

INVESTIGACION PARA LA PRESERVACION Y LA RECUPERACION
DE LA CALIDAD DEL AGUA

Michel-Alain ROCHE
ORSTOM / PHICAB *

- * ORSTOM: Institut Francais de la Recherche Scientifique
pour le Developpement en Cooperation
PHICAB: Proyecto Climatologico e Hidrologico de Bolivia
(IHH, IIQ UMSA - ORSTOM - SENAMHI).
Casilla 8714, La Paz, Bolivia.

Resumen:

Los problemas relacionados con la calidad del agua en los países en desarrollo se han vuelto generalmente muy serios en los diversos sectores de actividad humana. Se irán ampliando de manera alarmante en los próximos decenios si acciones operacionales, multidisciplinarias y coordinadas, no son emprendidas inmediatamente. Entre ellas, la ciencia y las técnicas hidrológicas, asociadas estrechamente con hidroquímica e hidrobiología, tienen que jugar un papel de primer plano en el control de la calidad del agua.

En este sentido, las principales causas y consecuencias en los cambios mayores de calidad de los hidrosistemas, naturales o modificados por el hombre, son evaluados mientras son detectadas las brechas en información y metodología. Las necesidades correspondientes en investigación para un mejor conocimiento científico y técnico son establecidas. Se presentan recomendaciones para orientación de programas de investigación, educación y entrenamiento, así como el fortalecimiento de las instituciones involucradas y la cooperación.

Se trata de cuestiones de modelaje matemático como herramienta de previsión y control, inventario-diagnóstico general de la situación nacional de la calidad del agua, y las redes de monitoreo. La lucha contra los vectores y parásitos por plaguicidas, en los sectores de la salud y agricultura, debe concebirse mediante el control integrado. Los microorganismos y la contaminación fecal, así como la contaminación orgánica, en las áreas urbanas e industriales, se relacionan directamente con el saneamiento y disponibilidad en agua potable, factores primordiales de salud pública, que son prioridad hasta el año 2000. Los microtóxicos son igualmente un problema muy grave a causa de la acumulación en el medio mineral y viviente. El manejo racional del agua y de las tierras proporcionan a menudo soluciones a muchos de estos problemas. Sin embargo, se identifican también grandes riesgos en el cambio de la calidad del agua que puede inducir el manejo de estos recursos por evoluciones fundamentales en los hidrosistemas.

1. Rol de la Ciencia y Técnicas del Control de Calidad del Agua.

Es urgente identificar los problemas más importantes de la calidad del agua en los países en desarrollo, que las ciencias y técnicas hidrológicas, incluyendo la química, podrían contribuir a resolver. Es también necesario identificar los grandes riesgos que puede inducir el manejo de recursos hídricos por cambios en la calidad del agua de los hidrosistemas.

Tienen que detectarse brechas en información y metodología, para definir las necesidades presentes de investigación, implementar conocimientos científicos y técnicos existentes (transferencia, cooperación, aspectos sociales y económicos relacionados), establecer recomendaciones para acciones en investigación, educación y entrenamiento, y fortalecimiento institucional.

Estos problemas pueden resolverse sólo por un tratamiento multidisciplinario, enfatizando al mismo tiempo los aspectos hidrológicos y químicos.

2. Problemas de la Calidad del Agua.

Los problemas preocupantes de la calidad del agua en los países en desarrollo, son:

- Vectores acuáticos y larvas responsables de endemias y epizootias de formación acuosa, pero también de los pesticidas usados en programas de control de vectores y en agricultura.
- Desechos acuosos orgánicos urbanos (fecales) e industriales, y sistemas sanitarios.
- Suministro de agua potable y recreacional en áreas urbanas y rurales.
- Microtóxicos industriales (compuestos orgánicos sintéticos como pesticidas; metales pesados).
- Cambios en los ciclos y contenidos nutritivos salinos, y la proliferación de enfermedades relacionadas al agua, debido al manejo de recursos acuáticos y del suelo, incluyendo nuevas técnicas en agricultura (deforestación/forestación, nuevas presiones en productos, fertilizantes, reservorios, irrigación, drenaje).
- Otras causas de polución del agua que pueden ocurrir localmente, notablemente relacionadas a inyecciones de agua caliente o a compuestos específicos en el medio receptor.

Las consecuencias, que ya son muy serias en algunos sectores del área urbana y rural, desembocarán en los próximos decenios en una crisis aguda de la calidad del agua en muchos países tropicales, si es que ahora no se toman seriamente acciones eficientes y coordinadas.

3. Aspectos Institucionales y de Cooperación.

Los problemas de calidad del agua se están a menudo volviendo más serios, debido principalmente a la carencia de estructuras

institucionales apropiadas a nivel nacional y a la falta de coordinación entre los servicios existentes, cuyas acciones además no pueden fundarse en una ley general de aguas. Bases de información y toma de decisiones no son a menudo compatibles entre los diferentes servicios.

Los servicios de control de la calidad del agua deben ser integrados en un servicio global de manejo de aguas. Laboratorios de análisis o de control rutinario (y la aplicación de patrones adecuados), son aspectos esenciales a considerar en una organización general. El rol de la Universidad tiene que ser enfatizado.

Si se requiere, la cooperación debe jugar un rol mayor para poder ayudar a enfrentar estos problemas fundamentales, mediante la transferencia de información y experiencias sobre Agencias de Cuencas y Autoridad, de acuerdo a esquemas procedentes de los países en desarrollo más avanzados y de los países desarrollados. También, la cooperación puede funcionar para programas de coordinación, comunes a todos los trópicos, tales como estudios notables de síntesis, redes globales de monitoreo, y calibración entre laboratorios.

Frecuentemente se reportan falta de fondos.

4. Educación y Entrenamiento.

Educación, en el marco de una estructura integrada de control de calidad de aguas, es una de las vías más importantes a desarrollar. Sólo un completo estado de conciencia del individuo, a la más tierna edad posible, de su propio papel en la lucha por un medio ambiente sano, puede dar al final un resultado satisfactorio.

En consecuencia, el control del ambiente acuático debe ser mucho más atendido con programas educacionales en ciencias naturales a nivel de la escuela primaria y secundaria. La educación tiene que ser completada por televisión (historietas, vulgarización), periódicos (libros cómicos), conferencias, exposiciones, afiches, estampillas, concursos/premios para niños y adultos.

Paralelamente, la sensibilización de los medios de comunicación, con guías y facilidades para las acciones correspondientes, deben ser aseguradas por los servicios de control de calidad de aguas. Asimismo, conferencias pedagógicas e informativas tienen que darse a profesores.

Al respecto, podría ser un rol del servicio responsable el organizar concursos con premios por la protección del medio acuático, para estudiantes, investigadores, laboratoristas, industriales, agricultores y ciudades.

Entrenamiento es algo que concierne a universidades, escuelas especializadas y servicios. Sería necesario hacer un senso de las

estructuras de entrenamiento existentes en cada país, no solamente en los trópicos húmedos, y particularmente de aquellos que podrían recibir extranjeros temporarios. También, cada país tropical húmedo, debe establecer un diagnóstico y prever necesidades en personal científico, técnico y administrativo, con objeto de asegurar entrenamiento y educación esencial a:

- Hidrólogos, especialistas en hidrodinámica, calidad de aguas, modelaje, con capacitación complementaria.
- Biólogos e hidrobiólogos.
- Estadistas.
- Ingenieros y técnicos en aguas y redes de aguas servidas. Tratamientos.
- Documentalistas, reporteros.

Estos asuntos tienen impactos asociados en cada una de las áreas de desarrollo de recursos y necesitan considerarse dentro de cada una de ellas.

Información: A menudo ocurre que trabajos nacionales y extranjeros no son disponibles en el momento preciso, o no son conocidos, por quienes empiezan estudios similares. Para la mayoría de los países, existe una necesidad de acumular y diseminar un índice bibliográfico nacional e internacional sobre ecología, hidroecología, hidroquímica y control de calidad de aguas, con objeto de facilitar un tratamiento integrado en el diseño de manejos. Esta herramienta indispensable debe estar en microcomputadora, con todas sus facilidades de investigación. Debe ser construida considerando la conexión con una base de referencias que ya existe en redes internacionales computarizadas.

5. Modelaje Matemático.

El modelaje matemático (PC compatible) de calidad de aguas es muy necesario para los países en desarrollo, donde los estudios han sido a menudo presentados sin ninguna componente dinámica. Prever una política de control de polución racional, requiere de tal herramienta. Sería muy útil disponer de un conjunto de modelos apropiados para los procesos principales que ocurren en la zona. Sería útil establecer un juego de funciones independientes (subrutinas) con objeto de componer modelos fácilmente adaptables para casos locales específicos. Tales funciones deberían tratar con hidrodinámica, modelos de transformación de lluvia/escorrentía, infiltración, producción fisicoquímica o bioquímica, atrapamiento, interacción, sedimentación, difusión, y dilución-concentración por lluvia-evaporación. La calibración de funciones o de modelos enteros, y la confiabilidad de los resultados es una investigación científica a desarrollar, así como la evaluación de niveles predichos de confianza, para tomar en cuenta las incertidumbres en la toma de decisiones.

El modelaje de disposición y alcantarilla para aguas servidas, inundaciones urbanas por tormentas y aspectos económicos de

control de calidad de aguas, tienen también que ser examinados. La diversidad de las áreas de aplicación, con objeto de disponer de un "modelo nacional completo" en funcionamiento, requiere de estudios de modelos para cada uno de los sectores, hidrosistemas e hidrosistemas asociados.

6. Inventario - Diagnóstico de la Situación Nacional de la Calidad del Agua.

Generalmente, en la mayoría de los países en desarrollo, poco se conoce acerca de la necesidad, estado y funcionamiento de la calidad del agua por sectores de actividad e hidrosistemas. Un inventario, permitiendo un diagnóstico, para cada situación nacional, necesita llevarse a cabo con objeto de: disponer de referencias como un todo (base de datos, estudios básicos por sectores de actividad), juzgar evolución futura, concebir una política de calidad de aguas integrada a un nivel de manejo de aguas (modelos), tomar decisiones más urgentes en contra de la polución, determinar las investigaciones específicas que son necesarias para implementar un conocimiento sobre problemáticas locales.

En algunos países, hidrosistemas no contaminados o casi sin impactos pueden todavía encontrarse. Estudiarlos es urgente, porque ellos permiten obtener criterios de referencia (por ejemplo procesos químicos y biológicos, estados de equilibrio, etc) para numerosas áreas bajo investigación científica, acerca de los estados originales de hidrosistemas acuáticos tipo que, dentro de pocos años, ya no existirán más. Es importante caracterizar hidrosistemas representativos para aprender cómo funcionan en condiciones naturales y para asegurarles máximo nivel de protección, como líneas de base y áreas de referencia por un largo período (Parques Nacionales).

Inventarios-diagnósticos del conjunto del país cada cinco años sería recomendable para juzgar una evolución a largo plazo.

7. Redes de Monitoreo a Largo Plazo y Técnicas Actualizadas para la Revisión de la Calidad de Aguas.

Sistemas de monitoreo de la calidad del agua para control continuo y a largo plazo, y prevención, requieren ser usados junto con técnicas de sensores remotos (teledetección satelitaria, teletransmisiones por teléfono, radio, y satélite). Las grandes áreas aisladas, sin observadores, de algunos países están particularmente involucrados.

Tales observaciones son indispensables para la calibración de modelos que poseen series largas y valores extremos, o con variaciones grandes en espacio y tiempo (estuarios).

Necesidades tecnológicas (sensores que responden a solicitudes de estándares), y el modelaje de datos obtenidos en "tiempo real" para prevenciones y, en el futuro, para pronóstico de

consecuencias, tienen que ser examinadas.

8. Control de Vectores, Parásitos y Pesticidas en los Sectores de Salud y Agricultura.

Muchos tipos de estudios hidrológicos, y medidas de manejo de tierras y agua, pueden contribuir al control integrado multidisciplinario para erradicar vectores y parásitos de enfermedades tropicales asociadas al agua, y disminuir la cantidad/toxicidad de pesticidas usados en esta pelea por la salud y la agricultura.

Más aún, es necesario diseñar sistemáticamente exámenes de campo y laboratorio sobre impactos (agua, sedimentos, flora, fauna, bioacumulación en la cadena alimenticia, morbilidad, etc) y sobre comportamientos (factores y constantes de velocidad hidrodinámica y cinética de reacción de microtóxicos y residuos). A pesar de las dificultades, la integración de los datos observados y los componentes matemáticos para modelaje, tienen que ser analizados. Previsión de descargas por teletransmisión y modelaje en tiempo real, y del cociente dosis/difusión de acuerdo a la morfología local y el experimento hidrodinámico, son contribuciones directas de las técnicas hidrológicas para la determinación cuantitativa de plaguicidas a ser dispersadas para control de vectores. Tales monitoreos y estudios experimentales deben ser llevados a cabo para cada programa mayor de fumigación, desde puntos o fuentes difusas, considerando los diferentes hidrosistemas (zona del suelo no saturada, ..., estuarios). También, se deberán llevar a cabo mejoramientos a las técnicas analíticas de laboratorio y a los fondos requeridos para implementarlos.

Una lista de problemáticas sobre manejo de tierras/aguas, para aliviar esa contaminación por vectores y parásitos, tiene que ser establecida.

9. Microorganismos, Biodegradabilidad y Control de Contaminación Fecal. Saneamiento.

Relacionado a la aglomeración poblacional y sus actividades en condiciones tropicales de alta temperatura y radiación, con aguas de desecho y disposición específicas, los aspectos microbiológicos del control de calidad de aguas se relacionan sobre todo con la contaminación fecal, así como con la biodegradabilidad de sustancias orgánicas al natural (autopurificación) o con sistemas de tratamiento (mezclas activas, lagunas, ...).

Patrones de contaminación fecal, impactos, indicadores, estándares, desinfección y legislación tienen que ser examinadas. Es materia urgente para la salud y dignidad humana determinar formas apropiadas para un control extendido, de acuerdo a medios particulares (regiones, pueblos, ciudades): drenaje sanitario con y sin alcantarilla que puede ser relacionada con el control general de orgánicos en la calidad del agua. Técnicas de

disposición individual o comunitaria tienen que ser concebidas para condiciones rurales.

En adición a la diferente flora microbiológica, aquellas especiales condiciones tropicales modifican los ciclos de nitrógeno, carbón y azufre, y el balance del oxígeno disuelto. Por tanto, ellos influyen los procesos de purificación y eutroficación. Funciones o modelos completos, acerca de O₂, DBO y su evolución, requieren ser establecidas o adaptadas.

La selección de flora microbiológica para mezclas activas y tanques sépticos, procesos específicos de nitrificación y de desnitrificación, producción de energía con digestores anaeróbicos y el rol de compuestos de hierro sobre la biodegradabilidad, son algunos de los más importantes temas sobre purificación.

El control específico de la contaminación hidrológica bacteriana de aguas de desecho, agua potable y recreacional, tiene que ser examinado.

10. Control de Orgánicos Urbanos e Industriales. Alcantarillas y Disposición de Aguas Servidas.

El control de contaminación orgánica como un todo, en los sectores urbanos e industriales, requiere estudios acerca de la realización efectiva de saneamiento sin alcantarillas, drenaje y saneamiento con alcantarillas, problemas de disposición sobre alcantarillas a través de las etapas de colección, traslado, tratamiento y disposición de aguas servidas, disposición de desechos sólidos y tratamiento de aguas servidas. Todos estos sistemas sanitarios prioritarios no existen en la mayoría de las partes aglomeradas. Los programas computacionales en existencia para hidráulica y contaminación (DBO, químicos) deben ser revisados para tales planes en redes, incluyendo el problema de la contaminación por inundaciones urbanas producidas por tormentas.

Para el control de la contaminación orgánica, tratamientos simples y baratos de disposición deben ser concebidos para zonas rurales. Por el contrario, los sectores urbanos e industriales, requieren mayores estudios preliminares para determinar opciones técnicas de tratamiento, impactos sobre el medio receptor, personal especializado y estimaciones financieras.

11. Control de Microtóxicos Industriales.

Microtóxicos, tales como compuestos orgánicos sintéticos, metales pesados, desechos radioactivos y otros contaminantes químicos, originados por la actividad industrial (en particular por las minas), y aún en pequeñas cantidades, constituyen un serio peligro para la salud humana y los hidrosistemas. Acumulación en sedimentos, flora y fauna a lo largo de la cadena alimenticia, lleva a situaciones difícilmente reversibles. Toxicidad de

residuos, estándares, detección, dinámica y cinética de reacciones en el medio acuático, son temas de investigación que necesitan examinarse en condiciones de los trópicos húmedos.

La dificultad de eliminar contaminantes microtóxicos peligrosos de los hidrosistemas hace entendible la necesidad de evitar la mayoría de ellos en sus orígenes.

Entre las formas de control de contaminación industrial, el manejo de aguas y químicos tiene que ser estudiado técnicamente y aplicado a diferentes niveles: "In Plant-Control" (pocos procesos acuosos, re-uso de agua y residuos, valorización de residuos y desechos), tratamiento de desechos y de aguas servidas, autocontrol de afluentes contaminantes, seguridad y sistemas de alarmas. Es necesario adaptar o encontrar las técnicas apropiadas y acuerdos, que son asequibles con objeto de controlar desechos de cada tipo de industria.

El uso de la polución térmica, para acuicultura y agricultura debe ser investigada.

12. Suministro de Agua Potable y Recreacional.

Agua potable de aceptable calidad y cantidad para cada ser humano sigue siendo una prioridad para el año 2000, como uno de los factores más importantes en salud.

El suministro de agua a poblaciones urbanas y rurales presenta aspectos y soluciones muy diferentes, así como los problemas de aguas servidas.

La protección de la calidad de las fuentes de suministro tiene que ser afrontada sobre la base de estudios geológicos, hidrológicos e geohidrológicos. La hidrogeología es un aspecto importante, ya que la explotación de agua subterránea es preferible tanto como sea posible. La variación de la calidad-cantidad durante la época seca y de lluvias tiene que ser analizada. Los medios de protección y control de aguas para recreación, o el agua con la cual el hombre trabaja, tiene que ser estudiada con mayor atención.

El control, limpieza y desinfección de tanques y redes de suministro, y piscinas o sitios, serían mejor definidos con sistemas automáticos o semi-automáticos.

Redes de suministro en centros urbanos tienen que desarrollarse, empezando con el diseño de proyectos y planificación financiera.

Para áreas urbanas y rurales, se requiere investigación y una eventual contribución de la industria nacional, para estudios y manufacturas simples y baratas de:

- Tubos y tanques para la recolección y almacenaje de aguas de los techos: como suministro potencial y disponibilidad de

aguas de lluvia, confiabilidad durante cada mes, superficie de techos; demanda casera; tamaño óptimo de tanques; calidad fisicoquímica y biológica del agua de lluvias, escurrimiento de techos, nuevos y viejos tanques; tipos de concreto, metal, tanques de plástico; uso de modelos matemáticos para tales estudios.

- Técnicas de construcción y mantenimiento de tanques de floculación y filtros de arena/carbón para villas.
- Técnicas de filtros de cocina por gravedad, donde el agua por cañería no es disponible o la calidad del agua potable es a menudo dudosa.
- Estudios hidrogeológicos y técnicas de construcción, armado y mantenimiento de bombas manuales y pequeños sondages taladrados en acuíferos.

Algunos casos de patrones de uso de fuentes de agua son particularmente importantes para suministro de agua:

- * Modelaje del funcionamiento de una fuente para evitar riesgos de suministro durante la época seca, incluyendo variaciones en la calidad del agua.
- * Explotación de acuíferos de isla y de costa, notablemente en deltas y otras áreas bajas, con relativamente altas densidades demográficas y actividad agrícola. El problema del espesor de los lentes de agua fresca y la intrusión de aguas salinas, requiere de la elaboración de patrones especiales de bombeo controlado, en tiempo y espacio: pozos numerosos y poco profundos, control cronométrico de bombeo, toma de descargas pequeñas, y control simultáneo de la salinidad del agua.

El uso elevado de fertilizantes en agricultura llevó a un exceso de nitrógeno en suelos y, luego, a los hidrosistemas, produciendo la eutrofización en aguas superficiales, y un uso no durable de las aguas subterráneas potables para hombres y animales, en adición a una asociada contaminación frecuente por pesticidas. El modelaje de nitrógeno no ha sido muy aplicado en países en desarrollo y debería revisarse para tomar medidas preventivas y de recuperación a nivel de cuencas vertientes, notablemente para aguas subterráneas.

Se requiere de mayores conocimientos sobre los ciclos locales de nitrógeno y fósforo, así como de los procesos cinéticos e hidrodinámicos. Investigación tiene que llevarse a cabo sobre la fijación biológica de nitrógeno, denitrificación, producción en suelos y transferencia de nitrógeno al acuífero a través de la zona no saturada, datos agrícolas sobre la cantidad de entrada y salida de fertilizantes en tiempo y espacio, y mapeo de cosechas.

Las aguas subterráneas son más vulnerables y pueden contaminarse por largos periodos de tiempo. En consecuencia, el suministro futuro de agua potable no debe estar basado solamente en este tipo de fuentes.

13. Control de Calidad de Aguas Relacionada al Manejo de Tierras.

Deforestación/manejo de suelos en grandes áreas o explotación minera y de áreas ribereñas incrementan la erosión y, por tanto, la turbidez y sedimentación en corrientes y lagos. Efluentes orgánicos pueden producir los mismos efectos. En consecuencia, la penetración más débil de luz disminuye la fotosíntesis de hierbas y fitoplancton. La sedimentación de la carga en suspensión modifica la fisicoquímica de los fondos, perturba el intercambio de gases entre plantas y animales (peces), limita el crecimiento y la reproducción a diferentes niveles de la cadena alimenticia. Las materias en suspensión absorben microtóxicos cuyos efectos pueden ser más dañinos, dependiendo de la minerología de las partículas (arcillas). Estos fenómenos deben ser investigados con mayor atención.

La deforestación/manejo de suelos modifica los ciclos y balances de sales y nutrientes, de lluvia a ríos. Este aspecto importante debería estudiarse en el marco de un manejo experimental de cuencas para la explotación de medios tropicales, húmedos en particular, tal como la Amazonia. Lo mismo es cierto para el manejo de perímetros irrigados, donde las sales naturales y los ciclos de nutrientes son muy modificados con el peligro de salinización.

El reuso de aguas de desecho en agricultura es de suma importancia. Estándares y control son los temas cruciales a ser investigados en casos específicos.

14. Control de Calidad de Aguas Relacionado al Manejo de Aguas.

Varios tipos de manejo de aguas han sido previamente mencionados como formas de control de la contaminación. La calidad del agua también es modificada por otros tipos de manejo de aguas, tales como presas, áreas irrigadas, canales para transporte o drenaje, bombeo intensivo y explotación de canteras.

Los impactos físicos, químicos y biológicos más fuertes aparecen con la creación de lagos artificiales, y el drenaje de tierras bajas, en las áreas mismas y aguas abajo. Con objeto de minimizar la destrucción de ecosistemas acuáticos y la degradación de la calidad del agua, se requieren de estudios multidisciplinarios, en la etapa de diseño, así como en cada paso de los proyectos, en todas las décadas que a menudo tarda para alcanzar nuevos estados de equilibrio.

Los efectos de la regulación progresiva de ríos (rellenado o secado) y el nuevo régimen hidroquímico, relacionado con los niveles de descarga, en el área y aguas abajo, tienen que ser programados de acuerdo a diversos temas:

- Biodegradación de la vegetación previa: alta DBO, liberación de compuestos nitrogenados y de sustancias tóxicas.
- Cambios biocénóticos, incluyendo:

- *Desarrollo de vectores endémicos (insectos, gasterópodos, larvas), favorecidos por migración humana, y acumulación de materia orgánica. Es necesario establecer líneas ecológicas de las enfermedades vectoriales y construir trabajos hidráulicos para el diseño de almacenaje de agua con objeto de minimizar los peligros.
- *Desarrollo anormal de macrófitas, plancton y algas tóxicas: El manejo de aguas modifica la ecología del plancton y de las macrófitas. Puede favorecer la ocurrencia de especies perjudiciales tales como algas tóxicas (cianobacterias, microcistos y anabeas). Factores con respecto a la sucesión y crecimiento a ambos niveles celular y de ecosistema (relación N/P, hierro, clima,..), deben ser evaluados en el marco del estudio de varios grupos. Deben ser detectadas toxinas y desarrollarse métodos para removerlas o inactivarlas. El rol de la vegetación ribereña y de las franjas de amortiguación en ríos, lagos y tierras bajas, para proteger la calidad de las aguas superficiales, deberían ser más investigadas, así como los ciclos de materia orgánica vegetal.
- Nueva dinámica y cinética química. Reducción de los efectos de torrentera en eventos de inundación menor. Evolución de la estratificación: O₂, temperatura; anoxia de aguas hipolimnias, ocurrencia de sustancias tóxicas tales como sulfuro de hidrógeno, superficies yacientes eufóticas, cambios dinámicos relacionados a rendimientos y condiciones meteorológicas.
- Modificaciones centrales o aguas abajo de lixiviados por inundación de suelos, lagunas, orillas de río, tierras de inundación.
- Incremento de contaminación (bacterias, tóxicos, eutroficación) debido a la concentración de poblaciones y nuevas actividades, permitidas en el área por manejo de recursos acuáticos.

REFERENCIAS.

- ALABASTER J.S., 1981. Review of the state of aquatic pollution of east African inland waters. CIFA Occas. Pap., 9, 36 p.
- ANONYME, 1976. Directives du conseil des communautés européennes concernant la qualité des eaux superficielles destinées à la production d'eau alimentaire. 16 juin 1975.
- ANONYME, 1979. Paramètres de la qualité des eaux. Ed. Ministère de l'environnement et du cadre de vie, Paris, 259 p.
- ANONYME, 1983. Alimentation en eau de petites collectivités. Technologies appropriées pour les petites installations d'alimentation en eau dans les pays en voie de développement. Centre de Formation Internationale à la Gestion des Ressources en Eau-France. Doc. Tech. No. 18, 350 p., Lavoisier, Paris.
- ANONYME, 1986. State of the Environment. Ministry of the Environment, France, 116 p.
- ANONYME - OMS, 1986. Directives de qualité pour l'eau de boisson. OMS. Genève.
- AZIZ M.A., 1986. Certain aspects of water quality monitoring. Proc. Int. Conf. Wat. & Waste. Mgt. Asia, Singapore, : 124-137.
- BADER J.C., DELFIEU G., KOUDJOU A., WOME K.A., 1987. Etudes hydrologiques menées dans le cadre du programme de lutte contre l'onchocercose. Rapport final de la campagne 1986. Vol.2, ORSTOM, Lomé, 50 p.
- BARBARAS S., 1986. Monitoring natural waters for drinking-water quality. WHO Stat Q. 39:32-45.
- BENAVIDEZ C.F., 1988. Influencia de los cambios en el uso del suelo sobre el escurrimiento y la erosión en la cuenca del Rio Pirai - Amazonia andina, Bolivia. Publ. PHICAB, tesis UMSA, La Paz, 241 p.
- BISWAS A.K., 1978. Water development, supply and management. United Nations Water Conference. Pergamon Press, 217 p.
- BONDE G. J., 1977. Bacterial indication of water pollution. Adv. Aquatic Microbiol. 1:273-364.
- BOURRIER R. 1985. Les réseaux d'assainissement. Lavoisier 484 p.
- BREMOND R., PERRODON C., 1979. Paramètres de la qualité des eaux. Ministère de l'environnement et du cadre de vie, France, 259 p.
- BROCHE J., PESCHET J.L., 1983. Enquete sur les pollutions actuelles et potentielles en Côte d'Ivoire. ORSTOM multig., 113 p.
- BROCKMANN C.E., 1986. Perfil Ambiental de Bolivia. La Paz, Bolivia, 116p.
- CARMOUZE J.P., ARZE C., y QUINTANILLA J., 1981. Regulation hydrochimique du Lac Titicaca et l'hydrochimie de ses tributaires. Rev. Hydrobiol. Trop. 14, 4 :329-348.
- CHIA L.S. Ed., 1987. Environmental Management in Southeast Asia: directions and current status. Faculty of Science, National

University of Singapore, 1987.

- COLCANAP M., DUFOUR P., 1982. L'assainissement de la ville d'Abidjan. Evaluation, recommandations et propositions d'alternatives. Ministère de l'Environnement-ORSTOM, Paris, 300p.
- CULLEN P., 1987. A Review of Research Opportunities in Water Quality, National Water Research Seminar, Discussion papers, AMRAC, DRE, September, :81-99.
- DANGERFIELD B.J., 1983. Water supply and sanitation in developing countries. Inst. Water Engineers & Scientists, London.
- DEJOUX C., 1988. La pollution des eaux continentales africaines. ORSTOM, Paris, 513 p.
- DEON J., 1982. Mise en valeur des ressources hydriques et santé. Bibliographie selective. WHO/PDP/ 82.2, MULTIG. : 117 p.
- D'ITRI F.M., AGUIRRE M.J., and ATHIE L.M., 1981. Municipal Wastewater in Agriculture. Academic Press, New York.
- DUFOUR P., MAURER D., 1979. Pollution organique et eutrophisation en milieu tropical saumâtre. Biologie-Ecologie Méditerranéenne, 6,3-4, p. 252.
- ECKENFELDER W.W., 1982. Gestion des eaux usées urbaines et industrielles. Caractérisation, Techniques d'épuration, Aspect économique. (Traduit de l'américain), 520 p., Lavoisier, Paris.
- EDELIN F., 1988. L'épuration biologique des eaux résiduaires. Théorie et Technologie. CEBEDOC. 304 p., Lavoisier, Paris.
- EDWARDS C.A., 1975. Persistent pesticides in the environment, 2o. ed. C.R.C. Press, 170 p.
- EICHELBERGER J.W., LICHTENBERG J.J., 1971. Persistence of pesticides in river water. Environmental Science and Technology, 5:541.
- ELMENDORF M., 1987. Water quality and women in small systems. Proc. Int. Symp. Small Sys. Wat. Sup. & Waste. Disposal, Singapore, :131-141.
- FEECHEM R., Mc GARRY M. and MARA D. (eds), 1977. Water, Wastes and Health in Hot Climates. John Wiley & Sons, London.
- FUJIOKA R.S., HASHIMOTO H.H., SIWAK E.B. and YOUNG R.H.F., 1981. Effect of sunlight on survival of indicator bacteria in seawater. Appl. Environ. Microbiol., 41:690-696.
- GAUTIER M., PEPIN Y., ETIENNE J., LAPETITE J.M., 1987. Installation de balises Argos/Chloé de télétransmission des données hydrologiques en Guinée et Côte d'Ivoire. ORSTOM - OMS - OCP, Montpellier, 69 p.
- GLODA A., LE BARBE L., BADER J.C., 1988. Jaugeages, télétransmission et traçages : éléments pour une stratégie contre l'onchocercose (Afrique Occidentale). Résumé Congrès Mondial des Ressources en Eau de l'AIRE, Ottawa, Canada, 28 mai au 3 juin 1988 :274-277.

- GIRARD G., 1988. Modélisation conjointe du cycle de l'eau et du transfert des nitrates sur un système hydrologique. Journées Hydrologiques ORSTOM, Montpellier, 25 p.
- GOWER A.M., 1980. Water Quality in Catchment Ecosystems. John Wiley. Ed., New York, 335 p.
- GUYOT J.L., HERAIL G., 1989. Mining operations and modification of the physical chemical nature of the waters of the Rio Kaka drainage basin (Andes, Bolivia). Sediment and the environment, IAHS Third Scientific Assembly, Baltimore, May, IAHS Publ. 184 : 115-121.
- GUYOT J.L., ROCHE M.A., NORIEGA L., CALLE H., QUINTANILLA J. (in press). Salinities and Sediment Loads on the Bolivian Highlands. J. of Hydrology, Elsevier.
- HAZEN T.C., 1989. Tropical Source Water. Savannah River Laboratory, Aiken, South Carolina, 16 p.
- HIGHTON R.B., 1970. The influence of water conservation schemes on the spread of tropical diseases in Kenya. E. Afr. med. Res. Council, Scientific Conference, Nairobi, Jan., 4 p.
- ITA E.O. and PETR T., 1983. Selected bibliography on major african reservoirs. CIFA, occ. pap. No.10, 53 p.
- JAMES A., 1984. An introduction to Water Quality Modelling. J. Wiley, April.
- JORDAN P., UNRAU G.O., BARTHOLOMEW R.K., COOK J.A., and GRIST E., 1982. Value of individual household water supplies in the maintenance phase of a schistosomiasis control programme in Saint Lucia, after chemotherapy. Bull. WHO 60 : 583-588.
- JUNKIN MC., 1979. Pompes à mains destinées à l'approvisionnement en eau potable dans les pays en voie de développement. Doc. Tech. No.10, Lavoisier, Paris, 266 p.
- KAOMA C., SALTER E.F., 1979. Environmental pollution in Zambia. In "Proceeding of the national seminar on environmental and development, Lusaka, ed. D.S. Johnson and W. Roder, Occas. Stud., Zambia Geogr. Assoc., 10:181-216.
- KINAWY I.Z., EL CHAMR O.A., 1973. Some effects of the high dam on the environment. 11^{eme}, Congrès des grands barrages, Madrid, 1973, Q 40, R 59: 959-974.
- KOVDA V.A., 1973. Irrigations, drainage and salinity. An international source book, Hutchinson Publishing Group, London, FAO.
- LAMB J.C., 1988. Water quality and control, J. Wiley, New York.
- LARAQUE A., 1988. L'évolution hydrochimique de retenues collinaires du Nordeste brésilien. Journées Hydrologiques ORSTOM de Montpellier, septembre, 19 p.
- LAU L.S., CARPENTER R.A., DOW M.A., 1984. Water pollution : A Chinese perspective. Natural Systems for Development. ed. R.A. Carpenter, chap. 8: 388-431, New York, MacMillan.
- LE BARBE L., GIOUDA A., DELFIEU G., ROME K.A., 1987. Etudes hydrologiques menées dans le cadre du programme de lutte contre l'onchocercose. Etude expérimentale de la propagation des insecticides dans les rivières. Rapport final. ORSTOM, OMS, OCP. Montpellier. 184 p.
- LEVEQUE C., BURTON M., 1981. Fishes. In: "The ecology and utilization of African island waters". Ed. Symoens, Burgis and Gaudet, UNEP, Nairobi, -69-79.
- MARTIN M., 1977. Devenir des polluants organiques dans le milieu naturel en fonction des traitements et par rapport aux cycles de vie de ces produits. (PCB, pesticides, agents de surface). Univ. Rennes. Journées de Montpellier, Coll. Recherche Environment, no 8.
- MASSCHELEIN W.J., 1988. L'ozonation de l'eau, manuel pratique. Lavoisier, Paris, 240 p.
- MATHUR S.P., and SAHA J.G., 1975. Microbiologic degradation of lindane C-14 in a flooded sandy loam soil. Soil science, 120:301.
- MENDOZA G.G., 1989. Abastecimiento de Agua Potable a los Centros Urbanos e Industriales. Presented in Querétaro, Qro. Febrero.
- MERRICK I.W., 1985. The effect of pipes water on early childhood mortality in urban Brazil, 1970 to 1976. Demography 22: 1-24.
- MOORE G., CHRISTY L., 1978. Legislation for control of aquatic pollution. Part I. International aspects. Sixth FAO/SIDA Workshop on aquatic pollution in relation to protection of living resources, FIR:TPLR/78, 6:1-12.
- MUÑOZ C., 1981. UNEP'S related activities on the international drinking water supply and sanitation decade. UNEP report, first joint FAO/UNEP/WHO Panel of Experts on Environmental Management for Vector Control, Genève, multig.: 9-11.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 1982. Ecological aspects of development in the humid tropics. Washington, D.C., National Academy Press, IABS.
- NGUNYA E.A., 1975. Some administrative aspects of establishing a pollution control organization in a developing country. Progress in water technology. 7,2:83-91.
- NONGLUK TUNYAVANICH, 1989. Water Supply and Water User Behavior: The Use of Cement Rainwater Jars in Northeastern Thailand. Thailand-Australian Northeast Village Water Resource Project, Report No. 134. June.
- ONG S.E., 1987. Water pollution control in Singapore - historical development and future prospects. Proc. Int. Symp. Small Sys. Wat. & Waste. Disposal, Singapore, : 15-25.
- ORLOB G.T., 1986. Mathematical Modelling of water Quality (Streams, Lakes and Reservoirs). Ed. J. Wiley.
- PANSWAD T., POLPRASERT C. and YAMAMOTO K. (Eds.), 1988. Water Pollution Control in Asia. Proc. 2nd IAWPRC Asian Conference on Water Pollution Control, Bangkok, Thailand, :9-11, November.
- PESCOD M.B., 1977. Surface water quality criteria for tropical developing countries. Water, Wastes and Health in Hot Climates. ed. R. Feachem, M. McGarry, and D. Mara, :52-72, New York, John Wiley.
- PESSON P., 1976. La pollution des eaux continentales. Incidences sur les biocénoses aquatiques. Gauthier-Villars Ed., Paris, 285 p.

- PHILIPPON B., MOUCHET J., 1976. Repercussions des aménagements hydrauliques à usage agricole sur l'épidémiologie des maladies à vecteurs en Afrique intertropicale. In "Cahiers de CENECA", Doc. 3-2, 13, multig., 14 p.
- POUYAUD B., LE BARBE L., 1987. Onchocercose, hydrologiques et télétransmission. Water for the future: Hydrology in perspective. proceedings of the symposium, April, Rome, IAHS :239-244.
- PROST A., 1989. The management of Water resources, development and human health. Internat. Coll. on the Development of Hydrologic and Water Management Strategies in the Humid Tropics, UNESCO, Townsville, July, 41 p.
- QUANO E.A.R., LOHANI B.N. and THANH N.C. (eds.), 1987. Pollution Control in Developing Countries. Proc. International Conference, Bangkok, Thailand, 21-25 February.
- QUINTANILLA J., 1988. La hidroquímica del lago Titicaca y su relación con el plancton. Segundo simposio de la investigación francesa en Bolivia, La Paz, abril, :114-125.
- ROCHE M.A., 1975. Geochemistry and Natural Ionic and Isotopic Tracing : Two complementary Ways to Study the Salinity Regime of the Hydrological System of Lake Chad. J. of Hydrology, 26, : 153-171, présenté Coll. Hydrochimie des eaux naturelles, Burlington (Canada), août.
- ROCHE M.A., 1977. Hydrodynamique et évaluation du risque de pollution dans un estuaire à marées. Cah. ORSTOM, sér. Hydrol., XIV, 4 : 345-382.
- ROCHE M.A., 1982. Comportements hydrologiques comparés et érosion de l'écosystème tropical humide à Ecérex, en Guyane. Cah. ORSTOM, sér. Hydrol. : 81-114.
- ROCHE M.A. y CANEDO, M., 1984. Programa Hidrológico y Climatológico de la Cuenca Amazónica de Bolivia. Folleto de presentación del PHICAB. Publ. PHICAB, La Paz, offset color, 4p.
- ROCHE M.A. and FERNANDEZ JAUREGUI C., 1988. Water Resources, Salinity and Salt Exportations of the Rivers of the Bolivian Amazon. J. of Hydrology, Elsevier, Amsterdam, 101: 305-331.
- ROCHE M.A., 1989. Water Quality Control in the Humid Tropics. Int. Coll. on the Development of Hydrologic and Water Management Strategies in the Humid Tropics. UNESCO, Townsville, July, 60 p.
- SCHULZ C.R. and OKUN D.A., 1984. Surface water treatment for communities in developing countries. John Wiley and Sons, New York.
- SCOTNEY N., 1980. Developing a health education component for the UNICEF water and sanitation program in Sudan. UNICEF Report, Nairobi, multig., 25p.
- SERVAT E., 1987. Contribution à l'étude de la pollution du ruissellement fluvial urbain. Thèse Montpellier, ORSTOM, 206 p.
- SHUVAL H.I., TILDEN R.L., PERRY B.H. and GROSSE, R.N., 1981. Effect of investments in water supply and sanitation on health status : a threshold-saturation theory. Bull. WHO 59: 243-248.
- SMITH A., LOSSEY O., 1981. Pesticides and equipment requirements for national vector control program in developing countries. WHO/VBC/81.4, 98p.
- STEELE T.D., 1987. Water Quality monitoring strategies. IAHS, 32,2, June.
- STEWART B.J. and VERHOEVEN T.J., 1987. Surface Water Research Needs in Australia, SWCC, AMRC, PAMA, September.
- STEYN D.J., TOERIE D.F., VISSER J.H., 1976. Eutrophication levels of some South African impoundments. Part 3 and 4, Rooideplaas Dom. Water S.A. ,2:1-6.
- TAY J.H. and ONG S.L. (Eds.), 1986. Water and Wastewater Management in Asia. Proc. International Conference on Water & Wastewater Management in Asia, Singapore, 26-28 February.
- TCHOBANOGLOUS G. and SCHROEDER, E.E., 1985. Water Quality Characteristics. Modelling and modification. Benjamin Cummings Pub. Co. Inc., New York.
- TOERIE D.F., 1975. South African eutrophication problem. A perspectives. Wat. Pollut. Control., 76:136-162.
- TRUDGILL S.T., 1986. Solute Processes. J. Wiley.
- UNESCO, 1980. Aquifer contamination and protection. Prepared by IHP working Group B.3, Chairmain and General Editor: R.E. Jakson.
- UNESCO, 1980. Dispersion and self-purification of pollutants in surface water systems. A report by IHP working group 6.1, Chief Editors: P.G. Whitehead and T. Lack.
- VALIRON F., 1986. Mémento de l'exploitant de l'eau et de l'assainissement. Lyonnaise des eaux, Lavoisier, Paris, 1040 p.
- VAN DIJK J.C. and DOOMEN J.H.C.M., 1981. La filtration lente sur sable pour l'approvisionnement en eau collective dans les pays en développement. Doc. Tech. No. 11. Centre International de Référence pour l'approvisionnement en eau collective et l'assainissement, Lavoisier, Paris, 192 p.
- WALDRON H.A., 1975. Health Standards for Heavy Metals. Chem. Br., 11:354-357.
- WATTS D.G., HANKS R.J., 1978. A soil water nitrogen model for irrigated corn on sandy soils. Soil Sci. Soc. Amer. J., vol. 42:492-499.
- WELCOME R.L., 1972. The inland water of Africa. Les eaux interieures d'Afrique. CIFA Tech. Pap. /Doc. Tech. CPCA, 1, 117p.
- WHITEHEAD P.G., 1984. The application of mathematical models of water quality and pollutant transport : an international survey. UNESCO, SC.86/WS/10.
- WHO, 1970. Fluoride and Human Health. WHO Monograph Series, 59, Geneva.
- WHO, 1989. Health guidelines for the use of wastewater in agriculture and aquaculture. Report of a WHO scientific group. Technical Report series, No. 778. WHO publ., Geneva, 74p.
- WILSON M.F., HENDERSON-SELLERS A., 1983. Deforestation impact assessment : The problems involved. Hydrology of Humid Tropical Regions, ed. R. Keller, IAHS Publication No, 140, Hamburg Symposium : 273-83.

O.R.S.T.O.M.

E.N.D.E.

PHICAB

I.I.Q. - U.M.S.A.

S.E.N.A.M.H.I.

C.E.M.A.G.R.E.F.

IV Congreso Nacional de Ingeniería Sanitaria y Ambiental **Simposio sobre preservación del medio ambiente**

La Paz - Bolivia, Octubre de 1989



M. A. Roche, J. L. Guyot, H. Calle, J. Cortes, M. Pereira,

O.R.S.T.O.M.

E.N.D.E.

P H I C A B

I.I.Q. - U.M.S.A.

S.E.N.A.M.H.I.

C.E.M.A.G.R.E.F.

IV Congreso Nacional de Ingeniería Sanitaria y Ambiental
Simposio sobre la preservación del medio ambiente
La Paz, Bolivia, Octubre 1989.

* Investigación para la preservación y la recuperación de la calidad del agua.

M.A. Roche

* Erosion, balance de sedimentos y materias disueltas en la cuenca alta del Río Paraguay (Ríos Pilcomayo y Bermejo, Bolivia).

J.L. Guyot, H. Calle, J. Cortes, M. Pereira & H. Rodriguez

* Primera evaluación del impacto de la ciudad de La Paz sobre el medio amazónico. Evolución de la físico-química y del carbono orgánico total (COT) a lo largo del río La Paz-Boopi, Bolivia.

J.L. Guyot, J.G. Wasson, H. Sanejouand, J. Quintanilla & H. Calle

O.R.S.T.O.M., C.P. 9214, La Paz, Bolivia.

Marzo 1990