



Memorias

Jornadas Técnicas de Discusión 2010 realizadas por el Convenio Interinstitucional Cátedra del Agua, coordinado por el Centro de Ciencia y Tecnología de Antioquia – CTA: “Alteraciones climáticas e impactos sobre el recurso hídrico”, “Experiencias en la determinación de retiros a corrientes de agua”.

Medellín – Colombia

Coordina:



**Número 05
Año 2011**

REVISTA CÁTEDRA DEL AGUA

Número 05 - Año 2011

Memorias de las Jornadas Técnicas de Discusión 2010 realizadas por el Convenio Interinstitucional Cátedra del Agua, coordinado por el Centro de Ciencia y Tecnología de Antioquia – CTA: "Alteraciones climáticas e impactos sobre el recurso hídrico", "Experiencias en la determinación de retiros a corrientes de agua".

Elaborado por:

Claudia Patricia Campuzano Ochoa
Coordinadora Técnica
Convenio Interinstitucional Cátedra del Agua

Ana María Arango Díaz
Apoyo a la coordinación
Coordinación General

Santiago José Echavarría Escobar
Director
Centro de Ciencia y Tecnología de Antioquia – CTA

Comité Editorial:

Claudia Patricia Campuzano Ochoa
María del Pilar Arroyave Maya
Gloria Offir Iral Zapata
Juan Esteban González Gallo
Catalina Castaño Castrillón
Olga Lucía Tobón Mejía
Juan Camilo Villegas Palacio
Julio Cañón Barriga

Primera edición

ISSN 1909-9363
Medellín, 2011

Diseño, diagramación e impresión

Impresos Begón Ltda.
Impreso en Colombia

Todos los derechos reservados. Queda prohibida la reproducción total de esta publicación, sin la autorización expresa del Centro de Ciencia y Tecnología de Antioquia – CTA. Para la reproducción parcial debe citarse la fuente.

CONTENIDO

ESTRATEGIAS Y MECANISMOS DE GESTIÓN PARA EL USO EFICIENTE DEL RECURSO HÍDRICO ABORDADOS POR CORNARE PARA ENFRENTAR EL FENÓMENO DEL NIÑO	7
RESUMEN	7
ABSTRACT	7
INTRODUCCIÓN	7
CONTENIDO	8
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	12
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	12
PARQUE LINEAL DEL RÍO NEGRO COMO MODELO DE ORDENACIÓN DEL RÍO Y SU ENTORNO	13
RESUMEN	13
ABSTRACT	13
INTRODUCCIÓN	13
OBJETIVOS DEL PARQUE LINEAL	14
MARCO CONCEPTUAL	14
METODOLOGÍA	15
ANTECEDENTES	15
CRITERIOS DE DISEÑO APLICADOS	17
EL PARQUE LINEAL	18
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	20
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	21
ESTRATEGIAS Y MECANISMOS PARA ENFRENTAR EL CAMBIO CLIMÁTICO DESDE EL MUNICIPIO DE MEDELLÍN	23
RESUMEN	23
ABSTRACT	24
INTRODUCCIÓN	24
DESARROLLO DEL TEMA	25
CONCLUSIONES	33
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	33
ANÁLISIS MÁS RECIENTE DEL EFECTO DE LOS FENÓMENOS ENSO EN EL COMPORTAMIENTO CLIMÁTICO EN COLOMBIA	35
RESUMEN	35
ABSTRACT	35
INTRODUCCIÓN	36
MATERIALES Y MÉTODOS	36

RESULTADOS OBTENIDOS	39
CONCLUSIONES	44
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	45
DISPONIBILIDAD HÍDRICA Y DEMANDA DE CAUDALES EN EL VALLE DE ABURRÁ	47
RESUMEN	47
ABSTRACT	47
INTRODUCCIÓN	48
CONTENIDO	48
CONCLUSIONES	60
RECOMENDACIONES	60
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	61
EVOLUCIÓN DEL ENSO, SU CLASIFICACIÓN Y ESTADO DE AFLUENCIAS A EMBALSES DE COLOMBIA	63
RESUMEN	63
ABSTRACT	63
INTRODUCCIÓN	63
MATERIALES Y MÉTODOS	64
RESULTADOS	66
CONCLUSIONES	70
AGRADECIMIENTOS	71
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	71
ESTRÉS CLIMÁTICO EN ECOSISTEMAS DE ALTA MONTAÑA DE LA CORDILLERA CENTRAL: POSIBLES IMPACTOS EN LA OFERTA HÍDRICA SUPERFICIAL	73
RESUMEN	73
ABSTRACT	73
INTRODUCCIÓN	74
ÁREA DE ESTUDIO	74
METODOLOGÍA	74
RESULTADOS	75
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	79
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	79

PRESENTACIÓN

La ubicación geográfica, la variada topografía y el régimen climático que caracterizan el territorio colombiano, han determinado que éste posee una de las mayores ofertas hídricas del planeta; sin embargo, esta oferta no está distribuida homogéneamente en todo el territorio, y está sometida a fuertes variaciones que determinan la disponibilidad en el recurso hídrico.

La riqueza hídrica del país se manifiesta en su extensa red fluvial superficial que cubre al país en unas condiciones favorables de almacenamiento de aguas subterráneas, la existencia de cuerpos de agua lénticos y la presencia de enormes extensiones de humedales.

La presencia de altas montañas, abundantes precipitaciones, extensas sabanas y selvas húmedas, junto con su ubicación estratégica, caracterizan el territorio nacional y determinan la existencia de ecosistemas con un potencial hídrico valioso y sistemas complejos de regulación.

El estudio del IDEAM (2008) permite confirmar, que pese a la situación relativamente favorable de oferta y disponibilidad hídrica del país, Colombia se caracteriza por una alta variabilidad espacial y temporal en la distribución de su recurso hídrico, adicionalmente, las condiciones de cobertura vegetal, suelos, usos del suelo y características geológicas e hidrológicas de las cuencas colombianas son muy variadas y por ello el país cuenta con cuencas hidrográficas de diferente capacidad de regulación.

Esta variabilidad en la oferta de agua hace que se presentan señales serias de preocupación, e incluso de alarma, en algunos municipios y áreas urbanas, ya que no existe suficiente ordenamiento para el uso de los recursos hídricos.

El potencial hídrico del país se restringe en su aprovechamiento por una serie de factores antrópicos que generan efectos sobre el ciclo hidrológico y en particular en la calidad del agua. También lo afecta la forma de aprovechamiento que se caracteriza por el uso inadecuado y poco eficiente.

Adicionalmente, hoy en día, tanto el cambio climático como los fenómenos extremos, son cada vez más evidentes, podríamos decir que ya son una realidad y comienzan a afectar los recursos hídricos del país. Los expertos han mencionado que los eventos cada vez serán más extremos, las lluvias y los veranos serán cada vez más intensos, con las consecuencias que esto representa, mayores inundaciones y por ende una necesidad inminente por definir, normalizar, conservar y proteger las zonas de retiro a corrientes de agua; así como definir estrategias de mitigación para las sequías, entre otros.

Según algunos expertos de la Universidad Nacional de Colombia y el IDEAM, los pronósticos mencionan que en unos 30 años, no habrá nevados en Colombia, lo cual a su vez, afectará los caudales de los ríos que presentarán una disminución de su caudal base y que sumado a una mayor presión por el recurso hídrico, genera conflictos por el uso del agua, uno de ellos en los medios de subsistencia aguas abajo en las zonas que se abastecen de estos ríos.

Los fenómenos extremos o alteraciones climáticas como el Fenómeno de El Niño o su fase opuesta La Niña, afectan directamente a Colombia en aspectos tan importantes como el económico y el social; lo que implica que se deben afrontar retos de una forma ordenada y planificada para proteger los recursos naturales y utilizarlos de una forma cada vez más efi-

ciente, además, implica que se generen estrategias para que la gente se adapte rápidamente. Es importante trabajar en términos de prevención más que en mitigación de los impactos cuando los eventos ya han ocurrido.

En este sentido, esta publicación pretende presentar no sólo cuáles han sido los efectos de las alteraciones climáticas y específicamente el fenómeno de El Niño en nuestra región y nuestro país, si no qué estamos haciendo desde diferentes sectores para enfrentar dichos eventos, además de conocer que medidas se están tomando para la determinación de retiros a corrientes de agua.

En el año 2010, la Cátedra del Agua llevó a cabo dos Ciclos de Jornadas Técnicas de Discusión: "Alteraciones Climáticas e Impactos sobre el Recurso Hídrico" y "Experiencias en la determinación de retiros a corrientes de agua". Las memorias de lo que los conferencistas relataron al público, se presentan en esta publicación, la cual ha sido creada con el objetivo de socializar y transferir el conocimiento en torno a todos los temas que tienen que ver con el recurso hídrico.

Esta publicación se difunde de manera gratuita gracias al aporte de las instituciones signatarias del Convenio Interinstitucional de la Cátedra del Agua, por lo que este es el espacio para que quede guardado en el tiempo y liberado en el mundo, no sólo el conocimiento, sino el agradecimiento a todas instituciones y personas que compartieron generosamente parte de su intelecto en esta publicación.

Esperamos que esta revista cumpla con el fin para el cual fue elaborada con tanto cuidado.

ESTRATEGIAS Y MECANISMOS DE GESTIÓN PARA EL USO EFICIENTE DEL RECURSO HÍDRICO ABORDADOS POR CORNARE PARA ENFRENTAR EL FENÓMENO DEL NIÑO

Autor: Luz Stella Vélez Mesa. Cornare, Subdirección de Gestión.

Correo electrónico: svelez@cornare.gov.co

RESUMEN

Dentro de las acciones que deben acometer las autoridades ambientales del país, por requerimiento del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial para enfrentar el fenómeno del niño y garantizar el uso del Recurso Hídrico de manera sostenible, se plantea la formulación y ejecución de un Plan de Contingencia que consolide acciones con los diferentes entes y usuarios del recurso, con responsabilidades entorno al agua. En el siguiente documento se desarrollan algunas de las acciones emprendidas por Cornare, durante el primer trimestre de 2010, para enfrentar dicho fenómeno.

PALABRAS CLAVES

Fenómeno del niño, alteraciones climáticas

ABSTRACT

Among the actions that must tackle the country's environmental authorities, upon request of the Ministry of Environment, Housing and Territorial Development to address the phenomenon of child and ensure the use of water resources in a sustainable manner, there is the formulation and implementation of a Plan Contingency actions to consolidate the different entities and users of Appeal, with responsibilities to the water environment. The following paper develops some of the actions taken by Cornare during the first quarter of 2010 to address this phenomenon.

KEYWORDS

The phenomenon of child, climate changes

INTRODUCCIÓN

La jurisdicción de Cornare está ubicada en el Oriente del Departamento de Antioquia, extremo Noroccidental de Colombia, al norte de Suramérica, posee altos niveles de pluviosidad, con una media anual de 2.500 mm, gran variedad climática por el amplio rango altitudinal de la zona, con alturas mínimas de 200m.s.n.m en la planicie del magdalena medio antioqueño y máximas de 3.340

m.s.n.m. en el cerro de las palomas en el Páramo de Sonsón. Está conformada por 26 municipios con un área aproximada de 827.600 ha, correspondientes al 13% del departamento de Antioquia y el 0,7% de Colombia, distribuida en cinco subregiones así: 1. Valles de San Nicolás con un área de 176.600 ha, (31.400 urbanas y 145.200 rurales) correspondiente a los municipios de El Carmen de Viboral, El Retiro, El Santuario, Guarne, La Ceja, La Unión, Marinilla, Rione-



gro y San Vicente. 2. Bosques, con 162.700 ha, (2.200 urbanas y 160.500 rurales) e integrada por los municipios de Cocorná, San Francisco, San Luis y Puerto Triunfo; 3. Aguas, con una extensión de 146.500 ha (urbanas 4.600 y rurales 141.900) correspondiente a los municipios de El Peñol, Granada, Guatapé, San Carlos y San Rafael; 4. Porce Nus, un área correspondiente a 101.700 ha,

(urbanas 7.200 y rural 94.500) de los municipios de Alejandría, Concepción, San Roque y Santo Domingo; 5. Páramo, en una extensión de 240.200 ha, (urbanas 6.600 y rural 233.600) correspondiente a los municipios de Abejorral, Argelia, Nariño y Sonsón.

Se presenta a continuación la jurisdicción de Cornare.

Figura 1. Jurisdicción de Cornare



CONTENIDO

El Plan de Contingencia exigido a las Autoridades Ambientales del país por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial sobre las acciones a implementar entorno al recurso hídrico para enfrentar el fenómeno del niño en cada una de las jurisdicciones, a través de la Circular No 2000-2-154657 del 12 de Junio de 2009, plantea las siguientes acciones:

- **ACOMPAÑAMIENTO A LAS EMPRESAS PRESTADORAS DE SERVICIOS PÚBLICOS:** a través de reuniones en los municipios de la jurisdicción con el acueducto municipal y los acueductos veredales y multiveredales, a través de Asocomunal, se socializaron las diferentes circulares que ha expedido el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial sobre el Fenómeno del Niño, se revisaron las pautas para la formulación del plan de contingencia desde cada acueducto, se evaluaron las fuentes alternas para dichos acueductos. Así mismo se realizaron visitas de evaluación y monitoreo a los acueductos priorizados.
- **RESPUESTA INSTITUCIONAL:** desde cada dependencia de la entidad, se revisó el procedimiento de actuación sobre las concesiones provisionales, se ubicó y difundió la cadena de llamadas de atención de emergencias a cada funcionario de la entidad, para prestar una información eficiente a la comunidad en general ante una emergencia. Se prestó atención prioritaria a quejas por desabastecimiento del recurso y se creó una base de datos de usuarios afectados por el fenómeno de el niño que sirva de herramienta para planear a corto plazo medidas tendientes a proponer acciones en dichas fuentes.

- **CAPACITACIÓN PARA CONTROL DE INCENDIOS FORESTALES:** Se realizaron dos jornadas de capacitación con los CLOPADS de los municipios de la jurisdicción sobre incendios forestales, así mismo se realizó la entrega de kits para la atención de los incendios y se fortaleció a dichos equipos con herramientas de respuesta rápida ante emergencias.
- **CAMPAÑA DE AFOROS A FUENTES ABASTecedorAS DE ACUEDUCTOS PRIORIZADAS:** Se llevó a cabo una programación de aforos desde la unidad de monitoreo de la Corporación, con el apoyo de funcionarios de las distintas regionales, dando prioridad a las fuentes abastecedoras de acueductos municipales y aquellas que tienen instrumentación en la fuente abastecedora. Se realizaron cerca de 143 aforos.
- **PLAN DE MEDIOS DE COMUNICACIONES:** Se realizó la difusión de Circulares del Ministerio y de la normatividad relacionada, y el apoyo a través de plegables, pasacalles, cuñas radiales, avisos parroquiales, televisión local, y prensa local, todas estas publicaciones dentro de un plan de medios.

De la información suministrada por administradores de los acueductos, así como dentro del seguimiento a concesiones de agua se encontró una reducción drástica de caudales en muchas fuentes, donde se observó la no garantía de un caudal remanente aguas debajo de las captaciones de dichos acueductos y la disminución considerable de caudal para dilución de la carga contaminante que transportan dichos ríos.

A continuación, se grafican los registros históricos de aforos realizados en la estación Charcomanso, en el Río Negro, entre los años 2002 y 2010, donde se observan valores cada vez más extremos, tanto máximos como mínimos (ver figura 2)



Figura 2. Histórico de aforos Estación Charcomaso Río Negro



En la siguiente gráfica (figura 3) se eliminan los valores extremos, para que sean más representativos los valores de la gráfica.

Figura 3. Comparativo histórico de aforos Estación Charcomaso Río Negro



A continuación se hace un consolidado con 19 de las estaciones hidrológicas propiedad de Cornare (tabla 1), donde se observa la reducción de los caudales en dichas fuentes,

comparadas con los caudales medios registrados. En promedio se dio una reducción del 74% en los caudales.

Tabla 1. Caudales promedios vs caudales mínimos Estaciones hidrológicas Cornare

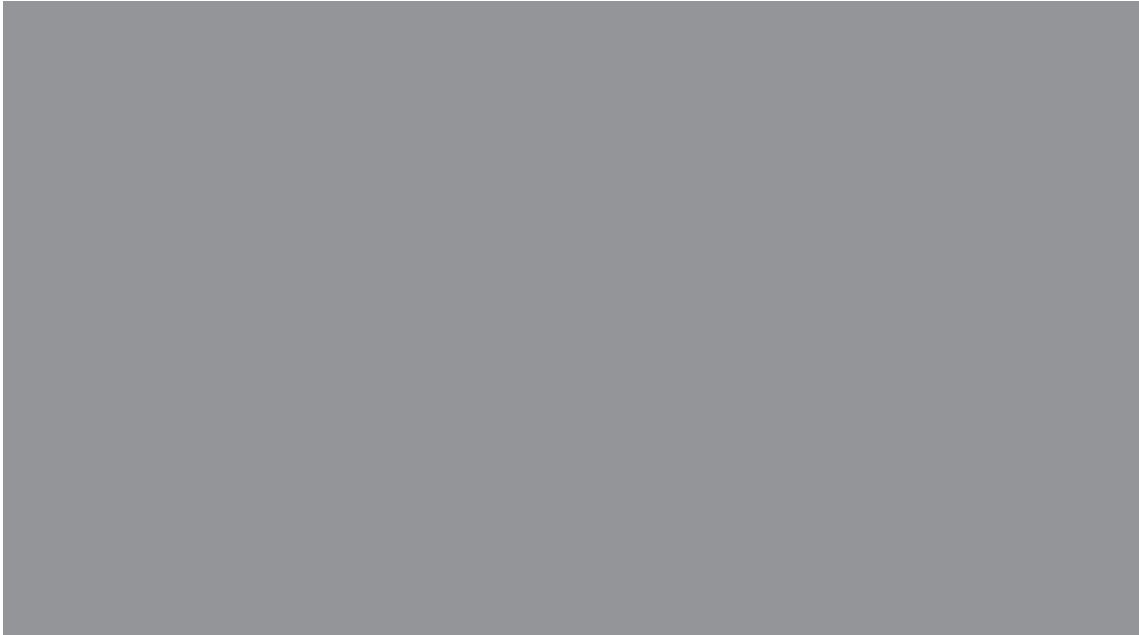
ESTACIÓN	CAUDAL PROMEDIO (L/SEG)	CAUDAL MÍNIMO (L/SEG)	% DE REDUCCIÓN DE CAUDALES
BODEGAS	283,035	67,77	76%
LA AMISTAD	1.193,602	391,98	67%
EL SALTO	58,736	29,92	50%
BOCATOMA II	31,292	9,88	68%
BOCATOMA I	39,578	4,32	89%
BARBACOAS	264,215	62,04	76%
LA MARINILLA	134,358	14,93	89%
BOX COULVERT	963,303	383,33	60%
LA BRIZUELA	165,556	26,86	84%
PUENTE LA COMPAÑÍA	388,611	110,86	71%
COMPAÑÍA ABAJO	1.215,509	365,71	70%
EL TABLAZO	85,411	9,40	89%
FLOR SILVESTRE	1.261,629	263,31	79%
LA CIMARRONA	73,772	16,79	77%
MONTENEVADO	1.465,218	305,46	79%
LA MOSQUITA	57,308	6,35	89%
LA ENEA	102,898	39,02	62%
LOS ANDES	50,112	20,99	58%
LA PALMA	28,909	5,11	82%

Los datos del consolidado anterior se grafican a continuación (ver figura 4), donde la serie de aforos realizados entre los meses de febrero y marzo de 2010, en la época de

mayor criticidad del fenómeno de el niño, muestran una reducción notoria de los caudales en casi la totalidad de las estaciones monitoreadas.



**Figura 4. Caudales promedio Vs Caudales mínimos.
Estaciones Red Hidrológica Región Cornare**



CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Se deberán tomar acciones tendientes a enfrentar el cambio climático que se viene presentado a nivel global y en particular en el país.
- La disminución de la lluvia crea condiciones propicias para la ocurrencia de in-

- cendios forestales, así como disminución de los caudales en ríos y quebradas.
- Los Planes de contingencia son herramientas para que los comités de prevención y atención de emergencias departamentales y municipales implementen medidas de prevención y que el fenómeno del Niño no tenga un fuerte impacto en la población civil.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

www.ideam.gov.co

PARQUE LINEAL DEL RÍO NEGRO COMO MODELO DE ORDENACIÓN DEL RÍO Y SU ENTORNO

Autor: Paula Andrea Roldán Henao, Sara María López Tobón y Alexandra Ramírez Quintero. Municipio de Rionegro, Secretaría de Planeación.

Correo electrónico: roldanhenao@gmail.com, saramlopez@une.net.co, alexandrar80@yahoo.com

RESUMEN

El Parque lineal del río Negro es un proyecto que permitirá construir un corredor ecológico, no sólo para la conservación y cuidado de los ríos, sino como un proyecto turístico y de integración ciudadana de mucha importancia. El proyecto está pensado para constituirse en el eje que estructure el espacio público del municipio de Rionegro, como una importante zona lúdica de protección del recurso natural y del río, donde se integran equipamientos colectivos para la recreación, el deporte, el comercio, a la vez que mejora integralmente el paisaje urbano y su percepción por la ciudadanía.

PALABRAS CLAVES

Parque lineal, Río Negro, corredor ecológico, conservación, integración ciudadana.

ABSTRACT

The rivers lineal park is a project that will allow the construction of an ecological pathway, not only for preservation and correct management of riversides, but also as a touristic project of community integration of great importance. During the advanced task developed by this administration, the project was intended to create a spinal cord that will give structure to public space in Rionegro, as an important rest area that protects natural resources and rivers as well, where recreation, sports, and business will find a place to integrate at the same time of the improvement of the urban and rural landscape and its citizen perception.

KEYWORDS

Lineal Park, Negro river, ecological pathway, preservation, community integration.

INTRODUCCIÓN

Un parque lineal constituye una iniciativa de estructuración del espacio público para el esparcimiento social, que genera cambios relacionados con el medio ambiente y la estructura de la ciudad, a través de la recuperación y protección de las fuentes hídricas y sus áreas aledañas, generando conexiones a través de los corredores ecológicos con todo el sistema de protección del municipio. Es el

eje que estructura el territorio, y que se sustenta en los principios del desarrollo sostenible, de tal forma que logre una estructura que genere espacios públicos efectivos para elevar la calidad de vida de la población.

La estructura ecológica del área definida como Parque Lineal del río Negro, es un eje estructural de ordenamiento territorial y ambiental, en tanto contiene un sistema espacial, estructural y funcionalmente interre-



lacionado, que define un corredor ambiental de soporte, de vital importancia para el mantenimiento del equilibrio eco sistémico del territorio. Se define como una porción del territorio que se selecciona y delimita para su protección y apropiación sostenible, dado que contiene los principales elementos naturales y construidos que determinan la oferta ambiental del territorio, conforman un elemento estructurante a partir del cual se organizan los sistemas urbanos y rurales.

El proyecto de Parque Lineal del río Negro, se desarrolla en aproximadamente 25 Km, inicia en la vereda La Laja, en la intersección de la quebrada Cimarronas con el río Negro hasta el puente de la Pica, en la vereda El Tablazo.

Al posicionar el Parque Lineal del río Negro como una nueva centralidad dotada del espacio público y equipamientos requeridos, en procura de generar procesos de integración zonal, social, y atender las demandas de la población existente y futura, se promueve la redensificación del sector con nuevos desarrollos articulados al sistema de espacios públicos efectivos generados por el Parque Lineal. Esto permite integrar los barrios a los equipamientos colectivos, a los sectores de prestación de servicios y a los sistemas generales de espacio público y de movilidad.

Se diseñó un sistema de movilidad fluido que busca privilegiar el transporte no motorizado (ciclorutas, andenes, equinorutas) y el transporte público masivo, que le permita a la comunidad desplazarse interna y externamente de manera cómoda, agradable y segura. La movilidad al interior del Parque y su relación con los elementos naturales, se logró a través del mejoramiento paisajístico del sistema vial existente. Se creó una articulación urbana y rural, con diversidad de escenarios, respetando los procesos ecológicos esenciales, garantizando la conectividad ecológica y la disponibilidad de servicios ambientales. La idea es elevar la oferta paisajística y la calidad ambiental, en correspondencia con el desarrollo y la demanda turística, con la apropiación sostenible y el disfrute público de la oferta ambiental.

OBJETIVOS DEL PARQUE LINEAL

Objetivo General

Ayudar a consolidar a Rionegro como un "Territorio verde, amable y sostenible", devolviéndole la cara al río, recuperándolo y privilegiándolo para generar espacios públicos efectivos, conservar el ecosistema natural y definir la estructura urbano/rural y paisajística del río y sus periodos de retorno, de tal manera que permita disfrutar de los servicios ambientales que ofrece por su calidad paisajística y ambiental, por ser un eje de integración social gracias a su ubicación y donde se creen espacios comunitarios para la construcción del territorio deseado.

Objetivos Específicos

- Crear sistemas de movilidad, privilegiando el transporte no motorizado, con accesos y recorridos por tipologías, a través de alamedas, ciclorrutas, andenes y equinorutas, articuladas a la zona urbana y rural y a los equipamientos de educación, salud, centros de integración, centros financieros, ente otros.
- Integrar los proyectos viales en las áreas adyacentes del parque lineal.
- Integrar al parque, la ciclorruta prevista por los ejes viales del plan vial.
- Consolidar el eje natural y estructural como ordenador del territorio.
- Contribuir a la integración físico – espacial y social, para el encuentro ciudadano y la conexión entre barrios, veredas y equipamientos.
- Ampliar los espacios de movilidad y estancia peatonal y de las superficies forestales de paseo ciudadano.
- Reubicar las viviendas que se encuentran en las áreas de protección del río Negro, que no puedan ser objeto de obras de mitigación.
- Reforestar para proteger y recuperar los ecosistemas estratégicos, el paisaje y la calidad ambiental del área del proyecto.

MARCO CONCEPTUAL

El paisaje es una construcción mental, además de ser una realidad física, susceptible de ser estudiada aplicando métodos científ-

ficos, o modificada por medio del diseño urbano/rural, es una construcción mental porque se elabora a partir de lo que se ve; la percepción del paisaje constituye un aspecto fundamental y primario, tanto para su conocimiento como para su valoración. Se puede afirmar que el paisaje es una interpretación de una realidad y su valoración implica un proceso cultural.

Los corredores fluviales son vistos como los mayores elementos estructurantes-conectores de los territorios, que operan en ocasiones como una verdadera matriz geográfica aportando múltiples recursos para la vida, valores naturales, territoriales y sociales propios, de gran importancia; por ello, la teoría de sostenibilidad, promueve que su conservación y restauración debe ser una estrategia territorial imprescindible para conservar el capital natural de un país. Dado que estos corredores fluviales deben estar en permanente diálogo con los sistemas urbanos y de infraestructuras, múltiples actores del territorio (sociales, políticos, públicos, económicos), deben ser integrados al proyecto para concertar con ellos la conservación, restauración y aprovechamiento de los recursos naturales y ambientales que tiene el río Negro, de manera sostenible y que genere un beneficio real a los habitantes actuales y futuros.

El Parque Lineal como Modelo de Ordenación debe establecer un método que permita por un lado, cumplir las exigencias normativas y por otro, aprovechar al máximo aquellas áreas que se han visto directamente afectadas por la situación del río y su entorno. Actualmente estas son las condiciones:

- El río se convertirá en una centralidad, a través del Proyecto Parque Lineal; las áreas inmediatas son ámbitos disponibles para el uso y disfrute colectivo.
- Los espacios públicos ya existentes, se verían complementados y ampliados con nuevas áreas que conformarán un continuo corredor verde para el uso de los ciudadanos, las superficies reconquistadas permitirán configurar un nuevo sistema de esparcimiento y mejorar la red de dotaciones y servicios públicos.
- La capacidad articuladora del río, gracias

a su ubicación estratégica en el territorio, permiten un nuevo planteamiento en la movilidad y en la conexión de los diferentes elementos que lo conforman.

- La posición del río tiene una enorme trascendencia como zona de articulación de la movilidad de escala urbana, rural y regional.

METODOLOGÍA

Dentro de la intervención se determina la naturaleza y la intensidad de los usos compatibles en los periodos de retorno del río, según su ubicación urbana o rural; cada intervención reconoce el entorno que tiene a su vez una identidad propia; las intervenciones en el Parque Lineal orientan el ordenamiento espacial del área de influencia que a su vez se articula al modelo territorial propuesto en el POT (Plan de Ordenamiento Territorial), y para esto, se propone un programa de actuación por fases o etapas. El modo de ejecutar y dar cumplimiento a lo previsto, se especifica a través de acciones aisladas, es decir, unidades mínimas de actuación que conforman el cuerpo propositivo de cada intervención. Para la definición del PARQUE LINEAL, se plantearon las siguientes etapas como principios metodológicos determinantes para su definición:

Etapas: Investigación, recopilación y análisis de información

Etapas: Diagnóstico, síntesis de la situación actual

Etapas: Formulación del esquema básico y generación de alternativas

Etapas: Estudios y diseños en anteproyecto y proyecto final

Etapas: Aprobaciones

ANTECEDENTES

ASPECTOS AMBIENTALES: El proyecto genera beneficio ambiental alto, ya que permite recuperar los servicios ambientales que un gran ecosistema como el río Negro presta al territorio. Uno de los principales problemas ambientales que tiene el Oriente Antioqueño es la continua explotación de los recursos naturales y la degradación progresiva del medio natural, incluyendo la deforestación y desprotección de los retiros de las fuentes



hídricas, que aumentan la sedimentación de los ríos, disminuyendo su capacidad hídrica y velocidad de evacuación; efectos que, sumados a la ubicación inadecuada de asentamientos humanos en las zonas de protección y al cambio climático, aumentan los riesgos de inundación.

- **Vegetación:** Nombres comunes y científicos de las especies, características físicas, estado fitosanitario y tratamiento propuesto a la vegetación existente. Se adelantó el inventario al 100 % de la vegetación existente con base en la metodología y formatos establecidos por la autoridad ambiental.
- **Fauna:** se determinaron los nombres comunes y científicos de las especies de fauna que se encuentran en el área de influencia directa, es decir, en el área en que se desarrolla el proyecto del Parque Lineal.

El diagnóstico permite evaluar la vegetación arbórea y resume los aspectos más importantes de la vegetación encontrada en el terreno; el diagnóstico de la imagen perceptual o del paisaje, desde las diferentes escalas, busca su valoración. Esta evaluación permitirá identificar las labores que se deben realizar sobre la vegetación identificada ya sea tala, traslado o poda del individuo.

ASPECTOS LEGALES: El Valle de San Nicolás, con una llanura aluvial muy amplia, tiene una alta presión por la tierra que restringe los usos en grandes zonas. El Municipio posee el "Estudio y Reglamentación de la Llanuras de Inundación del río Negro y de la quebrada La Pereira", donde aparecen las siguientes recomendaciones :

- Conservación de condiciones de amortiguación de crecientes de las zonas del embalse La Fé y la amplia Llanura de inundación del río Negro, entre las desembocaduras de las quebradas Don Diego y San Antonio.
- Plan de Contingencia.
- Aprobar el proyecto de acuerdo con la propuesta de reglamentación de usos del suelo, de la zona de llanura.
- Revisión de las obras del Plan de Saneamiento.
- Revisión del Plan Vial.

- La ejecución de los diques.
- Reubicación de la edificación del Cuerpo de Bomberos.
- Protección de la cuenca (monitoreo, conservación de la cobertura vegetal, control de canteras, extracción periódica de barras de sedimentos en la desembocadura de la quebrada Chachafruto.

Este gran proyecto de espacio público está trazado a partir de los lineamientos planteados en el POT (Plan de Ordenamiento Territorial) del municipio de Rionegro, que tiene dentro de sus políticas:

- Proteger la llanura de inundación del río Negro y la quebrada La Pereira, elementos de equilibrio ambiental y articuladores del espacio público, para beneficio directo e indirecto de la comunidad.
- Generar y mantener áreas de protección ambiental complementarias a la llanura de inundación, como pulmones verdes urbanos y rurales, sistema de espacios públicos efectivos, para un equilibrio con las áreas construidas existentes y futuras.
- Estrategias para las políticas de mediano plazo en el suelo urbano y rural.
- Zonas de Cesión, la llanura de inundación y Parque Lineal del río Negro.
- La compensación de áreas de cesión tipo C en el suelo urbano y rural serán invertidas de manera obligatoria de acuerdo al siguiente orden de prioridades:
 - * Proyectos de espacio público en la misma zona homogénea de ubicación del proyecto.
 - * Implementación Parque Lineal del río Negro.
 - * Suplir déficit de espacio público en otras zonas homogéneas.
- El parque Lineal del río Negro como sistema estructurante del Espacio Público.

ZONAS CONSOLIDADAS: La localización de escenarios deportivos (actuales y proyectados) articulados al Parque Lineal, permite consolidar una zona deportiva que se localiza estratégicamente al estar cerca a sitios de interés general. Los escenarios dispuestos para la zona deportiva, hacen necesaria la articulación de flujos para conectar los accesos a cada uno de los escenarios deportivos entre sí, y con los sitios de conexión con la



ciudad, como las vías de acceso y los paraderos de los sistemas de transporte. Otras áreas consolidadas que se articulan al Parque Lineal son los sectores con equipamientos educativos, de salud, administrativos y recorridos históricos, entre otros.

CRITERIOS DE DISEÑO APLICADOS

Los siguientes son los criterios que se aplicarán al diseño del espacio público para el Parque Lineal del río Negro a intervenir:

- Accesibilidad y seguridad: Espacios donde se privilegia la movilidad peatonal (Ciclorutas, andenes, equinorutas), el transporte público masivo, la accesibilidad para personas en situación de discapacidad (andenes amplios, rampas de acceso), iluminación, entre otros.
- La localización de zonas con usos específicos en el parque, con programa de usos y actividades por zonas.
- Localización de equipamientos, zonas y sub zonas de parqueaderos y espacios de actividades al aire libre, definición de espacios para el manejo de aguas superficiales.

El diseño debe considerar además:

- Generarle al proyecto una imagen única que traspase las fronteras del municipio.
- Debe ser integral y coherente con el entorno y el territorio.
- Delimitación entre lo público y lo privado, sin generar zonas de exclusión.
- Paisajismo, mobiliario urbano y arborización, que armonicen con el territorio y respondan a las necesidades propias del proyecto y su entorno.
- Diseño de superficies y utilización de materiales amigables con el ambiente.

Criterios de Diseño Paisajístico aplicados

Si bien en el paisaje se integran aspectos ecológicos, sociales, económicos, funcionales y técnicos, en los criterios del diseño paisajístico se consideran primordialmente aspectos estéticos, visuales y sensoriales, que además de repercutir en el paisaje actual, permitirán armonizar espacios más amables.

Los criterios paisajísticos adoptados para el diseño del Parque Lineal del río Negro son:

- Preservación.
- Aprovechamiento.
- Identidad e imagen de ciudad.
- Reducción de impactos.
- Aspectos de diseño y composición.
- Aspectos estéticos.

Criterios generales tenidos en cuenta en el diseño

Para la realización del proyecto se estudian las variables que directa o indirectamente afectan el paisaje, profundizando en aquellos aspectos históricos, culturales, sociales, ambientales, urbanísticos, etc.; de modo que el proyecto a nivel de paisaje, conserve una visión integral y su desarrollo resulte benéfico para la ciudad y los sectores aledaños, tanto a nivel urbano como natural, buscando equilibrar las necesidades urbanísticas, sociales y ambientales a pequeña y gran escala. Así mismo se consideran aspectos vitales como:

- La Visión de Ciudad.
- La Visión de región.
- Preeminencia de lo Público y lo Colectivo.
- Ecoeficiencia de la Función y las Forma Urbanas.
- Equidad Ambiental y Solidaridad Ecológica.

Criterios de manejo del Parque Lineal

Las acciones sobre el componente forestal se orientan sobre cuatro líneas fundamentales:

- La vinculación al diseño del Parque de las especies arbóreas existentes que por su calidad ambiental ameriten ser protegidas.
- Recuperación, protección y delimitación de los ecosistemas estratégicos.
- El reordenamiento Paisajístico y su integración al sistema vial existente.
- Con respecto a las especies que conforman el Parque Lineal, se busca un equilibrio en el diseño, con la presencia de zonas verdes descubiertas para el esparcimiento de los usuarios y coberturas vegetal que no limite las visuales, protegiendo los ecosistemas estratégicos que se encuentran a lo largo del Parque Lineal.



EL PARQUE LINEAL

Figura 1. Zona de movilidad peatonal del Parque lineal del río Negro



El esquema básico del Parque Lineal del río Negro (figura 2) define las zonas constitutivas del parque y los tratamientos duros y blandos de cada una de ellas, así como estructuras de movilidad en sus diferentes modalidades.

Este esquema se estructura pensando en proteger el entorno del río en la zona urbana y rural, mejorando la percepción paisajística del municipio y dando respuesta a la demanda de espacio público de la población; se pretende integrar en las actividades del parque a todo tipo de usuarios.

Figura 2. Esquema básico del Parque Lineal del río Negro



Tramo urbano se compone de las siguientes zonas:

1. La zona de Protección de la Llanura de inundación de la tasa de retorno de los 10 años.
2. La zona de Movilidad que se desarrolla entre la zona de protección y la zona de uso social obligado.
3. La Zona de Uso Social Obligado o tasa de retorno de los 100 años.

Al interior de estas Zonas se permite:

En la Zona 1 se desarrolla el corredor biológico del Municipio. Sólo se permite intervenciones en material vegetal, con excepción de algunos puntos en donde la Zona de Movilidad podría permear la Zona de Protección para comunicar las dos márgenes del parque.

La Zona 2 de Movilidad que se especifica en 3m para la cicloruta, y 3m para el andén peatonal. Esta zona podría variar cuando se desarrollen los proyectos de movilidad que inciden en el parque.

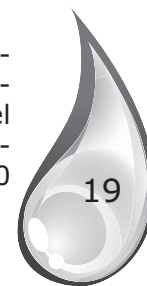
La Zona 3 de uso social obligado, en la cual se desarrolla la infraestructura del Parque Lineal y los proyectos específicos: Equipamiento y Amoblamiento urbano.

El parque Lineal en el suelo urbano contempla el desarrollo en plazoletas las cuales son sitios donde se desarrollan los Centros temáticos del parque, a lo largo de las márgenes del cauce del Río en los predios determinados como de uso social obligado.

Fases de desarrollo del parque lineal en el tramo urbano:

Fase 1: comprende la conceptualización del proyecto estratégico del parque lineal, la localización del Área y definición de parámetros básicos para la conformación de las tres (3) zonas específicas del parque.

Fase 2: comprende la socialización del proyecto, las Actas de Compromiso de las partes, la Administración y la comunidad y el mojoneo de la Llanura de inundación comprendida en la tasa de retorno de los 100 años.



Fase 3: La implementación de la Zona de Protección y de la Zona de Movilidad.

Fase 4: La ejecución de la infraestructura faltante (equipamiento, amoblamiento urbano, centros temáticos y ornamentación complementaria).

Durante todas las fases se irán desarrollando los proyectos anexos ejecutados por particulares y los tramos temáticos adoptados por las empresas y los particulares.

Proyectos Anexos:

- Alameda de la calle 51.
- Parque Lago Santander.
- Parque Cementerio.
- Campo Público de Golf.
- Vivero Municipal en la vereda de Barro Blanco.
- Terminal de Transporte Urbana.
- Parque La María. (zona de expansión S2-DE 15).

Tramo rural: inicia en la zona de expansión de Barro Blanco hasta el puente de La Pica, este tramo se trabaja con el estudio de las llanuras de inundación de Hidramsa, con una tasa de retorno de los 100 años. El Parque Lineal se desarrollará con una sección de 20 metros comprendida desde el borde externo

de la llanura de inundación hacia dentro.

La zona de movilidad como estructura del espacio público:

El parque tiene una estructura longitudinal a manera de sendero principal, como estructurante de la movilidad del parque, para el desplazamiento de uso exclusivo peatonal, el que irriga todas las zonas del parque resaltando el carácter de circular ameno para la recreación contemplativa del paisaje y las múltiples vistas que presenta. Este sendero interconecta los diferentes nodos o plazas y plazoletas como lugares de encuentro y permanencia, para la recreación lúdica en la contemplación panorámica del entorno en las diferentes escalas que ofrecen las vistas desde estas zonas.

La estructura peatonal va acompañada de árboles y arbustos para la escala del peatón, considerando tanto la percepción y variabilidad de las visuales, como el microclima. Las masas arbóreas se constituyen en aislantes sonoros de la zona de eventos, como estrategia de minimización de impactos hacia las áreas residenciales circundantes o cercanas al parque. Las plantillas de siembra definen la jerarquización de los senderos peatonales: primarios, secundarios, terciarios. Igualmente el carácter del espacio sea este de circulación o de permanencia.

Figura 3. Corte de sección del Parque Lineal del río Negro



CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Con el desarrollo del Parque Lineal se puede establecer un modelo urbano -paisajístico coherente, que permita crear una nueva y completa configuración de espacios verdes, se mejora de la movilidad y se fortalece la red de equipamiento público.
- El desarrollo del proyecto permite tras-

- cender el ámbito de las proximidades del río ofreciendo alternativas que repercutan en el equilibrio municipal, su articulación con el río y su influencia más allá de su entorno próximo, como entidad central de un sistema de equipamientos comunitarios al servicio de todos los habitantes del municipio y sus visitantes.
- El río Negro es el eje natural y articulador del ordenamiento territorial del municipio, que permite generar espacios públi-

cos efectivos, se convierte en un centro de verdadera integración social, ya que por su ubicación estratégica y su recorrido cruzando todo el municipio, se generan conexiones a través de las alamedas, a los diferentes sectores, barrios y veredas sin hacer distinción de estratos o clases.

- Es un proyecto que permite recuperar ambiental y paisajísticamente un ecosistema estratégico para el territorio.
- La oferta de servicios ambientales beneficia a todos sin distinción alguna, servicios ambientales como el paisaje, la oferta hídrica, los bosques como sumideros de carbono, protección del suelo,

disminución de la erosión y recuperación de fauna silvestre.

- Se tiene que garantizar una arquitectura basada en el paisajismo, la seguridad y el confort, donde el espacio público sea el sitio de recreación y contemplación, por la definición del carácter del espacio y de la movilidad para los diferentes tipos de usuarios del espacio público.
- El resultado debe generar espacios adecuados para la movilización peatonal, gozando de seguridad y comodidad, los cuales se construirán siguiendo unos principios básicos de estética urbana, sostenibilidad y productividad.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Cornare – Universidad Nacional de Colombia. Estudios y diseños para el control de inundaciones del Río Negro en el casco urbano del municipio de Rionegro-Antioquia. Convenio interadministrativo No. 219 de 2009.

Hidramsa, 1997. Estudio y Reglamentación de las llanuras de inundación del río Negro y de la quebrada La Pereira. Diseño de obras para el control de inundaciones. Documento 107-22-IDO-01. Septiembre 1997

Municipio de Rionegro. 1999-2007. Plan de ordenamiento territorial.

Municipio de Rionegro. Acuerdo 056 de 2011. Plan de Ordenamiento Territorial.





ESTRATEGIAS Y MECANISMOS PARA ENFRENTAR EL CAMBIO CLIMÁTICO DESDE EL MUNICIPIO DE MEDELLÍN

Autor: Olga Lucía Balbín Medina, Luisa Fernanda Jaramillo Ceballos. Municipio de Medellín, Secretaría del Medio Ambiente.

Correo electrónico: olga.balbin@medellin.gov.co, luisa.jaramillo@medellin.gov.co

RESUMEN

Como estrategias y mecanismos para enfrentar el cambio climático, el municipio de Medellín, a través de la Secretaría del Medio Ambiente, mediante el Plan de Desarrollo (Línea 4, Hábitat y Medio Ambiente para la gente, en su componente Medio Ambiente, Programas Ciudad Verde y Manejo integral del Agua) viene realizando una gestión integral sobre los ecosistemas estratégicos y las cuencas hidrográficas con el fin de propender por la recuperación y conservación del recurso hídrico y la biodiversidad. Para tal fin se viene desarrollando el proyecto de "Adquisición de predios prioritarios para garantizar el abastecimiento de los acueductos veredales"; con el cual se pretende adquirir a mediano plazo 3.028 ha, de las cuales a diciembre de 2011 se adquirirán 1.588,36 ha, a la fecha se han adquirido 1.362 ha correspondientes a 534 predios (45%). De otro lado, el proyecto "Más bosques para Medellín", tiene como finalidad aumentar la cobertura vegetal del suelo rural y de protección del municipio de Medellín, mejorando las condiciones ambientales y socioeconómicas de la comunidad.

De esta forma aporta a la disminución y adaptación al cambio climático, mediante el establecimiento de diferentes sistemas forestales y alternativas de gestión ambiental como el mercado de carbono, esquemas de pago por servicios ambientales y otros incentivos a la conservación.

A mediano plazo se reforestarán 2.000 ha, con la participación de las comunidades y propietarios rurales, aunque el proyecto tiene una área elegible con títulos de propiedad de más de 5.000 ha. A la fecha se ha sembrado más de 300 ha y finalizando el año 2011, se tendrán 449 ha en los diferentes sistemas forestales.

Con el fin de establecer Mecanismos de Desarrollo Limpio - MDL y la implementación de un programa de Pago por Servicios Ambientales -PSA- en los cinco corregimientos de Medellín el proyecto identificó 6.021 ha elegibles, de las cuales se priorizaron 2.000 y en actualidad se encuentran en proceso de ejecución 450 ha. Además, la Secretaría del Medio Ambiente está promoviendo un pacto para mitigar los efectos del cambio climático.

PALABRAS CLAVES

Cambio climático, sistema de bosques, gestión ambiental, mercado de carbono, esquemas de pago por servicios ambientales, incentivos para la conservación.



ABSTRACT

As strategies and mechanism for addressing climate change, the municipality of Medellín through the Development Plan (Line 4 Hábitat and Environment for the people, Environmental Component, Green City and Management of Water Programs) has been conducting the management of strategic ecosystems and watersheds, to ensure the maintenance of water supplied, with the object of promoting the recovery and conservation of water resources and biodiversity. For this, the main strategies are: the "Acquisition of the most important forest lands to ensure the water supply for human consumption", which intends to acquire 3.028 ha, which to December of 2011 will be 1.588,36, in 534 parcels.

On the other hand the project "Más Bosques para Medellín", has the goal of increasing the municipality's green land, improving the environmental and socioeconomic communities condition, helping the adaptation of climate change, through different forests systems and environmental management as the carbon market, payment schemes for environmental services and some other incentives for conservation

At medium term it will be reforested 2.000 hectares, with the communities and rural proprietary participation, even though the project has an eligible area of more than 5000 ha proprietary titles. At the present time it has been planted more of 300 ha and by the end of 2011, 449 ha in the different forests systems.

KEYWORDS

Climate change, forests systems, environmental management, carbon market, payment schemes for environmental services, incentives for conservation

INTRODUCCIÓN

El incremento en la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera genera un desequilibrio en el balance térmico del planeta, que se traduce en un aumento de su temperatura. Expertos estiman que en el transcurso del siglo XX, el incremento de la temperatura promedio de la superficie del planeta fue de 0,6°C (±0,2°C). Las mediciones indican que la década de los años 90 fue la más calurosa desde 1861 y que 1998 fue el año más cálido desde entonces.

Durante el transcurso del siglo XX, el incremento de la temperatura hizo que el nivel de los océanos subiera entre 10 y 20 cm. Las proyecciones establecen un incremento esperado del nivel del mar de entre 9 y 88 cm. en los próximos 100 años. (IPCC, 2001). El cambio climático produce: escasez de agua, aceleración de la evapotranspiración, disminución de las precipitaciones medias anua-

les en determinadas regiones, retroceso de los glaciares de montaña, salinización de las fuentes de agua por incremento del nivel del mar, alteración de la capacidad de retención del líquido en suelos, lluvias torrenciales y deslizamientos de tierra (IPCC, Impacts, Adaptation, and Vulnerability, 2001).

En Colombia, según el IDEAM (2007), se estima que a causa del cambio climático el 23% de la cobertura vegetal se podría ver alterada ante la duplicación del dióxido de carbono; las zonas cubiertas por nieves se afectarían en un 92%; las zonas de páramos entre el 90 y 100%; también se afectaría entre el 50% y 60% de las zona ubicadas entre los 1.000 y 2.000 metros sobre el nivel del mar, se afectaría el bosque andino (43%), el bosque amazónico (14) y los agroecosistemas (47%); los glaciares actuales podrían desaparecer en los próximos cien años; la desertificación podría afectar 3,6 millones de hectáreas. Tanto el dengue como la ma-

laria pueden incrementarse con el cambio climático. Para el 2100, el cambio climático reduciría la productividad agrícola de Sur América hasta en un 50%.

El cambio climático, se manifiesta a través de un cambio en el régimen de lluvias, a escala local, el cual causando innumerables pérdidas económicas para el municipio de Medellín y la ciudadanía, que requieren atención inmediata con obras de mitigación, restauración y revegetalización del terreno para evitar el creciente deterioro de mayor área.

Teniendo en cuenta estas consideraciones, el municipio de Medellín, a través de la Secretaría del Medio Ambiente, mediante el Plan de Desarrollo (Línea 4 Hábitat y Medio Ambiente para la gente, en su componente Medio Ambiente, Programas Ciudad Verde y Manejo integral del Agua) viene realizando una gestión integral sobre los ecosistemas estratégicos y las cuencas hidrográficas con el fin de propender por la recuperación y conservación del recurso hídrico y la biodiversidad, a través del proyecto de adquisición de predios considerados prioritarios para garantizar el abastecimiento de acueductos veredales y el proyecto "Más bosques para Medellín". Además, de la conformación de la "Mesa del Cambio Climático" en la cual participan las instituciones regionales y municipales con injerencia en el tema.

DESARROLLO DEL TEMA

La zona rural del municipio de Medellín representa el 71% de su área y corresponde a los corregimientos de Altavista, San Cristóbal, Santa Elena, San Antonio de Prado y San Sebastián de Palmitas, los cuales suman más de 26.800 ha. En estos corregimientos se encuentran ecosistemas naturales importantes que proveen bienes y servicios ambientales para la ciudad. Sin embargo, en estas áreas se vienen presentando procesos de alteración y transformación de estos ecosistemas a causa de cambios en el uso del suelo por la expansión urbana, actividades agropecuarias y la demanda de recursos naturales. Estas alteraciones se ven reflejadas en un incremento de los procesos de erosión, cambios en la concentración de nutrientes y degradación de la estructura su-

perficial del suelo, pérdida de flora nativa, de fauna asociada, y en general, deterioro de los ecosistemas y de los bienes y servicios ambientales que estos ofrecen.

El Plan de Desarrollo en su línea 4 hábitat y medio ambiente para la gente, tiene por objetivo promover la protección de los ecosistemas y el mantenimiento de las zonas verdes, existentes en la ciudad, e incrementar el espacio público verde efectivo por habitante mediante la siembra de árboles, arbustos y la adecuación de espacios en los cerros tutelares y en las zonas de retiro de las quebradas mediante la construcción y mantenimiento de parques lineales.

El programa Ciudad Verde "busca el incremento, la conservación y la restauración de las zonas verdes urbanas y rurales, la protección de los ecosistemas definidos como estratégicos para el municipio de Medellín y la intervención sobre zonas de borde de la ciudad según lo dispuesto en el Plan de Ordenamiento Territorial, con el fin de garantizar el patrimonio ecológico y la sostenibilidad de los bienes y servicios ambientales que éstas áreas proveen para toda la ciudad. Este programa aporta en la solución de la problemática del calentamiento global, para lo cual se implementarán mecanismos de desarrollo limpio (MDL) establecidos en el protocolo de Kyoto".

Mientras que el programa Manejo integral del Agua "pretende realizar la intervención en la cuenca del río Medellín (Aburrá) y sus afluentes desde el nacimiento, el control del uso del suelo y ordenamiento del territorio en la zona de influencia, mediante la gestión de recursos con el Área Metropolitana, Corantioquia y EPM para la ejecución de los Planes Integrales de Manejo de las Microcuencas (PIOM) que ya están formulados en desarrollo del Plan de Ordenamiento y Manejo de la Cuenca Aburrá (POMCA). La intervención requerida tiende a la regulación del régimen hídrico de las quebradas, al mejoramiento de la calidad del agua adelantando programas de saneamiento básico, compra de predios en las zonas de protección de nacimientos de agua (Ley 99 de 1993), protección de áreas de retiro de las quebradas mediante el mantenimiento y construcción de parques



lineales, en general realizando obras civiles para la protección de las microcuencas y acciones de prevención para mitigar los riesgos de inundación”.

Proyecto “Más Bosques Para Medellín”

Dentro de las estrategias planteadas por la Secretaría de Medio Ambiente del municipio de Medellín, se encuentra el Proyecto “Más Bosques para Medellín” con el cual se busca aumentar la cobertura vegetal del suelo rural y de protección del municipio de Medellín, mejorando las condiciones ambientales y socioeconómicas de la comunidad, aportando a la disminución y adaptación al cambio climático, mediante el establecimiento de diferentes sistemas forestales y alternativas de gestión ambiental como el mercado de carbono, esquemas de pago por Servicios ambientales y otros incentivos a la conservación.

El financiamiento de “Más Bosques Para Medellín” proviene de recursos propios del municipio de Medellín y en el momento cuenta con recursos de Ecopetrol y La Gobernación de Antioquia.

Alcance del proyecto

Más Bosques para Medellín busca en un mediano plazo reforestar 2.000 ha, con la participación de las comunidades y propietarios rurales, mediante la aplicación de diferentes alternativas de gestión ambiental como pagos por servicios ambientales (PSA) y mecanismo de desarrollo limpio (MDL), entre otros con el fin de mejorar las condiciones

ambientales y socioeconómicas de la comunidad.

Sitios de intervención

Más Bosques para Medellín opera en todos los corregimientos del municipio de Medellín, con el fin de reforestar áreas, que según el Plan de Ordenamiento Territorial de Medellín (POT), deben ser para uso de protección y actualmente se encuentran utilizadas con sistemas de producción que generan conflictos de uso. Aproximadamente el 30% del territorio, 8.240 ha, presenta conflicto de uso (POT Municipio de Medellín, 2006).

Modelos de Rodal que se están implementando en el proyecto:

Regeneración natural asistida – RNA.

Tiene una densidad de siembra de 1.750 árboles nativos por hectárea, pertenecientes a por lo menos 30 especies y distribuidos en tres grupos ecológicos así:

Pioneras (625 árboles/ha)

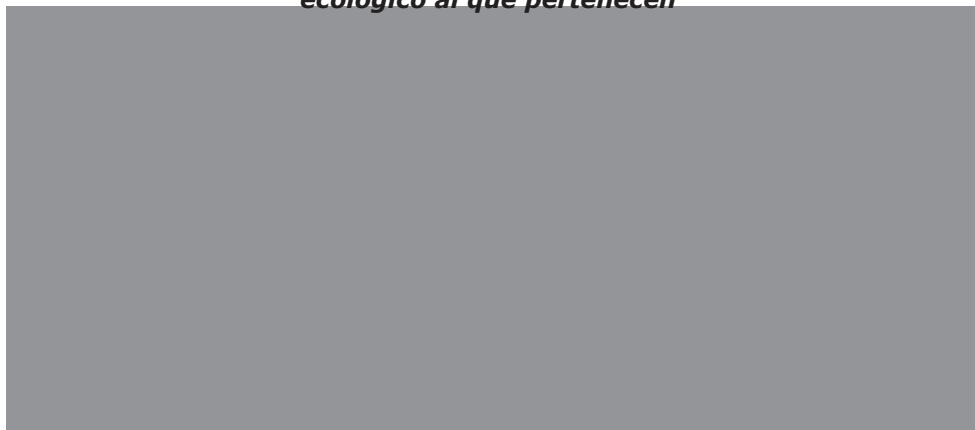
Secundarias (625 árboles/ha)

Tolerantes a la sombra (500 árboles/ha)

Este modelo se establece en todos los predios que adquiridos por el Municipio de Medellín y que son estratégicos para la protección del recurso hídrico. Igualmente se implementará en predios privados, con el fin de regularizar áreas que según el POT deben estar en coberturas protectoras.

La siguiente figura muestra la distribución espacial de los árboles según el grupo ecológico a que pertenecen:

Figura 1. Distribución espacial de arboles según el grupo ecológico al que pertenecen



Sistema silvopastoril – SSP

Este modelo de rodal se establece en predios privados y ganaderos, como compensación de las áreas que el propietario cede para el establecimiento de Regeneración Natural Asistida. Se utilizan especies forestales comerciales o especies nativas sembradas en franjas (396 árboles/ha) para no afectar la producción de pastos y forrajes. Las especies forrajeras para el ramoneo que se utili-

zan son el botón de oro *Tithonia diversifolia* (3.500 arbustos/ha) y pasto kikuyo *Pennisetum clandestinum*. Se pretende mantener y/o establecer conectividad entre relictos de bosque a partir de corredores biológicos y cercas vivas buscando una producción más sostenible.

La siguiente figura muestra la distribución espacial de los árboles y forrajes en los sistemas silvopastoriles:

Figura 2. Modelo de Sistema Silvopastoril



Enriquecimiento Forestal – EF

Este Modelo está diseñado para ser establecido en áreas donde la sucesión vegetal ya ha avanzado y se han formado rastrojos medios y altos compuestos principalmente por especies pioneras. Estas áreas se enriquecen con 500 árboles nativos por hectárea, pertenecientes a los grupos ecológicos de las secundarias y tolerantes a la sombra. Este modelo se establece tanto en predios públicos como privados.

Plantación comercial – PC

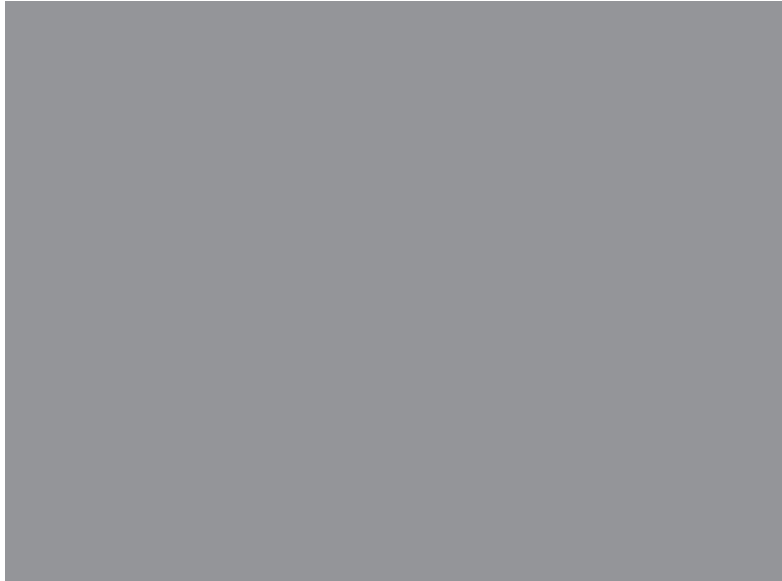
Este modelo de rodal, igual que el silvopastoril, se establece en predios privados como compensación de las áreas que se liberan para el establecimiento de Regeneración Natural Asistida. El objetivo es la producción

de madera y la densidad de siembra que se utiliza es de 1.100 árboles por hectárea de las especies maderables (foráneas) que el propietario de la finca prefiera.

Cercas vivas

Las cercas vivas son elementos lineales vivos, constituidos por árboles y arbustos de diferentes especies, para la separación y aislamiento de potreros y sistemas productivos. Los árboles que componen la cerca viva contribuyen a generar conectividad entre los diferentes sistemas de la finca (RNA, PC, SSP, EF) y son los tutores que sostienen los alambres de púas o el alambre eléctrico en las cercas. La siguiente figura muestra la distribución espacial de los árboles en las cercas vivas:

Figura 3. Modelo de cercas vivas en potreros



Organización de propietarios privados

El proyecto "Más Bosques para Medellín" trabaja en la conformación y fortalecimiento de una organización de propietarios privados, con el fin de que en un futuro lidere el proceso de reforestación en el municipio de Medellín. Esta organización en el mediano plazo va a estar en capacidad de hacer negociaciones con nuevos propietarios para incrementar las áreas de reforestación; será la dueña del proyecto para la negociación de los certificados de carbono, venderá servicios como asistencia técnica forestal y realizará los establecimientos, mantenimientos y cosecha de las plantaciones forestales.

Estudios, Investigación y seguimiento

El proyecto Más bosques para Medellín en su componente de investigación, mide el impacto ambiental positivo que se logra en la áreas plantadas, para lo cual se levanta la línea base de diversidad de hormigas, mariposas y aves, se mide la calidad y cantidad de agua en los lotes intervenidos, se establecen parcelas permanentes para evaluar el crecimiento y mortalidad de los árboles plantados y adicionalmente se hace un inventario florístico en los relictos de bosques cercanos a las áreas de intervención. Se realiza monitoreo a estos componentes cada año.

Igualmente el proyecto diseña la factibilidad de un esquema de pago por servicios ambientales sobre el recurso suelo en el costado occidental del Municipio. Todo ello con el objeto de contar con alternativas de gestión viables para mejorar las condiciones ambientales y socioeconómicas de la comunidad.

Se fundamenta en el establecimiento de plantaciones forestales, sistemas silvopastoriles, modelos de regeneración natural asistida y bancos mixtos de forraje, teniendo en cuenta la tradición socioeconómica y cultural de la población presente en el área de influencia del Proyecto. Entre las alternativas que se pretenden desarrollar se incluye el avance en el proyecto de Mecanismo de Desarrollo Limpio - MDL e implementación de un programa de Pago por Servicios Ambientales - PSA, entre otros.

Con el desarrollo de este proyecto se pretende, principalmente capturar CO², conservar y proteger las fuentes hídricas, mejorar la calidad del aire y del microclima municipal, disminuir los conflictos en el uso del suelo en el área rural, entre otros.

Para el logro de estos objetivos, en el corto plazo, se plantea desarrollar siembras

en 44.950 ha con distintos arreglos forestales y 2.5842.000 arbustos, para un total de 875.3591.742.546 individuos, (ver Tabla 1).

Tabla 1. Metas Fase I, para el proyecto "Mas bosques de Medellín "Implementación Proyecto "Más Bosques para Medellín"Medellín"

IMPLEMENTACIONES	METAS 2009			METAS 2010			METAS 2011			TOTAL METAS		
	ha	Árboles	Arbustos	ha	Árboles	Arbustos	ha	Árboles	Arbustos	ha	Árboles	Arbustos
Arreglo 1: RNA	51	89.250		216	378.000		27	47.250		294	514.500	
Arreglo 2: SSP	3,8	456	45.600	55	21.780	192.500	5	1.980	17.500	64	24.216	255.600
Arreglo 3: PIANTACIÓN COMERCIAL				63	69.993					63	69.993	
Arreglo 4: ENRIQUECIMIENTO FORESTAL	8	3808					20	10.000		28	10.000	
Cercas Vivas (ml)				3150	1050					3150	1.050	
Total	63	93.514	45.600	334	470.823	192.500	52	59.230	17.500	449	619.759	255.600
Total ha	449											
Total Árboles	619.759											
Total Arbustos	255.600											
Total Árboles + Arbustos	875.359											

La implementación del proyecto se realiza a través de la planificación de los predios para su reconversión de acuerdo a varios criterios tales como: uso actual del predio, uso potencial del suelo y tradición socioeconómica y cultural de la población presente. Desde el punto de vista de la protección de recurso hídrico se tienen los corredores riparios, protección de micro-humedales, y protección, restauración y rehabilitación de bosques.

Aunque inicialmente el proyecto identificó 6.021 ha elegibles, de éstas se priorizaron

2.000 (Tabla 2), para implementarse en el largo plazo. Así mismo se inicia la gestión para promover en la ciudad un pacto para la lucha contra el cambio climático. La formulación de las propuestas se realiza según las características de los predios y del territorio para la optimización de aspectos operativos, comerciales y ecológicos. Además, se pretende incentivar la conformación de una asociación de propietarios y/o productores con una estructura administrativa y jurídica.

Tabla 2. Distribución de los modelos de Rodal, Metas a Largo Plazo.

MODELOS DE RODAL	ESTRATOS DE LÍNEA BASE (ha) PASTIZALES CON ÁRBOLES DISPERSOS
Área para cortafuegos	25
Comercial	475
Silvopastoril	800
Agroforestal	200
Regeneración Natural Asistida	300
Bosque Protector Mixto	200
Área total del proyecto	2.000



Adquisición de Predios para implementar las acciones de protección de cuencas que surten acueductos del Municipio de Medellín.

El municipio de Medellín ha venido dando cumplimiento a la ley 99 de 1993 artículo 111, y a los planes de Desarrollo Nacionales, el anterior 1151 de 2007 y el actual 1450 de 2011 artículo 210; el cual dice textualmente:

ARTÍCULO 210: ADQUISICIÓN DE ÁREAS DE INTERÉS PARA ACUEDUCTOS MUNICIPALES. El artículo 111 de la Ley 99 de 1993 quedará así:

“Artículo 111. Adquisición de áreas de interés para acueductos municipales y regionales. Declárense de interés público las áreas de importancia estratégica para la conservación de recursos hídricos que surten de agua los acueductos municipales, distritales y regionales.

Los Departamentos y Municipios dedicarán un porcentaje no inferior al 1% de sus ingresos corrientes para la adquisición y mantenimiento de dichas zonas o para financiar esquemas de pago por servicios ambientales.

Los recursos de que trata el presente artículo, se destinarán prioritariamente a la adquisición y mantenimiento de las zonas. Las autoridades ambientales definirán las áreas prioritarias a ser adquiridas con estos recursos o dónde se deben implementar los esquemas por pagos de servicios de acuerdo con la reglamentación del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial expida para el efecto. Su administración corresponderá al respectivo distrito o municipio. Los municipios, distritos y departamentos garantizarán la inclusión de los recursos dentro de sus planes de desarrollo y presupuestos anuales respectivos, individualizándose la partida destinada para tal fin”.

El municipio de Medellín también adelanta gestiones tendientes al desarrollo y adquisición de predios obedeciendo las disposiciones de la Ley 1151 de 2007, mediante la cual se adoptó el Plan Nacional de Desarrollo, que modificó el Artículo 111 de la Ley 99 de 1999, dando la posibilidad de adquirir

áreas de interés para acueductos municipales, ordenando declarar de interés público las áreas de importancia estratégica para la conservación de los recursos hídricos que surten de agua acueductos municipales y distritales. Por lo cual los departamentos y los municipios dedicarán un porcentaje no inferior a 1% de sus ingresos corrientes para la adquisición y mantenimiento de dichas zonas o para financiar esquemas de pago de servicios ambientales.

La adquisición de estas áreas de nacimientos que surten acueductos municipales se realiza mediante la declaración de éstas como áreas de interés estratégico para la conservación de recursos hídricos. Por lo cual los municipios dedicarán un porcentaje no inferior al 1% de sus ingresos corrientes para la adquisición y mantenimiento de dichas zonas o para financiar esquemas de pago por servicios ambientales.

Esta estrategia consiste en ubicar los predios mediante la identificación de áreas prioritarias para la el abastecimiento de acueductos veredales. Para el Municipio de Medellín se realizó mediante dos estudios de “Identificación, caracterización parcial y formulación de alternativas de manejo de ecosistemas estratégicos asociados a microcuencas que surten acueductos veredales del municipio de Medellín”, contratado por la Secretaría del Medio Ambiente con la firma de consultorías ambientales Holos Ltda y la Universidad Nacional de Colombia, con miras a establecer prioridades sobre la compra de predios, para lo cual se definen aquellos espacios con las mayores prioridades de conservación, como los ecosistemas estratégicos, donde se deben realizar dichas inversiones.

Para ello se estudiaron las cuencas que hacen parte de los denominados ecosistemas estratégicos para el abastecimiento hídrico del municipio de Medellín, de acuerdo al POT, lo que comprende un vasto territorio, donde se busca proteger los lugares asociados a la provisión de agua para la población dispersa o concentrada de los corregimientos del Municipio. Estos estudios se desarrollaron en cuencas abastecedoras del municipio en los cinco corregimientos. (Tabla 3).

Tabla 3. Cuencas estudiadas para la determinación de Ecosistemas Estratégicos.

ESTUDIO	CUENCA	ÁREA ESTUDIO (ha)
Holos Ltda.	La Manguala	403,5
	San Pedro	202,1
	La Buga	452,1
	La Miserenga	1.008,5
	La San Francisco	1.024,0
	Total	3.090,2
Universidad Nacional	El Hato	1391,6
	La Iguana	88,6
	El Chiquero	75,0
	Santa Elena parte alta	773,4
	La Chata	75,2
	Santa Barbara	173,4
	San Roque	74,8
	La China	76,1
	La Volcana	1.315,4
	La Limona	320,5
	Total	4.363,9

Dado el estado actual de las cuencas estudiadas se definieron las políticas a seguir tendientes a la recuperación conservación y administración de los ecosistemas asociados, para esto se ubicaron los predios priori-

tarios para el abastecimiento de acueductos veredales que para junio de 2009 equivalían a un total 34 predios. En la Figura 3, se aprecian las acciones a realizar en las áreas priorizadas.

Figura 3. Compra de predios para acciones de protección de cuencas que surten acueductos



En total se han priorizado para la compra las cuales a diciembre de 2011 se habrán 3.028 ha en los diferentes corregimientos adquirido 1.588,36 a junio de 2009 se habían adquirido o sea el 45% del municipio de Medellín. Ver Tabla 4., de

Tabla 4. Priorización de predios para la compra en el Municipio de Medellín.

CORREGIMIENTO	CUENCA	ESTUDIO	ÁREA PREDIOS PRIORIZADOS (ha)	ÁREA PREDIOS ADQUIRIDOS (ha)
SANTA ELENA	San Pedro	HOLOS	58,4	50,6
	San Roque	Universidad Nacional	0,0	
	El Chiquero		5,1	
	Santa Bárbara		9,3	
	La Castro		163,7	
	Santa Elena		78,4	
			315,0	16%
SAN ANTONIO DE PRADO	La Aguapante	HOLOS	70,6	70,6
	La Sorbetana		104,7	
	La Manguala		149,0	122,3
	La Limona	Universidad Nacional	9,4	
	La Chata		64,0	
			397,8	49%
SAN SEBASTIÁN DE PALMITAS	La Frisola	HOLOS	912,8	
	La Miserenga		473,6	483,2
			1.386,4	35%
SAN CRISTÓBAL	El Hato	Universidad Nacional	84,1	
	La Iguaná		16,4	
	San Francisca	HOLOS	516,1	533,6
			616,6	87%
ALTAVISTA	La Buga, El Barcino	HOLOS	192,5	101,8
	La Guayabala	Universidad Nacional	50,7	
	La Ana Díaz		69,5	
			312,7	33%
	Total (ha)		3.028,5	1.362,1
	Total (%)			45%

Estrategias para enfrentar el cambio climático desde Municipio de Medellín

Como parte de las estrategias implementadas por el municipio de Medellín para enfrentar el cambio climático, la Secretaría de

Medio Ambiente, coordinó la continuidad de la mesa de Cambio Climático, articulada al nodo regional Antioquia. Esta mesa tiene como objetivo direccionar las políticas sectoriales y gubernamentales locales para atender dicho fenómeno.



CONCLUSIONES

- El municipio de Medellín viene realizando una gestión integral sobre los ecosistemas estratégicos y las cuencas hidrográficas, de manera que se garantice el mantenimiento del recurso hídrico para toda la ciudad, a través del proyecto de adquisición de predios considerados prioritarios para garantizar el abastecimiento de acueductos veredales y el proyecto "Más bosques para Medellín".
- El proyecto "Más Bosques para Medellín" pretende la reforestación a través de diferentes arreglos, teniendo en cuenta la tradición socioeconómica y cultural de la población presente en el área de influencia, cuya finalidad es establecer Mecanismos de Desarrollo Limpio - MDL y la implementación de un programa de Pago por Servicios Ambientales - PSA, entre otros.
- Con este proyecto para finalizar 2011 se establecerán 449 ha lo que representa 875.359 árboles y arbustos, 50 ha en los distintos arreglos forestales, de los cuales se proyecta sembrar un total de 900.546 árboles y 842.000 arbustos, para un total de 1.742.546 individuos.
- De otro lado, con la adquisición de Predios se espera implementar acciones de protección de cuencas que surten acueductos veredales del Municipio de Medellín. En total se pretende adquirir 3.028 ha, de las cuales a diciembre de 2011 se habrán adquirido 1.362 ha correspondientes a 34 predios 1.588,36 o sea. el 52,46% de las áreas priorizadas mediante estudios técnicos.

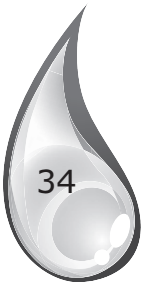
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM. 2007. La adaptación al cambio climático en Colombia. Bogotá D.C. 7 pp.

IPCC., 2001.: Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 881 pp.

Municipio de Medellín. Plan de Desarrollo. Línea 4, Hábitat y Medio Ambiente para la Gente. 25 pp.





ANÁLISIS MÁS RECIENTE DEL EFECTO DE LOS FENÓMENOS ENSO EN EL COMPORTAMIENTO CLIMÁTICO EN COLOMBIA

Autor: Christian Euscátegui Collazos. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM, Subdirección de Meteorología.

Correo electrónico: ceuscategui@ideam.gov.co

RESUMEN

Dentro de las diversas escalas de la variabilidad climática, el conocimiento y efecto de la escala interanual, reflejada en buena medida por las variaciones de los ciclos ENSO, es un tema de suma importancia, no sólo para las proyecciones climáticas que realiza el IDEAM como Servicio Meteorológico de Colombia, sino también para reducir los impactos sociales, económicos y ambientales en el territorio nacional, ante la ocurrencia de un evento extremo asociado a dichos ciclos. En este trabajo, se presenta una extracción de algunos de los resultados obtenidos en el año 2007 por la Subdirección de Meteorología del IDEAM, a través de un estudio en el que se caracterizan los fenómenos El Niño y La Niña, a fin de establecer su efecto sobre el clima y el medio natural de Colombia. A nivel metodológico, se justifica el índice que representa en un mayor porcentaje las oscilaciones del clima, basado en las anomalías de la temperatura superficial del mar en el Pacífico Tropical Central - región Niño3. A partir de este índice, se establece la alteración pluviométrica y termométrica para el territorio colombiano, durante eventos típicos El Niño y La Niña a nivel trimestral y estacional.

PALABRAS CLAVES

ENSO, El Niño y La Niña, región Niño3, anomalías de lluvia y temperatura.

ABSTRACT

Within the diverse scales of the climatic variability, the knowledge and effect of the inter-annual scale, reflected largely by the variations of cycles ENSO, are a subject of extreme importance, not only for the climatic projections that make the IDEAM like Meteorological Service of Colombia, but also to reduce the social, economic and environmental impacts in the national territory due to the occurrence of an extreme event associated to these cycles. In this work, an extraction of some of the results obtained in 2007 by the Subdivision of Meteorology of the IDEAM appears through of a study in which the phenomena are characterized "El Niño" and "La Niña", in order to establish its effect on the climate and natural environment of Colombia. A methodology level, we present the most relevant features of the selected index and that represents major incidence in the national climate: the anomalies of the Sea Surface Temperature in the central tropical Pacific - Niño3 Region. From this index, it is determine the rainfall and temperature's alteration for the Colombian territory during typical events "El Niño" and "La Niña", quarterly and seasonal level.

KEYWORDS

ENSO, "El Niño" and "La Niña", Niño Region3, rain and temperature anomalies.



INTRODUCCIÓN

Transcurridos diez años de la elaboración de un primer ejercicio, en el que el IDEAM asumió la responsabilidad de suministrar información, oportuna y veraz relacionada con la determinación de los posibles efectos sobre el clima y el medio natural de los fenómenos ENSO y el análisis sobre el impacto que pudiera llegar a causar a la sociedad y a la economía del país, realizó en el año 2007 un estudio donde se actualizó la componente meteorológica, a efecto de mejorar sus actuales esquemas de predicción climática. El objetivo fundamental de este proyecto se enmarcó principalmente en ampliar, por una parte, la base informática del análisis de precipitación y temperatura hasta el año 2005, con miras a obtener una mejor resolución espacial de los resultados y por otra, tener un nuevo conocimiento sobre el efecto de los fenómenos El Niño y La Niña, en los patrones de lluvia y temperatura del aire del país, para diferentes intensidades del evento, dado el carácter con el que estos se presentan (débil, moderado, fuerte e inusualmente intenso), ya que cada uno de ellos tiene sus

propias particularidades; sin embargo, dado el volumen de información existente, sólo se detallan en el presente artículo, los resultados de la afectación trimestral e integral, en los patrones de lluvia y temperatura ante la ocurrencia de fenómenos ENSO típicos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para el análisis y seguimiento de las variaciones océano-atmosféricas en el Océano Pacífico Tropical, internacionalmente se ha convenido delimitarlo en sectores representativos (Figura 1). Así, la región Niño 1+2 representa la zona más contigua a Suramérica (área marítima entre 0 y 10° Sur y entre 80° Oeste y 90° Oeste); seguido a ella, se encuentra la región Niño 3 (área marítima entre 5° Norte y 5° Sur y entre 90° Oeste y 150° Oeste) y posteriormente la región Niño 4 (área marítima entre 5° Norte y 5° Sur y entre 150° Oeste y 160° Este); una combinación de las regiones 3 y 4, la cual ha sido frecuentemente utilizada como indicador de eventos ENSO se localiza entre 5°N y 5°S y entre 120°W y 170°W (región Niño 3.4).

Figura 1. Distribución espacial de las cuatro regiones Niño en el océano Pacífico Ecuatorial.



Índice seleccionado para los propósitos de este estudio: anomalías de la temperatura superficial del mar en el pacífico central – región niño 3.

Dentro de las áreas mencionadas, la región del Pacífico central (Región Niño 3) ha sido considerada un área muy sensible a las alteraciones que se producen en el sistema acoplado océano – atmósfera durante la ocurrencia de los fenómenos del Ciclo

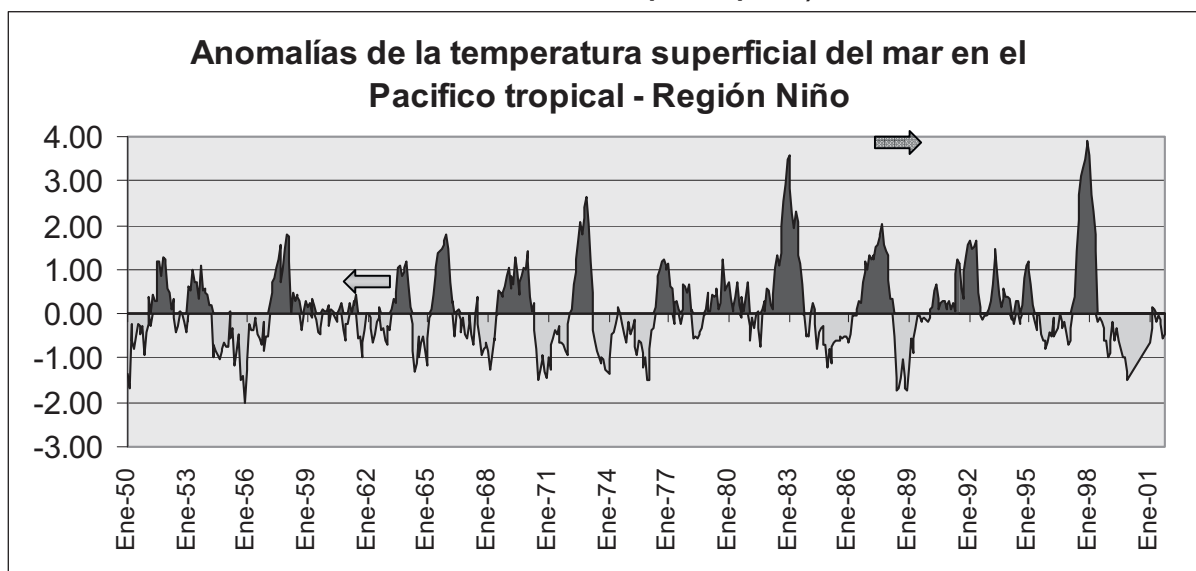
ENSO. Considerando tan sólo un aspecto de la componente atmosférica, se puede mencionar que es allí justamente donde la celda convectiva de la circulación de Walker (lluvias abundantes) se ubica durante los episodios de El Niño y desaparece durante la fase opuesta. Ahora bien, en relación con la componente oceánica, es importante anotar la buena definición que se observa en las alteraciones de estructura térmica superficial del océano, durante la ocurrencia de ambas fases (Niño y Niña).

En dicha región, se han efectuado mediciones de la temperatura superficial del mar (TSM) desde 1950 y se han calculado sus anomalías, cuyas series de tiempo son ofrecidas por los centros internacionales especializados, como el Climate Analysis Center de la NOAA (EU). Un análisis estadístico detallado de la serie de anomalías de la región Niño3, permite determinar que las anomalías positivas registradas en la temperatura superficial

del mar durante los fenómenos El Niño, son de mayor magnitud que las negativas observadas durante La Niña. La máxima desviación positiva (3,9 °C) registrada durante El Niño 1997-98 contra la mínima desviación negativa (-2,02 °C) registrada durante La Niña 1954-56 demuestra la afirmación anterior, siendo casi el doble la diferencia entre una y otra (Figura 2).

Figura 2. Anomalías de temperatura de superficie del mar (grados Celsius) registradas en el Pacífico tropical – Región Niño 3, desde 1950 hasta 2003. Nótese la magnitud de las anomalías durante el evento calido de 1997-98 y en el evento frío de 1954-56.

Fuente de datos: NOAA/NCEP/CAC, USA



Con base en lo anterior, para los fines del estudio realizado, se tomó como referencia la TSM de la región Niño 3 y las correspondientes anomalías, definiendo a partir de ello, la

ocurrencia de los diversos fenómenos ENSO desde 1950, así como su intensidad dada por la magnitud de las anomalías (Tabla 1).

Tabla 1. Épocas de ocurrencia de fenómenos El Niño (izquierda) y La Niña (derecha), clasificados por su intensidad y duración, de acuerdo a la magnitud de las anomalías positivas y negativas, respectivamente de la Temperatura Superficial del Mar (TSM) registradas en el océano Pacífico central (Región Niño3)

DÉBIL	INICIO	FINAL	DURACIÓN	INDICE	INDICE MÁX.	FECHA
1951	Jul-51	Dic-51	6	1,14	1,27	Oct-51
1969-70	May-69	Ene-70	9	0,99	1,40	Dic-69
1976-77	Ago-76	Ene-77	6	1,11	1,23	Oct-76

MODERADO	INICIO	FINAL	DURACIÓN	INDICE	INDICE MÁX.	FECHA
1957-58	Jun-57	Feb-58	9	1,31	1,81	Dic-57
1965-66	Jun-65	Ene-66	8	1,46	1,77	Dic-65
1986-87	Oct-86	Dic-87	15	1,40	2,03	Sep-87
1991-92	Oct-91	May-92	8	1,44	1,66	May-92

FUERTE	INICIO	FINAL	DURACIÓN	INDICE	INDICE MÁX.	FECHA
1972-73	May-72	Feb-73	10	1,81	2,64	Dic-72
1982-83	May-82	Ago-83	16	2,07	3,60	Ene-83
1997-98	May-97	May-98	13	2,74	3,90	Dic-97

DÉBIL	INICIO	FINAL	DURACIÓN	INDICE	INDICE MÁX.	FECHA
1964	Abr-64	Dic-64	9	-0,88	-1,33	May-64
1967-68	Sep-67	Mar-68	7	-0,88	-1,28	Feb-68
MODERADO						
1954-55	Abr-54	Dic-55	21	-0,87	-2,02	Nov-55
1973-74	Jun-73	Feb-74	9	-1,11	-1,37	Ene-74
1975-76	Jun-75	Feb-76	9	-1,01	-1,51	Ene-76
FUERTE						
1970-71	Jun-70	Feb-71	9	-1,16	-1,50	Jul-70
1988-89	May-88	Mar-89	11	-1,35	-1,75	Jun-88
1999-00	Ago-99	Feb-00	7	-1,16	-1,60	Ene-00



Base de datos utilizada y metodología

La red de estaciones meteorológicas de Colombia está constituida por cerca de 5.200 estaciones, de las cuales un poco más del 50% son de propiedad del IDEAM. De éstas, el 71% son pluviométricas (mediciones de precipitación) y el porcentaje restante son de tipo climatológico (mediciones de precipitación, temperatura y algunas otras variables climáticas). La información utilizada en el presente estudio fue obtenida directamente de la base de datos central del IDEAM y corresponde con información mensual, utilizando los meses que tuvieran más de 20 días de información y los años que tuvieran al menos 10 meses de datos.

Dado que existen datos de anomalías de la temperatura superficial del mar en la región central (Niño-3) del océano Pacífico tropical desde 1950, se analizó el comportamiento de las precipitaciones en el país desde dicha época. Para este lapso se dispone de un total de 2.010 series pluviométricas, de las cuales

1.669 cuentan con más de 20 años de datos mensuales de precipitación. Es importante destacar, que no todas las series tienen los años completos, es decir, años con doce meses de información. De 1950 a la fecha, se dispone de 786 estaciones climatológicas con más de 10 años de datos mensuales de temperatura del aire.

A partir de la información climatológica existente se construyeron índices mensuales, trimestrales, estacionales y de periodo extendido que detectan anomalías o alteraciones del comportamiento de la precipitación con respecto a la media multianual (período 1961-2005). Las anomalías son calculadas como el cociente, expresado en porcentaje (%), entre un dato cualquiera y su valor promedio.

Con base en el índice puntual o acumulado, se establecieron las siguientes categorías de interpretación, que corresponden a las utilizadas actualmente por el IDEAM para caracterizar el comportamiento de la precipitación: (Ver Tabla 2)

Tabla 2. Categorías de interpretación para caracterizar el comportamiento de la precipitación

RANGO DE VARIACIÓN	DESCRIPCIÓN DEL EFECTO
≤ 40%	Déficit severo (muy por debajo de lo normal)
40,1% - 80%	Déficit (por debajo de lo normal)
80,1% - 120%	Normal
120,1% - 160%	Excedente (por encima de lo normal)
≥160,1%	Excedente severo (muy por encima de lo normal)

Para cada estación se calculó el índice acumulado (en términos porcentuales), cubriendo la totalidad del período, los trimestres ó las temporadas secas ó lluviosas afectadas por los eventos Niño y Niña de diferentes categorías de intensidad (típico, débil, moderado ó fuerte). Sin embargo, en el presente trabajo solamente se presentan los resultados ante eventos de carácter típico.

Con respecto a la temperatura media del aire, las anomalías son calculadas como la

diferencia entre un dato cualquiera y su valor promedio, en términos absolutos, dados por la media multianual (período 1961-2005).

Con base en los índices puntuales y acumulados se establecen las siguientes categorías de interpretación, considerando los rangos utilizados por el IDEAM en la determinación de las anomalías mensuales de este parámetro: (ver tabla 3)

Tabla 3. Categorías de interpretación para la determinación de las anomalías mensuales

RANGO DE VARIACIÓN	DESCRIPCIÓN DEL EFECTO
$\leq -0.51 \text{ }^{\circ}\text{C}$	Enfriamiento severo (muy por debajo de lo normal)
$-0.5 \text{ }^{\circ}\text{C} - -0.21 \text{ }^{\circ}\text{C}$	Enfriamiento (por debajo de lo normal)
$-0.2 \text{ }^{\circ}\text{C} - 0.2 \text{ }^{\circ}\text{C}$	Normal
$0.21 \text{ }^{\circ}\text{C} - 0.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$	Calentamiento (por encima de lo normal)
$\geq 0.51 \text{ }^{\circ}\text{C}$	Calentamiento severo (muy por encima de lo normal)

RESULTADOS OBTENIDOS

Aunque el trabajo realizado, detalla la alteración de la precipitación y la temperatura durante los eventos El Niño y La Niña para Colombia, considerando cuatro categorías de evento (típico, débil, moderado y fuerte) y siete tipos de afectación (déficit severo, déficit, excedente, excedente severo, áreas con comportamiento normal, condición más probable y grado de afectación con una probabilidad igual ó superior al 75%), en el presente documento sólo se plasman los resultados considerando un evento de carácter típico.

Condición más probable de afectación del patrón pluviométrico de Colombia durante la ocurrencia de fenómenos El Niño y La Niña.

Teniendo en cuenta, que los efectos e impactos en Colombia de un evento ENSO son más notorios a partir del segundo semestre del año (no obstante, haber comenzado algunos de ello en mayo o junio de determinado año), se realizan análisis trimestrales para el tercer y cuarto trimestre del año de inicio del fenómeno, y primer trimestre del segundo año.

Análisis Trimestral

Alteraciones más probables de la precipitación en Colombia, durante el tercer y cuarto trimestre del primer año, y primer trimestre del segundo año, en presencia de un fenómeno TÍPICO EL NIÑO.

Los déficits de precipitación observados al comienzo de los eventos, generalmente en el tercer trimestre del primer año, toman el carácter de severos en áreas muy localizadas de la región Andina Central y Sur y en el extremo nororiental de la región Caribe, como se puede apreciar en el mapa 1. Durante el trimestre siguiente la intensidad de las anomalías se reduce, igual que el área cubierta por las mismas en la región Andina (mapa 2), debido generalmente a la influencia de las fases subsidentes de ondas intraestacionales, tipo Madden & Julián. Para el primer trimestre del segundo año, coincidente con la fase madura de los eventos, los déficits de carácter severo cubren la mayor parte de la región Caribe y el norte de la región Pacífica (mapa 3).

Mapas 1, 2 y 3. Alteraciones más probables de la precipitación en Colombia, en presencia de un fenómeno TÍPICO EL NIÑO. Durante el tercer trimestre del primer año (izquierda), durante el cuarto trimestre del primer año (centro) y durante el primer trimestre del segundo año (derecha).



Alteraciones más probables de la precipitación en Colombia, durante el tercer y cuarto trimestre del primer año y primer trimestre del segundo año en presencia de un fenómeno TÍPICO LA NIÑA.

Un comportamiento similar al observado trimestralmente durante los eventos cálidos (El Niño), se observa durante los fenómenos La Niña, registrándose las mayores anomalías pluviométricas (excedentes de carácter severo) durante los mismos trimestres. Durante el tercer trimestre del primer año (mapa 4), los excedentes de agua de carác-

ter severo se concentran en amplias áreas de la región Andina y sobre el sector nororiental de la región Caribe. Para el trimestre siguiente, continúan los excedentes, aunque los de carácter severo se limitan al área de la Guajira (mapa 5). Durante el primer trimestre del segundo año (mapa 6) nuevamente se observan excedentes de precipitación de carácter severo a todo lo largo de la región Andina y las llanuras del Caribe. Al nororiente de esta última región y de la Orinoquía, se presentan áreas con déficits de lluvia, donde antes se registraba una condición inversa.

Mapas 4, 5 y 6. Alteraciones más probables de la precipitación en Colombia, en presencia de un fenómeno TÍPICO LA NIÑA. Durante el tercer trimestre del primer año (izquierda), durante el cuarto trimestre del primer año (centro) y durante el primer trimestre del segundo año (derecha).



Análisis Integral – El Niño y La Niña típicos.

Alteraciones más probables de la precipitación en Colombia, durante la ocurrencia de un fenómeno TÍPICO EL NIÑO.

El análisis de las 2.200 series de precipitación disponibles permite establecer que durante la ocurrencia de un fenómeno típico de El Niño predomina la condición de normalidad de forma mayoritaria (62%), correspondiendo a la condición deficitaria un 36%. Es importante destacar la ausencia de condiciones extremas, por cuanto el déficit severo solo ocurre en un 0,9% y el excedente severo no se registra en ningún caso. En el mapa 7 se presentan, en términos de anomalías porcentuales (respecto a los promedios del período 1961-2005), las variaciones de la precipitación en Colombia durante la ocurrencia de un fenómeno típico de El Niño. Como se puede apreciar, se registran reducciones moderadas de las lluvias (volúmenes mensuales disminuidos entre un 20% y un 60% de lo histórico) en buena parte de las

regiones Caribe y Andina con excepción en amplios sectores del Magdalena Medio, los departamentos del Viejo Caldas, Antioquia, Boyacá y Santander, en donde las anomalías observadas aparecen en forma muy puntual y dispersa.

Alteraciones más probables de la precipitación en Colombia, durante la ocurrencia de un fenómeno TÍPICO LA NIÑA.

Cuando se presenta el fenómeno típico de La Niña hay un aumento moderado de las lluvias en la mayor parte de las regiones Caribe y Andina. En el extremo nororiental de Colombia, se registran excesos de precipitación de carácter severo. En la región Andina, predominan igualmente los excedentes de agua; solamente se observa un comportamiento normal en el nororiente de Antioquia y en el sector central de Santander. En el resto del país, no se presentan anomalías significativas de precipitación, salvo, en algunos sectores del norte y centro de la región Pacífica, que también presentan excedentes de lluvia, como se puede apreciar en el mapa 8.

Mapas 7 y 8. Alteraciones más probables de la precipitación en Colombia, durante la ocurrencia de un fenómeno TÍPICO EL NIÑO (izquierda) y durante un fenómeno TÍPICO LA NIÑA.



Alteraciones más probables de la temperatura del aire en Colombia, durante el tercer y cuarto trimestre del primer año y primer trimestre del segundo año en presencia de un fenómeno TÍPICO EL NIÑO.

Igual como ocurre con las anomalías de precipitación, las mayores alteraciones del patrón termométrico del país (aumentos de la temperatura del aire) ocurren durante la fase madura de los eventos El Niño. El calentamiento observado al comienzo de los eventos, generalmente en el tercer trimestre del primer año, toma el carácter de severo en áreas muy localizadas de la región Andina central y en el extremo nororiental de la región Caribe, como se puede apreciar en el mapa 9. Durante el trimestre siguiente, la intensidad de las anomalías se reduce, igual que el área cubierta por las mismas, debido generalmente a la influencia de las ondas intraestacionales (mapa 10). Para el primer trimestre del segundo año, coincidente con la fase madura de los eventos, el calentamiento severo se extiende a la mayor parte del territorio nacional (mapa 11).

Alteraciones más probables de la temperatura en Colombia, durante el tercer y cuarto trimestre del primer año y primer trimestre del segundo año en presencia de un fenómeno TÍPICO LA NIÑA.

Un comportamiento similar al observado trimestralmente durante los eventos cálidos (El Niño), se presenta durante los fenómenos La Niña. Fuertes anomalías negativas de la temperatura del aire (enfriamientos severos) se concentran durante el tercer trimestre del primer año (mapa 12), en amplias áreas de la región Andina, en la parte media de la región Pacífica y sobre el sector nororiental de la región Caribe. Para el trimestre siguiente, continúan los excedentes, aunque los de carácter severo son muy dispersos en las regiones Andina y Caribe (mapa 13). Durante el primer trimestre del segundo año (mapa 14) nuevamente se generalizan las disminuciones de la temperatura de carácter severo, cubriendo la mayor parte del territorio nacional.

Mapas 9, 10 y 11. Alteraciones más probables de la temperatura en Colombia, en presencia de un fenómeno TÍPICO LA NIÑA. Durante el tercer trimestre del primer año (izquierda), durante el cuarto trimestre del primer año (centro) y durante el primer trimestre del segundo año (derecha)



Mapas 12, 13 y 14. Alteraciones más probables de la temperatura en Colombia, en presencia de un fenómeno TÍPICO LA NIÑA. Durante el tercer trimestre del primer año (izquierda), durante el cuarto trimestre del primer año (centro) y durante el primer trimestre del segundo año (derecha).



Alteraciones más probables de la temperatura del aire en Colombia, durante la ocurrencia de un fenómeno TÍPICO EL NIÑO.

En el mapa 15 se presentan, en términos de anomalías absolutas en grados Celsius ($^{\circ}\text{C}$), las variaciones de la temperatura media mensual del aire en Colombia. Como se puede apreciar en dicho mapa, se registra un aumento generalizado de la temperatura media del aire en la mayor parte del territorio colombiano, el cual oscila entre $0,2^{\circ}\text{C}$ y $0,5^{\circ}\text{C}$. Anomalías positivas superiores a medio grado Celsius se observan hacia la parte central y norte de la región Andina, particularmente en los departamentos de Caldas, Risaralda, Quindío, Tolima, Valle del Cauca, norte del Huila y el sector suroccidental de los departamentos de Antioquia, Cundinamarca y Norte de Santander; anomalías similares se aprecian a lo largo de la región Pacífica (con excepción del departamento de Cauca), en el sector nororiental de la región

Caribe (donde cubre la zona central y norte del Cesar), la parte media de Magdalena y la totalidad del departamento de Atlántico.

Alteraciones más probables de la temperatura del aire en Colombia, durante la ocurrencia de un fenómeno TÍPICO LA NIÑA.

Como se puede apreciar en el mapa 16, durante los períodos de ocurrencia de los fenómenos La Niña, se observan descensos importantes en la temperatura media del aire (superiores a medio grado Celsius), en la mayor parte de las regiones Andina, Caribe y Pacífica. En la región de la Orinoquía y el piedemonte Amazónico las anomalías negativas son menos acentuadas, oscilando solamente entre $0,2$ y $0,5^{\circ}\text{C}$. En la Amazonía no se registran alteraciones en el comportamiento termométrico, salvo la parte media del Putumayo y en el Trapecio Amazónico, donde las anomalías son débiles y de sentido contrario.

Mapas 15 y 16. Alteraciones más probables de la temperatura del aire en Colombia, durante la ocurrencia de un fenómeno TÍPICO EL NIÑO (izquierda) y durante un fenómeno TÍPICO LA NIÑA.



CONCLUSIONES

- Este trabajo es un importante aporte institucional al fortalecimiento de la cultura de la prevención. En el medio, es muy común que mientras los fenómenos naturales afectan vidas, se trabaje con ahínco en la adopción de medidas curativas y en el diseño de programas preventivos. Sin embargo, tan pronto cesan sus efectos todo vuelve al olvido y los programas de prevención desaparecen rápidamente.
- El desarrollo de este estudio permitió ampliar la base informática del análisis hasta el año 2005, utilizando la información de 2.200 series de precipitación y 780 de temperatura del aire, con lo cual se obtuvo una mejor resolución espacial de los resultados. El modelo desarrollado en 1997, solo empleó información de 580 estaciones pluviométricas y 390 estaciones termométricas.
- Se obtuvo un nuevo conocimiento sobre el efecto de los fenómenos El Niño y La Niña, en los patrones de lluvia y temperatura del aire del país, para diferentes intensidades del evento, dado el carácter con el que estos se presentan (débil, moderado, fuerte). Para el programa de

- Predicción Climática es de trascendental importancia contar con esta nueva información, por cuanto le permite ajustar las proyecciones y pronósticos climáticos de acuerdo con la intensidad de los fenómenos. En particular, es importante destacar que las alteraciones pluviométricas ocasionadas por los fenómenos El Niño y La Niña de carácter fuerte, no guardan una relación lineal con la intensidad asociada a los fenómenos.
- Se logró establecer el efecto que los fenómenos El Niño y La Niña ejercen sobre los regímenes de lluvia y temperatura del aire en el país, durante el tercero y cuarto trimestres del primer año y el primer trimestre del segundo año en presencia de estos eventos. La determinación de los efectos durante estos períodos permite afinar aún más el grado de precisión en la determinación de las tendencias climáticas de corto y mediano plazo, tan importantes en las actividades de planificación de los sectores agroindustriales y energéticos del país. Vale la pena destacar que el mayor efecto climático, tanto para los eventos El Niño como para la Niña, ocurre durante el primer trimestre del segundo año, el cual es muchas veces coincidente con la fase madura de los

eventos, es decir, cuando se presentan las mayores anomalías en el océano y la atmósfera del Pacífico tropical.

- Se evidenció que los fenómenos El Niño y La Niña afectan de manera importante los regímenes de temperatura del aire y precipitación en Colombia. En términos generales, se comprobó que cuando se presenta el fenómeno El Niño (La Niña) hay una tendencia hacia la disminución (aumento) de los volúmenes de precipitación, particularmente en las regiones Andina, Caribe y la parte norte de la región Pacífica. Dado que el efecto sobre el régimen de precipitación en Colombia derivado de los eventos El Niño no sigue un patrón común, por cuanto las deficiencias son más acusadas en algunas áreas, menos en otras y en algunas ni
- siquiera se perciben, se puede establecer que, en general, el efecto es diferencial a lo largo y ancho del territorio nacional.
- Se comprobó el incremento de la temperatura del aire en la región Pacífica y en los valles interandinos, durante los eventos cálidos de El Niño. Durante la fase opuesta (La Niña), se evidenció el registro de anomalías negativas (condición de enfriamiento) en la mayor parte de las regiones Andina, Caribe y Pacífica.
- El análisis de los resultados mostró que aunque la relación no es lineal, durante los eventos fríos de La Niña se registran condiciones pluviométricas y termométricas aproximadamente opuestas a las observadas durante los fenómenos El Niño.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Comisión Colombiana del Océano – CCO (2000): Programa integral y multidisciplinario para el estudio sobre el fenómeno El Niño – ERFEN. Comité Técnico Nacional del ERFEN. Bogotá, D.C., Marzo-2000.

IDEAM, (1997): Posibles efectos naturales y socio-económicos del fenómeno El Niño en el período 1997-1998 en Colombia. Santa Fe de Bogotá D.C., Julio-1997, 39 páginas + anexos.

IDEAM, (1997): Preparémonos para recibir el fenómeno El Niño en los municipios colombianos. Santa Fe de Bogotá D.C., Agosto-1997, 114 páginas.

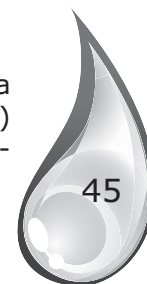
IDEAM, (1997) Efectos sobre el medio físico natural de Colombia ocasionados por el fenómeno El Niño durante el período marzo - noviembre de 1997 y proyección de los posibles efectos en los próximos meses. Santa Fe de Bogotá D.C., Diciembre-1997.

IDEAM (1998) Desarrollo del actual fenómeno cálido del Pacífico 1997-98, su efecto hidroclimático sobre el país, impactos socioeconómicos y proyección. Santa Fe de Bogotá, Marzo-1998.

IDEAM, (1998): Posibles efectos naturales y socio-económicos del fenómeno Frío del Pacífico (La Niña) en Colombia en el segundo semestre de 1998 y primer semestre de 1999. Santa Fe de Bogotá, Agosto-1998, 88 páginas + anexos.

Mesa O.J., Poveda G., Carvajal L.F., (1997): Introducción al clima de Colombia. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, Facultad de Minas, Posgrado en Aprovechamiento de Recursos Hidráulicos, Medellín, 390 p.

Montealegre J.E., (1996): Análisis del comportamiento de la precipitación en Colombia durante los períodos de ocurrencia de los fenómenos ENOS (El Niño-Oscilación del Sur) y anti-El Niño. En: Memorias del IV Congreso Colombiano de Meteorología, IDEAM-SO-COLMET, pp. 157-169.



Montealegre J.E., (1999): La influencia de los procesos de interacción océano-atmósfera del Pacífico tropical y el Atlántico en la variabilidad interanual de la precipitación en Colombia. Tesis de M.Sc. en Meteorología. Universidad Nacional de Colombia. Diciembre 1999.

Montealegre J.E., Ortiz G., Ramirez P., (1990): Impacto ambiental del fenómeno El Niño en Colombia. En: Memorias del IV Congreso Inter-Americano y II Colombiano de Meteorología (17-21 de septiembre de 1990, Bogotá), pp. 169-173.

Montealegre J.E., Pabón J.D., (1992): Interrelación entre el ENOS y la precipitación en el noroccidente de Suramérica. Boletín ERFEN, No. 31, p. 12-15. Comisión Permanente del Pacífico Sur. Lima, Perú.

Montealegre, J.E., Pabón, J.D. (1998a): Efectos naturales y socioeconómicos del fenómeno frío del Pacífico (La Niña). Nota Técnica IDEAM-METEO/ 007-98: 1-19. Instituto de Hidrología, Meteorología y Adecuación de Tierras. Bogotá, Colombia.

Pabón J.D., (1990): Efecto climático del fenómeno El Niño en el suroccidente colombiano. En: Memorias del IV Congreso Inter-Americano y II Colombiano de Meteorología (17-21 de septiembre de 1990, Bogotá), pp. 161-168.

Pabón J.D., Montealegre J.E., (1992a): "Manifestación El Niño-Oscilación del Sur (ENOS) en la Costa Pacífica Colombiana". Boletín ERFEN, No. 31, pp. 3-11.

Pabón J.D., Montealegre J.E., (1992b): Características climáticas relevantes durante la ocurrencia de los fenómenos ENOS en el noroccidente Sudamericano. 40 pp. Publicación especial del Instituto de Hidrología, Meteorología y Adecuación de Tierras - HIMAT.

Pabón J.D., Montealegre J.E., (1997): Probabilidad de afectación de la precipitación en Colombia por el fenómeno El Niño. Nota Técnica No. IDEAM/METEO/002-97. 1-39. Ed. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Bogotá, Colombia.

Pabón, J.D., Montealegre J.E. (1998a): Probabilidad de Afectación de la Precipitación en Colombia por el fenómeno La Niña. Nota Técnica IDEAM-METEO/ 008-98: 1-16. Ed. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Bogotá, Colombia.

Poveda G., Mesa O.J., (1996a): Evidencia de Suramérica tropical como el puente tierra-atmósfera entre los océanos Pacífico y Atlántico. En: Memorias del IV Congreso Colombiano de Meteorología, IDEAM-SOCOLMET, pp. 178-187.

Zea J.A., Montealegre J.E. (1987): Estudio sobre el fenómeno El Niño. 27 pp. Ed. Instituto Colombiano de Hidrología, Meteorología y Adecuación de Tierras. Bogotá, Colombia.

DISPONIBILIDAD HÍDRICA Y DEMANDA DE CAUDALES EN EL VALLE DE ABURRÁ

Autor: Juan Carlos González Ramírez y Carlos Alberto Saldarriaga Agudelo.
Empresas Públicas de Medellín E.S.P.

Correo electrónico: juan.gonzalez.ramirez@epm.com.co, carlos.saldarriaga.agudelo@epm.com.co

RESUMEN

El presente artículo es de carácter técnico e informativo donde se busca mostrar que el sistema de acueducto de las Empresas Públicas de Medellín E.S.P, EPM, realiza su operación teniendo en cuenta su materia prima, el agua. Al ser el agua el principal insumo en el qué hacer de EPM, por décadas la empresa ha realizado el monitoreo de sus principales fuentes hídricas buscando evaluar las potencialidades de las mismas así como es el comportamiento de estas respecto a la demanda del sistema de acueducto.

Al leer el artículo se tendrá una noción básica de la infraestructura y del cubrimiento del sistema de acueducto y cómo se encuentra el sistema de acueducto de EPM respecto a sus principales fuentes hídricas, en el contexto de los caudales medios anuales históricos de las fuentes respecto a las demandas aproximadas del sistema proyectadas hasta al año 2039.

PALABRAS CLAVES

Fuentes hídricas, demanda hídrica, oferta Hídrica, sistemas de acueducto, sistema interconectado, conducciones, modelación hidráulica, planificación, despacho óptimo, disponibilidad de fuentes, capacidad hidráulica, captación, distribución primaria, operación de redes de acueducto, SCADA, agua potable, agua cruda, infraestructura, Empresas Públicas de Medellín E.S.P.

ABSTRACT

The present article is of technical and informative character where it looks for to show that the system of water distribution networks of the Public Companies of Medellín E.S.P, EPM, make its operation having in account its principal consumption, the water. The water is the main consumption in EPM business; per decades this company has realized the monitoring of its main water sources having looked for to evaluate the potentialities of the same as well as its behavior of these with respect to the water demand.

When reading the article will have a basic notion of the infrastructure and the range of water distribution and how it is with respect to its main water sources, in the context of historical the average volumes annual of the sources with respect to the approximate demands of the system projected until a year 2039.

KEYWORDS

Water resources, water demand, water supply, water distribution network, interconnected system, conductions, hydraulic modeling, planning, optimal distribution, availability of sources, hydraulic capacity, intakes, primary distribution, operation water distribution networks, SCADA, drinking water, natural water, infrastructure, Company of Public Services of Medellín.



INTRODUCCIÓN

EPM ha prestado el servicio de acueducto al Valle de la Aburrá por más de 50 años, teniendo un crecimiento progresivo desde el Municipio de Medellín hacia los municipios colindantes al mismo por los puntos cardinales Norte y sur.

Para poder brindar el servicio en las calidades de alto estándar normativo nacional que se brinda, se requiere de una disposición hídrica confiable que brinde soporte a la demanda tanto a nivel presente como futuro. Es por esta razón que EPM, actualmente, cuenta con permisos de concesión en más de 25 fuentes hídricas las cuales abastecen un sistema de 11 plantas de potabilización.

Para poder tener una confiabilidad en el suministro de agua a los usuarios del sistema de acueducto de EPM se requiere una amplia plataforma de tecnologías de información y para ello EPM posee instrumentación en las fuentes hídricas principales o mayores las cuales abastecen directamente a los embalses, monitoreo de caudales de entrada a las diferentes plantas de potabilización y control de los más de 100 tanques de almacenamiento con control remoto de válvulas a la entrada, monitoreo de niveles y caudales de distribución a través del sistema SCADA.

Contando con el soporte tecnológico, el sistema de acueducto cuenta además con infraestructura contingente de características importantes en las fuentes de abastecimiento, como son los bombeos de agua cruda La Honda, para el sistema Piedras Blancas, El bombeo Pantanillo y el Bombeo Piedras para el sistema La Fe. Respecto a las red de Distribución Primaria la infraestructura presenta

cierto grado de redundancia a través del sistema interconectado de conducciones brindando la versatilidad de abastecer gran parte del sistema a través de sus tres plantas de potabilización como lo son Ayurá, Manantiales y Villa Hermosa y una de las pequeñas como es el caso de la planta San Cristóbal.

Buscando la complementariedad entre lo blando, el software y SCADA, y lo duro, la infraestructura, están las simulaciones y análisis para las previsiones hídricas de las afluencias a los embalses, las cuales se hacen mediante un modelo conocido en EPM como Modelo de Despacho Óptimo a resolución mensual y simulaciones con resolución diaria. Esto permite y busca operar el sistema de captación de una forma cuasi determinística.

CONTENIDO

Infraestructura y Cubrimiento

EPM cuenta con un complejo sistema interconectado de tuberías conformado por 83 km de redes que transportan agua cruda (sistema de captación) y 260 km de redes que transportan agua potable entre las plantas y los tanques de distribución (sistema de distribución primaria) para abastecer del servicio de acueducto a 8 de los 10 municipios del Valle de Aburrá. Los otros dos municipios también son abastecidos por EPM, mediante sistemas de acueducto independientes.

En la Figura 1 se puede ver de forma resumida la infraestructura que se posee y en la Tabla 1 se muestra esta información con discriminación para la misma.



- **Infraestructura del sistema.**

Figura 1. Esquema de representación de la infraestructura del sistema de Acueducto de EPM.

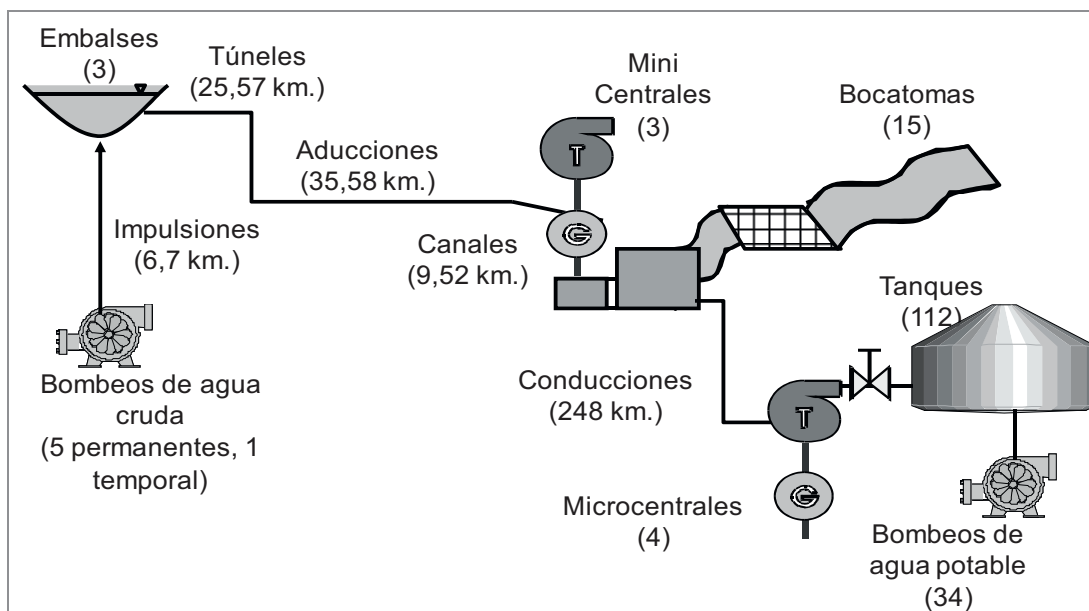


Tabla 1. Infraestructura del sistema de Acueducto de EPM para los años de 2008 y 2009. [1]

ADUCCIÓN PLANTAS	A DICIEMBRE DEL 2008	A DICIEMBRE DEL 2009
Túneles [km]	25,57	27,3
Canales [km]	9,52	9,6
Impulsiones [km]	6,7	7,6
Conducciones [km]	35,5	38
Bombes de Captación [m ³ /s]	11,77	11,77
Distribución Primaria		
Red conducciones en operación [km]	276,69	248,34
Estación de bombeo agua tratada [un]	34	32
Tanques de almacenamiento		
Cantidad [un]	107	110
Capacidad total [m ³]	429.046	432.054
Distribución Secundaria		
Red de distribución en operación [km]	3.190	3.293
Circuitos de distribución [un]	85	85

• **Cubrimiento del sistema**

En cuanto al cubrimiento del sistema de Acueducto de EPM, éste cubre la totalidad del Valle de Aburrá incluyendo los corregimientos de Medellín como Palmitas, San Antonio de Prado y San Cristóbal, aunque hay presencia de acueductos veredales admi-

nistrados por juntas de acción comunal los cuales fueron implementados con asesoría técnica de EPM. En la Figura 2 se presenta la distribución geográfica del cubrimiento del sistema y en la Tabla 2 se presenta el cubrimiento por Municipio en función del número de Usuarios.

Figura 2. Distribución Geográfica del Sistema de Acueducto de EPM.

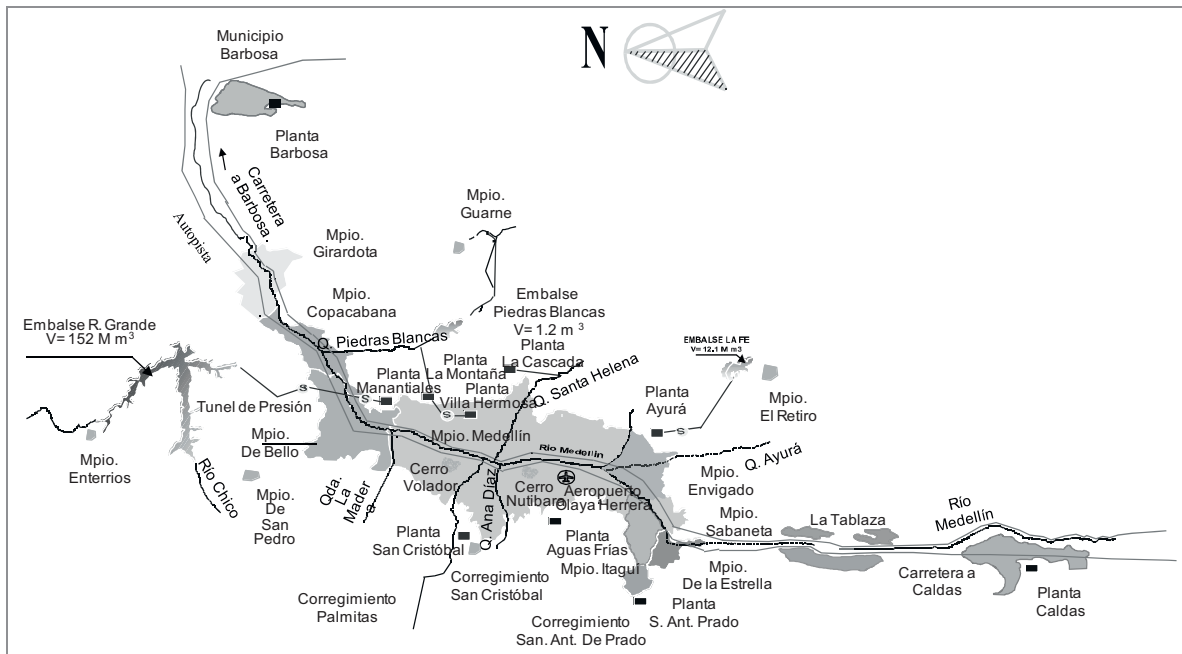


Tabla 2. Discriminación de usuarios del sistema de acueducto EPM para los años 2008 y 2009.

MUNICIPIO	A DICIEMBRE 2008	A DICIEMBRE 2009
Medellín	623.005	636.928
Bello	90.764	92.308
Itagüí	69.462	70.822
Envigado	54.981	57.404
Copacabana	15.332	15.704
Sabaneta	13.707	14.349
Caldas	12.646	13.070
La Estrella	8.476	8.834
Girardota	6.998	7.166
Barbosa	5.309	5.410
Total	900.680	921.995



Asociado a los usuarios o viviendas que se alimentan del sistema, se tiene un consumo aproximado de 190 millones metros cúbicos de agua por año, tal y como se muestra en la Tabla 3, este volumen equivale a 1,26 veces el embalse de Río Grande II que posee aproximadamente 150 millones de m³.

Es necesario tener en cuenta que respecto a este consumo es que se analizan la capacidad hídrica en las fuentes del sistema, que aunque la información de la misma es potestad de las autoridades ambientales, EPM tiene su sistema de monitoreo hidrométrico en las principales fuentes de abastecimiento.

Tabla 3. Consumos de agua potable por municipio y por sector para los años 2008 y 2009 (en m³/año).

MUNICIPIO	DICIEMBRE 2008	DICIEMBRE 2009			
Medellín	131.609.350	130.091.239			
Bello	18.230.324	18.255.902	SECTOR	DICIEMBRE 2008	DICIEMBRE 2009
Itagüí	15.486.236	15.230.576	Residencial	149.531.008	149.575.089
Envigado	11.864.786	11.920.643	Comercial	16.047.355	16.009.488
Copacabana	3.108.118	2.959.390	Industrial	13.829.414	12.655.630
Sabaneta	3.698.489	3.486.418	Oficial	8.871.046	8.346.120
Caldas	2.804.473	2.754.387	Otros	3.581.707	3.024.916
La Estrella	2.072.265	2.004.465	Total	191.860.530	189.611.243
Girardota	1.739.860	1.724.149			
Barbosa	1.246.629	1.184.074			
Total	191.860.530	189.611.243			

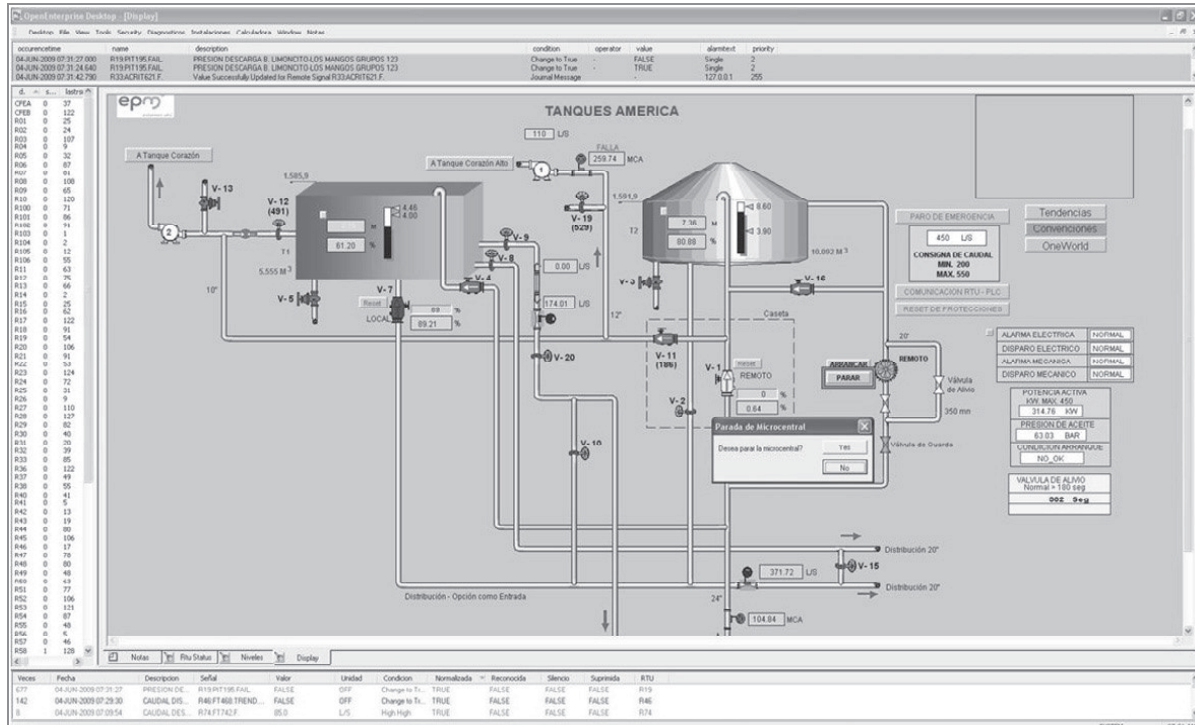
Monitoreo

La infraestructura se encuentra soportada por un sistema de adquisición de datos de forma remota o SCADA la cual se monitorea desde un centro de control, que en el caso de EPM se conoce como Despacho Acueducto. Actualmente el sistema cuenta con 96 Equipos de Control (Remotas o RTU) de los cuales 92 son tecnología DPC3330 (Comunicadas por Línea dedicada) y 4 son tecnología Control Wave (Comunicadas por Radio). Se espera lo más pronto posible instalar 340 ERP (Estaciones Reguladoras de Presión) en la red de distribución secundaria y cada una comunicada a través de radio, al igual que el resto de las RTU.

En el monitoreo se supervisan variables como niveles de tanques, caudales, presiones y válvulas de tanques, punto de presión, válvulas reguladoras, control calidad del agua y pluviómetros. En el control se pueden operar de forma remota válvulas de entrada a tanques, válvulas en línea, bombes y microcentrales.

Como un ejemplo ilustrativo del monitoreo que se tiene en más de 100 tanques, en la Figura 3 se muestra uno de los tanques del sistema donde hay tanto supervisión de variables como control de elementos.

Figura 3. Esquema de la instalación Tanques América representado por un mínimo de los tanques con todas sus entradas, salidas válvulas bombes y microcentral.



Fuentes Hídricas

El sistema de abastecimiento de acueducto para el área metropolitana del Valle de Aburrá cuenta con 5 fuentes principales de

abastecimiento definidas como ríos y otras 27 definidas como quebradas. Cada unas de las fuentes se encuentran sectorizadas por embalse y planta de potabilización que abastece tal y como se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4. Conjunto de Fuentes Hídricas y Plantas de Potabilización del sistema de EPM.

SISTEMA		PLANTA DE POTABILIZACIÓN
FUENTE	EMBALSE	
RIOS	El Buey	Ayurá
Buey		
Piedras		
Pantaniillo		
QUEBRADAS	La Fe	
Las Palmas		
Potrerros		
La Miel		
Espíritu Santo		
RIOS	Embalse Río Grande II	
Grande		
Chico		
QUEBRADAS		
Las Ánimas		
Orobajo		

Continuación

Tabla 4. Conjunto de Fuentes Hídricas y Plantas de Potabilización del sistema de EPM.

QUEBRADAS		
La Honda	Piedras Blancas	Villa Hermosa
Piedras Blancas		La Montaña
Chorrillos		
QUEBRADAS	Directa	La Cascada
Santa Elena		
QUEBRADAS	Directa	Aguas Frías
Picacha		
QUEBRADAS	Directa	Caldas
La Valeria		
La Reventona		
El Viento	Directa	Barbosa
La López		
La Larga		
Las Despensas		
La Manguala	Directa	San Antonio de Prado
Doña María		
Afluente: La Chata		
La Iguaná	Directa	San Cristóbal
La Puerta		

Las Fuentes Hídricas de mayor importancia y de mayor capacidad hídrica en el sistema, son aquellas fuentes de aporte directo a los embalses tal y como se ve en la Tabla 4. Estas fuentes son monitoreadas por estaciones hidrométricas nivel - caudal y se recibe datos vía satélite desde las estaciones, esta información llega al área de Hidrometría e Instrumentación, quienes consolidan y realizan análisis de la información de caudales. La información hidrométrica es altamente confiable y se poseen registros de varias fuentes por varias décadas. No menos importante son las fuentes que abastecen a las plantas de menor cobertura, estas son las fuentes discriminadas como directas o menores en la Tabla 4; a estas fuentes se le realizan aforos por vadeo desde principios del año 2010, las cuales han permitido recopilar información y conocer un poco más el recurso hídrico para las fuentes más vulnerables, especialmente en épocas de estiaje.

Contando con la información hidrométrica adecuada, EPM ha podido realizar cálculos que permiten hacer un comparativo hídrico de los caudales históricos de las fuentes respecto a los caudales proyectados futuros que tendrá el sistema al 2039.

- **Disponibilidad hídrica para el sistema del embalse La Fe frente a los caudales futuros**

El embalse la Fe, de una capacidad superior a los 10 Mm³, se abastece de 3 fuentes principales directas (Palmas, Espíritu Santo y Potreros) y 3 fuentes por transvase con bombeos como contingencia ante estiajes (Pantanillo, Buey y Piedras). Todas estas fuentes tienen la posibilidad de abastecer a la planta de potabilización La Ayurá, y ésta a su vez abastece de agua potable aproximadamente el 50% del Valle de Aburrá. El conocimiento hídrico de estas fuentes, a través de los registros hidrométricos, es muy valioso, tanto para conocer la historia de caudales, análisis retrospectivos, como para poder analizar el futuro con modelos determinísticos o estocásticos, análisis prospectivo.

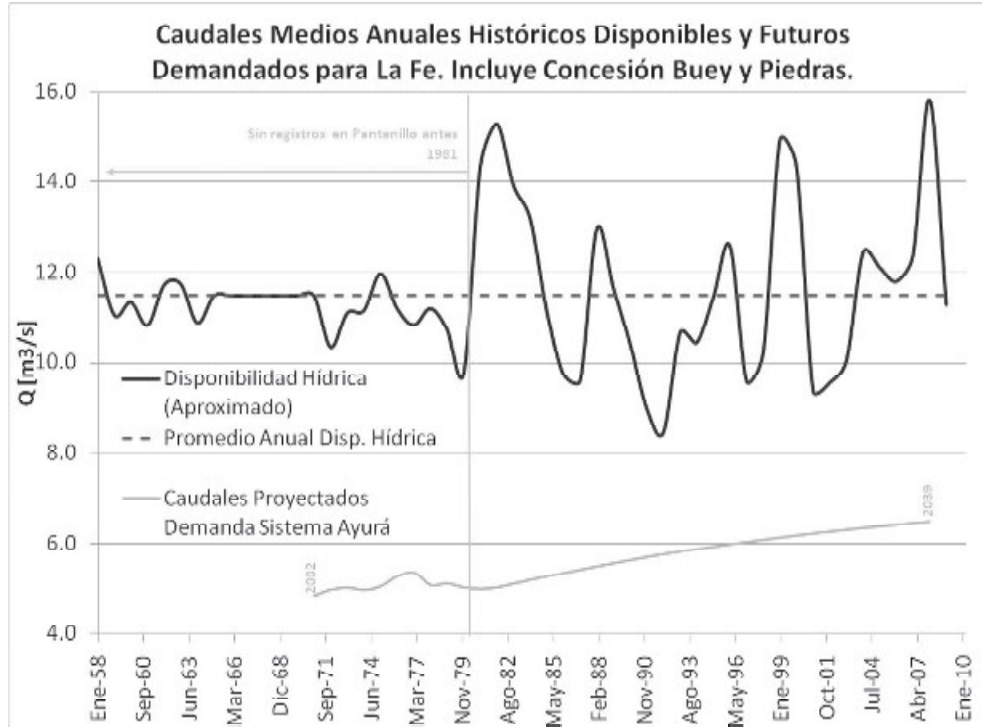
Con la información hidrométrica de cada una de las fuentes de este sistema se pudo calcular una evolución de los caudales medios mensuales para periodos superiores a 20 años. Con estos registros se realiza el cálculo del consolidado de caudales medios anuales disponibles (oferta hídrica) y ésta se implementa en una misma gráfica con la de-



manda futura (demanda hídrica) que se espera tener en el sistema de acueducto EPM para la zona de cobertura de la Planta de Po-

tabilización La Ayurá tal y como se presenta en la Figura 4.

Figura 4. Caudales medios anuales históricos disponibles y futuros demandados para la Fe.



Como se puede observar en la Figura 4 la variación histórica de caudal entre enero de 1958 y enero de 2010 ha oscilado entre 8 y 15 m³/s, lo cual comparado con la evolución y proyección de la demanda de agua para este sistema, en su mayor valor al año 2039 de 6,5m³/s, la oferta mínima (8m³/s) es superior en un 25%. Así mismo, esta oferta hídrica mínima, equivalente a 250 Mm³ por año, supera por sí sola a toda la demanda total del sistema al año 2009 equivalente a 189 Mm³. Esto permite concluir que si la infraestructura del sistema interconectado tuviera la capacidad hidráulica y la planta de potabilización la capacidad instalada, todo el sistema de acueducto se podría abastecer con estas fuentes.

las fuentes abastecedoras pueden generar mitigación hídrica en las mismas y acercar cada vez más la oferta hídrica hacia la demanda. Prueba de esto es cuando se compara la reacción de la cuenca ante eventos de lluvia en diferentes momentos de tiempo. Como soporte a esta idea se realizó el cálculo para una de las fuentes del sistema La Fe como se observa a continuación:

- **Variación acumulada de eventos de lluvia en el Río. Pantanillo, fuente hídrica por bombeo de La Fe**

Con el propósito de observar la reacción de una de las principales cuencas abastecedoras del sistema La Fe ante eventos de lluvias en dos años diferentes pero espaciados, se calcularon las curvas de masa de lluvia y caudal para poder observar implícitamente el cambio o la intervención en la cuenca a medida que pasa el tiempo.

Es importante tener en cuenta que este análisis, no cubre la resolución diaria o semanal, la cual ante eventos de Niño y por la presión demográfica y ocupacional en las cuencas de

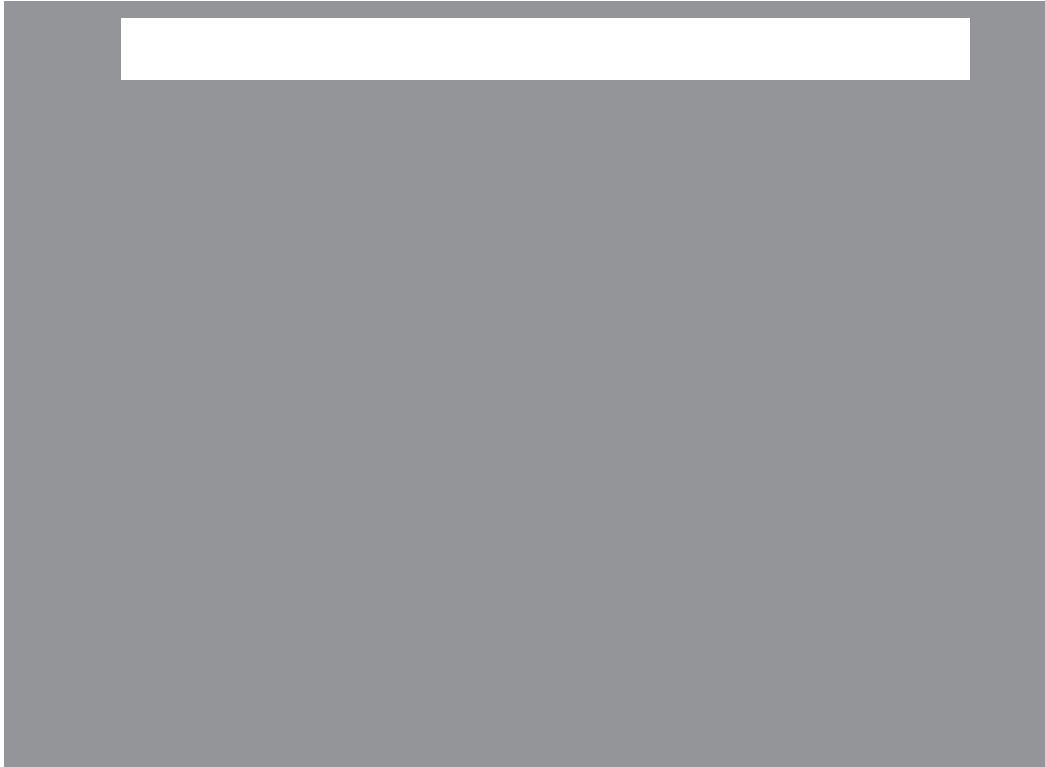
Figura 5. Curvas de masas de lluvias para eventos similares en 2000 y 2008.



La Figura 5, muestra la acumulación de lluvia, o curva de masa para fenómenos de pluviosidad similar para el año 2000 y 2008. La diferencia en años es de casi una década, pero los eventos de lluvia se pueden cerrar al final del periodo analizado, así que el volumen de agua acumulado es prácticamente igual para el intervalo de tiempo analizado, aproximadamente 60 días. Ahora analizando respecto a la curva de masa de caudales. En la Figura 6, se observa un claro diferenciamiento en el volumen acumulado por la estación hidrométrica Puente Angostura con un valor superior en 35% representado por 340 m³/s para el año 2000 respecto a 460 m³/s para el año 2008.

Teniendo en cuenta que la cuenca ha tenido mayor intervención por parte del hombre a través de la urbanización y deforestación al 2008, el volumen de agua que aporta la cuenca ante eventos de lluvia de similares características (volumen igual), y la respuesta hídrica actual de caudales o tránsito de los mismos poseen caudales mayores, haciendo pensar que las estructuras de retención y regulación de agua se han perdido, así que en épocas de lluvia se presentan caudales mayores y en época de estiaje se pierda rápidamente el agua de la cuenca, presentando caudales menores.

Figura 6. Curvas de masas de caudal producto de dos periodos de lluvia en 2000 y 2008, Río Pantanillo, Estación Hidrométrica Puente Angostura

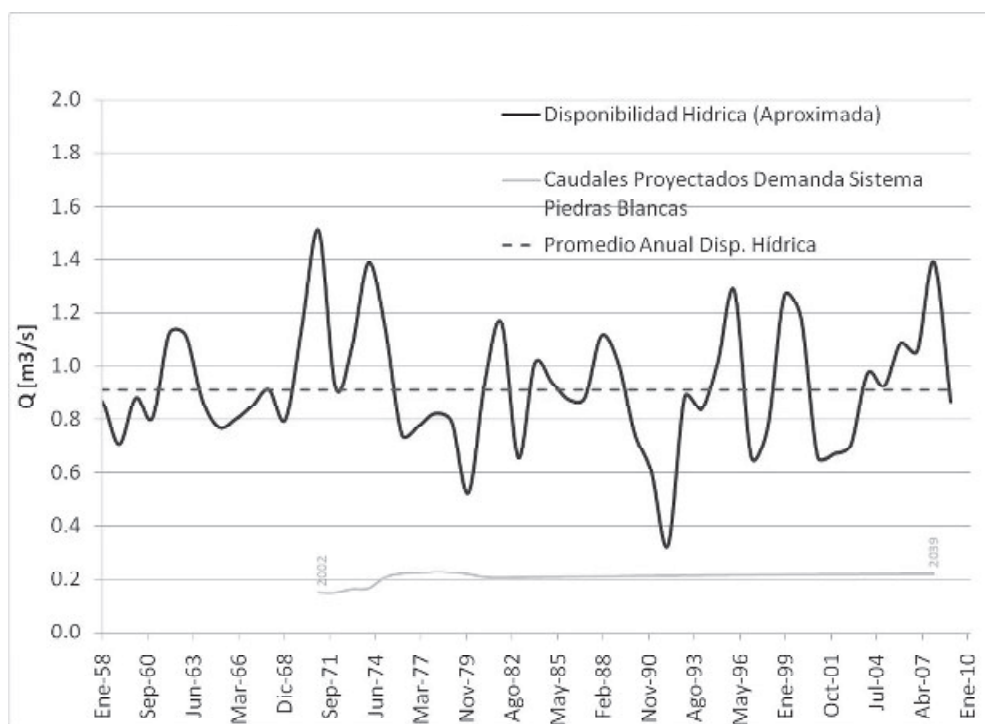


- **Disponibilidad hídrica para el sistema del embalse Piedras Blancas frente a los caudales futuros.**

Así como se realizó para el sistema de la Fe, se realizó el cálculo combinado de la oferta hídrica en este sistema desde el año 1958 al 2010. El embalse Piedras Blancas posee una capacidad de 1 Mm³ y se abastece de dos fuentes directas, Piedras Blancas y Chorrillos

y una fuente por transvase con bombeo para contingencia, La Honda. Estas fuentes abastecen tanto a la planta de potabilización La Montaña como Villa Hermosa; ésta última se puede alimentar del sistema interconectado. Las fuentes directas se encuentran monitoreadas con estaciones hidrométricas las cuales permitieron elaborar la Figura 7 donde se muestra la oferta hídrica y la demanda proyectada.

Figura 7. Caudales Medios Anuales Históricos Disponibles y Futuros Demandados para Piedras Blancas.

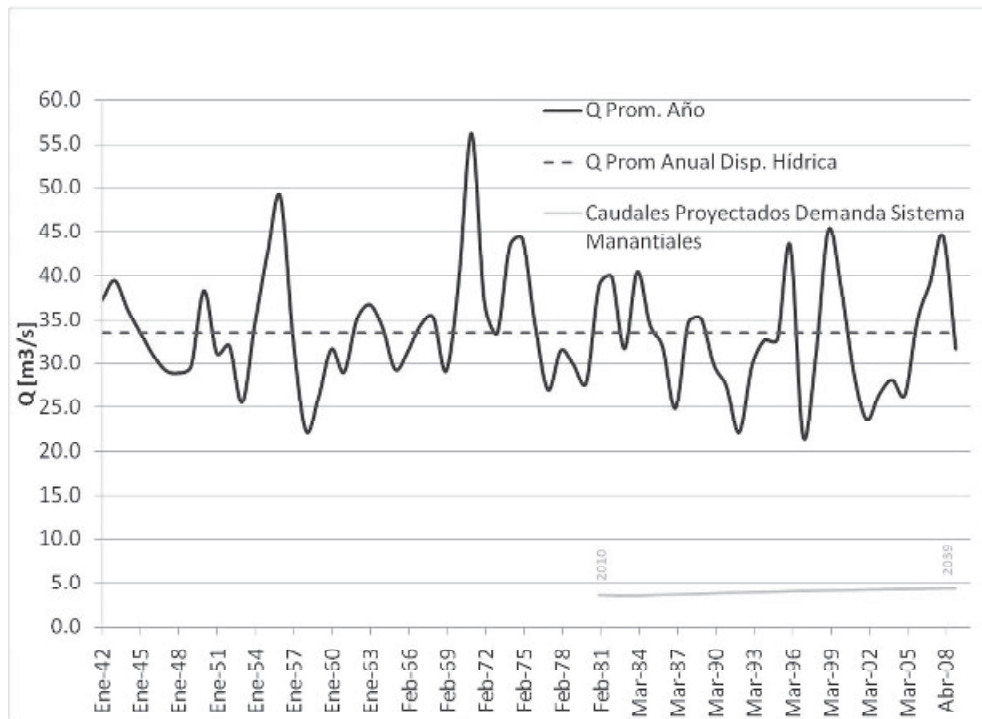


En los caudales proyectados se tomaron en cuenta los valores de caudal asociados a la Planta La Montaña, pero nuevamente, se ve de forma clara, que la oferta hídrica está por encima de la demanda en una relación de 300 l/s para el menor valor en 1991 ante 200 l/s que se espera demanden para este sistema aproximadamente en el 2020. Respecto a caudales altos, también se puede observar que de forma reciente, año 2007, los caudales han llegado a ser de 1.400 l/s.

- **Disponibilidad hídrica para el sistema el embalse Río Grande frente a los caudales futuros.**

Con cálculos similares y con el mismo propósito a lo presentado para los dos sistemas anteriores buscando comparar la demanda y la oferta hídrica para el sistema Río Grande, se recopiló la información y se procedió con el procesamiento de la misma obteniendo como resultado la Figura 8, donde no se ha incluido la proyección de la demanda de caudal para uso en generación de energía.

Figura 8. Caudales Medios Anuales Históricos Disponibles y Futuros Demandados para Río Grande.



Claramente se puede observar, con base en la Figura 8, que la oferta hídrica de las fuentes abastecedoras del embalse Río Grande II son muy superiores al caudal de demanda del sistema Manantiales por un orden de 4 a 1, es decir que apenas se utiliza en un 25% ($4 \text{ m}^3/\text{s}$) respecto al valor mínimo de la oferta que corresponde a $21 \text{ m}^3/\text{s}$.

Los cálculos de caudales de oferta hídrica de las fuentes comparados con la demanda futura del sistema de acueducto, para las principales infraestructuras de abastecimiento, Río Grande, Piedras Blancas y La Fe, hace pensar que en la actualidad y en el largo plazo no habrá déficit en la prestación del servicio por falta del recurso, pero algo real que pasa en los diferentes sistemas, es que cada vez hay mayor presión en las cuencas de abastecimiento, lo cual hace que las fuentes se vean más afectadas; esto genera un panorama de incertidumbre en el futuro hídrico, donde nos hace preguntarnos si la historia de caudales se volverá a comportar hasta el momento de acuerdo con los registros hidrométricos.

Buscando disminuir la incertidumbre mencionada, EPM emplea modelos de previsión hídrica de corto plazo los cuales buscan establecer de forma aproximada cómo será la operación del sistema de captación de agua cruda y el despacho de agua desde las plantas de Potabilización. Este modelo se presenta de forma teórica a continuación.

Previsión Hidrológica, Modelo de Despacho óptimo con resolución mensual.

El modelo de Despacho Óptimo está realizado en VBA - Excel con Integración del optimizador Lineal CPLEX. Al aplicativo se le puede ingresar los siguientes datos entre muchos otros:

- Disponibilidad Hídrica de las fuentes principales, Caudal Medio Mensual del periodo anterior para simulación de los tres meses siguientes.
- Costo por Kwh para los bombeos de agua cruda.
- Costos de los químicos necesarios en la planta de Potabilización.
- Volúmenes deseados en los embalse para el final de cada periodo.
- Evapotranspiración.

- Costos de mantenimiento de los equipos de bombeo.
- Beneficios por producción de energía en el sistema por las mini centrales Piedras Blancas, La Ayurá y Manantiales.
- Capacidad instalada de producción de agua potable de las plantas.

Con los datos anteriores, se simulan tres tipos de escenarios relacionados con la previsión hidrológica así:

Normal: donde las afluencias hídricas al sistema de captación se comportan de forma igual al mes registrado.

Optimista: donde las afluencias son superiores respecto al escenario Normal, implicará menos bombeo por sistema de contingencia. El valor menor es en un 10% respecto a la probabilidad de excedencia del escenario Normal.

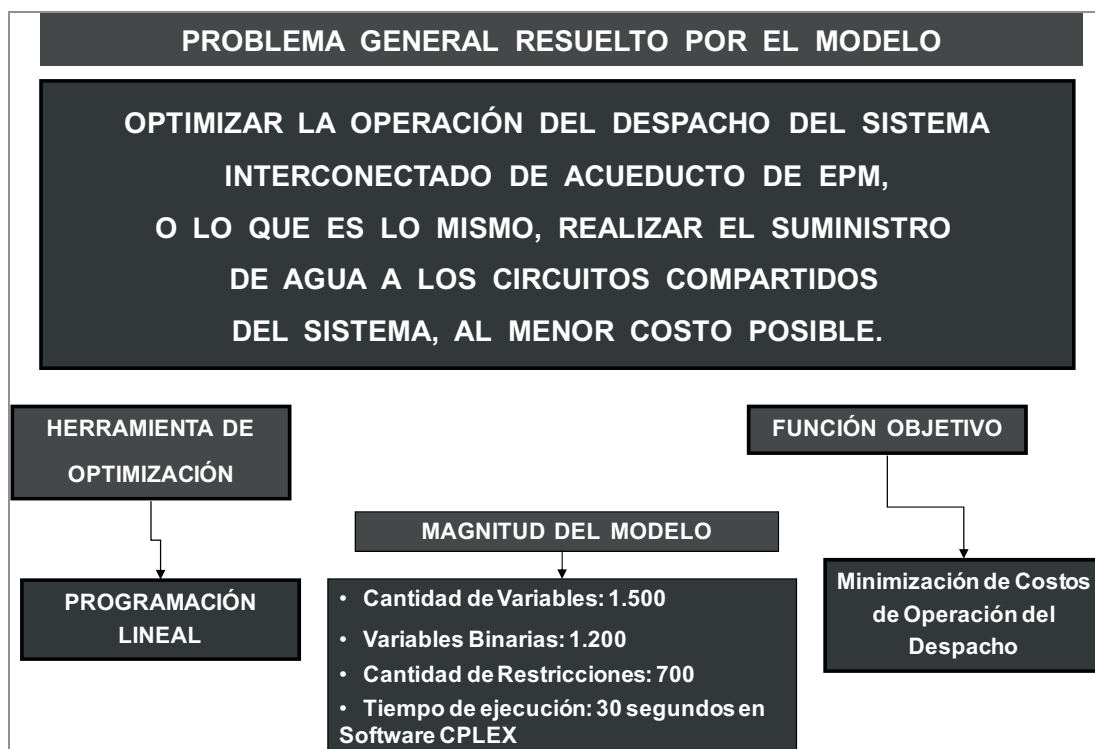
Pesimista: es cuando las afluencias son más bajas respecto al escenario normal. El valor mayor es en un 10% respecto a la probabili-

dad de excedencia del escenario Normal. Los resultados obtenidos de las tres simulaciones para cada mes de operación del sistema con proyección a los tres meses siguientes a la simulación son:

- Niveles de embalses para el final del periodo.
- Volúmenes de agua cruda bombeada.
- Caudales producidos por las plantas de potabilización.
- Cantidad de Kwh demandados por los sistemas de bombeo.
- Como operar los bombeos contingentes de agua cruda, caso Pantanillo, La Honda y Piedras.

Con los resultados obtenidos se realiza un informe vinculado al SGC de EPM y éste se socializa en el Área de Operación Acueducto y se busca seguir operativamente para obtener las metas de almacenamiento en los embalses. La Figura 9 esquematiza el modelo respecto a la solución que busca con base en la herramienta de optimización y la función objetivo que busca.

Figura 9. Esquema general del modelo de Optimización, en cuanto al problema a resolver la herramienta de Optimización y la Función Objetivo que busca.



CONCLUSIONES

Las principales fortalezas del sistema de acueducto de EPM para afrontar épocas de bajas o altas afluencias, tipo fenómenos El NIÑO o La NIÑA, son:

- Contar con el monitoreo hidrométrico histórico de las principales fuentes hídricas.
- Tener un sistema de embalses que permite aprovechar al máximo el recurso hídrico y modular el proceso de producción o potabilización según la oferta hídrica y la demanda del sistema.
- Tener un sistema de conducciones interconectado, generando algunas redundancias para el modo operativo de abastecimiento.
- Disponer de Infraestructura para transvases hídricos como son los bombeos La Honda, Piedras y Pantanillo, cuando las fuentes directas no son suficientes.
- Contar con herramientas informáticas que permiten una adecuada previsión en el manejo de los embalses, considerando factores, hídricos, productivos, energéticos y monetarios.

Referentes al planteamiento del Modelo de Despacho Óptimo

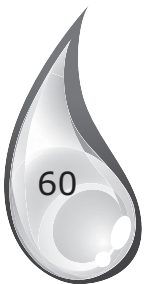
- Aprovechamiento de recursos de los que se dispone: caudales fuentes, volúmenes mínimos operativos.
- Elementos novedosos: valoración de los volúmenes en déficit y en exceso, posibilidad de valorar la evaporación, y costeo de mantenimientos de bombas.
- Reglas de operación cuidadosas.
- Optimización de la participación de las plantas.
- Comparación de volumen bombeado vs beneficios por generación de energía.

- Modelación de Contingencias.
- Interdependencia explícita entre los parámetros del sistema.
- La propuesta desarrollada de MODELO DE DESPACHO ÓPTIMO DEL SISTEMA INTERCONECTADO DE LAS EMPRESAS PÚBLICAS DE MEDELLÍN, reúne todas las condiciones generales que hacen parte de la operación del sistema y hoy en día está siendo aplicada para apoyar la planeación y operación del mismo.
- Si la explosión demográfica y urbanística en las cuencas abastecedoras del sistema de acueducto continúan sin mayor regulación por parte de los entes de control, la oferta hídrica se verá altamente impactada, lo que puede hacer repensar las formas actuales de captación que se tienen, pensando en fuentes alternativas de abastecimiento como las aguas subterráneas.

RECOMENDACIONES

Las posibilidades en el mediano plazo empleando el modelo son:

- Analizar el esquema tarifario actual respecto a los consumos de energía del sistema.
- Disminuir la resolución de tiempo para que se adapte mejor a las condiciones operativas del sistema.
- Implementar dentro del modelo las interconexiones con otros sistemas optimizando los posibles beneficios (Cadenas de energía).
- Utilizar en forma permanente el modelo como herramienta complementaria para la operación y toma de decisiones.
- Los parámetros medibles del modelo deben ser verificados periódicamente.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

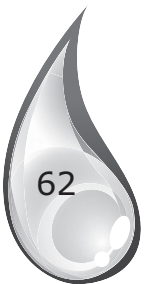
Folleto Corporativo EPM, Sistema de Acueducto y Aguas Residuales. 2010.

Centro de Control Acueducto EPM. Sistema de Información Hídrica, Scada SIH

Restrepo Benítez, Juan Carlos. Modelo de despacho óptimo del sistema de acueducto de las Empresas Públicas de Medellín E.S.P. [Recurso electrónico]. Medellín, 2001. Tesis de maestría en Recursos Hidráulicos. Universidad Nacional de Colombia.

Empresas Públicas de Medellín. Ingeniería de presas en Empresas Públicas de Medellín. Medellín, Diciembre 2008, 144 p.





EVOLUCIÓN DEL ENSO, SU CLASIFICACIÓN Y ESTADO DE AFLUENCIAS A EMBALSES DE COLOMBIA

Autor: José Lino Jurado Montaña. Profesional Independiente.

Correo electrónico: linojsig@hotmail.com

RESUMEN

Este trabajo revisa los eventos climáticos cálidos del océano Pacífico tropical, con base en las anomalías de temperaturas en la región Niño 3-4. Se realizó la selección de eventos El Niño – South Oscillation o ENSO, mediante la variable Intensidad que acumula las anomalías de temperatura, cuando estas superan el umbral 0,5 °C. Los eventos son ordenados por su intensidad y se evalúan sus influencias sobre los ríos afluentes a embalses que hacen parte del Sistema Interconectado Nacional de Colombia (SIN). El evento ENSO 1997-1998 ha sido el más fuerte observado en océano Pacífico pero el evento 1991-1992 tuvo mayor efecto en las afluencias a embalses de generación de Colombia, con base en datos de caudales disponibles desde 1965. Se presenta la evolución del evento 2009-2010, el cual se clasificó como moderado según la variable Intensidad.

PALABRAS CLAVES

ENSO; Afluencias; Clasificación Niños.

ABSTRACT

This paper presents a review of the warmest episodes in tropical Pacific Ocean, based on surface temperature anomalies in region Niño 3-4. The El Niño events are chosen through the variable Intensity, defined as the sum of anomalies, when they are greater than a threshold of +0,5 °C. The events are ranked by the Intensity to evaluate the influence over the dam's inflows that are part of the Interconnected National System of Colombia. The event Niño 1997-1998 has been the strongest observed in the Pacific Ocean but the event 1991-1992 had an important effect on the inflows dam used for generation in Colombia, based on records available from 1965. The evolution of the event 2009-2010 was classified as moderate according to Intensity.

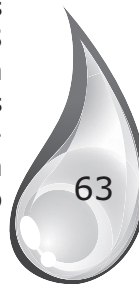
KEYWORDS

ENSO; Inflows; Rank of Niños.

INTRODUCCIÓN

La dependencia de la hidroclimatología colombiana de los eventos cálidos del Pacífico ecuatorial se evidenció con los episodios de racionamiento de energía de 1991-1992 ocurridos en Colombia. Desde ese entonces el monitoreo de la fases cálida y fría del ENSO, de sus siglas en inglés El Niño - Oscilación Sur, es importante para la planeación y operación el sector de energía de Colombia, y de otros sectores, como consta en los boletines locales y regionales IDEAM, CPPS y ERFEN. Así mismo se ha intensificado la investigación de las relaciones entre muchas variables de mesoescala y la hidroclimatología de Colombia y de otros países en la región sudamericana, como se ha descrito

lación Sur, es importante para la planeación y operación el sector de energía de Colombia, y de otros sectores, como consta en los boletines locales y regionales IDEAM, CPPS y ERFEN. Así mismo se ha intensificado la investigación de las relaciones entre muchas variables de mesoescala y la hidroclimatología de Colombia y de otros países en la región sudamericana, como se ha descrito



en trabajos previos (Poveda y Mesa, 1996 y 1997). La variable SST (anomalía de temperatura superficial del mar, de su sigla en inglés), es una de las más analizadas al igual que el SOI (índice de oscilación sur), como variables precursoras de anomalías climáticas, de afluencias bajas a los embalses (Jurado y García, 1998) y de caudales deficitarios (González, 1994; Jurado y Liebmann, 2003; Poveda y Mesa, 1997).

Dada la importancia del ENSO o del fenómeno del Pacífico en la hidrología colombiana, se han realizado trabajos sobre predicción de caudales (González, 1994; Mesa et al, 1995; Poveda et al, 2001). El grado de desarrollo del episodio de 1997 durante el invierno y la primavera australes ha sido mayor que cualquier otro registrado desde 1950 (Capel Molina, 1999). Sin embargo, este evento no tuvo el mismo impacto en el sistema de generación de Colombia como si ocurrió para el evento 1991-1992. Para el evento 1997-1998 se ha reportado los efectos espaciales y temporales de algunos ríos utilizados para generación hidráulica (Jurado y García, 1998), y se avanza en este trabajo conocer el grado de severidad en la disminución de las afluencias en la escala regional de Colombia y específicamente en las cuencas que abastecen embalses. La variabilidad

del clima colombiano es parte de un ciclo con una frecuencia entre 2 y 5 años, de alcance global, donde interactúan el océano, la atmósfera y el continente y cuya principal manifestación es el ENSO (Mesa, 2006). Jurado y Liebmann (2003) mostraron las relaciones entre una zona más restringida del océano Pacífico, conocida como región Niño SST3-4, localizada en 170°W - 120°W y 5°N - 5°S y los caudales de varios ríos afluentes a los principales embalses del Sistema Interconectado Nacional - SIN. Además de la influencia de la temperatura superficial del mar en los caudales, también se han evaluado otros patrones de variabilidad como la Oscilación del Atlántico Norte (de sus siglas en inglés NAO) (Mesa, 2006).

MATERIALES Y MÉTODOS

Datos y regiones hidrológicas de embalses. Del Centro de Predicción Climática (CPC) de la NOAA se tomaron los datos mensuales de las anomalías de SST de la región Niño 3-4 desde 1950, referido en adelante como SST3-4 (<http://www.cpc.ncep.noaa.gov>). Se consideraron las regiones hidrológicas agrupadas por el CND (Centro Nacional de Despacho), según la Tabla 1. Los 24 ríos conforman los principales afluentes a embalses del SIN.

Tabla 1. Regiones hidrológicas y ríos del SIN

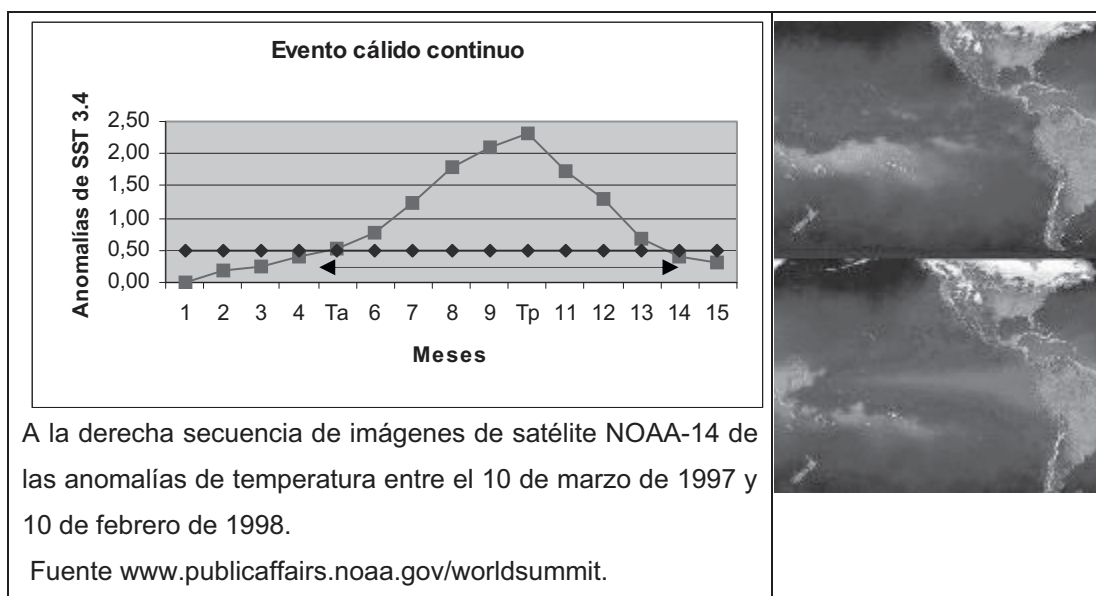
REGIÓN	RIO
Antioquia	San Lorenzo, Concepción, Desviaciones EPM, Grande, Guadalupe, Guatapé, Miel I ¹ , Nare, Porce II, San Carlos y Tenche.
Valle	Alto Anchicayá, Calima, Cauca-Salvajina Digua y Florida II.
Centro	Bogotá no regulado, Magdalena-Betania y Prado.
Oriente	Batá natural, Blanco, Chuza y Guavio.
Caribe	Sinú-Urrá

En estudio previo de Jurado y Liebmann (2003) se encontró que al correlacionar la SST 3-4 con caudales de los ríos localizados entre los valles interandinos no todos muestran una relación espacial uniforme, siendo más fuerte para la región del Valle y más débil para los ríos de la región Oriente. Para la operación del sistema eléctrico la mayoría de los registros inicia en 1965, por lo que el análisis comparativo de afluencias con SST3-4 se realizó a partir de ese año.

Selección de eventos cálidos. Se identificaron los eventos cálidos cuyas anomalías de SST3-4 sean mayores que 0,5 °C. Este es el umbral definido también por CPC/NOAA para el índice oceánico del Niño de promedios tri-

mestres de SST. Seguidamente se escogieron los registros mensuales cuyas anomalías mostraran consecutivamente valores mayores al umbral. En la Figura 1, se observa la evolución típica de un evento cálido, para el cual se define T_a como el tiempo antecedente de calentamiento en meses, desde el último mes en que SST se convierte en anomalía positiva hasta el mes cuya anomalía de temperatura supera el umbral, en el ejemplo T_a es 4 meses. También se determina para un evento el T_p o tiempo al pico del episodio, desde el mes T_a . Este evento hipotético, el T_p = 5 meses desde su inicio y hasta bajar del umbral con T_f = 14, para una duración de 9 meses.

Figura 1 Evolución típica de un cálido



Criterios de clasificación. Luego de seleccionar los meses consecutivos con el criterio de búsqueda de anomalías mencionado, se encontraron 17 eventos desde enero de 1950. Con el fin de clasificarlos se tuvieron en cuenta dos criterios: la duración y la

magnitud de anomalía; para ello se define la variable Intensidad como la suma de las anomalías de SST3-4 desde el inicio del episodio T_i hasta el fin del mismo T_f , siempre y cuando las anomalías SST > 0,5 °C.

$$Intensidad = \sum_{t=T_i}^{t=T_f} SST_t \quad [^{\circ}C] \quad \text{Ecuación 1}$$

Este índice representa la magnitud combinada con la duración de un evento ENSO. Ambos son igualmente importantes como factores de la intensidad. Los valores de Intensidad para cada evento, se ordenan para clasificar los eventos ENSO más fuertes. En una clasificación previa de la base de datos de SST de la NOAA del período enero de 1950 a diciembre de 2007, realizada por el autor, se encontraron 17 eventos con la con-

dición SST >0,5°C, como mínimo durante cuatro meses continuos. Resultaron 163 meses de un total de registros disponibles (696 meses), lo que equivale a decir que el 26,1% del tiempo esta parte del océano Pacífico es más cálido que su promedio (Jurado, 2010).

Determinación de afluencias por regiones. El caudal de un río se transforma en energía afluyente:

$$\text{Energía (río } i) = 0.024Q_i \times FC_i \times t \quad [\text{GWh/mes}] \quad \text{Ecuación 2}$$

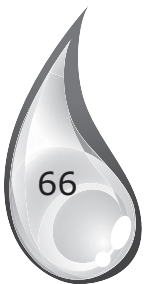
RESULTADOS

Donde Q_i (m^3/s), FC_i factor de conversión de la central hidroeléctrica i y t es el número de días del mes. Para determinar las afluencias energéticas por regiones se agregan los valores equivalentes de los ríos que componen la región hidrológica. Al comparar la afluencia de un mes y un año específico, con la media mensual multianual se obtiene la afluencia en %.

Clasificación de eventos. En la Tabla 2 se presentan las características de los eventos encontrados, donde T_i es el mes de inicio, T_f mes de finalización y T_p , el tiempo transcurrido en meses para alcanzar la anomalía de SST máxima. Para el conjunto de eventos ordenados por severidad, el de 1997-1998 mostró la máxima Intensidad con 24,7 °C, seguido por 22,1 °C del período 1982-1983.

Tabla 2 Eventos cálidos desde 1950 – Anomalías °C en la región Niño 3.4.

PERIODO	DURACIÓN (MESES)	SST MEDIA	SST _{max}	T _i	T _f	T _p	INTENSIDAD	NO. MESES ANTECEDENTES
1951	4	0,77	0,80	8	12	3	3,1	2
57-58	14	0,94	1,91	7	8	6	13,2	5
63-64	7	0,94	1,11	7	1	5	6,6	1
65-66	12	1,17	1,84	6	6	6	14,0	3
68-70	13	0,85	1,18	11	1	2	11,1	5
72-73	11	1,36	2,14	5	3	7	14,9	1
76-77	5	0,82	0,98	9	1	1	4,1	2
77-78	4	0,75	0,83	10	1	3	3,0	5
82-83	14	1,65	2,85	5	6	8	23,1	5
86-88	18	1,25	1,88	9	2	11	22,6	3
91-92	14	1,18	1,94	5	6	9	16,5	16
1993	4	0,82	1,06	3	6	2	3,3	3
94-95	6	1,02	1,40	8	2	3	6,1	5
97-98	13	1,90	2,80	5	5	6	24,7	1
02-03	10	1,16	1,75	6	3	5	11,6	4
04-05	7	0,75	0,84	7	1	5	5,3	3
06-07	6	0,89	1,29	8	1	4	5,3	3
09-10	10	1,08	1,72	7	4	5	10,8	2
Media	10	1,07	1,56	7	4	5	11,1	3,8



En cuanto a la duración de las anomalías ENSO, por lo general inician entre la primavera y verano del hemisferio norte, con una duración media de 10 meses. Si se asume que T_i inicia en el umbral definido, los eventos más largos han sido los de 57-58, 82-83 y 91-92. Para Capel Molina (1999), la duración promedio de un episodio Niño es de 12 a 18 meses, considerando el de 1997-1998 como patrón para estudiar las fases de desarrollo de un episodio ENSO. Las fases identificadas son inicio, desarrollo y madurez (IDEAM, 2005). Del análisis de los 18 eventos (hasta junio de 2010) se deduce que el T_a , tiempo antecedente para llegar al umbral es 3,8 meses en promedio, siendo atípico el

de 1991-1992, con 16 meses de duración previa al umbral y puede que por este estado fueron notables sus efectos. La máxima anomalía de SST_{max} de 1,94 °C ocurrió en mayo de 1992. Las anomalías de SST entre T_i y T_f se promediaron para cada evento y se indican como anomalía media en la Tabla 3. En la Figura 2 se aprecian los cuatro eventos de mayor intensidad, según la clasificación propuesta, al igual que la evolución reciente de la temperatura entre julio/09 y abril/10. En la Tabla 3 se presenta la clasificación de los 18 eventos registrados en un rango definido por el autor. El evento 2009-2010 que se clasificó como moderado, con un valor de Intensidad de 10,8 °C.

Figura 2. Evolución del ENSO 2009 - 2010



Relación entre eventos ENSO y efectos de las afluencias regionales. La segunda parte del análisis se realizó simultáneamente en las 5 regiones hidrológicas indicadas en la Tabla 1, para examinar los efectos de los ENSOs más críticos. La Tabla 4 muestra los valores medios y mínimo mensual de afluen-

cias, el rezago t en meses, es (+) si el valor mínimo de afluencia se presentó después del valor máximo SST (T_p) y el mes en que se presentó la afluencia más baja. Para evaluar el efecto regional, se consideraron sólo las afluencias dentro del intervalo $[T_i, T_f]$ definido para cada evento ENSO.

Tabla 3. Los Niños más fuertes, ordenados por Intensidad

RANGO INTENSIDAD °C	TIPO DE EVENTO	# EVENTOS	SST MEDIA °C	INTENS. MEDIA
3.0 a 8.0	Débil	8	0,84	4.6
8.1 a 16.0	Moderado	6	1,09	12.6
> 16.1	Fuerte	4	1,49	21.7

ORDEN	PERIODO	INTENSIDAD	DURACIÓN EN MESES	SST MEDIA °C
1	97-98	24,7	13	1,90
2	82-83	23,1	14	1,65
3	86-88	22,6	18	1,25
4	91-92	16,5	14	1,18

En la parte superior de la Tabla 4 se observa que durante 1997-1998 las afluencias medias fueron las más bajas de todos los eventos. Las regiones Centro y Antioquia, mostraron un 57 y 63 % respectivamente y el agregado total fue 68%. Para los otros eventos no hay coincidencia entre la clasificación por intensidad de los eventos en el Pacífico y las afluencias regionales. El ENSO 91-92, ordenado como 4° en Intensidad en el océano, resultó como 2° por el valor medio de afluencia. El 82-83, como el segundo más intenso en el Pacífico, no tuvo efecto en la hidrología regional.

La mínima afluencia mensual ocurrió en el Valle, con un 23% en diciembre de 1997. Durante los eventos Niño, las regiones Oriente y Caribe no son tan afectadas como las otras tres. Jurado y Liebmann (2003) mostraron la relación débil de los ríos de esta zona con las anomalías SST3-4. Además el río Sinú (único río de la región Caribe) tiene un patrón hidrológico influenciado en parte por alisios como ocurre definitivamente en Oriente. Para el promedio de los ENSOs, IDEAM (2005) menciona que el Caribe colombiano presenta déficit en zonas extensas.

Tabla 4. Afluencias mensuales durante eventos ENSO

VALORES MEDIOS DE AFLUENCIAS MENSUALES (%)							
Evento	Antioquia	Oriente	Centro	Valle	Caribe	Total	Mínimo
65-66	89	94	82	76	80	87.9	57
72-73	90	90	85	70	89	90.1	
82-83	86	121	109	86	89	98.2	
86-88	85	97	94	77	94	88.9	
91-92	76	82	75	74	72	78.3	
97-98	63	76	57	67	75	68.0	
VALORES MÍNIMOS DE AFLUENCIAS MENSUALES (%)							
Niño	Antioquia	Oriente	Centro	Valle	Caribe	Total	Mínimo
65-66	65	36	38	52	35	56.1	23
72-73	66	43	50	30	43	59.4	
82-83	70	68	57	53	53	76.4	
86-88	61	63	56	48	53	63.0	
91-92	52	45	29	51	39	57.1	
97-98	47	40	23	33	44	43.9	
REZAGOS MENSUALES CON RESPECTO A LA ANOMALÍA MÁXIMA DE SST 3-4							
Niño	Antioquia	Oriente	Centro	Valle	Caribe	Total	Moda
65-66	-5	5	5	2	-5	5	1.5
72-73	1	-7	-2	2	2	2	
82-83	1	-7	-2	1	1	-2	
86-88	-2	6	-2	-5	-5	-2	
91-92	-5	1	3	2	2	3	
97-98	-3	1	1	2	2	1	
MESES DE OCURRENCIA DE AFLUENCIAS MÍNIMAS							
Niño	Antioquia	Oriente	Centro	Valle	Caribe	Total	Moda
65-66	Jul-65	May-66	May-66	Feb-66	Jul-65	May-66	Feb
72-73	Feb-73	Mar-73	Oct-72	Feb-73	Feb-73	Feb-73	
82-83	Feb-83	Jun-82	Nov-82	Feb-83	Feb-83	Nov-82	
86-88	Jun-87	Feb-88	Jun-87	Mar-87	Feb-83	Jun-87	
91-92	Sep-91	Mar-92	May-92	Abr-92	Abr-92	May-92	
97-98	Ago-97	Dic-97	Dic-97	Feb-98	Feb-98	Dic-97	

En negrilla se indican los valores mínimos de afluencias para los seis eventos más intensos.

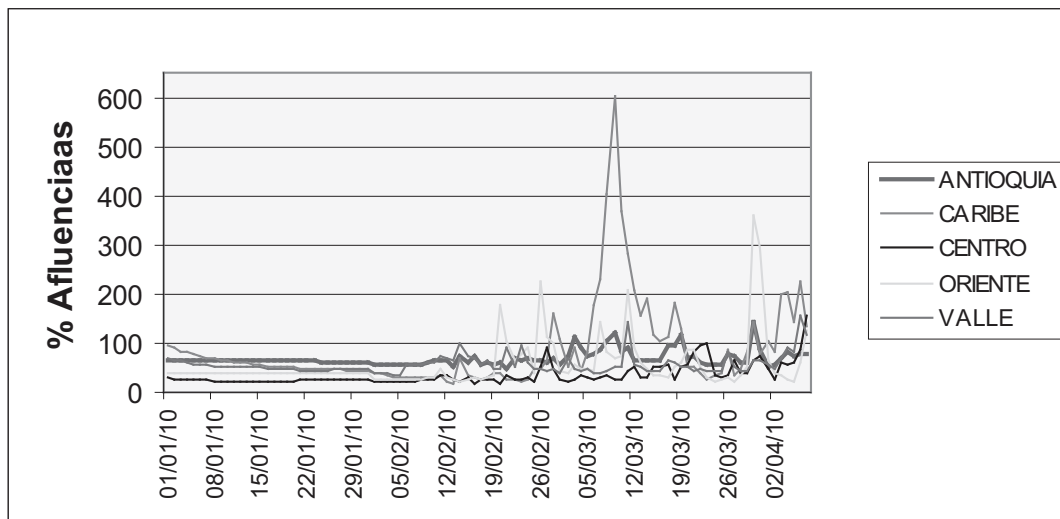
La región Valle fue severamente afectada por el ENSO 72-73, con una afluencia mínima de 30% en febrero de 1973. Para el Centro, el evento 97-98 impactó con una sequía durante unos 8 meses, con afluencias menores a 60% de la media. Para el Caribe, los eventos ENSO suelen presentarse entre diciembre y junio, con afluencias entre el 40 y 80%. Sin embargo situaciones climáticas del mar Caribe han perturbado el transcurso del Niño, en los meses de enero a marzo, como ocurrió en 65-66 y 97-98.

Otra característica del ENSO en Colombia es el rezago temporal, entre 1 y 2 meses luego de alcanzar el pico máximo en la región SST 3-4. En casi todos los eventos ocurridos en el Valle y aún en el Centro y Antioquia se presentaron las mínimas afluencias entre 2 y 3

meses antes de ocurrir la máxima anomalía, es decir con rezago (-).

El evento 2009-2010, llegó a afectar las afluencias en casi todas las regiones, excepto en el Caribe (ver Figura 3 y Figura 4, a mayor detalle en la escala vertical). El evento 2009-2010 que aunque se clasificó como moderado desde el punto de vista de su causa, la intensidad de las anomalías SST, produjo afluencias del 47% en enero de 2010. Debido a esto, el Consejo Nacional de Operación entró a plantear estrategias de operación de los embalses a corto y mediano plazo, pero en marzo de 2010 se presentaron mayores afluencias por el paso de la ZCIT sobre el territorio colombiano y en consecuencia se normalizaron las afluencias a embalses.

Figura 3. Aportes hidrológicos por regiones



CONCLUSIONES

- La variable Intensidad permitió clasificar los eventos ENSO. Se encontraron 18 eventos desde enero de 1950 a abril de 2010, con base en registros del CDC/

NOAA, de los cuales se tomaron los seis de mayor intensidad y se compararon con las afluencias de cinco regiones hidrológicas de Colombia, que comprenden actualmente 24 ríos que abastecen embalses.

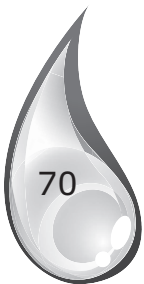
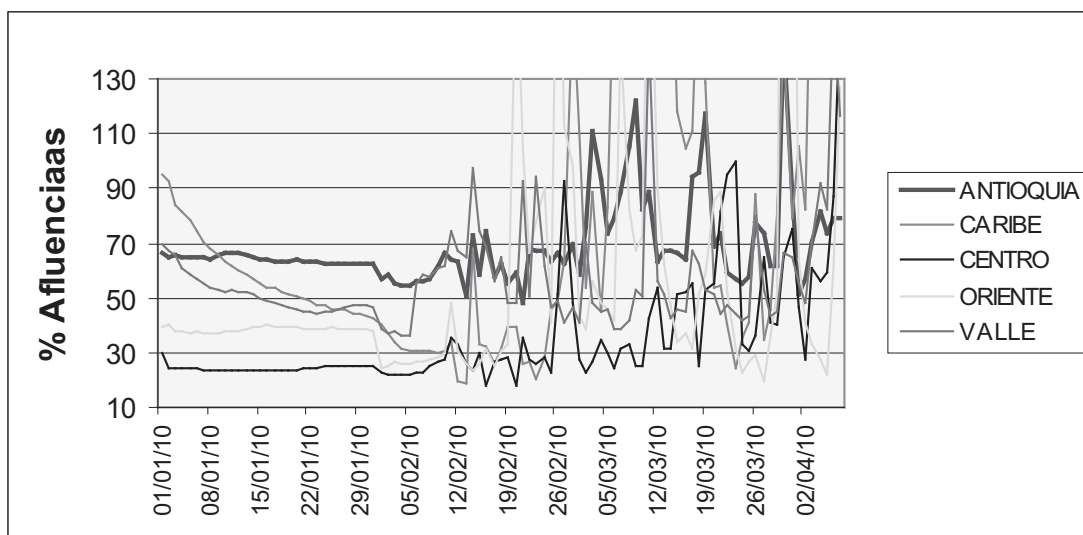


Figura 4. Distribución de lluvias durante eventos Niño (IDEAM 2005)



- Hay una dependencia no lineal de los caudales de los ríos del SIN, agregados por regiones hidrológicas, cuando se presentan eventos Niño. El evento de mayor impacto fue el de 1997-1998 en todas las regiones, con un 68 % del valor histórico agregado y las afluencias medias bajaron hasta 57, 63 y 67% en las regiones Centro, Antioquia y Valle respectivamente. La afluencia mínima mensual de los seis eventos analizados, fue en la región Centro con 23% y se presentó en diciembre de 1997.
- Cuando se alcanza el valor máximo de anomalías de temperaturas en la región SST3-4, los efectos en las afluencias se observan en promedio 2 meses después, tal como ocurrió en el evento 97-98. Los ENSOs más fuertes, tienen mayor efecto en las afluencias de los embalses de las regiones Centro, Antioquia y Valle.
- El evento 2009-2010 se clasificó como moderado por la variable Intensidad medida a partir de las anomalías de SST en la región Niño 3-4 y tuvo su mayor efecto en las afluencias en el primer trimestre de 2010.

AGRADECIMIENTOS

El autor agradece a Claudia Lucía Álvarez Tobón, Directora Ambiental de ISAGEN S.A. por facilitar al autor los recursos para la presentación de este trabajo y a Johana Jiménez de ISAGEN S.A., por suministrar los registros de afluencias del Sistema Interconectado Nacional.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Capel Molina, J.J. 1999. El Niño y el sistema climático terrestre. Barcelona: Editorial Ariel, S.A., 157 pp.
- González, H.O. 1994. Modelos estadísticos para pronosticar caudales a nivel mensual en Salvajina. *Atmosfera*. 22: 32-36.
- IDEAM. 2005. Atlas climatológico de Colombia. Bogotá: IDEAM.
- Jurado, J.L., J.C. García. 1998. Operación de centrales hidroeléctricas de ISAGEN S.A., durante el evento Niño 1997-98. Seminario Latino-Americano sobre los Impactos del Niño/La Niña na gestão recursos hídricos em sistemas hidroelétricos. Rio de Janeiro: CIER-Eletronbras.

Jurado, J.L., B. Liebmann. 2003. Relaciones entre caudales mensuales en ríos de Colombia y las temperaturas superficiales del mar en la zona tropical. *Meteorología Colombiana*. 7: 37-52.

Jurado, J.L., 2010. Eventos climáticos cálidos y efectos regionales en embalses, en: *Cambio climático, recursos naturales y desarrollo sostenible*. VIII Congreso Colombiano de Meteorología, Editor: Universidad Tecnológica del Chocó, Quibdó, Colombia, 2010, pps. 275-291.

Mesa, O., R. Smith, J.E. Salazar, L.F. Carvajal. 1995. Modelos de predicción de caudales para el sector eléctrico colombiano Parte I: Modelos mensuales y modelo semanal. *Avances en Recursos Hidráulicos* 3: 1-18

Mesa, O. J. 2006¿A dónde va a caer este globo? Acerca del futuro de la tierra. Medellín: Universidad Nacional de Colombia.

Poveda, G., O.J. Mesa. 1996. Las fases extremas del fenómeno ENSO (El Niño y La Niña) y su influencia sobre la hidrología de Colombia. *Ingeniería Hidráulica en México*. XI: 21-37.

Poveda, G., O.J. Mesa. 1997. Feedbacks between hydrological processes in tropical South America and large-scale ocean-atmospheric phenomena. *J. Climate*. 10: 2690-2702.

Poveda, G., C. Hoyos, J.F. Mejía, L.F. Carvajal, O.J. Mesa, A. Cuartas, J. Barco. Predicción no lineal de la hidrometeorología de Colombia. Caso de Estudio: Caudales del río Nare. *Memorias del IX Congreso Latinoamericano e Ibérico de Meteorología*, 7-11 de mayo de 2001, Buenos Aires.



ESTRÉS CLIMÁTICO EN ECOSISTEMAS DE ALTA MONTAÑA DE LA CORDILLERA CENTRAL: POSIBLES IMPACTOS EN LA OFERTA HÍDRICA SUPERFICIAL

Autor: Daniel Ruiz Carrascal, María del Pilar Arroyave Maya, María Elena Gutiérrez Lagoueyte y Paula Andrea Zapata Jaramillo. Escuela de Ingeniería de Antioquia. Grupo de Investigación "Investigación en Gestión Ambiental".

Correo electrónico: pfcarlos@eia.edu.co, maarr@eia.edu.co, ammagut@eia.edu.co y ampaza@eia.edu.co

RESUMEN

Los ecosistemas de alta montaña (bosques alto-Andinos, páramos y glaciares) son considerados zonas estratégicas debido a los numerosos bienes y servicios ambientales que ellos ofrecen a la sociedad. Al mismo tiempo se caracterizan por tener una alta vulnerabilidad a los efectos del cambio climático global. Bajo este contexto, en el Parque Nacional Natural (PNN) Los Nevados y sus alrededores, específicamente en las cuencas hidrográficas de los ríos Claro, Otún y Chinchiná, se han analizado los cambios en las condiciones climáticas y los impactos potenciales sobre el recurso hídrico y la integridad ecosistémica, con miras a proporcionar herramientas encaminadas a la conservación de estos ecosistemas y la definición de medidas de adaptación frente al cambio climático.

PALABRAS CLAVES

Páramos, alta montaña, recurso hídrico, condiciones climáticas, Parque Nacional Natural Los Nevados

ABSTRACT

High mountain ecosystems (high Andean forests, páramos and glaciers) are considered highly strategic areas due to the many environmental goods and services they provide to society. High altitude environments are also characterized by their high vulnerability to the effects of global climate change. In this context, in Los Nevados National Park and its surrounding areas, specifically in the high-altitude watersheds of the Claro, Otún and Chinchiná rivers, we analyzed changes in climatic conditions and their potential impacts on surface water supply and ecosystems integrity, in order to provide tools for the conservation of these unique environments and the definition of adaptation strategies to climate change.

KEYWORDS

Páramos, high mountain ecosystems, water resources, climatic conditions, Los Nevados National Park



INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas de alta montaña tropicales se encuentran ubicados en las montañas de Centro y Suramérica por encima de los bosques andinos de niebla o bosques montanos (2.000–3.500 msnm.), y por debajo de las zonas de glaciación (Rangel, 2000). Debido a sus condiciones climáticas y a sus características edáficas y de vegetación los páramos proveen numerosos bienes y servicios ambientales, entre ellos, altos niveles de biodiversidad y una permanente oferta de agua para el consumo o uso doméstico, agrícola e industrial (Buytaert et al., 2006). Las condiciones climáticas históricas de estos ambientes de montaña incluyen temperaturas promedio inferiores a 10°C, presencia continua de nubes y niebla, alta radiación ultravioleta, baja presión atmosférica, fuertes vientos y eventos ligeros de precipitación (Castaño, 2002; Gutiérrez et al., 2006; Ruiz et al., 2008). Sin embargo, algunas de estas condiciones han venido cambiando dramáticamente en las últimas décadas.

Aunque los factores biofísicos presentan una considerable variabilidad natural en los Andes, las actividades humanas en las escalas local, regional y global están generando una importante presión en los ecosistemas de alta montaña (Foster, 2001; Díaz et al., 2003). En Colombia, estas áreas estratégicas han sido reconocidas como zonas especialmente vulnerables a cambios en condiciones climáticas (IDEAM, 2001). En particular, ha sido reportada la ocurrencia de acelerados cambios ambientales e importantes alteraciones en la integridad de las zonas de páramo en los últimos años (Castaño, 2002; WBG, 2006; Gutiérrez et al., 2006; Ruiz et al., 2008). Estas alteraciones incluyen déficit hídrico durante períodos secos debido a la desaparición de humedales de alta montaña y la ablación glaciación, abruptas pérdidas de biodiversidad, ocurrencia frecuente y rápida dispersión de incendios de alta montaña (naturales o inducidos por actividades humanas) e incremento en la erosión, entre otros.

Conscientes de esta crítica situación, el grupo 'Investigación en Gestión Ambiental-IGEA' de la Escuela de Ingeniería de Antioquia, en su línea de profundización en Hidroclima-

tología, ha venido desarrollando un trabajo que apunta hacia el entendimiento de las señales de cambio y/o variabilidad climática en zonas de alta montaña, con particular énfasis en la oferta del agua y la integridad ecosistémica. El trabajo se ha abordado desde los siguientes seis ejes temáticos (Ruiz et al. 2009): (i) Nivel de condensación por elevación; (ii) Balance de agua; (iii) Zonas de vida; (iv) Incendios; (v) Integridad ecosistémica y (vi) Condiciones climáticas. Este artículo resume los principales resultados del análisis hidrológico realizado para las cuencas de los ríos Claro, Otún y Chinchiná, y algunos aspectos importantes del análisis de condiciones climáticas en el área de estudio.

ÁREA DE ESTUDIO

Una de las áreas más representativas de los páramos colombianos se encuentra en el PNN Los Nevados, en el macizo volcánico Ruiz-Tolima, en la Cordillera Central de los Andes (CCAC). Esta área protegida está ubicada en el dominio espacial 04°25'N-05°15'N y 75°00'W-76°00'W, en la región hidroclimática del Alto Cauca, y abarca zonas de bosque de niebla, subpáramo, páramo y superpáramo, así como tres glaciares ubicados en el Volcán Nevado del Ruiz (5.321 msnm), el Volcán Nevado Santa Isabel (4.950 msnm) y el Volcán Nevado del Tolima (5.200 msnm) (UAESPNN, 2000). Numerosas corrientes que nacen en zonas de glaciación de los nevados del Ruiz y Santa Isabel fluyen por la vertiente occidental de la cordillera Central, contribuyendo a las cuencas altas de los ríos Claro, Otún y Chinchiná, en las que se ha concentrado el estudio de caso. Estas cuencas hidrográficas han sido consideradas en la región como altamente estratégicas por el abastecimiento hídrico constante que proveen a numerosas comunidades que habitan las zonas bajas.

METODOLOGÍA

Con el fin de tener un entendimiento de la cuenca del río Claro, se realizó un análisis hidrológico que se encuentra estructurado en cuatro secciones, las cuales se describen a continuación (información específica sobre cada una de estas secciones puede ser consultada en Ruiz et al., 2009). En la prime-

ra sección se describe de manera general la cuenca y sus principales tributarios, se presentan los parámetros morfométricos para toda el área de drenaje y sus 25 sub-cuencas, y se hace una estimación de sus tiempos de concentración. La segunda sección presenta una representación sistémica de la cuenca piloto y se hace un primer estimativo del balance hídrico de largo plazo para toda el área de drenaje y sus sub-cuencas bajo condiciones climáticas históricas y futuras. Para el análisis de condiciones futuras, en particular, se consideran las tendencias en temperatura, precipitación y humedad relativa que se observan en el área de influencia de la cuenca hidrográfica y que son estadísticamente significativas a un nivel de significancia de 0,05 (Ruiz et al., 2011b). La tercera sección recopila la información tomada en campo durante las salidas técnicas al PNN Los Nevados, haciendo particular énfasis en el monitoreo de los cuerpos de agua ubicados en las zonas de nacimiento de la cuenca piloto. Cuatro cuerpos de agua (ID#1, ID#2, Laguna Cristal y ID#17) han sido georreferenciados y están siendo monitoreados a través de registros fotográficos de alta resolución (desde un mismo sitio de referencia) y mediciones de perímetro con Sistemas de Posicionamiento Global de alta precisión. Cabe notar que las campañas de monitoreo también han incluido aforos en el cauce principal y en sus afluentes, y estimativos de parámetros de calidad del agua (temperatura del agua y del ambiente, pH, conductividad, oxígeno disuelto). Adicionalmente se ha instalado una red de niebla con el objetivo de cuantificar la precipitación horizontal en la zona. Finalmente, la cuarta sección analiza las condiciones hidrológicas observadas en el río Claro y dos cuencas paralelas: el río Chinchiná y el río Otún, ubicadas al norte y al sur de la cuenca del río Claro, respectivamente. Los análisis de homogeneidad se concentran, sin embargo, en torno a las últimas dos corrientes mencionadas, dada la discontinuidad que los registros históricos de caudales del río Claro muestran en general.

El análisis de las condiciones climáticas se ha llevado a cabo en tres escalas espaciales: nacional, regional y local. En los ámbitos nacional y regional se hizo un análisis exploratorio con miras a detectar tendencias

en temperaturas medias anuales y precipitaciones totales anuales observadas (y disponibles) en todo el país y a lo largo de un transecto latitudinal a 5° latitud norte. Para la escala local, correspondiente al área de influencia de la cuenca en estudio, se seleccionaron las estaciones meteorológicas localizadas en el dominio espacial 04°25'N-05°15'N y 75°00'W-76°00'W, y se realizó un análisis exhaustivo de las variables climáticas de brillo solar, precipitación, temperatura mínima, temperatura máxima, humedad relativa y rango diurno de temperatura. Este análisis comprende la estimación de los ciclos anuales de dichas variables bajo condiciones históricas, los análisis exploratorios con miras a detectar posibles tendencias en los registros mensuales y anuales, y finalmente los análisis estadísticos confirmatorios para determinar no-homogeneidades (cambio en la media, cambio en la varianza y tendencias significativas a un nivel de probabilidad de 95%) en las series de tiempo. Los resultados de los análisis exploratorios y confirmatorios para la escala local pueden ser consultados en Ruiz et al. (2011a y 2011b).

RESULTADOS

Descripción de la cuenca

El cauce principal de la cuenca alta del río Claro nace en el complejo de lagunas y turberas que se encuentran en la base del costado nor-occidental del Nevado Santa Isabel, a aproximadamente 4.500 m sobre el nivel del mar (ver Figura 1). El río Claro escurre sus aguas por el flanco occidental de la Cordillera Central de los Andes hasta encontrarse con el río Molinos a 1.850 m, luego descarga sus aguas al río Chinchiná (1.350 m), para finalmente desembocar en el río Cauca.

La cuenca ha sido dividida en 25 sub-cuencas, cuyos parámetros morfométricos (parámetros físicos, de forma, de relieve y asociados a la red de drenaje) se determinaron utilizando la plataforma Sistema de Información Geográfica (SIG) del proyecto. La cuenca del río Claro es una cuenca ovalada con forma de pera, que posee un área de drenaje aproximada de 191 km², una longitud de 19,9 km, un perímetro de 65,4 km y una longitud del cauce principal de 23,3 km.



Las pendientes promedio de la cuenca y del cauce principal alcanzan, respectivamente, 9,71% y 13,1%, sugiriendo una alta velocidad de escurrimiento y un considerable poder erosivo. El tiempo de concentración estimado para el punto de confluencia con el río Molinos es de 120 minutos.

Balance de agua

El estimativo del balance hídrico de largo plazo se ha realizado como un primer ejercicio en el entendimiento de la posible afectación del cambio climático sobre la oferta hídrica superficial. Los valores de precipitación total anual para toda el área de drenaje y cada una de sus sub-cuencas (bajo condiciones históricas y futuras) son el resultado del promedio ponderado de los registros observados y esperados en las estaciones que tienen influencia sobre la zona. Los valores totales anuales de evapotranspiración real/potencial han sido determinados a través de las ecuaciones propuestas por Turc (1955), Coutagne (1948), Cenicafé (Jaramillo, 2006), Thornthwaite (1944) y García y López (1970). El caudal promedio anual en el punto de confluencia con el río Molinos alcanza 4,08 m³/s para condiciones históricas. Bajo condiciones de disminución de la precipitación total anual por encima del óptimo pluviométrico (Ruiz et al. 2009, 2011b) y un aumento generalizado de la temperatura promedio del aire, el caudal medio anual en el año 2050 podría estar entre un 5-7% por debajo del caudal medio anual histórico estimado (ver Figura 2).

Monitoreo de cuerpos de agua

Se han encontrado numerosos cuerpos de agua en las cabeceras de la cuenca del río Claro, que no logran ser identificados en la cartografía básica del Instituto Geográfico Agustín Codazzi. A la fecha, 28 de ellos han sido georreferenciados con un Sistema de Posicionamiento Global de alta precisión. Los cuerpos de agua exhiben una marcada estacionalidad que responde, como era de esperarse, a las condiciones climáticas prevalentes. El nivel de agua tiende a descender en los trimestres Diciembre-Enero-Febrero y Julio-Agosto-Septiembre, cuando se presentan los períodos de verano, y tiende a aumentar en los meses de Abril-Mayo y Octubre-Noviembre durante las estaciones lluviosas. Los cuerpos presentan además una dinámica en la escala interanual, relacionada con las fases cálida y fría del fenómeno El Niño - Oscilación del Sur (ENSO). Los cuerpos de agua ID#1 y Laguna Cristal, por ejemplo, presentaron disminuciones de sus espejos de agua del 61 y 21%, respectivamente, con respecto a marcas de referencia, después de un evento normal de verano acompañado por la fase cálida El Niño 2006-2007 (ver Figura 3). Información comunitaria, registros fotográficos e inspecciones visuales sugieren que algunos de estos cuerpos de agua han reducido su espejo de agua de manera significativa en los últimos años, y que aún durante estaciones lluviosas, ellos no alcanzan los espejos que anteriormente tenían.

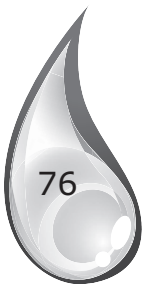


Figura 1. Modelo digital de terreno de la cuenca alta del río Claro. Los principales tributarios incluyen el río Molinos, la quebrada Las Nereidas y la quebrada Las Juntas. La línea color rojo delimita el área de drenaje.



Figura 2. Cambios esperados al 2050 en el balance hídrico de largo plazo de la cuenca del río Claro y sus tributarios.

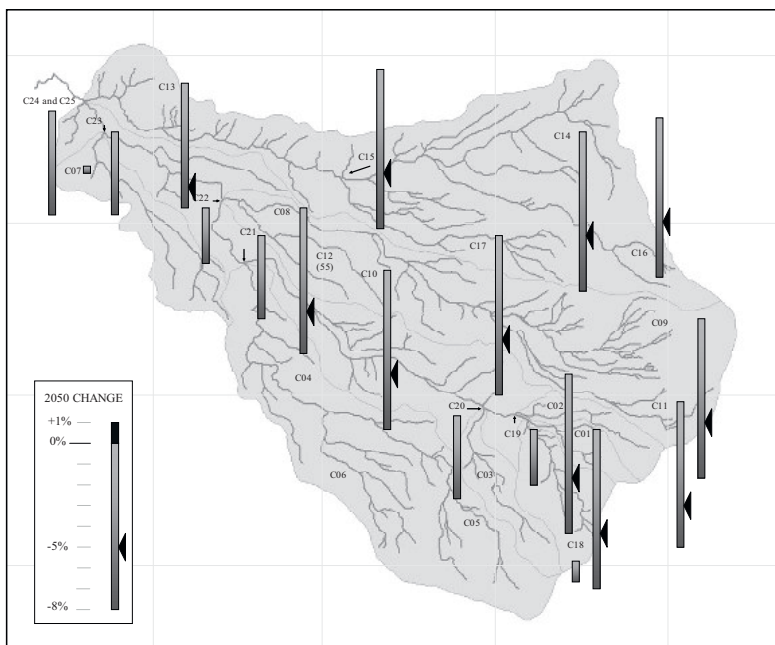


Figura 3. Cambios de área en la Laguna Cristal, costado noroccidental del Nevado Santa Isabel. Perímetros 0 y 1 (marzo/2007), perímetro 2 (enero 2009) y perímetro 3 (febrero 2010).



Análisis de caudales

Los ciclos anuales de caudales medios y máximos de los ríos Chinchiná y Otún muestran distribuciones bimodales que responden al característico ciclo anual de precipitación en la zona. Los ciclos anuales de caudales mínimos, por su parte, aunque se ajustan también al ciclo anual de precipitación, exhiben una importante diferencia en las estaciones secas. El aporte de agua por parte de los glaciares y los cuerpos de agua ubicados en las zonas de nacimiento contribuyen a un importante incremento en la escorrentía superficial durante los meses de verano Enero-Febrero y Julio-Agosto. Este comportamiento es particularmente evidente en el río Otún, que recibe importantes aportes de agua de las lagunas y turberas de sus zonas de nacimiento, así como del glaciar del Nevado de Santa Isabel. Los caudales mínimos del río Chinchiná no muestran este importante aumento y la reducción en caudales es significativamente mayor comparada con la registrada en la cuenca del río Otún.

Los análisis exploratorios sugieren tendencias decrecientes en los caudales máximos y medios del río Chinchiná cercanas al $>8,0\%$ y $1,0\%$ por década. Para el caso del río Otún, las tendencias decrecientes alcanzan $3,5\%$

y $1,4\%$ por década, respectivamente. Sin embargo, los análisis confirmatorios sugieren que estas tendencias no son estadísticamente significativas para un nivel de significancia del $0,05$. Los caudales mínimos observados en el río Otún durante los meses críticos Enero-Febrero (la más extensa de las series hidrológicas disponibles) exhiben, por el contrario, una importante tendencia decreciente $>8,0\%/d$ écada que es estadísticamente significativa al nivel de significancia mencionado.

Condiciones climáticas

De acuerdo con los análisis de las series históricas observadas en las estaciones meteorológicas ubicadas en el área de influencia del PNN Los Nevados, en la zona se han presentado importantes cambios en condiciones climáticas (Ruiz et al. 2008, 2011a, 2011b). Estos cambios parecen tener comportamientos diferentes para niveles bajos ($1.000-1.500$ msnm) y altos ($4.000-4.500$ msnm) de la atmósfera. En niveles bajos, los registros de precipitación total anual no presentan tendencias significativas (solamente dos estaciones sugieren ligeros incrementos en la precipitación, en alturas cercanas al óptimo pluviométrico). Las temperaturas mínimas y máximas evidencian incremen-

tos estadísticamente significativos, siendo mayores los observados en los registros máximos. En niveles altos, por encima del óptimo pluviométrico, la precipitación total anual ha disminuido y se observa un incremento en los eventos extremos de precipitación. Se observa además una importante disminución en la humedad relativa, así como significativos incrementos (mayores a los detectados en los niveles bajos) en las temperaturas máximas. Las temperaturas mínimas, en particular aquellas registradas en los días más fríos, muestran también una tendencia creciente. Descripciones más detalladas se presentan en el Capítulo VI de Ruiz et al. (2009) y en el artículo Ruiz et al. (2011b). Se espera que estos cambios en las condiciones climáticas generen importantes repercusiones en el ciclo hidrológico, lo que probablemente podría afectar el recurso hídrico proveniente de estas zonas de páramo.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- El balance hidrológico de largo plazo, para condiciones climáticas futuras sugiere que una importante disminución en los caudales superficiales de la cuenca hidrográfica de interés podría presentarse a futuro si las tendencias actuales en las variables climáticas más relevantes siguen su comportamiento histórico. Se espera además que los cuerpos de agua y turberas ubicados en las zonas de na-

cimiento de la cuenca hidrográfica continúen el proceso de desecación al cual han estado sometidos, dada la historia de cambio en las condiciones climáticas de las zonas de páramo propiamente dicho y superpáramo.

- Los registros históricos de caudales medios y máximos anuales de las cuencas hidrográficas de los ríos Otún y Chinchiná muestran tendencias decrecientes que no son significativas a un 95% de nivel de confiabilidad. Los registros de caudales mínimos en los meses más secos del año muestran, por otra parte, que las tendencias son decrecientes y estadísticamente significativas a un 0,05 nivel de significancia.
- Los análisis de las condiciones climáticas en la zona reflejan que las zonas de páramo se encuentran sometidas actualmente a un incremento en su estrés climático, razón por la cual podrían esperarse importantes repercusiones en el ciclo hidrológico y disminuciones en la oferta hídrica superficial proveniente de estas zonas de alta montaña.
- Es importante continuar con la medición de las variables climáticas en la zona de estudio y aplicar modelos de simulación para evaluar el comportamiento de la cuenca hidrográfica y el ciclo hidrológico bajo diferentes escenarios, lo que permitirá hacer inferencias sobre la disponibilidad de agua en la cuenca, así como tomar medidas de adaptación al cambio climático global.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Buytaert W., R. Céleri, B. De Bièvre, F. Cisneros, G. Wyseure, J. Deckers and R. Hofstede. 2006. Human impact on the hydrology of the Andean páramos. *Earth-Science Reviews* 79: 53-72.

Castaño C. 2002. Páramos y ecosistemas Alto Andinos de Colombia en condición HotSpot y Global Climatic Tensor. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), Bogotá, Colombia. En: <http://www.ideam.gov.co/publica/index4.htm>

Coutagne, A. 1948. *Meteorologie et hydrologie. Etdue generale des debits et des facteurs qui les conditionnent. 2eme partie: les variations de debit en periode noninfluencee par les precipitations. Le debit d'infiltration (correlations fluviales internes).* La Houille Blanche, 416-436.



Díaz H.F., M. Grosjean and L. Graumlich. 2003. Climate variability and change in high elevation regions: past, present and future. En: Díaz, H.F.: Climate variability and change in high elevation regions: past, present and future – Advances in Global Change Research, Klumer Academic Publishers, 282 pp.

Díaz-Granados, M. A., Navarrete, J. D. y J. Suárez. 2005. Páramos: hidrosistemas sensibles. Revista de Ingeniería Vol. 22. Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia. p. 64-75.

Foster P. 2001. The potential negative impacts of global climate change on tropical montane cloud forests. Earth-Science Reviews 55: 73-106.

García, J. y J. López. 1970. Fórmula para el cálculo de la evapotranspiración potencial adaptada al Trópico. Agronomía Tropical 20(5): 335-345

Gutiérrez M.E., P.A. Zapata and D. Ruiz. 2006. Hacia el entendimiento de las señales de cambio y variabilidad climática en la oferta hídrica superficial de cuencas hidrográficas en alta montaña. Programa en Ingeniería Ambiental, Escuela de Ingeniería de Antioquia (Colombia). 160 pp.

IDEAM, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. 2001. Colombia: Primera Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, Bogotá, Colombia.

En <http://www.ideam.gov.co/publica/cambioclimatico/PrimeraComunicacionColombia.pdf>

Jaramillo, A. 2006. Evapotranspiración de referencia en la región Andina de Colombia. Revista CENICAFÉ 57(4) 288 – 298. ISSN-0120-0275.

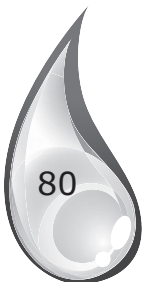
Rangel O. 2000. Diversidad Biótica III. Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá, Colombia.

Ruiz D., H.A. Moreno, M.E. Gutierrez and P.A. Zapata. 2008. Changing climate and endangered high mountain ecosystems in Colombia. Science of the Total Environment 398 (1-3): 122-132; DOI information: 10.1016/j.scitotenv.2008.02.038

Ruiz D., M.P. Arroyave, A.M. Molina, J.F. Barros, M.E. Gutierrez, and P.A. Zapata. 2009. Signals of climate variability/change in surface water supply of high-mountain watersheds - Case study: Claro River high mountain basin, Los Nevados Natural Park, Andean Central Mountain Range, Colombia. World Bank Group / School of Engineering (Medellin, Colombia), 207 pages.

Ruiz D. 2010. Indo-Pacific and Tropical Atlantic EOF modes: contributions to the analyses of cloud cover conditions in the Los Nevados Natural Park, Colombian Central Mountain Range. Revista Escuela de Ingeniería de Antioquia (EIA), ISSN 1794-1237, No.14, p. 39-52.

Ruiz D., M.P. Arroyave, M.E. Gutiérrez, and P.A. Zapata. 2011a. Increased climatic stress on high-Andean ecosystems in the Cordillera Central of Colombia. Pp. 182-191 in: Herzog SK, Martínez R, Jørgensen PM, Tiessen H (Eds.). Climate change and biodiversity in the Tropical Andes. MacArthur Foundation, Inter-American Institute of Global Change Research (IAI) and Scientific Committee on Problems of the Environment (SCOPE), São José dos Campos and Paris, 348pp., ISBN: 978-85-99875-05-6.



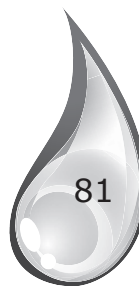
Ruiz D., D.G. Martinson, and W. Vergara. 2011b. Trends, stability and stress in the Colombian Central Andes. *Climatic Change*, DOI: 10.1007/s10584-011-0228-0, publicado online en: <http://www.springerlink.com/content/c653k74607444606/>.

Thornthwaite, C.W and Wilm, H.G. 1944. Report of the committee on transpiration and evaporation. *Transactions American Geophysical Union* 25: 683-693.

Turc, L. 1955. Le bilan de l'aue des sols. Relations entre les precipitations, l'évaporation et l'écoulement. Inra Paris. 252 pp.

UAESPNN, Unidad Administrativa Especial del Sistema de Parques Nacionales. 2000. Información General del Parque Nacional Natural Los Nevados. Programa de Conservación y Manejo del Parque Nacional Natural Los Nevados. Manizales, Colombia.

WBG, The World Bank Group. 2006. Colombia-Integrated National Adaptation Program Project - Documents & Reports (<http://www.worldbank.org/>).





El Convenio Interinstitucional Cátedra del Agua
es coordinado por el Centro de Ciencia y
Tecnología de Antioquia – CTA

Esta Revista Cátedra del Agua No. 5 se terminó
de imprimir en Impresos Begón Ltda.
Medellín, octubre de 2011



Siente... tu Área

¿Qué vamos a hacer con nuestras aguas?

www.metropol.gov.co



Área Sostenible
Gestión ambiental metropolitana

*Protejamos nuestros recursos
naturales para asegurar
su futuro.*



Área
METROPOLITANA
Valle de Aburrá

