

PROPUESTA PARA EL MEJORAMIENTO DE LA RED AGROMETEOROLÓGICA EN EL DEPARTAMENTO DE CUNDINAMARCA

PROPOSAL FOR THE IMPROVEMENT OF THE AGROMETEOROLOGICAL NETWORK IN THE DEPARTMENT OF CUNDINAMARCA



¹Víctor Leonardo López Jiménez, ²María Alejandra Rojas Castro,
³Katherine Gineth Pérez Prieto

Programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria Universidad de la Salle, Bogotá, Colombia.

Recibido: 17/07/2018 • Aprobado: 28/08/2018

RESUMEN

La carencia de información meteorológica o la falta de calidad en la misma, causa deficiencia en el desarrollo de estudios e investigaciones sobre la afectación del entorno natural y específicamente en los sistemas de producción agropecuaria. Por esta razón, se hace necesario evaluar las condiciones de la red meteorológica que provee de información al sector agropecuario, con el fin de consolidar una base de datos consistente que se constituya en un verdadero soporte para la toma de decisiones relacionadas con la disminución del riesgo y los efectos de la variabilidad y el cambio climático en el sector agrícola y ganadero. En el desarrollo del proyecto se analizó la información disponible en las bases de datos del Ideam y la CAR, instituciones que operan en mayor proporción las estaciones de la red agrometeorológica en Cundinamarca. Al tiempo que se adelantó la compilación de la información, se realizaron las visitas de campo con el fin de obtener de primera mano información sobre la operación de las estaciones utilizando herramientas de investigación como las encuestas a los observadores de superficie. Con base en las publicaciones de la Organización Meteorológica Mundial - OMM y el Ideam, se determinó la metodología que mayor ajuste tuvo al objetivo de mejoramiento de la red meteorológica con fines agrícolas del departamento de Cundinamarca. Con estos criterios definidos y teniendo en cuenta el estado actual de las estaciones que operan en el departamento, se elaboró la propuesta de mejoramiento de la red agrometeorológica mínima.

Palabras clave: estación agro meteorológica, observaciones meteorológicas, red meteorológica mínima.

¹ vlopez@unisalle.edu.co, orcid.org/0000-0001-7273-014X

² mariaarojas93@unisalle.edu.co, orcid.org/0000-8111-8139

³ kperez01@unisalle.edu.co, orcid.org/0000-3508-7241

ABSTRACT

Lack of meteorological information, or lack of quality in the same, causes deficiency in the development of studies and investigations on the impact of natural environment and specifically, on agricultural production systems. For this reason, it is necessary to evaluate the conditions of the meteorological network that provides information to the agricultural sector, in order to consolidate a consistent database that constitutes a real support for decision making related to reducing risk and effects of climate variability and change in the agricultural and livestock sector. In the development of the project, the information available in databases of the Ideam and the CAR was analyzed; these institutions operate in greater proportion the stations of the agrometeorological network in Cundinamarca. While compiling information, field visits were carried out in order to obtain first-hand information about operation of the stations, using research tools such as surveys to the surface observers. Based on publications by World Meteorological Organization – WMO - and Ideam, the methodology that best suited the goal of improving the meteorological network for agricultural purposes of the department of Cundinamarca was determined. With these defined criteria and taking into account the current state of the stations operating in the department, the proposal for improvement of the minimum agrometeorological network was developed.

Keywords: *agrometeorological station, meteorological observations, minimum meteorological network.*



1. INTRODUCCIÓN

La red meteorológica nacional se crea en el año 1969 con el propósito de suplir la demanda de información, para adelantar estudios e investigaciones necesarias en la toma de decisiones en los diferentes sectores económicos del país (Ideam, 2005), esto como una iniciativa del Servicio Colombiano de Meteorología e Hidrología (SCMH) hoy Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam). Al momento de diseñar la red meteorológica nacional, se tuvieron en cuenta los criterios establecidos por la OMM, las condiciones fisiográficas del territorio colombiano y los diversos climas que las acompañan.

Hoy en día, esta red meteorológica cuenta con 5.179 estaciones a nivel nacional operadas por distintas instituciones, según el Catálogo Nacional de estaciones (CNE), sin embargo, la confiabilidad y representatividad de los datos ha disminuido debido a factores como la distribución y cobertura de las estaciones, además de las fallas operacionales y técnicas identificadas en la red. Estas fallas afectan de manera directa la calidad de la información y, por lo tanto, los resultados de su aplicación. Uno de los sectores más afectados con la mala calidad de la información resulta ser el agropecuario,

el cual lideró en 2017, de acuerdo con el informe de la (SAC, 2018), el crecimiento del Producto Interno Bruto (PIB), definiéndose como una actividad primordial dentro de la economía del país.

El presente estudio aborda esta problemática en el departamento de Cundinamarca, donde existe una gran diversidad orográfica y donde el sector agropecuario es el mayor aportante a la economía de la región. Por esta razón se considera de gran importancia contar con una red de estaciones sólida y robusta que permita la vigilancia y monitoreo de los parámetros meteorológicos que condicionan el desarrollo de las actividades agropecuarias.

Los resultados obtenidos del diagnóstico de la red meteorológica Ideam- CAR permitieron identificar que: i) no hay puntos de observación en algunas áreas que den cuenta de las condiciones climáticas fundamentales para las actividades agropecuarias; ii) hay superposición de áreas de cobertura debido a la cantidad y cercanía de las estaciones emplazadas o que cuentan con muy poco instrumental (carecen de registradores, en muchos casos); iii) existen estaciones que no cuentan con el mantenimiento

adecuado, y iv) la falta de cobertura de la red de estaciones climatológicas principales o meteorológicas con fines agrícolas por encima de los 2.800 metros de elevación, situación que no brinda garantías para el monitoreo de las condiciones meteorológicas que dan cuenta del régimen climático para el desarrollo de las actividades agropecuarias que tienen lugar en la media y alta montaña.

Con el presente proyecto se busca generar la propuesta de una red viable basada en la *metodología de red mínima* aprobada por la OMM y desarrollada por el Ideam para su adaptación, considerando las características del territorio cundinamarqués. Esta propuesta responde a las necesidades de información que se generan en el campo de la investigación, en especial la relacionada con los desarrollos del sector agropecuario.

2. METODOLOGÍAS PARA EL ANÁLISIS Y CONFORMACIÓN DE LA RED

En la revisión de las metodologías propuestas por la OMM y el Ideam se prestó especial atención a la bondad de estas en cuanto al análisis de la distribución de las estaciones, en la búsqueda de una apropiada densidad y cobertura de la red, teniendo en cuenta las características geomorfológicas del territorio. La metodología seleccionada debía recoger los aspectos técnicos y físico-geográficos que permitieran definir el comportamiento de las variables climatológicas en el

área de estudio. A continuación, se presentan los fundamentos teóricos de las metodologías tomados como referencia en la búsqueda de aquella que mejor se ajustara a los objetivos del proyecto.

2.1. Método de Gandín

En la Nota técnica No. 111 (WMO No. 265) titulada *The Planning of Meteorological Station Networks*, L. S. Gandín expone que se deben tener en cuenta los parámetros climatológicos a ser observados, ya que la densidad de distribución de las estaciones dependerá de la precisión que se requiera para determinar los valores promedios del elemento meteorológico evaluado en las áreas seleccionadas. En la nota se hace claridad sobre la composición de una red meteorológica básica, la importancia de las estaciones de referencia y el significado de las estaciones especiales o transitorias (López, 2009). Las estaciones de una red básica solo podrían dejar de funcionar en casos excepcionales, por ejemplo: como resultado de construcción de obras civiles, por lo que la estación dejaría de ser representativa.

Para evitar estos inconvenientes, la selección de puntos de observación debe hacerse considerando que las estaciones de una red básica deben, en lo posible, no ser trasladadas de sitio (López, 2009). De acuerdo con la clasificación de la OMM (Nota técnica No. 111), la Tabla 1 indica que en una red meteorológica básica existen tres grupos de estaciones para las observaciones meteorológicas:

TABLA 1
Distribución de estaciones meteorológicas en una red básica

GRUPO	TIPO ESTACIÓN	DISTANCIA (Km)	RADIO ACCIÓN PROMEDIO (Km)	SUGERENCIAS TÉCNICAS OMM
1-R	REFERENCIA	Entre 300 y 400	Entre 150 y 200	Una por cada 4 o 5 del primer grupo
RED BÁSICA	1	SP - CP - AM	Entre 150 y 200	Aprox. una por cada 10 estaciones del 2 grupo
	2	CO - ME	Entre 50 y 60	Aprox. 10 estaciones por cada una del primer grupo
	3	PM - PG	Entre 25 y 30	La mitad de la distancia en áreas montañosas

Fuente: López (2009)

El primer grupo de redes de estaciones se recomienda que estén especialmente adaptadas a las condiciones físicas y geográficas de la región y que la distancia entre ellas sea de 150 a 200 Km. En estas estaciones se harán observaciones de, temperatura del aire y del suelo, duración de la insolación (brillo solar), fenómenos atmosféricos (bruma, neblina, etc.), nubosidad, humedad relativa, precipitación, vientos y presión atmosférica.

A este grupo pertenecerían las estaciones de categoría Agrometeorológica, (AM) Climatológica Principal (CP) y Sinóptica Principal (SP), considerando esta última como una estación que, por su instrumental, además de su carácter aeronáutico, puede tener funciones climatológicas.

De este primer grupo debe seleccionarse un número de “estaciones de referencia” las cuales deben poseer extensas y sólidas series de datos (mayor a 30 años de registros), ya que se espera que sirvan especialmente para la corrección y complementación de datos de estaciones vecinas y para estudios de variabilidad y cambio climático (López, 2009).

Las estaciones de referencia deben tener la posibilidad de permanecer largos periodos de tiempo sin tener que ser cambiadas de sitio. La OMM sugiere que la distancia entre estaciones de referencia sea de entre 300 y 400 Km; además, sería deseable que por cada 4 o 5 estaciones del primer grupo exista una de referencia.

En las estaciones del segundo grupo se realiza un volumen de observaciones menor que en las del primer grupo. En este tipo de estaciones (CO-ME), se hacen observaciones de temperatura del aire, humedad relativa, precipitación, recorrido del viento y nubosidad; no se hace o no es prioritaria la observación de parámetros meteorológicos como la presión atmosférica, radiación solar y temperaturas a distintas profundidades del suelo, importantes para fines agrícolas. La distancia admisible de este tipo de estaciones entre ellas es de 50 Km y 60 Km, esto quiere decir que, por cada 10 estaciones del segundo grupo habría una del primer grupo aproximadamente.

En un tercer grupo se incluyen las estaciones pluviométricas (PM) y pluviográficas (PG), en las cuales solamente se hace la observación de fenómenos atmosféricos relacionados con la precipitación (lluvia y/o nieve); también se contempla la posibilidad de observar fenómenos atmosféricos como: tormentas, bruma, niebla, etc. Para los elementos de este grupo, es esencial que la distancia no exceda los 30 km, en lo que (López, 2009), ha indicado que la distancia apropiada se maneje entre 25 a 30 Km en terreno plano y de la mitad de esta distancia en áreas montañosas. La precipitación al igual que la temperatura son parámetros que definen en buena medida el clima de una región.

Las consideraciones sobre la distancia entre estaciones de una red se aplican, en primera instancia, a terrenos de condición plana. Para áreas de topografía quebrada o condiciones montañosas, varía mucho esta densidad, teniendo en cuenta el comportamiento espacio-temporal de los diferentes parámetros climáticos.

De acuerdo con lo que asegura (López, 2009), referente a las redes ubicadas en territorios montañosos; en estos casos debe considerarse la ubicación de las estaciones a barlovento y sotavento de las montañas, de tal forma que pueda ser analizado el comportamiento de la lluvia y demás parámetros meteorológicos, los cuales son afectados, normalmente, por las características orográficas del territorio; este es el caso de Cundinamarca.

2.2. Método de correlación espacial de Kagan

En conexión con los intereses enseñados por la Comisión de Climatología de la OMM, en el problema de la distribución racional de redes, la oficina central del Observatorio de Geofísica ha estado recopilando experiencias sobre el asunto. A continuación, se hace una breve descripción de la metodología expuesta por (Kagan, 1966).

En el momento de plantear el diseño de la red de precipitación, fundamentalmente, se debe tener muy claro cuál es el interés real del proyecto. Tener en mente el interés es más importante que la figura de los puntos que, individualmente, conforman la red. El resultado de los cálculos hechos por Kagan muestra que la función

de correlación de la precipitación es, sustancialmente, diferente en regiones fisiográficamente diferentes.

Se emplean ecuaciones para detallar la representatividad de una estación en un área determinada, así como para estimar el error con el cual se calcula la precipitación media de un punto y en una zona determinada, empleando los datos de la red existente a través de los coeficientes de relación (ρ) y las distancias entre las estaciones (d) que puede ser expresado matemáticamente de la siguiente manera.

$$\rho(d) = \rho(o) \cdot e^{-\frac{d}{d_o}}$$

Donde:

d = distancia entre estaciones

$\rho(o)$ = Coeficiente de correlación cruzada para una distancia $d=0$

d_o = Radio de correlación, o distancia a la cual el coeficiente es $\rho(o)/e$

Teóricamente $\rho(o)$ debería ser igual a la unidad; sin embargo, es menor debido a los errores aleatorios en la medición de la precipitación y a la diferencia microclimática que podría presentarse en el área de estudio. (Kagan, 1966) estima la varianza de dichos errores de acuerdo a la siguiente expresión:

$$\sigma_1^2 = [1 - \rho(o)] \cdot \sigma_p^2$$

Donde:

σ_p^2 es varianza de la precipitación puntual

Los parámetros $\rho(o)$ y d_o la usa Kagan para determinar la bondad de la red siguiendo los criterios: evaluación de la predicción de la lluvia promedio y evaluación de la predicción de la interpolación espacial.

2.3. Método de red mínima – OMM

La guía de prácticas hidrológicas emitida por la OMM, en su última versión 2011, refiriéndose a los recursos hídricos, indica que la primera etapa en la creación de una red básica es el establecimiento de una red mínima.

Esta red debería estar compuesta por el menor número de estaciones que la experiencia conjunta de los servicios hidrometeorológicos haya indicado como necesarias para la planificación de los recursos. Esta red cuenta, de acuerdo con la OMM, con una densidad mínima, que para el caso de la red climatológica debiera estar clasificada de acuerdo con el tipo de datos recopilados.

3. DENSIDAD DE ESTACIONES PARA UNARED MÍNIMA CON FINES HIDROMETEOROLÓGICOS

Se pretende que el concepto de densidad de red sirva como orientación general en caso de carecer de una guía específica; estas densidades de diseño tienden a tener en cuenta las condiciones socioeconómicas y físico-climáticas reales (OMM-168, 2011).

La densidad de la población también afecta el diseño de la red. Es casi imposible instalar y explotar de manera satisfactoria una red de estaciones, donde la población es tan escasa que difícilmente se puede contar con observadores para su operación. Las zonas poco pobladas tienen, en general, climas extremos; se trata de altas montañas, regiones áridas, polares o de bosques tropicales, casos en que se recomienda el uso de pluviómetros totalizadores por su escasa necesidad de visitas y de mantenimiento.

En las zonas urbanas densamente pobladas, se requiere una red pluviométrica muy densa tanto para el estudio espacio-temporal como para el diseño, gestión y control en tiempo real (López, 2009).

A partir de estas consideraciones han sido adoptadas algunas reglas generales para la definición de redes mínimas de observación hidrometeorológica. Para estas zonas, la guía de prácticas hidrológicas de la (ONN-168, 2011), establece unos valores de densidad mínima (Tabla 2), recomendados respecto a diversos tipos de estaciones hidrológicas.

TABLA 2
Valores mínimos de densidad de estaciones (Km² por estación)

UNIDAD FISIAGRÁFICA	PRECIPITACIÓN		EVAPORACIÓN
	No registradoras	Registradoras	
Zona costera	900	9000	50000
Zona montañosa	250	2500	50000
Llanuras interiores	575	5750	50000
Zonas escarpadas ondulantes	575	5750	50000
Islas pequeñas	25	250	50000
Zonas urbanas	-	10 a 20	-

Fuente: OMM-168 2011

4. DENSIDADES MÍNIMAS PARA ESTACIONES CLIMATOLÓGICAS

Se considera que en una estación climatológica que hace parte de una red básica son medidos los parámetros: precipitación, evaporación, temperaturas, humedad y vientos. Los dos primeros parámetros son fundamentales en estaciones instaladas con fines hidrológicos.

Las estaciones pluviométricas deben seguir ciertos principios de instalación y uso, el pequeño número de estaciones en la red mínima puede atender la mayoría de las necesidades más inmediatas. Los pluviómetros deben estar distribuidos de la manera más uniforme posible, teniendo en cuenta la necesidad de información y el personal de observadores disponible (OMM-168, 2011).

En regiones montañosas, debe darse una atención especial a la distribución vertical tratando de cubrir al máximo las franjas hipsométricas y utilizando pluviómetros totalizadores para medir las precipitaciones a grandes altitudes.

5. RED DE REFERENCIA PRELIMINAR IDEAM

El objetivo que se planteó el Ideam con este estudio preliminar en 1996, fue el poder determinar un número inicial de estaciones que representara las diferentes regiones naturales del país. Estas estaciones fueron seleccionadas de acuerdo con un conjunto de criterios relacionados con: su elevación, longitud y calidad de las

series disponibles; con su representatividad geográfica y climatológica; con la calidad del instrumental utilizado y la disponibilidad de los datos, características que más adelante pudieran constituirse en la base de una red de referencia (Ideam, 1996).

El trabajo realizado se orientó teniendo en cuenta que la precipitación es el parámetro alrededor del cual gira el concepto de clima en las latitudes próximas al Ecuador. Cumplidas las distintas fases del proceso los profesionales de la institución propusieron una densidad de la red básica del Ideam para la medición de la lluvia en los departamentos de Colombia, como se muestra en la Tabla 3.

TABLA 3
Densidad promedio de la red por departamento

Áreas por departamento (Km ²)	Estaciones por Km ²
Áreas entre 40 y 10.000	2,43
Áreas entre 10.000 y 30.000	1,08
Áreas entre 30000 y 60000	0,34
Áreas entre 60000 y 90000	0,24
Más de 90000 Km ²	0,07

Fuente: Ideam. Referenciado por López (2009)

Bajo ese concepto metodológico fueron sugeridas para la red de Cundinamarca 1,40 estaciones de referencia por cada 1.000 Km², datos muy cercanos a los propuestos en la guía de prácticas hidrológicas de la OMM (No. 168) para pluviómetros con registro (PG).

6. CONSIDERACIONES SOBRE UNA RED MÍNIMA FUNCIONAL

Se considera una *red mínima funcional*, aquella cuya capacidad físico-técnica permite medir y/o registrar de manera consistente y continua las variaciones que presentan las distintas variables meteorológicas, así como la ocurrencia de fenómenos atmosféricos en un área determinada.

Tomando como base los conceptos de red básica y red mínima expuestos en párrafos anteriores, junto con los accidentes geográficos y la diversidad de condiciones atmosféricas que pueden afectar un territorio en el tiempo, es posible plantear una distribución aproximada de las estaciones que deben conformar una red climatológica *mínima y funcional* para el suministro de información. Los tipos de estaciones meteorológicas consideradas en una red básica son: sinópticas (SP-SS), agrometeorológicas (AM), climatológicas (CP-CO) y pluviométricas / pluviográficas (PM-PG).

Considerando la nota técnica 111 de la OMM, e incluyendo normas y anotaciones incluidas en otras publicaciones, (López, 2014) planteó la distribución que se presenta en la Tabla 4, donde aparecen los valores medios mínimos tomados como distancia entre estaciones y como radio de acción o cobertura de estas.

Es de anotar que estos valores propuestos por la OMM suponen una cobertura de la red diseñada para territorios donde no hay presencia de accidentes orográficos que alteren el comportamiento de los elementos meteorológicos.

TABLA 4

Valores medios para una red mínima funcional

Tipo estación	Distancia media (Km)	Radio acción (Km)
Climatológica principal (CP) Agrometeoro-lógica (AM)	150	75
Climatológica ordinaria (CO)	50	25
Pluviométrica (PM – PG)	25	13

Fuente: López 2009

De acuerdo con (Lowry, 1973) “la combinación de la pendiente y la dirección de la vertiente definen el aspecto físico y climatológico de un lugar”. Es claro entonces que, la orografía tiene una incidencia importante sobre el comportamiento de las variables meteorológicas, estas condiciones se ven reflejadas en la distribución y rendimiento de las áreas agrícolas.

La temperatura desciende con la elevación, pero muestra comportamientos diferentes de acuerdo con la ladera en estudio; los vientos sufren rozamiento mecánico al cruzar las cordilleras y su velocidad no es la misma a uno y a otro lado de los sistemas montañosos, la distribución diurna del brillo solar no es la misma en el costado oriental que en el occidental de un sistema montañoso (López, 2012).

7. DETALLES EN EL REDISEÑO DE LA RED AGROMETEOROLÓGICA

En el plan estratégico de la red hidrológica, meteorológica y ambiental que adelanta el Ideam, se reconoce la necesidad de ajustar y afinar las herramientas tecnológicas que permiten a la institución y al sector agropecuario mejorar los conocimientos acerca del comportamiento de los parámetros meteorológicos que definen el clima. La formulación del plan, el cual incluye la redimensión de la red, se lleva a cabo teniendo en cuenta que la variabilidad climática y los cambios que viene introduciendo el calentamiento global están dando cuenta del incremento en la frecuencia de fenómenos meteorológicos extremos que impactan el sector productivo del país.

Al igual que el Ideam, la CAR realiza el seguimiento a las condiciones meteorológicas con el fin de satisfacer la demanda de información, considerada como un importante insumo para la investigación y la planificación de actividades que hacen parte del desarrollo socioeconómico en Cundinamarca. Aunque existen redes con fines particulares como las operadas por entidades privadas, son el Ideam y la CAR las instituciones que comparten la responsabilidad del suministro de información hidrometeorológica a la comunidad y, en particular al sector agropecuario del departamento.

Teniendo en cuenta lo expuesto, el análisis de la red meteorológica con fines agrícolas que opera en Cundinamarca se llevó a cabo considerando todas las estaciones (PM, CO, CP, AM, SP), que se encuentran activas (operando a octubre de 2018), sin tener en cuenta la fecha de instalación ni la extensión de la serie.

Con el fin de dar respuesta a la necesidad de información en Cundinamarca, el Ideam y la CAR fueron ajustando sus redes meteorológicas, de manera fraccionada e independiente, por lo que hoy en día es posible encontrar áreas donde la densidad de las estaciones es muy grande (*Anexo C-1*) y otras áreas donde no hay puntos de observación suficientes para monitorear el comportamiento de los parámetros meteorológicos. En la Tabla 5, se encuentra la distribución de estaciones según su categoría, referenciando a que institución pertenecen.

TABLA 5
Cantidad de estaciones por categoría

Tipo	Número de estaciones	
	CAR	Ideam
AM		1
CP	21	5
CO	10	31
PG	26	11
PM	43	81
AU	56	25
ME		13
SP		2
TOTAL	156	169

Fuente. Catálogo actualizado de las redes meteorológicas. Ideam 00- CAR 2017

Aunque la OMM indica que el conjunto de estaciones meteorológicas que opera en una región debiera ser suficiente para alimentar las necesidades del sector agrícola, también considera la importancia de que existan estaciones cuyo objeto de estudio sea el monitoreo de parámetros útiles al mejoramiento de la producción agrícola, incluyendo datos sobre las características del suelo, es decir, estaciones agrometeorológicas.

La distribución de las estaciones que conforman la red, de acuerdo con los tipos ya señalados, son en su mayoría convencionales y, tanto su cantidad como su distribución no son las que se requieren para atender las necesidades que acusa la investigación sobre el comportamiento y variabilidad de las condiciones climáticas en el departamento.

Aunque la red Ideam –CAR cuenta con un buen número de pluviómetros, las estaciones que tienen instrumental para la medición de parámetros como la temperatura, la humedad, la radiación y el viento, son muy pocas y por su ubicación no brindan la cobertura requerida por los cultivadores de la región.

7.1. Distribución espacial de la red meteorológica Ideam-CAR

Considerando la diversidad geográfica en la que se desarrollan las actividades agrícolas y ganaderas y el crecimiento de este sector económico en el departamento de Cundinamarca, se hace necesario adelantar los estudios para la redimensión de la red meteorológica con fines agrícolas, proceso que debe llevar a que la ubicación y distribución de las estaciones que la conforman, brinde la oportunidad de monitorear cada uno de los parámetros que determinan el comportamiento de clima.

La información que suministren las estaciones meteorológicas que conforman la red debe ser la necesaria y técnicamente conveniente, para soportar los estudios e investigaciones que permitan una zonificación agrícola, brindando la posibilidad de atender los requerimientos hidroclimáticos de los cultivos sin desconocer, claro está, las condiciones físico-geográficas del territorio.

7.2. Estado de la red meteorológica en Cundinamarca

La OMM establece que la responsabilidad del manejo de una red de estaciones, cuya tarea principal es la producción de datos de la mejor calidad posible, recae en el gobierno (OMM- 488, 2013), el cual debe establecer una entidad apropiada dentro del servicio meteorológico a cargo de la operación, mantenimiento y supervisión de las estaciones,

logística, obtención, suministro y reparación del equipo además del material necesario para garantizar la operación de manera ininterrumpida.

Del análisis de la información disponible sobre la red en Cundinamarca, se puede afirmar que esta no cumple con el criterio de desarrollo conjunto, pues según las recomendaciones de la OMM debería ser una sola entidad la encargada de todo el proceso de operación de la red. En la actualidad la operación de la red meteorológica de Cundinamarca está a cargo del Ideam y la CAR, aunque, como ya se anotó, entidades como el Centro Nacional de Investigaciones de Café (Cenicafé), la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB), entre otros, se encargan de la operación de redes privadas, y su información es de uso exclusivo; esto hace que la información se encuentre de manera fragmentada y no haga parte de una sola base de datos, lo que dificulta la consulta por las entidades y/o usuarios que la requieran.

8. REDES AUTOMÁTICAS

El Ideam ha venido instalando desde el año 2004 una red de estaciones automáticas y hoy cuenta con 25 estaciones de este tipo en el departamento. Esta red automática tiene la gran ventaja de contar con transmisión de datos vía satelital, aspecto que se ha constituido en una fortaleza para alimentar el sistema de alertas tempranas y prevención de desastres, así como el proceso de pronóstico meteorológico. Sin embargo, estos equipos requieren de un seguimiento especial, una calibración periódica que garantice la calidad de la información.

La CAR cuenta con 56 estaciones automáticas para el seguimiento de las condiciones climáticas de la región, y al igual que el Ideam el mantenimiento de este tipo de estaciones está a cargo del grupo de sistemas y automatización de cada entidad, soportado en algunos casos, por empresas que prestan su servicio como contratistas.

9. OPERACIÓN ACTUAL DE LA RED Y CALIDAD DE LA INFORMACIÓN

Para tener una primera aproximación de la operación de la red y de la calidad de la información que esta genera, se revisó y calificó la información disponible considerando básicamente: la extensión y continuidad de la serie; calidad de los datos de acuerdo con la confiabilidad que se puede tener en estos y la hora de observación a que esta incide en la representatividad del dato. De igual manera, se tuvieron en cuenta las notas y comentarios de los inspectores, mediante las actas de instalación y las carpetas de seguimiento diligenciadas por ellos. Esta información fue suministrada por el Ideam y la CAR.

La verificación de la información disponible sobre la operación de las estaciones se adelantó con el acompañamiento de personal del Ideam. Estas visitas se hicieron a estaciones previamente seleccionadas y fueron aprovechadas para la obtención de información relacionada con horarios de observación, estado de los instrumentos, frecuencia de inspección, suministro de los materiales, accesibilidad a la estación, tiempo trabajando como observador, capacitación para ejercer las labores como observador, satisfacción con la remuneración, frecuencia de mantenimiento por parte de la entidad (Ideam o CAR), disponibilidad a servicios públicos y frecuencia y gestión en los casos de fallas en los equipos.

De las respuestas de los observadores e inspectores se pudo confirmar la continuidad en las fallas operacionales ya manifestadas en (López, 2009) como que, los valores altos en algunos de los promedios de temperatura se deben, principalmente, a la hora en que se realiza la última observación del día en algunas de las estaciones (18:00 horas aproximadamente).

De otro lado, la ubicación de los jardines meteorológicos y su distancia al lugar de vivienda o permanencia del observador, la falta de elementos básicos como una linterna, pilas, botas y capas para invierno, inciden en el cumplimiento de los horarios de observación.

Tomando como referencia los resultados de la revisión y calificación de la información meteorológica disponible (cantidad), se puede decir que para un mejor aprovechamiento de los datos suministrados por las estaciones que conforman la red Ideam-CAR se hace necesario y urgente adelantar procesos de capacitación a los observadores, ajustar los horarios de observación y adelantar un proceso juicioso de verificación de información. En la Tabla 6 se presenta el consolidado de los resultados del análisis y calificación de la red.

TABLA 6

Resumen. Calidad de información de la red Ideam-CAR

Indicador operación	Ideam		CAR	
	Cantid.	%	Cantid.	%
Buena.	26	16	0	0
Regular.	124	75	155	99
Mala	16	10	1	1
Total	166	100	156	100

Fuente. Elaboración propia.

10. CRITERIOS DE DISEÑO DE LA RED

Para la selección de la metodología con la que se llevó a cabo el mejoramiento de la red agrometeorológica, se tuvieron en cuenta las notas técnicas de la OMM sobre el emplazamiento de las estaciones, las características de una red mínima, las consideraciones expuestas en el marco de referencia, los conceptos utilizados por Gandín y Kagan en sus teorías de diseño de redes y los estudios adelantados por (López, 2009). Como se muestra a continuación, además de las teorías y métodos analizados, fueron tenidas en cuenta las características físicas de la zona de estudio y aspectos particulares de la red:

- Ubicación y número de estaciones.
- Categoría de las estaciones según parámetros observados.
- Características morfológicas del terreno (montaña, valle, etc.).
- Extensión y consistencia de la serie de datos.
- Calidad de la información (sondeo sobre calidad de los datos).
- Estado del instrumental según concepto técnico del Ideam.
- Operación de la red según concepto de inspectores.

Partiendo del análisis de las estaciones que conforman la red (distribución y operación) y teniendo en cuenta las teorías y los criterios mencionados se llegó a lo que, finalmente, se consideró la *Red mínima funcional*, como la metodología a seguir en el mejoramiento de la red Ideam-CAR, en la búsqueda de dar solución a los problemas de información manifestados por el sector agrícola en el departamento.

Las características topográficas del terreno sobre el que se encuentra operando la red Ideam-CAR, en su mayoría sobre el conjunto orográfico de la cordillera oriental, con fuertes pendientes en algunos casos, determinaron el ajuste hecho a la metodología de Gandín la cual fue pensada más para latitudes medias y altas que para latitudes próximas al Ecuador (OMM- Nota técnica No. 111). Como resultado del análisis de estas teorías en (López, 2009), se consideró que, como se muestra en la Tabla 7, la densidad de las estaciones en la zona de estudio debe crecer entre 4 y 6 veces por encima de la que propone la OMM para terrenos llanos o con algunas ondulaciones.

TABLA 7

Valores medios de cobertura para una red mínima ajustada

Grupo	Tipo	Terrenos sin accidentes orográficos - OMM		Terrenos montañosos Cundinamarca	
		Distancia media (Km)	Radio de acción (Km)	Distancia media (Km)	Radio de acción (Km)
1	Climatológica principal y agrometeorológica (CP – AM)	150	75	20 - 30	10 - 15
	Climatológica ordinaria y automática (CO – AU)	50	25	12	6
2	Meteorológica Especial (ME)	25	13	6	3
3	Pluviométrica (PM - PG)	25	13	6	3

Fuente. Nota técnica 111-OMM. Adaptado V. L. López 2009.

El hecho de tener aparatos registradores en las estaciones AM y CP, permite monitorear el funcionamiento de varias estaciones del segundo y tercer grupo ubicadas a su alrededor, en un radio de hasta 30 kilómetros. De otro lado, aunque las estaciones sinópticas (SP y SS) no aparecen en la tabla, estas son consideradas como del primer grupo al establecer la cobertura de la red, teniendo en cuenta que por el número de parámetros monitoreados en ellas cumplen funciones climatológicas.

Como ya se mencionó, las estaciones automáticas (AU) poseen un buen volumen de información y se constituyen en una muy buena fuente de información por lo que deberían ubicarse en el grupo 1 (como si se tratara de una CP), pero se consideran en el grupo 2 debido a que la serie de datos, en algunas de estas estaciones, es muy corta y que en muchos casos no cuentan con un buen seguimiento y calibración de los sensores, por las restricciones generadas por el costo y disponibilidad de asistencia técnica.

11. PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DE LA RED AGROMETEOROLÓGICA EN CUNDINAMARCA

Teniendo en cuenta las necesidades del sector agropecuario en materia de información meteorológica y considerando las deficiencias en términos de calidad de los datos, se realizó la revisión de la distribución de las estaciones. Si bien es cierto que la red meteorológica conjunta ha tenido un crecimiento en los últimos años alcanzando la operación actual de 325 estaciones, 156 de la CAR y 169 del Ideam, este crecimiento no ha sido bien planificado y por tanto hoy en día las estaciones que se encuentran en operación, solo cubren entre el 45% y 50% de la superficie de Cundinamarca, como se puede observar en la Figura 1 (Mapa de distribución de estaciones en la red actual Ideam-CAR).

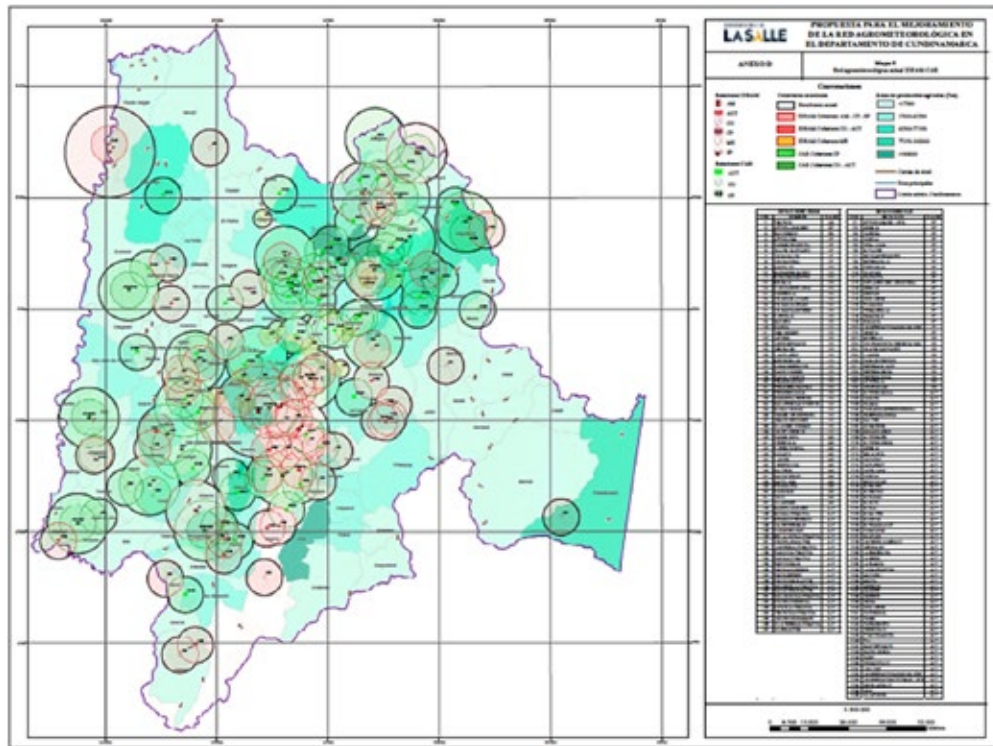


Fig. 1. Mapa - Distribución de la red meteorológica actual (Ideam – CAR) en Cundinamarca.

Dado que la red conjunta Ideam-CAR no está cumpliendo con la cobertura que técnicamente se requiere para hacer el seguimiento al comportamiento del clima en Cundinamarca, se hizo obligatorio estudiar la posibilidad de ajustarla proponiendo el emplazamiento de nuevas estaciones, reactivando estaciones importantes para el seguimiento de parámetros estratégicos para el desarrollo agrícola y complementando algunas otras con instrumental que brinde la posibilidad de obtener registros que mejoren la consistencia de la red. No se busca que la red sea compuesta exclusivamente de estaciones agrometeorológicas pues, las estaciones meteorológicas con fines agrícolas deben ser consideradas como un complemento de las estaciones de observación de otros tipos, no como constituyentes de una red separada (CMAg, 2006).

Los mapas se diseñaron y fueron generados bajo la plataforma Arc-GIS 10.3.1, tomando como base la información geográfica digital suministrada por el Ideam, la CAR, la Gobernación de Cundinamarca y la UPRA; se determinaron los límites de cobertura de

cada una de las estaciones dependiendo de su tipo, con la herramienta de geo-procesamiento buffer de la interface de Arctoolbox.

12. CONDICIONES QUE JUSTIFICAN LOS AJUSTES DE LA RED

Al generar las coberturas de cada una de las estaciones de la red Ideam-CAR operada actualmente se pudo identificar que:

- Hay áreas que carecen de información meteorológica (no hay puntos de observación), como es el caso de los municipios de Uña, Paratebuena, Caparapí, San Cayetano, San Juan de Rioseco, Fómeque, Fosca, Cáqueza y San Bernardo, donde no hay estaciones que den cuenta de las condiciones climáticas fundamentales para las actividades agropecuarias que se generan en estos municipios relevantes en cuanto a su producción;

- Hay superposición de áreas de cobertura debido a la cantidad y cercanía de las estaciones emplazadas;
- Existen estaciones que cuentan con muy poco instrumental (carecen de registradores, en muchos casos) o que no cuentan con el mantenimiento adecuado;
- Falta de cobertura de la red por encima de los 2.800 metros de elevación para la medición de variables agrometeorológicas (estaciones CP/AM), condición que no brinda garantías para el monitoreo de las condiciones climatológicas.

Las tablas 8 y 9, dejan ver la escasez de estaciones meteorológicas que debieran ser tomadas como de referencia (Grupo 1), para la medición en superficie de parámetros meteorológicos indispensables para la planificación y desarrollo de las actividades agropecuarias propias de la media y alta montaña cundinamarquesa.

TABLA 8

Clasificación de estaciones por rango de elevación (Red CAR)

Elevación msnm	CAR			
	PM - PG	CO - AU	CP - AM	Total
0 – 1.000	3	5	2	10
1.000 – 1.500	5	5	5	15
1.500 – 2.000	3	6	2	11
2.000 – 2.500	3	4	0	7
2.500 – 3.000	41	27	11	79
3.000 – 3.500	14	19	1	34
3.500 – 4.000	0	0	0	0
Total	69	66	21	156

TABLA 9

Clasificación de estaciones por rango de elevación (Red Ideam)

Elevación msnm	Ideam			
	PM - PG	CO - AU	CP - AM	Total
0 – 1.000	10	8	0	18
1.000 – 1.500	12	1	1	14
1.500 – 2.000	20	6	1	27
2.000 – 2.500	10	6	0	16
2.500 – 3.000	32	39	6	77
3.000 – 3.500	8	7	0	15
3.500 – 4.000	0	2	0	2
Total	92	69	8	169

Fuente. Datos CNE. Elaboración propia.

13. AJUSTES PROPUESTOS PARA LA RED

Los cambios y/o ajustes propuestos para el mejoramiento de la red se hicieron considerando las franjas hipsométricas en las que se desarrollan las diferentes actividades agrícolas, el tipo de instrumental recomendado por la OMM para atender las necesidades de este sector y la entidad que se encarga de la operación de las estaciones. Es de anotar que, la propuesta para el ajuste de la red se llevó a cabo siguiendo las teorías y métodos expuestos para el diseño de una *red meteorológica mínima funcional*. La propuesta contempla la reactivación de un punto de observación en Anolaima, la dotación de instrumentos registradores en once estaciones y la instalación de cuatro nuevos puntos de observación, con lo que se podría garantizar una buena cobertura. Los emplazamientos sugeridos son:

- Una estación agrometeorológica en el sureste de la zona B del municipio de Ubalá entre los . y 3.000 msnm.
- Una estación agrometeorológica al suroeste del municipio de Medina, en una elevación entre los 2.000 y 3.000 msnm.

- Una estación climatológica principal al sureste del municipio de Cáqueza en el límite con el municipio de Quetame, entre las cotas 2.000 y 2.500.
- Una estación climatológica principal al norte del municipio de Yacopí, entre las cotas 500 y 1.000.

La propuesta de mejoramiento de la red agrometeorológica, presentada en la Figura 2, permitiría la cobertura de un total de 1.652.048,43 hectáreas, lo que representa cerca del 70% del territorio cundinamarqués; esto significaría el aumento del más del 25% en los radios de cobertura de las estaciones actuales en la red Ideam-CAR.

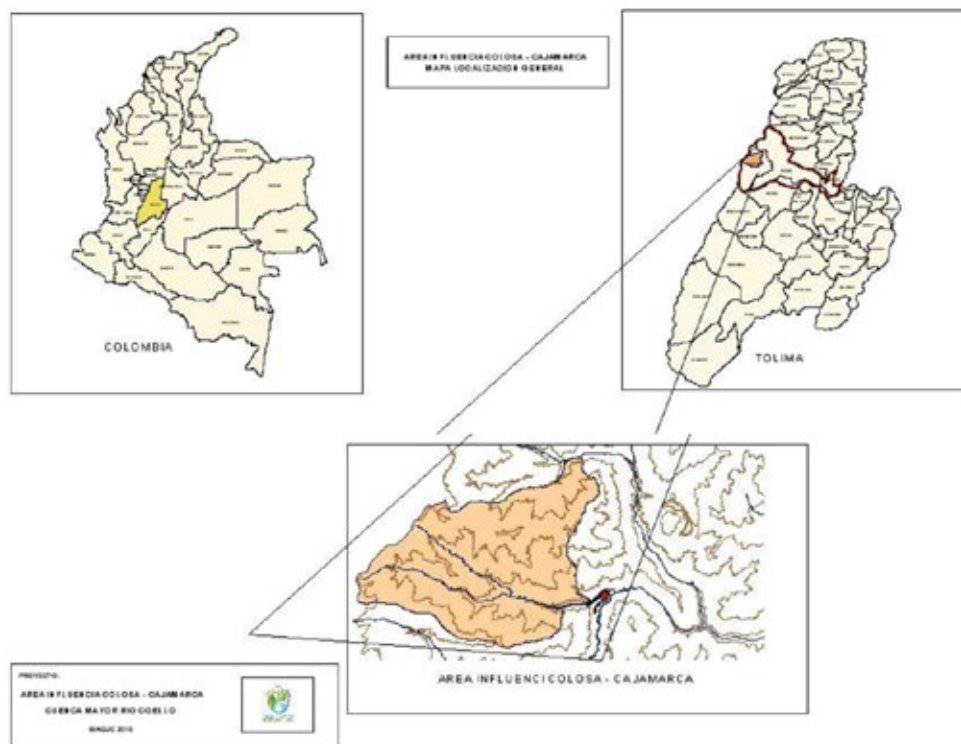


Fig. 2. Mapa - Propuesta de red meteorológica (Ideam-CAR) con fines agrícolas en Cundinamarca.

14. CONCLUSIONES

Considerando la necesidad de información climatológica del sector agropecuario para el mejoramiento de su sistema productivo y el desarrollo de sus investigaciones, se llevó a cabo el análisis de la red meteorológica con fines agrícolas que operan el Ideam y la CAR en el departamento de Cundinamarca, con el objeto de presentar una propuesta para su redimensión. El desarrollo del proyecto permitió llegar a las siguientes conclusiones:

- Los criterios técnicos definidos para la instalación y operación de las estaciones con las que se lleva a cabo el monitoreo de las condiciones

meteorológicas en el departamento de Cundinamarca, no han fueron elaborados de manera conjunta por el Ideam y la CAR, las dos entidades que operan la red; esta situación sumada al manejo de los datos dificulta, no solamente la operación de las estaciones, sino la disponibilidad de la información en una base única de datos.

- Es evidente la mala distribución de la red Ideam-CAR. Se pudo establecer que existe un importante número de estaciones entre 2.500 y 2.800 msnm (principalmente sobre el altiplano), la mayoría de

ellas de primer orden (AM, CP) y segundo orden (CO y ME), consideradas importantes para el desarrollo de las actividades agrícolas y pecuarias, mientras que en otros sectores del departamento es evidente la falta de cobertura.

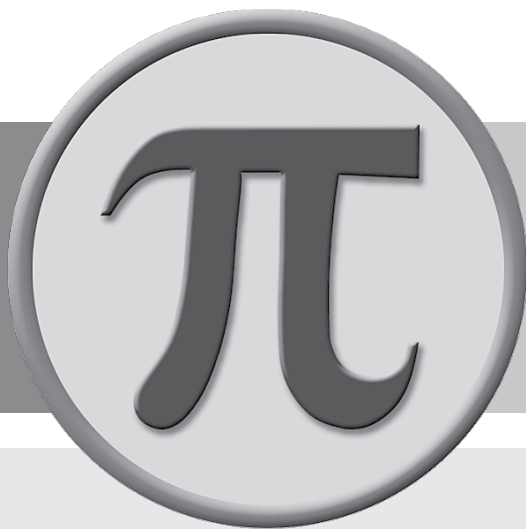
- La escasez de estaciones que hacen parte de la red que opera en la actualidad, se hace muy evidente en la franja hipsométrica ubicada por encima de los 2.800 msnm donde, además de ubicarse los mayores productores de papa y legumbres en el departamento, se encuentran las áreas de páramo, coberturas que por su fragilidad requieren de la información meteorológica para el monitoreo de su evolución, manejo y conservación.
- Para el mejoramiento en la cobertura y robustez de la red, el esfuerzo no solo debe estar orientado hacia la adquisición e instalación de nuevas estaciones, sino a la mejora del instrumental en algunas de ellas, teniendo en cuenta que poseen un amplio y continuo registro de datos. Estas estaciones podrían ser dotadas con instrumentos registradores como: termógrafos, higrógrafos, y anemógrafos, entre otros, lo que mejoraría notoriamente el monitoreo de parámetros importantes para los desarrollos agropecuarios.
- Es posible conformar una *red mínima eficiente*, como la que se propone en el estudio, adaptando 11 de las estaciones de segundo orden (CO) que se encuentran activas en el departamento con los equipos que se requieren para llevarlas a cumplir funciones de primer orden (AM, CP) e instalar 4 estaciones nuevas en aquellos sectores que carecen de cobertura para el seguimiento de los parámetros, útiles para el desarrollo de los sistemas agropecuarios.
- Teniendo en cuenta las notas técnicas y las recomendaciones de la OMM para el monitoreo de los parámetros meteorológicos, se hace indispensable que Colombia defina una red de referencia, conformada por estaciones de primer orden, con un emplazamiento representativo, series de datos sólidas y un sistema de verificación que permita

asegurar la disponibilidad de información confiable. Esta red debe servir de soporte a las demás estaciones (segundo y tercer orden) que se encuentren en su radio de cobertura.

REFERENCIAS

- CMAG. (2006). *Comisión de Meteorología Agrícola: los primeros cincuenta años*. Bogotá: Núcleo Ambiental S.A.S. Recuperado de: <http://bibliotecadigital.ccb.org.co/bitstream/handle/11520/14306/Papa.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- FAO (2018). *Repercusiones del clima en la agricultura*. Recuperado de: http://www.fao.org/nr/climpag/about_es.
- Fedepanela. (2009). *Manejo agronómico de la caña panelera con énfasis en control biológico*. Bogotá: Roffaprint Editores Ltda.
- Finagro. (s.f.). *El tomate*. Fondo para el Financiamiento del Sector Agropecuario. Recuperado de: https://www.finagro.com.co/sites/default/files/node/info_sect/image/tomate_0.docx
- Ideam (2017). *Catálogo Nacional de Estaciones – CNC*. Archivo Redes. Bogotá.
- Ideam. (2005). *Atlas climatológico de Colombia*. Bogotá D.C., Colombia: Imprenta Nacional de Colombia.
- Ideam. (1996). *Definición de una red de referencia preliminar de estaciones hidrometeorológicas con fines de investigación básica y aplicada*. Bogotá D.C.
- Igac. (2000). *Estudio general de suelos y zonificación de tierras del departamento de Cundinamarca: mapas temáticos*. Bogotá D.C.: Instituto Geográfico Agustín Codazzi.
- Insat. (2003). *Mapa de cobertura vegetal y cuerpos de agua del departamento de Cundinamarca. Escala 1:100.000*. Bogotá D.C.: Tecnologías en sistemas de Información Geográfica y Satelital.
- Kagan, R. L. (1967). Some problems of interpreting precipitation gauge data. *Leningrad, Glav. Geof. Obs., T. vvp* 208, 64-75.
- Kagan, R. L. (1966). On the evaluation of the representativeness of rain gauge data, *Leningrad Glav. Geof. Obs., T. vvp*, 191, 22-34.
- López V. L. (2014). Propuesta metodológica para el rediseño de una red meteorológica en un sector de la Región Andina colombiana. *Publicaciones e investigación*, 8, 55-76.
- López V. L. (2012). *Temas de introducción a la meteorología y la climatología*. Bogotá D.C.: Universidad de la Salle.
- López V. L. (2009). *Rediseño de la red meteorológica Ideam-CAR*. Bogotá D.C: Ideam.
- Lowry, W. (1973). *Compendio de apuntes de climatología para la formación de personal meteorológico*. Ginebra: Secretaría Organización Meteorológica Mundial.

- OMM (2013) *Guía del Sistema Mundial de Observación* OMM–Nº 488. Ginebra: Secretaría de la Organización Meteorológica Mundial.
- OMM (2011). *Guía de prácticas climatológicas OMM No. 100*. Ginebra: Secretaría de la Organización Meteorológica Mundial.
- OMM (2011). *Guía de Prácticas hidrológicas. Adquisición y proceso de datos, análisis, predicción y otras aplicaciones*. OMM No. 168. Ginebra: Secretaría de la Organización Meteorológica Mundial.
- OMM. (2010). *Guía de Instrumentos y Métodos de Observación Meteorológicos -OMM No. 8*. Ginebra: Secretaría de la Organización Meteorológica Mundial.
- OMM-134. (2010). *Guide to Agricultural Meteorological Practices OMM N° 134*. Ginebra: Secretaría de la Organización Meteorológica Mundial.
- OMM (2007). *The Planning of Meteorological Station Networks*, Technical Note No. 111 (WMO-No. 265). Ginebra: Secretaría de la Organización Meteorológica Mundial.
- OMM (2006). *Reglamento técnico III OMM No. 49*. Ginebra: Secretaría de la Organización Meteorológica Mundial.
- OMM. (1967) *Design of Optimum Networks for Aerological Observing Stations*. Ginebra: Secretaría de la Organización Meteorológica Mundial.



**Revista Especializada
en Tecnología
e Ingeniería**

