

Diagnóstico de Lluvia Ácida y Condiciones Meteorológicas Asociadas en el Barrio La Candelaria – Bogotá D.C.

Acidity Of Rain And Relationship With the Atmospheric Conditions Prevailing In the Town of The Candelaria - Bogotá D.C.

López Jiménez Víctor Leonardo¹, Herrera Torres Gabriel²

¹ Facultad de Ingeniería, Programa de ingeniería Ambiental y Sanitaria, Universidad de La Salle, Bogotá D. C., Colombia, vlopez@unisalle.edu.co

² Facultad de Ingeniería, Programa de ingeniería Ambiental y Sanitaria, Universidad de La Salle, Bogotá D. C., Colombia, gherrera@lasalle.edu.co

Resumen

El presente proyecto se desarrolló con el fin de establecer la realidad sobre la acidez de la lluvia en el barrio La Candelaria y para estudiar, además, la relación de este fenómeno con las condiciones atmosféricas predominantes en este sector de Bogotá. Al inicio del estudio fue necesario diseñar e instalar una red de estaciones de muestreo en sitios estratégicos de la localidad, seleccionados de acuerdo con criterios específicos. Para la toma y manejo de las muestras se siguieron protocolos, previamente elaborados, donde se determinaron los momentos de recolección de las muestras de lluvia (en la mañana y al finalizar la tarde) y la metodología para los análisis de laboratorio. En todos los casos el valor del pH de la muestra se tomó *in-situ*; los análisis de nitratos y sulfatos, en cambio, se realizaron en el laboratorio de Ingeniería Ambiental de la Universidad de La Salle. El proceso de recolección y análisis de muestras estuvo acompañado del monitoreo permanente de las condiciones atmosféricas reinantes en la localidad. Como resultado de la investigación se pudo establecer el nivel de acidez de la lluvia y su distribución espacio temporal en la localidad de La Candelaria. Se pudo determinar, además, la estrecha relación que existe entre las condiciones climatológicas y la acidez de la precipitación en esta franja de la ciudad.

Palabras clave: *la candelaria, lluvia ácida, condiciones meteorológicas, contaminación atmosférica.*

Abstract

This project was developed in order to establish the facts about the acidity of rain in the town of La Candelaria and to study further the relationship of this phenomenon with the atmospheric conditions prevailing in this sector of the city of Bogota D.C. At the start of the study it was necessary to design and install a network of sampling stations at strategic sites in the locality; selected according to specific criteria. The taking and handling of the samples, in the morning and at the end of the afternoon, followed the previously developed protocols to identify the time of harvesting rainwater and the methodology for laboratory analysis. In all cases the pH value was taken on-site and the analysis of nitrates and sulfates of each sample were conducted in the Laboratory of Environmental Engineering at La Salle University. The process of collecting and analyzing samples was accompanied by permanent monitoring of the atmospheric conditions prevailing in the locality. As a result of the investigation we were able to establish the level of acidity of rainfall and its temporary space in the town of La Candelaria. The results were used to determine further the close relationship between weather conditions and acid precipitation in this area of the city.

Key words: *la candelaria, acid rain, meteorological conditions, air pollutants.*

Recibido: 15/05/2011

Aceptado: 23/06/2011

Introducción

El barrio La Candelaria de la localidad 17, es el lugar obligado para propios y extraños que quieren darse a la búsqueda de las raíces culturales de la ciudad de Bogotá, así como de los hitos que marcaron la historia del país. En el sector de La Candelaria, donde se encuentra un buen número de museos y claustros educativos, junto con una de las más grandes y completas bibliotecas del continente, perdura parte de la historia política, religiosa y arquitectónica de la nación.

El elevado número de oficinas y almacenes hacen que en este sector de la capital se concentra una gran cantidad de población, por lo que es posible encontrar una buena cantidad de restaurantes y cafeterías, negocios que, en una buena medida, suministran un calor adicional al ambiente. A la concentración de población se suman los vehículos de servicio público y privado que, por las características de las vías, los regímenes de velocidad y el nivel de mantenimiento emiten al aire no solo calor, sino cantidades considerables de gases y material particulado.

Esta situación trae como consecuencia la formación de una capa de aire con características contaminantes que, no solo está afectando la salud de quienes permanecen en el sector, sino que puede estar causando deterioro en la condición físico-arquitectónica del centro histórico de La Candelaria.

Es importante anotar que esta franja de la capital, construida prácticamente sobre el piedemonte de la cordillera oriental, está bajo unas condiciones climáticas muy particulares las cuales tienen, indudablemente, relación con la permanencia, difusión y deposición de los contaminantes que llegan a la atmósfera. Por esta razón se considera importante determinar el régimen climático de la localidad, estudiando, específicamente, el comportamiento de parámetros meteorológicos como el viento, la temperatura, la humedad relativa, la precipitación y la radiación solar.

Por lo anterior, se planteó este proyecto cuyo objetivo fundamental está centrado en determinar el nivel de acidez de la lluvia en el sector histórico del barrio La Candelaria y su relación con las condiciones atmosféricas que predominan en esta parte de la ciudad.

Conceptos Generales

La acidez en la precipitación

La acidez en la precipitación es un fenómeno frecuente en atmósferas contaminadas, principalmente, por emisiones de óxidos de azufre (SO_x) y de nitrógeno (NO_x), que al reaccionar con el vapor de agua dan paso a la formación de ácidos fuertes, como, el ácido sulfúrico (H_2SO_4) responsable de la disminución de pH en un 60% a 70% y ácido nítrico (HNO_3) en un 30% [1], debido a su capacidad de ionizarse completamente en soluciones diluidas y posteriormente depositarse en la superficie de la tierra. Es bueno anotar que la lluvia limpia o sin contaminantes es ligeramente ácida con un pH medio entre 5 y 6, debido a que el dióxido de carbono (CO_2), y el agua reaccionan en el aire para formar ácido carbónico, considerado como débil.

Esta deposición, puede presentarse de manera húmeda o seca, en el primer caso los ácidos son depositados en fase acuosa, en forma de niebla o neblina, rocío, granizo, nieve o lluvia [2]. El segundo caso consiste en la deposición de gases y partículas seca, por difusión, impactación y/o sedimentación [3], que adhieren a las superficies y las afectan al reaccionar con el agua lluvia. En consecuencia, el fenómeno de "lluvia ácida se identifica generalmente cuando el pH del agua de lluvia es inferior a 5.6 unidades" [4], valor que normalmente presenta la lluvia en atmósferas no contaminadas, debido "al equilibrio químico entre el CO_2 , presente en el aire y el agua, cuyo producto es el ácido carbónico, que se disocia en iones de hidrógeno (H^+) y bicarbonato (HCO_3^-)". En la tabla 1, se muestran los rangos de acidez considerados en lluvias de atmósferas limpias y asumidas como base de comparación.

Tabla 1. Acidez de la lluvia de acuerdo con el pH

pH	Clasificaciyn de la lluvia
pH > 5,6	No ácida
4,7 < pH ≤ 5,6	Ligeramente ácida
4,3 < pH ≤ 4,7	Medianamente ácida
pH ≤ 4,3	Fuertemente ácida

Fuente: [3]

Efectos de la lluvia ácida sobre los materiales

Para analizar el efecto ocasionado por la deposición ácida sobre los materiales, en primera media es necesario examinar dos tipos de factores:

- Intrínsecos o propios del material: hacen referencia a la composición química, estructura cristalina y morfología del material.
- Externos (extrínsecos) o derivados del clima y de la contaminación ambiental: dentro de los primeros se debe tener en cuenta principalmente la humedad y la temperatura, y en los segundos la acción del agua lluvia, contaminantes y sales solubles [5].

Efectos de la lluvia ácida en los sistemas naturales

La lluvia ácida causa multitud de efectos nocivos en los ecosistemas. Por ejemplo: aumenta la acidez de las aguas de ríos y lagos, lo que se traduce en importantes daños en la vida acuática, tanto piscícola como vegetal. La lluvia ácida aumenta también la acidez de los suelos, lo que se traduce en cambios en la composición de los mismos, produce, en consecuencia, la lixiviación de nutrientes importantes para las plantas, tales como el calcio; moviliza metales tóxicos, tales como el cadmio, el níquel, el manganeso, el plomo y el mercurio, que de esta forma se introducen también en las corrientes de agua. La vegetación expuesta directamente a la lluvia ácida sufre no sólo las consecuencias del deterioro del suelo, sino también un daño directo que puede llegar a ocasionar incluso la muerte de muchas especies. En este sentido, es posible que los cerros de la ciudad de Bogotá estén experimentando este tipo de afectación.

Influencia de las condiciones meteorológicas en la calidad de aire

La atmósfera, definida como una esfera de gases que envuelve la tierra, puede considerarse como un inmenso depósito donde los contaminantes se difunden, alcanzan distintas estructuras físicas y químicas y se distribuyen alcanzando grandes distancias dependiendo de las condiciones meteorológicas.

Para poder entender mejor los procesos físicos que se producen en la atmósfera es necesario conocer su composición, que está relacionada con la actividad humana y el comportamiento del medio ambiente en general. La conformación de la atmósfera ha tenido algunas variaciones a través de los siglos. Actualmente la capa de gases permanentes comparte el espacio con algunos variables entre los que se encuentran: el vapor de agua, el dióxido de carbono, el ozono, el material particulado y los aerosoles.

En términos generales, el clima es definido como la síntesis de las posibles condiciones meteorológicas, representadas en el conjunto de valores que toman los distintos parámetros meteorológicos en un lugar determinado. A continuación se presentan algunas consideraciones sobre el comportamiento de los parámetros que determinan el clima y su relación con la contaminación atmosférica en la ciudad de Bogotá D.C.

Luego de establecer la estrecha relación entre las condiciones climatológicas y los procesos de transporte, dispersión, mezcla y transformación de los contaminantes, se puede concluir que: analizada la calidad del aire de una zona y determinados el tipo de emisiones y el nivel de concentración de estas, es posible establecer bajo qué condiciones meteorológicas se favorece la difusión de los contaminantes, cuáles son las épocas del año o las horas del día en que aumenta la concentración o la dispersión de

estos y en qué proporción los gases y partículas contaminantes reducen la radiación solar y alteran la temperatura del aire. Estos y otros interrogantes pueden ser resueltos mediante la elaboración del estudio climatológico respectivo.

De acuerdo con lo expuesto en los párrafos anteriores, los factores climáticos que influyen en mayor medida en la generación de lluvia ácida son:

La radiación solar es responsable de las reacciones de oxidación fotoquímica, provocadas por la absorción de fotones de radiación electromagnética del sol en la región ultravioleta del espectro por las moléculas del aire, este fenómeno causa la excitación de algunos componentes atmosféricos y la consecuente formación de algunos precursores (oxidantes) [2].

La temperatura afecta las constantes de velocidad de reacción y las constantes de Henry, que fijan la solubilidad de los precursores en fase líquida y la volatilidad de las mismas gotas; además, las diferencias térmicas sobre la superficie son las responsables del movimiento del aire en la tropósfera.

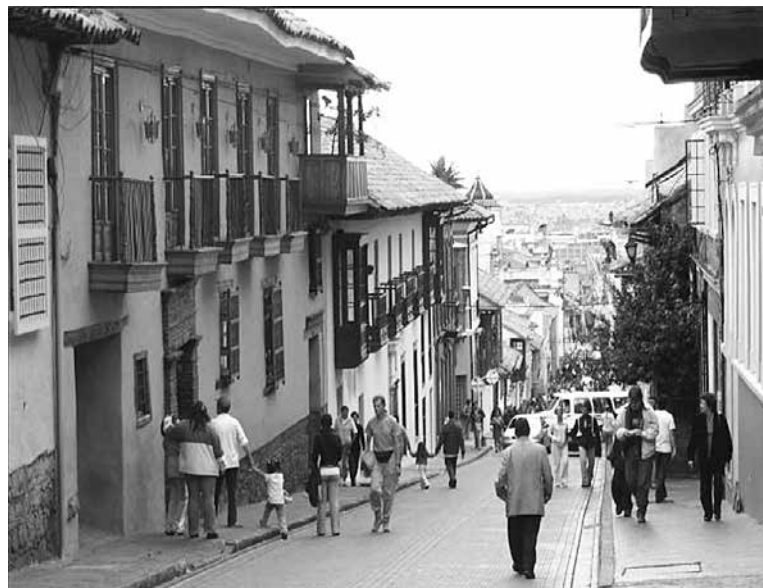
La precipitación es un medio físico que permite el transporte de los ácidos formados en la atmósfera a la superficie de la tierra, por medio de un proceso de deposición húmeda. Se habla de un lavado atmosférico producto de las lluvias, por lo que estas se consideran uno de los fenómenos positivos en lo que a la limpieza atmosférica se refiere.

El viento ejerce una notoria influencia en el estado dinámico del aire, lo cual permite el transporte de gases procedentes de fuentes naturales o antropogénicas de zonas de mayor contaminación a zonas de menor contaminación y viceversa, por medio de los movimientos convectivos y advectivos de las masas de aire, lo cual hace de la lluvia ácida una problemática de escala planetaria.

La humedad del aire o cantidad de vapor de agua en la atmósfera, además de incidir en la densidad del aire, favorece la captación de energía calorífica en la atmósfera superficial y contribuye a la formación de ciertos contaminantes que influyen en la corrosión de los metales.

Generalidades de la localidad 17 – La Candelaria

La localidad tiene una extensión de 184.000 hectáreas y limita al norte con la localidad de Los Mártires; al sur, con la localidad de San Cristóbal; al oriente, con la localidad de Santa Fe, y al occidente, con las localidades de Los Mártires y Antonio Nariño. La Candelaria es un espacio cultural por excelencia; consolidada como patrimonio histórico y cultural mediante la Ley 59 de 1963, se reconoce por su oferta de teatros, museos, bibliotecas, cafés y buena parte de los lugares de decisión pública (Imagen 1).



Fuente: [6]

Imagen 1 Calle del barrio La Candelaria

El suelo urbano de La Candelaria comprende un total de 693.68 hectáreas (ha), de las cuales hay 94,2 ha de áreas protegidas, 52.9 ha por desarrollar, que son terrenos que no han sido urbanizados. La figura 1, contiene la localización de La Candelaria dentro del Distrito Capital de Bogotá y sus límites.

La Candelaria un legado histórico

Reconocida por el legado arquitectónico que hay en sus calles, La Candelaria continúa siendo epicentro de hechos y testigo de la historia política colombiana. Así como se convirtió en escenario del Día de la Independencia el 20 de Julio de 1810 y del Bogotazo el 9 de abril de 1948, hoy la Candelaria dibuja en cada una de sus calles la historia de la ciudad. La Candelaria parece ser el hogar de las construcciones más representativas, antiguas y románticas. Entre las más reconocidas sobresalen el Capitolio Nacional, El Palacio de Nariño, El Palacio de San Carlos, la Catedral Primada de Colombia, el Observatorio Astronómico, la Casa de La Moneda, el Teatro Colón y el Teatro al Aire Libre La Media Torta. La Candelaria no sólo es un barrio, es un espacio central de la ciudad en el que la cultura, la música, la literatura, el teatro y hasta el entretenimiento se cobijan bajo un solo cielo y aroma [7].

Aspecto ambiental de La Candelaria

La Secretaría Distrital de Salud señala que las fuentes móviles, en especial el elevado tráfico automotor que tiene lugar en algunas zonas de congestión vial, como es el caso de la Avenida Décima, constituye una fuente importante de contaminación atmosférica en la zona, sin embargo, cabe destacar que este tipo de contaminación ha disminuido en los últimos años, gracias al control de gases que ha venido realizando la Secretaría Distrital de Ambiente a lo largo de toda la ciudad. Adicionalmente, datos generales de la Secretaría Distrital de Salud de 1991 señalaban la existencia de concentraciones elevadas de dióxido de nitrógeno (NO₂) en la parte central de la ciudad. Con el propósito de medir los niveles de contaminación atmosférica de Bogotá, la Secretaría Distrital de Ambiente, dispone de una Red de Calidad del Aire, que realiza monitoreos en distintos puntos de la ciudad a través de 14 estaciones automáticas que detectan, en forma continua, la concentración de los principales contaminantes en la ciudad.

En la tabla 2, se presentan las concentraciones máximas de contaminantes según las diferentes estaciones de la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de la Secretaría Distrital de Ambiente en el Distrito Capital, lo que resulta útil para identificar con base en la ubicación geográfica de las estaciones, los sectores más afectados por el deterioro en la calidad del aire y su relación con los seis puntos de monitoreo de lluvia ácida en la localidad. Por estar ubicadas en la zona centro de la ciudad, de la cual forma parte la localidad, las estaciones del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT) y Universidad Nacional, también proporcionan registros útiles para determinar los niveles de contaminación de la localidad [7].

Tabla 2. Análisis de calidad del aire, La Candelaria, 2002

CONTAMIN.	SECTOR	ESTACION	CONCENTRACION	NORMA
PM10	Sur occidente	Sony	223,2 mg/m ³	170 mg/m ³ – 24h
SO ₂	Centro occidente	Cade	105.7 ppb	546 ppb – 3h
	Sur occidente	Sony	71.1 ppb	141 ppb - 24h
NO ₂	Centro	U. Nacional	179 ppb	168 ppb – 1h
	Sur occidente	Sony	111.7 ppb	121 ppb – 24h
CO	Centro	MMA	14.7 ppm	39 ppm – 1h
	Centro	MMA	10.7 ppm	11 ppm – 8h
	Centro	MMA	196 ppb	83 ppb – 1h
O ₃	Sur occidente	Cazuca	110.4 ppb	65 ppb

Fuente: Secretaría Distrital de Ambiente, antes DAMA, 2002.

Metodología

La lluvia ácida, como su nombre lo indica, está directamente relacionada tanto con los contaminantes atmosféricos, como con el régimen de precipitación del lugar afectado. De esta manera, los resultados del presente proyecto de investigación dependen de la frecuencia e intensidad de la precipitación en el área de estudio.

Dado el carácter aleatorio de la ocurrencia de la lluvia, no es posible establecer un número de días con lluvia para un período determinado (semana, mes, año) y mucho menos señalar los días y horas en que ocurrirá el evento. Lo aleatorio del comportamiento del parámetro y la diferencia en los métodos de medición de las variables acidez y cantidad de precipitación, no facilitaron un diseño experimental en particular. A continuación se presentan, los pasos seguidos en la obtención y manejo de la información básica para el desarrollo del proyecto. Inventario y revisión de información.

En esta fase inicial del proyecto se compilaron, analizaron y seleccionaron los datos diarios, mensuales y multianuales de cada una de las variables estudiadas, observadas en las estaciones seleccionadas. Las principales actividades fueron:

- a- Inventario y revisión de información meteorológica
- b- Análisis y verificación de datos disponibles.
 - De estaciones existentes en el área de estudio.
 - De estaciones consideradas como auxiliares.
- c- Revisión Bibliográfica y de antecedentes sobre lluvia ácida y sus impactos
 - Estudios sobre lluvia ácida en Bogotá.
 - Estudios sobre Impacto de la lluvia ácida en estructuras.
 - Estudios sobre Impacto de lluvia ácida y su impacto en la cobertura.
- d- Revisión de métodos de análisis existentes, a nivel nacional e internacional

Criterios para la selección de los puntos de muestreo

Se visitaron ocho puntos que por sus características fueron considerados como posibles lugares para la ubicación de las estaciones de muestreo. De estos, finalmente se seleccionaron los que cumplieron con los siguientes criterios:

- Ser representativo de la zona de estudio y con importancia histórica.
- Contar con un fácil acceso para la recolección de las muestras.
- Estar libre de obstáculos que impidan el registro de la lluvia.
- Ser seguros para los equipos y elementos utilizados en la investigación.
- Contar, en lo posible, con el suministro de energía.
- Contar con el compromiso e interés de la institución.
- Brindar la posibilidad de muestrear en más del 80% de la Investigación.
- Contar, en lo posible, con personal de vigilancia.

Puntos definidos en la localidad de la Candelaria

Puntos de muestreo de lluvia ácida

Para la ubicación de los equipos de muestreo de lluvia ácida fueron seleccionados los seis (6) lugares estratégicos mostrados a continuación:



Imagen 2

Puntos de observación de condiciones meteorológicas.

Se tomaron las estaciones meteorológicas de la red existente operada en su mayoría por el IDEAM. Como estación complementaria se toma la estación instalada en el 2008 en la terraza de la Universidad de La Salle – sede centro. La información se obtuvo, finalmente, de las estaciones que se listan a continuación:

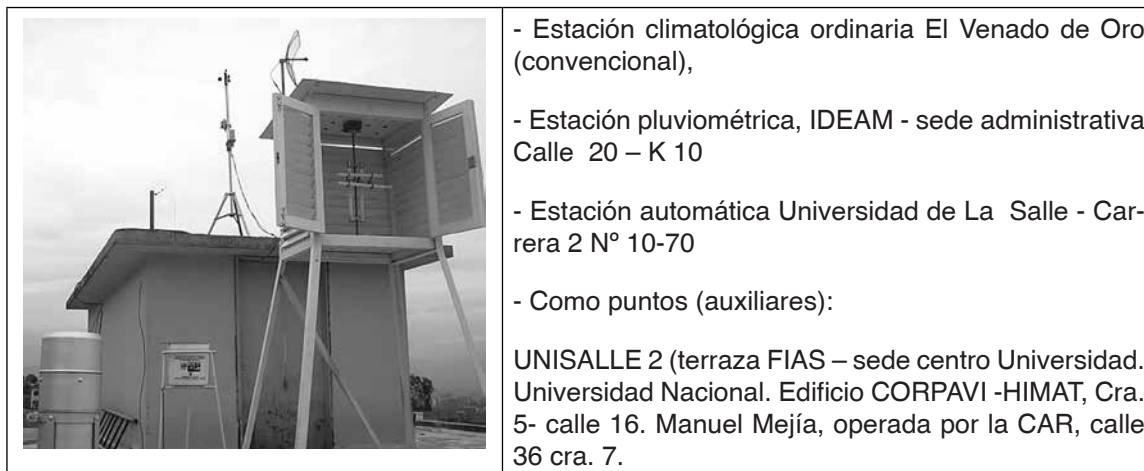


Imagen 3

Procesamiento y Análisis de la Información

Análisis de muestras de agua lluvia Facultad de Ingeniería

A. Análisis de laboratorio. Además del pH tomado en el mismo instante de recoger la muestra, el agua lluvia fue llevada al laboratorio donde se analizó para determinar:

- La alcalinidad
- Contenido de nitritos
- Contenido de sulfatos

B. Análisis cualitativo. Hace referencia a la clasificación de los posibles impactos sobre la infraestructura del sector histórico de La Candelaria, (observación directa y la comparación con las teorías consultadas).

Procesamiento y análisis de información meteorológica

Con el objeto de hacer más consistentes los datos para su comparación con las variables dependientes (lluvia ácida, cobertura, degradación de roca arenisca) la información meteorológica obtenida fue sometida al siguiente proceso:

- Selección de la información meteorológica.
- Verificación y compilación de la información.
- Toma y manejo de datos.
- Revisión de datos de estaciones automáticas.
- Análisis estadístico de la información meteorológica.

Análisis comparativo de los resultados

Una vez estudiado el comportamiento de los parámetros meteorológicos (precipitación y temperatura, principalmente), se efectuó el análisis comparativo con los resultados de las otras variables (acidez y nitratos).

Análisis final y presentación de resultados.

A partir del análisis de los factores estudiados en el proyecto (clima, lluvia ácida, cobertura vegetal), sus componentes e impactos, se elaboró el informe final de resultados el cual, además de los textos, estará compuesto por datos estadísticos, cuadros, gráficos y mapas.

El clima en el barrio de La Candelaria

Información disponible Facultad de Ingeniería

Las conclusiones sobre el comportamiento de los parámetros meteorológicos en la zona de estudio nacen, como ya se citó en la metodología, del análisis de la información disponible en los archivos del IDEAM y la Facultad de Ingeniería Ambiental - FIAS de la universidad de La Salle. En la caracterización climatológica del área de estudio se verificaron y analizaron los datos de 7 estaciones meteorológicas (tabla 3).

Tabla 3 Red meteorológica básica del estudio

N°	ESTACION	COORD. GEOGRÁFICAS		ELEV	SERIE
		LAT. N	LONG W		
1	El Venado de Oro	0436	7404	2725	1970-2008
2	UNISALLE 1	0435	7404	2720	2008-2008
3	IDEAM. Calle 20	0436	7405	2640	2003-2008
	(Antes Edif. Saraga)	0436	7405		1973-1986

Fuente: propia de las estaciones meteorológicas

Tabla 4 Estaciones auxiliares

ESTACIONES AUXILIARES					SERIE
4	HIMAT- Edif. Corpavi	0436	7404	2685	1986-2006
5	Edif. Manuel Mejía	0437	7405	2580	1981-2007
6	U. Nacional	0438	7406	2556	1988 - 2007
7	UNISALLE 2	0435	7404	2720	2006-2008

Fuente: propia de las estaciones meteorológicas

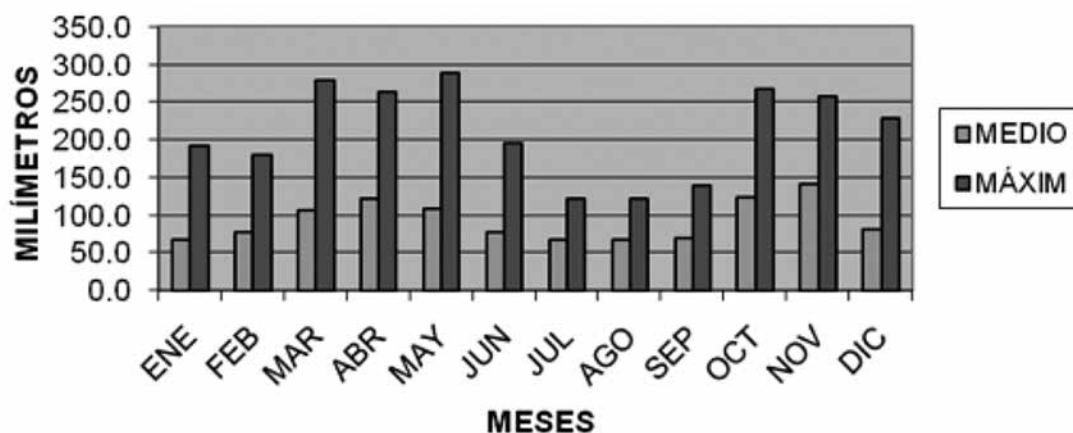
COMPORTAMIENTO DE LA PRECIPITACIÓN

Del análisis de los datos de las estaciones mencionadas, se estableció que en la ciudad de Bogotá, particularmente en su franja oriental, el comportamiento temporal de las lluvias corresponde a un régimen bimodal es decir, dos periodos de frecuentes y abundantes lluvias alternados con dos de tiempo seco (llamado así por la notoria disminución de los totales mensuales), separados unos de otros por algunos meses conocidos como épocas de transición [8].

Distribución temporal de las lluvias en La Candelaria

Tomando como base los datos de las estaciones El Venado de Oro (Gráfico 1), Edificio HIMAT-CORPAVI, Edificio Saraga-IDEAM y los registros disponibles de la estación automática de UNISALLE 2, se puede decir que los valores totales medios anuales están entre 1050 y 1110 milímetros y que la distribución temporal sigue un patrón de bimodalidad (dos periodos de lluvia al año).

Totales medios mensuales de precipitación / El Venado de Oro



fuelle: estación venado de oro

Gráfico 1. Distribución anual de la precipitación en La Candelaria

En la estación Venado de Oro el menor total mensual medio corresponde a enero con 68mm, valores similares se presentan en julio y agosto; los mayores promedios son registrados en abril (122.mm), mayo (109mm), octubre (124mm) y noviembre (141mm). En esta estación se han registrado valores totales máximos de alrededor de 288mm en los meses más lluviosos y un total máximo en 24 horas de 97.0 mm en octubre de 2003.

Del análisis multianual de las estaciones (Tabla 5), El Venado de Oro (Av. Circunvarlar) e HIMAT-CORPAVI (cra. 5 - calle 16), se pudo establecer que en el sector de la Candelaria llueve en promedio alrededor 193 días al año, 17 días al mes. Es de anotar que, en años muy lluviosos (fenómeno de La Niña, por ejemplo) pueden llegar a presentarse en mayo y octubre más de 28 días con lluvia [9].

Tabla 5 Promedio mensual multianual del número de días con lluvia

ESTACION	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
U. Nacional - OMN	9	11	13	18	18	17	16	15	15	19	17	12	180
Venado Oro	8	11	14	16	19	20	21	20	16	18	18	12	193

En la Candelaria como en toda la ciudad, estadísticamente, la mayor cantidad de lluvias fuertes ocurren en las horas de la tarde y son precedidas, generalmente, de mañanas bastante soleadas. De la misma forma, el mayor número de tormentas se presenta durante los meses de abril, mayo, octubre y noviembre.

Distribución espacial de la lluvia en La Candelaria

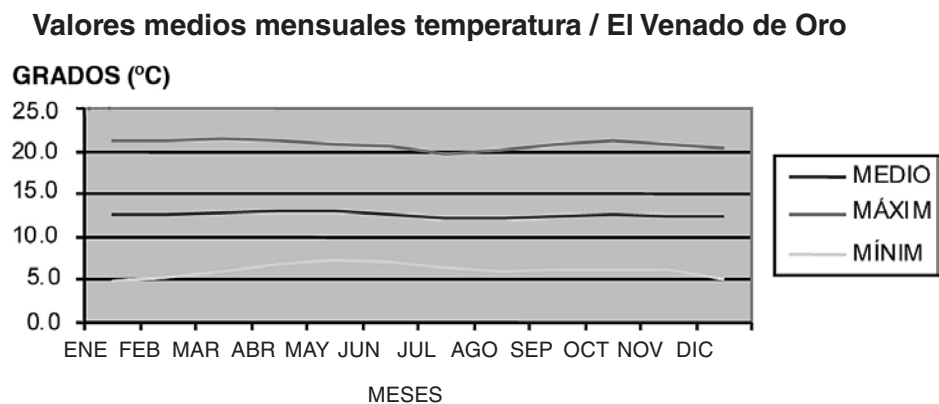
Al analizar los datos sobre un mapa de la localidad, se pudo observar que tanto los totales, como el número de días con lluvia se incrementan en la medida en que los puntos de observación se acercan al piedemonte de los cerros orientales. Debido a la ocurrencia de estas lloviznas y lluvias ligeras en el piedemonte, la distribución espacial muestra un incremento de los totales de oeste a este de la ciudad. Así, mientras en la estación ubicada en el Aeropuerto El Dorado el total anual medio de precipitación es de 804mm, en la Universidad Nacional se registran 923mm y en El Venado de Oro (Av. Circunvalar a la altura de la calle 16), el valor medio anual alcanza los 1112mm.

Comportamiento de la temperatura

Tomando como base la información de varios puntos de observación entre los que se encuentra el Aeropuerto El Dorado, se ha determinado que la temperatura media de la ciudad es de 13.8°C. Durante los meses lluviosos en Bogotá la oscilación diurna de temperatura disminuye notoriamente (entre 8 y 12°C). En esta época, las temperaturas no son altas en el día ni se presentan descensos bruscos durante la noche, esto debido a la cantidad de vapor de agua en la atmósfera y el incremento de la nubosidad que opera como una cubierta protectora del calor superficial.

Distribución temporal de la temperatura en La Candelaria

Considerando los registros de la estación El Venado de Oro (Av. Circunvalar), se pudo establecer que la temperatura media varía muy poco a lo largo del año (Gráfico 2). El ligero aumento en los meses lluviosos se debe al incremento de la cubierta nubosa, fenómeno que reduce la posibilidad de que la temperatura descienda considerablemente durante las noches y madrugadas.



fuelle: estación venado de oro

Gráfico 2. Comportamiento mensual de la temperatura en La Candelaria

Como se observa en la tabla 6, los promedios mensuales multianuales en esta estación permiten establecer que la temperatura media para el oriente de La Candelaria (Av. Circunvalar) es de 12.6°C, que la temperatura máxima media está alrededor de los 18°C y que los valores más bajos registrados en la estación El Venado de Oro están alrededor de 0°C en los meses de diciembre y enero.

Tabla 6 Comportamiento multianual de la temperatura – El Venado de Oro

ESTACION	PARAMETRO	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Med.
VENADO DE ORO	MEDIA	12,5	12,6	12,8	13,1	12,9	12,6	12,1	12,2	12,4	12,5	12,4	12,3	12,6
	MAXIMA ABS	23,5	24,2	23,8	23,6	23,6	23,3	22,0	22,0	23,0	23,5	23,0	23,5	24,2
	MINIMA ABS	0,2	3,4	3,2	5,0	2,0	5,8	3,4	3,0	5,0	4,8	4,6	3,0	0,2
	MAX. MEDIA	18,9	18,7	18,6	18,6	18,3	17,8	17,2	17,3	18,0	18,1	17,9	18,0	18,1
	MIN. MEDIA	7,7	8,2	8,7	9,3	9,4	9,0	8,6	8,4	8,4	8,5	8,7	8,0	8,6

Fuente: Ideam

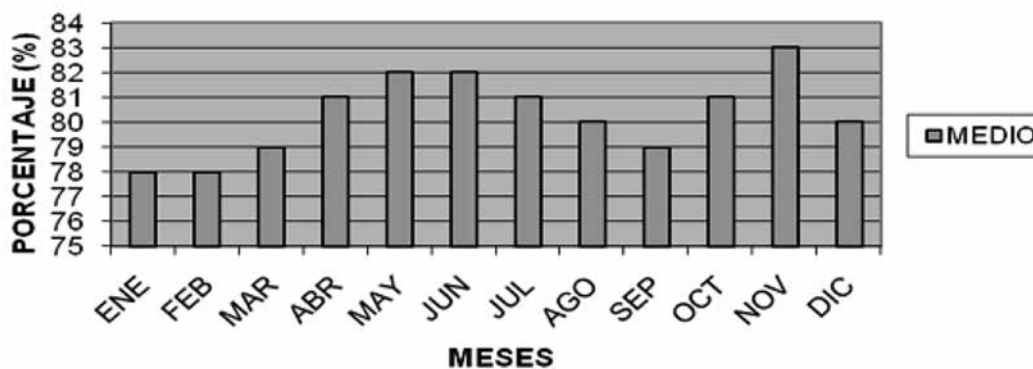
Comportamiento de la humedad relativa

En la ciudad, los porcentajes medios de humedad oscilan entre 73 y 80% durante la mayor parte del año. En las épocas lluviosas del año los valores medios pueden incrementarse en un dos o tres por ciento dependiendo de la frecuencia e intensidad de las precipitaciones. En el análisis diurno es normal encontrar que en las madrugadas la humedad supere el 85%, debido a la significativa disminución de los valores de temperatura.

Distribución temporal de la humedad en La Candelaria

Al igual que la precipitación, la humedad del aire tiene un comportamiento bimodal, presentando sus mayores promedios en los meses más lluviosos y los más bajos en los considerados meses secos. Los valores más altos se registran en los meses de marzo, abril, mayo, octubre y noviembre; de igual manera, los promedios más bajos corresponden a los meses de diciembre, enero y febrero y al veranillo de mitad de año que ocupa los meses de junio, julio y agosto.

Valores medios mensuales de humedad relativa / El Venado de Oro



fuente: estación venado de oro

Gráfico 3. Comportamiento de la humedad relativa. La Candelaria

En la franja oriental de la ciudad, cerca del piedemonte, donde se ubica el barrio de La Candelaria, entre junio y agosto se nota un incremento en los valores de humedad debido a las lloviznas que de manera persistente se presentan durante esta época. En la estación Venado de Oro, por ejemplo, los registros muestran humedades entre 80 y 82% para estos meses.

Distribución espacial de la humedad en La Candelaria

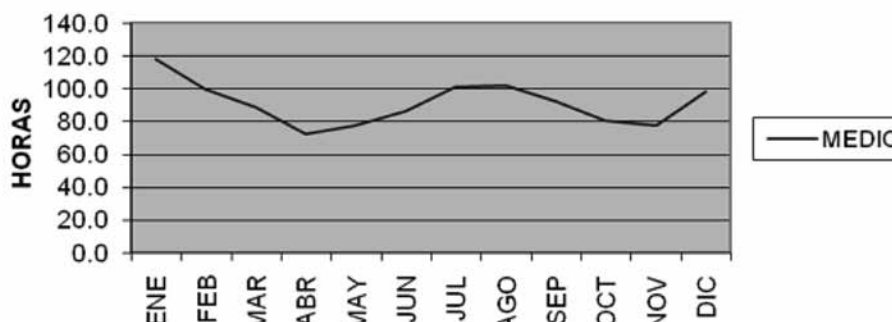
En la medida en que los puntos de observación se aproximan al piedemonte de la cordillera oriental no solo aumentan los promedios sino que, el comportamiento mensual de la humedad varía y tiende a convertirse en monomodal.

Al analizar los datos de estaciones como el aeropuerto El Dorado, el Observatorio Meteorológico Nacional y El Venado de Oro, se observa que: en el aeropuerto el promedio anual es de 80% con valores que medios que van desde 77% en julio y agosto, por acción de los vientos, hasta 82% en el mes de abril debido al incremento de las lluvias; se observa una relación directamente proporcional al comportamiento de la precipitación.

COMPORTAMIENTO DE LA INSOLACIÓN Y LA NUBOSIDAD

Tomando como base los totales registrados en el aeropuerto El Dorado (1679 horas-año) se estableció que entre diciembre y marzo el número de horas de insolación promedio al día sobre el occidente de Bogotá está alrededor de 6, mientras que durante los meses en que se incrementan las lluvias esta cifra baja tomando valores medios próximos a las 4 horas. En la medida en que los puntos de registro se mueven hacia el oriente de la capital los totales van disminuyendo ligeramente. En la estación Observatorio Meteorológico Nacional (parqueadero IGAC-carrera 30) el total anual es de 1352 horas y en la estación Venado de oro. (Av Circunvalar. al este de La Candelaria) el total es de 1095 horas (Gráfico 5).

Totales medios mensuales de brillo solar / El Venado de Oro



fuelle: estación venado de oro

Gráfico 5. Distribución de la insolación en la localidad de La Candelaria

En la localidad de La Candelaria (entre la carrera 10 y la Av. Circunvalar) se estima que los totales anuales oscilan en promedio, entre 1100 y 1250 horas año lo que supone un total diario promedio de entre tres y cuatro horas, dependiendo de la época del año.

Los análisis mensuales de la nubosidad para el área de Bogotá, permiten estimar que enero y febrero son los meses del año en que el cielo se encuentra más despejado dado que, como se observa en la tabla 9, la bóveda celeste puede estar cubierta, en promedio, solo en un 20% del total del mes.

Tabla 7 Distribución porcentual de la nubosidad en Bogotá [9]

COBERTURA %	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
DESPEJADO	4	2	2	1	0	0	0	1	0	1	1	1
LIGERAMENTE CUBIERTO	31	29	25	17	18	15	18	22	24	15	25	24
PARCIALMENTE CUBIERTO	32	32	29	28	30	31	32	29	33	30	28	33
MAYORMENTE CUBIERTO	13	17	16	18	18	17	21	18	14	18	17	16
CUBIERTO	20	20	28	36	34	37	29	30	29	36	23	26

Fuente: IDEAM-FOPAE. Estudio de la caracterización climática de Bogotá y Cuenca Alta del Río Tunjuelo. 2007.

Los meses con mayor cubrimiento de nubosidad mensual son abril con 35%, mayo con 34%, junio con 37% y octubre con 36%. Estos meses guardan una estrecha relación con los períodos lluviosos que se presentan en la ciudad de Bogotá.

Al hacer el análisis diario, teniendo en cuenta las observaciones horarias que se realizan en el aeropuerto El Dorado, fue posible determinar que entre diciembre y febrero se presenta un período de cielos con muy poca nubosidad con noches predominantemente despejadas, condición que permite los sobre enfriamientos de la superficie y por ende la ocurrencia de heladas.

COMPORTAMIENTO DEL VIENTO EN SUPERFICIE

Durante la mayor parte del año el viento predominante sobre la ciudad de Bogotá es de componente ESTE. Dependiendo de la posición que tome la ZCIT en su recorrido, las corrientes de aire corresponderán a los Alisios del noreste y a los del sureste. Desde el mes de junio hasta mediados de septiembre, época en que la ZCIT se ubica en su recorrido sobre el norte del territorio nacional, se observa un incremento en la velocidad del viento y el número de casos en que el viento proviene del sureste. Los valores registrados en el aeropuerto (sector occidental de la capital) alcanzan valores máximos promedio de 16m/s. Los vientos durante estos meses se muestran, además de ágiles, fríos por las condiciones de invierno en el hemisferio sur.

En La rosa de los vientos que se presenta en el gráfico 6, correspondiente a la estación aeropuerto El Dorado, se observa la distribución porcentual por direcciones durante el año para el occidente de la ciudad de Bogotá. Los vientos de la dirección noreste tienen un 17.4% de predominio, seguidos de los del este y norte con 13.7 y 11.0% respectivamente; le siguen con un 10.4% los procedentes del oeste, mientras que las demás direcciones se comportan entre 7.2 y 3.9%; las calmas alcanzan un total del 22.3% en el área.

La velocidad más representativa en general, se encuentra en el rango de 1.6 a 3.3 m/s con un 35%. Los meses con menos ocurrencia de calmas son, junio (14,9%) y julio (17.5%) y con mayores calmas están enero (27%), septiembre (26.9%) y octubre (26.1%). Con mayor intensidad de viento por encima de 5.5 m/s se encuentran los meses de julio y agosto.

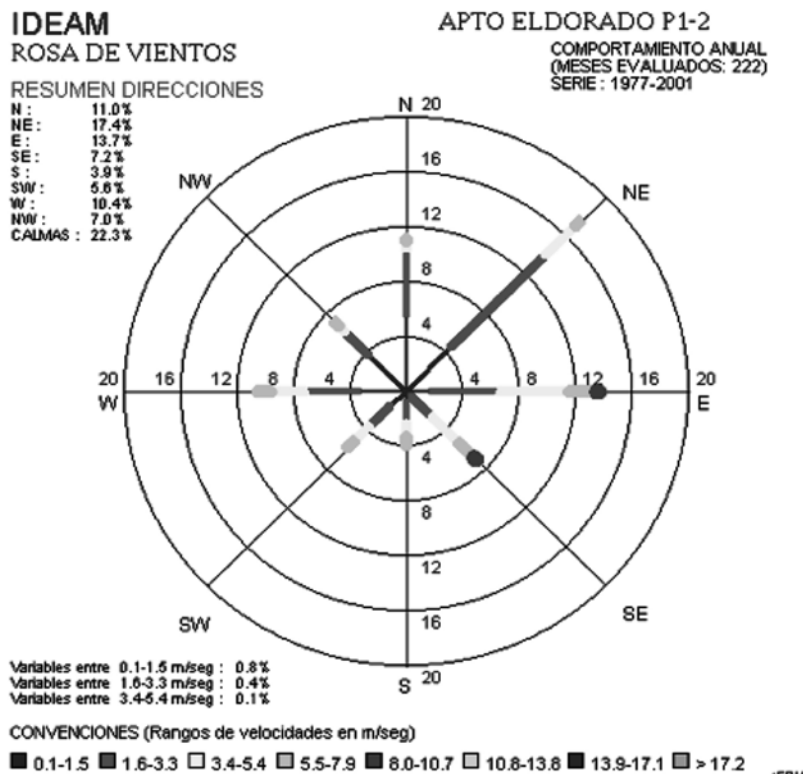
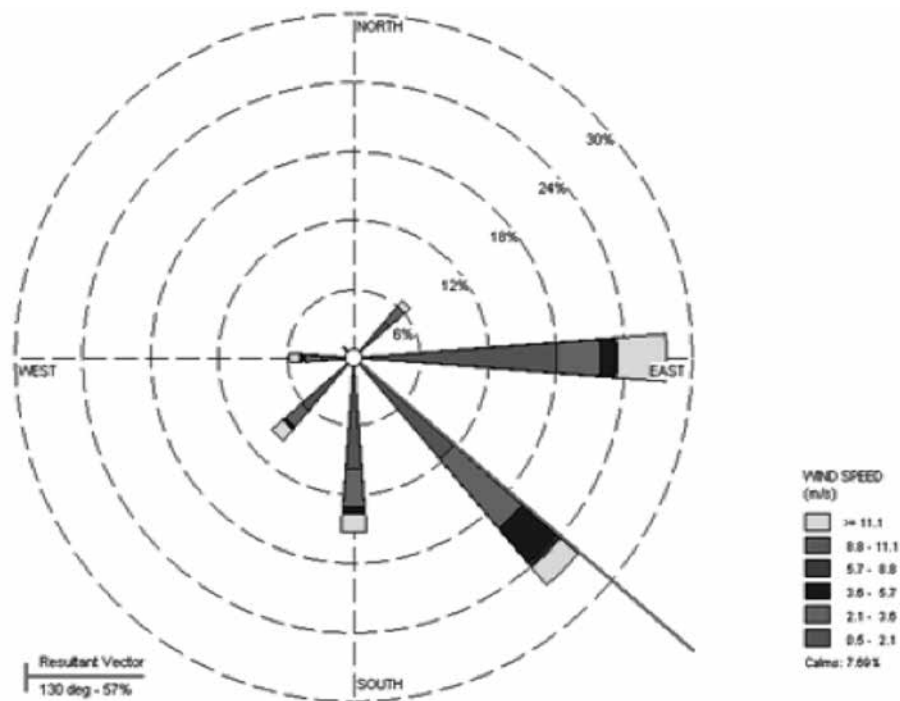


Gráfico 6. Comportamiento anual del viento en el área del Aeropuerto de Bogotá

Las corrientes más intensas en Bogotá son las de mayo a agosto inclusive y para esta época se advierten vientos del sureste que pueden alcanzar intensidades de 13.9 a 17.1 m/s; sin embargo, los meses de julio y agosto se reconocen como los de mayor intensidad, por encima de 5.5 m/s.

El viento en La Candelaria (sector de piedemonte)

En este sector de Bogotá, la velocidad del viento es en promedio de entre 0,5 y 4m/s de acuerdo con los registros de la estación automática UNISALLE sede centro. En los meses de julio y agosto cuando la ZCIT se encuentra en su posición extrema norte (alrededor de los 15° de latitud N) se advierte un incremento en la velocidad del viento, en el sector oriental de la capital y se presentan algunas ráfagas, durante el día principalmente, con valores que superan los 10m/seg.

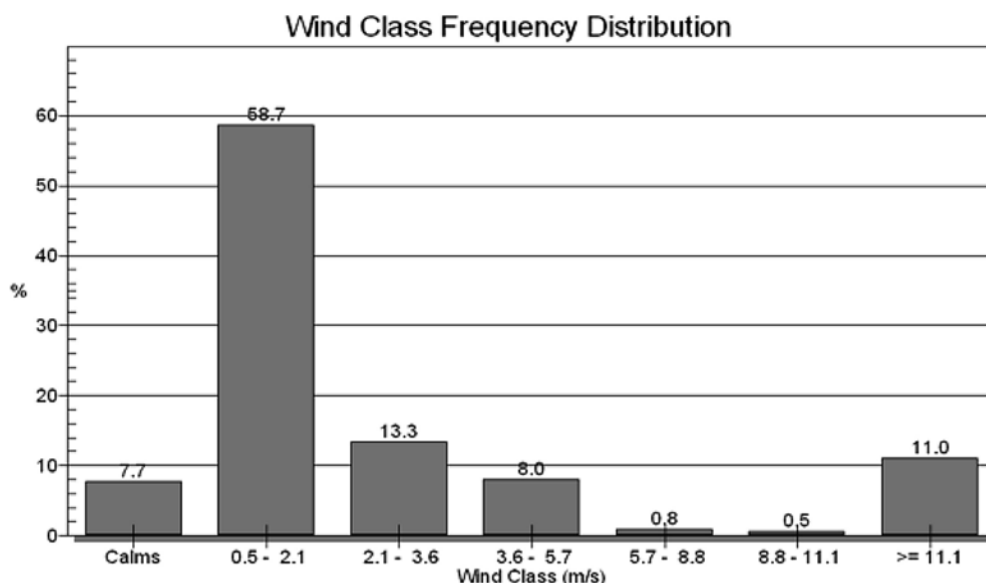


Fuente: los autores

Gráfico 7. Comportamiento del viento en La Candelaria, entre mayo y octubre de 2008

Existen registros de la época del año comprendida entre mayo y octubre que muestran velocidades del viento de más de 20m/seg en la parte alta de la localidad; estos eventos de fuertes vientos causan emergencia en la comunidad que habita el sector del piedemonte. Como se muestra en el gráfico 8, donde se analizan los datos de mayo hasta agosto de 2008, el 58.7% de las observaciones corresponde a velocidades entre 0.5 y 2.1m/s, el 21.3% a velocidades entre 2.1 y 5.7 m/s y alrededor del 8% representan las calmas. Es de anotar que un 11% de los datos corresponden a velocidades por encima de los 11.1m/seg.

En la franja oriental de la ciudad las calmas nocturnas son menos frecuentes debido al enfriamiento y posterior escurrimiento de las masas de aire en contacto con las partes altas de la montaña. La velocidad de estas brisas, denominadas catabáticas, se ha establecido con el sensor de viento de la estación UNISALLE; los registros en horas de la noche y madrugada muestran valores que van desde la calma absoluta hasta los 2 m/s.



Fuente: los autores

Gráfico 8. Distribución porcentual de la velocidad del viento en La Candelaria.

Es posible experimentar corrientes de componente oeste sobre la superficie en el área próxima al piedemonte. La explicación a estas corrientes superficiales, contrarias a los Alisios en el sector del piedemonte, está centrada en la teoría de “la cortante del viento”, cuya confirmación requiere de radares meteorológicos o experiencias con globos estáticos que permitan ratificar la existencia del fenómeno. En términos generales se forma una especie de vacío debajo de las fuertes corrientes que superan la cima de la cordillera lo que da como resultado el descenso y posterior retorno del aire, formándose corrientes contrarias, de componente oeste, en superficie.

Finalmente, se puede decir que el viento es, en buena medida, el responsable de que la concentración de nitratos y otros causantes de la acidez en la lluvia no sea tan notoria en este sector aledaño al piedemonte de la cordillera oriental.

ANÁLISIS DE RESULTADOS–LLUVIA ÁCIDA

A partir del primero de enero se iniciaron los muestreos en los seis puntos seleccionados (Museo Quinta de Bolívar, Universidad de La Salle, Casa Museo 20 de Julio, Ministerio de Hacienda y Crédito Público y Colegio Centro Sagrado Corazón), con el fin de determinar la acidez en la precipitación que cae sobre La Candelaria, en la ciudad de Bogotá.

Los estudios consultados hablan de acidez normal en la precipitación sobre grandes ciudades, citando valores de pH alrededor de 5.6; sin embargo, es importante anotar que La Candelaria, además de no presentar fuentes importantes de contaminantes de origen industrial, tiene unas condiciones físico-atmosféricas que permiten sugerir un valor normal de pH de entre 5.7 y 5.8; esta conclusión nace del análisis de los valores obtenidos durante los seis meses de muestreo. En la tabla 8 se presenta el resumen de los resultados que se comentan a continuación.

Análisis del pH

Los valores de pH observados en la localidad de La Candelaria muestran un comportamiento similar en los seis puntos de muestreo. Es importante anotar que durante los meses de enero, febrero y marzo se da un ligero descenso en los valores hasta alcanzar 5.5 que, de acuerdo con la teoría, corresponde a una lluvia ligeramente ácida. Durante abril, mayo, junio y julio, los valores se incrementan hasta alcanzar 6.7; aunque en el mes de agosto solo se contó con 15 días de observaciones es posible identificar la tendencia de las observaciones; un valor medio de 7,5 para el área de estudio muestra un descenso en la acidez de la lluvia, comportamiento más que normal para este mes.

Análisis de Nitratos y Sulfatos

La presencia de nitratos, así como la de sulfatos en las muestras de agua lluvia analizadas, permiten concluir lo siguiente: los datos de concentración observados en los seis puntos de muestreo alcanzan sus mayores valores durante los meses de enero y febrero, de ahí en adelante es posible identificar una disminución continua hasta el mes de mayo; el mes de junio presenta una aparente transición; es decir, hay un leve incremento debido al ligero aumento en las horas de sol y luego, en julio, aparecen los valores más bajos. En el mes de agosto se mantienen activos los vientos y las lloviznas intermitentes; estas últimas depositan los nitratos y sulfatos sin que logren acidificar la lluvia. Esta puede ser la razón por la que se observa un ligero incremento en la concentración de nitratos y sulfatos en las muestras.

Tabla 8. Promedios mensuales de los parámetros de acidez – La Candelaria

VARIABLE	E	F	M	A	M	J	J	A
Ph	5.8	5.9	5.5	6.1	6.3	6.6	6.7	*7.3
Nitratos	3.3	3.3	2.6	2.3	1.7	2.2	1.9	*2.9
Sulfatos	4.2	3.3	3.3	3.0	1.4	2.7	2.2	*3.6
Acidez	x	9.1	8.6	7.7	6.3	7.5	4.6	x

Fuente: autores. * Promedios de 18 días

Acidez total

Los cálculos que determinaron la acidez en las muestras de lluvia y que fueron llevadas al laboratorio registraron una tendencia igual a la descrita en los nitratos y sulfatos. Como se muestra en la tabla 10 los valores disminuyen hacia la mitad del periodo con una leve tendencia al alza durante el mes de junio para luego alcanzar los valores más bajos hacia finales del mes de julio.

Los pocos datos obtenidos para esta variable no permitieron un mejor análisis, sin embargo es muy probable que durante este mes (julio) se hubieran presentado los valores más bajos, esto debido a las condiciones meteorológicas, como se podrá ver en los párrafos siguientes.

Lluvia ácida y condiciones meteorológicas asociadas en la localidad 17, análisis comparativo

Tomando como base la caracterización climatológica de La Candelaria y las condiciones atmosféricas que acompañaron el desarrollo del proyecto, es posible concluir sobre la estrecha relación que existe entre los valores que toman las variables que determinan la acidez de la lluvia y el comportamiento del tiempo atmosférico.

El pH y las condiciones meteorológicas

En los meses de enero, febrero y marzo los niveles de insolación (horas de brillo solar) son altos debido a la poca nubosidad; la atmósfera está bastante seca y las lluvias se presentan muy esporádicamente. Durante estos primeros días del año la velocidad del viento no es muy alta y la probabilidad de ascenso y concentración de gases contaminantes en la baja atmósfera se incrementa.

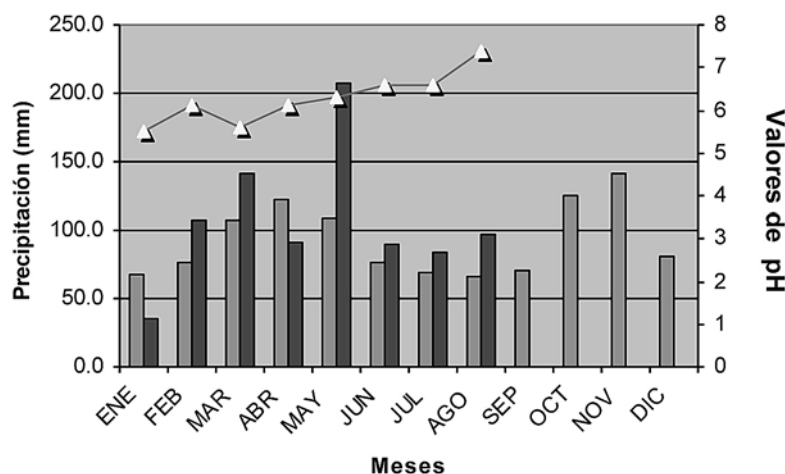
Es durante estos primeros meses del año cuando los valores de pH presentan sus menores valores, (entre 5,5 y 5,9), lo que permite identificar una ligera acidez en la lluvia. Esta condición de acidez se debe a que las pocas precipitaciones que caen con alguna frecuencia durante la segunda quincena de marzo arrastran los compuestos químicos, aerosoles y otras partículas suspendidas en el aire, que se han acumulado durante el denominado “primer periodo seco del año.” Es durante este mes cuando se presenta el barrido atmosférico que da origen al promedio de pH más bajo (5,5) observado en La Candelaria durante el tiempo de muestreo.

Desde el mes de abril el valor de pH inicia su incremento como se observó en la tabla 10, alejándose cada vez más del umbral de acidez hasta alcanzar durante la primera quincena de agosto los valores

más altos en todos los puntos de muestreo. La explicación está centrada en la llegada de la primera temporada de lluvias que abarca los meses de abril, mayo y la mitad de junio. La presencia de la ZCIT está acompañada por aumento de la humedad y de las lluvias, que sumadas a la turbulencia, producen lavado y dispersión en la atmósfera.

Desde finales de junio y durante el mes de julio ceden las lluvias y con esto disminuye la humedad y la nubosidad sobre Bogotá; sin embargo, en el sector oriental, el más próximo al piedemonte, se muestra el cielo cubierto por una delgada capa de nubes y se comienzan a sentir los vientos fríos del sureste, acompañados de lloviznas cada vez más frecuentes. Estas condiciones que se extienden hasta el mes de agosto, cuando los vientos son más fuertes, son las que permiten explicar los valores extremos de pH que pueden alcanzar valores promedio alrededor de 7.3 es decir, sobre el umbral de un pH neutro. En el gráfico 8 se muestra la distribución anual promedio de la lluvia tomada de la estación El Venado de Oro, comparada con el pH (poligonal) y la precipitación caída durante primer semestre de 2008 (barras oscuras).

Precipitación y pH en la estación Museo Quinta de Bolívar



Fuente: estación Museo la Quinta de Bolívar

Gráfico 9. Comparación de la lluvia con el pH en La Candelaria

Nitratos, Sulfatos y condiciones meteorológicas

Una vez analizadas las condiciones meteorológicas de la zona de estudio, estas se compararon con el pH y los resultados de laboratorio sobre la presencia de nitratos y sulfatos en las muestras de agua lluvia. De esta comparación fue posible concluir que las concentraciones más altas de nitratos y sulfatos se presentan en enero y febrero cuando las condiciones atmosféricas son: poca nubosidad, bastantes horas de sol, vientos ligeros y poca humedad. Bajo estas condiciones, las escasas lluvias que se presentan arrastran la carga de partículas contaminantes que se ha estado acumulando en la atmósfera haciendo que la concentración de estas en la muestra sea mayor.

Durante los meses de marzo, abril y mayo, tanto los nitratos como los sulfatos que llegan a la superficie como parte de la lluvia ácida disminuyen en cantidad. A mayor frecuencia e intensidad de la precipitación menor será la carga contaminante que permanece en la atmósfera, de ahí las bajas concentraciones de NO_3 y SO_4 en las muestras analizadas durante estos meses.

En el mes de junio se observa un leve incremento en la concentración de nitratos y sulfatos debido a la reducción en la frecuencia de las lluvias y al moderado incremento de la insolación lo que, en alguna medida, permite el ascenso y acumulación de contaminantes precursores de acidez. Es importante recordar que en esta época los Alisios del sureste traen consigo masas de aire frío que se condensan al paso de la cordillera y se materializan en lloviznas sobre los sectores de la capital cercanos al piedemonte, lo que explica la presencia de un mayor contenido de nitratos y sulfatos en las muestras de lluvia.

Julio es un mes de vientos moderados con algunas ráfagas que superan los 15 m/seg en superficie. Además, son frecuentes las lloviznas en esta franja de la capital, razón por la cual la acumulación de contaminantes en la baja atmósfera es baja, situación que se ve reflejada en la disminución de la presencia de nitratos y sulfatos en las muestras de agua lluvia recolectadas en las diferentes estaciones de muestreo.

Durante el mes de agosto, hay un poco más de horas de sol lo que permite un ligero aumento en el ascenso de contaminantes sin que alcancen el nivel de condensación; estos contaminantes, entre los que se encuentran los NOx y SOx son rápidamente precipitados por acción de las corrientes descendentes que acompañan la cortante del viento cerca del piedemonte, sin que logren reaccionar y acidificar el pH de la precipitación. Esto explica los valores básicos de la lluvia (alrededor de 7), mientras hay un ligero aumento de nitratos y sulfatos en las muestras de agua precipitada.

Acidez y condiciones meteorológicas

Los valores de acidez en la lluvia arrojan datos que siguen el comportamiento mostrado por las variables ya analizadas. En la medida en que se incrementan los valores de acidez, se reduce el valor de pH y se incrementa la concentración de nitratos; así mismo, cuando se disminuyen los valores de acidez, aumenta el pH y disminuye la concentración de nitratos. Los valores máximos de acidez se presentan durante los dos primeros meses del año cuando las horas de calentamiento superficial son importantes, la atmósfera se encuentra bastante seca y los contaminantes ascienden por convección hasta acumularse al límite de la capa de mezcla (1 kilómetro aproximadamente). Los valores de acidez total disminuyen progresivamente hasta el mes de mayo debido a la llegada del primer periodo lluvioso sobre el centro del país y muestran un leve incremento en junio cuando baja la intensidad y frecuencia de las precipitaciones y aumentan las horas de sol. Durante los meses de julio y agosto los totales de acidez nuevamente descienden no solo por las frecuentes lloviznas sobre La Candelaria, sino por el incremento de los vientos.

Como se puede observar, la relación entre los componentes atmosféricos (gases, vapor de agua y partículas en suspensión), su concentración, dispersión y deposición está estrechamente ligada a las condiciones de estabilidad de la atmósfera, regidas por el comportamiento de todas y cada una de las variables meteorológicas.

Conclusiones

Analizados los resultados obtenidos con base en las observaciones y trabajo de campo, los análisis en laboratorio y el estudio de las condiciones meteorológicas en el área de estudio se pudo concluir:

- Las evaluaciones de acidez normal en la precipitación realizadas en otras localidades de la ciudad (áreas industriales de Bogotá), presentan valores de pH inferiores a 5.6; sin embargo, en la localidad de La Candelaria, además de no presentarse fuentes importantes de contaminantes de origen industrial se tienen unas condiciones físico-atmosféricas especiales que generan valores de pH en la precipitación entre 5.7 y 5.9 con promedios mensuales de entre 6.7 y 7.5 para los meses de julio y agosto.
- Durante los primeros meses del año los valores de pH presentan sus menores valores, (entre 5,5 y 5,9), lo que le atribuye una ligera acidez a la lluvia; esto es debido a que las pocas precipitaciones que caen, arrastran compuestos químicos, aerosoles y otras partículas suspendidas en el aire que se han acumulado durante el denominado climatológicamente “el primer periodo seco del año”. Durante el mes de marzo, cuando aparecen las lluvias con algo más de frecuencia se presenta el barrido atmosférico que da origen al promedio de pH más bajo (5,5) en las muestras recolectadas. A partir del mes de abril, el valor de pH inicia su incremento alejándose cada vez más del umbral de acidez hasta alcanzar, durante la primera quincena de agosto valores más altos en todos los puntos de muestreo.
- Desde finales de junio y durante el mes de julio ceden las lluvias y con esto disminuye la humedad y la nubosidad sobre Bogotá; sin embargo, en el sector oriental, el más próximo al piedemonte, se muestra el cielo cubierto por una delgada capa de nubes y se comienzan a sentir los vientos fríos del sureste, acompañados de lloviznas cada vez más frecuentes. Estas condiciones, que se extienden hasta el mes de agosto, cuando los vientos son más fuertes, son las que permiten explicar los promedios extremos de pH que pueden alcanzar valores alrededor de 7,5.

- La presencia de nitratos, así como la de sulfatos, en las muestras de agua lluvia analizadas, permiten concluir que los datos de concentración observados en los seis puntos de muestreo alcanzan sus mayores valores durante los meses de enero y febrero, cuando las horas de calentamiento superficial son importantes, la atmósfera se encuentra bastante seca y los contaminantes ascienden por convección hasta acumularse al límite de la capa de mezcla. Durante los meses de marzo, abril y mayo, tanto los nitratos como los sulfatos llegan a la superficie como parte de la lluvia ácida. A mayor frecuencia e intensidad de la precipitación menor será la carga contaminante que permanece en la atmósfera, de ahí las bajas concentraciones de NO_3 y SO_4 en las muestras analizadas durante estos meses. De ahí en adelante es posible identificar una disminución continua hasta el mes de mayo; el mes de junio presenta una aparente transición, es decir hay un leve incremento y luego, en julio, aparecen los valores más bajos no solo por las frecuentes lloviznas sobre la localidad de La Candelaria, sino por el incremento de los vientos.
- La relación entre los componentes atmosféricos, su concentración, dispersión y deposición está estrechamente ligada a las condiciones de estabilidad de la atmósfera regidas por el comportamiento de todas y cada una de las variables meteorológicas. Por esta razón, durante los primeros meses del año (enero, febrero y primera quincena de marzo) cuando el gradiente térmico vertical se incrementa, los niveles de insolación son altos, la atmósfera está bastante seca, las lluvias se presentan muy esporádicamente y la velocidad del viento no es la mayor, existe la probabilidad de que asciendan y permanezcan las emisiones en la baja atmósfera. De igual manera, cuando se incrementan las lluvias y con ellas el lavado atmosférico (desde finales de marzo hasta mediados de junio y desde finales de septiembre hasta comienzos de diciembre), la atmósfera reduce su capacidad de albergar las emisiones contaminantes que provienen de las actividad humana; durante este tiempo los valores de pH se incrementan y la tendencia de la lluvia es hacia los valores básicos.
- Con relación a la concentración de óxidos de nitrógeno y azufre registrada en las estaciones más cercanas a la zona de la Candelaria, se encontró que en ninguno de los casos se superó el límite permisible establecido por la resolución 601 de 2006, además, al relacionarla con la velocidad y la dirección del viento, se estableció que la contribución de estos al comportamiento de la acidez de la lluvia es muy baja.

Referencias Bibliográficas

- [1] Salgado, M. S. Contaminación atmosférica a escala regional: Lluvia acida. Recuperado de: <http://www.uclm.es/profesorado/mssalgado/QFATMOSFERA0708/trabajos%20en%20pdf/LLUVIA%20%C3%81CIDA.pdf>.
- [2] Antolinez, A. & Díaz, C. (2003). Lluvia ácida en la zona norte de Bogotá. (Trabajo de grado, ingenieros químicos). Universidad Nacional de Colombia. Bogotá D.C. UN.
- [3] Herrera Londoño, M L. (1999). Lluvia ácida aspectos fisicoquímicos y ambientales. Cali: FAID.
- [4] IDEAM-FOPAE. (2007) Estudio de la caracterización climática de Bogotá y Cuenca Alta del Río Tunjuelo.
- [5] ALCALDIA LOCAL DE LA CANDELARIA. (2006). Diagnóstico Ambiental Local. Bogotá: [CD-ROM].
- [6] Amoroso, G. & Fassina, V. (1983). Stone Decay and Conservation. Atmospheric Pollution, Cleaning, Consolidation and Protection. New York, Berner & Berner. (s. f.) Global Environment: Water, Air and Geochemical Cycles, citado por ANTOLINEZ, A. & DÍAZ, C. Op. cit., p. 3.
- [7] DAMA. (Noviembre, 2007). Informe anual de calidad del aire de Bogotá 2005-2006, citado por GAITAN, Mauricio et al, Análisis de la Calidad del aire de Bogotá. En: Revista de Ingeniería de la Universidad de los Andes. Bogotá D.C.
- [8] IDEAM. (2008) El problema de la lluvia ácida. Recuperado de: <http://www.ideam.gov.co/sectores/Lluvia/LLuviaAcidaElProblema.html>.
- [9] IDEAM. (2008). Generalidades de la lluvia ácida. Recuperado de: <http://www.ideam.gov.co/sectores/Lluvia/LLuviaAcidaGeneralidades.html>.
- [10] IDEAM. (2007). Monitoreo y Seguimiento de la lluvia ácida: la vigilancia atmosférica.
- [11] Pennsylvania. (2006). s.t. (Tesis de maestría. Historic preservation). Universidad de Pennsylvania. Recuperado de: http://repository.upenn.edu/hp_theses/7/