

ESTUDIOS DE CASO

ESTUDIOS DE CASOS: CANADÁ - COLOMBIA

Los estudios de caso son una herramienta metodológica muy utilizada en los procesos investigativos, los cuales facilitan la solución de problemas similares aunque sean espacios geográfica y culturalmente diferentes. Es por esto que se planteó una investigación entre dos países, con áreas geográficas diversas, en dos ciudades con grandes diferencias de desarrollo humano como Montreal y Yumbo, pero que comparten, entre otras, tres cosas en común: son ciudades cruzadas por sistemas hídricos importantes, tienen problemas de inundación en sus áreas urbanas producidos por los sistemas hídricos, y por último, procesos de desbordamientos y sequías que tienen relación directa con el cambio climático mundial. Estas fueron las premisas de partida, teniendo en cuenta que esta investigación se enmarcó dentro del programa *Faculty Research Program*, que establece como una de las condiciones para asignación de recursos que sean estudios comparativos o de caso.

Así mismo, existe en Colombia interés en temas económicos, culturales, de intercambio científico, etc., con Canadá, a tal punto de señalarse que:

Las relaciones entre Colombia y Canadá han sido tradicionalmente amistosas y cordiales. Ambos países comparten similares puntos de vista frente a los principales temas del acontecer mundial y colaboran de manera eficaz en los asuntos regionales y hemisféricos [...] La búsqueda de la paz y de la seguridad internacional, el fortalecimiento de la democracia, el desarrollo social y la prosperidad económica, hacen parte de la agenda de política exterior de ambas naciones. Igualmente, la integración y la concertación, así como los esfuerzos por lograr la plena realización de los ideales contenidos

en la Carta de las Naciones Unidas y de la Organización de Estados Americanos, son objeto de su permanente atención. Y como base fundamental de ese entendimiento cordial, el pleno respeto del derecho internacional, de la soberanía e independencia, de la autodeterminación y del equilibrio²⁰.

Existen investigaciones adelantadas en Colombia sobre comercio, medio ambiente y multiculturalismo, que plantean:

En relación con el TLC con Colombia, es evidente que el sector medio ambiental constituye una gran oportunidad para las empresas colombianas de nutrirse de los conocimientos, innovaciones y procedimientos que siguen las pautas del desarrollo sostenible, por lo que es fundamental que el equipo negociador busque acercamientos que permitan la celebración posterior de acuerdos de colaboración empresarial entre compañías de Québec y Colombia.

No obstante, es importante advertir la posibilidad de que estas políticas se conviertan en barreras indirectas al comercio entre Colombia y Québec, al menos inicialmente, si las empresas colombianas no conocen a fondo las exigencias de cooperación, en el evento de buscar una inversión directa, y la calidad de los productos exigida por la provincia, en lo referente al intercambio de mercancías.²¹

Las anteriores circunstancias fueron reforzadas por el acontecer político que, coincidente con la visita del primer ministro Stephen Harper a América del Sur y el Caribe, el pasado julio de 2007, marcó un nuevo comienzo para el compromiso de Canadá en el hemisferio occidental. De esta manera, las agencias internacionales, en sus informes, plantearon que durante la visita, el Primer Ministro describió así la visión del gobierno para Canadá y las Américas:

Canadá se ha comprometido plena y activamente con varios países de la región para promover una amplia gama de intereses comunes: desde el comercio y la inversión, hasta la educación, desde la ayuda al desarrollo, hasta el intercambio de mejores prácticas e información sobre pandemias, y desde el mantenimiento del orden, hasta la supervisión de las elecciones.

Así mismo, en noviembre de 2008, el Primer Ministro hizo hincapié:

²⁰ Embajada de Canadá en Colombia (2009). Informe de gestión año 2008, consultado marzo 15 de 2009 en <http://www.canadainternational.gc.ca/colombia-colombie>

²¹ SALDARRIAGA, Alina y VÉLEZ, María Adelaida (2008). *Québec, una mirada desde el comercio y el multiculturalismo a la relación con Colombia*. Trabajo de grado, Universidad Eafit, 14 de agosto 2008, Medellín, Colombia.

En el continuo compromiso de Canadá con las Américas, a través del nombramiento de un ministro de Estado de Asuntos Exteriores con responsabilidad especial para las Américas. Son un esfuerzo sostenido, de colaboración y constante trabajo con países del hemisferio en el transcurso del tiempo. Canadá puede contribuir a asegurar que los ciudadanos de la región vean mejoramientos de la situación ahora y en el futuro. Las Américas son y seguirán siendo una prioridad de política exterior para Canadá. Los canadienses tienen mucho que ganar al estar implicados en la región y también tienen mucho que contribuir.

Por otro lado, el pasado mes de abril de 2009, el primer ministro Harper llevó a sus reuniones con los líderes hemisféricos en la Quinta Cumbre de las Américas, que tuvo lugar en Trinidad y Tobago, el siguiente mensaje:

El Gobierno de Canadá permanece comprometido a trabajar con los socios de la región y, en el ámbito nacional, a contribuir en la construcción del mejor futuro posible para las Américas, para los canadienses y para todos los ciudadanos del hemisferio.

En otros temas de cooperación se ha establecido que las amenazas contra la seguridad en la región varían desde el crimen, la violencia y las drogas, hasta las epidemias sanitarias y los desastres naturales. Estos desafíos trascienden las fronteras territoriales, afectando a los canadienses y a otros ciudadanos en las Américas. La Agencia de Salud Pública de Canadá (ASPC) está apoyando a la Comunidad del Caribe para crear una agencia de prevención, mitigación y atención de desastres naturales, como los terremotos, los huracanes y las inundaciones; estos fenómenos pueden obstaculizar e, incluso, revertir el desarrollo de un país. Canadá ha brindado ayuda contribuyendo con más de US\$10 millones para asistir a Haití después de tres importantes huracanes en 2008, la Agencia Canadiense para el Desarrollo Internacional (ACDI), ha aportado US\$20 millones para construir una nueva instalación de seguro de riesgo de catástrofes en el Caribe y US\$20 millones al Programa de Gestión de Riesgos de los Desastres en el Caribe.

EL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL CONTINENTE AMERICANO

El fenómeno de cambio climático mundial está generando una transformación importante en todos los ciclos de la naturaleza, originando una serie de amenazas y potencializando otras como inundaciones, sequías, olas de calor, tormentas, efectos en la calidad del agua, deslizamientos, etc.

Es necesario entender los efectos del cambio climático que se está originando en el continente americano, para tal fin en esta investigación ana-

lizó el informe IPCC, 2007²²: cambio climático 2007, donde en uno de sus apartes confirman datos y estadísticas citados con anterioridad en esta investigación: “De los doce últimos años (1995-2006), once figuran entre los doce más cálidos en los registros instrumentales de la temperatura de la superficie mundial (desde 1850). La tendencia lineal a 100 años (1906-2005), cifrada en 0,74°C [entre 0,56°C y 0,92°C] es superior a la tendencia correspondiente de 0,6°C [entre 0,4°C y 0,8°C] (1901-2000) indicada en el tercer informe de evaluación (TIE)”. Este aumento de temperatura está distribuido por todo el planeta y es más acentuado en las latitudes septentrionales superiores.

Las regiones terrestres se han calentado más aprisa que los océanos, el aumento de nivel del mar concuerda con este calentamiento. En promedio, el nivel de los océanos mundiales ha aumentado, desde 1961, a un promedio de 1,8 [entre 1,3 y 2,3] mm/año, y desde 1993, a 3,1 [entre 2,4 y 3,8] mm/año, en parte por efecto de la dilatación térmica y del deshielo de los glaciares, de los casquetes de hielo y de los mantos de hielo polares. No es posible dilucidar hasta qué punto esa mayor rapidez evidenciada entre 1993 y 2003 refleja una variación decenal, o bien, un aumento de la tendencia a largo plazo. La disminución observada de las extensiones de nieve y de hielo concuerda también con el calentamiento. Datos satelitales obtenidos desde 1978 indican que el promedio anual de la extensión de los hielos marinos árticos ha disminuido en un 2,7 [entre 2,1 y 3,3]% por decenio, con disminuciones estivales aún más acentuadas, de 7,4 [entre 5,0 y 9,8]% por decenio.

En promedio, los glaciares de montaña y la cubierta de nieve han disminuido en ambos hemisferios. Entre 1900 y 2005, la precipitación aumentó notablemente en las partes orientales de América del Sur y del Norte, Europa septentrional, Asia septentrional y central, aunque disminuyó en el Sahel, en el Mediterráneo, en el sur de África y en ciertas partes del sur de Asia. En todo el mundo, la superficie afectada por las sequías ha aumentado posiblemente desde el decenio de 1970. Es muy probable que en los últimos 50 años los días fríos, las noches frías y las escarchas hayan sido menos frecuentes en la mayoría de las áreas terrestres, así mismo que los días y noches cálidas hayan sido más frecuentes. También, que las olas de calor hayan sido más frecuentes en la mayoría de las áreas terrestres, que la frecuencia de las precipitaciones intensas haya aumentado en la mayoría de las áreas, y que, desde 1975, la incidencia de valores extremos del nivel del mar haya aumentado en todo el mundo.

Las observaciones evidencian un aumento de la actividad ciclónica tropical intensa en el Atlántico Norte desde 1970, aproximadamente, con es-

²² PACHAURI, R.K. y REISINGER, A. (2007): Cambio climático. Informe de síntesis. Contribución de los grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de expertos sobre el cambio climático [Equipo de redacción principal]. IPCC, Ginebra, Suiza, 104 p.

casa evidencia de aumentos en otras regiones. No se aprecia una tendencia clara del número anual de ciclones tropicales. Es difícil identificar tendencias a más largo plazo de la actividad ciclónica, particularmente antes de 1970. En promedio, las temperaturas del Hemisferio Norte durante la segunda mitad del siglo XX fueron muy probablemente superiores a las de cualquier otro período de 50 de los últimos 500 años, y probablemente las más altas a lo largo de, como mínimo, los últimos 1300 años.

Entendiendo claramente los fenómenos y las consecuencias del cambio climático global y las repercusiones en el continente americano, esta investigación se concentra en dos tipos de amenazas naturales: inundación y sequía en el área geográfica nororiental de Canadá, específicamente la ciudad de Montreal, y la zona sur del Valle del Cauca en Colombia, específicamente el río Yumbo, en la ciudad de Yumbo. Para entender cómo estos ecosistemas naturales tienen directa relación en la cuenca hidrográfica, se considera necesario estudiar toda la cuenca hidrográfica del río San Lorenzo y el río Yumbo, para entender las repercusiones ambientales y los riesgos socio-naturales que tienen relación directa con el calentamiento global.

EL SISTEMA HÍDRICO DEL RÍO SAN LORENZO

La cuenca hidrográfica²³ del río San Lorenzo, incluye los Grandes Lagos en la parte alta; en la parte baja se encuentra su desembocadura en el golfo de San Lorenzo. El área total de la cuenca del río San Lorenzo es de 1.609.854 km²²⁴. La cuenca está conformada por cuatro grandes regiones hidrográficas, el tronco fluvial, el estuario fluvial, el estuario medio y el estuario marítimo o del golfo, como aparece en la gráfica 3.1.

²³ *La cuenca hidrográfica como territorio para la gestión integral del agua.* La cuenca es un concepto geográfico e hidrológico que se define como el área de la superficie terrestre por donde el agua de lluvia escurre y transita o drena a través de una red de corrientes que fluyen hacia una corriente principal y por ésta hacia un punto común de salida que puede ser un almacenamiento de agua interior, como un lago, una laguna o el embalse de una presa, en cuyo caso se llama cuenca endorréica. Normalmente la corriente principal es la que define el nombre de la cuenca. Cada uno de estos ríos tiene corrientes alimentadoras que se forman con las precipitaciones que caen sobre sus propios territorios de drenaje a las que se les llama cuencas secundarias o subcuencas. A su vez, cada subcuenca tiene sus propios sistemas hidrológicos que les alimentan sus caudales de agua. Estas son cuencas de tercer orden y así, sucesivamente, hasta territorios muy pequeños por los que escurre el agua sólo durante las temporadas de lluvia y por períodos muy cortos de tiempo. Para los fines de formulación y ejecución de las políticas públicas relacionadas con el agua y de participación en la gestión integral del recurso, interesan sólo tres niveles de cuenca. Las macrocuencas que corresponden a grandes sistemas hidrológicos. Las subcuencas, o cuencas de segundo orden, y un tercer nivel que puede denominarse de microcuencas.

²⁴ GINGRAS, Danielle (1997). *Le fleuve en Bref, Capsules –éclair Sur l'état du Saint-Laurent, Centre Saint-Laurent, Canada.*



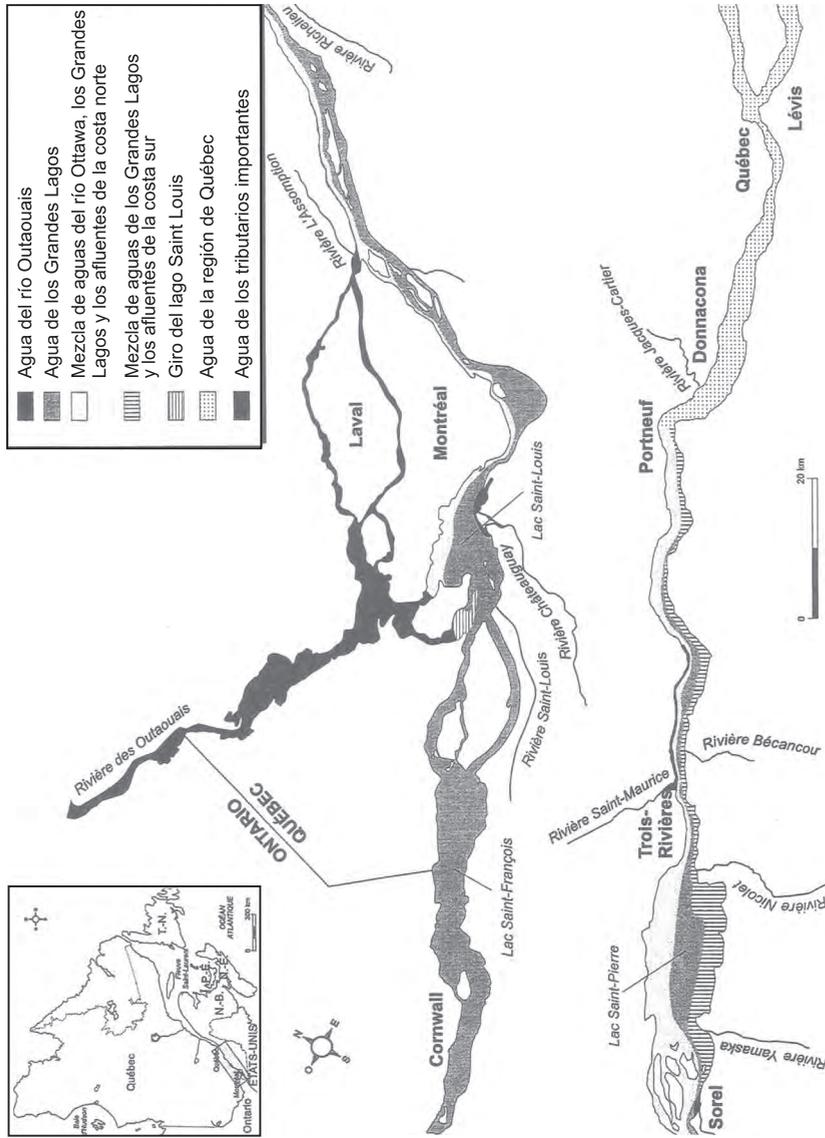
Gráfica 3.1 Región hidrográfica del río San Lorenzo²⁵

Para la investigación se tiene en cuenta toda la cuenca hidrográfica como sistema, pero en este primer caso se centra en la región hidrográfica del tronco fluvial; dicha zona se extiende desde la ciudad de Cornwall hasta el puente du Lac, como se observa en la gráfica 3.2. Esta zona es de suma importancia para la investigación ya que se encuentra en medio de la zona hidrográfica de la ciudad de Montreal; adicionalmente, es el área fuertemente industrializada. Esta zona se caracteriza por la presencia de rápidos, de lagos, numerosas islas y de aguas dulces en todo su trayecto.

La fisiografía del río San Lorenzo es alterada a partir del siglo XX por la gran cantidad de intervenciones humanas en la cuenca, principalmente de obras hidráulicas e hidroeléctricas, la creación de canales marítimos, el dragado del canal de navegación, la modificación de las riberas y la creación de islas para la Expo 67²⁶.

²⁵ ROBICHAUD, Alain et DROLET René (1998). “Les fluctuations des niveaux d’eau du Saint-Laurent”, *Rapport Technique*, Ministère de L’Environnement et de la Faune du Québec, Juin, p. 2.

²⁶ ROBICHAUD, Alain et DROLET René (1998), Op. cit. p. 7.



Gráfica 3.2. Las masas de agua del río San Lorenzo entre Cornwall y Québec²⁷

²⁷ ROBICHAUD, Alain et DROLET René (1998), Op cit. p. 34.

El régimen hidráulico de la región de Montreal está influenciado por los Grandes Lagos, principalmente el lago Ontario, el río Outaouais, el lago de Deux Montagnes, el lago San Luis, la rivière des Mille Îles y la rivière des Prairies. La fluctuación de los niveles de agua es una consecuencia de las variaciones climáticas asociadas al cambio climático. Las comunidades antrópicas y bióticas han evolucionado para adaptarse a los niveles de agua y sus cambios diarios, estacionales e, incluso, anuales. De hecho, estos son los tipos de variaciones en los niveles de agua que determinan los cambios de uso del suelo, la diversidad, el estado de la vegetación y los humedales, que proporcionan el hábitat para una gran variedad de invertebrados, anfibios, reptiles, peces, aves y mamíferos. Los altos niveles del agua pueden conducir a la pérdida de muchos arbustos, especies de plantas invasoras y otras que salen del agua. Así mismo, los bajos niveles de agua pueden originar la exposición al aire de zonas cercanas a la costa que casi siempre están cubiertas, originando la pérdida de especies acuáticas que se reproducen en áreas costeras; también, bajo nivel de acceso de los peces a lugares de desove, así como el uso restringido de los humedales.

Varios estudios recientes sugieren que el clima de la cuenca del río San Lorenzo –región de los Grandes Lagos, se encuentra en transición; los inviernos se han acortado, la temperatura media anual aumenta, la cubierta de hielo dura menos, y se presentan episodios de lluvias cada vez más intensos y frecuentes (Kling et al, 2003)²⁸. En el futuro, se presentarán aumentos en la temperatura del aire (alrededor de 2 grados centígrados), y la evaporación (12-17%), estos fenómenos conducirán a una disminución en el nivel de los Grandes Lagos media de 0,2 a 0,7 m (Lofgren et al, 2002)²⁹.

Un déficit de suministro de agua de los Grandes Lagos, podría conducir a una disminución entre el 20 y el 40% de la salida desde el lago Ontario al río San Lorenzo, con una disminución en el nivel medio del río de aproximadamente un metro en Montreal (Mortsch Quinn, 1996)³⁰. Los más

²⁸ KLING, G.W., K. HAYHOE, L.B. JOHNSON, J.J. MAGNUSON, S. POLASKY, S.K. ROBINSON, B.J. SHUTER, M.W. WANDER, D.J. WUEBBLES, D.R. ZAK, R.L. LINDROTH, S.C. MOSER et M.L. WILSON (2003). *Confronting Climate Change in the Great Lakes Region. Impacts on our Communities and Ecosystems*. Union of Concerned Scientists, Cambridge, Massachusetts, and Ecological Society of America, Washington, D.C. Consultado el 15 de marzo de 2008, <<http://www.ucsusa.org/greatlakes>>.

²⁹ LOFGREN, B.M., F.H. QUINN, A.H. CLITES, R.A. ASSEL, A.J. EBERHARDT et C.L. LUUKKONEN (2002). "Evaluation of potential impacts on Great Lakes water resources based on climate scenarios of two GCMs", *Journal of Great Lakes Research*, 28 (4): 537-554.

³⁰ MORTSCH, L.D. et F.H. QUINN (1996). "Climate change scenarios for Great Lakes Basin ecosystem studies". *Limnology and Oceanography*, 41: 903-911.

recientes escenarios indican una posible pérdida que puede variar entre 4% y 24% de la salida desde el lago Ontario (Crowley, II 2003)³¹.

La cuenca hidrográfica del río San Lorenzo está siendo transformada por los factores climáticos; la disponibilidad de agua, un fenómeno de suma importancia para la conservación de los niveles adecuados de abastecimiento de agua corriente para el San Lorenzo, se basa en varias políticas que el gobierno adoptó en los últimos 20 años. Sin embargo, dichas políticas carecían de la coordinación de los esfuerzos de investigación para decidir lo mejor sobre los efectos de estos cambios sobre los ecosistemas y, más concretamente, en los sectores afectados por la disponibilidad de agua como las áreas de los Grandes Lagos. Hasta la fecha, las simulaciones que se han hecho en la cuenca del río San Lorenzo permite concluir que es más apropiado hablar de posibles riesgos, algunos de ellos son, sin embargo, muy reales (Lasserre, 2005)³².

RÉGIMEN HIDROLÓGICO DEL RÍO SAN LORENZO

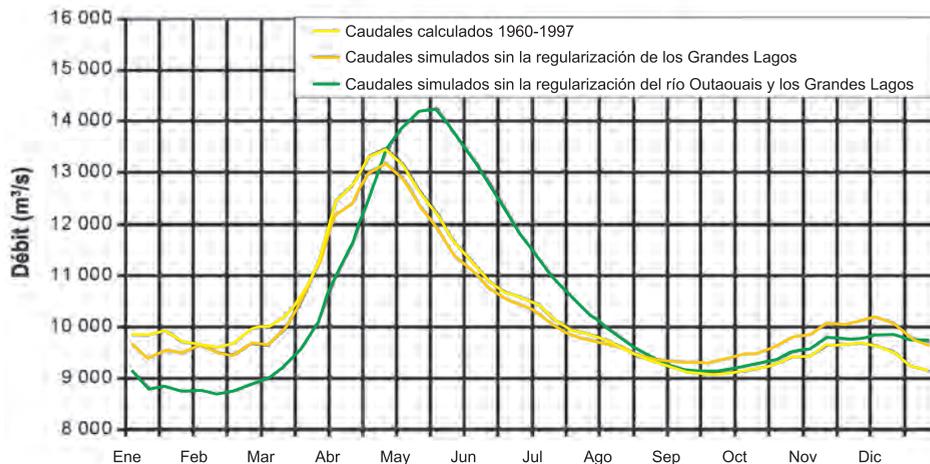
Las fluctuaciones de la corriente del río San Lorenzo resultan en gran parte de los aportes de aguas de sus principales tributarios, el lago Ontario y el río Outaouais. Varios de las principales afluentes aguas abajo de estos dos sistemas hídricos también contribuyen a estas fluctuaciones, pero su impacto es menor debido a su menor tamaño. En promedio, el río Outaouais proporciona 6980 m³/s por año en el río San Lorenzo, mientras que el caudal del lago Ontario fluctúa 5650 m³/s, y su nivel varía de 2,02 m. Estas grandes fluctuaciones dan como resultado la mayoría de las variaciones de los aportes de sus afluentes y la morfología resultante del entorno fluvial.

Es importante resaltar que las proporciones de flujo de agua del río San Lorenzo, desde el lago Ontario y de otros afluentes, pueden variar durante el año en función de estaciones, condiciones meteorológicas y de la estrategia de regularización aplicada. En la siguiente tabla aparece un análisis comparativo del caudal del río San Lorenzo, en distintos momentos, simulando posibles efectos, como se observa en la tabla 3.1.

³¹ CROWLEY II, T.J. (2003). Great Lakes Climate Change Hydrological Impact Assessment. US Department of Commerce and National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), Great Lakes Environmental Research Laboratory, Ann Arbor, Michigan. Technical memorandum Glerl-126, IJC Lake Ontario-St. Lawrence River Regulation Study, 75 pages.

³² LASSERRE, F. (Éd.) (2005). Transferts massifs d'eau, outils de développement ou instruments de pouvoir? Presses de l'Université du Québec, Géographie contemporaine, 576 pages. Canada.

Tabla 3.1. Análisis comparativo del caudal del río San Lorenzo, entre 1960-1997 simulando posibles efectos³³



CAUDAL

Las fluctuaciones del río San Lorenzo se caracterizan por un caudal de agua muy variable de un año a otro, dependiendo principalmente del clima. Las series temporales de los flujos del río San Lorenzo en el punto de Sorel, muestran la magnitud de las variaciones diarias del flujo de alrededor de 14.000 m³/s, entre un mínimo de 6.000 m³/s, y un máximo de 20.000 m³/s aproximadamente.

Los caudales más bajos del río San Lorenzo se observaron a mediados de 1930 (6.601 m³/s), seguido por los altos caudales de 19.655 m³/s, en 1943. Flujos muy bajos se observaron también a mediados de 1960 (6.093 m³/s), seguido por un alto flujo (20.343 m³/s) en 1976 y, más recientemente, a finales de la década de 1990 y principios de 2000. Así mismo, es importante resaltar los niveles registrados en el pasado durante los períodos de bajos niveles de agua que contienen valores extremos que no se han alcanzado en el reciente episodio de poca agua del verano de 2001. Aunque muy bajos, los valores medidos durante el verano de 2001 están dentro del rango de valores registrados en un centenar de años como se observa en la tabla 3.2.

³³ TALBOT, André (2006). Enjeux de la disponibilité de l'eau pour le fleuve Saint Laurent, Synthèse Environnementale, Environnement Canada, Montréal. Chapitre 2, p. 19,

Tabla 3.2. Resumen de los niveles de caudal entre los Grandes Lagos y el río San Lorenzo³⁴

Lago Ontario		Flujo Saint-Laurent a Sorel	
Nivel (metros; SRIGL 1985*)	Caudal (m ³ /s)	Nivel (metros; SRIGL 1985*)	Caudal (m ³ /s)
Promedio	6 980	4,96	9 868
Máximo	10 010	7,23	17 180
Mínimo	4 360	3,61	6 541
Fluctuaciones	5 650	3,62	10 639

* SRIGL 1985: Sistema de referencia internacional de los Grandes Lagos de 1985

Resumen de los principales aportes del agua del Saint-Laurent a Trois-Rivières, compilado a partir de promedios periódicos de los caudales para el periodo 1932 a 2004

	Caudal (m ³ /s)		
	Mínimos	Promedio	Máximos
Lac Ontario à Cornwall	4 360	6 980	10 010
Apports au lac Saint-François	0,9	232	1 232
Bassin de la rivière Châteauguay	1,3	42	1 847
Apport non jaugé du canal de la Rive Sud	0,1	5,4	248
Rivière des Outaouais au barrage de Carillon	306	1914	8 190
Rive nord de Montréal (aval de Carillon jusqu'à L'Assomption, près de Repentigny)	10,3	127	1 709
Bassin de la rivière Richelieu	47	373	1 473
Apports au lac Saint-Pierre	20	377	4 595

³⁴ Op. cit. p. 20.

NIVELES DE AGUA

Cada uno de los acontecimientos sucedidos a través del siglo pasado en el río San Lorenzo ha tenido un efecto sobre los niveles de distribución del agua. Si bien algunas obras como las pilas de un puente producen un efecto local, varios de los principales acontecimientos han cambiado los niveles de distribución, y en escalas espaciales entre Montreal y Trois-Rivières, en particular: el dragado constante del canal para la navegación (facilitación de la circulación en la superficie libre), la construcción la isla de Santa Elena y el puente-túnel Louis Hippolyte La Fontaine (disminución del flujo). Así mismo, las prácticas de gestión y protección de estructuras contra los bancos de hielo (una disminución en la formación y la facilitación de la eliminación de hielo). Todos estos acontecimientos han tenido importantes efectos, y, en ocasiones, variables en el tiempo y el espacio.

Así, los cambios realizados sólo han provocado un aumento en el nivel de agua, estimados en 29 cm, en Sorel, y 12 cm, en el puerto de Montreal, en 1930, seguido por las fluctuaciones asociadas a la degradación y reparación de muchas de estas obras. Por último, la regulación de los flujos en el río Ottawa y el lago Ontario, en menor medida, también tienen un impacto sobre la distribución de los niveles del río San Lorenzo. En la práctica, es extremadamente difícil aislar el efecto de regularización del lago Ontario, con todos los demás efectos. La tabla 3.2, que ilustra la serie temporal de los niveles el agua almacenada en el puerto de Montreal, entre 1932 y 2005, muestra el impacto acumulativo de las diferentes intervenciones, principalmente en la forma de reducción de los niveles del agua.

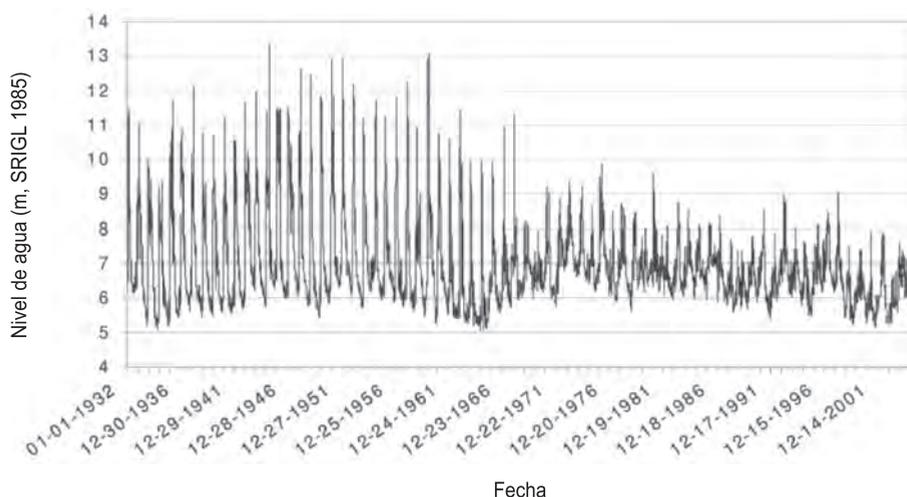
Los niveles de agua de los lagos San Francisco y San Louis varían mucho menos desde el comienzo de la regularización de los Grandes Lagos-río San Lorenzo, a finales del decenio de 1950. Siempre que se han presentado las inundaciones los niveles de estos lagos se han mantenido dentro de una gama bien definida, como se observa en la tabla 3.3.

El caudal del río San Lorenzo es, en gran medida, regulado por el control de la salida del lago Ontario. La estrategia de adopción de un reglamento por el CMI pretende, entre otras cosas, reducir al mínimo la magnitud de las inundaciones del caudal del río. El impacto de esta inundación se hace sentir especialmente en el lago Saint-Pierre, donde muchas de las islas a lo largo del río se inundan durante un fenómeno de lluvias prolongado.

Al analizar los niveles de agua en el río San Lorenzo se debe prestar especial atención al efecto de fenómenos naturales y antropogénicos. También hay que abordar algunas cuestiones prácticas. Por ejemplo, a causa de los cambios antropogénicos cerca del puerto de Montreal, es necesario recopilar datos estadísticos históricos en este sector desde 1967. Es importante resaltar que los bajos niveles registrados a comienzos de los años 1930 y 1964, y en 1965, en el río San Lorenzo, no se toman en cuenta en

esta estadística. Por lo tanto, estos datos no son comparables a los cálculos efectuados para los Grandes Lagos, los cuales se tomaron desde 1918. Se puede concluir, entonces, que ante esta situación se llega a una interpretación errónea de la situación de los niveles de agua en el río para el año 2001.

Tabla 3.3. Niveles del agua almacenada en el puerto de Montreal entre 1932 y 2005³⁵



Estos posibles riesgos plantean preguntas sobre los cambios en los regímenes hidrológicos futuros teniendo presente la importancia de los datos sobre la síntesis de diversos componentes del ecosistema y, principalmente, los cambios en el uso que se presentan en el entorno de la cuenca hidrográfica. Por último, es necesario tener en cuenta las soluciones técnicas propuestas para la gestión de los ríos y las consecuencias económicas de las opciones de gestión de la demanda, lo que podría reducir la presión sobre la disponibilidad de agua del río San Lorenzo.

A continuación se muestran los resultados del análisis del sistema de tronco fluvial: su comportamiento hidráulico y los cambios que se están originando por el cambio climático.

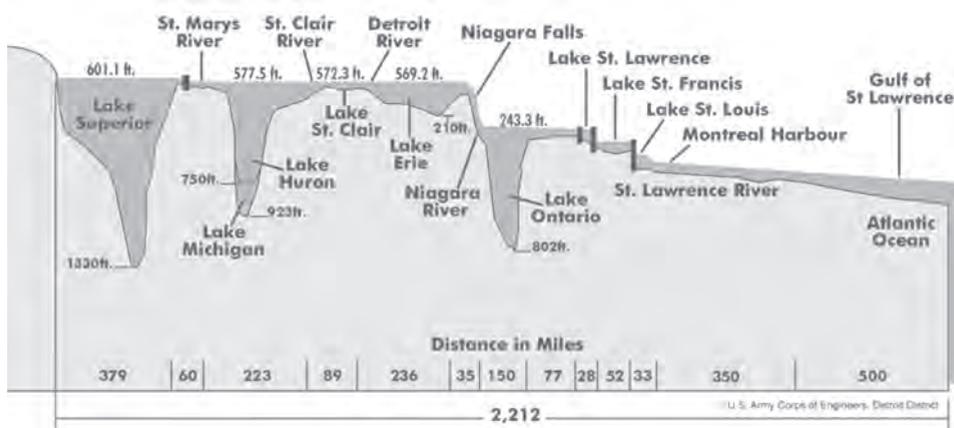
LOS GRANDES LAGOS

El cambio climático está generando grandes alteraciones en el clima mundial, la zona de los Grandes Lagos en Canadá y Estados Unidos, no ha escapado a esta problemática ambiental presentando un fenómeno que se conoce como el “efecto lago”. En invierno, la evaporación provocada

³⁵ Op. cit. p. 21,

por los vientos del oeste puede producir grandes nevadas. El ejemplo más destacado es la cantidad de nieve que cae en Búfalo, New York, resultante de la evaporación emitida por el lago Erie. No es inusual que nieve en días de cielos claros a causa de este fenómeno. Los lagos también moderan las temperaturas de las estaciones, absorbiendo el calor y enfriando el aire en verano, y desprendiendo suavemente ese calor en otoño. Esta temperatura atenuada crea regiones conocidas como “cinturones frutales”, donde se cultivan frutas tradicionalmente producidas más al sur. La costa este del lago Michigan y la costa sur del lago Erie alojan muchas bodegas.

La península de Niágara, entre el Erie y el Ontario, cuenta con excelentes vinos, producto del “efecto lago” el cual es un fenómeno caracterizado por la aparición de niebla, sobre todo en el lago Superior, debido a su clima marítimo. A pesar de su descomunal tamaño, gran parte de los Grandes Lagos se congelan en invierno. Esto detiene el flujo de barcos durante esta estación, haciendo necesario el uso de rompehielos en los lagos. En la grafica 3.3, se hace un corte de los Grandes Lagos, y el río San Lorenzo pasando por la ciudad de Montreal, hasta la desembocadura en el océano Atlántico. La cuenca de los Grandes Lagos es de suma importancia para la vida de la población de Norte América, ya que representa un cuarto de las reservas de agua dulce que aún quedan en la Tierra, por tanto, los Grandes Lagos influyen casi todos los fenómenos ambientales en la zona norte de América.



Gráfica 3.3. Diferencia de niveles de agua desde el lago Superior hasta el océano Atlántico. U.S Army Corps of Engineers Detroit District (2005).

Consultado marzo 15 2008, http://es.wikipedia.org/wiki/Grandes_Lagos.

La contaminación de los Grandes Lagos está fuertemente influenciada por las actividades o usos del suelo cercanas a sus riberas; debido a esta situación, los impactos ambientales producidos tiene repercusión directa sobre toda la cuenca influenciada por los mismos³⁶.

En la gráfica 3.4, vemos el plano de los Grandes Lagos y su área de influencia directa en color oscuro, adicionalmente se observa el área de influencia de acuerdo con la división política. En Canadá, los Grandes Lagos tienen influencia directa en dos provincias: Ontario y Québec; en los Estados Unidos, tienen influencia directa en ocho Estados: Minnesota, Wisconsin, Illinois, Indiana, Michigan, Ohio, Pennsylvania y New York.



Gráfica 3.4. Plano de los Grandes Lagos y su área de influencia directa.

Imagen GLIN (2004).

Consultado marzo 2008, fuente: <http://www.great-lakes.net/lakes/>.

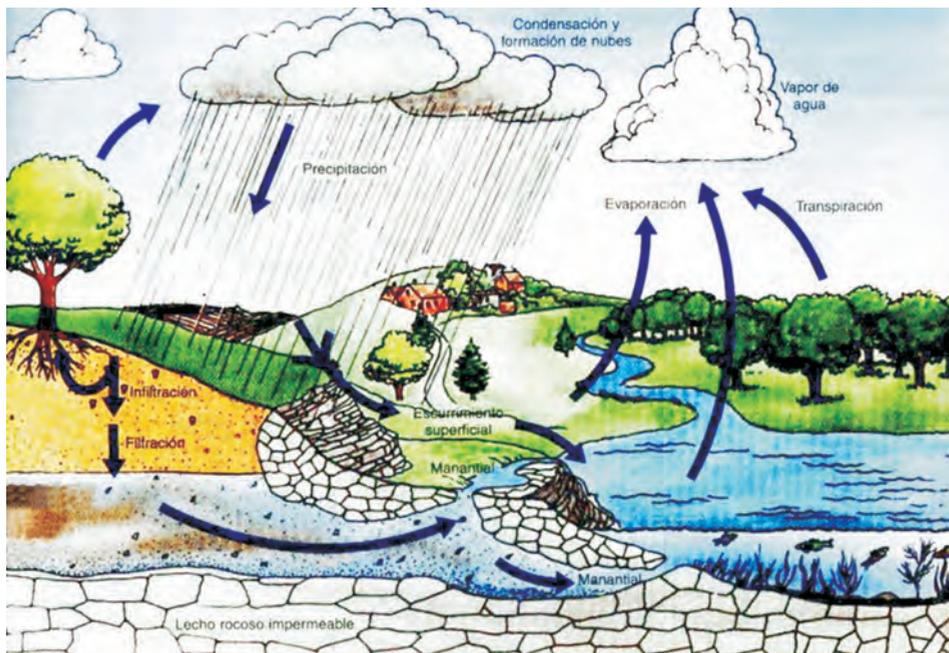
En general, los Grandes Lagos presentan pequeñas variaciones del nivel del agua durante las estaciones del año, los niveles máximos de variación de nivel de agua entre invierno y verano es de aproximadamente de 30 a 50 cm. Las variaciones del nivel del agua en los Grandes Lagos a largo plazo son mínimas, sin embargo, durante algunos cortos periodos de

³⁶ GINGRAS, Danielle (1997). *Le fleuve en Bref, Capsules-éclair Sur l'état du Saint-Laurent*, Centre Saint-Laurent, Canada.

tiempo se presentan abundantes lluvias y sequías como, por ejemplo, durante los años sesenta que disminuyó considerablemente el nivel del agua por la baja precipitación, así como durante los años setenta y ochenta, los niveles normales del agua aumentaron considerablemente por abundantes precipitaciones.

Una revisión de la siguiente gráfica muestra los diferentes fenómenos que determinan los diversos niveles del agua en los Grandes Lagos. El nivel de agua depende de la cantidad de líquido que entra y sale durante el ciclo hidrológico, el cual representa un rol importante dentro de las variaciones del nivel del agua. El ciclo hidrológico es el reciclaje natural del agua, la cual se evapora de los océanos y de los lagos y se eleva en forma de vapor de agua hasta encontrarse en la atmósfera superior. Al llegar allí se condensa y vuelve a precipitarse en forma de lluvia a la tierra, alimentando nuevamente a los océanos, lagos y aguas subterráneas.

El ciclo hidrológico que vemos en la gráfica 3.5, presenta mayor variación debido al fenómeno de calentamiento global, ya que al variar las temperaturas de la Tierra, se originan fenómenos de ausencia de lluvias o mayor precipitación, esta situación se ve reflejada en todo el sistema hídrico de los Grandes Lagos incluyendo el río San Lorenzo y su principal afluente, el río Outaouais o río Ottawa.



Gráfica 3.5. El ciclo hidrológico.

Consultado marzo 2008, http://www.on.ec.gc.ca/water/factsheets/waterlevels2_f.html.

CAMBIO CLIMÁTICO EN EL ÁREA DE LOS GRANDES LAGOS

El régimen natural de la Tierra ya no será estable, hay grandes cambios originados por los fenómenos climáticos derivados del calentamiento global. Los Grandes Lagos, por ser el sistema hídrico y ambiental más importante del norte de América, está sufriendo y sufrirá grandes transformaciones en su ciclo hidrológico.

Según plantean algunos expertos en cambio climático, los niveles del agua de los Grandes Lagos en los próximos años tendrán una variación de 100 cm, fenómeno que estará concentrado principalmente en los lagos Michigan y Hurón. Los modelos informáticos de cambio climático muestran también que el lago Saint-Claire y el lago Erie, presentarán una disminución entre 80 y 90 cm. Así como los lagos Erie y Superior tendrán una disminución importante de 40 cm. De todas estas afirmaciones se desprende una serie de interrogantes con respecto a los fenómenos que se podrán originar por la baja considerable de los niveles de agua en los sistemas hídricos de los Grandes Lagos. Así mismo, no se descarta la posibilidad de grandes periodos de lluvia que pueda aumentar los niveles del agua durante periodos prolongados de tiempo.

Los diversos cambios que sucederán en los Grandes Lagos y su sistema hídrico son el punto estructural para la investigación; lo que acontezca con el cambio hidrológico en los Grandes Lagos tiene relación directa con el río San Lorenzo y su efecto en la ciudad de Montreal. Sobre esta hipótesis se construirán lineamientos de planeamiento urbano sostenible, de cómo intervenir este fenómeno en las áreas de influencia del río San Lorenzo.

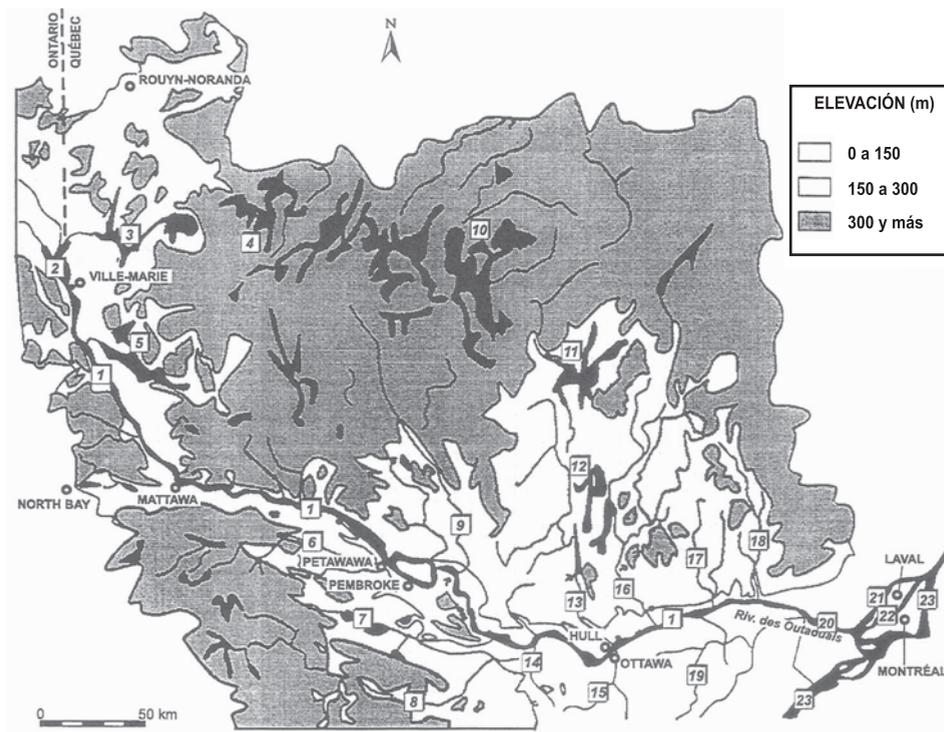
RÍO OUTAOUAIS (RÍO OTTAWA)

Con una longitud de 1.271 km, el río Outaouais es el principal afluente del río San Lorenzo, conjuntamente con el lago Ontario. A lo largo de la cuenca el río Outaouais forma el lago des Deux Montagnes y los ríos de las Mille Iles y de la Prairies; adicionalmente, una pequeña porción de agua va a dar al canal del Lac Saint-Louis³⁷. El río Outaouais tiene un caudal de 1120 metros cúbicos por segundo.

La cuenca de río Outaouais, incluyendo la zona del lago Deux Montagnes, tiene una superficie aproximada de 146.334 km², de los cuales 92.203 km² pertenecen a la provincia de Québec. Esta gran área está cubierta en un 86% por bosques y un 12% corresponde al área urbana de d'Ottawa Hull, que representa la principal aglomeración humana de toda la cuenca³⁸ como se observa en las gráficas 3.6 y 3.7.

³⁷ El río San Lorenzo, consultado el 20 de marzo de 2008 en: <http://thecanadianencyclopedia.com/index.cfm>

³⁸ El río Outaouais, consultado el 20 de marzo de 2008 en: http://www.mddep.gouv.qc.ca/eau/eco_aqua/outaouais/intro.htm

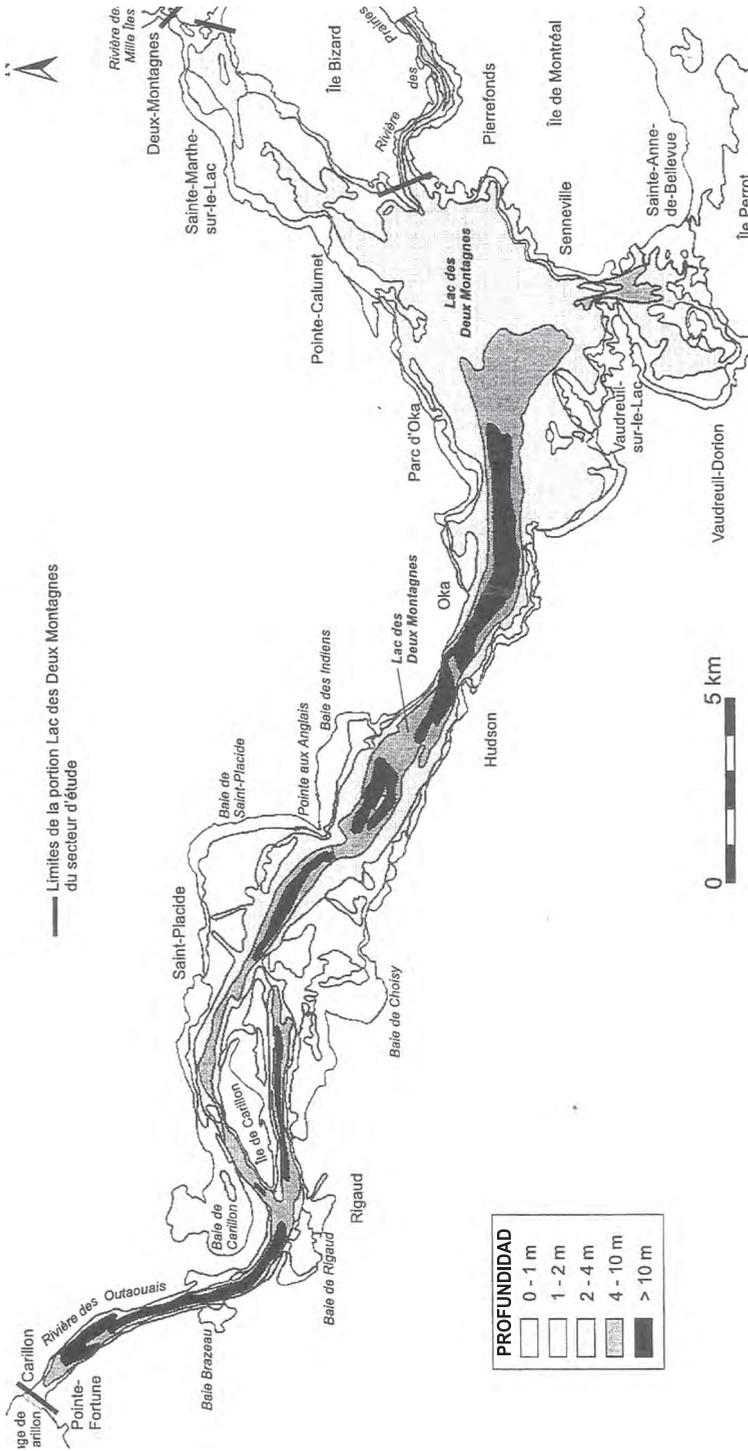


Gráfica 3.6. Área de influencia de la cuenca del río Outaouais³⁹

El río Outaouais aporta al río San Lorenzo aproximadamente $2.000 \text{ m}^3/\text{s}$ ⁴⁰. Este caudal corresponde al 16% del total, mientras que los Grandes Lagos, aportan aproximadamente el 61% del total del agua (Cossa et al., 1998).

³⁹ FORTIN R. Guy (1999). Synthèse des connaissances sur les aspects physiques et chimiques de l'eau et des sédiments du secteur d'étude Lac des Deux Montagnes - rivière des Prairies et des milles îles. p. 7, Environnement Canada - Région du Québec.

⁴⁰ MEF - Ministère de L'Environnement et de la faune (1996a). Qualité des eaux du bassin de la rivière des Outaouais, 1979-1994. Direction des écosystèmes aquatiques. Rapport QE-105/1, Environdoq En 960174, 88 pages + 7 annexes.



Gráfica 3.7. Profundidades del lago des Deux Montagnes⁴¹

⁴¹ FORTIN R. Guy (1999). Synthèse des connaissances sur les aspects physiques et chimiques de l'eau et des sédiments du secteur d'étude Lac des deux Montagnes - rivière des Prairies et des Mille îles. p. 13, Environnement Canada- Région du Québec

CAMBIO CLIMÁTICO EN EL RÍO OUTAOUAIS

Debido a la importancia del río Outaouais, desde el punto de vista ambiental, hidrológico, social y económico, se ha diseñado una serie de planes de regulación para el lago Ontario y el río San Lorenzo. Uno de esos estudios se concentra en los impactos hidrológicos relacionados con el cambio climático. En el 2002 *Climate Change Workshop of the Hydrology and Hydraulics Technical Working Group* (H&H TWG) estableció especificaciones para el análisis del cambio climático, dichas especificaciones se concentran en medir cambios en la temperatura ambiente anuales, así como cambios en los regímenes de precipitación anual.

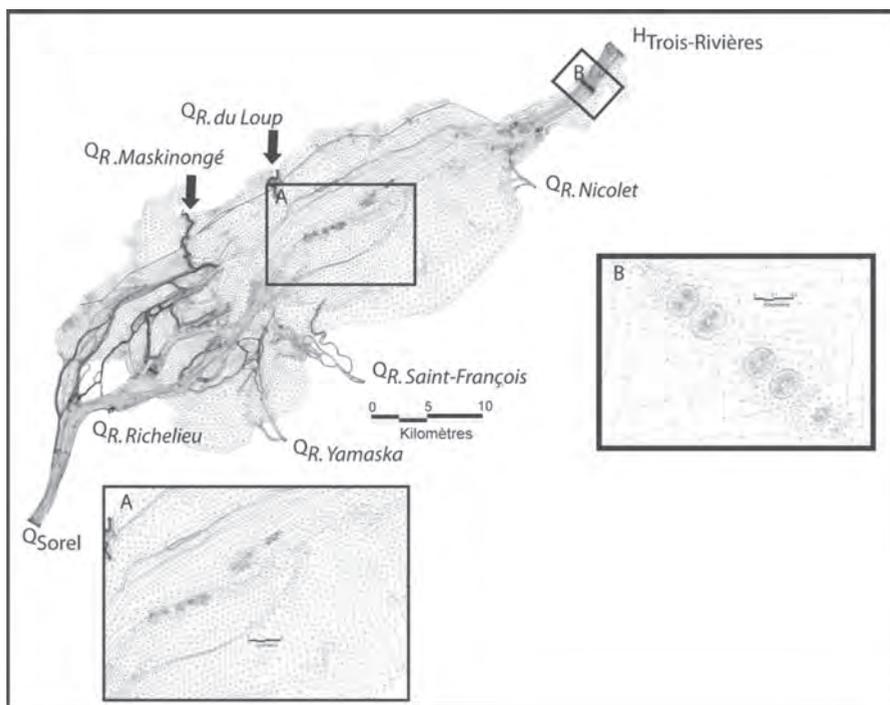
Para analizar los cambios en el tiempo, en la cuenca del río San Lorenzo, se estudiaron los flujos hídricos del río durante el período 1932 a 1998 (Morin y Bouchard, 2000)⁴². Dichas mediciones se hicieron, en su mayoría, en tiempo real, donde se analizaba la velocidad, la dirección y la intensidad de los vientos y otros parámetros meteorológicos utilizados para calcular la corriente del río. Para hacer una modelación completa se incluyó el inventario de los trabajos de ingeniería (dragado, puente de los muelles, las islas artificiales) ya que tienen una fuerte influencia en el sistema hidráulico. Los resultados de este análisis están disponibles para el área de Montréal Trois-Rivières (Côté y Morin, 2005a, 2005b; Morin y Bouchard, 2000), el lago Saint-Pierre (Morin y Côté, 2003), para el lago San Francisco (Morin et al., 1994) y para el lago de St. Louis (Morin et al., 2003b).

Escenarios hidrológicos, o eventos de referencia, fueron creados en primera instancia para la sección de Montréal Trois-Rivières (Morin y Bouchard, 2000) y posteriormente se extendió a toda la cuenca del río de San Lorenzo. Se analizaron tres temporadas diferentes para los flujos en función del tipo de fricción que presenta la corriente del río: 1) se encuentran plantas acuáticas sumergidas, 2) la presencia de hielo en invierno, y 3) la primavera o el otoño, cuando se hace vinculado a la fricción del sustrato. Para estos análisis se tomaron ocho eventos de referencia de primavera-otoño, cinco eventos en verano y cuatro eventos en invierno, a los cuales se les hizo análisis estadístico de frecuencias.

Para dichos escenarios se aplicaron modelos hidrodinámicos bidimensionales; estos modelos toman información de la topometría, sustrato y plantas de agua, como elementos fijos, aplicándole una malla la cual tiene la ventaja de reducir ingeniosamente y efectivamente la cantidad de información requerida para representar adecuadamente la realidad.

⁴² BOUCHARD, A. et J. MORIN (2000). Reconstitution des débits du fleuve Saint-Laurent entre 1932 et 1998. Environnement Canada, Service météorologique du Canada, Section Hydrologie. Rapport Technique RT-101, 71 p.

Dichas simulaciones hidrodinámicas, mediante escenarios, se producen utilizando la calculadora Hydrosim (Heniche et al., 1999). Este modelo resuelve ecuaciones matemáticas mediante una malla de elementos finitos triangulares. Estas mallas se componen de múltiples elementos, incluyendo nodos de información de apoyo sobre fricción y la topografía local, como se observa en la gráfica 3.8.



Gráfica 3.8. Malla de elementos finitos triangulares del modelo numérico de Terrain del río San Lorenzo entre Sorel y Trois Rivières⁴³.

El área de estudio se dividió en cuatro sectores y en cuatro mallas con el fin de reducir el tiempo de cálculo: lago Saint François, lago St. Louis, Montreal, Lanoraie y Lac-Saint-Pierre. El número total de puntos fueron más de 400.000 nodos para los que la fricción y la topografía asociada a sustratos y las plantas acuáticas, son conocidos. El modelo produce resultados fundamentales en el estudio del río San Lorenzo: los componentes de flujo en x e y , así como los niveles de agua. Estos valores pueden producir una multitud de variables como la profundidad del agua, la velocidad ciza-

⁴³ TALBOT, André (2006). Enjeux de la disponibilité de l'eau pour le Fleuve Saint Laurent, Synthèse Environnementale, Environnement Canada, Montréal. Chapitre 3, p. 21

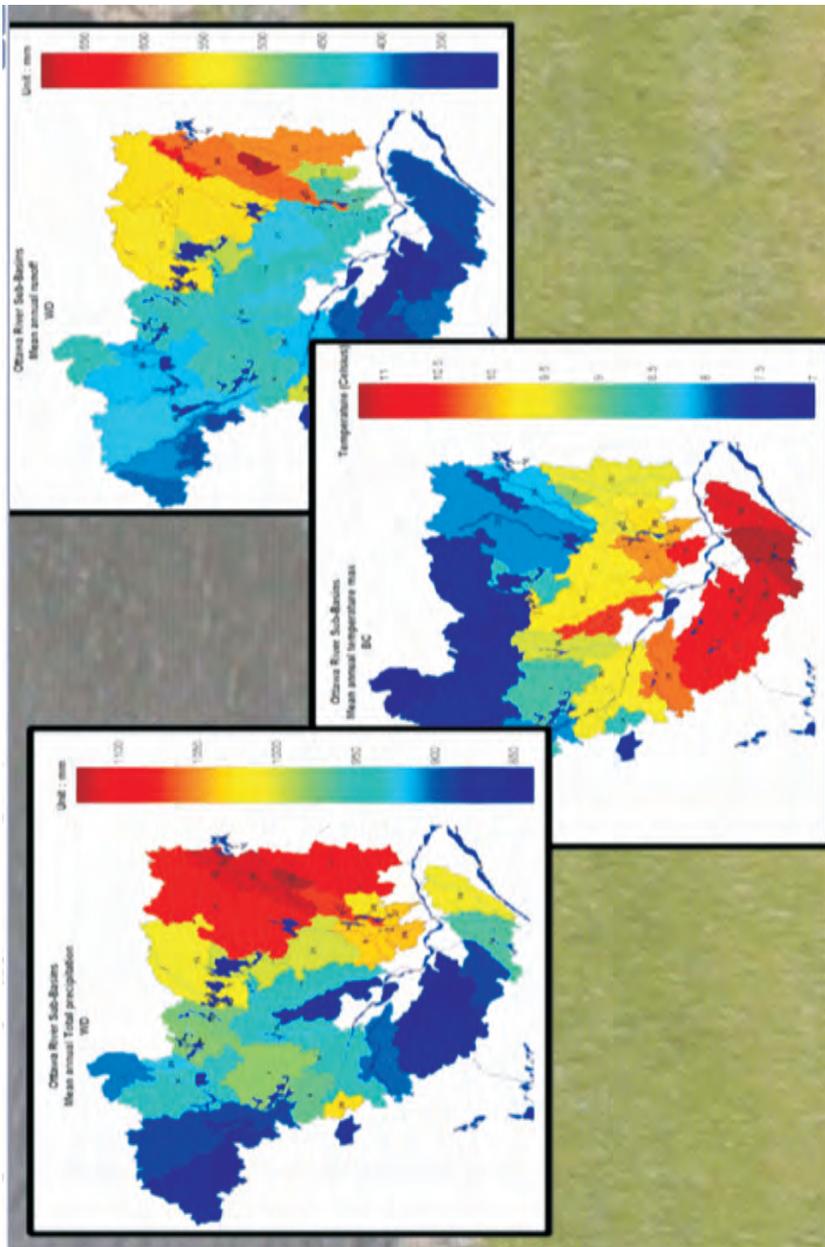
lla y el flujo específico⁴⁴. Los resultados de velocidad, profundidad y nivel de agua en el campo simulación de variables se utilizan como insumos para patrones de onda.

Para la validación de modelos hidrodinámicos fue necesario su calibración y validación. La calibración es un paso obligatorio en la aplicación de modelos numéricos. Le permite modificar algunos parámetros del modelo para garantizar que representa la realidad. La calibración se realiza mediante la comparación de las simulaciones de los niveles de agua y los medidos en las estaciones para el mismo evento hidrológico.

El modelo hidrodinámico se calibró usando dos eventos hidrológicos que representan condiciones de bajo nivel de agua (primavera, 1999) y de las demás condiciones de alto nivel de agua (primavera, 1996). La calibración y la validación con los niveles de agua garantizan la integridad de la solución numérica frente a la realidad. Así, después de la fase de calibración, el error sobre los niveles del modelo es inferior a 5 cm entre la simulación de los niveles de agua y los niveles de agua medido en el dominio estudio para una variedad de condiciones de flujo y el estado de crecimiento de las plantas acuáticas. Es decir, el modelo reproduce adecuadamente la pendiente de la superficie del agua de la sección. Este reporte describe en detalle los resultados de simulaciones hidrológicas para el río Outaouais; para el primer estudio de caso únicamente se retoman las conclusiones finales del estudio; al final, lo importante para la investigación es poder determinar cómo el cambio climático tiene influencia directa en el río Outaouais y, por ende, en el río San Lorenzo.

La simulación hidrológica y la gestión del agua debe aparecer en el contexto del estudio de cambio climático, como aparece en la gráfica 3.9. Dicho estudio de simulación, como se dijo anteriormente, se centró en los grandes afluentes del río San Lorenzo, como el río Outaouais y los Grandes Lagos, y a partir de aquí, las principales conclusiones fueron: durante los meses de invierno, los cuatro escenarios definieron el aumento de las mínimas temperaturas, incrementando la precipitación de lluvias y la menor cantidad de nevadas, este fenómeno origina el aumento de la evapotranspiración, haciendo que se presenten más temprano las inundaciones de primavera. El incremento del caudal del agua durante los meses de invierno y el movimiento de las lluvias como consecuencia del aumento de evapotranspiración, resultado del calentamiento global, hace concluir que principalmente en la cuenca del río Outaouais, van a aumentar los caudales durante el invierno, y disminuirán considerablemente durante la estación de verano.

⁴⁴ BOUDREAU, P., M. LECLERC et G. FORTIN (1994). "Modélisation hydrodynamique du lac Saint-Pierre, fleuve Saint-Laurent: L'influence de la végétation aquatique". *Canadian Journal of Civil Engineering*. 21 (3): 471-489.



Gráfica 3.9. Indicadores de cambio climático en el río Outaouais⁴⁵.

⁴⁵ Indicadores de cambio climático en el río Outaouai: consultado 20 de marzo de 2008 en: <http://www.ouranos.ca/symposium/Affiches/fagherazzi.pdf>

El fenómeno descrito anteriormente, sumado al de los Grandes Lagos, permite concluir preliminarmente que todo el sistema hídrico del río San Lorenzo va a tener fuertes modificaciones en sus regímenes hidrológicos, pero el principal impacto podría localizarse en la isla de la ciudad de Montreal, por ser la mayor concentración urbana próxima al río San Lorenzo.

SISTEMA DE CONTROL Y REGULACIÓN DEL AGUA EN EL RÍO SAN LORENZO

La regulación de un curso de agua significa ajustar la variación del nivel de agua hasta obtener el nivel deseado de acuerdo con las características o necesidades antrópicas del mismo.

Desde el año de 1907 el tronco fluvial ha sido intervenido con obras hidráulicas para regular los niveles del agua del río San Lorenzo. Los principales objetivos de estas obras civiles se centran en lograr, por un lado, la navegación fluvial y, por otro, la producción de energía hidroeléctrica, como se observa en la gráfica 3.10.

Otro punto importante para la regulación del agua lo constituye la protección de las inundaciones producidas principalmente por el río Outaouais, durante la temporada de lluvias, sin embargo, este complejo sistema de esclusas en el río San Lorenzo resulta insuficiente debido a repentinos cambios climatológicos que repercuten en la variación del nivel del agua, presentando problemas de regulación de la misma que supera las obras definidas desde principios del siglo XX.

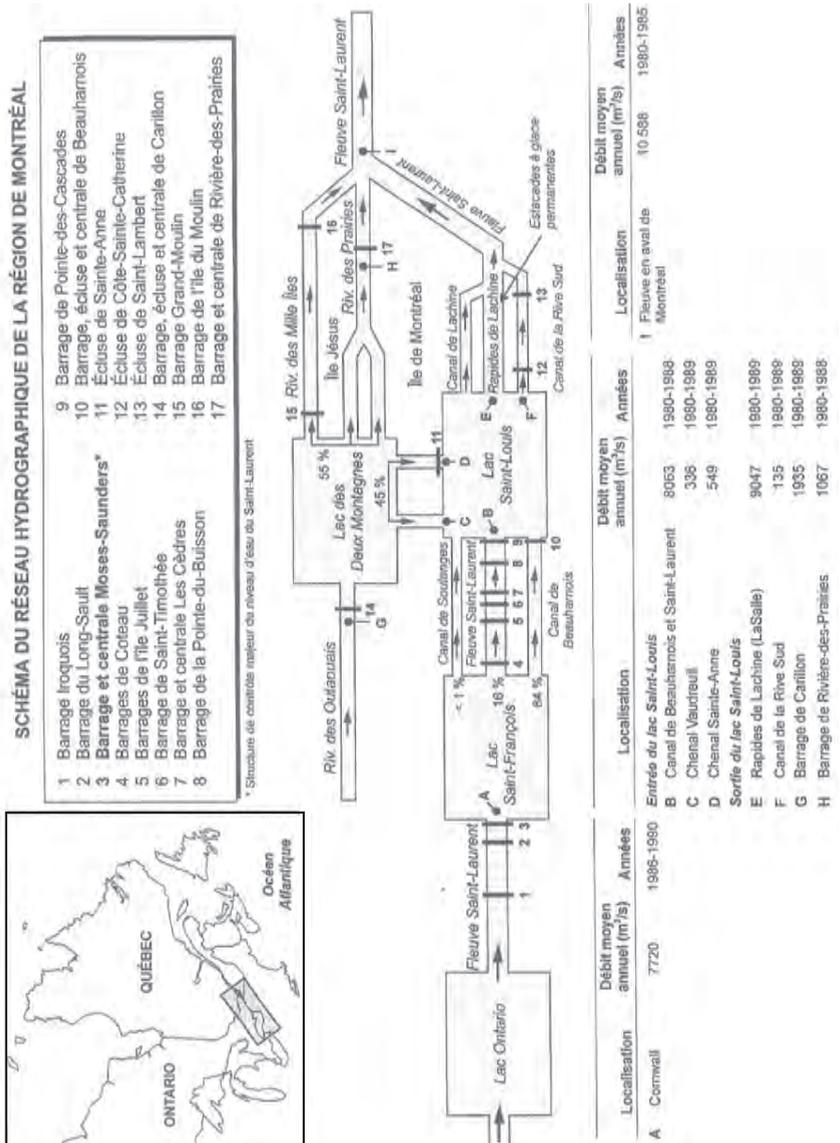
Ante esta situación, y con el fenómeno de cambio climático, es necesario pensar en obras adicionales que ayuden a la regulación del agua y que estén relacionadas con la prevención y mitigación de desastres socio-naturales.

FACTORES DE CAMBIO CLIMÁTICO QUE INFLUENCIAN EL NIVEL DEL AGUA DEL RÍO SAN LORENZO

Una vez analizados los dos sistemas hidráulicos más importantes que tienen influencia directa sobre el río San Lorenzo, se hizo una aproximación a los diferentes fenómenos hidráulicos y ambientales que sucederán en torno a la cuenca hídrica del río, que tienen relación directa con el cambio climático. Así mismo, se estudiaron las posibles amenazas socio-naturales que podrían ocurrir a lo largo del río, concentrándose en dos fenómenos: la inundación y la desecación del sistema de tronco fluvial⁴⁶ del río San Lorenzo, con influencia directa en la ciudad de Montreal.

⁴⁶ Como hemos visto a lo largo del desarrollo de la investigación la fuente de posibles inundaciones se centra en el principal afluente del río San Lorenzo como es el río Outaouais, y su sistema hídrico, conformado por el lago Des Deux Montagnes, río des Mille Iles y río des Praies.

Gráfica 3.10. Sistema de control y regulación del agua del río San Lorenzo, Le fleu en Bref, Capsule-éclair sur l'état du Saint-Laurent⁴⁷.

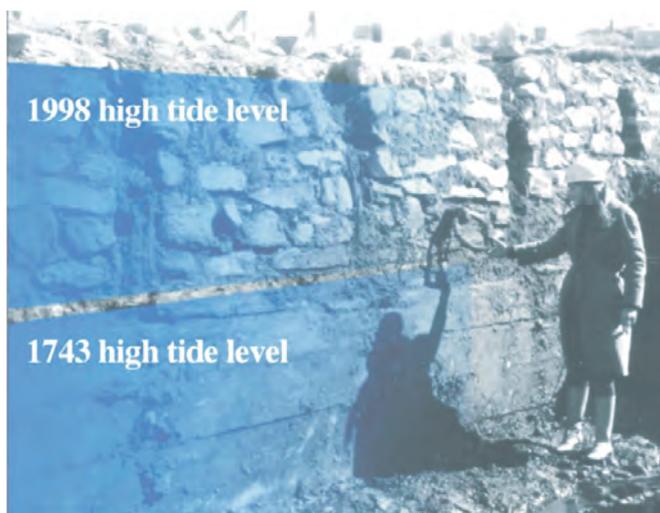


47 ROBICHAUD, Alain et DROLET René (1998). "Les fluctuations des niveaux d'eau du Saint-Laurent", *Rapport Technique*, Ministère de L'Environnement et de la Faune du Québec, Juin, p. 90.

ELEVACIÓN DEL NIVEL DEL MAR

La Comisión Geológica de Canadá y Recursos Naturales de Canadá⁴⁸, adelantó un estudio sobre la elevación del nivel del mar como consecuencia del calentamiento global, dicho estudio estuvo bajo la dirección del doctor Don Forbes. Los temas más importantes de dicho estudio se resumen en los siguientes puntos: el estudio parte de entender la evolución histórica del nivel del mar desde el año 1743 hasta el año 1998, y su fin último se centra en cómo prevenir la elevación futura del nivel del mar, así mismo se estudiaron las tendencias de elevación del nivel del mar durante los últimos 100 años. Aunque esta investigación se está llevando a cabo y apenas está arrojando resultados preliminares, nos muestra la importancia y la relevancia del fenómeno que se está dando. El equipo examina sedimentos a lo largo de las costas que marcan los diferentes niveles que ha tenido el mar buscando los diferentes cambios que se dan en los indicadores geológicos y paleontológicos y sus niveles de variación de acuerdo con el nivel del mar.

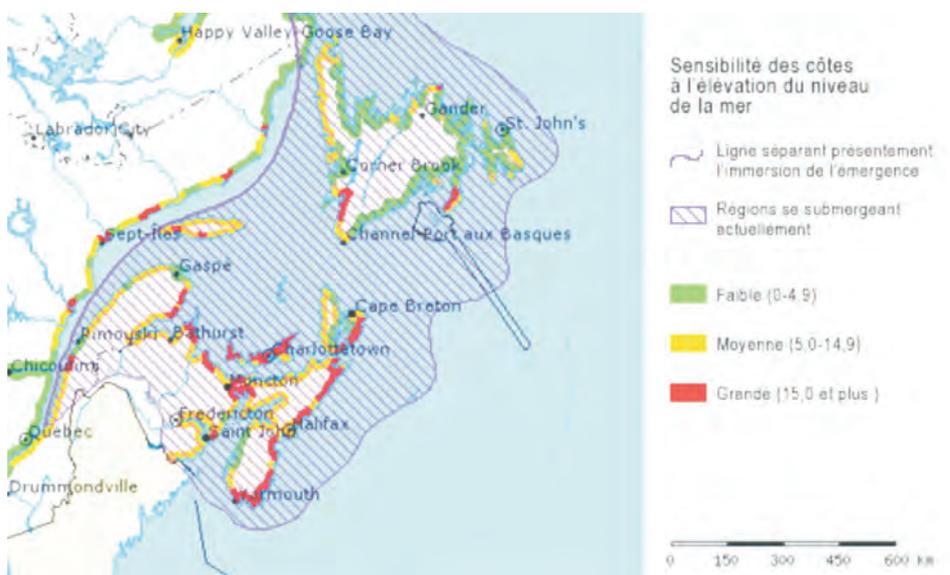
A partir de aquí el estudio, con base en los indicadores, define escenarios de tendencias futuras del nivel del mar de acuerdo con los registros encontrados en los últimos 100 años como muestra la gráfica 3.11, donde se establecen niveles de mar de acuerdo con los estudios de cimentación.



Gráfica 3.11. Elevación del nivel del mar

⁴⁸ Elevación del nivel del mar en el océano Atlántico canadiense, consultado el día 20 de marzo de 2008, <http://atlantic-web1.ns.ec.gc.ca/slr/default.asp?lang=Fr&n=54B74884-1#project1>

Según los resultados preliminares de la investigación adelantada la Comisión Geológica de Canadá y Recursos Naturales de Canadá⁴⁹, la gráfica 3.12, muestra un plano de la región nororiental de la provincia de Québec, donde se definen zonas preliminares de sensibilidad a la elevación del nivel del mar, observándose que la desembocadura del río San Lorenzo en el océano Atlántico, presenta niveles moderados y elevados de aumento de los niveles del mar, concentrándose las principales elevaciones en la península de Gaspé, isla Anticosti, isla Terranova, y el área de Nueva Brunswick. A pesar del aumento de los niveles del mar en esta zona, se determina que dichos aumentos no tiene repercusiones directas sobre la ciudad de Québec y Montreal, a las cuales el río San Lorenzo irriga directamente.



Gráfica 3.12. Sensibilidad de las zonas costeras a la elevación del nivel del mar.

Los problemas de inundación causados por los cambios de temperatura no serán los únicos que van a modificar el nivel del mar. Adicionalmente, la erosión normal de las costas y el aumento de las marismas aumentará el nivel del mar aproximadamente en 20 cm. Por siglo, las zonas más vulnerables a la elevación del nivel del mar son precisamente las zonas del golfo del río Saint Laurent. El aumento considerable de los niveles del agua podrían traer las siguientes consecuencias⁵⁰:

⁴⁹ Elevación del nivel del mar en el océano Atlántico canadiense, consultado el día 20 de marzo de 2008, <http://atlantic-web1.ns.ec.gc.ca/slr/default.asp?lang=Fr&n=54B74884-1#project1>

⁵⁰ Elevación del nivel del mar en el océano Atlántico canadiense, consultado el día 20 de marzo de 2008, <http://atlantic-web1.ns.ec.gc.ca/slr/default.asp?lang=Fr&n=54B74884-1#project1>

- Se incrementa el nivel y la frecuencia de las inundaciones en las áreas ribereñas adyacentes al mar.
- Se aumentan la superficie inundada, las temperaturas y las mareas.
- Desplazamiento de plagas hacia los terrenos, por existencia de aguas estancadas.
- Apertura de brechas en las zonas de estabilización y control de inundación.
- Penetración de aguas saladas en los acuíferos a lo largo de las costas.
- Destrucción de la infraestructura vial, especialmente puentes y caminos.
- Cambios importantes en los ecosistemas costeros.
- Incidentes importantes en la economía de sectores costeros.
- Pérdida de viviendas, y posiblemente de vidas, por fenómenos inesperados.
- Pérdida de infraestructura social como hospitales, colegios, etc.

El problema de la regulación del agua del río San Lorenzo, debe ser analizado globalmente, partiendo del lago Ontario y el río Outaouais, entendiendo ciertos fenómenos climáticos de años extremos, a partir de diversas variables, como, por ejemplo, el aumento del nivel del agua del lago Deux Montagnes. El clima se está volviendo cada vez mas impredecible, originando fenómenos climáticos absolutamente inversos, dejando incertidumbre sobre condiciones climáticas futuras. En los próximos tiempos es necesario establecer indicadores climáticos que representen las condiciones pasadas y se vuelvan elementos referentes para construir una imagen futura del clima. Dichos indicadores deben tener en cuenta la presencia de cuerpos de agua, la topografía, la circulación de masas de aire, y las posibles precipitaciones que se originen. Así mismo, deben preverse futuras condiciones climáticas asociadas al cambio climático.⁵¹

CONDICIONES NORMALES Y VARIEDAD CLIMÁTICA

Con el fin de establecer los cambios originados por el cambio climático es necesario establecer las condiciones normales climáticas que ha tenido históricamente el río San Lorenzo. Dentro de este contexto de variaciones del nivel del agua es necesario establecer preliminarmente las condiciones climáticas de las áreas que tienen influencia ambiental e hidrológica en el río San Lorenzo, principalmente el lago Ontario y San Louis, los Grandes Lagos y el río Outaouais. En el sector este de la Provincia de Ontario, y el lado suroeste de la Provincia de Québec, las precipitaciones totales varían de 800 a 1000 mm anuales con una distribución a lo largo de la cuenca del

⁵¹ BIBEAULT, Jean-François, MILTON, Jennifer, HUDON, Christiane, MILOT, Nicolas, MORIN, Jean et RIOUX, Daniel (2004). *Impacts et changements climatiques. Le lac Saint-Louis à risque?*, Centro Meteorológico de Canadá, Centre Saint Laurent.

río San Lorenzo, el oeste del lago Ontario y al noroeste del río Outaouais. Dichas distribuciones están muy influenciadas por la presencia o ausencia de capas de hielo en el lago Ontario, el régimen de precipitación variable en cada región de acuerdo con la longitud de las riberas, afectadas por las masas de aire que en otoño e invierno aumentan considerablemente las precipitaciones. Las cantidades de nieve varían de un mínimo anual de 125 a 150 cm en el sector del lago Ontario, mientras que en la zona alta del río San Lorenzo puede llegar hasta 200 cm. Los análisis de clima tendenciales y la variabilidad climática de Canadá indican que las precipitaciones anuales van a aumentar, eso significa que los niveles de agua pueden aumentar en el mar, sin embargo, también se observa que en otras zonas de Canadá, el cambio climático disminuirá considerablemente los niveles de precipitación y, por ende, el nivel del agua⁵².

Otro elemento significativo es la disminución del nivel del agua en el lago Ontario que en año de 1999, mostró bajas significativas de hasta 22 cm en sus niveles históricos, este bajo nivel está relacionado por el aumento considerable de consumo de agua para usos residenciales y el sector comercial e industrial. En la gráfica 3.13, se observa la disminución considerable del nivel del agua en el lago Ontario⁵³. Trabajos recientes sugieren que el clima en la región del San Lorenzo y los Grandes Lagos cambiará para los próximos años, los inviernos serán más cortos, las temperaturas anuales aumentarán, la cobertura del hielo se mantendrá más tiempo, y los episodios de lluvias intensas serán normales (Kling et al., 2003).

En el futuro la temperatura del aire va a aumentar 2°C, la duración de la estación del verano también lo hará significativamente haciendo que el fenómeno de evaporación del agua en los Grandes Lagos aumente de un 12% a un 17%, haciendo que el nivel de agua disminuya entre 0,20 m a 0,70 m (Lofgren et al., 2002). Un déficit recurrente en los aportes del agua en los Grandes Lagos podrá traducirse en un cambio entre un 25% y 40% del nivel del agua en el lago Ontario. Esta situación llevaría a que, en la ciudad de Montreal, el río San Lorenzo podría disminuir su nivel aproximadamente un metro.

⁵² *Op. cit.*

⁵³ FAGHERAZZI, Laura and GUAY, Rafael (2005). *Climate change analysis of the Ottawa river system*. Final report, Hydro Québec, abril.



Gráfica 3.13. Disminución considerable del nivel del agua en el lago Ontario.

La modificación de los aportes de agua del lago Ontario, afectará significativamente todo el sistema hidráulico del río San Lorenzo. El factor climático presenta un alto nivel de incertidumbre: debido al cambio en el régimen climático, los fenómenos naturales serán más extremos y adicionalmente sucederán repentinamente, lo que exige una alta capacidad de adaptación a todas las estructuras ambientales e hídricas en el río San Lorenzo⁵⁴.

POSIBLES EVENTOS CATASTRÓFICOS DEL RÍO SAN LORENZO EN LA CIUDAD DE MONTREAL

Como se ha visto en los numerales anteriores, queda claro que el río San Lorenzo, en la zona del tronco fluvial, va a sufrir dos fenómenos naturales como resultado del cambio climático. Por un lado, su afluente principal, el río Outaouais, aumentará considerablemente su caudal como consecuencia del desplazamiento de las lluvias de los Grandes Lagos, haciendo que todo el sistema hídrico que incluye el lago des Deux Montagnes, el río des Mille Iles, y el río des Prairies, tienda a producir inundaciones a lo largo de su recorrido.

⁵⁴ TALBOT, André (2006). Enjeux de la disponibilité de l'eau pour le fleuve Saint Laurent, Synthèse Environnementale, Environnement Canada, Montréal. 215 p.

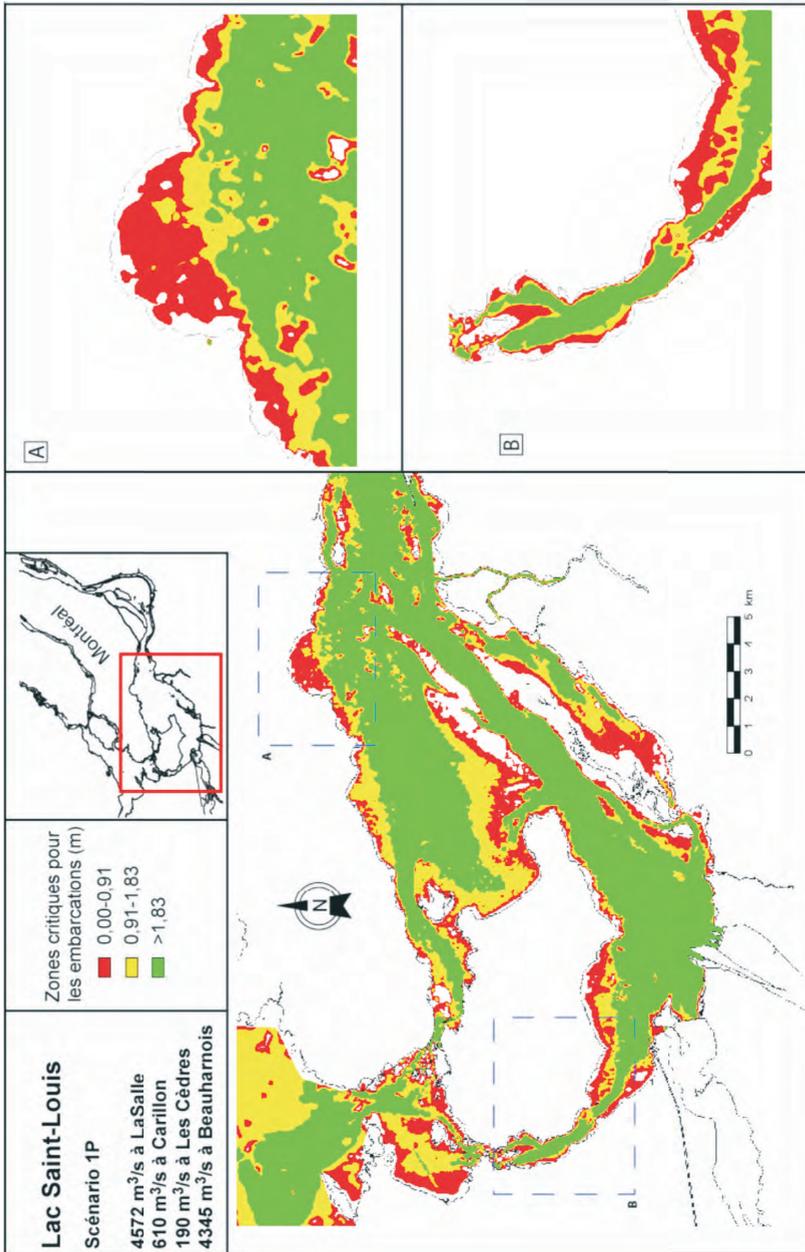
Por otro lado está el sistema hídrico de los Grandes Lagos, principalmente el lago Ontario, que presentará disminución importante de su nivel del agua como consecuencia del cambio climático, afectando principalmente el lago Saint François y el lago San Louis, para luego afectar el puerto de Montreal por el bajo nivel de las aguas. Los dos fenómenos naturales mencionados anteriormente tienen influencia directa en la isla de Montreal y son el punto de partida para el último capítulo en el que se fundamentan los lineamientos de planeamiento urbano sostenible para la adaptación al cambio climático. Como estos dos fenómenos naturales pueden llegar a causar desastres, se procede a desarrollar las posibles consecuencias que causarían a la ciudad de Montreal y sus áreas aledañas.

CONSECUENCIAS DE LA DISMINUCIÓN DEL AGUA EN EL RÍO SAN LORENZO

Para determinar las posibles amenazas naturales del río San Lorenzo por el fenómeno de cambio climático, en particular, la adaptación a los problemas de disponibilidad del agua, se plantean los principales puntos a resolver los cuales se centran principalmente en los Grandes Lagos, y su influencia en los lagos Ontario y San Louis y, por ende, en la ciudad de Montreal.⁵⁵ En la gráfica 3.14, aparecen los diferentes niveles de agua en el lago San Louis, observándose zonas críticas donde los niveles del agua son inferiores a 0,91 cm, haciendo casi imposible la navegación en el río, generando nuevos paisajes debido a la falta de agua a lo largo de las zonas costeras. Debido a este fenómeno se visualizan los siguientes cambios a lo largo del río San Lorenzo:

- El aumento de los requerimientos de drenaje para compensar los problemas de bajo nivel de agua.
- El avance futuro de las zonas húmedas disecadas y la artificialización concomitante de las riberas para protegerse de las mareas altas, será posiblemente menos frecuente, sin embargo, más problemática en algunos lugares.
- El aumento de las temperaturas en invierno y verano podrían modificar el consumo anual doméstico de energía hidráulica. Por consiguiente, el modo de explotación de las represas hidroeléctricas y la gestión de los débitos podrían cambiar tanto en el río San Lorenzo como en el Outaouais (río Ottawa).
- Una fuerte degradación del agua podría producirse en verano, cuando el caudal del río es más débil y tras abundantes lluvias que causarían un aumento brusco de caudal en los ríos tributarios, en particular, en aquellos donde las actividades industriales o agrícolas son intensas.

⁵⁵ TALBOT, André (2006). Op. cit. pp. 153 y 154.



Gráfica 3.14. Diferentes niveles de agua en el lago San Louis⁵⁶.

La reducción crónica del caudal del río genera, de igual manera, la delicada situación de los contaminantes que provienen de las aguas usadas de origen municipal o industrial, sobre todo en función de los usos del agua (agua potable, recreación) y de los ecosistemas situados en la parte baja de los puntos de salida de agua. La perspectiva de inviernos menos rigurosos aumenta la posibilidad de implantación de especies vegetales y animales que viven actualmente más al sur. Un clima más caliente incitaría el acondicionamiento de las playas, pero los problemas actuales sobre la calidad del agua, sobre todo tras lluvias abundantes, debería ser tomado en consideración para controlar los riesgos sanitarios.

Los bajos niveles de agua traerán más riesgos a la navegación y exigirán una vigilancia creciente por parte de las autoridades públicas, así como un mayor seguimiento de las reglas de seguridad de parte de los navegantes.

Los eventos extremos necesarios para obtener la disponibilidad de agua requerirán inversiones privadas y públicas superiores para la prevención y la atenuación de los daños y la reparación de infraestructura. La disponibilidad de agua para los diferentes usos obliga a anticipar los riesgos y las oportunidades de una gestión más integrada. El contexto de los cambios climáticos, que es un acelerador en la toma de decisiones, impone la prevención, así como la adaptación de los usuarios y sus prácticas.

En el futuro, el uso de agua de reserva podrá ser racionalizada, tanto en el plano doméstico como industrial, gracias a las campañas de sensibilización intensificadas sobre el uso del agua y al desarrollo de nuevos productos domésticos e industriales con bajo consumo de agua. En el caso de las inundaciones, se prevé que la tendencia a una disminución de los niveles de agua se traducirá en menos daños en las propiedades y en las infraestructuras de las riberas. El objetivo será limitar la expansión urbana y la artificialización de las costas. La recuperación de una nueva zona de conservación se considerará en este capítulo.

Se puede pensar que el paisaje del San Lorenzo evolucionará y que se permitirán nuevos usos en la medida que la calidad del agua no presente problemas adicionales. En ese caso, se tratará más de oportunidades de explotación que de riesgos, teniendo en cuenta las nuevas condiciones naturales, controlando bien el problema de la contaminación difusa. Aún están por confirmar las tendencias relacionadas con los cambios climáticos, en particular bajo la perspectiva de diversos escenarios relativos a las presiones de disponibilidad del agua, como se observa en la gráfica 3.15. Adicionalmente, la evolución para un escenario deberá tener en cuenta, de

⁵⁶ Talbot, André (2006). Op. cit. Chapitre 11. p. 150.

una forma más sistemática, los factores naturales, técnicos y económicos. En todos los casos, una prospectiva es necesaria, ya que es innegable que el San Lorenzo evolucionará en función de lo que suceda en los Grandes Lagos, al igual que las percepciones y el comportamiento de los usuarios.

Los cambios climáticos constituyen uno de los factores en juego más importantes que el río San Lorenzo, al igual que otras corrientes de agua, debe afrontar. Estos cambios modificarán los parámetros sobre los cuales se basan muchos de los usos actuales. Entre éstos, el nivel de agua es particularmente crítico. El énfasis realizado en la gestión del agua por la



Gráfica 3.15. Cambios anticipados para los modelos climáticos del río San Lorenzo⁵⁷.

CONSECUENCIAS DE LAS INUNDACIONES EN EL RÍO SAN LORENZO

Como se observa a lo largo del desarrollo de la investigación, la fuente de posibles inundaciones se centra en el principal afluente del río San Lo-

⁵⁷ BIRON, Pascale (2004). *Dynamique des tributaires du fleuve St-Laurent dans un contexte de changement climatique.*

renzo, el río Outaouais, y su sistema hídrico, conformado por el lago des Deux Montagnes, río des Mille Iles y río des Praies.

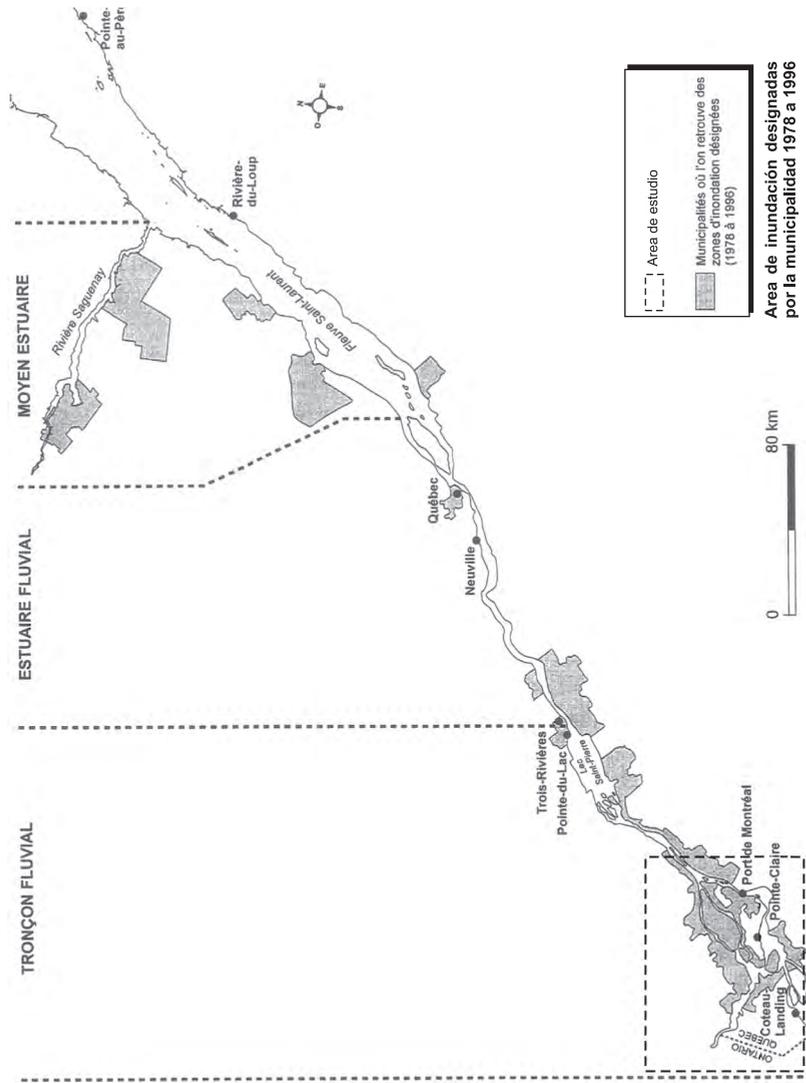
Un tercer impacto reúne las combinaciones de los efectos físicos y biológicos con los efectos retroactivos entre los diferentes componentes. Por ejemplo, las numerosas modificaciones estructurales en el lecho y en las costas del río (canalización, reservorios, depósitos de drenaje) concentran la corriente en el canal principal. La regularización del nivel y el control del hielo han reducido la amplitud y la duración de las crecidas. En conjunto con los aportes nutritivos de las costas, la disminución de las corrientes favorece la proliferación de plantas acuáticas sumergidas que obstaculizan la corriente y favorecen la sedimentación de partículas.

El conjunto de estas modificaciones disminuye la potencia hidroeléctrica del río y reduce su capacidad de transportar partículas hacia la parte más baja. Un efecto de retroacción se instala entre estos elementos, acentuando la separación hidrológica de las zonas de los litorales que se inundan con menos frecuencia, permanecen más estancados, se llenan más fácilmente de plantas densas y, finalmente, son menos húmedos. Por ejemplo, los bajos niveles de 1995 permitieron que densas colonias de sauces y carrizo, colonizaran el lecho del río hasta el delta Yamaska-Saint-François (suroeste del lago Saint-Pierre), sobre una porción de tierras emergentes que corrieron la línea de la ribera cerca de dos kilómetros hacia el centro del lago Hurón (observaciones personales).

Como se observa en la gráfica 3.16, las zonas más golpeadas por posibles inundaciones en la isla de la ciudad de Montreal se localizan en las áreas de influencia del río Outaouais. Se puede anticipar que este cambio de configuración, aparentemente menor, generará efectos importantes en la dinámica futura de los sectores situados en la parte baja del río, ya que se volverán más secos por la presencia de esta nueva zona consolidada y que se secará progresivamente por la vegetación que allí se instalará.

Junto con la urgencia de una conciencia medioambiental en nuestra sociedad, la perspectiva de los cambios climáticos aporta el reto de una gestión integrada de los usos, teniendo en cuenta consideraciones ambientales. A la dimensión de “adaptación” de los ecosistemas, se suman los numerosos efectos que tendrán las actividades humanas frente a las nuevas condiciones del clima y del nivel del agua del San Lorenzo. A continuación se mencionan algunos fenómenos que ilustran las adaptaciones necesarias hechas, o a realizar en un futuro, por la población y las municipalidades para la utilización del río San Lorenzo, y los posibles impactos según las condiciones medioambientales:

- En condiciones de bajos niveles crónicos, los requerimientos para dragar el canal de navegación, así como los canales de acceso a los



sitios de recreación, podrían acrecentarse, acentuando el efecto de desecación de las zonas litorales y modificando el caudal de la corriente y la sedimentación de zonas húmedas.

Gráfica 3.16. Zonas de inundación del río San Lorenzo⁵⁸.

- Los bajos niveles de agua secan las zonas menos profundas, lo que favorece a todas las formas de invasión sobre el lecho del río, volviéndolo así (temporalmente) disponible para la invasión.
- Tras las crecidas, el río recupera naturalmente su curso inundable (madre vieja) provocando la inundación de los propietarios situados sobre las tierras que alguna vez (en ocasiones, mucho tiempo atrás) tomaron el lecho original del río. Para prevenir estos eventos, los ribereños reclaman el control creciente de los niveles del agua y modifican aún más la ribera (rellenos con rocas, realce adicional) con la esperanza de protegerse de las crecidas del futuro.
- La combinación de factores como el aumento de las precipitaciones al final del otoño y el desarrollo tardío de la cobertura de hielo, pueden modificar las condiciones de circulación en el invierno, permitiendo la formación de hielos flotantes cuya acumulación genera inundaciones invernales (tal como se observó en el invierno de 2004).

Compadeciendo los graves daños que causaron en los ribereños, conviene señalar que las inundaciones causadas por los desechos⁵⁹ han constituido un elemento mayor de la dinámica del ecosistema fluvial (Marie-Victorin, 1934; Dansereau, 1945) hasta su control (parcial desde principios del siglo XX y prácticamente completo después de los años sesenta).

- El aumento de temperaturas invernales (disminución de calefacción) y en verano (aumento de climatización) podrían generar un cambio en el consumo anual doméstico de energía hidroeléctrica. Por consiguiente, el modo de operación de las represas hidroeléctricas y la gestión de los débitos podría cambiar tanto en el San Lorenzo como en el Outaouais (río Ottawa). Estas modificaciones reducen la amplitud de las variaciones entre estaciones del nivel de agua del que dependen la zona inundable, los medios húmedos y la fauna asociada.
- El aumento de la evaporación y la disminución anticipada del nivel de los Grandes Lagos (Lofgren et al, 2003) podrán acentuar la tendencia de almacenar el agua en el lago Ontario en primavera (reducción de la crecida del San Lorenzo) para liberarla en verano (aumento del nivel de estiaje) para mantener la navegación comercial,

⁵⁸ ROBICHAUD, Alain et DROLET René (1998). “Les fluctuations des niveaux d’eau du Saint-Laurent”, *Rapport Technique*, Ministère de L’Environnement et de la Faune du Québec, Juin, p. 60.

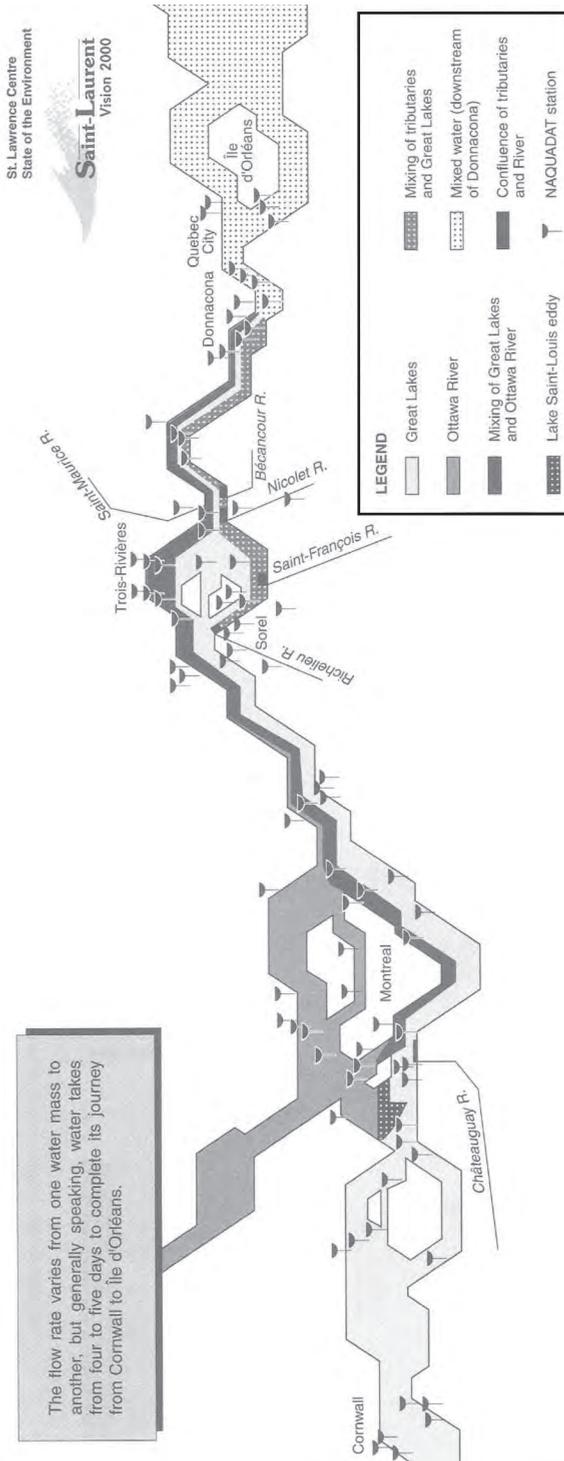
⁵⁹ Del francés *embacles* que significa “objetos generalmente voluminosos traídos por un curso de agua, árboles, ruinas vegetales y también en las zonas urbanizadas, coches, caravanas, elementos de construcción [...]”, según definición encontrada en http://193.50.78.97/coursleonardo/affiche_cours/lexique_in_use.phtml?id=147&langue=es

apoyar la producción hidroeléctrica, la alimentación en agua potable y los usos recreativos. Además, los efectos de las estaciones sobre los ecosistemas tienen poca información en la etapa de aumento temporal. Según la evolución futura de las actividades agrícolas y de la calidad del agua de los ríos tributarios, las modificaciones del patrón de circulación del agua, de acuerdo con las estaciones, podrían acentuar la degradación de la calidad del agua (o la proliferación local de algas) del río en los sectores más bajos de los tributarios. Estas condiciones tienen el riesgo de producirse si las lluvias abundantes ocasionan un aumento brusco de los caudales de los tributarios frente a los débiles caudales del río (en verano).

- La reducción crónica de los caudales del río trae consigo la dilución de los contaminantes provenientes de las aguas usadas de origen municipal e industrial, particularmente en función de los usos del agua (agua potable, recreación) y de los ecosistemas localizados en la parte más baja de los puntos de salida. La perspectiva de inviernos menos rigurosos aumenta la probabilidad de implantación de especies vegetales y animales que viven actualmente más al sur. Estas especies pueden llegar desde la cuenca del San Lorenzo a través de la navegación comercial (aguas de lastre) y la recreación (jardinería, barcos de recreación⁶⁰, cebos de pesca). Aunque la mayoría de estos nuevos elementos se integran a los ecosistemas sin efectos notables, algunos de ellos pueden proliferar (ejemplo, la caña común) o generar efectos considerables sobre los ecosistemas (como la *moule zébrée*⁶¹).
- Las modificaciones climáticas van a imponer, en algunos decenios, cambios del nivel de vida de las plantas y los animales, cuyo ciclo vital resulta de las adaptaciones milenarias. En sí, el estrés climático es susceptible de modificar considerablemente los ecosistemas del planeta, del continente y de la cuenca de los Grandes Lagos-río San Lorenzo. Se desea que la adaptación de los humanos frente a estos cambios no afecte aún más los impactos que presentan los ecosistemas del San Lorenzo, porque pondrían en peligro la capacidad de suplir las necesidades humanas que dependen de ellos. La adaptación de los ribereños a la preocupación por el medio ambiente es una condición necesaria para una gestión más integrada y equitativa del recurso único para las generaciones futuras.

⁶⁰ Crianza de los peces decorativos en acuarios.

⁶¹ Pequeño molusco de agua dulce



Por último, es importante mostrar el comportamiento hidráulico del río San Lorenzo y todos sus afluentes, gráfica 3.17, donde se observa las diversas combinaciones de afluentes lo que permite definir el moviendo del agua a lo largo de la isla de Montreal hasta la ciudad de Québec.

*Gráfica 3.17. Comportamiento hidráulico del río San Lorenzo*⁶²**EL CAMBIO CLIMÁTICO EN COLOMBIA**

El cambio climático es considerado por la comunidad académica y científica, como el principal problema ambiental que aqueja al mundo. Colombia y, en general, los países latinoamericanos, tienen poca responsabilidad sobre la emisión de gases efecto invernadero, sin embargo, están sintiendo los efectos catastróficos de este fenómeno y su población presenta una alta vulnerabilidad, lo que es agravado por la fragilidad de su infraestructura, el escaso nivel de respuesta y acción inmediata ante la ocurrencia de desastres.

En el campo internacional, y en países como Colombia, se están haciendo esfuerzos importantes para la disminución de la emisión de gases efecto invernadero, sin embargo, las acciones se han concentrado principalmente hacia la mitigación de estos gases. Precisamente los puntos de partida de esta investigación se centran en plantear esfuerzos desde otra disciplina para la adaptación a los efectos producidos por el calentamiento global. Lo importante en este momento es la toma urgente de medidas de mitigación y adaptación de manera simultánea y complementaria, e impulsar este enfoque, pues la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero puede ir de la mano con la definición de lineamientos de planeamiento urbano sostenible, generando medidas de adaptación frente al calentamiento global, para evitar los impactos negativos del mismo como la escasez hídrica y la ocurrencia de desastres socio-naturales.

Diferentes fuentes gubernamentales y universidades colombianas han planteado que la temperatura del aire aumentó entre 0,1 y 0,2 °C por decenio durante la segunda mitad del siglo XX, según datos del Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam) y el Departamento de Geografía de la Universidad Nacional de Colombia; igualmente, diversos reportes señalan que⁶³:

Más claro es el retroceso de los nevados en el país. En 1974 se disponía de un área de aproximadamente 94 kilómetros cuadrados (km²), en 2003 esta área disminuyó a 55 km². Cada año, estas zonas pierden entre 2% y 3% de su superficie. En las costas colombianas se ha registrado una tendencia al aumento del nivel medio del mar de tres a cuatro milímetros anuales, en el Pacífico, y uno o dos milímetros, en el Caribe.

⁶² GINGRAS, Danielle (1997). *Le fleuve en Bref, Capsules-éclair Sur l'état du Saint-Laurent*, Centre Saint-Laurent, Canada, p. 39.

⁶³ ROATTA A., Carolina (2009). *¿Qué hace Colombia ante el calentamiento global?* Aportado por-Noticyt, Consultado: 13 March, 2009, 08:11 <http://www.universia.net.co> - Universia Colombia

Por otro lado, el profesor José Daniel Pabón, director del Departamento de Geografía de la Universidad Nacional de Colombia, explicó que:

La frecuencia de las lluvias también ha aumentado o disminuido en algunas regiones, los cambios son progresivos y las consecuencias afectarán a la próxima generación, en unos sesenta años. No vamos a ver un aumento brusco de la temperatura o del nivel del mar; sin embargo, los efectos ya son evidentes y por eso grupos de investigación de las universidades y otras instituciones han desarrollado diferentes estudios con resultados que orientan sobre qué hacer en Colombia.

Así mismo, el clima debe ajustarse de algún modo a los incrementos en las concentraciones de los gases efecto invernadero causados por el hombre. Este ajuste genera progresivamente un cambio climático que se manifestará en un aumento de la temperatura global, por ejemplo, en Colombia,

El fenómeno El Niño se manifiesta directamente en la costa Pacífica colombiana con incrementos de la temperatura superficial del mar y aumentos del nivel medio del mar. Así mismo, el fenómeno tiene un efecto climático sobre todo el territorio colombiano que afecta todo el medio natural, en general, y el ciclo hidrológico, en particular⁶⁴.

Otro de los efectos directos del fenómeno El Niño es el incremento temporal del nivel medio del mar en la costa Pacífica. Durante la ocurrencia de este fenómeno se han registrado incrementos en el nivel del mar de 20 a 40 centímetros en Tumaco y Buenaventura.

La información presentada en la Primera Comunicación Nacional en 2001, dio pie para el desarrollo del Proyecto Nacional Integrado de Adaptación (INAP) que se presenta como una propuesta piloto para el mundo y que según sus resultados, podrá ser replicada en otros países. El objetivo de este proyecto es implementar medidas de adaptación al impacto del cambio climático en diversos sectores e involucrar el tema en la política nacional para comenzar a tomar medidas. Siguiendo estos parámetros definidos en este estudio, la investigación se concentró en desarrollar lineamientos sostenibles de adaptabilidad desde el planeamiento urbano.

Por otro lado, la Subdirección de Meteorología del Ideam ha generado indicadores en algunas ciudades del país, con base en el análisis de las series históricas de información de precipitación acumulada diaria y de los extremos diarios de temperatura (mínima y máxima del día), llegando a los siguientes resultados:

⁶⁴ IDEAM (2002). *Efectos naturales y socioeconómicos del fenómeno El Niño en Colombia*, Bogotá, D.C., marzo.

1. En gran parte del país hay tendencia al incremento de la precipitación anual mientras que hacia el suroccidente se presenta una tendencia a la disminución, así como en zonas de la cordillera Oriental (Bogotá, Bucaramanga y Cúcuta) y en la isla de San Andrés.
2. En la mayoría de las estaciones hay una tendencia al aumento de precipitaciones de alta intensidad (tormentas o aguaceros).
3. En la mayoría de las estaciones hay una tendencia al aumento de las temperaturas máximas y mínimas, lo que quiere decir que tanto las noches como los días son más calientes.
4. En Chocó, que es la zona más lluviosa del país y una de las más húmedas del mundo, se observa una tendencia al aumento de los periodos húmedos.

Una vez visto las principales tendencias del cambio climático en Colombia, ahora se desarrolla los efectos del cambio climático en la cuenca hídrica del río Yumbo.

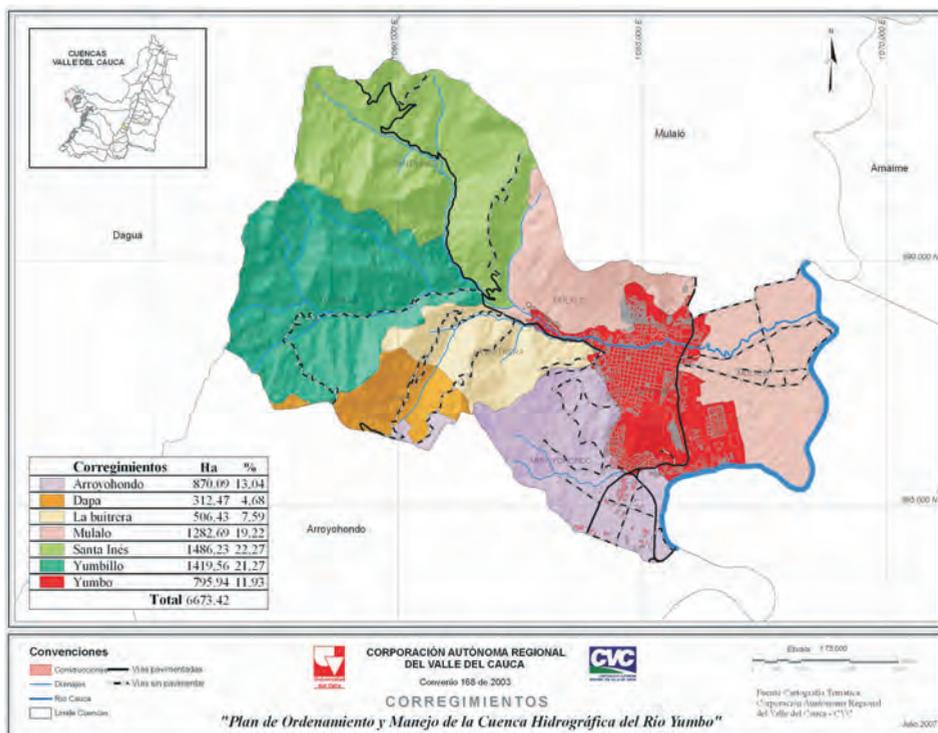
EL SISTEMA HÍDRICO DE LA CUENCA DEL RÍO YUMBO

Como punto de partida para el estudio de caso en Colombia se analizan las amenazas y posibles medidas de adaptación de los impactos del cambio climático en el aumento de los periodos de inundación y desecación de los sistemas hídricos. Aunque este fenómeno en Colombia, no se ha visto como un problema, según estudios del Ideam ya se identificaron algunas áreas donde pueden ocurrir estos cambios bruscos de aumento y disminución del caudal hídrico. Dentro de estos ecosistemas el Ideam identificó el río Cauca y sus afluentes mas importantes como es el río Yumbo. Por esta razón el estudio de caso en Colombia se concentra en la cuenca hidrográfica del río Yumbo desde que nace hasta su desembocadura en el río Cauca.

Según la Resolución N°415, emitida por la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca - CVC, en el artículo primero se declara en Ordenación la Cuenca Hidrográfica del río Yumbo y resuelve, en el artículo segundo de la misma, la delimitación de la Cuenca del río Yumbo⁶⁵, ver plano 3.1.

Los límites de la cuenca hidrográfica establecidos por Plan de Ordenamiento y Manejo de la Cuenca Hidrográfica –POMCH– del río Yumbo, trabajo ejecutado en Convenio entre la CVC y la Universidad del Valle, fueron:

⁶⁵ UNIVERSIDAD DEL VALLE (2007). “Plan de ordenamiento y manejo de la cuenca hidrográfica –POMCH– del río Yumbo”, trabajo ejecutado en Convenio entre la CVC y la Universidad del Valle, y el cual está sólo a nivel de diagnóstico.



Plano 3.1. Cuenca hidrográfica río Yumbo, 2009

Fuente: Convenio 168, CVC - Universidad del Valle. Equipo SIG- Cidse.

Occidente: parte desde el punto de congruencia de las cuencas Arroyohondo, Yumbillo, vertiente del Cauca y Bitaco, subcuenca del río Dagua, vertiente Pacífico, se sigue por el divorcio entre las subcuencas del río Yumbo –río Yumbillo y Santa Inés– y las subcuencas del río Bitaco, la quebrada Pavas, afluente del Dagua, hasta la congruencia del divorcio de aguas de la quebrada Mulaló.

Norte: parte de la congruencia de los divorcios de agua de las subcuencas de la quebrada Pavas (Dagua), Santa Inés, afluente del Yumbo, y la quebrada Mulaló, se sigue por el divorcio entre las subcuencas de la quebrada Mulaló y el río Yumbo en dirección oriente, hasta encontrar la vía Panorama en el límite norte de la hacienda Las Mangas, se sigue por la vía Panorama en dirección sur, hasta encontrar el cruce del callejón Platanares, se sigue por este callejón hasta el río Cauca en la hacienda Platanares.

Oriente: parte de la margen izquierda del río Cauca en dirección sur hasta el puente sobre el mismo río, vía a Cali-Aeropuerto, sector de Cencar.

Sur: parte desde el puente Cencar sobre el río Cauca vía Cali-Aeropuerto, se sigue en dirección occidente por la vía Cencar-Propal hasta encontrar la antigua vía Cali-Yumbo, de allí se sigue por el divorcio de aguas de las quebradas La Sorpresa, La Chorrera y Dapa, subcuencas del río Arroyohondo y las subcuencas de las quebradas Guabinas, Horqueta, La Buitrera, El Roble, San Antonio, hasta encontrar el divorcio de aguas de la vertiente del Pacífico.

El área de la cuenca es de 6.673,4 hectáreas, conformada por la zona urbana y los corregimientos de Yumbillo, La Buitrera, una gran fracción de Santa Inés, y fracciones menores de Mulaló, Dapa y Arroyohondo.

Tabla 3.4. Áreas y porcentajes de los corregimientos de la cuenca del río Yumbo.

Corregimiento	Área corregimiento en la cuenca (has.)	Porcentaje (%) corregimiento en la cuenca
Arroyohondo	870,09	13,04
Dapa	312,47	4,68
La Buitrera	506,43	7,59
Mulaló	1282,69	19,22
Santa Inés	1486,23	22,27
Yumbillo	1419,56	21,27
Zona urbana	795,94	11,93
Área total	6673,4	100

Fuente: Convenio 168, CVC-Universidad del Valle. Equipo SIG-CIDSE.

FACTORES ECOLÓGICOS Y CLIMÁTICOS QUE INFLUENCIAN EL NIVEL DEL AGUA DEL RÍO YUMBO⁶⁶

Uno de los efectos importantes en Colombia del cambio climático se ve reflejado en el aumento considerable de las amenazas naturales; el país puede verse afectado por el incremento del nivel del mar, las modificaciones de la temperatura media del aire y de la precipitación. El Ideam, en sus diversos reportes sobre cambio climático, ha establecido que:

En el incremento del nivel del mar, se estableció que hacia el 2050-2060 podría presentarse un aumento alrededor de 40 ó 60 centímetros en las costas Caribe y Pacífico colombianas, respectivamente. En relación con

⁶⁶ UNIVERSIDAD DEL VALLE (2007). “Plan de ordenamiento y manejo de la cuenca hidrográfica –POMCH– del río Yumbo”, trabajo ejecutado en Convenio entre la CVC y la Universidad del Valle, y el cual está sólo a nivel de diagnóstico.

la temperatura del aire, se estima que en la misma época, podría darse un aumento de 1°C a 2°C. En cuanto a la precipitación, se prevén cambios variados para diferentes regiones, aumento para algunas y disminución para otras, que estarían alrededor de (+ y -) 15%.

Para las zonas costeras e insulares se estableció, por ejemplo, que el incremento del nivel medio del mar en un metro causaría la inundación permanente de 4.900 km² de costas bajas. Los sistemas naturales como las playas y marismas serían los más afectados por la erosión y la inundación del litoral.

Así mismo, la población que se encuentra en áreas expuestas a dicha inundación es de aproximadamente 1,4 millones de habitantes. Para el litoral Caribe, sólo el 9% de las viviendas urbanas presentó alta vulnerabilidad a la inundación, mientras que el porcentaje aumenta al 46% en el sector rural. En el litoral Pacífico, 87% del sector rural y 48% de las viviendas del sector urbano son altamente vulnerables.⁶⁷

Ante los fenómenos descritos anteriormente es de suma importancia entender el comportamiento ecológico e hídrico de la cuenca del río Yumbo, así como su comportamiento climático para determinar los efectos del cambio climático que se están originando en este sistema hídrico. En este aparte se recoge la información biofísica, existente en el municipio de Yumbo a nivel de la cuenca del río Yumbo. A esta escala se pudo conocer y analizar los diversos componentes de la dimensión ambiental y climatológica teniendo una visión integral del territorio comprendiendo el sistema como un elemento abierto sobre el cual se soporta la estructura urbana. Luego de analizar los diversos documentos, PBOT y POMCH⁶⁸, en los cuales se realiza el diagnóstico municipal, se definió trabajar con el POMCH, puesto que retoma la cuenca del río Yumbo, área en la cual se encuentra implantada la zona urbana y además maneja en forma muy completa los elementos de la estructura ambiental. Para tal fin el diagnóstico se centra en dos elementos esenciales: factores ecológicos y climatológicos.

FACTORES ECOLÓGICOS DE LA CUENCA DEL RÍO YUMBO

En este aspecto, definitivamente el río Yumbo es una de las fuentes de agua más importantes, que discurre por la zona urbana, en sentido occidente-orientado. La principal causa de degradación de las riberas del río Yumbo es la alta intervención de sus áreas forestales protectoras, con actividades como deforestación, disposición de residuos orgánicos e inorgánicos, vertimientos directos de aguas residuales y asentamientos humanos. Particu-

⁶⁷ ROATTA A., Carolina (2009). ¿Qué hace Colombia ante el calentamiento global? Aportado por NOTICyT, Consultado: 13 March, 2009, 08:11 <http://www.universia.net.co> - Universia Colombia.

⁶⁸ UNIVERSIDAD DEL VALLE (2007). “Plan de ordenamiento y manejo de la cuenca hidrográfica –POMCH– del río Yumbo”, trabajo ejecutado en Convenio entre la CVC y la Universidad del Valle, y el cual está sólo a nivel de diagnóstico.

larmente se encuentra dentro de la zona de protección del río la estación de bomberos y la galería central. La cobertura vegetal se restringe a pequeñas áreas donde se encuentran especies arbóreas como guadua, uña de gato, chiminangos y guásimos.

Cerca de la Galería central, se reubicaron varias viviendas, localizadas sobre la margen del río. En la galería se ha instalado un colector de aguas negras que vierte sus aguas directamente al río Yumbo. Otro sitio crítico que afecta las condiciones del río es el matadero municipal, ya que realiza inadecuadamente el manejo y la disposición final de los residuos sólidos. El río Yumbo se consolida como el principal eje ambiental de la ciudad, pero adicional a esto hay una serie de ríos pequeños que conforman un sistema hídrico importante como aparece en el plano 3.2, de sistemas de áreas protegidas.



Plano 3.2. Zonas de protección hídrica

Fuente: PBOT de Yumbo, Acuerdo 028 de 2001.

La cuenca del río Yumbo se caracteriza por tener ecosistemas de bosque seco-tropical, a lo largo de la cuenca se han perdido 150 especies de aves. Otras treinta vivieron en las márgenes de los humedales, en las lagunas y madre viejas. La marcada transformación del paisaje en el río Yumbo, determinada por la sustitución de bosque por pastizales, por el incremento en número y tamaño de asentamientos humanos y de urbanizaciones en la zona rural del municipio, lo mismo que por la ampliación del área urbana e industrial, ha traído como consecuencia la desaparición de buena parte de sus recursos locales de fauna y flora.

Por otro lado, los peces, anfibios y reptiles, han sido los más afectados por la destrucción de los ecosistemas naturales (bosques y humedales). De una rica fauna de anfibios (ranas y sapos, salamandras y cecilias o taticos), compuesta por no menos de 50 especies, representantes de ocho familias, hoy tan sólo se registran unas 10 especies de cinco familias de ranas y sapos. La presencia de anfibios ha sido señalada como un indicador biológico sensible y adecuado de la calidad del medio ambiente. Por esta razón, la acelerada desaparición de anfibios de Yumbo debe ser motivo de preocupación y de esfuerzo concertado para impulsar procesos de restauración ecológica.

De una muestra aproximada entre 40-50 especies de reptiles que debieron registrarse en los bosques y humedales de Yumbo, tan sólo 50 años atrás, hoy apenas se encuentran unas 15 especies.

Más de una tercera parte de la avifauna ha sido eliminada (100 especies). La tala de bosques, secado de los humedales, la pérdida de su hábitat, nicho ecológico y la pérdida de la cadena alimentaria, dan cuenta del estado actual de este recurso.

Calidad del agua del río Yumbo⁶⁹

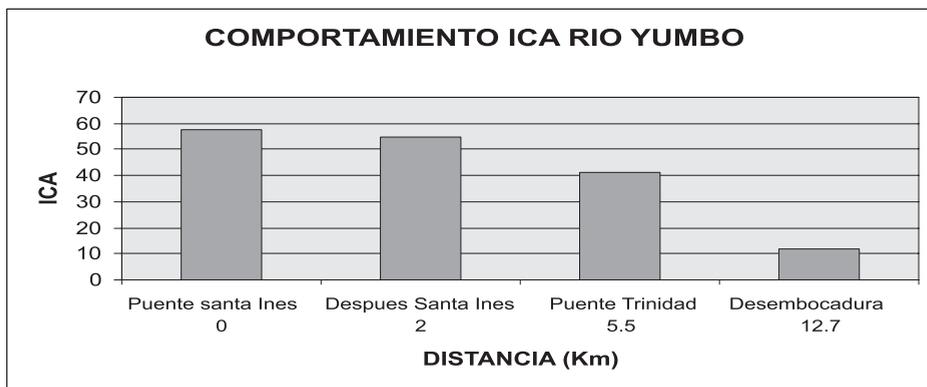
Para estimar el comportamiento de la calidad del agua a lo largo de la cuenca se determinaron valores promedios en cada una de las estaciones. Las gráficas 3.18 y 3.19, reflejan el comportamiento del Índice de Calidad del Agua- ICA promedio y estimado a lo largo de la cuenca.

En general, el ICA muestra que hacia las partes altas de la fuente, el agua se clasifica como de buena calidad, desmejorando el índice hacia la parte baja; dicho comportamiento es atribuible a los asentamientos poblacionales y al aumento de actividad industrial, ocasionando incrementos en la demanda de agua y en la generación de vertimientos de aguas residuales. Adicionalmente, este deterioro en la calidad se incrementa con la disposición inadecuada de los residuos sólidos sobre algunas zonas de la cuenca.

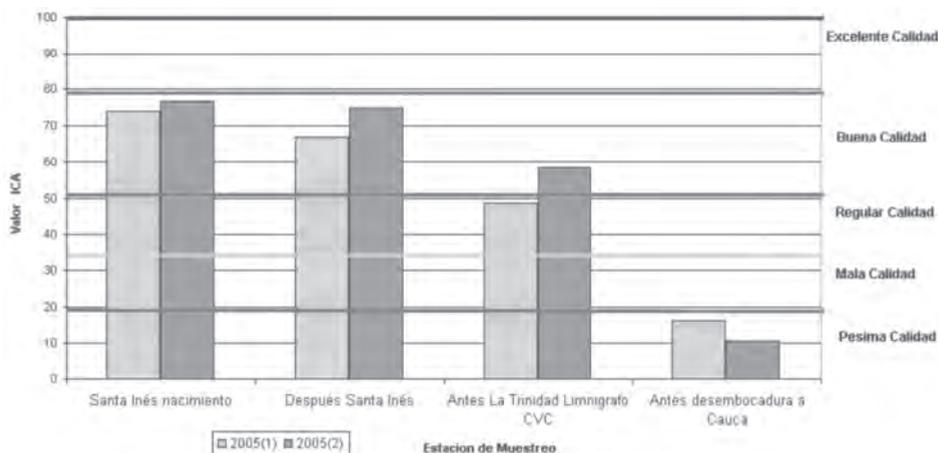
⁶⁹ UNIVERSIDAD DEL VALLE (2007). “Plan de Ordenamiento y Manejo de la Cuenca Hidrográfica –POMCH– del río Yumbo”, trabajo ejecutado en Convenio entre la CVC y la Universidad del Valle, y el cual está sólo a nivel de diagnóstico.

Los registros de coliformes fecales y totales, encontrados en los muestreos de cada una de las estaciones, al contrastarlos con la reglamentación actual sobre uso del agua (Decreto 1594 del 1984), sugieren limitación en el mismo (del río Yumbo) para consumo humano y doméstico si no se encuentra tratada y desinfectada.

A continuación se referencia el estudio realizado por la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca, con respecto al índice de calidad determinado para la cuenca a partir de 2005, dichos datos tienen gran confiabilidad dado que cuentan con la medición y registros de todos los parámetros necesarios para su determinación. Los resultados obtenidos son los siguientes:



Gráfica 3.18. Comportamiento del Índice de Calidad del Agua - ICA.



Gráfica 3.19. Resultados sobre el Índice de Calidad del Agua, según registros realizados en el 2005 por la CVC

Fuente: ICA CETESB río Yumbo, año 2005 - CVC

La gráfica 3.19 muestra que los índices de calidad establecidos al 2005, coinciden con los determinados en el diagnóstico del POMCH, de la cuenca del río Yumbo, observando que la calidad del agua oscila entre los rangos *buena* a *pésima* calidad, reflejando de esta forma el deterioro hacia las partes bajas.

Índices de contaminación de la cuenca Yumbo

De acuerdo con lo observado, la cuenca del río Yumbo, en la parte alta y media, refleja un comportamiento eutrófico indicando exceso de sustancias nutritivas, para el caso del fósforo asociado con la presencia de detergentes (componente común de las aguas residuales domésticas). Sus efectos en la naturaleza se reflejan en la disminución de la tensión superficial del agua, inhibición de la actividad biológica y disminución de la solubilidad del oxígeno. El resultado obtenido en las estaciones corrobora la existencia de los vertimientos de las aguas residuales domésticas a la fuente.

De la estimación de los *icos* se obtiene que la cuenca, desde la parte media baja hacia la plana, muestra una corriente con tendencia clase 3, que no puede ser definida totalmente dentro de esta clasificación porque no se cuenta con la información básica para su determinación, pero que dice que sus usos con respecto a consumo humano deben ser restringidos. Dentro del proceso de diagnóstico se identifican dos variables que inciden directamente sobre la calidad y contaminación de la cuenca, estas variables se identificaron como manejo y disposición de las aguas residuales y de los residuos sólidos, la evaluación de estos comportamientos parte de la información recolectada por *Sisbén* 2003 (zonas rurales), planes de saneamiento y manejo de vertimientos (cabeceras urbanas) y planes de gestión integral de residuos sólidos (incluye información de la zona urbana como rural).

Para la elaboración del diagnóstico de la cuenca del río Yumbo, se considera que los valores anotados anteriormente, no deben haber variado sustancialmente, puesto que las obras necesarias para eliminar los vertimientos de aguas residuales domésticas e industriales, el manejo de los residuos sólidos y la implantación de usos tales como la Galería o plaza de mercado, los Bomberos, y el Matadero, al igual que las “marraneras”, localizados en la ribera del río (zona de protección forestal del río), no se han realizado.

Manejo y disposición de las aguas residuales

La información relacionada a continuación se define de acuerdo con el Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos –PSMV– formulado por la CVC, para el municipio (2006), y se articula de acuerdo con la fase de diagnóstico efectuada en el desarrollo de la investigación. El diagnóstico del manejo y disposición de las aguas residuales se efectuó inicialmente para la zona urbana y, posteriormente, para el resto de la cuenca, dada las

condiciones atípicas que en ella se encuentran: aumento en la densidad y concentración poblacional, fácil acceso a la zona, diferente comportamiento cultural, aumento y diversidad en las actividades socio-económicas. La problemática principal encontrada en el servicio de alcantarillado se asocia principalmente con incapacidad hidráulica del sistema y la combinación de las aguas residuales domésticas e industriales. El tipo de sistema de alcantarillado existente es sanitario, pero funciona como semicombinado, aunque algunos sectores (con baja proporción), separan las aguas lluvias de las residuales por medio de canales; la incapacidad hidráulica de los conductos se debe especialmente al recibo de las aguas residuales industriales.

Debido a que el sistema de alcantarillado existente, recibe aguas residuales industriales, debilita la capacidad hidráulica de sus colectores, por lo que se requiere realizar un monitoreo y control de estos vertimientos los cuales incumplen las normas ambientales vigentes. Según el plan de saneamiento y manejo de vertimientos presentado por la empresa de servicios públicos de Yumbo - ESPY, se ha evidenciado el incumplimiento de las normas ambientales vigentes en estas empresas en la generación de sus vertimientos, debido a problemas en los procesos operativos o la falta de mantenimiento oportuno a los sistemas de tratamiento.

En el casco urbano, sólo se ha identificado una actividad agropecuaria, la cual está ubicada en el barrio La Trinidad, zona forestal protectora del río Yumbo. Aunque se ha disminuido la actividad porcícola, en algunos solares de viviendas aún la gente cría estos animales.

FACTORES CLIMATOLÓGICOS DE LA CUENCA DEL RÍO YUMBO

Debido a los fuertes cambios repentinos en el clima, como consecuencia del cambio climático global, es importante hacer un detallado estudio de las condiciones actuales en la cuenca hídrica del río Yumbo. Desde este punto de vista se encuentra lo siguiente:

Precipitación

La precipitación varía alternando dos periodos con niveles altos de precipitación y dos con niveles bajos. El primer periodo de lluvias altas corresponde a los meses de marzo, abril y mayo; el segundo se presenta en los meses de septiembre, octubre y noviembre. Alternando estos meses se hallan los meses de menor precipitación, los cuales corresponden a enero, febrero, junio, julio, agosto y diciembre.

La zona urbana presenta un régimen de lluvias medias anuales del orden de 972 mm, pero con gran influencia del régimen de lluvias de la zona alta, que generan grandes flujos de escorrentía, canalizados especialmente por los cauces de aguas superficiales, tal como el río Yumbo, única fuente hídrica que cruza el casco urbano.

Temperatura

La temperatura media en la zona plana, específicamente en la zona urbana, corresponde a 24°C, correspondiente al piso térmico cálido; en la zona de ladera, en el nacimiento del río Yumbo, se tienen temperaturas promedio entre 5°C y 15°C.

Vientos

En la cuenca del río Yumbo, los cambios de dirección de viento, son de oriente a occidente en las horas de la mañana, y en dirección contraria, durante la tarde, con intensidad variable. Además es pertinente tener en cuenta que los vientos que vienen del océano Pacífico, bajan desde la zona alta de la cordillera hasta la zona plana, direccionándose especialmente por los cañones que forman los ríos, como el Yumbo.

TOPOGRAFÍA DE LA CUENCA DEL RÍO YUMBO

La topografía, en general, es de alta montaña; sólo la zona urbana corresponde en su mayoría a la zona plana, rodeada, en la zona occidental, de áreas montañosas, alguna de ella especialmente hacia el sur, con asentamientos urbanos más recientes. El sector norte de esta área, está actualmente sin edificar, o bien existe un proceso de construcciones en proceso de desarrollo y/o de consolidación. La cuadrícula ortogonal antigua de la ciudad es plana con un declive leve hacia el sector oriental en donde el límite municipal está enmarcado por el río Cauca. En la ronda y, muchas veces, en el cauce del río, en ambos márgenes se observan viviendas construidas en materiales temporales, los cuales están sometidos a los procesos de inundación, que se genera a raíz de la alta pluviosidad de la zona alta que drena, por este río, hacia el río Cauca.

GEOLOGÍA LOCAL DE LA CUENCA DEL RÍO YUMBO⁷⁰

La cuenca hídrica del río Yumbo se encuentra cruzada por formaciones geológicas descritas para el borde oriental de la cordillera Occidental y algunas de las fallas geológicas del sistema de falla de Cali-Patía. Son comunes los depósitos de ladera; coluviones y depósitos de taludes. Los depósitos actuales del río Yumbo son principalmente gravas y arenas, con cantos de rocas frescas, o mayores de 50 cm en promedio, cuyo espesor varía de 1.50 a 2.00 m, son depósitos torrenciales.

La estructura geológica característica de la parte montañosa de Yumbo y sus alrededores, es el resultado de la evolución tectónica y levantamiento de la cordillera Occidental desde comienzos del Terciario. Estos procesos han generado fallas geológicas, grandes fracturas y pliegues. Son comu-

⁷⁰ MUNICIPIO DE YUMBO - Mapificación de amenazas por movimientos en masa y procesos erosivos, y análisis de vulnerabilidades para establecer el riesgo en las comunas 1, 2 y 4 del municipio de Yumbo - 2005.

nes las fracturas menores o diaclasas y zonas de cizallamiento de la roca en vecindades de las fallas geológicas mayores. Las fallas menores y las fracturas mayores de extensión local, se presentan en diferentes sitios de la cuenca hidrográfica y sus alrededores. La actividad de estas fallas durante largo tiempo geológico, ha deformado de manera notable las rocas, con formaciones geológicas presentes a lo largo de su trazo, y ha influido de manera notable en el desarrollo de la morfología tectónica y en el patrón de drenaje de la región.

De manera indirecta, en la estabilidad de las laderas vecinas. La forma del frente montañoso o ladera oriental de Yumbo, y el gran quiebre de pendiente de la cordillera que mira hacia el Valle, están gobernadas por los movimientos de la traza principal de la falla de Cali-Patía, la cual no aflora de manera individual al estar cubierta por depósitos cuaternarios modernos, pero cuya localización está definida en el subsuelo, mediante métodos geofísicos adelantados por Ingeominas en la década del ochenta.

CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA EN LA CUENCA DEL RÍO YUMBO

Los indicadores para determinar el estado de la calidad del aire obedecen a parámetros internacionales que se comparan con la normatividad establecida por la Agencia de Protección Ambiental Americana-EPA. Es esta la situación más fuerte que actualmente afecta al municipio y a la zona urbana e industrial (corregimiento Arroyohondo) de Yumbo.

La contaminación atmosférica es generada por la actividad industrial, ocasionada por las industrias cementeras, papeleras y químicas. Si bien estas industrias se localizan fuera del área urbana, los efectos se sienten también en esta zona, teniendo en cuenta la dirección de los vientos y la radiación solar entre otros asuntos.

De acuerdo con el informe de calidad de aire y meteorología, obtenido en la estación Yumbo, se miden las concentraciones de monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, dióxidos de azufre, ozono y material particulado, además de los parámetros meteorológicos: viento, precipitación, temperatura, humedad relativa y radiación solar, ubicada en predios de la Escuela Juan B. Palomino - Calle 8 con Carrera 12 de la nomenclatura urbana del municipio, cuya ubicación geográfica es: 3° 36" de latitud norte y 76° 29" de longitud oeste y a una altitud de 950 msnm, correspondientes al período enero-marzo de 2007, realizado por la Dirección Técnica Ambiental de la CVC en el mes de agosto de 2007.

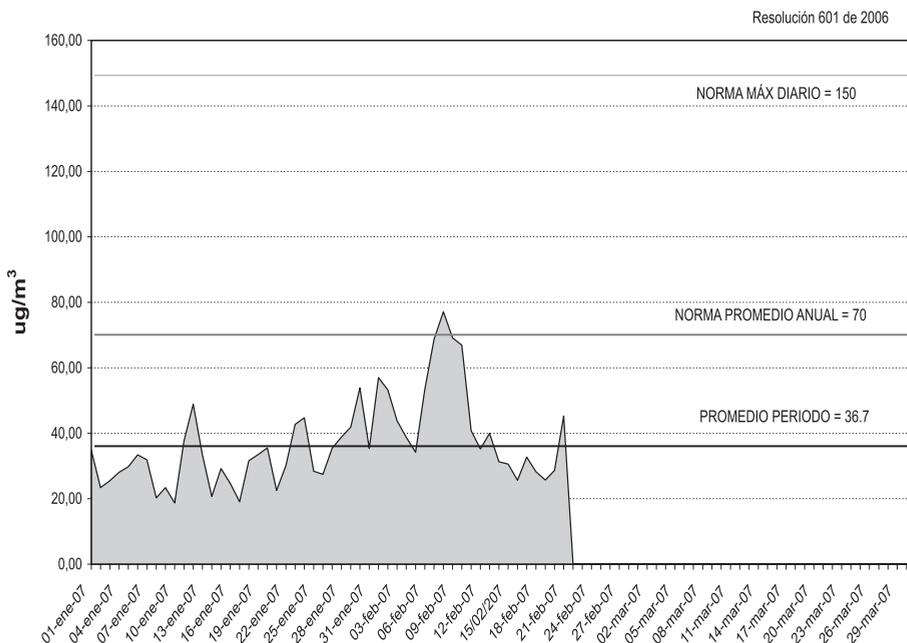
Material particulado fino - PM 10

El material particulado es de orden primario o secundario, correspondiendo el primero a la emisión directa de hollín producido por la combustión y, el segundo, por la emisión de partículas originadas mecánicamente, incluida la resuspensión de polvo por acción del viento o por el tránsi-

to de vehículos, además de las diversas actividades industriales o de la construcción. Las partículas de origen secundario son aquellas formadas por reacción en el aire de otras sustancias, como sulfatos, nitratos y entre compuestos de carbono. El periodo de estudio se caracteriza por presentar niveles bajos de partículas en la atmósfera, con promedio de $36.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$, muy por debajo del promedio anual exigido por la norma ($70 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

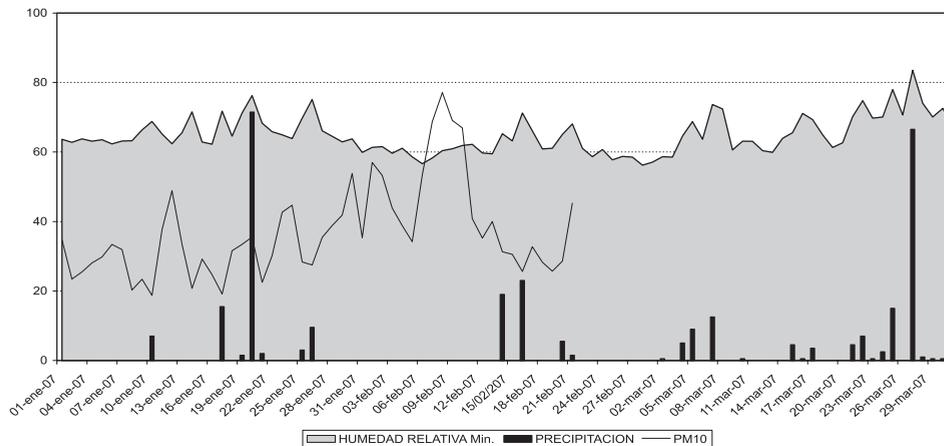
El valor máximo diario registrado en los días muestreados en el trimestre es $77.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$, ocurrido el 8 de febrero de 2007, se encuentra también muy por debajo del máximo permisible en 24 horas de $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$. En el análisis horario de las concentraciones de partículas en el ambiente se encuentra que los mayores niveles se presentan a partir del mediodía hasta las horas de la tarde, coincidiendo con las mayores velocidades de viento procedentes del oeste y noroeste. Infortunadamente el monitor de partículas de la estación salió de servicio a finales de febrero. En marzo, por efecto de mayor número de días consecutivos con lluvia (coincidente con mayor humedad relativa) se esperaría una reducción en las concentraciones de partículas, por menor resuspensión de polvo y por el arrastre por el lavado de la atmósfera por la lluvia, como se observa en las gráficas 3.20 y 3.21.

**ESTACIÓN YUMBO - PRIMER TRIMESTRE 2007
PROMEDIOS DIARIOS - PM10**



**Gráfica 3.20. Promedios diarios PM10.
Estación Yumbo - primer trimestre 2007**

ESTACIÓN YUMBO - PRIMER TRIMESTRE 2007
PM10 VS - HUMEDAD RELATIVA



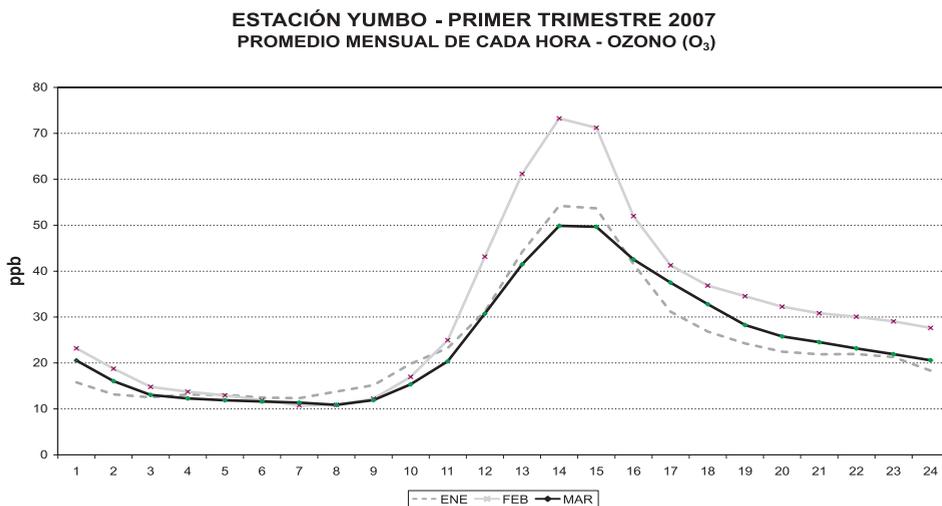
Gráfica 3.21. PM10 vs. humedad relativa
Estación Yumbo - primer trimestre 2007

En los primeros quince días de febrero, en los cuales no se presentaron lluvias, se observa un incremento gradual en las concentraciones diarias de partículas en la atmósfera hasta alcanzar la máxima concentración registrada en el periodo con $78 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Este fenómeno ilustra el impacto de la sequedad del suelo ocasionando una mayor resuspensión de polvo por efecto del viento, al igual que su acumulación en el aire por ausencia de lavado por las lluvias. También es notorio cómo en los días siguientes a los episodios de lluvia se presenta un rápido incremento en la concentración de partículas. Esto se debe a que una vez se seca el lodo arrastrado por la lluvia éste se resuspende por acción del tránsito vehicular y del viento.

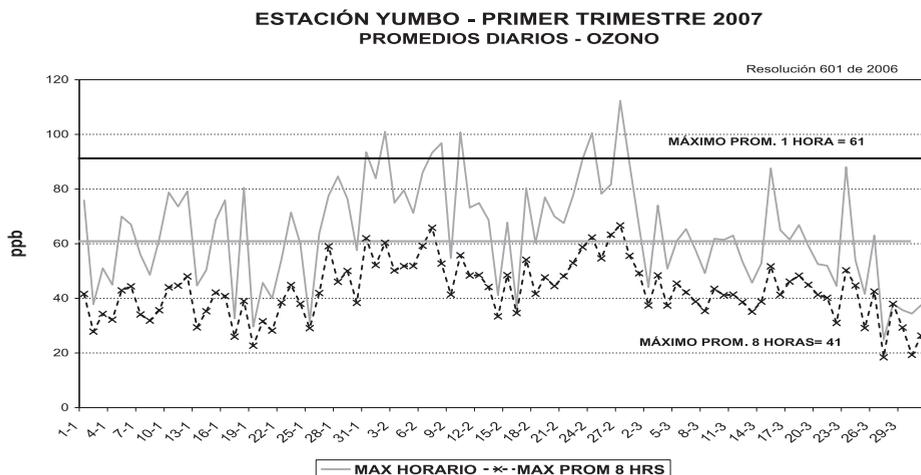
Ozono - O_3

El ozono es un gas oxidante producido en ambientes urbanos como contaminante secundario por reacción, en presencia de la luz solar, de los óxidos de nitrógeno y los hidrocarburos. Tales gases son emitidos en su mayoría por la combustión de los vehículos automotores, además de emisiones dispersas de combustibles de los mismos automóviles y de las emisiones procedentes de las estaciones de servicio y de otros compuestos orgánicos volátiles utilizados en la industria. En Yumbo las terminales de combustibles son emisores considerables de hidrocarburos, especialmente durante el proceso de llenado de tanques.

En la gráfica 3.22, se observa claramente que el ozono se empieza a producir a partir de las 9:00 a.m., alcanzando la máxima concentración entre las 2:00 p.m. y las 4:00 p.m. En febrero, coincidiendo con la mayor radiación solar se presentan las mayores concentraciones del trimestre, mientras que en marzo se presentan las menores, por efecto de las condiciones climáticas.

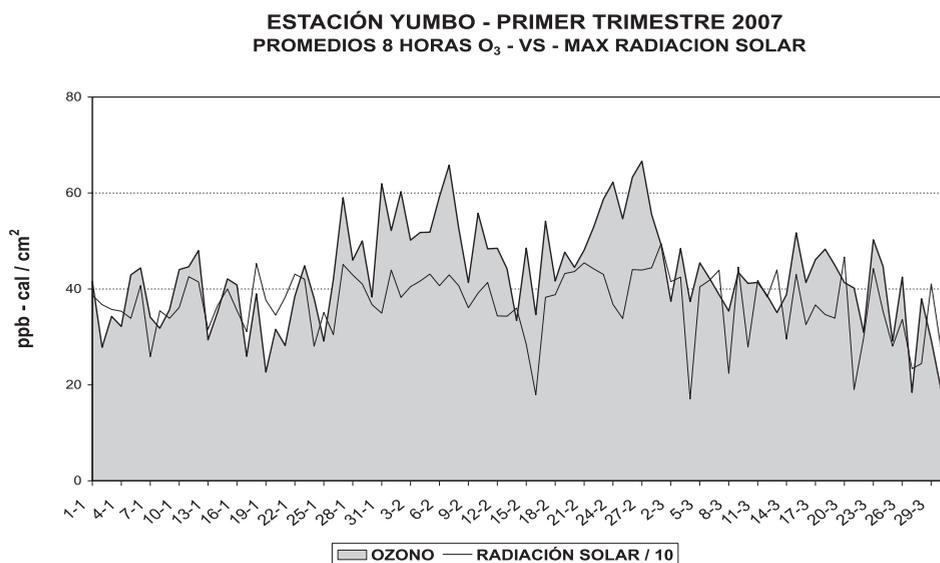


Gráfica 3.22. Promedio mensual de cada hora - Ozono (O₃)
Estación Yumbo - primer trimestre 2007.



Gráfica 3.23. Promedios diarios ozono.
Estación Yumbo - primer trimestre 2007.

Se superan los niveles máximos permisibles estipulados en la Resolución 601 de 2006, como se observa en la gráfica 3.23, definidos para promedios horarios y de ocho horas de 61 y 41 ppb respectivamente, en 45 y 50 ocasiones respectivamente en el período muestreado. En la gráfica 3.24 se observa la correlación entre la radiación solar y la concentración de ozono, registrada en la estación Yumbo.



Gráfica 3.24. Promedios ocho horas O₃ vs máxima radiación solar.
Estación Yumbo - primer trimestre 2007.

Los resultados de los análisis diarios y horarios realizados en el primer trimestre de 2007 en la estación automática de monitoreo de calidad de aire, indican que durante este periodo de tiempo no se superaron las normas de calidad de aire estipuladas en la Resolución 601 de 2006, para material particulado fino PM10. Con respecto al ozono - O₃, la norma horaria y promedio de ocho horas se supera en 45 y 50 ocasiones durante este período.

El análisis de los datos meteorológicos indica una importante influencia de éstos sobre calidad del aire, por su efecto directo sobre las concentraciones de partículas y gases. También se observa un marcado efecto de las lluvias sobre la calidad del aire en términos de partículas, por el efecto de humectación sobre el terreno y lavado de la atmósfera. Pero la lluvia, además de su efecto de limpieza, arrastra sólidos en forma de lodo que, una vez seco, da origen a las mayores concentraciones de partículas en la atmósfera.

De otra parte, la ausencia de lluvias permite la acumulación de partículas emitidas por las diversas fuentes, tanto naturales como antropogénicas.

POSIBLES EVENTOS CATASTRÓFICOS DEL RÍO YUMBO EN LA CIUDAD DE YUMBO

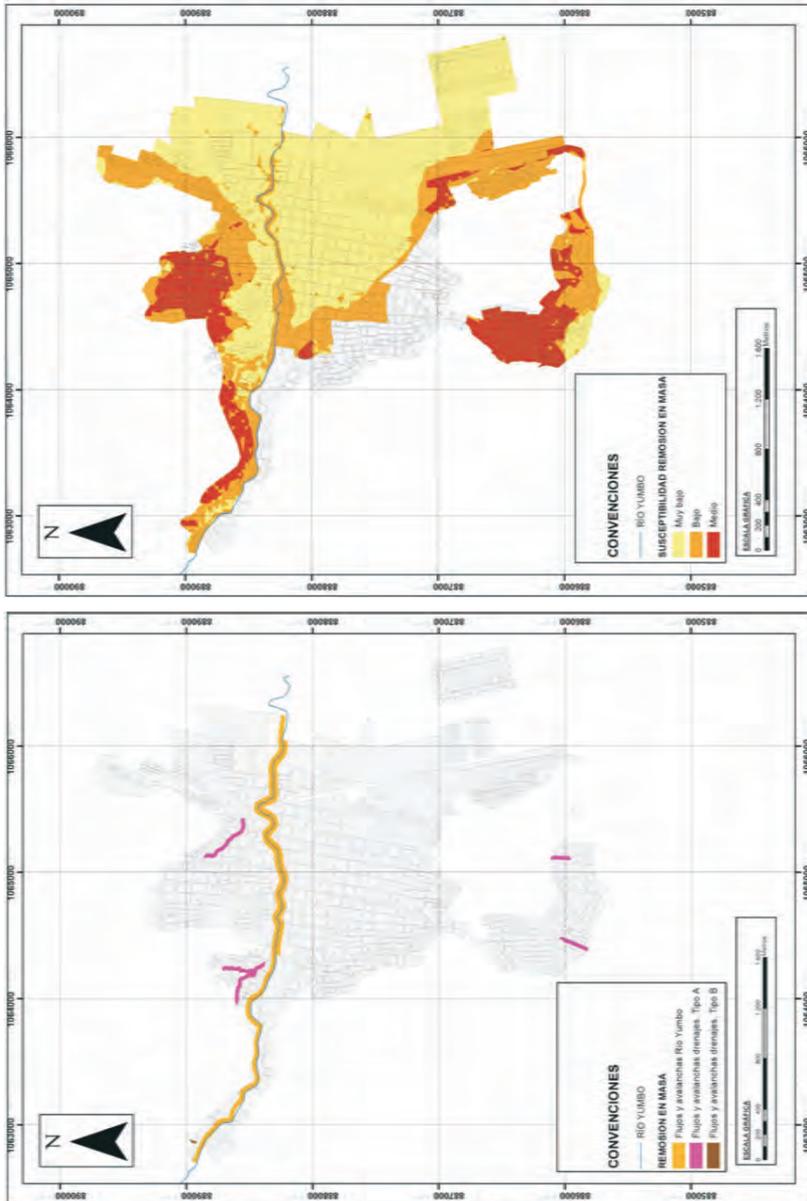
De acuerdo con los anteriores análisis y los fenómenos originados por la contaminación, así como su estructura ecológica y sus condiciones climáticas, se pueden establecer algunos posibles fenómenos relacionados con el cambio climático, generalmente asociados a fuertes cambios en las condiciones climáticas a lo largo de la cuenca del río Yumbo. Para dicha cuenca se ha identificado una susceptibilidad media a procesos de remoción en masa, y sectores susceptibles a eventos de reptación media, inundación alta, presencia de amenaza sísmica alta, incendios forestales en grado alto, medio y bajo.

En el mapa se identifican los asentamientos ubicados en terrenos de amenaza y/o riesgo no mitigable por inundación, deslizamiento, reptación, remoción en masa o en áreas de propiedad de la nación. Además, se cruza con la información de puntos críticos de ruido para lo cual se ubican los sitios de mayor generación de ruido en el municipio y con la mancha de inundabilidad del río Yumbo.

Sobre los problemas y conflictos originados por la localización de viviendas en áreas de amenazas naturales o tecnológicas, hay que mencionar que este aspecto constituye uno de los principales problemas de la cuenca. Como zonas del alto riesgo por inundaciones se identifican los sectores aledaños al río Yumbo y El Pedregal, la quebrada Arroyohondo en la parte baja, la quebrada Mulaló en el casco urbano del corregimiento de Mulaló, y las quebradas de San Marcos en Manga vieja y San Marcos; por avalanchas y deslizamientos los barrios Las Cruces, Nuevo Horizonte, Porvenir, San Fernando y Lleras; Puerto Isaacs y Menga por extracción de canteras y el sector correspondiente a la “falla de Cali”.

SUSCEPTIBILIDAD A DESLIZAMIENTOS

Según el SIG de la UMC Yumbo-Arroyohondo (2000), de acuerdo con la geomorfología de la cuenca se han establecido zonas de susceptibilidad a los deslizamientos basadas en unidades a través de las cuales está compuesto el relieve. Para el mapa de susceptibilidad a los deslizamientos se tiene que el relieve M1 (Relieve montañoso con incisión moderada) tiene susceptibilidad muy alta, el M2 (Relieve montañoso con incisión profunda) alta, los relieves colinados se calificaron con media y los depósitos aluviales y la llanura aluvial de piedemonte, baja; se exceptúan los depósitos de vertiente que fueron calificados con susceptibilidad alta por cuanto la naturaleza misma de ellos los hace más eludables. Ver planos 3.3 y 3.4.



Plano 3.3 y Plano 3.4. Susceptibilidad a fenómenos de remoción en masa
Fuente: PBOT 2001

SUSCEPTIBILIDAD A LAS INUNDACIONES

De acuerdo con el Plan Básico de Ordenamiento Territorial del Municipio de Yumbo-2000, este fenómeno se presenta lo largo del trayecto del río Cauca, y el río Yumbo. El cauce del río Yumbo, a su paso por el sector urbano, puede presentar no solamente inundaciones en época de lluvias sino avenidas torrenciales, las cuales se caracterizan por grandes corrientes momentáneas de agua mezclada con material arrastrado en su trayecto, lo cual, combinado con las viviendas y asentamientos que tiene el lecho del río, se convierte en un grado de susceptibilidad alta.

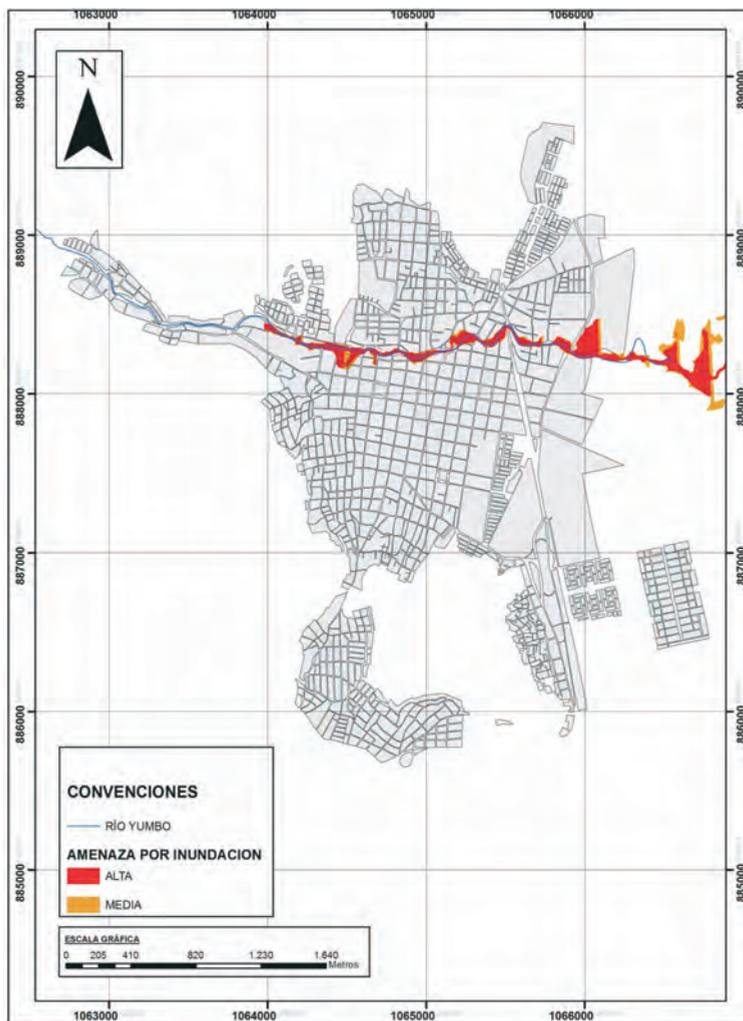
Para el río Yumbo y su localización sobre el coluvión, combinado con los materiales de rocas sedimentarias dentro de formación volcánica, lutitas, areniscas, shales y chert, más la pendiente de las laderas que se presentan en la parte superior, hacen que se deba tener especial cuidado con esta cuenca desde el punto de vista de avenidas torrenciales para lo cual se hace necesario un estudio que permita la elaboración de un diagnóstico detallado de las obras biomecánicas y de geoingeniería necesarias para su mitigación, manejo y control. Ver plano 3.5.

SUSCEPTIBILIDAD A INCENDIOS FORESTALES

El mapa de incendios forestales del Valle del Cauca, elaborado a través de un convenio suscrito entre la Corporación para la Gestión del Riesgo Fondo de Solidaridad y la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca - CVC, aborda el problema de los incendios forestales por correjimiento para el municipio de Yumbo, de acuerdo con niveles de máxima, alta, media y baja. La información que dicha cartografía proporciona, establece zonas de amenaza, riesgo, vulnerabilidad, daño potencial y prioridad de protección frente a conflagraciones en áreas de aptitud forestal.

A modo de conclusión se pueden establecer los siguientes puntos sobre eventos catastróficos relacionados con el cambio climático:

1. Las zonas de riesgo no mitigable, al ser parte del territorio en las que la presencia de una amenaza puede provocar altas pérdidas y no es posible realizar obras de mitigación, deben convertirse en zonas de protección, de uso forestal, zonas para uso recreativo de baja densidad. Desde ese punto de vista sería una oportunidad para construir espacios de uso público que se articulen a todos los espacios de la ciudad del mismo carácter.



Plano 3.5. Amenaza por inundación

Fuente: PBOT 2001

Tabla 3.5. Corregimientos bajo amenazas de incendios forestales en el municipio de Yumbo

Clasificación de la Amenaza	Corregimiento
Máxima	Santa Inés - La Buitrera
Alta	Zona Urbana - Dapa - Arroyohondo
Baja	Mulaló

Fuente: Mapa de Incendios Forestales del Valle del Cauca - CVC.
Elaboró: Equipo II Grupo CIDSE Universidad del Valle.

2. Los asentamientos humanos sobre las laderas trajeron consigo varias formas de ocupación desde invasiones masivas, la conformación de urbanizaciones piratas hasta la posesión de predios de la nación como las riberas de los ríos, quebradas y bordes de carreteras. Como resultado de innumerables estudios se definieron zonas de reubicación. Para las viviendas que se encuentran dentro de la zona de riesgo no mitigable, el Plan de Ordenamiento Territorial de Yumbo obliga a la realización de programas de relocalización de asentamientos. De todas maneras, es importante realizar una valoración detallada de los daños e implementar obras de ingeniería que permitan minimizar del riesgo con el fin de llegar a un número menor de viviendas que deberán ingresar en programa de reubicación.
3. Según estimaciones obtenidas en el estudio nacional de la carga de la enfermedad, el 25% de los años de vida saludable perdidos por la población colombiana se debe a la mortalidad por homicidio, que figura como la primera causa; los accidentes de vehículo motor (choques y atropellados) figuran en la segunda posición y son responsables del 8,6% de toda la carga de la enfermedad.
4. La mortalidad por homicidios se ha convertido en la primera causa de muerte en Colombia, algunas informaciones históricas, registran elevadas tasas, y la evolución en la década del noventa, inducen a pensar en el homicidio como una endemia en la vida de los colombianos.
5. La mortalidad por homicidios en Colombia constituye un reflejo de los profundos problemas sociales, económicos, culturales y políticos que afectan al país. Se parte del hecho de que es un fenómeno estructural; afecta a las personas e instituciones sociales; tiene una historia asociada a eventos complejos tales como la distribución de la riqueza, narcotráfico, guerrilla, grupos paramilitares, delincuencia y, en especial, la construcción de una cultura para la convivencia con ella; este complejo panorama crea una espiral que genera violencia más violencia.