

Efectos de la Variabilidad Climática (vc) y el Cambio Climático (cc) en los Recursos Hídricos de Colombia¹

Effects of Climate Variability (CV) and Climate Change (CC) on Colombian Water Resources

Yesid Carvajal Escobar

Ingeniero Agrícola

Especialista En Hidráulica y Medio Ambiente, Hidrología Aplicada

Maestría En Suelos y Aguas; Hidrología Aplicada

Doctor En Hidráulica y Medio Ambiente

Docente Universidad Del Valle

Grupo de Investigación: Ingeniería De Recursos Hídricos Y Suelos Y Aguas: Irehisa

yecarvaj@univalle.edu.co

Recibido Agosto 15 de 2010 – Aceptado junio 15 de 2011

RESUMEN

La variabilidad climática (VC), el cambio climático (CC) y la crisis del agua son los principales problemas ambientales que enfrenta el mundo en el siglo XX. Su interrelación es una amenaza evidente con profundas implicaciones en las sociedades más vulnerables. A pesar de la riqueza hídrica en Colombia, la gestión del recurso es un gran reto dados los altos niveles de urbanización, crecimiento poblacional, baja cobertura de servicios públicos domiciliarios, falta de equidad, entre otros.

1. Documento derivado del proyecto de investigación “Desarrollo de una Metodología para la Determinación del Índice de Escasez en Cuencas - Aplicación a trece (13) Cuencas Hidrográficas del Departamento del Cauca”, proyecto desarrollado por el grupo de investigación IREHISA y avalado por la Universidad Del Valle

El trabajo resume posibles impactos de la VC y el CC en los recursos hídricos de Colombia que potencialmente acentuarían las actuales problemáticas. Además, se definen conceptos de adaptación climática y se define e identifica para los futuros gestores del agua, cómo dimensionar la adaptación ante la VC y el CC según las estrategias y lineamientos reconocidos como: la Gestión Integral del Recurso Hídrico (GIRH), el principio de precaución, de sostenibilidad ecológica, de equidad de participación y de eficiencia económica entre otros. Así mismo, propone el marco de una estrategia de gestión integral y adaptativa con implicaciones en política pública para la gestión del recurso hídrico.

Palabras clave: cambio climático y agua, adaptación, gestión integral del agua.

ABSTRACT

Climate Variability (CV), climate change (CC) and water crisis is the main environmental problems the world has to meet in XXI Century. The way they deal with each other is an obvious threat with serious implications in vulnerable societies. Colombia is rich in water, that's why resource management is a challenge, because there are problems such as high level of urbanization, population growth, poor sanitation and inequality, among others. This paper aims to:

- Summarize potential impacts of VC and CC on Colombian water resources, which would intensify existing.
- Define concepts of climate adaptation.
- Identify for future water managers how to measure responsiveness to VC and CC, according to strategies and guidelines such as: Integrated Water Resources Management (IWRM); the precautionary, ecological sustainability, equity participation and economic efficiency principles, among others.

- And define the framework of a comprehensive and adaptive management strategy with public policy implications for water resources administration.

Key words: climate change and water, adaptation, integrated water management.

1. INTRODUCCIÓN

Mientras la VC y el CC son reconocidos como el mayor problema ambiental del siglo XXI (Vincent, 2007), la escasez del recurso y su uso inadecuado, agudizan la crisis a nivel global (Bergkamp et al, 2003). A pesar de los esfuerzos para mejorar el abastecimiento de agua potable, el impacto social sigue siendo bajo, dado que cerca de 1000 millones de personas carecen de agua potable en el mundo y 2600 millones no tienen saneamiento básico, (Kabat & Van Shaik, 2003). En América Latina (LA), la demanda de agua crece a un ritmo anual entre 4% y 8%, dos veces más que el crecimiento demográfico de la región, al igual que ocurre en Colombia. El CC es una realidad, cuyos impactos se están observando en Colombia y el mundo (Rosenzweig et al, 2007), y los esfuerzos de mitigación son insuficientes para proteger a la población (Burton et al., 2006). El CC y la VC influyen sobre la disponibilidad de los recursos naturales en la región. Un ejemplo de VC es el fenómeno El Niño-Oscilación del Sur (ENOS), que en sus fases extremas (Niño y Niña) está cambiando las características hidroclimáticas mundiales, dado que por este concepto, se incrementa el número de tormentas, sequías, huracanes, etc, que afectan el pronóstico climático (Kundzewicz et al., 2007) y potencian la incertidumbre en la gestión hídrica futura (Kabat & Van Shaik, 2003). Las estadísticas revelan un fuerte impacto en las poblaciones más pobres, con 13 veces más muertes en los países en desarrollo, comparados con los países desarrollados, PNUD (2004). La mitigación y la adaptación son tópicos centrales dentro del estudio del comportamiento de la VC y el CC en países como Colombia; mientras el grueso de la mitigación, recae en los países industrializados, dadas su emisiones de gases de invernadero (GEI) a la atmosfera. La adaptación es prioritaria

en países en vía de desarrollo, por tener mayor vulnerabilidad y afectación. El costo medio anual de reducir las emisiones a la atmósfera, se calcula en el 1,6% del PIB global entre el presente y el año 2030. No hacerlo representará costos estimados entre 5% y el 20% del PIB global, Stern (2007).

En el pasado, el hombre se ha adaptado a la VC; no obstante, ante los nuevos riesgos del CC, muchas comunidades tendrán dificultades para lograrlo (Adger et al., 2007), porque la intensidad y velocidad de los cambios representan nuevos desafíos en la velocidad y capacidad para adaptarse. Aunque la magnitud de la amenaza es incierta y compleja por las interacciones y procesos de retroalimentación del ecosistema mundial y la economía, no hay razón para dejar de actuar. El documento presenta de forma resumida los impactos de la VC y el CC sobre los Recursos Hídricos (RH) en Colombia y se presentan líneas de acción a emprender como estrategia de adaptación. La GIRH reconoce que la adaptación implica una gestión de políticas públicas y gran movilización social, que debe desarrollarse a diferentes escalas y depender no sólo del desarrollo económico, sino del conocimiento, experiencia, y disponibilidad del recurso hídrico (Adger & Vincent, 2005).

Colombia es un país de abundancia hídrica; recibe humedad del Caribe, el Atlántico, el Pacífico y la Amazonía, con numerosos bosques y ríos, altísima biodiversidad; casi el 70% del su área tiene lluvias superiores a 2,000 mm/año, y cerca del 30% llega a los 4,000 mm/año, incluyendo la costa Pacífica, que supera los 12,000 mm/año. El escurrimiento anual específico (59 l/s/ha) es 6 veces mayor al promedio mundial (10 l/s/ha) y 3 veces superior al de LA (21 l/s/ha) (Marín, 1992). Su hidroclimatología está determinada localmente por las costas sobre dos océanos, la fisiografía, la circulación de la cuenca Amazónica y la vegetación, entre otros; mientras que globalmente está determinada por la oscilación de la convergencia Intertropical (ZCIT) que está directamente relacionada con la ocurrencia del evento El Niño - Oscilación del sur (Enos). A pesar de esto, la abundancia hídrica está limitada por la variación espacio temporal.

2. IMPACTO DE LA VC y EL CC EN LOS RECURSOS HIDRICOS COLOMBIANOS

La VC se refiere a las fluctuaciones del clima durante períodos de tiempo cortos (años, meses), que genera un comportamiento anormal y puede ocasionar excesos o déficit de precipitaciones, El Niño Oscilación del Sur (ENOS), es un ejemplo; es un fenómeno océano-atmosférico de gran escala, que altera condiciones normales intertropicales con impactos asociados que alteran el clima planetario, siendo una de las principales causas de VC interanual a nivel mundial (Ribstein et al, 1997). Ocurre en escalas de tiempo de meses a varios años. Su componente oceánica es El Niño, calentamiento anómalo de las aguas superficiales del centro-este del Océano Pacífico tropical, que profundiza la termoclina oceánica. También está asociado con el debilitamiento de los vientos alisios del este y con el desplazamiento de la ZCIT del oeste al centro del Océano Pacífico tropical (ver figura 1), Pulwarty & Diaz (1993). La componente atmosférica del Enos es la oscilación del sur, gradiente de presiones entre el oeste y el este del Océano Pacífico ecuatorial, definido como la diferencia estandarizada de las anomalías mensuales de presión atmosférica entre Tahití y Darwin (Australia). El índice es positivo cuando la diferencia este-oeste es más alta de lo normal y negativo cuando es inferior a lo habitual. La fase cálida del Enos (El Niño) se asocia a un Índice bajo o negativo y la fase fría (La Niña) a un índice alto o positivo (Rossel, 1997). Por su parte, el CC todo cambió en el clima producido a lo largo del tiempo, debido a variabilidad natural o a la actividad humana (IPCC, 2007a).

2.1 Eventos Extremos

Aunque las emisiones de GEI de Colombia son reducidas en relación al total mundial (0.35%); el país enfrenta riesgos de sufrir los efectos del problema, por la fragilidad y vulnerabilidad de su población y ecosistemas, (Peña et al, 2010; Carvajal y Ordoñez, 2010). La fase cálida del Enos está asociada a sequías, incendios forestales, racionamientos energéticos, disminución en la producción agrícola, pesquera y pecuaria (Carvajal-Escobar

et al, 1998), así como al incremento de casos de malaria y enfermedades endémicas, (Poveda et al, 1997). La fase fría (La Niña) se asocia con pérdida de vidas humanas por desastres naturales, deslizamientos, crecientes, inundaciones, erosión e incremento en el transporte de sedimentos de los ríos.

Algunos estudios reportan que por efecto del CC se incrementará la frecuencia de ocurrencia extrema del ENOS, que impactaría considerablemente la región; el ENOS podría convertirse en la normalidad climática (Magrin et al., 2007, Collins et al., 2005).

2.1.1 Efectos asociados con períodos secos

2.1.1.1 Sequías. son comunes durante la fase cálida del ENOS, causando stress hídrico en la zona Andina, con lluvias inferiores a los promedios, afectando especialmente regiones donde la demanda de agua es superior a la disponibilidad, alcanzando valores de déficit superiores al 30% en el Valle, Antioquia, Norte de Santander y la Costa Atlántica entre otras regiones, IDEAM (2007).

2.1.1.2 Desertificación. La degradación de suelos en áreas secas depende de factores naturales y antrópicos; ante la fase cálida del ENOS aumenta la temperatura y se aceleran procesos de degradación por erosión y escasez hídrica en los ecosistemas naturales. El caso opuesto (La Niña) genera exceso hídrico que incrementa la degradación de suelos por remoción en masa, superando en un 75% los períodos normales (Vargas & Gómez, 2003).

La erosión, compactación, lixiviación de nutrientes, contaminación, salinización y sodificación entre otros vienen aumentando en el país; el 17 % de Colombia tiene desertificación y el 24 % desertificación potencial. Vargas & Gómez (2003) estiman que en 100 años Colombia duplicaría la superficie de desertificación debido a la VC y el CC, mientras que Pisco (2010) indica que un 15 % adicional es vulnerable de sufrirla próximamente. Ante el CC, el 50% del país presentará vulnerabilidad desde alta hasta muy alta.

2.1.1.3 Incendios Forestales. El 95% de los incendios forestales del país son antropogénicos y producen alto impacto ambiental y socioeconómico; según el tipo de suelo, la frecuencia, duración e intensidad del incendio ocurre pérdida de humedad, materia orgánica, fertilidad y cambia perjudicialmente la estructura y textura del suelo, aumentando el potencial de erosión, lo cual genera deslizamientos, avalanchas e inundaciones en épocas lluviosas, (IDEAM, 2004). Durante el ENOS 1997-98 se afectaron casi 100.000 ha, (IDEAM, 2004); en 2002 se alteraron casi 96.050 ha, siendo las sabanas, pastizales y bosques las coberturas más alteradas; mientras que en el 2009-10 se afectaron 66.000 ha, según el Sistema Nacional para la Prevención y Atención de Desastres.

2.1.1.4 Racionamientos de energía. Su efecto es costoso, desde 1991 se tienen antecedentes graves de los racionamientos de energía eléctrica, ya que el ENOS ocasionó grandes pérdidas económicas y generó mayor conciencia sobre sus efectos. La crisis energética de 1992-93 ocasionada por las sequías asociadas al ENOS y la alta dependencia de la hidroelectricidad (80%) que carecía de capacidad de almacenaje multianual generó al país un costo económico por el racionamiento energético que osciló entre 1.000 y 1.600 US millones, sin considerar el impacto social de los apagones, según lo reportan estudios de ISA y el BID (2002). Así mismo, por cada US 1 invertido en generar información hidro-meteorológica, se incrementan los beneficios de la sociedad en US 277, BID (2002). El valor del kwatt-hora depende de la lluvia y su déficit genera aumento en las tarifas, (IDEAM, 2004).

2.1.1.5 Navegabilidad. El Magdalena es el río más importante para la economía del país en su trayecto por la zona andina que soporta el 80 % del PIB nacional; durante la incidencia del fenómeno cálido ENOS se restringe la navegación fluvial del Magdalena, que representa el 60% del total del país. Esta es la ruta más económica para el transporte de mercancías por ser 6 veces más barata que la vía terrestre; lo que implica un incremento del 500% de los costos por transporte de mercancía,

que al no poder ser fluvial se moviliza por carretera; generalmente combustibles fósiles (50%) y carga general (50%), entre el interior del país y la Costa Caribe, (Duque, 2008, IDEAM, 2004).

Efectos sobre la cobertura vegetal y suelo. Si los suelos pierden humedad y tienen bajo contenidos de arcilla y deficiente cobertura vegetal son más susceptibles a erosión en periodo de lluvias y el sistema radicular puede afectarse en suelos vertisoles o que se agrietan por pérdida de humedad. El agrietamiento es una condición característica de los suelos vertisoles con fuerte expansión al humedecerse y contracción al secarse debido a la presencia de arcilla montmorillonita de tipo 2:1 expandible. Estos suelos ocupan las partes bajas del relieve en los altos llanos occidentales ocupando cerca de 7.000.000 ha (Malagon, 1995; IDEAM, 2004).

2.1.1.6 Confort climático. Depende básicamente de la temperatura, la humedad relativa y el viento. En la costa Atlántica, bajo Magdalena y las cuencas de los ríos Sinú y San Jorge se presentará mayor humedad y la sensación térmica generará mayor incomodidad, IDEAM (2004); mientras que en la Guajira, la región Andina y el Pacífico sur, aumentarán molestias por mayor sequedad y altas temperaturas. En los Andes, el aumento térmico produciría ascenso de las isoterms, conllevando a un desplazamiento de las zonas de vida para las diferentes especies. Igualmente, las actividades y asentamientos humanos tienden a ocupar las zonas más altas de las montañas andinas, ante la favorabilidad del clima, por ampliación de la frontera agrícola o por demanda de servicios ambientales (Jimenez & Carvajal-Escobar, 2007).

2.1.1.7 Heladas. Cerca del 80% de las heladas en Colombia se registran entre enero y febrero, (Mayorga et al., 2008) siendo las áreas más susceptibles los altiplanos fríos localizados entre los 2.500 y 3.000 msnm (Hurtado, 1996). En Antioquia, Cundinamarca Boyacá, Nariño y Cauca, Colombia es el segundo exportador de flores del mundo, luego de Holanda; el 70% de la producción total del país se da en los municipios de la sabana de

Bogotá (casi 5.600 ha), donde cerca del 30% de la producción se afectó en el 2010, alcanzando pérdidas cercanas al 20% de los 1.100 US millones de exportaciones anuales, según Asocolflores. Esta afectación fue superior a la del 2007, que según reporte del Ministerio de Agricultura fue de 60 US millones.

2.1.2 Efectos en períodos lluviosos.

Durante la Niña aumentan las lluvias, produciendo deslizamientos, crecidas y avalanchas, que generan las inundaciones actuales, ponen de manifiesto no sólo la precariedad de los mecanismos de respuesta, sino la urgente necesidad de implementar medidas de adaptación en todos los sectores, teniendo en cuenta que la mejor premisa para integrar el riesgo en la planeación del desarrollo, es que ignorarlo resulta entre 5 y 10 veces más costoso que prevenirlo (PNUD, 2008, Anderson 1994; Mauro, 2007); situación que se acentúa más cuando las pérdidas en sociedades en desarrollo como la nuestra son mayores al compararse con el total de la riqueza nacional que producimos.

2.1.2.1 Inundaciones. Colombia presenta diferentes tipos de inundaciones: súbitas, lentas, encharcamientos y avalanchas, que generalmente ocurren en la zona Andina, afectando la población y la economía. La fuerte temporada de lluvias del 2010 caracterizada por el fenómeno de la Niña ha sido desoladora para el país, reportando oficialmente 2.000.000 de damnificados en el 61% de los 1100 municipios y en 28 de los 32 departamentos del país, siendo la peor de los últimos 50 años. Según cálculos gubernamentales para atender las situaciones generadas por las lluvias asociadas al fenómeno de La Niña, se necesitan unos 2594 millones de dólares, razón por la cual se ha decretado el estado de calamidad en la mayor parte del territorio nacional.

2.1.2.2 Deslizamientos. El 6.7% de territorio nacional tiene susceptibilidad muy alta a deslizamientos, el 6.9% susceptibilidad alta y el 7.2% susceptibilidad moderada. Castellanos (1996); Velasquez & Rosales (2003), destacan que en la fase cálida del ENOS, las inundaciones, deslizamientos y avalanchas disminuyen

en un 14%; mientras que durante la fase fría se incrementan en un 82%, afectando la red vial y la infraestructura de servicios domiciliarios con impactos ambientales que caracterizan desastres. Aunque el impacto económico no se ha podido estimar con exactitud, durante la Niña del 2010, las pérdidas en la infraestructura vial colombiana oscilan entre \$ 1.0-1.5 billones, según el Instituto Nacional de Vías; más de 750.000 ton de mercancía han quedado bloqueadas, generando pérdidas superiores a \$ 60.000 millones, según Colfecar. Otros sectores que reportan pérdidas superiores al billón de pesos son el agrícola y el ganadero respectivamente (Min. Agricultura, Fedegan).

2.1.2.3 Sedimentación. Los ríos colombianos transportan unas 300 millones ton/año de sedimentos, de los cuales el río Magdalena aporta 138 millones; y alrededor del 40% de estos provienen de la pérdida de 2 a 10 ton/ha/año de suelo, asociados a procesos de alta erosión, (IDEAM (2001c; Restrepo, 2005).

2.1.2.4 Erosión. La erosión alcanza niveles preocupantes en el país; las pérdidas van en aumento y disminuyen la fertilidad del suelo y su productividad; así mismo, producen sedimentación en fuentes hídricas. El IDEAM (2004), identificó que el 48% del área del país tiene susceptibilidad a la erosión. Por su parte, durante la ocurrencia de la Niña, se incrementa la erosión por el aumento de las de lluvias y el uso inadecuado de suelos, entre otros. Los pocos estudios de impacto del CC en el transporte de sedimentos indican que este se acrecentará porque la intensidad de las lluvias, sumado al inadecuado uso del suelo incrementará la erosión, especialmente en áreas de mayor escorrentía, IDEAM (2004).

2.1.2.5 Desastres naturales. Los impactos asociados a la VC y el CC varían de un sitio a otro dada la frecuencia y magnitud de las amenazas y la vulnerabilidad existente dentro de la misma comunidad que puede tener diversos grados. Generalmente, los países más pobres y grupos marginados presentan mayores impactos; en las últimas décadas, el 90% de los desastres naturales fueron de origen hidrometeorológico; siendo el ENOS

uno de los fenómenos que más afectó el continente. Según la CAF (2000), el ENOS del 97/98 significó 7,545 millones de US de pérdida, equivalentes al 2.6% del PBI de la región Andina; en Colombia, los daños ascendieron a US\$554 millones, generando un severo impacto socioeconómico. Para la elección de casos se consideró la dimensión del impacto del fenómeno sobre el país, el avance que se presentaba en la investigación del fenómeno y su correlación con las variables climáticas continentales, la identificación y sistematización de datos sobre las amenazas, los impactos en el territorio nacional y el avance institucional (nacional y/o regional) en políticas de prevención de desastres relacionados con el fenómeno. Esto incluye daños directos sobre acervos por US 56 millones (10%) y daños indirectos por 502 millones (90%), (CAF, 2000. Colombia)

2.1.2.6 Migraciones. Históricamente, esta ha sido una estrategia de adaptación utilizada por el hombre ante la pobreza, escasez de recursos, conflictos y otros factores de desplazamiento. La VC y el CC local son factores adicionales y actualmente están teniendo efectos considerables, (Warner et al., 2009). La mayoría de desplazados climáticos, se sumarán a la población suburbana de los países en desarrollo, aumentando la vulnerabilidad en dichas zonas; en Suramérica hay reportes en Argentina y Brasil, Reuveny (2007). A nivel mundial, se estima que la población que puede migrar para 2050 debido al CC y la degradación ambiental variará entre 50 y 350 millones, (OIM, 2009). Para el caso de Colombia no es fácil cuantificar el factor, dado que existe desplazamiento por conflicto armado y por condiciones de pobreza hacia las ciudades que requieren una consideración detallada para evaluar tendencias poblacionales y planes de desarrollo. A diferencia de otros países de América Latina, la migración colombiana presenta diversos tipos, dimensiones y dinámicas; la migración interna está caracterizada por el desplazamiento forzado interno producto del conflicto armado y la migración externa, como consecuencia de la dinámica social y política del país. Por esta razón, la complejidad del fenómeno migratorio no permite disponer de cifras exactas de cada tipo de migración; no obstante los damnificados por

inundaciones vienen en aumento, alcanzado cifras cercanas a los 2.000.000 de damnificados por efecto de las inundaciones que han caracterizado el fenómeno de la Niña de 2010; situación que induce a desplazamientos internos hacia zonas urbanas en búsqueda de nuevas oportunidades. Las cifras oficiales indican que 3.331.107 colombianos viven en el exterior (Censo DANE 2005), que equivalen al 10% del total de la población colombiana en el país.

2.2 Calidad del agua. En los países en desarrollo, la calidad microbiológica del agua es baja para el consumo humano, por deficiencias en el saneamiento o tratamiento; el CC será una tensión adicional (Pachauri, 2004). El incremento de los costos de tratamiento de agua potable por efecto de la VC y el CC no es fácil de estimar, porque generalmente están combinados con otros procesos de degradación ambiental, tales como contaminación, deforestación, etc.; para el caso de Cali en los últimos años, el aumento de sedimentos en periodo de lluvias, sumado a la deforestación en el río Cauca, ha afectado el normal suministro de agua potable a la ciudad, que se abastece en un 80% de esta fuente, obligando a la suspensión frecuente del servicio de acueducto; recientemente se realizaron inversiones superiores a \$ 90.000 millones en obras de almacenamiento de agua para abastecer en las horas de corte del suministro por afectación de la calidad de agua en el río, (Juan Carlos Escobar, EMCALI. Comunicación verbal). El aumento térmico puede degradar la calidad del agua, alterando procesos biogeoquímicos, reducir la concentración de oxígeno disuelto por baja dilución, aumentar la salinidad, el pH y una mayor liberación de fósforo de los sedimentos, entre otros, afectando la biota; así mismo se produciría un agotamiento de oxígeno en la capas más profundas de cuerpos de agua (Kundzewicz et al., 2004).

Otros impactos no asociados a la VC y el CC serán potenciados, afectando la salud humana, que dependerán del tamaño, densidad, ubicación y riqueza de las poblaciones. Luego de una inundación se pueden presentar sobrecargas en los sistemas de drenaje urbano y aguas residuales, que incrementarán el

riesgo de enfermedades de origen hídrico. Las lluvias afectarán la calidad del agua aumentando la contaminación por acumulación de sedimentos, nutrientes y patógenos, entre otros; (Leemans & Kleidon, 2002). De otro lado, caudales mayores aumentarán la dilución de contaminantes mejorando la calidad de la misma, Garcia et al., (2008). Ante la ocurrencia de sequías extremas también podrían incrementarse las necesidades de control de la calidad (Knight et al., 2004) y las deficiencias de abastecimiento de agua potable (Kovats et al., 2005), por disminución de la capacidad de dilución e incremento de concentración de contaminantes; esto favorecería la presencia de patógenos que aumentarían enfermedades (Knight et al., 2004); también podrían presentarse deficiencias de abastecimiento de agua potable (Kovats et al., 2005;). En zonas secas, es probable que el CC aumente la salinización de aguas subterráneas poco profundas, debido a la evapotranspiración. El aumento del nivel oceánico incrementará la salinización de aguas subterráneas y estuarios, disminuyendo la disponibilidad de agua dulce en poblaciones y ecosistemas costeros; afectaría el drenaje de aguas lluvias y la evacuación de aguas residuales (Chen et al., 2004).

2.3 Huracanes. Varios huracanes han azotado el mar Caribe dejando pérdidas equivalentes a los PIB de muchos países juntos. Rubiera (2005), señala que uno de los ciclos más activos en la zona, ocurrió en la década de los 50 y es probable que los futuros ciclones tropicales sean más intensos por el aumento continuo de la temperatura en la superficie de los océanos (Webster et al., 2005), afectando las zonas insulares y la climatología del Caribe colombiano; aunque esta última región presenta baja probabilidad de formación y desarrollo de tormentas tropicales, esto no significa que tales eventos no han ocurrido; tal es el caso de los huracanes Irene (1971), Joan (1988) y Bret (1993) que cruzaron la zona en el pasado. En Colombia no existen estudios similares de actividad ciclónica en el pasado, Ortiz (2007). En la región, existen pocos estudios, algunos relacionados al análisis de costos y pérdidas humanas en Centroamérica realizado por agencias de gobierno. En el caso de Colombia, se evidencia la necesidad de comenzar a evaluar los posibles efectos de estos

fenómenos en la zona costera para fortalecer programas de alerta, donde el oleaje y la marejada ciclónica son los efectos oceánicos más importantes que afectan los 1760 km de línea costera y 2.560.000 km² de la región Caribe.

Entre 1900-2007, 57 tormentas se han dado en territorio colombiano y aunque los efectos de estos eventos son casi despreciables comparados con los de Centroamérica y USA, podrían afectar significativamente la costa Caribe colombiana. El huracán Joan (1988) ha sido el evento más significativo en la historia reciente del país que pasó por Colombia como tormenta tropical, causando 25 muertos, 5000 damnificados y severos daños asociados a inundaciones, (Ortiz, 2007). En Colombia son casi nulos los antecedentes sobre la evaluación inmediata de los impactos de los huracanes en los ecosistemas marinos, debido en parte a que nuestras costas son menos vulnerables a estos fenómenos en comparación con otras áreas del Caribe y Golfo de México, (Rodríguez, 2008).

2.4 Glaciares. Los Glaciares forman parte integral de los ciclos hidrológicos de varios ecosistemas, incluyendo las zonas bajas y los bosques andinos. Los actuales seis glaciares colombianos: Sierra nevada de Santa Marta, Nevado del Huila, Nevado del Ruíz, Nevado de Santa Isabel, Nevado del Tolima y Sierra Nevada del Cocuy están en un proceso de retroceso y pérdida de masa de hielo y nieve. En los pasados 60 años, desaparecieron 8 pequeños nevados colombianos: Puracé, Galeras, Sotará, Chiles, Pan de Azúcar, Quindío, Cisne y Cumbal, (IDEAM, 2003; Ceballos et al, 2006). Se estima que la recesión es 15-20 m/año y la pérdida de espesor de 1-2 m/año (Florez, 1992b) con evidencias que el retroceso fue mayor en las últimas décadas del siglo XX (Florez, 1992a) coincidiendo con las tendencias mundiales. Esto ocasiona cambios en el paisaje, afectando las condiciones de vida y el turismo local en muchas regiones montañosas del mundo y disminuye la capacidad de regulación en las cuencas de los ríos alimentados por estas reservas. Los cambios en los glaciares y en la precipitación horizontal o neblina afectará la disponibilidad de recursos hídricos en la zona Andina,

al ser fuentes importantes de agua para nacimientos y quebradas (Jiménez y Carvajal-Escobar, 2007). Aunque no se han detallado los posibles efectos, esto produciría el ascenso de las isoterma en un rango de cientos de metros en las próximas décadas, conllevando a que las zonas de vida para las diferentes especies se desplacen en igual elevación, lo mismo que las actividades y asentamientos humanos en búsqueda de condiciones más favorables del clima, por ampliación de la frontera agrícola o en general por la demanda de servicios ambientales. Esto aumentará problemáticas ambientales en zona, que aporta el 10,6% de la oferta hídrica del país y donde vive el 80% de la población, que soporta y genera el 85% del PIB del país (Ojeda y Rojas, 2000). Un modelo desarrollado por Euscategui (2003) indica que el brillo solar, la humedad relativa y la temperatura máxima explican el 97% de la dinámica glaciar del Nevado Santa Isabel, confirmando la alta sensibilidad a la VC, muy común en glaciares pequeños. La fase cálida del ENOS acelera la velocidad del retroceso glaciar, disminuyendo la presencia de nieve, mientras que durante La Niña, el límite y espesor aumentan, atenuando la velocidad de deshielo a valores que oscilan entre 7 y 8 m, (Ceballos et al, 2006). Según estudios de IDEAM (2001), las proyecciones del escenario de $2XCO_2$ ocasionarán que el 50% del país esté afectado por cambios hidrológicos, como la extensión de las modales lluviosas y secas, la desaparición total de cobertura de nieve de montaña y una disminución entre 55% y 97% del área de páramos.

2.5 AUMENTO DEL NIVEL DE LOS OCÉANOS

Hay evidencias de aumento progresivo del nivel oceánico desde finales del siglo pasado a una tasa de 2 mm/año, (Pabón, 2007), proceso que representa una amenaza para costas e islas colombianas por la posible inundación de zonas bajas y la erosión y retroceso de playas, entre otros impactos. Según IDEAM (2001), las proyecciones del escenario de $2XCO_2$ ocasionarán inundación y anegación permanente de costas bajas y la profundización de cuerpos de agua del litoral y la plataforma continental; salinización, principalmente en los acuíferos costeros

por intrusión y represamiento del drenaje natural y artificial, entre otros. En la costa Caribe, el área expuesta a los diferentes tipos de amenaza equivale al 4.9% del área agrícola, al 75,3% del área de establecimientos manufactureros en Barranquilla y al 99.7% en Cartagena. La isla de San Andrés podría reducirse un 17%, afectando su área comercial y turística (Pisco, 2010). Esto afectaría casi 1,4 millones de personas que viven en las ciudades. En la costa Caribe, sólo el 9% de las viviendas urbanas presenta alta vulnerabilidad a inundación, valor que alcanza el 46% en el sector rural; mientras que en el Pacífico, el 48% de las viviendas del sector urbano y 87% del sector rural son altamente vulnerables (Benavides & León, 2007).

3. LA GESTIÓN MODERNA DEL RH Y LA ADAPTACION A LA VC Y AL CC

Los riesgos climáticos se están incrementando rápidamente, por lo cual el divorcio entre adaptación al CC y manejo de riesgos ante desastres resulta improductivo y en dispersión de esfuerzos. La adaptación es un proceso de ajuste en sistemas naturales y humanos como respuesta a estímulos climáticos reales, esperados, o a sus efectos, así la adaptación mitiga el daño o aprovecha oportunidades (Brooks, 2003; IPCC, 2007b) y depende de varios factores, principalmente de la vulnerabilidad, la magnitud del impacto, el nivel de riesgo y la capacidad de adaptación; para ser efectiva, se deben corregir orientaciones de la gestión clásica del agua y trabajar categóricamente con la diversidad de factores que la componen.

Aunque en Colombia prevalece más la gestión orientada a aspectos técnicos, que además de limitar considerablemente la adaptación, es rígida en cuanto a la social para abordar los riesgos e incertidumbres que implica la VC y el CC, puede decirse que la urgencia de adaptar el manejo de los RH al CC ocurre cuando están dándose tendencias a mejorar la gestión, pasando de un enfoque tradicional, sectorial, centralista, poco participativo, con instituciones débiles de poca autonomía, a un enfoque moderno, ecosistémico, multisectorial, integral,

participativo, democrático y descentralizado, (Bergkamp et al, 2003; Carvajal-Escobar et al, 2007), que permita responder a los cambios sociales, ambientales, económicos y políticos del mundo actual. Un aspecto positivo del CC es la oportunidad para acelerar cambios en las formas y prioridades de la gestión del agua.

Las proyecciones futuras de varios años de los modelos de CC invitan a los gestores del agua a pensar que la VC y el CC serán eventos que ocurrirán en 40 o 50 años y no serán tema de su gestión, que normalmente tiene un horizonte de 3-5 años; la planeación a futuro es fundamental, frente a la amenaza climática que actúa en escalas de tiempo que abarcan mínimo unas cuantas décadas; la armonización de una escala de tiempo amplia con escala espacial local es prioridad en las estrategias de adaptación (Kabat & Van Schaik, 2003). Finalmente, la capacidad humana de adaptarse va más allá del tecnicismo y no sólo depende de la calidad de conocimiento sobre el cual las prácticas convencionales se basan, sino también de las instituciones, el poder social, legal y político que recae sobre funcionarios y sociedad civil (Bergkamp et al., 2003). Estas deberán basarse en un “enfoque ecosistémico”, definido como la estrategia para la gestión integral de suelo, agua y recursos vivos que promueve la conservación y el uso sostenible de manera equitativa y complementa el pensamiento actual sobre la Gestión Integral del Recurso Hídrico al ser consistentes entre sí (Carvajal-Escobar, 2008; García et al, 2007; Guerrero et al, 2006). El apoyo a este enfoque será decisivo en la adaptación.

La VC, el CC, el crecimiento de la población, la contaminación y la urbanización entre otros factores, aumentarán el riesgo de conflictos hídricos, por lo tanto, la adaptación implicará desarrollar herramientas y habilidades en la negociación de conflictos para facilitar soluciones aceptables entre los usuarios del recurso en una cuenca. La gestión del riesgo y la incertidumbre debe abordarse con una nueva mirada, el enfoque actual sólo aborda casos conocidos y el riesgo del CC es desconocido, lo que implica identificar formas innovadoras y creativas de afrontarlo. La

formación y el fortalecimiento de capacidades para la adaptación requerirán reforzar la habilidad de personas e instituciones que gestionen el agua eficiente y equitativamente en un proceso de aprendizaje social, experimentando nuevas formas e ideas de gestión. El papel de los gestores de RH debe comenzar por su formación y las universidades deben afrontar este reto de manera interdisciplinaria e integral, involucrando la VC y el CC en sus currículos, (Carvajal–Escobar, 2010)

4. RECOMENDACIONES PARA UNA GESTIÓN ADAPTATIVA, INTEGRAL Y PARTICIPATIVA DEL RH

A continuación se resumen e identifican lineamientos de una gestión adaptativa e integral del agua y el RH ante la VC y el CC, conjugando las reflexiones anteriores y considerando tanto estrategias puntuales de adaptación como el incremento de la capacidad adaptativa. García-González et al (2007), Aldunce et al, (2008), Bergkamp, et al, (2003), Reilly & Schimmelpfennig, (1999), Niggli, et al., (2009), Robertson & Swinton, (2005).

Disminuir la vulnerabilidad social ante la amenaza de cambios hidrometeorológicos y eventos extremos: Reducir el impacto de las pérdidas de agua en redes de acueducto ampliando cobertura de agua a poblaciones de alto riesgo; disminuir diferencia entre suministro y demanda de agua; movilizar RH no convencionales tales como aguas recicladas en zonas agrícolas y desaladas en zonas costeras mediante desarrollo tecnológico, políticas, leyes, incentivos y otras estrategias; incrementar la eficiencia del uso del agua a lo largo del proceso de captación, aducción, tratamiento, conducción y distribución; promover el uso de tecnologías para recolectar agua (aguas lluvias) en regiones áridas y en aquellas en las que el promedio mensual de lluvias lo haga viable sostenible y económicamente con el fin de garantizar el abastecimiento durante todo el año; gestión integral de la erosión hídrica; optimización del uso del agua de riego a nivel predial; manejo integral de

recursos naturales; definir fondos de emergencia para eventos extremos; elaborar sistemas de amortiguación con reservas de agua, buen diseño y operación de la explotación del RH; identificar y manejar adecuadamente el uso de agua en riesgo; identificar prácticas sostenibles en la gestión del agua; mejorar planificación involucrando cambios en la oferta y la demanda; mejorar sistemas de prevención y preparación para inundaciones y sequías; modificar infraestructura urbana y rural; promover el uso y difusión de herramientas de predicción climática y medir sus impactos; mejorar calidad de datos para modelación de cambios hidroclimatológicos y promover instalación de nuevas estaciones hidrométricas; promover el manejo integrado del RH a nivel de cuenca; crear un sistema permanente de monitoreo de CC y de seguimiento de prácticas de adaptación incorporadas por diferentes actores a través de indicadores; en este último aspecto, Debels et al, (2008) proponen el índice IUPA para América Latina, donde incluyen un caso de estudio de Colombia.

Proteger y restaurar ecosistemas hídricos: Identificar área hídricas estratégicas como humedales, cuencas, glaciares y fuentes de agua dulce superficial; ordenamiento territorial a nivel de cuenca; abandonar proyectos insostenibles ambientalmente y aliviar pobreza; incluir la restauración y el valor del ecosistema como banco genético en la gestión.

Fortalecer la gestión de agua y sus instituciones: Integrar a la GIRH el concepto de caudal ambiental; aumentar la capacidad de intercambio inter-sectorial; usar mecanismos del mercado y considerar posibles privatizaciones; incluir la evaluación ambiental estratégica en la planeación.

Sensibilización y educación: Enfatizar en la protección del RH en sectores vulnerables (salud, ecosistemas, agricultura); ampliar cobertura y calidad de la educación ambiental; generar línea base de información científica y gubernamental; mejorar el dialogo estado- ciencia-sociedad; crear programas efectivos de educación y sensibilización orientados a crear conciencia del problema; entrenar a profesores de educación primaria y

secundaria; incluir tópicos de CC en el currículum de la enseñanza primaria y secundaria; generar programas de cultura del agua; crear capacidades para administrar sistemas de alerta temprana; comunicar efectivamente medidas de adaptación a la población vulnerable.

Socializar y democratizar la gestión del RH: Formar coaliciones de participantes usuarios del RH; movilizar conocimiento e innovación que permita agilizar la adaptación en el sector hídrico; participación en discusiones internacionales sobre adaptación al CC en RH; incorporar la gestión de riesgos y medidas de prevención y respuesta creando comités locales; promover procesos de participación comunitaria en la toma de decisiones sobre el uso de recursos frente al stress del CC.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Colombia es vulnerable a eventos hidroclimatológicos extremos, situación que sumada a la crisis mundial del agua, a la VC y el CC, implican adaptar diferentes sectores críticos tales como salud, ecosistemas, agricultura y la atención de riesgos y desastres.

Ante la VC y el CC Colombia enfrentará serios retos en los próximos años en cuanto a la disponibilidad y calidad de los RH. El deshielo de los glaciares, la desaparición de la cobertura paramuna y nival, la inundación de las zonas costeras, mayores eventos extremos, incremento de las enfermedades hídricas, etc., son sólo algunos de los impactos inminentes, pero no los únicos que afectarán el sector hídrico. Evaluaciones recientes dan cuenta que el fenómeno ENOS 1997-98 ocasionó pérdidas superiores a US 1000 millones y el fenómeno de La Niña 2010-11 está ocasionando pérdidas que superan los US 2500 millones que podrían aumentar cuando se dimensione la verdadera magnitud de la tragedia que aun está en curso.

Los retos para la sociedad, en particular para los gestores del agua, la administración pública y otros actores de interés, no son pocos ni son fácilmente asumidos. En este sentido, la adaptación no sólo depende del sector público ni de los expertos partícipes.

Tanto el sector privado como la sociedad civil tienen mucho que aportar al tema. Estos juegan un papel crítico en escalas menores de la gestión.

Enfrentar la crisis del agua implica una gestión adaptativa, integral y participativa, en general, una política de adaptación al CC que permita abordar la incertidumbre, establecer escalas de tiempo amplias y tener una visión sistémica, capaz y proactiva del recurso hídrico. A su vez, este sistema fomentaría una participación más amplia facilitando el desarrollo de capacidades institucionales y de personas que cubra necesidades básicas de las comunidades más vulnerables del país.

Todas las acciones a tomar en este sistema de gestión deben involucrarse en proyectos de desarrollo del país para garantizar sostenibilidad y reducción de la pobreza.

6. AGRADECIMIENTOS

Al proyecto de sistematización de políticas y estrategias de adaptación nacional e internacional al cambio climático del sector silvoagropecuario y de los recursos hídricos y edáficos de Chile, Min. Agricultura Chile y Comisión Nacional del Medioambiente, CONAMA; ejecutado por la Universidad de Chile y el grupo IREHISA de la Universidad del Valle; Desarrollo de una Metodología para la Determinación del Índice de Escasez desarrollado por IREHISA de la Universidad del Valle.

BIBLIOGRAFÍA

- Adger, W., & K., Vincent. (2005). ***Uncertainty in adaptive capacity***. C.R. Geoscience, 337, 399-410.
- Adger, W., Agrawala, S., Mirza, M., Conde, C., O'Brien, K., J., Pulhin. (2007). ***Assessment of adaptation practices, options, constraints & capacity. Impacts, Adaptation and Vulnerability***. IV Assessment Report IPCC. Cambridge Univ. Press.

- Anderson, M. 1994. **¿Que cuesta más, la prevención o la recuperación?**, La RED Prevención de Desastres en América Latina. Recuperado el 29 de Junio de 2010, de: <http://www.desenredando.org/public/libros/1994/anrg/html/2cap1.htm>.
- Aldunce, P.; Carvajal, Y.; León, A.; Neri, C.; Quintero, M.; S., Soza. (2008). **Sistematización de las políticas y estrategias de adaptación nacional e internacional al cambio climático del sector silvoagropecuario y de los recursos hídricos y edáficos**. Santiago: Univ. de Chile. 80p.
- Benavides, O. & G., León. (2007). **Información técnica sobre gases de efecto de invernadero y el Cambio climático**. Bogotá. Subd. Meteorología. IDEAM. 220p.
- Bergkamp, G., Orlando, B., & I., Burton. (2003). **Adaptation of Water Management to Climate Change**. International Union for the Conservation of Nature (IUCN). Gland, Switzerland; Cambridge, UK. 150p.
- Brooks, N. (2003). **Vulnerability, risk and adaptation: A conceptual framework**. UK: Tyndall Centre for Climate Change Research Working Paper No. 38.
- Burton, I., Diringier, E., & J., Smith. (2006). **Adaptation to climate change: international policy options**. Pew Center on Global Climate Change . Arlington, USA.
- CAF. (2000). **Las lecciones de El Niño. Colombia. Memorias de el Fenómeno El Niño 1997-1998. Retos y propuestas para la región Andina**. Volumen III. Corporación Andina de Fomento. Caracas. 223p.
- Carvajal-Escobar, Y. (2010). **Interdisciplinariedad: desafío para la educación superior y la investigación**. Revista Luna Azul. In press. Manizales: Universidad de Caldas. No 30.
- Carvajal-Escobar, Y. y Ordoñez, C. (2010). **Pérdida de la**

Biodiversidad y la base ecosistémica. En: Desarrollo sostenible. Principios, aplicaciones y lineamientos para Colombia. Perez, M., Rojas, J. Ordoñez, C. Eds. Cali: Universidad del Valle. 350p.

- Carvajal-Escobar, Y. (2008). **Environmental flow regime in the framework of integrated water resources management strategy.** Int. J. Ecohydrology & Hydrobiology. V. 8 (2-4).
- Carvajal-Escobar, Y.; Jimenez, H. & H., Materón. (1998). **Incidencia del fenómeno El Niño en la hidroclimatología del Valle del río Cauca.** Bulletin de l'Institute D'Francais Etudes Andines (27) 3, 743-51.
- Castellanos, R. (1996). **Lluvias críticas en la evaluación de eventos de remoción en masa.** Tesis de grado. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá.
- Ceballos, J. Euscátegui, C; Ramirez, J. Cañon, M., Huggel, C. Haerberli, W. & H., Mahgut. (2006). **Fast Shrinkage of tropical glaciers in Colombia.** Annuals Glac. 43. N 1, 194-201p.
- Collins, M. & The CMIP Modelling Groups (BMRC (Australia), CCC (Canada), CCSR/NIES (Japan), CERFACS (France), CSIRO (Australia), MPI (Germany), GFDL (USA), GISS (USA), IAP (China), INM (Russia), LMD (France), MRI (Japan), NCAR (USA), NRL (USA), Hadley Centre (UK) and YNU (South Korea)). (2005). **El Niño-or La Niña-like climate change?** Climate Dynamics, 24, 89-104.
- Chen, Z., S. Grasby & K., Osadetz, (2004). **Relation between climate variability and groundwater levels in the upper carbonate aquifer, southern Manitoba, Canada.** J. Hydrol., 290(1-2), 43-62.
- Debels, P., Szlafsztein, C., Aldunce, P., Neri, C., Carvajal, Y.,

- Celis, A., Bezanilla, A. & Martínez, D. (2008). ***IUPA: a proposal of an index for the evaluation of the general usefulness of practices for adaptation to climate change and variability.*** *Natural Hazards* 50:211-233.
- Duque, G. (2008). ***Problemática y posibilidades del sistema de transporte de carga en Colombia.*** Documento de trabajo. Universidad Nacional de Colombia. Manizales, 7 p.
 - Euscátegui, C. (2003). ***Evolución de los glaciares en Colombia y análisis de la dinámica glaciar asociada al CC en el parque natural los nevados.*** En: Tesis MSc Meteorología, Universidad Nacional. Bogotá. 355p.
 - Florez, A. (1992a). ***Los glaciares residuales de Colombia. Enfoque histórico y geosituación actual.*** *Zenit*, No 3. Pp 35-45.
 - Florez, A. (1992b). ***Los nevados de Colombia: Glaciares y glaciaciones.*** Análisis geográficos. IGAC, Bogotá, No 22, p 95.
 - García-González, M., Carvajal-Escobar, Y., & Jiménez-Escobar, H. (2007). ***La gestión integral de los recursos hídricos como estrategia de adaptación al cambio climático.*** *Ing. y Comp.* 8 (2), 17-24.
 - Guerrero, E., De Keizer, O., R., Córdoba. (2006). ***La aplicación del enfoque ecosistémico en la gestión de los recursos hídricos.*** UICN. Quito, Ecuador, P.78.
 - Hurtado, G. (1996). ***Estadísticas de la Helada Meteorológica en Colombia.*** Bogotá: IDEAM. 60p.
 - IDEAM. (2007). ***Estudio Nacional del Agua.*** IDEAM. Bogotá, Colombia. 300 p.

- IDEAM. (2004). **Informe anual sobre el Estado del Medio Ambiente y los Recursos Naturales en Colombia**. IDEAM. Bogotá, Colombia. 256 p.
- IDEAM. (2003). **Los glaciares colombianos, expresión del cambio climático global**. Ministerio del medio ambiente. <http://www.ideam.gov.co>
- IDEAM. (2001). I **Comunicación Nacional ante la Convención Marco de Cambio Climático de las Naciones Unidas, Bogotá, Colombia**: IDEAM. 271 p.
- IPCC. (2007a). **Summary for Policymakers**. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. IPCC; Working Group I, IV Assessment Report IPCC. Cambridge; NY, USA: IPCC. Solomon, S.D.; Qin, M.; Manning, Z.; Enhen, M.; Marquis, K.B.; Averyt, M.; Tignor and H.L. Miller (eds.) 18p.
- IPCC. (2007b). **Synthesis Report of Contributions from the 3 Working Groups to the IV Assessment Report of IPCC Plenary XXVII**. IPCC. Valencia, Spain. 22p.
- Jimenez, H. & Y., Carvajal-Escobar. (2007). **Posibles impactos del cambio climático en los Andes Colombianos**. IV Conf. Intern. de Niebla, Captación y Rocío. Univ. de La Serena.
- Kabat, P., H., Van Schaik. (2003). **Climate Changes the Water Rules: How water managers can cope with today's climate variability and tomorrow's climate change. Dialogue Water and Climate (DWC)**. Delft, Netherlands. ISDWC, Edit. Brian Appellton.
- Knight, C.G., I. Raev, and M. P. Staneva, Eds., (2004): Drought in Bulgaria: A Contemporary Analog of Climate Change. Ashgate, Aldershot, Hampshire 336 pp. Kovats, R.S., Campbell-Lendrum, D. & F., Matthies. 2005: **Climate change and human health: estimating avoidable deaths and disease**. Risk Analysis, 25(6), 1409–1418.

- Kundzewicz, Z., Mata, L., Arnell, N., Döll, P., Kabat, P., B., Jiménez. (2007). **Freshwater, resources and their management. Climate Change: Impacts, Adaptation & Vulnerability.** IV Assessment Report IPCC, Working Group II. Cambridge Univ. Press.
- Leemans, R. & A. Kleidon, (2002): **Regional and global assessment of the dimensions of desertification. Global Desertification: Do Humans Cause Deserts?** J.F. Reynold & D.S. Smith, Eds., Dahlem University Press, Berlin, 215-232.
- Magrin, G., Gay García, C., Cruz Choque, D., Giménez, J., Moreno, A., G., Nagy. (2007). **Latin America. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability.** IV Assessment Report IPCC. Cambridge Univ. Press.
- Marín, R. (1992). **Estadísticas sobre el recurso agua en Colombia.** HIMAT. Segunda Edición. IDEAM. Editorial Arte y Fotolito. Bogotá, D.C., 1992.
- Mauro, A. (2007). **Desastres Naturales. El aporte de la meteorología a través de un sistema de pronósticos.** Universidad Santiago de Chile. Seminario de Economía y Meteorología.
- Mayorga, R.; González, Y. & G., Hurtado. (2008). **Las heladas en Colombia.** IDEAM. 50p.
- Malagón, D. (1995). **SUELOS DE COLOMBIA.** Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Santafé De Bogotá. D.C. p 536-550.
- Niggli, U., Fließbach, A., Hepperly, P. & Scialabba, N. (2009). **Low Greenhouse Gas Agriculture: Mitigation, Adaptation Potential of Sustainable Farming Systems.** FAO, Rev. 2.
- Ojeda, E. & Arias, R. (2000). **Informe nacional sobre gestión del agua en Colombia.** Recursos Hídricos, Agua Potable y Saneamiento. 120 p.

- OIM. (2009). ***Migration, climate change and the environment***. Policy Brief. Organización Internacional para las Migraciones. mayo de 2009.
- OMM-BID. (2002). ***Propuesta de Sistema Nacional de Alerta temprana en Colombia ante el fenómeno El Niño/ Oscilación del Sur***.
- Ortiz, J.C. (2007). ***Huracanes y tormentas tropicales en el mar Caribe colombiano desde 1900***. Boletín Científico. No. 25, 54-60 p.
- Pabón, J.D. (2007). ***El cambio climático en Colombia: Tendencias actuales y proyecciones para el Siglo XXI***. I conferencia internacional de cambio climático en los sistemas de alta montaña. Emb. Suiza (Colombia), IDEAM, Univ. Zurich. Bogotá
- Pachauri, R., (2004): ***Climate change and its implications for development: the role of IPCC assessments***. Inst. Devel. Stud. Bull., 35, 11.
- Peña, E.; Rojas, J. y Pérez, M. (2010). ***Pérdida de la Biodiversidad y la base ecosistémica***. En: Desarrollo sostenible. Principios, aplicaciones y lineamientos para Colombia. Perez, M., Rojas, J. Ordoñez, C. Eds. Universidad del Valle. 350p.
- PNUD. (2004). ***La Reducción de Riesgos de Desastres: un desafío para el desarrollo***. Informe Mundial. 157p.
- Pisco, J. (2010). ***Colombia: Estado de situación frente a la Agricultura, Seguridad Alimentaria y Gestión de Recursos Hídricos destinados a la agricultura y el Cambio Climático***. Min. Fed. de cooperación económica y desarrollo.69p.
- PNUD. (2008). ***Cambio climático y Seguridad Nacional***. PNUD. 16p.

- Poveda, G.; Bouma, M.J.; Rojas, W.; Chavasse, D.; Quinones, M.; Cox, J. & J., Patz. (1997). **Predicting high risk years for malaria in Colombia using ENSO**. Trp. Med. Int. Health. Vol (12). 1122-7.
- Pulwarty, R.S. & H.F. Diaz. (1993). **A study of the seasonal cycle and its perturbation by ENSO in the tropical Americas**, IV Inter Conf, South. Hem. Met. Ocean. Am. Met. Society, 262-263.
- Reilly, J.M. & Schimmelpfenning, D. (1999). **Agricultural impact assessment, vulnerability, and the scope for adaptation**. Climatic Change 43, 745–788.
- Restrepo, J.D. (2005). **Los sedimentos del río Magdalena: Reflejo de la crisis ambiental**. Medellín, Fondo Editorial EAFIT. 265 p.
- Reuveny, R. (2007). **Climate change-induced migration and violent conflict**. *Climate Change and Conflict*. Political Geography. Volume 26, Issue 6, Pages 656-673.
- Ribstein, P.; Francou, B.; Coudrain-Ribstein, A. & P. Mourguiard. (1997). **Evenements ENSO er hidrologie de glaciers en Bolivie**, en Sem. Int. sobre consecuencias del ENSO. 327-328.
- Robertson, G. P. & S. M. Swinton. (2005). **Reconciling agricultural productivity and environmental integrity: a grand challenge for agriculture**. *Frontiers in ecology and the environment* 3(1): 38-46.
- Rodriguez, A. (2008). **Evaluación de rápida de los efectos del huracán beta en la isla Providencia (Caribe Colombiano)**. Bol. Invest. Mar. Cost. 37 (1) 217-224.
- Rosenzweig, C., Casassa, G., Karoly, D., Imeson, A., Liu, C., A. Menzel. (2007). **Assessment of observed changes and**

responses in natural and managed systems. Impacts, Adaptation and Vulnerability. Cambridge Univ. Press. 132p.

- Rossel, F. (1997). **Caracterización y zonificación de las consecuencias pluviométricas del ENSO en la costa ecuatoriana.** Seminario: Consecuencias climáticas e hidrológicas de El Niño a escala regional y local, incidencias en L.A. Quito. 119-125p.
- Rubiera J. (2005). **Early Warning for Hurricanes.** Thematic Session Cluster 2 World Conference on Disaster Reduction. Kobe, Japan. January 18 22.
- Stern, R. (2007). **The Economics of Climate Change, The Stern Review. Nicholas Stern HM Treasury.** UK: Cambridge University Press. 700p.
- Vargas, G. & Gómez, C. (2003). **La desertificación en Colombia y el cambio Global.** Cuad. de geografía, XII (1- 2), Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. 121–134p.
- Velasquez, A., & Rosales, C., (2003). **Movimientos de masa, desastres, lluvias y ENSO en Colombia.** IX Congreso de Geología. Medellín.
- Vincent, K.; (2007). **Uncertainty in adaptive capacity and the importance of scale. Global Environmental Change,** 17, 12-24.
- Warner, K.; Erhart, C.; Sherbinin, A.; S. Adamo. (2009). **Mapping the Effects of Climate Change on Human Migration and Displacement. Care International;** Columbia Univ.; UNHCR; UN Univ.; Inst. Envir. & Human Security; World Bank. 31p.
- Webster, P.J. Holland, G. J. Curry, J. A. & H.R. Chang. (2005). **Changes in tropical cyclone number, duration, and intensity in a warming environment.** Science, 309, 1844-46.