con la pendiente y variables naturales del entorno; sin considerar los inmensos pesos relativos que deben tener otros factores del orden socioeconómico, sociopolítico, educativo, cultural, ideológico, etc., los cuales, siguiendo los conceptos y metodologías planteados recientemente en Gestión de Riesgos, serían imprescindibles para la evaluación integral de Riesgos por Deslizamiento en la ciudad.

Otro componente importante que se ha dejado de lado hasta el presente es el esfuerzo por conformar una base sistemática, detallada y completa de eventos pasados (deslizamientos) por parte de las entidades encargadas de esta materia en la ciudad, para configurar un punto de partida para el análisis de las zonas más propensas a esta problemática y las interrelaciones entre los diferentes factores que intervienen en el fenómeno. La elaboración de cartografía digital actualizada con eventos y con variables de vulnerabilidad de contexto relevantes, constituye el insumo que debe agregarse a la zonificación de lluvias y factores topográficos para obtener un verdadero mapa de riesgos que sirva para visualizar sectores críticos y para generar alertas con la adopción de umbrales y señales oportunas para las comunidades eventualmente afectables, para contribuir así a la consolidación de un Sistema de verdadera Prevención de Desastres a nivel local.

Todo lo anterior puede lograrse solamente con la ayuda de instrumentación y equipos modernos que permitan la toma, transmisión, acopio y procesamiento de datos de esas variables, en tiempo real. Por otro lado, se requiere el trabajo interdisciplinario de profesionales de diferentes áreas como pueden ser la Planificación Territorial, Sociología, Geografía, Cartografía, Geología, Psicología, Trabajo Social, Ingeniería Electrónica, Ingeniería Civil, entre otras disciplinas tanto técnicas como sociales, que contribuyan a la comprensión integral de un problema complejo y al establecimiento de relaciones causa-efecto que expliquen las dinámicas presentes en nuestras ciudades andinas y el surgimiento de los escenarios de riesgos que se evidencian hoy en día. En años anteriores, el IDEA con otros investigadores ha planteado y desarrollado importantes trabajos sobre temas similares como las investigaciones: Un Enfoque Geográfico de la Vulnerabilidad en Zonas Urbanas Expuestas a Amenazas Naturales. El Ejemplo Andino de Manizales, Colombia (Chardon: 2002), Perfil Ambiental Urbano de Colombia. Caso Manizales (IDEA: 1995), Evaluación de la Oferta Hídrica de los Glaciares Tropicales Andinos del Parque Nacional Natural Los Nevados. Fase 2 (IDEA: 2004), “Plan de Ordenamiento Ambiental de la Cuenca del Río Miel” (IDEA: 2005), Observatorios Ambientales para el Desarrollo Urbano Sostenible en Manizales (IDEA: Permanente), y el Proyecto Red de Estaciones Meteorológicas Para la Prevención de Desastres de Manizales (IDEA: Permanente). Investigaciones y trabajos que evidencian el acervo de conocimientos técnicos y metodológicos que ha venido acumulando y consolidando nuestro grupo de trabajo en los últimos años, especialmente con el trabajo interdisciplinario y el entendimiento de las dinámicas urbanas.

Con el desarrollo de este proyecto se está incrementando el conocimiento en el campo de los riesgos y desastres en zonas urbanas, a la vez que desarrollando investigaciones que permiten mostrar tendencias en el comportamiento de variables meteorológicas en Manizales, abordando temas varios como: el cálculo de la variación temporal de variables meteorológicas, a nivel

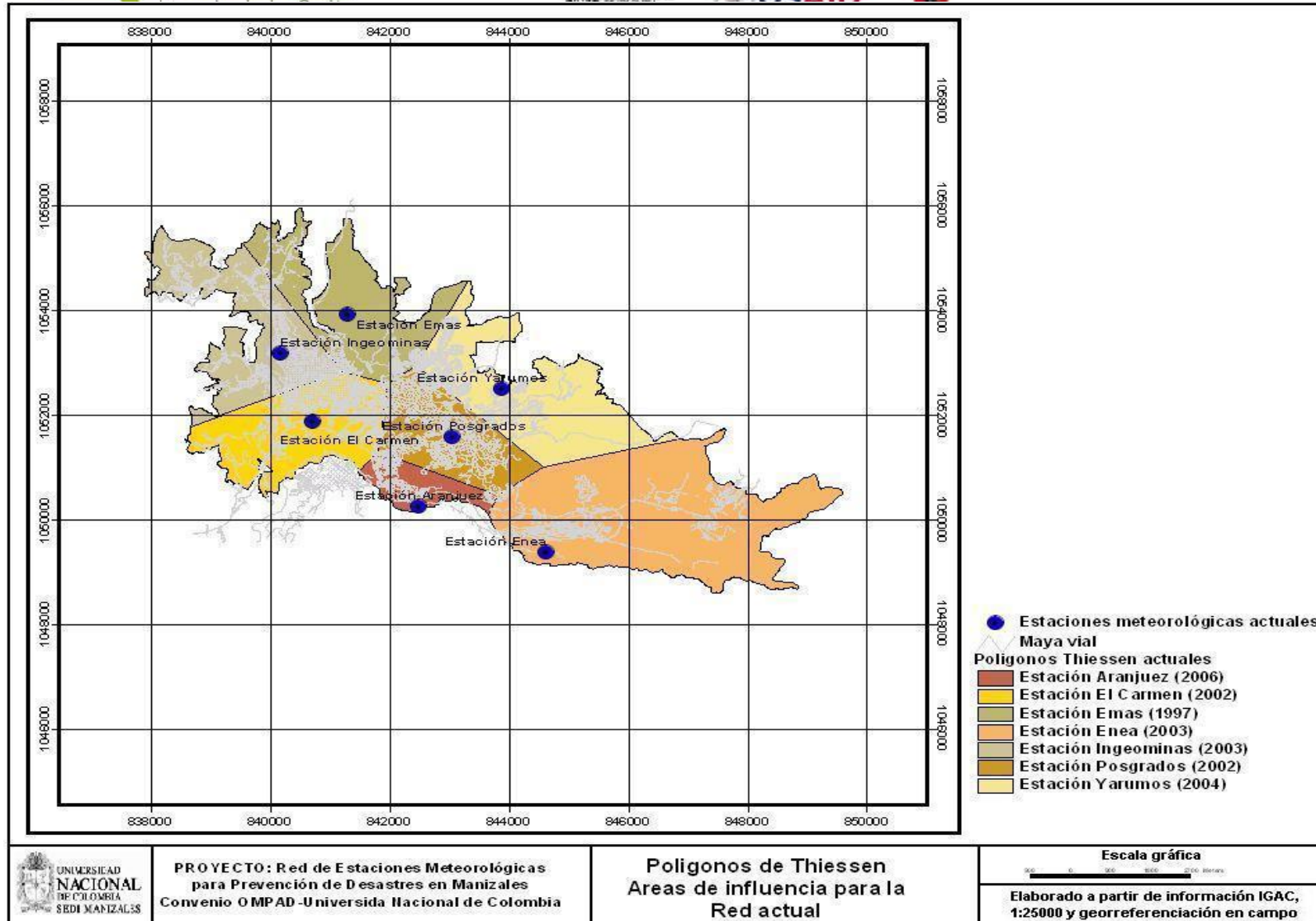


horario, diario, mensual y anual; cálculo de la variación espacial de variables meteorológicas, a nivel mensual y anual (isoyetas, isotermas, isotacas, etc.); correlación entre variables meteorológicas y entre éstas y otras como deslizamientos, inundaciones, enfermedades en la población, etc; elaboración de mapas, gráficos y curvas que muestren tendencias en el comportamiento de variables meteorológicas (con la evaluación a escalas de detalle de estas variables en un centro urbano y el cruce de esta información con variables derivadas de la topografía, geología y morfometría del terreno y las bases de datos de eventos de deslizamientos registrados anteriormente, se obtendrán umbrales de diversas variables climáticas que permitirán establecer niveles de amenaza para los diferentes sectores de la ciudad, y configurar así, a futuro, un sistema de alerta temprana para el caso de deslizamientos); realización de estudios comparativos de los registros obtenidos entre estaciones de distinto tipo (estaciones modernas vs. estaciones clásicas); utilización de la información obtenida como inducción para la calibración de modelos matemáticos de simulación de fenómenos climáticos a nivel local; por no mencionar sino unos cuantos temas de investigación desde la perspectiva científica multidisciplinar, aportando una metodología para evaluar el riesgo, considerando simultáneamente la amenaza y la vulnerabilidad como conceptos integrales y complejos, que se incorporen a la gestión de riesgos en la planificación del desarrollo como mecanismo para la búsqueda del desarrollo urbano sostenible.

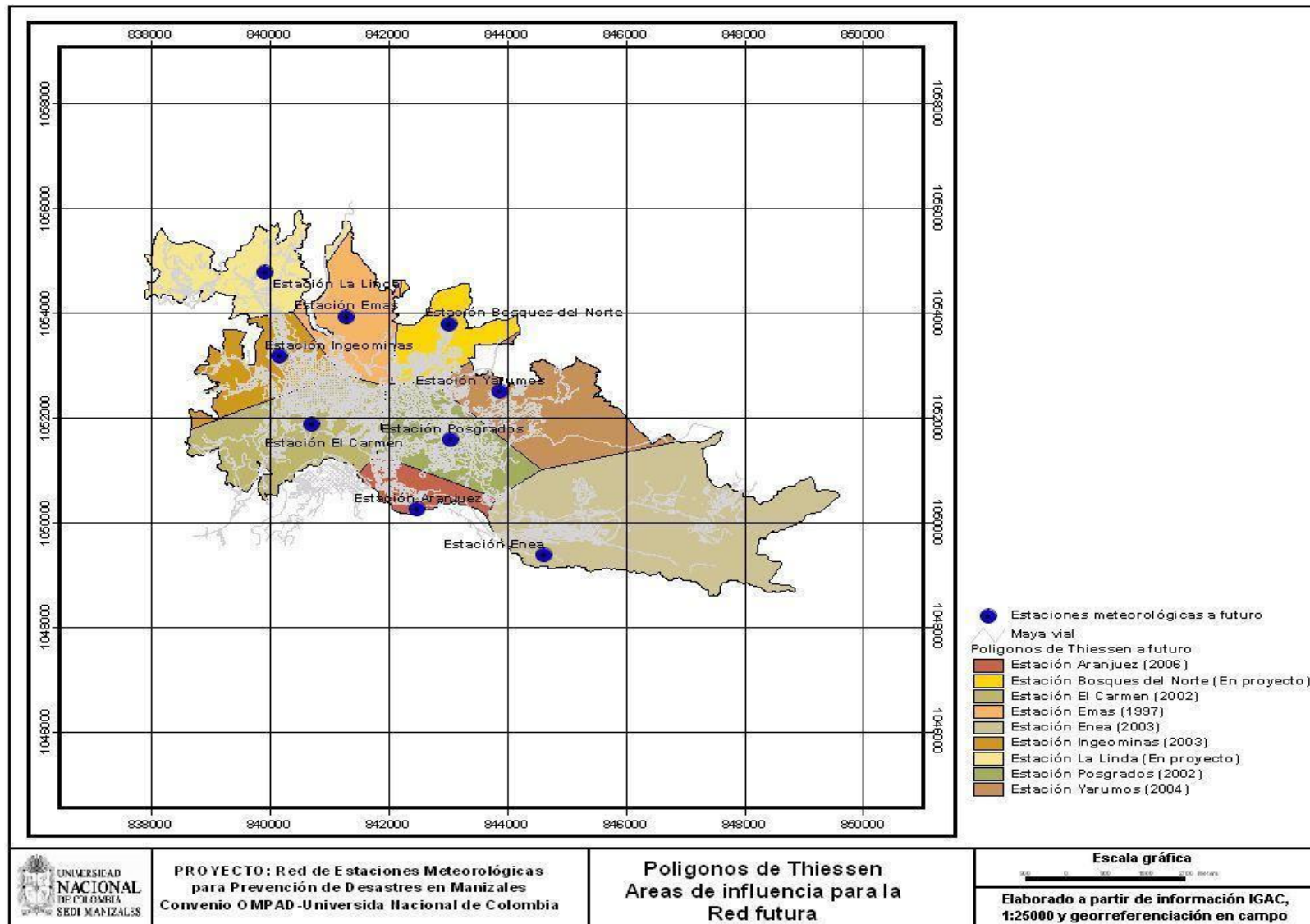
La densificación de la red meteorológica convertirá a Manizales en una de las ciudades mejor monitoreadas del país en cuanto a variables meteorológicas, en la configuración de soluciones con recursos técnicos y humanos calificados de la ciudad, al problema de disponer de sistemas de toma de datos en red, transmisión en tiempo real y en las posibilidades de disponer de señales de alerta temprana en el futuro ante eventos climáticos extremos para prevención de desastres, de los cuales tiene una dolorosa experiencia tanto en el pasado lejano como reciente. (Ver mapas 1 y 2 de áreas de influencia para la Red). Indirectamente y a más largo plazo, con la identificación de factores de vulnerabilidad relevantes se busca entender las dinámicas inherentes a la configuración de escenarios marginales de riesgos y una reducción de la vulnerabilidad en sectores críticos de estas áreas; también aportar herramientas/elementos metodológicos y analíticos a los procesos municipales de desarrollo territorial.

**Tabla 4.** Áreas de influencia de la Red de Estaciones Meteorológicas para Prevención de Desastres en Manizales

ESTACIONES	ÁREAS DE INFLUENCIA PARA LA RED DE ESTACIONES			
	ACTUAL		FUTURA	
	(KM <sup>2</sup> )	(%)	(KM <sup>2</sup> )	(%)
ARANJUEZ	2.34	3.85	2.34	3.85
BOSQUES DEL NORTE *			3.77	6.19
EL CARMEN	7.99	13.11	7.99	13.11
EMAS	8.48	13.91	4.94	8.10
ENEA	17.87	29.32	17.87	29.32
INGEOMINAS	8.41	13.80	4.77	7.83
LA LINDA *			5.71	9.37
POSGRADOS	6.22	10.21	6.05	9.92
YARUMOS	9.63	15.80	7.50	12.31
<b>TOTAL</b>	<b>60.94</b>	<b>100</b>	<b>60.94</b>	<b>100</b>
* ESTACIONES QUE SE TIENE PROYECTADO INSTALAR EN LOS PRÓXIMOS DÍAS				
<b>ÁREA DE MANIZALES INCLUYENDO ZONAS DE EXPANSIÓN: 60.94 KM<sup>2</sup></b>				



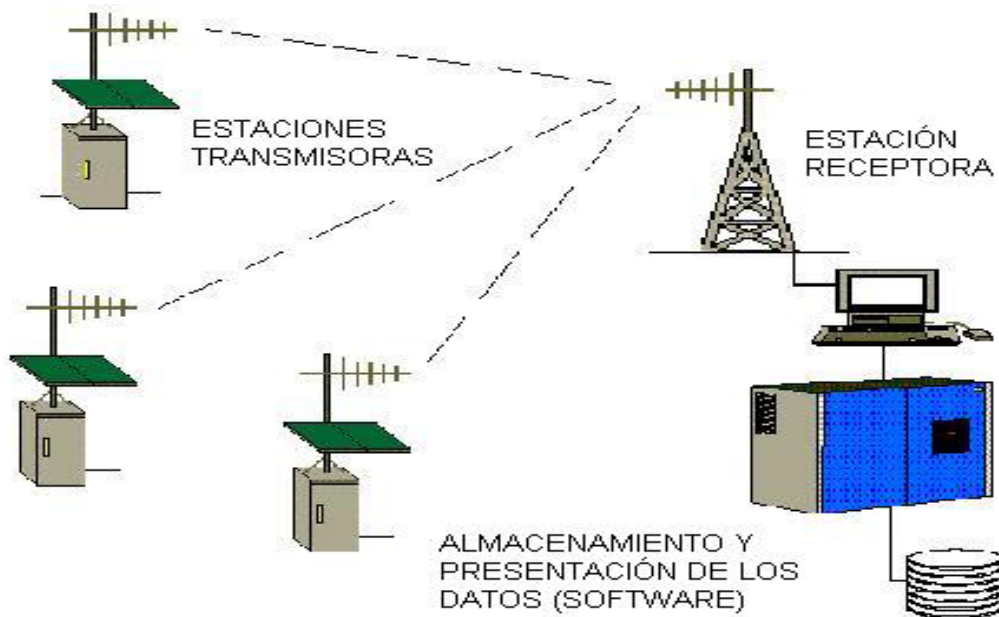
**Mapa 1.** Polígonos de Thiessen – Áreas de influencia para la Red Actual de Estaciones de Manizales



**Mapa 2.** Polígonos de Thiessen – Áreas de influencia para la Red Futura de Estaciones de Manizales

## 2. DESCRIPCIÓN DE LA RED

En general el sistema de monitoreo se conforma, hasta ahora, por una red de siete (7) estaciones meteorológicas distribuidas espacialmente en el área de la ciudad, con transmisión de datos vía radio a un centro de acopio localizado en las instalaciones del Instituto de Estudios Ambientales - IDEA de la Universidad Nacional, que por medio de un PC y un software especializado, permite registrar y procesar los datos en tiempo real (indispensable para prevención de desastres), para posteriormente ser evaluados, ya sea mediante algún software o por personal especializado capaz de interpretar, procesar, analizar y dar uso a los datos meteorológicos, ver Figura 1.

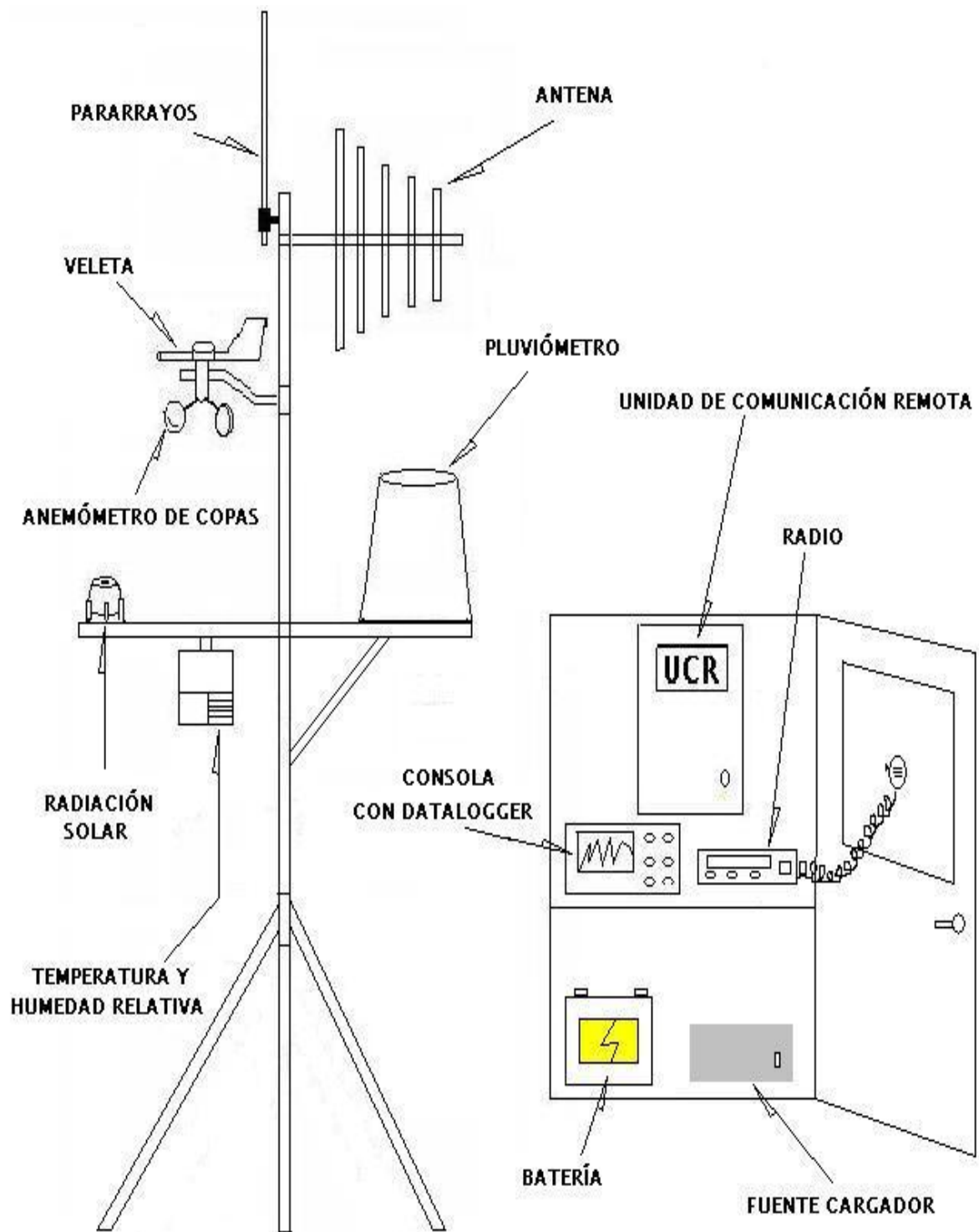


**Figura 1.** Esquema de funcionamiento de la red de estaciones

La adecuada cobertura espacial de la ciudad (Ver Mapa 3) se evidencia en los registros históricos que muestran diferencias significativas en la magnitud de las variables medidas en las diferentes estaciones, a pesar del tamaño relativamente pequeño de la ciudad.

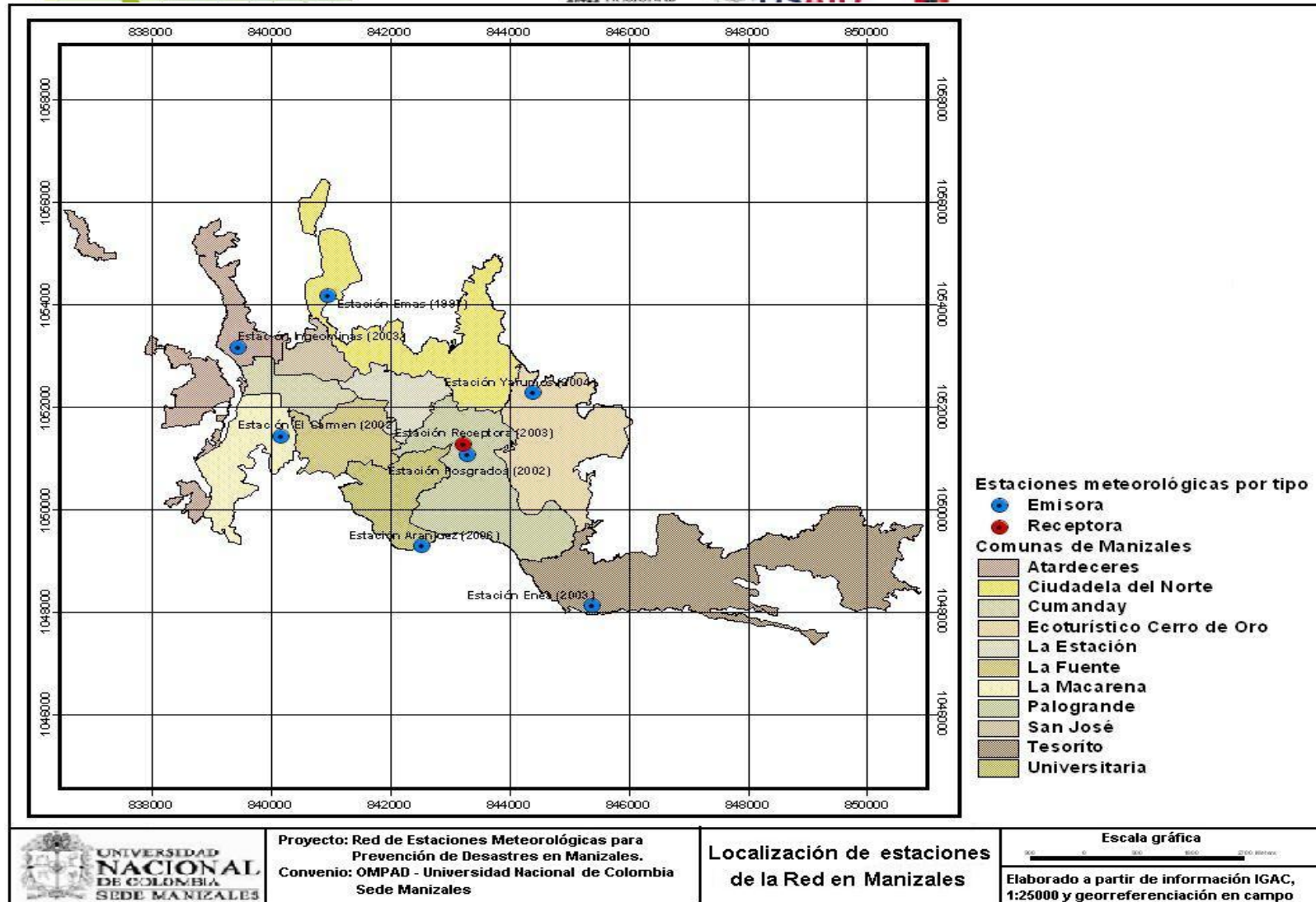
Las variables monitoreadas en las estaciones son: Temperatura, Precipitación, Radiación Solar, Humedad Relativa, Velocidad y Dirección del Viento, Presión Barométrica, Evapotranspiración, información que es actualizada en un período de tiempo (que puede ser variable) de 5 minutos, lo que corresponde a 288 lecturas de cada una de las variables anteriores durante un día, intervalo suficiente para lograr una cobertura temporal satisfactoria de la serie de datos.

A continuación se muestra el esquema de una estación meteorológica tipo con todos los elementos de medición de variables y los equipos de respaldo y transmisión de datos a la estación receptora.



**Figura 2.** Esquema general de una estación meteorológica típica





Mapa 3. Localización de estaciones de la Red Meteorológica en Manizales

**ESTACIONES METEOROLÓGICAS QUE COMPONEN LA RED**

**TALLER INTERNACIONAL SOBRE GESTIÓN DEL RIESGO A NIVEL LOCAL**



### 3. INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN

#### Radiación Solar

Para cuantificar esta variable se cuenta con sensores de radiación solar basados en un fotodiodo que se adapta adecuadamente al espectro solar; este instrumento de precisión detecta longitudes de onda de 300 a 1100 nanómetros. La unidad de medida es el Vatio por metro cuadrado ( $w/m^2$ )

Sensor de Radiación Solar



#### Temperatura y Humedad Relativa

Para la medición de la variable temperatura el sensor trabaja con un rango que se encuentra entre  $-15^{\circ}C$  y  $60^{\circ}C$ , la resolución de este sensor es de  $0.1^{\circ}$  y una precisión de  $\pm 0.5^{\circ}C$ . Para la humedad relativa el sensor registra fluctuaciones en un rango de 0 a 100%, la resolución de 1% y una precisión de  $\pm 3\%$ . Se define como la relación que existe entre la presión parcial que ejerce el vapor contenido en el aire a la temperatura ambiente, y la que ejercería si el aire estuviera saturado a esa misma temperatura.

Sensor de Temperatura y Humedad Relativa



#### Precipitación

Se emplean pluviómetros de cazoletas basculantes para medir la cantidad de lluvia caída. Básicamente se trata de un recipiente con un cono colector o área colectora que se encarga de captar la precipitación para luego conducirla a un par de cazoletas; cuando una de ellas llega a su máxima capacidad, adquiere más peso y oscila alrededor de un eje vaciándose y haciendo que la otra repita el proceso, constituyéndose así una serie de conmutaciones sucesivas. La medida de la precipitación se hace relacionando la capacidad de las cazoletas con el número de oscilaciones generado por la lluvia caída.

Pluviómetro de cazoletas basculantes





## Velocidad y Dirección del viento

Consiste en un anemómetro de copas, el cual registra la velocidad del viento, en m/s, y en una veleta para medición de la dirección del viento con una precisión de 3° de azimut. Esta última también se registra en la rosa de los vientos.

Anemómetro de Copas y Veleta



Todos los instrumentos reciben mantenimiento preventivo periódicamente, se re-calibran o se reemplazan cuando registran daños irreversibles.

## 4. SISTEMAS DE COMUNICACIÓN TELEMÉTRICA DE LA RED

Cada estación constituye un punto de transmisión de señales, lo que la convierte en una estación emisora. El proceso de transmisión se logra mediante un sistema de comunicación entre las estaciones de monitoreo y la estación receptora. El medio de transmisión empleado es un sistema de radio convencional en VHF.

Se cuenta con un protocolo de comunicación digital diseñado para un dispositivo de comunicación bidireccional (radio-enlace), a través de una Interfaz de Comunicación digital remota (ICDR), la cual permite utilizar radios comerciales de fácil consecución, reparación y reemplazo. La comunicación digital permite transferir a través de un solo canal (frecuencia de radio) una gran cantidad de información e implementar sistemas de chequeo y eliminación de errores.

**Estaciones Emisoras:** Contienen elementos y accesorios requeridos para la conexión de los diferentes sistemas de comunicación. Entre estos elementos se pueden contar:

- Radio: recibe la trama de señales digitales provenientes del modulador y efectúa una segunda modulación a F.M. para luego transmitir a una frecuencia determinada.
- Antena: se utilizan antenas tipo Yagui de alta ganancia (10 Decibeles) y alta directividad, sintonizadas a la frecuencia de operación de la red.
- Cables de radiofrecuencia, cables de antena y conectores.

**Estación Receptora:** Es un dispositivo electrónico ubicado en las instalaciones de la Universidad Nacional (oficinas del IDEA) y que se encarga de recibir las señales provenientes de las estaciones de monitoreo. Consta de un radio receptor con su respectiva antena y decodificador que permite transformar el paquete de ondas electromagnéticas de nuevo en una señal digital y enviarlo al puerto serial de un computador personal.

En esta estación se tiene una fuente de energía eléctrica convencional de 110 V y un cable de salida que debe conectarse a uno de los puertos seriales del computador que esté destinado a recibir la información.

El computador está dotado de un programa hecho en lenguaje JAVA inspirado en el concepto de instrumentos virtuales que permite una fácil visualización de los datos, ya sea numéricamente o mediante tablas y gráficas que describan la historia de la señal.

## 5. SOFTWARE DE ADQUISICIÓN DE DATOS

El Software de Adquisición de Datos y Control de las Estaciones Meteorológicas instalado en la Estación Receptora, cuenta con utilidades que permiten visualizar los datos adquiridos por las Unidades de Comunicación Remota U.C.R. de las estaciones instaladas.

Se trata de un software en ambiente Windows, que permite conocer el estado actual de todas las variables monitoreadas. La actualización de las variables ocurre a intervalos periódicos previamente programados en cada estación, los cuales están alrededor de los cinco (5) minutos, siendo este valor configurable desde la estación central. A su vez el software permite realizar una consulta en forma instantánea de cada estación meteorológica (solicitar datos de una estación en particular cuando se desee).

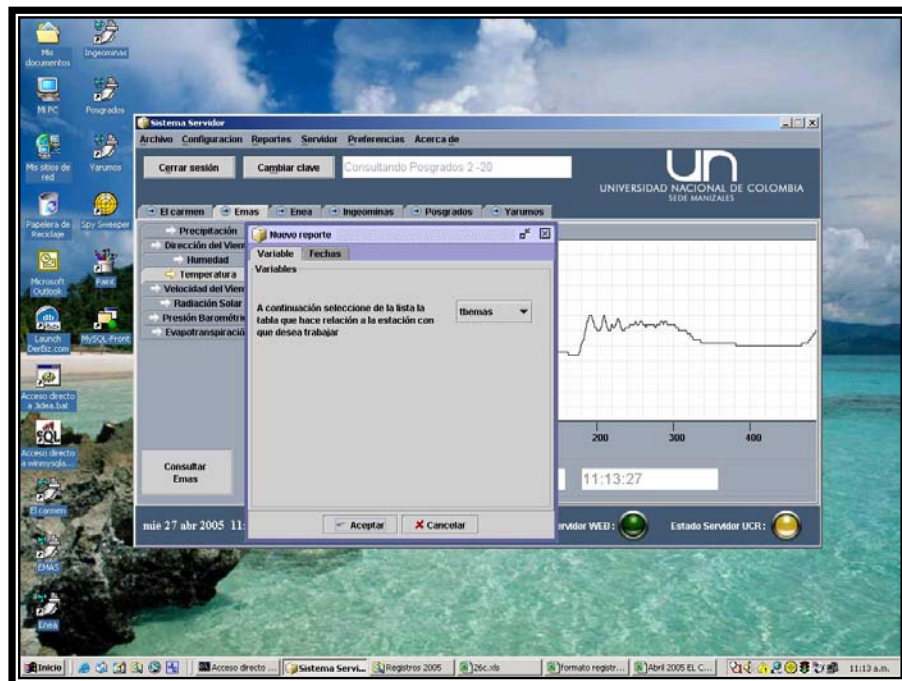
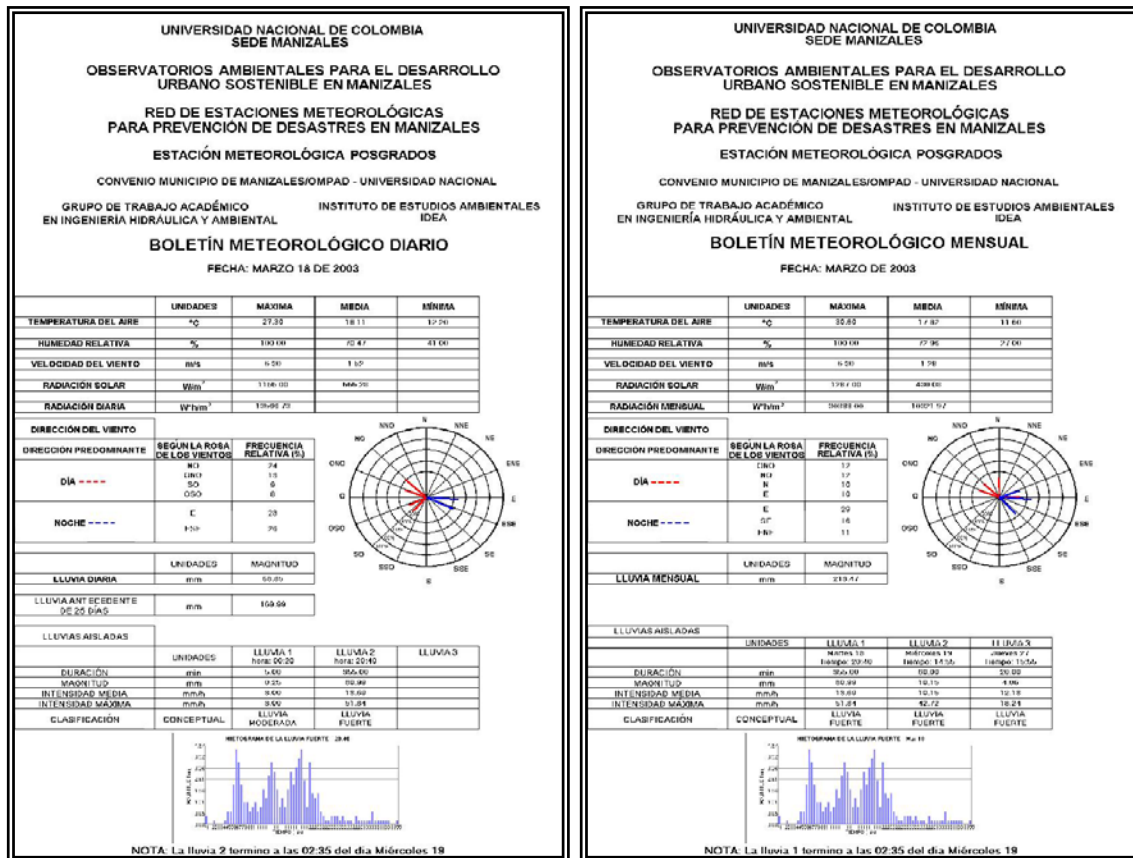


Figura 3. Software de Adquisición de Datos

## 6. UTILIZACIÓN DE LA INFORMACIÓN RECOLECTADA

### Generación de boletines meteorológicos

Con la información recolectada por la red de estaciones se elaboran boletines diarios (izquierda), mensuales (derecha) y anuales del comportamiento de las diferentes variables, esto para fines didácticos y de difusión de la información (Ver figura 4.).



**Figura 4.** Boletines meteorológicos Estación Posgrados

Estos boletines también se publican periódicamente en la página web del Instituto de Estudios Ambientales – IDEA de la Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales (<http://idea.manizales.unal.edu.co>); de igual manera, se elaboran informes con resúmenes de lluvias diarias, condiciones antecedentes de 25 días y sus respectivas gráficas de todas las estaciones y promedios para la ciudad, para uso de investigadores y del público en general, (Ver Figura 5).

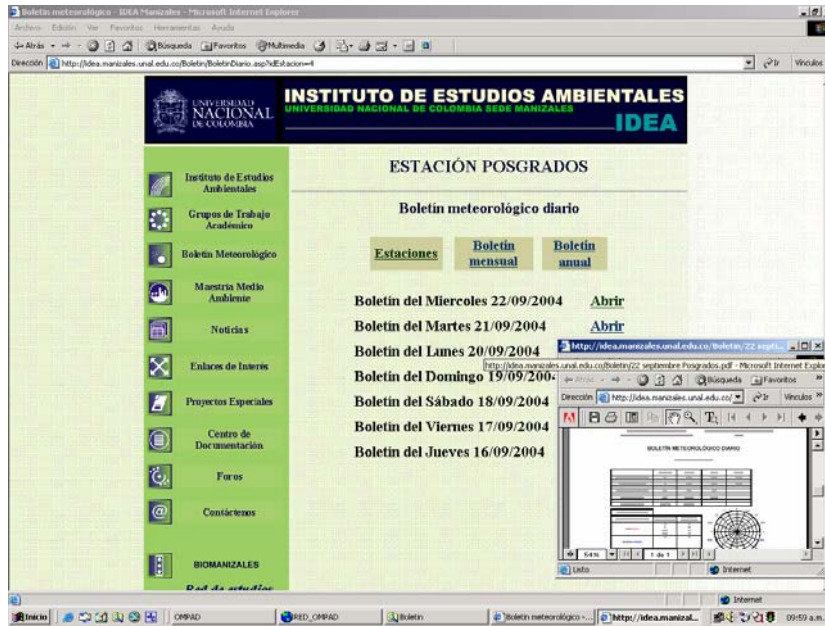


Figura 5. Información publicada en la página web del IDEA

Se tiene en funcionamiento el vínculo de la página web del IDEA para la consulta en tiempo real del estado del tiempo en Manizales para todas las estaciones de la Red y que se actualiza cada cinco (5) minutos.

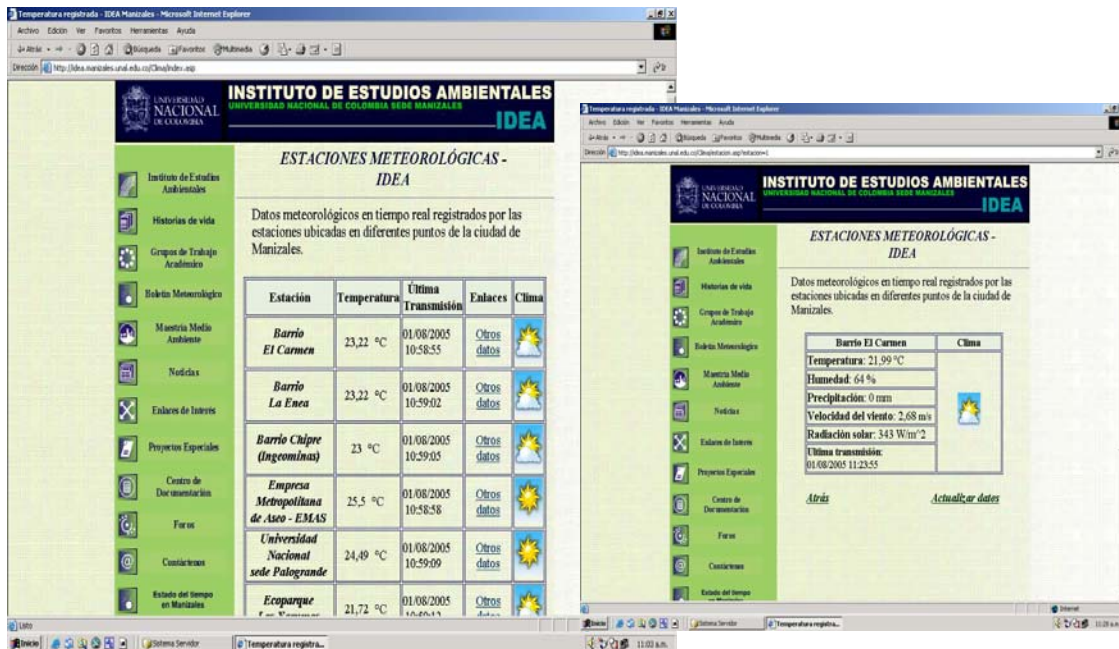


Figura 6. Consulta en tiempo real del estado del tiempo

## 7. RESULTADOS Y LOGROS OBTENIDOS

Con el montaje, puesta en funcionamiento y mantenimiento de la Red de Estaciones Meteorológicas para Prevención de Desastres de Manizales, se pueden mencionar entre otros los siguientes logros:

- Acopio y procesamiento de la información meteorológica confiable, cuantificable y sistemática, obtenida de las siete estaciones que conforman la Red, ubicadas estratégicamente en la ciudad y que transmiten datos cada cinco (5) minutos de ocho (8) variables meteorológicas, a un centro de acopio ubicado en las oficinas del IDEA de la Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales y cuya interpretación permitirá establecer tendencias en el comportamiento de variables meteorológicas, caracterizar fenómenos producidos por dichas variables, encontrar relaciones entre variables meteorológicas e hidrométricas o morfológicas, etc.
- La información debidamente procesada se divulga en la página web del IDEA, mediante boletines meteorológicos diarios, mensuales y anuales, además de cálculos de indicadores y gráficas (lluvia antecedente de 25 días), además de esto se ha publicado un artículo sobre la Red de Estaciones que aparecerá también en la Agenda Ambiental de Manizales titulado: *Monitoreo del Clima para Prevención de Desastres en Manizales*. Elaborado por Fernando Mejía Fernández Ingeniero Civil. Ms Sc Aprovechamiento de Recursos Hidráulicos, Director Instituto de Estudios Ambientales IDEA Sede Manizales y profesor asociado de la Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales y John Alexander Pachón Gómez Ingeniero Civil - Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales y Operador de la Red.
- La información se utiliza actualmente para la generación de alertas tempranas por parte de la OMPAD haciendo uso de indicadores que relacionan la variable lluvia con deslizamientos, por ejemplo, lluvia antecedente de 25 días.
- Se han desarrollado varias investigaciones tomando como base la información obtenida de la Red de estaciones, bien sea al calor de trabajos de curso, trabajos de grado o investigaciones realizadas por grupos multidisciplinarios de la Universidad Nacional. A continuación se mencionan algunos de ellos:
  - ✓ **Precipitación promedio para la ciudad de Manizales.** John Breyder Aguirre Castaño; Alejandro Usma Cuervo. Trabajo de curso de Hidrología. Programa de Ingeniería Civil – Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales. Junio de 2003.
  - ✓ **Análisis de lluvias y estadística de las Estaciones Meteorológicas de la Universidad Nacional - Estaciones El Carmen e Ingeominas.** Alejandra Aristizábal López; Ángela Adriana Vargas Valencia. Trabajo de curso de Hidrología. Julio de 2003.
  - ✓ **Análisis de las temperaturas registradas en la Estación Meteorológica EMAS del Relleno Sanitario La Esmeralda, años 1997 - 2003.** Para intervalos de una hora. Julián Leonardo Zuluaga; Clemencia Naranjo Henao. Trabajo de curso de Hidrología.

Programa de Ingeniería Civil – Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales. Año 2003.

- ✓ **Relación lluvia - deslizamiento de laderas. Movimiento de tierra.** Cristian Andrés Ramírez Mora; Luis Fernando Legarda Garzón. Trabajo de curso de Hidrología. Programa de Ingeniería Civil – Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales. Año 2003.
- ✓ **Análisis acerca de la magnitud y dirección de los vientos en la ciudad de Manizales.** Ana Cristina Cortés; Oscar Leandro Cuellar. Trabajo de curso de Hidrología. Programa de Ingeniería Civil – Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales. Año 2004.
- ✓ **Humedades relativas horarias anuales multianuales.** Andrés Mauricio Valencia; Omar Mauricio Escobar. Trabajo de curso de Hidrología. Programa de Ingeniería Civil – Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales. Noviembre de 2004.
- ✓ **Patrón de lluvias de 15, 30, 45, 60, 120 minutos para la Estación Posgrados en los años 2003 – 2004.** Sebastián Gómez Mejía; Pablo Andrés Marín. Trabajo de curso de Hidrología. Programa de Ingeniería Civil – Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales. Junio de 2005.
- ✓ **Hietogramas de magnitudes de precipitaciones de las lluvias.** Víctor Hugo Naranjo; Armando Marulanda. Trabajo de curso de Hidrología. Programa de Ingeniería Civil – Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales. Noviembre de 2005.
- ✓ **Información pluviométrica de las estaciones meteorológicas en Manizales., método de los polígonos de Thiessen.** Johanna Andrea Duque López; Luz Ángela Marín. Trabajo de curso de Hidrología. Programa de Ingeniería Civil – Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales. Mayo de 2006.
- ✓ **Diseño e implementación de un sistema de monitoreo remoto sobre internet con base en la Red de Estaciones Meteorológicas para la Prevención de Desastres del Municipio de Manizales.** Carlos Arturo Castillo Muñoz; director: Ingeniero de sistemas Leonardo Bermón Angarita. Trabajo de Grado Administración de Sistemas Informáticos – Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales. Año 2004.
- ✓ **Relación espacial lluvia, topografía, deslizamientos en el año 2003 en la ciudad de Manizales y su proyección multitemporal.** Luisa Fernanda Arango Álvarez; Lorena Zuluaga Tirado; director: Ingeniero civil Juan David Arango Gartner. Trabajo de Grado Ingeniería Civil – Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales. Año 2005.
- ✓ **Climatología urbana: Correlación Temperatura Vs Humedad Relativa y Temperatura Vs Radiación Solar. Verificación de la simbología en la web.** Juan David Serna Jaramillo; director: Ingeniero civil Fernando Mejía Fernández. Trabajo de Grado Ingeniería Civil – Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales. Año 2006.
- ✓ **Identificación del sistema lluvias - deslizamientos en la ciudad de Manizales.** Liliana Romo Melo. Trabajo de curso de Identificación de Sistemas, Maestría en Automatización Industrial. Julio de 2003.
- ✓ **Zonificación de riesgos por deslizamientos en áreas urbanas andinas.** Instrumentos de ayuda a la toma de decisiones en procesos de ordenamiento territorial. Fase I. Instrumentación pluviométrica, caracterización morfométrica e



identificación. Presentado a convocatoria multidisciplinar DIMA 2005 – 2007. Investigadores: Ing. Civil MsSc. Hidráulica Fernando Mejía Fernández; Geógrafa MsSc, PhD. Gestión Global de Riesgos Anne Catherine Chardon. Coinvestigadores: Ing. Civil, candidato a Magíster en Medio Ambiente y Desarrollo Juan Pablo Londoño Linares; Ing. Electrónico Jorge Hernán Estrada Estrada.

- Consolidación de Manizales como una de las ciudades con mejor monitoreo de variables meteorológicas en el país y como modelo de gestión de riesgos a nivel nacional e internacional.
- Asociación de la Red Meteorológica existente con otras redes de monitoreo: Red Telemétrica de Monitoreo de Calidad de Aire y Red Telemétrica de Monitoreo de Desplazamiento de Laderas, igualmente propuestas por miembros del Grupo de Trabajo Académico en Ingeniería Hidráulica y Ambiental.
- Se ha logrado desarrollar un sistema de red de estaciones con tecnologías propias muy baratas en relación con otros sistemas que rotan en el mercado.
- Se ha iniciado un programa de socialización del proyecto con el fin de dar a conocer a la comunidad la importancia de realizar monitoreo de variables meteorológicas en la ciudad y que a su vez, asuman un papel proactivo en la producción y multiplicación del conocimiento sobre amenazas/peligros, vulnerabilidades y riesgos.
- Se ha despertado el interés de otras instituciones en el país de implementar un sistema de monitoreo meteorológico como el de la Red Manizales; tal es el caso de la CARDER de Pereira, OMPAD Pereira, Universidad Tecnológica de Pereira que han unido esfuerzos y por medio de un convenio interadministrativo firmado con la Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales se ha materializado el montaje y puesta en funcionamiento de la Red de Estaciones Meteorológicas para Prevención de Desastres de Pereira desde el mes de agosto de 2006 y actualmente se adelantan los trámites para densificar la red adicionando cinco (5) estaciones más (tres (3) estaciones meteorológicas y dos (2) hidrométricas). De forma similar se ha presentado una propuesta para montar un sistema de monitoreo hidrometeorológico en el municipio de Neiva – Huila.

## **8. CONSIDERACIONES FINALES Y CONCLUSIONES**

Se espera en el inmediato futuro:

- Continuar con la instalación de nuevas estaciones de monitoreo para ampliar la cobertura de la actual Red de Estaciones Meteorológicas para la Prevención de Desastres en Manizales y disponer así de registros que permitan realizar una microzonificación de la amenaza por lluvia.

- Continuar con el acopio, procesamiento, análisis e interpretación sistemática y continua de registros meteorológicos obtenidos de la medición de diversas variables físicas y meteorológicas, que garantice a mediano plazo disponer de una base de datos sólida para caracterizar la dinámica pluviométrica de forma detallada en la ciudad.
- Emplear la información obtenida para atender las necesidades específicas de la comunidad, presentar solución a problemas asociados al comportamiento del clima, de igual manera brindar bases confiables para desarrollar investigación, gestión y mitigación del riesgo y prevención de desastres.
- Generar curvas y gráficas de las diferentes variables medidas que permitan observar su comportamiento temporal y espacial en Manizales y a la vez identificar y analizar factores de contexto que generan vulnerabilidad y explican la localización particular de daños que se presentan en la ciudad.
- Proponer mecanismos para medir los distintos factores que generan vulnerabilidad y riesgo frente a la amenaza de deslizamientos.

Esta red convierte a Manizales en una de las ciudades mejor monitoreadas y permite disponer de señales de alerta temprana ante eventos climáticos extremos para prevención de desastres, lo cual está siendo utilizado eficientemente por la OMPAD de Manizales y otros organismos; además constituye un factor importante para mejorar la competitividad en la medida en que permite ofrecer mayor seguridad a las inversiones y al funcionamiento de la infraestructura básica para la producción y comercialización de bienes y servicios.

Todo lo anterior, obedece al esfuerzo conjunto de la academia, representada por la Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales a través de su Instituto de Estudios Ambientales – IDEA; las entidades públicas como la Alcaldía Municipal por medio de la Oficina Municipal para Prevención y Atención de Desastres – OMPAD y la Secretaría de Planeación, entre otras; a la disponibilidad y prestancia de instituciones como el Liceo Mixto Aranjuez, el Centro Cultural y Comunitario El Carmen, la Biblioteca Orlando Sierra del Ecoparque Los Yarumos, el Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Manizales – Ingeominas; entidades privadas como la Empresa Metropolitana de Aseo EMAS S.A. E.S.P., y a la confianza puesta en naciescentes empresas locales de innovación y desarrollo tecnológico, como es el caso de A & V Ingeniería, lo que contribuye al bienestar comunitario y a mejoras en la calidad de vida de los manizaleños, propósito de todos.



## 9. BIBLIOGRAFÍA

MEJÍA FERNÁNDEZ, Fernando; CHARDON, Anne-Catherine; LONDOÑO LINARES, Juan Pablo; ESTRADA ESTRADA, Jorge Hernán. 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 morfométrica e identificación de factores preliminares de vulnerabilidad de contexto relevantes. Convocatoria multidisciplinar DIMA 2005 – 2007, Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales. (2005).

MEJÍA FERNÁNDEZ, Fernando; LONDOÑO LINARES, Juan Pablo. Red de estaciones meteorológicas del municipio de Manizales – Caldas (Colombia). (2004).

MEJÍA FERNÁNDEZ, Fernando; VARGAS GONZÁLEZ, Danny. Red de estaciones pluviométricas para prevención de desastres. XII Seminario Nacional de Hidráulica e Hidrología. Santafé de Bogotá, julio 17-19 de 1996.

BERMÚDEZ OSORIO Diana María, LONDOÑO LINARES Juan Pablo. Evaluación y parámetros de optimización de la red de estaciones hidrometeorológicas del Parque Nacional Natural Los Nevados. Tesis de Grado Universidad Nacional. (2002).

CASTILLO MUÑOZ, Carlos Arturo. Diseño e implementación de un sistema de monitoreo remoto sobre internet con base en la Red de Estaciones Meteorológicas para la Prevención de Desastres del Municipio de Manizales. Trabajo de Grado Administración de Sistemas Informáticos – Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales. (2004).

MEJÍA FERNÁNDEZ, Fernando; PACHÓN GÓMEZ, John Alexander. Monitoreo del clima para prevención de desastres en Manizales – Caldas (Colombia). Revista Agenda Ciudadana del Medio Ambiente Manizales – Caldas. p. 35 – 45. (2006).

ORGANIZACIÓN METEOROLÓGICA MUNDIAL. Guía de prácticas climatológicas. OMN – N° 100. (1990)

OFICINA MUNICIPAL PARA PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE DESASTRES DE MANIZALES – OMPAD. Balance general de emergencias ocurridas en Manizales. (2003).

COMUNIDAD ANDINA, SECRETARÍA GENERAL. Estrategia Andina para la Prevención y Atención de Desastres. Décimotercera Reunión Ordinaria del Consejo Andino de Ministros de Relaciones Exteriores. Quito – Ecuador. Julio 10 de 2004.