

**SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA DE LA CUENCA DEL
RÍO CANDELARIA: RECONSTRUCCIÓN HISTÓRICA DE LOS
CAMBIOS EN LA COBERTURA FORESTAL Y SU EFECTO SOBRE
LA HIDROLOGÍA Y CALIDAD DEL AGUA
-MARCO TEÓRICO Y RESULTADOS INICIALES-**

Jorge A. Benítez Torres, Héctor Sanvicente Sánchez, Jacqueline Lafragua Contreras, Pedro Zamora Crescencio, Luis Miguel Morales Manilla, Jean-François Mas Causel, Gerardo García Gil, Stéphane André Couturier, Ramón Zetina Tapia, Rigo Alberto Calan Yam, Leonel Amabilis Sánchez, Carlos Iván Acuña, Meret Chantal Mejenes

Resumen

La cuenca del río Candelaria se localiza al sur del estado de Campeche y norte de Guatemala, cubriendo una extensión de aproximadamente 14,000 km². Esta región ha experimentado una explotación forestal intensiva y un notable avance en la superficie agropecuaria. Tales cambios en el uso del suelo pueden afectar importantes funciones ecológicas de la cuenca, dentro de las que destacan las relacionadas con la preservación de la hidrología y la calidad del agua.

La metodología del estudio incluye la integración de un Sistema de Información Geográfica con los siguientes componentes: a) la reconstrucción del uso del suelo de la cuenca en los últimos 30 años, obtenida mediante la clasificación independiente de imágenes de satélite (MSS, TM y ETM) y fotografía aérea; b) la descripción de los patrones de descarga fluvial, utilizando como base un MDT escala 1:50,000, y datos históricos del gasto del río e información climatológica; c) la estimación de la descarga de nutrientes en términos de kg ha⁻¹ año⁻¹.

Se estimaron tasas de deforestación importantes (1.2-2.2%), especialmente en las décadas de los setenta y ochenta. A partir de estos años, se observó un incremento considerable en el gasto del río, comportamiento que no parece estar relacionado con variaciones en la precipitación. Se encontraron algunas evidencias de que los cambios en la hidrología están incrementando la descarga de nutrientes.

Introducción

La cuenca del río Candelaria presenta una larga tradición en el uso de sus recursos forestales. Desde la primera década del siglo XX y hasta finales de la década de los cuarenta, este río fue la arteria principal de la producción chiclera del estado. Tan sólo entre 1901 y 1910, más de 10,000 toneladas de chicle fueron exportadas de Campeche, provenientes en parte de la región del Candelaria (Konrad, 1999:99). La extracción del chicle y en menor medida la de madera se intensificaron durante la segunda guerra mundial, utilizando para ello los afluentes del río Candelaria como vías

de comunicación. Posteriormente, durante los años sesenta, la cuenca de este río fue objeto de proyectos de colonización que propiciaron el uso y conversión intensos de los recursos forestales (Gates, 1993:137). A partir de entonces se ha hecho notable el avance de la ganadería, combinada con la agricultura y la explotación de maderas duras. Estas actividades han eliminado un tercio de la biomasa forestal y han transformado significativamente la composición florística de la región (Martínez y Galindo-Leal, 2002:25).

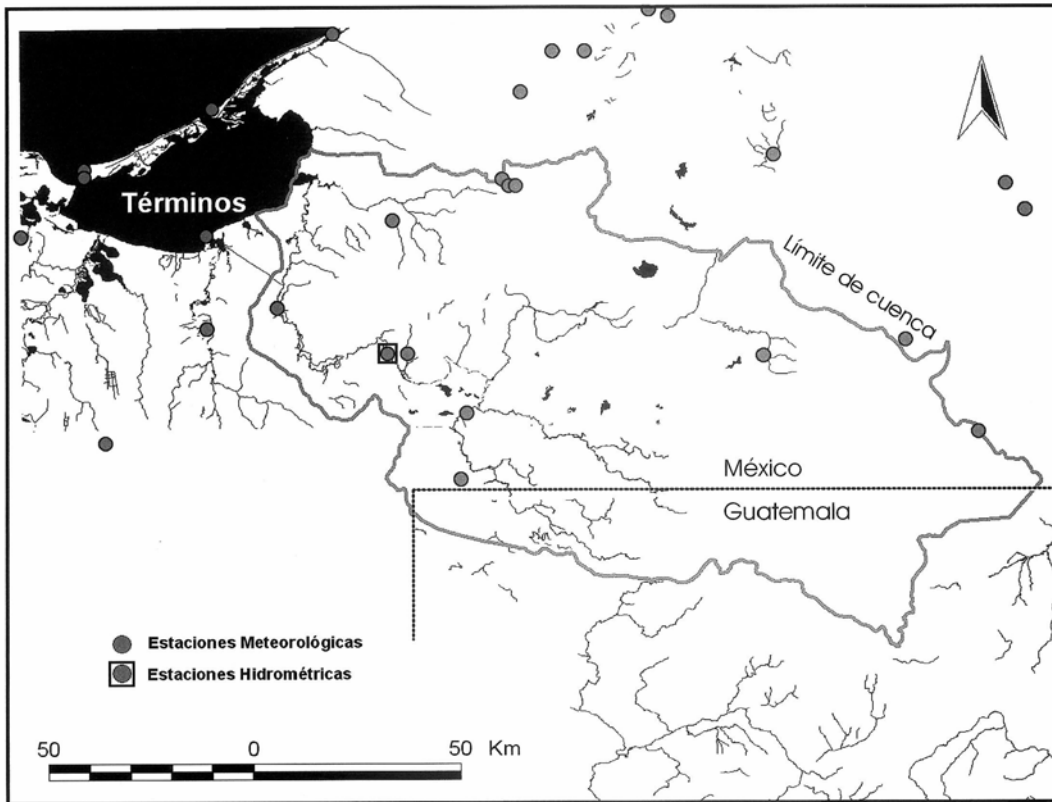
Los cambios en la cobertura forestal de la región del río Candelaria pueden tener un efecto negativo sobre las funciones ecológicas de la cuenca, dentro de las cuales destaca la cantidad y calidad del agua que es exportada a los ecosistemas costeros. Esto se debe a que la eliminación de la vegetación modifica la capacidad de infiltración del suelo, reduce la evapotranspiración y, por consiguiente, produce cambios en la hidrología y la descarga de nutrientes. Estos cambios pueden tener consecuencias graves en los ecosistemas costeros de la Laguna de Términos, para los que la descarga fluvial constituye un eficiente mecanismo de producción y la disponibilidad de nutrientes juega un papel muy importante para la biología de las especies pesqueras, sobre todo en estadios juveniles (Ramos-Miranda *et al.*, 2001:243).

El sistema fluvio-lagunar donde desemboca la cuenca de drenaje ha sido identificado como área crítica para estadios juveniles de camarón y otros recursos marinos (Flores Hernández *et al.*, 1997:15). Este sistema representa la conexión geográfica entre los procesos meteorológicos e hidrológicos que ocurren en la cuenca y los procesos costeros de la Laguna de Términos. Por tal motivo, se pretende construir un modelo basado en un Sistema de Información Geográfica que estime el efecto de los cambios en la cobertura forestal sobre la exportación de nutrientes de la cuenca. La presente contribución muestra los resultados iniciales del proyecto, los cuales reconstruyen parcialmente el escenario de la cuenca en los últimos 30 años, tanto en términos de cambios en la cobertura forestal como en el patrón de descarga del río, además de que determinan la descarga actual de nutrientes.

Área de estudio

El río Candelaria presenta una cuenca fronteriza de aproximadamente 14,000 km² compartida por México (85%) y Guatemala (15%, figura 1). La corriente principal recorre aproximadamente 80 km hasta desembocar en la Laguna de Términos, Campeche, presentando un gasto medio anual (n=40 años) de 46 m³ seg⁻¹ y un escurrimiento medio anual de 2,000 x 10⁶ m³. La región tiene una temperatura ambiental media anual de 26 °C y una precipitación media anual de 1500mm.

Figura 1. Cuenca hidrológica del río Candelaria mostrando las estaciones climatológicas y de aforo de la región



La cuenca fue delimitada con base en la cartografía de INEGI escala 1:50,000 y la cartografía de Guatemala escala 1: 100,000. Nota: La cartografía de INEGI y cartografía de Guatemala no tienen igual correspondencia, uno es un instituto que aporta los datos y otro es un país.

La cuenca del río Candelaria está considerada como una región hidrológica prioritaria de alta biodiversidad. Esta región destaca por su ubicación estratégica, ya que da continuidad a la flora y fauna del resto de la Península de Yucatán y del Petén guatemalteco. La porción alta del río forma

parte de la selva Maya, compartida por México, Guatemala y Belice. De acuerdo con el mapa digital del Inventario Nacional Forestal (Mas *et al.*, 2002), la vegetación está representada principalmente por selvas medianas subperennifolias y en menor proporción por selvas altas y bajas subperennifolias.

Metodología

Detección de cambios en la cobertura forestal

Se realizó un mapa base de la cobertura forestal utilizando fotografía aérea en blanco y negro de 2002 (escala 1:75,000). Las fotos aéreas fueron escaneadas, corregidas geométricamente y georreferenciadas mediante ERDAS v.8.2. Posteriormente las fotografías fueron interpretadas, digitalizadas en pantalla e integradas en un mapa vectorial de vegetación utilizando CartaLinx v.1.2. El área mínima mapeable fue de 1 ha. El mapa integrado de la cobertura forestal fue validado mediante colectas de campo asistidas con GPS y reconocimientos aéreos. Esta cobertura digital fue el mapa base para la detección de cambio en la serie de tiempo de las imágenes de satélite. El mapa base de 2002 se sobrepuso a imágenes compuestas MSS de 1974, 1986 y 1994, digitalizando en pantallas las diferencias en la cobertura forestal. Los mapas digitales así obtenidos fueron analizados en ArcView GIS v.8.

Patrones de descarga fluvial

Se elaboró un modelo digital del terreno a partir de los datos vectoriales del INEGI escala 1:50,000. Este modelo fue utilizado para la definición de cuencas y subcuencas. La información de las estaciones climatológicas localizadas dentro de la cuenca fue obtenida de la base de Datos ERIC II del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), mientras que la información de la estación de aforo en el poblado de Candelaria fue obtenida del Banco Nacional de Datos de Aguas

Superficiales (IMTA, 2002). Tanto la información climatológica como la de aflujos fueron convertidas a coberturas digitales usando ArcView GIS v.8 para su análisis.

Calidad del agua

Se obtuvieron los datos mensuales de nutrientes (N- NO_2 , N- NO_3), del periodo 1982-2003, medidos por la Gerencia Estatal de Campeche de la Comisión Nacional del Agua (CNA). Complementariamente a esta información, a partir de la época de secas de 2003 se han realizado determinaciones en cinco estaciones de muestreo a lo largo de la cuenca para las determinaciones colorimétricas de amonio (NH_4^+), nitrito + nitrato (NO_3^-), fosfato (PO_4^{3-}) y silicatos (SiO_2). Asimismo, se han efectuado determinaciones de N y P total (NT y PT) mediante la combustión de muestras con persulfato y su posterior medición colorimétrica de NO_3^- y PO_4^{3-} . Los valores de concentración fueron ponderados con los valores de gasto del río y el área de la cuenca para la estimación de la descarga total de nutrientes en términos de $\text{kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$.

Resultados preliminares

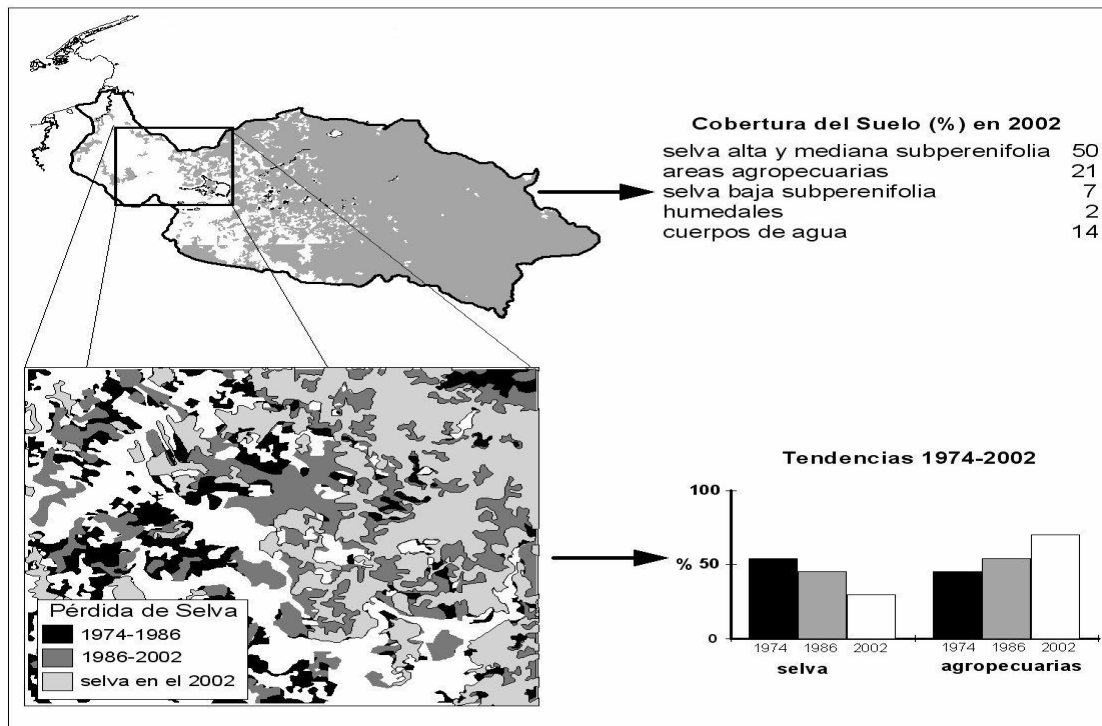
Cambios en la cobertura

Actualmente las áreas boscosas cubren un 60% del área de estudio, las cuales se concentran principalmente en la cuenca alta del río, a lo largo de la frontera México-Guatemala (figura 2). La selva ha sido sustituida principalmente por áreas agropecuarias, las cuales se han concentrado en la cuenca media y baja del río, alcanzando el 70% de la cobertura. La conversión de la selva ha ocurrido con tasas de deforestación cada vez mayores de 1.2% (1974-1986) y 2.2% (1986-2002), y la principal causa ha sido el avance de la ganadería y el impacto de incendios forestales.

La parte superior de la figura 2 muestra en tono gris la superficie de selva y la proporción de las principales clases con base en el inventario Nacional Forestal (Mas *et al.*, 2002). El recuadro inferior muestra el análisis de los cambios en la cobertura de la selva para la porción media de la

cuenca y la tendencia de los cambios en esa región en los últimos 30 años, obtenida mediante la interpretación de imágenes MSS.

Figura 2. Tendencias de los cambios en la cobertura del suelo en la cuenca hidrológica del río Candelaria

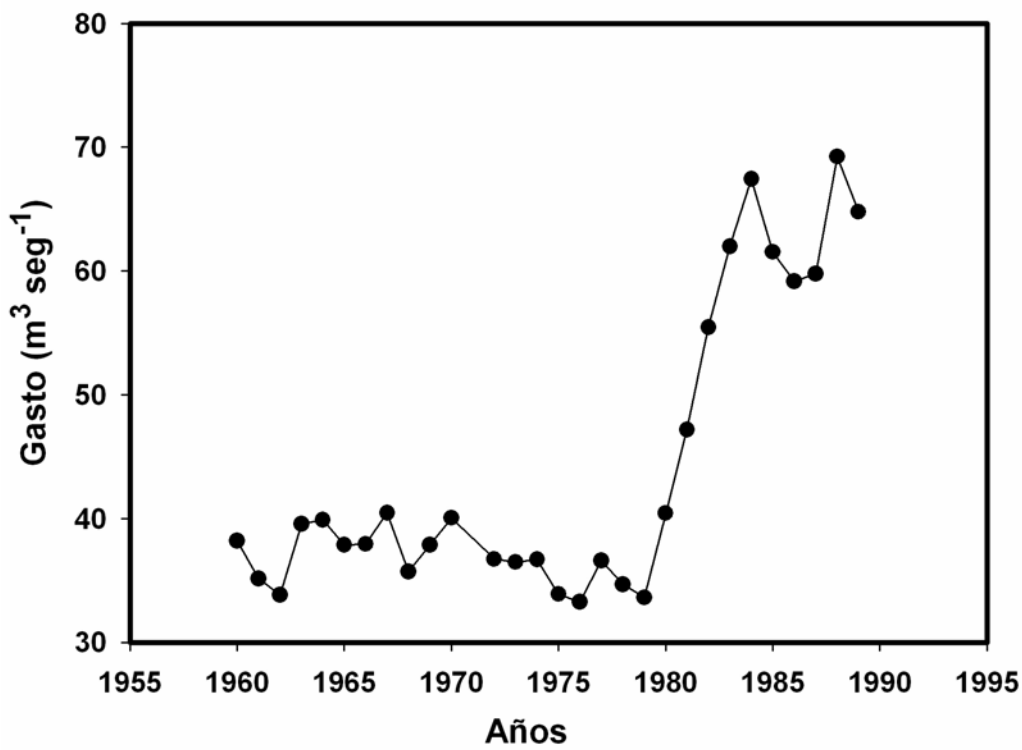


Patrones de descarga fluvial

Tomando en cuenta los datos históricos de gasto para el periodo 1950-1990, la tendencia de la cuenca se ha caracterizado por un incremento en su gasto de manera sostenida. Esto es especialmente cierto a partir de finales de la década de los sesenta. El incremento en el gasto del río se encuentra enmascarado por las variaciones interanuales, pero es más evidente al suavizar los datos mediante una media móvil de cinco años (figura 3). Después de la transformación de los datos, se observaron dos periodos bien definidos. El primer periodo, desde 1950 hasta finales de la década de los setenta, presentó marcadas diferencias interanuales, pero con un patrón

semiestacionario. El segundo periodo, desde finales de los setenta hasta 1999, también permitió observar diferencias interanuales, aunque con un incremento significativo en el gasto. Este aumento no parece estar relacionado con variaciones climáticas, ya que no se encontró ninguna relación estadística entre la precipitación pluvial de la cuenca y el gasto del río (figura 4).

Figura 3. Media móvil (5 años) del gasto del río Candelaria ($\text{m}^3 \text{seg}^{-1}$) en la estación de aforo del mismo nombre



Datos del Banco Nacional de Aguas Superficiales (IMTA, 2000).

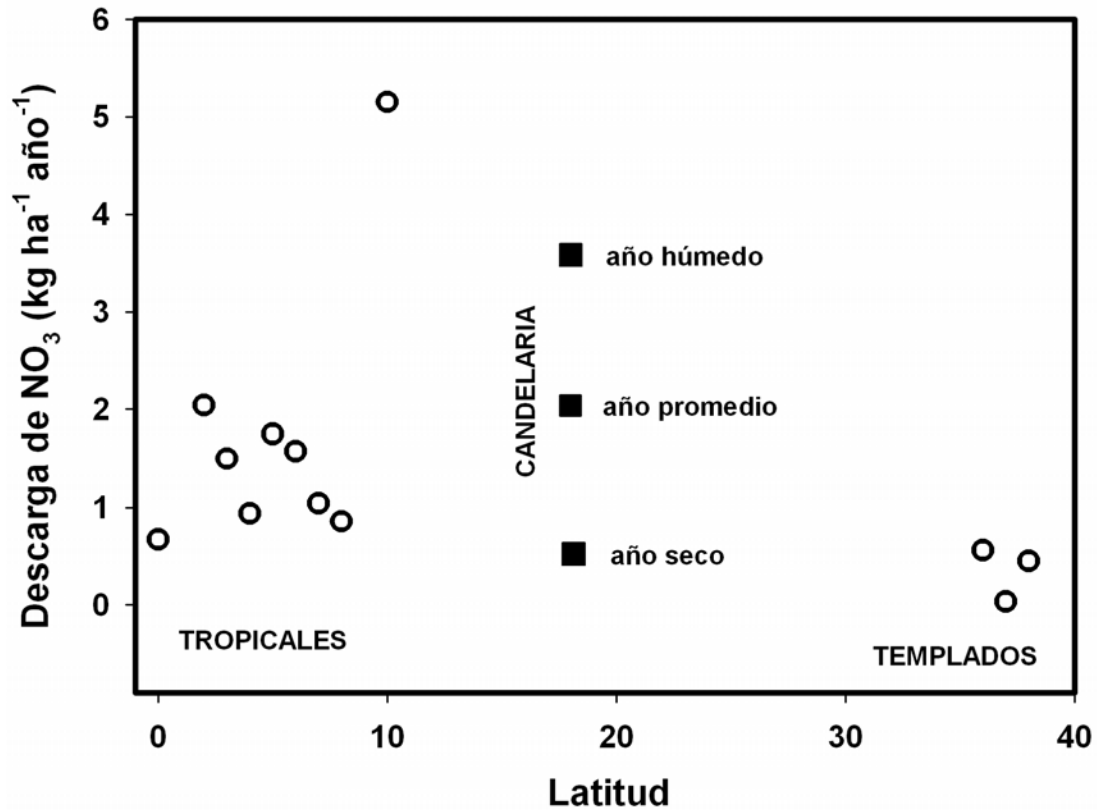
Figura 4 [sacado por el tamaño de la figura]. Relación del gasto del río Candelaria ($\text{m}^3 \text{seg}^{-1}$) en la estación de aforo del mismo nombre y precipitación media (mm) de cinco estaciones ubicadas dentro de la cuenca (ver figura 1)

Datos del Banco Nacional de Aguas Superficiales (IMTA, 2000).

Calidad del agua

En términos de descarga de nutrientes ($\text{kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$) la cuenca del río Candelaria se comporta de manera similar a otras cuencas localizadas en áreas tropicales. Sin embargo, la descarga presenta fuertes variaciones interanuales (figura 5). En años muy húmedos, la descarga de nutrientes indica valores extremos reportados para ecosistemas tropicales, mientras que en años muy secos los valores de descarga son cercanos a los reportados en ecosistemas templados.

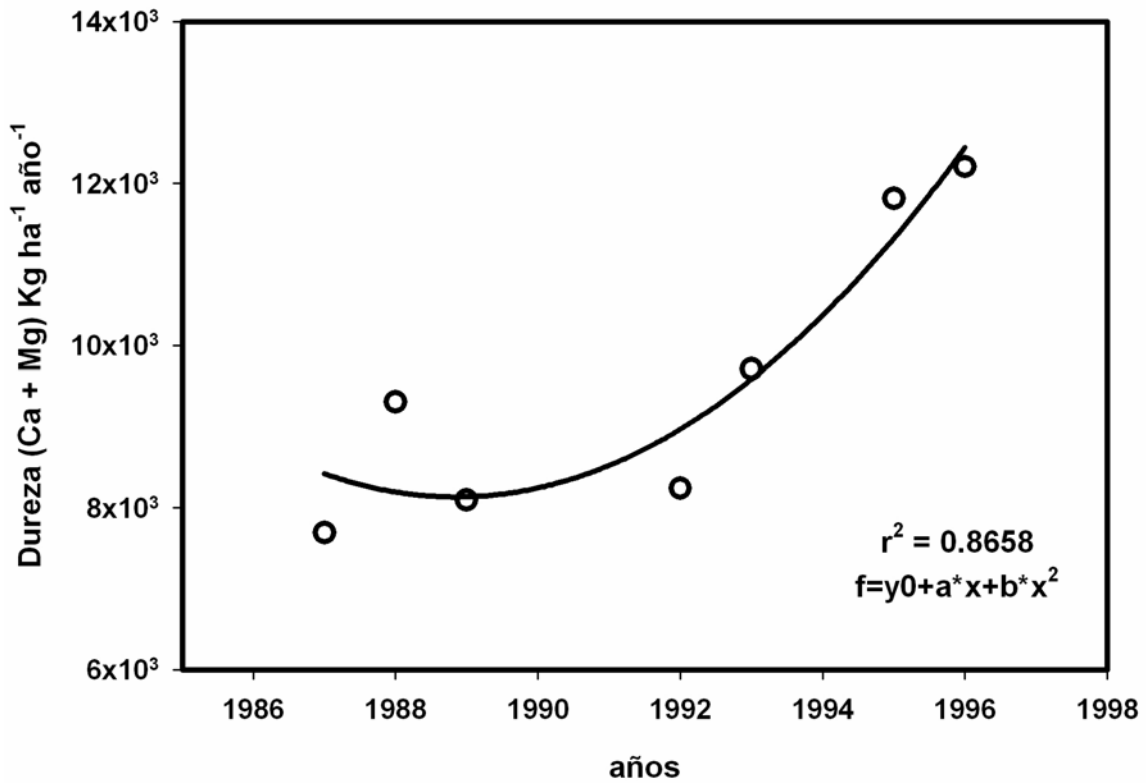
Figura 5. Descarga anual de NO_3 (kg ha^{-1}) en cuencas selectas a varias latitudes (Lewis *et al.*, 1999: 154) y en tres escenarios climáticos del río Candelaria



Datos de campo del presente estudio, datos no publicados de la Comisión Nacional del Agua y del Banco Nacional de Aguas Superficiales (IMTA, 2000).

La tendencia en la exportación de nutrientes resulta menos clara que el patrón hidrológico, debido al corto plazo del monitoreo (desde 1986) y a los bajos niveles de detección de las técnicas empleadas, sobre todo para los elementos más importantes como el NO_2 y NO_3 . Sin embargo, existen evidencias de que el aporte de nutrientes ha tenido un incremento importante. La descarga de Ca y Mg (en términos de $\text{kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$) ha aumentado constantemente a partir del inicio del programa de monitoreo del río por parte de la CNA (figura 6).

Figura 6. Descarga anual de Ca y Mg (dureza kg ha^{-1}) en la desembocadura del río Candelaria



Datos no publicados de la Comisión Nacional del Agua.

Discusión

A partir de las evidencias encontradas, parece existir una relación directa entre la deforestación de la cuenca y el aumento de la descarga fluvial. Esto concuerda con estudios experimentales de otras latitudes que han demostrado que con la eliminación de la vegetación natural, el flujo de los ríos puede aumentar hasta en un 30% (Likens *et al.*, 1970:23). Asimismo, Hornbeck *et al.* (1970: 1124) han encontrado que la eliminación de bosques reduce la evapotranspiración, con lo cual incrementa la descarga de agua. Otros estudios han demostrado que diferente composición de la vegetación (Swift *et al.*, 1975:667) y diferentes estados de sucesión (Jones y Grant, 1996:959), tienen distintos niveles de intercepción y consecuentemente, diferentes valores de descarga fluvial. A pesar de la similitud entre estos trabajos y nuestros resultados, y no obstante que las variaciones en gasto del río no pudieron ser explicadas por variaciones climáticas, no se puede establecer una relación definitiva entre la deforestación y los cambios en el régimen hidrológico; se requiere de la reconstrucción de un mayor número de escenarios que permita correlacionar estadísticamente ambas variables.

Al igual que en los procesos hidrológicos, la conversión de la cobertura forestal parece haber afectado la descarga de nutrientes. Esto puede deberse a que los bosques tienden a acumular nutrientes con la edad (Gardner *et al.*, 1996:21) y sus coeficientes normales de exportación de nutrientes se incrementan de manera sustancial cuando la cobertura forestal es removida (Likens *et al.*, 1970:23). Además, la eliminación de la vegetación favorece los procesos de erosión y por lo tanto, el transporte de sedimentos y nutrientes por las aguas de escorrentía. Sin embargo, establecer una relación causa-efecto es aún más difícil que la relación deforestación-hidrología planteada anteriormente, debido al corto periodo en que se han efectuado las mediciones de nutrientes.

Consideraciones generales

Los resultados descritos en la presente contribución son de carácter preliminar. Actualmente el estudio se desarrolla en su segunda etapa, la cual incluirá un mayor número de escenarios de la cobertura del suelo entre 1950 y 2004. De igual forma, hoy en día se construye el modelo del comportamiento hidrológico de la cuenca a partir del módulo Archidro de ArcInfo GIS v8. Con base en estos resultados se pretende parametrizar un modelo geohidroquímico que estime el efecto de los cambios en la cobertura forestal sobre la exportación de nutrientes de la cuenca durante la segunda mitad del siglo XX.

Agradecimientos

El presente proyecto ha sido posible gracias al financiamiento de la Comisión Nacional Forestal y el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (proyecto CONAFOR-2002-C01-5886), así como al apoyo de la Universidad Autónoma de Campeche, el Instituto de Geografía de la Universidad Nacional Autónoma de México y Pronatura AC, Península de Yucatán.

Literatura citada

Beaulac, M.N., K.H. Reckhow (1982). "An Examination of Landuse Nutrient Export Relationships", *Water Resources Bulletin*, 18 (6), pp.1013-1024.

Flores-Hernández, D., J. Ramos-Miranda, J. Rendon-von Osten, A. Sosa L., L. Alpuche G., R. Rosas V., M. Memije C., M. Mas S., C. Canul C., F. Arreguín S., M.E. González, J. Santos V., L. Ayala P (2000). "Evaluación del camarón blanco (*Litopenaeus setiferus*) y de las comunidades nectónicas de la laguna de Términos Campeche, México: estimación de los impactos ambientales y pesqueros", *Síntesis de Informe Técnico ALIM-11-96*. SISIERRA, UAC, Centro EPOMEX, Fideicomiso de Estudios y Proyectos del Área de Protección de Flora y Fauna Laguna de Términos.

Flores-Hernández, D., P. Sánchez-Gil, J.C. Seijo y Arreguín-Sánchez (1997). *Panorama de los recursos pesqueros críticos del Golfo de México*, en D. Flores-Hernández, P. Sánchez-Gil, J.C. Seijo y F. Arreguín-Sánchez (Eds.) *Análisis y Diagnóstico de los Recursos Pesqueros Críticos del Golfo de México*, EPOMEX Serie Científica 7, Universidad Autónoma de Campeche, pp.1-17.

Gardner, R., M. Castro, R. Morgan, S. Seagle (1996). *Perspectives on the Chesapeake Bay: nitrogen dynamics in forested lands of the Chesapeake basin*, Chesapeake Research Consortium, Inc.151, Washington D.C, USA.

Gates, M. (1993). *In default, peasants, the Debt crisis, and the agricultural challenge in Mexico*, Latin American Perspectives Series 12, Westview Press, EUA.

Gracia, A., A. Vázquez-Bader, F. Arreguín-Sánchez, L.E. Schultz-Ruiz, J.A. Sánchez (1997). *Ecología de camarones peneidos*, en D. Flores-Hernández, P. Sánchez-Gil, J.C. Seijo y F. Arreguín-Sánchez (eds.) *Análisis y Diagnóstico de los Recursos Pesqueros Críticos del Golfo de México*, EPOMEX Serie Científica 7, Universidad Autónoma de Campeche, México, pp. 127-144.

Herrera-Silveira, J. A., R. Silva, P. Salles, G. J. Villalobos, I. Medina, J. C. Espinal, A. Zaldívar, J. Trejo, M. Gonzáles, A. Cú Escamilla, J. Ramírez (2002). “Análisis de la calidad de ambiental usando indicadores hidrobiológicos y modelo hidrodinámico actualizado de la laguna de Términos”, *Informe CINVESTAV-IPN, MERIDA, EPOMEX-Inst. Ingenierma-UNAM*. México.

Hornbeck, R.S., R.S. Pierce, C.A. Federer (1970). “Streamflow Changes after Forest Clearing in New England”, *Water Resources Research*, 6 (4), pp.1124-1132.

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (2002). *Banco Nacional de Datos de Aguas Superficiales (BANDAS)*, IMTA-SEMARNAT. Discos Compactos, México.

Jones, J.A., G.E. Grant (1996). “Peak flow responses to clear-cutting and roads in small and large basins, western Cascades Oregon”, *Water Resources Research*, 32 (4), pp.959-974.

Konrad, H.W. (1999). “Historia de la región”, en William J. Folan Higgins, María Consuelo Sánchez González y José Manuel García Ortega, *Naturaleza y cultura en Calakmul, Campeche*. Universidad Autónoma de Campeche/SEP, México, pp.91-106.

Lewis, W., J. Melack, W. McDowell, M. McClain, J. Richey (1989). “Nitrogen yields from undisturbed watersheds in the Americas”, *Biogeochemistry*, 46, pp.149-162.

Likens, G. E., F.H. Bormann, N.M. Johnson, D.W. Fisher, R.S. Pierce (1970). “Effects of forest cutting and herbicide treatment on nutrient budgets in the Hubbard Brook watershed-ecosystem”, *Ecol. Monogr*, 40 (1), pp.23-47.

Martínez, E., C. Galindo-Leal (2002). “La vegetación de Calakmul, Campeche, México: clasificación, descripción y distribución”, *Bol. Soc. Bot. Mex.*, 71, pp.7-32.

Mas, J. F. (2002). “Inventario Forestal Nacional 2000-2001. Instituto de Geografía-UNAM”. *Informe Final a SEMARNAP*, y anexos, UNAM, México.

Miller, R.W. (1997). *Urban forestry planning and managing urban greenspaces*, Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, USA.

Ramos-Miranda, J., A. Sosa-López, D. Flores-Hernández, T. Do-Chi (2001). *Variables ambientales como factores importantes en la distribución y abundancia de juveniles de camarón blanco (Litopenaeus setiferus) en la Laguna de Términos, Sur del Golfo de México*, Proceedings of the 52nd Gulf and Caribbean Fisheries Institute, Key West Fla., USA., pp.242-257.

Soberón-Chávez, G., A. Yáñez-Arancibia (1985). *Control ecológico de los peces demersales: variabilidad ambiental de la zona costera y su influencia en la producción natural de los recursos*

pesqueros, en A. Yáñez-Arancibia (ed.) *Recursos Pesqueros Potenciales de México: La Pesca Acompañante del Camarón*, Programa Universidad. De Alimentos, Instituto Ciencias del Mar y Limnol, Instituto Nacional de Pesca, Universidad Nacional Autónoma de México, México, pp.399-486.

Swift L.W, Jr., W.T. Swank, J.B. Mankin, R.J. Luxmoore, R.A. Goldstein (1975). "Simulation of Evapotranspiration and Drainage from Mature and Clear-Cut Deciduous Forests and Young Pine Plantation", *Water Resources Research*, 11(5), pp.667-673.

**ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE OPCIONES DE TRATAMIENTO
DE EFLUENTES DE LA PRODUCCIÓN DE ACEITE DE PALMA
AFRICANA (POME)**

Carlos Estrada Arteaga
Carlos Hernández Benítez
Carlos Montoya Suárez
Jesús Cárdenas Mijangos

Resumen

Debido a las extensiones de sembradío que requieren las empresas dedicadas al cultivo y extracción de aceite de palma africana, éstas se localizan en lugares donde no se tiene ningún tipo de infraestructura para la captación o conducción de los efluentes generados, hablemos de cuerpos receptores. Por consiguiente, se convierte en un problema a causa de las altas concentraciones de contaminantes que tienen los efluentes de tal tipo de plantas extractoras (DQO, DBO, grasas y aceites; 80,000, 48,000 y 9,611 mg/L respectivamente). Este trabajo se llevó a cabo consultando, revisando y analizando datos bibliográficos de diversas plantas extractoras de aceite. Se determinó la calidad del efluente con valores máximos, promedios y mínimos, para proponer cuatro distintas alternativas de tratamiento, las cuales se evaluaron de forma heurística, principalmente bajo los siguientes aspectos: generación de olor, eficiencia de remoción, manejo y disposición de lodos, servicios (agua, energía, accesos), estimación de costos de inversión, operación y mantenimiento. El tipo de tratamiento usado para este tipo de efluentes son lagunas de estabilización, económicas en su operación, aunque causan problemas de olores y tienen muy bajas eficiencias de remoción después de cinco años.

La alternativa elegida en el presente trabajo requiere de equipos de tratamiento usados por lo general en otro tipo efluentes. Se utilizan separadores de aceite API y separadores de aceite por aire disuelto "DAF", biodigestores anaerobios de lecho suspendido (UASB) para la remoción de la materia orgánica biodegradable. Esta alternativa de tratamiento anaerobio presenta las siguientes ventajas: se usa para efluentes con altas cargas de contaminantes; se puede concentrar el gas generado y reutilizar como fuente de combustión; la generación de lodos es menor y se puede reutilizar como complemento para forraje; se controlan olores; se puede aprovechar el agua tratada para el riego de los cultivos de la palma. Con este tratamiento se obtienen efluentes de 400 a 600 mg/L de DQO y de 300 a 400 mg/l de DBO.

Introducción

Las propiedades que deben presentar las zonas para el desarrollo de industrias extractoras de aceite de palma son las siguientes:

- Precipitaciones a un nivel de 2000 mm o mayores, distribuidas adecuadamente durante el año.
- Temperatura entre 29-33°C.
- Insolación constante de por lo menos cinco horas, todos los meses del año.
- Suelos francos o franco-arcillosos planos o ligeramente ondulados, sueltos y profundos de buena permeabilidad.
- Humedad relativa superior a 75%.

Este tipo de extractoras generan efluentes en el orden de 0.8 m³ por tonelada de fruto fresco procesado (promedio en Colombia) y pueden llegar hasta 1 m³ en ciertas extractoras. Los efluentes tienen una alta concentración en DQO (demanda química de oxígeno), DBO (demanda bioquímica de oxígeno) y SS (sólidos suspendidos), además de ser aceitosos. En Colombia, dicho tipo de plantas extractoras representaban la cuarta fuente de contaminación (antes de proceder a su tratamiento) (Conil, 1997).

Antecedentes

El proceso de extracción de aceite de los racimos de fruta fresca (RFF) de la palma se realiza en planta extractoras mediante efectos de presión, temperatura y procesos mecánicos. El proceso consiste básicamente en esterilización, clarificación e hidrociclones. Los procesos se describen en forma general a continuación:

Esterilización: mediante el uso de autoclaves horizontales presurizados con vapor de agua.

Clarificación: el aceite crudo proveniente del prensado se bombea a través de una columna de ebullición que lo recaliente, y es descargado a un tanque de sedimentación conocido como decantador primario o clarificador. El aceite se recoge en la parte superficial del tanque.

Hidrociclones: para la separación de almendras y las cáscaras (García y Uribe, 1997).

Dos de las alternativas para el tratamiento de estos efluentes son las siguientes:

- Procesos fisicoquímicos (coagulación-floculación).
- Tratamiento biológico: las lagunas de estabilización son el tratamiento más usado para este tipo de efluente.

Objetivo

Realizar un estudio a escala bibliográfica y conceptual de la mejor tecnología disponible para el tratamiento de agua residual derivada del proceso de extracción y purificación de aceite de palma, mediante un análisis de gabinete de la factibilidad técnica y económica de cuatro tecnologías.

Bases de diseño para la comparación

En Colombia, la cantidad de efluentes producidos en las plantas extractoras de aceite de palma, en proporción con la fruta procesada, oscila entre 0.55 y 1.2m³ de agua/ Ton RFF, con un promedio de 0.82m³ de agua/Ton RFF. Los datos anteriores se obtuvieron de 30 plantas extractoras encuestadas por CENIPALMA. (García y Uribe, 1997). Para este trabajo se tomó una producción de 15 toneladas por hora, quedando las bases del diseño de la siguiente forma.

Tabla 1. Parámetros de diseño

| Parámetro | Magnitud | Unidad |
|-----------------------------|-----------------|---------------------|
| Volumen agua/Ton producción | 0,82 | m ³ /ton |
| Producción estimada | 15 | ton/hr |
| Flujo volumétrico total | 12,3 | m ³ /hr |

Los efluentes provienen principalmente de las etapas de esterilización y de clarificación, quedando distribuidas en 15% y 85% respectivamente. Tomando 12.3 m³/hr como el flujo volumétrico total, las distribuciones quedarían de la siguiente forma:

Tabla 2. Distribución de flujos volumétricos

| | % del efluente | m³/hr |
|----------------|-----------------------|-------------------------|
| Esterilización | 15 | 1,845 |
| Clarificación | 85 | 10,455 |
| Total | 100 | 12,3 |

Con las siguientes calidades de agua:

Tabla 3. Calidad de agua de los efluentes independientes (en mg/l)

| Parámetros | Efluente esterilizador | Efluente clarificador |
|---------------------|-------------------------------|------------------------------|
| DBO | 10000-25000 | 17000-35000 |
| DQO | 30000-60000 | 40000-75000 |
| Sólidos totales | 40000-50000 | 35000-70000 |
| Sólidos suspendidos | 3000-5000 | 12000-18000 |
| Aceite | 2000-3000 | 5000-15000 |
| N-amoniaco | 20-80 | 20-80 |
| N-Total | 350-600 | 500-900 |
| PH | 4,5-5,5 | 3,5-4,5 |

Se llevó a cabo una revisión bibliográfica de las calidades del agua efluente de este tipo de plantas extractoras. Se resume la búsqueda en la siguiente tabla:

Tabla 4. Datos bibliográficos de calidad del agua de efluentes de procesos de recuperación de aceite de palma

| Parámetro | 1 (García, 1997) | | 2 (Chin, 1996) | | 3 (Setiadi, 1996) | | 4 (Conil, 1997) | |
|---------------------------|------------------|----------|----------------|----------|-------------------|----------|-----------------|--------|
| | Rango | Promedio | Rango | Promedio | Rango | Promedio | Rango | Unidad |
| PH | 3,87 a 5,25 | | 4,2 a 4,4 | | 3,3 a 4,6 | | 4.0 a 4.5 | unidad |
| Temperatura | 53 a 77 | 67,4 | 50 a 70 | 65 | | | | °C |
| DBO | 18700 a 175521 | 48,873 | 26000 a 30000 | 28000 | 8200 a 35400 | 21280 | 20000 a 40000 | mg/L |
| DQO | 45256 a 232000 | 79729,6 | 63000 a 73000 | 67000 | 15103 a 65100 | 34720 | 40000 a 60000 | mg/L |
| Sólidos totales | 32482 a 111029 | 45669,8 | 48000 a 56000 | 54000 | 16580 a 94106 | 46185 | | mg/L |
| Sólidos suspendidos | 19129 a 88258 | 35105 | 27000 a 36500 | 31800 | 1330 a 50700 | 21170 | 20000 a 30000 | mg/L |
| Sólidos disueltos | 5150 a 13074 | 9112 | | | | | | mg/L |
| Sólidos sedimentables | 0 a 1000 | 564,2 | | | | | | ml/hr |
| Sólidos totales volátiles | 26530 a 98445 | 48988 | | | | | | mg/L |
| Fósforo total | 15,7 a 113,6 | 66,1 | 68 a 250 | 140 | | | | mg/L |
| Nitrógeno total | 67,5 a 695 | 284,1 | 880 a 1100 | 1000 | 12 a 126 | 41 | | mg/L |
| Nitrógeno amoniacal | 11 a 25,5 | 18,3 | | | 2,5 a 50 | 13 | | mg/L |
| Grasas y aceites | 5400 a 19420 | 9611 | | | | | 5000 | mg/L |
| Acidez total | 750 a 2548 | 1611 | | | | | | mg/L |
| Alcalinidad total | 0 a 807,3 | 161,5 | | | | | | mg/L |

La calidad de agua utilizada para el diseño de las alternativas de tratamiento fue la reportada por García y Uribe (1997), debido a que se registran los parámetros de contaminación mas altos (DBO, DQO, grasas y aceites, etc.).

Alternativas de tratamiento

Se describe la función de los equipos utilizados en las alternativas de tratamiento evaluadas en el presente trabajo.

Eliminación de partículas sólidas

Antes de su tratamiento, propiamente dicho, las aguas brutas se someten, generalmente, a un pretratamiento que comprende un cierto número de operaciones físicas o mecánicas. Tiene por objeto separar del agua la mayor cantidad posible de las materias que, por su naturaleza o tamaño, crearían problemas en los tratamientos posteriores.

Las operaciones de pretratamiento propuestas son las siguientes: desbaste, desaceitado, tamizado y desarenado. Cabe destacar que una estación de tratamiento puede incluir una o varias de estas operaciones, según su importancia y la calidad del agua bruta.

Rejas para el desbaste

Están constituidas por barrotes rectos, de acero, a veces verticales y a veces inclinados con ángulos de 60 a 80° sobre la horizontal.

Rejas rectas de limpieza continua: este tipo de reja se utiliza en un desbaste fino y debe emplearse con agua poco cargada en materias gruesas (o que se haya sometido previamente a un desbaste medio).

La reja es recta e inclinada 80° sobre la horizontal y su limpieza se efectúa mediante escobillas de nylon arrastradas por un mecanismo de cadenas sin fin. La evacuación de los residuos se realiza por un canal aguas abajo de la reja.

La profundidad del canal se ubica entre 2.50 a 5 metros; su anchura es de 0.60 a 4 metros, y el espacio entre los barrotes va desde 6 mm hasta 15 mm.

Generalmente, se adopta una velocidad media de paso entre barrotes comprendida entre 0.60 y 1 m/s, pudiendo llegarse hasta 1.2 y 1,4 m/s a caudal máximo.

Tamizado

Se recomienda un tamiz tipo criba rotatorio, con la finalidad de separar la mayor cantidad de partículas sólidas contenidas en el agua residual; por economía escogemos un tamiz estático con aberturas de 3 mm a 5 mm.

Desarenado

El desarenado tiene por objeto extraer del agua bruta la grava, arena y partículas minerales más o menos finas, con el fin de evitar que se produzcan sedimentos en los canales y conducciones para proteger las bombas y otros aparatos contra la abrasión, y para evitar sobrecargas en las fases de tratamiento siguientes.

El desarenado se refiere normalmente a las partículas superiores a 200 micras. Una granulometría inferior corresponde a los procesos de decantación.

El estudio teórico del desarenado se relaciona con el de los fenómenos de sedimentación en caída libre, y en él intervienen las fórmulas de Stokes (en régimen laminar), de Newton (en régimen turbulento) y de Allen (aplicable a un régimen transitorio).

Separador de aceite API

Esta unidad de tratamiento aprovecha la diferencia de densidades para separar el aceite del agua. Para mayor eficiencia de estas unidades de separación, se recomienda la construcción de placas en posición inclinada, con la finalidad de reducir espacios. La flotación por aire también favorece la coalescencia y concentración de los aceites. El aire se debe añadir mediante difusores de burbuja fina.

Aquí y bajo la inyección de aire se prevé una disminución de la temperatura del agua.

Separador de aceite DAF (flotación por aire disuelto)

La flotación por aire disuelto se basa en el principio de la solubilidad del aire en el agua sometida a presión, el cual es utilizado para remover el aceite del agua. Consiste en someter el agua bruta ya floculada a presión durante cierto tiempo en un recipiente, introduciendo simultáneamente aire comprimido y agitando el conjunto por diversos medios hasta lograr la dilución del aire en el agua. Posteriormente despresuriza el agua en condiciones adecuadas, desprendiéndose gran cantidad de micro burbujas de aire. Éstas se adhieren a los flóculos en cantidad suficiente para que su fuerza ascensional supere el reducido peso de los flóculos,

elevándolos a la superficie, de donde son retirados continua o periódicamente, por distintos medios mecánicos.

Con objeto de ahorrar energía, por un lado, y por otro para evitar al máximo la posible destrucción de flóculos en el turbulento proceso de creación de microburbujas, normalmente no se presuriza el caudal total de tratamiento, sino un caudal parcial de agua clarificada recirculada para crear las microburbujas necesarias para el proceso.

La flotación por aire disuelto presenta grandes ventajas, entre las que destacaremos el tiempo de retención. La flotación es un fenómeno mucho más rápido que la decantación, precisando tanto un espacio ocupado mucho menor y un tiempo de retención muy breve.

Otra ventaja es la concentración de los sólidos separados. Los sólidos decantados están sumergidos permanentemente en un medio líquido, por lo que su concentración tiene un límite muy bajo. Los sólidos flotados, por el contrario, están sobre un medio líquido, pero en contacto con el aire, pudiendo alcanzar concentraciones muy superiores a los decantados.

Los flóculos convenientes en la decantación deben ser grandes y bien formados, con objeto de acelerar el proceso. Para ello es precisa la adición de determinadas cantidades de productos químicos y la retención previa en floculadores para la buena formación de los flóculos.

La principal desventaja de la flotación es la ausencia de recuperación de aceite.

Decantadores

El proceso descrito anteriormente se consigue mediante la instalación adecuada de tanques circulares o rectangulares, donde se provoca la sedimentación de las partículas en suspensión que anidan en el agua residual, denominados decantadores o puentes decantadores.

Los decantadores se dotan de rasquetas mecánicas de recogida y evacuación de los fangos decantados, los cuales por gravedad se depositan en el fondo del mismo; mientras que los flotantes de superficie son conducidos por un deflector radial a una tolva.

Por la forma de hacer circular el agua residual en el interior del decantador, tenemos:

- Decantador de circulación horizontal. El agua se desplaza en sentido longitudinal o radial.
- Decantador de circulación vertical. El agua se desplaza de abajo a arriba.

Por la forma geométrica de la obra civil, tenemos:

- Decantador circular.
- Decantador rectangular.

Por la forma de eliminar los fangos:

- Decantador de arrastre.
- Decantador de succión.

Por el movimiento del puente, podemos mencionar:

- Decantador de tracción periférica.
- Decantador de tracción central.

Lagunas de estabilización

El término *laguna* indica un sistema de retención de aguas, de construcción humana, con cualquier propósito; el propósito suele estar indicado por el término a continuación de laguna.

Las *lagunas de tratamiento de aguas*, algunas veces llamadas de *estabilización*, tienen como propósito explícito conseguir que las aguas acumuladas en ellas lleguen a cumplir un conjunto de parámetros cuantitativos, fijados por ley, que permitan su descarga al ambiente receptor sin ocasionar problemas ambientales ulteriores.

Las posibles variaciones en lagunas de tratamiento de aguas servidas se pueden clasificar de distintas maneras, pero una de las más habituales las clasifica según la participación del oxígeno disuelto en el sistema.

Lagunas aerobias. Una laguna en que se espera (por diseño) que exista oxígeno disuelto en todo el sistema se clasifica como laguna *aerobia*. Éstas se basan en el aporte de oxígeno a partir del crecimiento de fotosintetizadores y permiten obtener efluentes de baja DBO soluble, pero de

alto contenido de algas, las que debieran ser cosechadas a fin de controlar los cuerpos receptores. La profundidad debe ser tal que no se alcancen a producir regiones sin oxígeno, sobre todo teniendo presente que la turbiedad impide el paso de la luz solar.

Lagunas anaerobias. Si el oxígeno está ausente en toda la laguna se clasifica como laguna *anaerobia*. Las lagunas anaerobias se utilizan para tratar caudales con alta carga de orgánicos, usualmente de origen industrial. El proceso de depuración en este tipo de lagunas tiene lugar mediante una fermentación anaerobia. En estos procesos, en los cuales se puede llegar hasta la formación de metano, participan cuatro grupos microbianos: las bacterias hidrolíticas, acidogénicas, acetogénicas y metanogénicas; todos ellos complementarios e imprescindibles para el proceso.

Lagunas facultativas. En estas lagunas se distingue una zona aerobia próxima a la superficie, una zona anaerobia en el fondo, donde se dan procesos de fermentación, y una zona intermedia que contiene bacterias facultativas y es la que da el nombre a las lagunas.

Biodigestores anaerobios

Los digestores de lodos anaerobios son de dos tipos:

- Digestores de una etapa. El lodo bruto se introduce en la zona donde hay digestión activa y se está produciendo gas. Al elevarse el gas arrastra partículas de lodo y otras materias (grasas y aceites), formando un sobrenadante que se separa del digestor. El lodo digerido se extrae por el fondo del tanque. El gas se recoge por la parte superior y se utiliza normalmente como combustible debido a su alto contenido de metano.
- Digestores de dos etapas. El objetivo fundamental de este proceso es conseguir una mejor utilización volumétrica. La primera etapa se usa únicamente para digestión. La segunda sirve como separador sólido-líquido y permite la recogida del gas. La mezcla se hace en la primera etapa, por medios mecánicos o por recirculación del gas.

Figura 1. Proceso 1

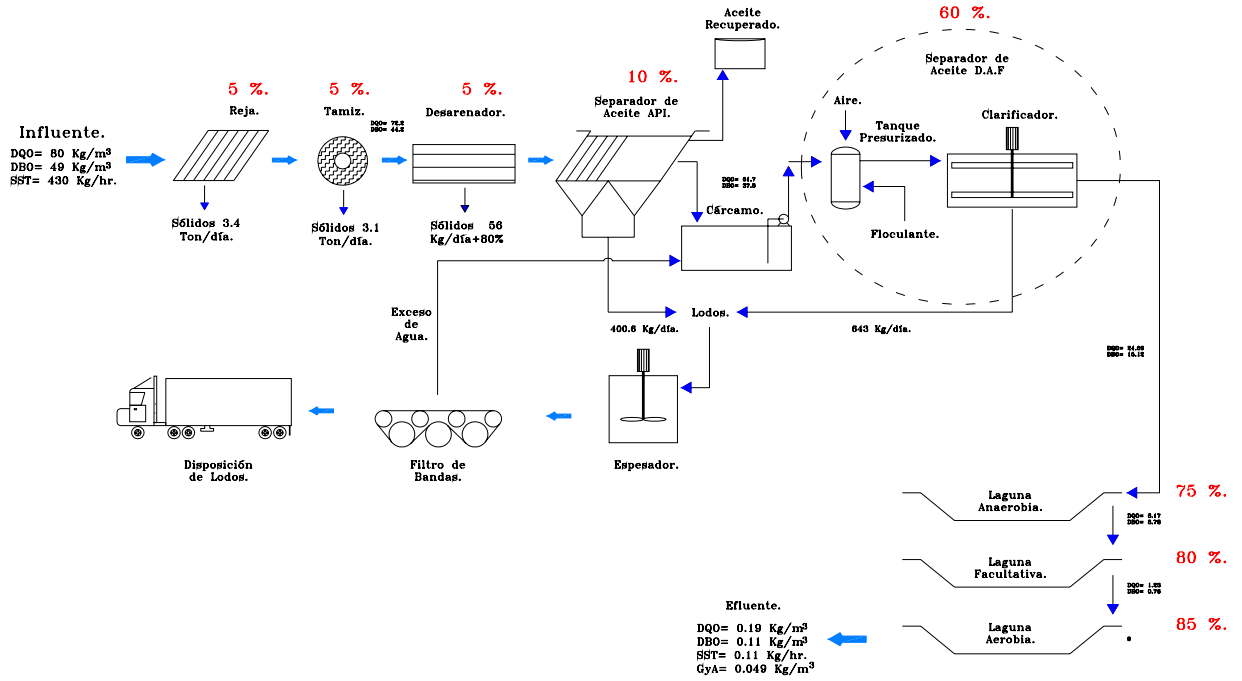


Figura 2. Proceso 2

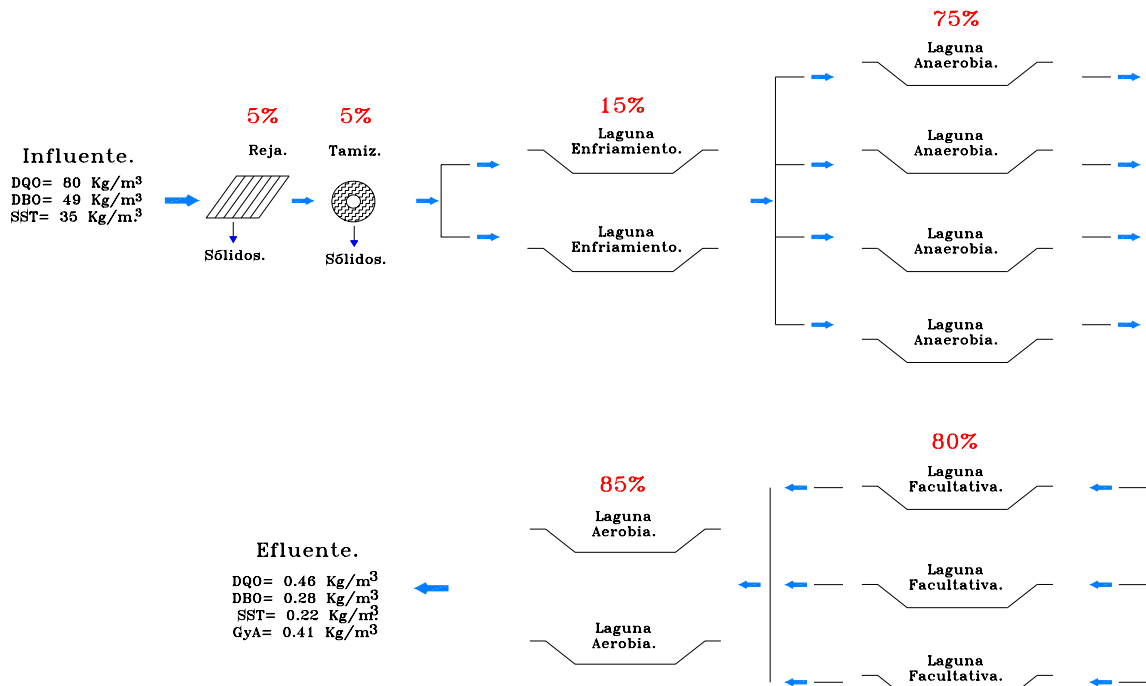


Figura 3. Proceso 3

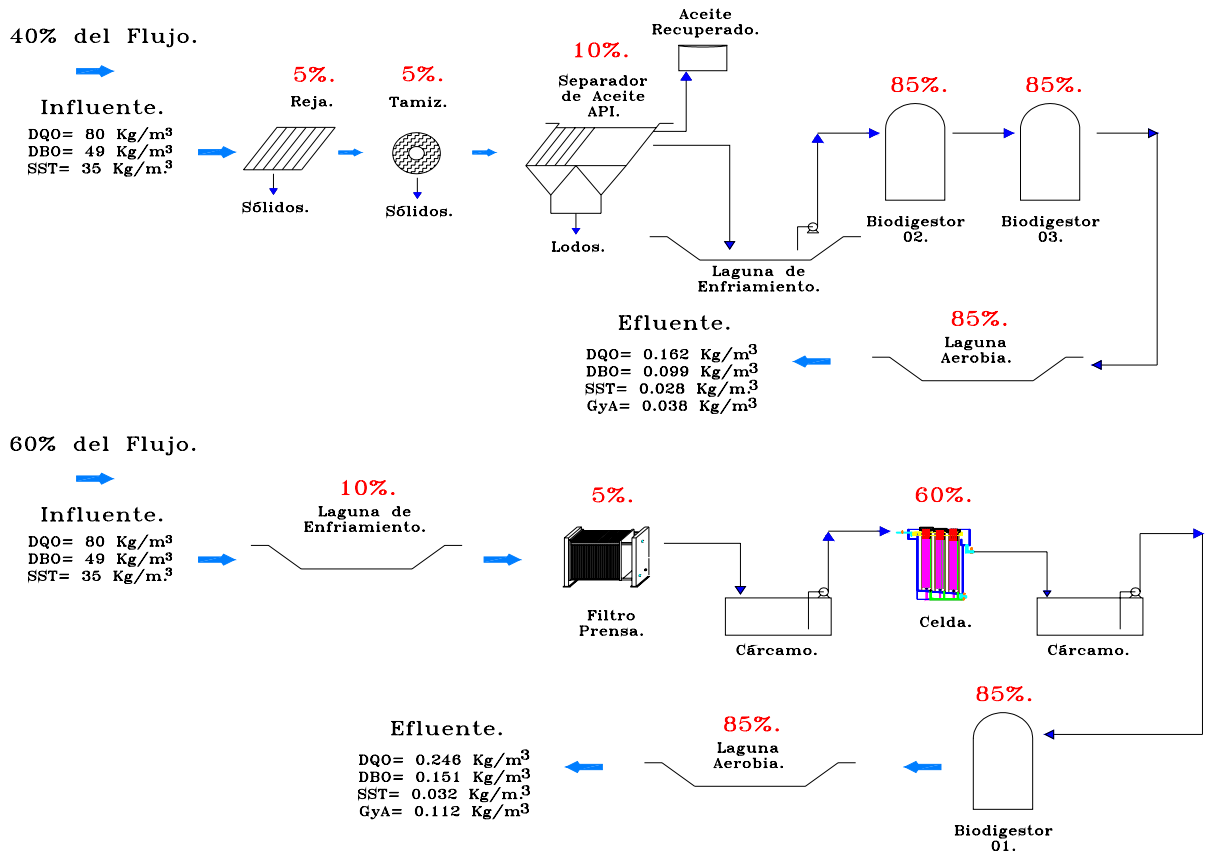
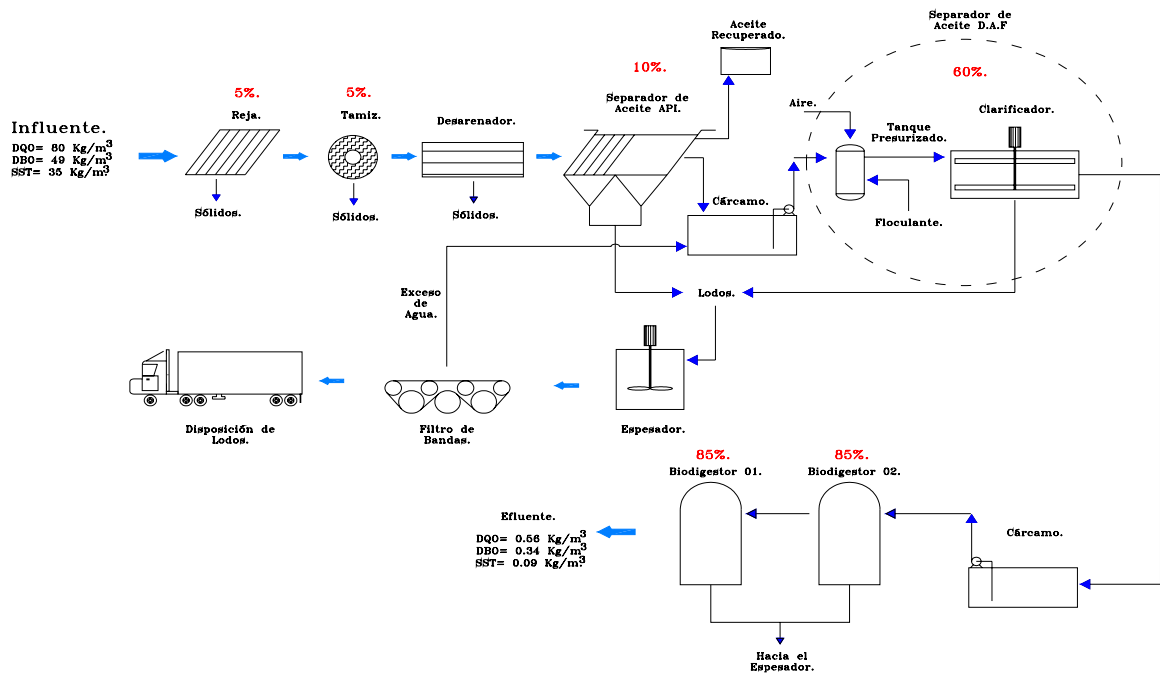


Figura 4. Proceso 4



Análisis de alternativas de tratamiento

Las graficas siguientes muestran una comparación entre los costos de operación y de construcción de los cuatro procesos analizados.

Figura 5. Costo de energía por día

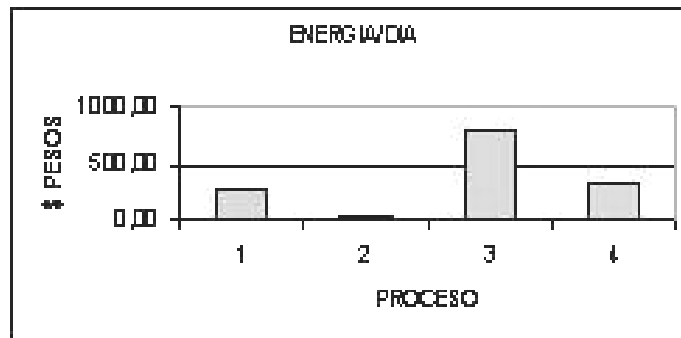
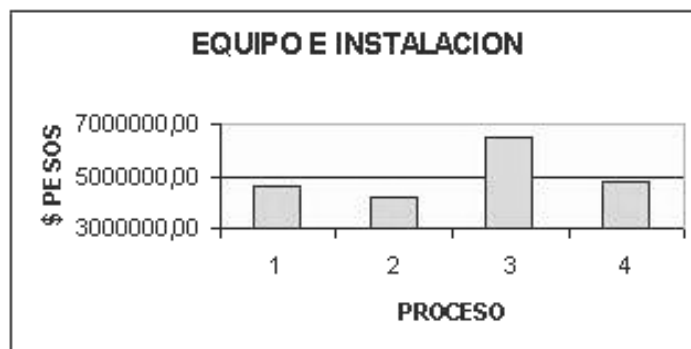


Figura 6. Costo de equipo e instalación



Como se observa, el proceso tres es el que tiene más altos costos operativos, y por el contrario el proceso dos tiene los costos operativos más bajos. El proceso tres también muestra los costos de construcción más altos, siendo los más bajos los del proceso dos.

En el análisis de los cuatro procesos también se tomaron en consideración otros parámetros, los cuales se pueden observar en la tabla siguiente.

El agua en la frontera México-Guatemala-Belice

Tabla 7. Tabla comparativa análisis de parámetros

| OPCIÓN | Influyente DQOt DBOt SST [mg/L] | Efluente DQOt DBOt SST [mg/L] | Eficiencia total [%] | Tiempo de retención total [Días] | Área total del equipo empleado [m ²] | Estimado de equipo \$M.N. | Costo de operación [\$/día] | Costo Mantenimiento [\$/día] | Tiempo de Construcción [meses] | Olores Generación |
|--------|---|---|----------------------------|--|---|---------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|----------------------|
| UNO | 80000 49000 35000 | 190 110 110 | 99.7 | 8.055 | 1136 | 4'653,621 | 1211.1 | 242.22 | 8 | medio |
| DOS | 80000 49000 35000 | 460 280 220 | 99.4 | 36.89 | 5554 | 4'280,543 | 324.26 | 64.85 | 10 | alto |
| TRES | 80000 49000 35000 | 200 122 28 | 99.7 | 4.75 | 610 | 6'520,649 | 1803.23 | 270.83 | 8 | bajo |
| CUATRO | 80000 49000 35000 | 560 340 90 | 99.3 | 3.07 | 87.85 | 4'836,569 | 1276.52 | 255.30 | 8 | bajo |

Tabla 8. Tabla comparativa de opciones de tratamiento

| | Opción 1 | Opción 2 | Opción 3 | Opción 4 | Ponderación |
|--|----------|----------|----------|----------|-------------|
| Tiempo de estabilización | 0 | 0 | 1 | 1 | 0.005 |
| Flexibilidad de tratamiento | 0 | 1 | 0 | 0 | 0.005 |
| Reutilización para riego | 1 | 0 | 1 | 0 | 0.005 |
| Generación de lodos | 0 | 1 | 0 | 0 | 0.025 |
| Biomasa aprovechable | 1 | 1 | 1 | 1 | 0.005 |
| Materia en suspensión en el efluente | 0 | 0 | 1 | 1 | 0.1 |
| Pérdidas considerables por evaporación | 0 | 0 | 1 | 1 | 0.1 |
| Elevada ocupación del terreno | 1 | 0 | 1 | 1 | 0.1 |
| Impacto en flora | 1 | 0 | 1 | 1 | 0.005 |
| Probabilidad de falla en operación | 1 | 1 | 0 | 0 | 0.05 |
| % Eficiencia de remoción | 1 | 0 | 1 | 0 | 0.05 |
| Costo inversión | 1 | 1 | 0 | 1 | 0.1 |
| Costo operación | 0 | 1 | 0 | 0 | 0.3 |
| Olor | 0 | 0 | 1 | 1 | 0.24 |
| Suma | 7 | 6 | 9 | 8 | 1 |
| Suma ponderada | 0.315 | 0.485 | 0.52 | 0.565 | |

Conclusiones

Como se observa en la tabla anterior, a cada factor se le asignó un 0 y un 1, según fuera un factor positivo o negativo, respectivamente. Además, en la columna de la derecha se ponderó cada factor según su importancia. Se consideró una serie de factores que pueden ser evaluados para la selección de un proceso de tratamiento de efluentes.

Para el caso de estudio, se determinó que la opción número cuatro es la mejor alternativa, aunque esto podría cambiar para distintas condiciones, por ejemplo: si la planta no estuviera cerca de zonas urbanas, los olores no serían un factor tan importante como aquí se consideró, y si el área fuera reducida, ésta cobraría mayor importancia. Como se observa en la tabla anterior, hay una gran cantidad de factores que están involucrados para determinar cuál es el proceso más conveniente desde el punto de vista técnico, económico y social para este tipo de efluentes, lo que indica que la mejor opción dependerá de las necesidades particulares de cada empresa, por lo que la ponderación de los factores analizados variará en ese sentido.

En este trabajo se analizaron las tecnologías para este tipo de efluentes, obteniéndose costos de operación e inversión, y analizando las ventajas y desventajas de cada tecnología. La tabla 8 es una herramienta práctica para la toma de decisión acerca del proceso más conveniente. Como ya se ha comentado, esto dependerá de la ponderación y los intereses de cada empresa productora de aceite de palma.

Glosario de términos

DQO. Demanda química de oxígeno.

DBO. Demanda bioquímica de oxígeno.

Suelo franco-arcilloso. Tiene bastante arcilla, pero también lleva mucho limo. De arena, poca.

- Arcilla son partículas minerales que miden menos de 0,001 milímetro.
- Limo son partículas minerales de entre 0,001 milímetro y 0,01 mm.
- Arena son partículas minerales de entre 0,01 y 0,1 milímetros.

Literatura citada

Conil, Philippe (1997). *La valoración de los subproductos de la planta tratamiento de efluentes de las extractora de aceite de palma "Palmar Santa Elena"*, Tumaco, Colombia, en <http://www.bio-tec.net/esp/publicaciones.html>.

Chin, K.K., Lee, S.W., Mohammad, H. H.(1996). "A Study of Palm Oil Mill Effluent Treatment Using a Pond System", *Water Science and Technology*, 34 (11), pp.119-123.

García, J.A., Uribe, L. D. (1997). "Manejo de efluentes de plantas extractoras", *CENIPALMA Boletín técnico No 11*, Colombia.

Setiadi T., Husaini, Asis Djajadiningrat (1996). "Palm Oil Mill Effluent Treatment By Anaerobic Baffled Reactors: Recycle Effects and Biokinetic Parameters", *Water Science and Technology*, 34 (11), pp.59-66.

**EL AGUA, RECURSO NACIONAL. SU DISPONIBILIDAD
Y MANEJO EN EL NORTE Y SUR DEL PAÍS**

Norma Patricia Muñoz Sevilla
Ana Laura Domínguez Orozco

Resumen

Debido a la importancia del agua como un recurso que puede llegar a ser limitante para el desarrollo económico y social de los países, en los últimos años se ha intensificado el estudio de la cuantificación de la disponibilidad del líquido. 70% de la superficie de la tierra está constituida por agua, pero la mayor parte es oceánica. En volumen, sólo 3% de toda el agua del mundo es dulce, y en general no se encuentra disponible.

Así, unas tres cuartas partes de toda el agua dulce son inaccesibles, en forma de casquetes de hielo y glaciares situados en zonas polares muy alejadas de los centros de población. Sólo 1% es agua dulce superficial fácilmente accesible, que en esencia es la que se encuentra en los lagos y ríos, y a poca profundidad en el suelo, de donde puede extraerse sin un gran costo. Debemos tomar conciencia de que no se está produciendo nueva agua, es la misma que ha sido utilizada durante millones de años y le estamos dando un uso completamente erróneo; por lo tanto, vale la pena lanzar el siguiente cuestionamiento: ¿el agua es un recurso renovable o no renovable?

Introducción

El planeta Tierra, debería llamarse Planeta Azul, por la proporción de agua que lo conforma. El agua es un elemento vital que sostiene ecosistemas y la actividad humana; constituye el 75% de nuestro cuerpo y cubre el 70% del planeta. Es esencial para la producción alimentaria; determina dónde vivimos, qué comemos y si estamos enfermos o saludables; en síntesis, es el factor indispensable para la vida y el fundamento del desarrollo, entendido éste como un bienestar en armonía entre ambiente y ser humano.

El agua en la frontera México-Guatemala-Belice

Del 100% del agua que existe en el planeta, 97% es agua salada y solo el restante 3% es agua dulce; dos tercios se encuentran en forma congelada en los glaciares de los polos norte y sur. Sólo 1% del total del agua existente en el mundo es accesible para el ser humano en los lagos, ríos y en mantos de agua bajo la tierra, a poca profundidad.

El agua es un recurso natural fundamental, una necesidad humana básica y un requerimiento vital para todas las actividades de desarrollo. Siempre se ha dicho que el agua es vida. En consecuencia, la planeación para el desarrollo tiene necesariamente que incluir el desarrollo de los recursos hidráulicos. Esto requiere una cuidadosa estimación de la disponibilidad total del recurso y de la proyección de sus demandas, y una propuesta razonable de las medidas y restricciones adecuadas para el buen manejo de su abastecimiento, uso y conservación (www.infoforhealth.org).

Más de 1,200 millones de personas en el mundo no poseen agua potable, pese a la abundancia de este líquido en todo el planeta. Además, unos 2,400 millones carecen de alcantarillado e infraestructura para el tratamiento de este recurso. Se estima que cada día mueren 6,000 niños por males relacionados con el consumo de agua sin las condiciones de salubridad necesarias, y que 80% de las enfermedades que se registran en el mundo en desarrollo, se originan en la ausencia de este líquido. El nivel de uso del agua también pone de manifiesto el nivel de urbanización de un país. El bajo uso doméstico actual en muchos países en desarrollo, a menudo refleja lo difícil que es obtener agua dulce (Cámara de Diputados, 2003).

Los sistemas de agua por tubería son raros en las zonas rurales. Dos tercios de la población mundial, en su mayor parte en los países en desarrollo, obtienen el agua en fuentes públicas, pozos comunales, ríos y lagos, o el agua de lluvia recogida de los techos. Con frecuencia, en la población rural, generalmente las mujeres y niñas deben caminar varios kilómetros y pasar muchas horas buscando agua para la familia. En África, por ejemplo, las mujeres y niñas pasan 40,000 millones horas/hombre por año acarreando agua (www.un.org).

Situación de México

En los últimos 50 años, la disponibilidad promedio de agua en México por habitante ha bajado de 18 m³ por año a 4,841 m³, lo que representa apenas 26% de la cantidad que se tenía disponible en 1950, según reveló la Comisión Nacional del Agua (CNA, 2003b). Las asimetrías en la distribución de los recursos hidráulicos, la disparidad poblacional y la contaminación, son algunas de las razones que explican la escasez del líquido. Se calcula que más de la mitad del territorio mexicano localizado en el norte concentra el 75% de la población, pero sólo recibe 9% de la precipitación pluvial. Asimismo, existe un enorme desperdicio de agua para uso agrícola: del consumo total en México, 78% está destinado para el riego de cultivos, y de esta proporción el 54% es desperdiciado (CNA, 2003b).

En México, 12 millones de habitantes carecen del servicio de agua potable en sus hogares, de los cuales 7.5 millones habitan en zonas rurales y 24 millones carecen de alcantarillado; sólo se trata el 26% de las agua residuales. Existe un marcado contraste entre distribución de agua y grado

de desarrollo de la población, con la disponibilidad del agua en cada región del país. La región sureste, que alberga al 23% de la población y aporta el 14% del Producto Interno Bruto (PIB), recibe 68% de la disponibilidad de agua en el país, lo que equivale a 14 mil 300 m³/hab./año. En cambio, las regiones centro, norte y noroeste, que albergan al 77% de la población y aportan el 86% del PIB, reciben únicamente 32% de los escurrimientos anuales, lo que resulta en solo 2 mil m³/hab./año.

Problemática regional y su impacto

El centro y el norte del país constituyen el problema número uno en México, al punto que el manejo de las aguas lo realizan especialistas en táctica militar; es un tema de “seguridad nacional”, asegura Alfonso Ciprés, presidente del Movimiento Ecológico Mexicano. “El problema del agua es ampliamente reconocido por las autoridades: la población, la actividad económica y las mayores tasas de crecimiento se concentran en el centro, norte y noroeste del país, donde la disponibilidad de agua per cápita alcanza un valor internacionalmente considerado como peligrosamente bajo”. “En un número cada vez mayor de regiones, la reserva almacenada en el subsuelo será la principal y en ocasiones la única fuente de agua, por lo que los acuíferos se convierten en un recurso patrimonial estratégico”, agrega la CNA (2003b).

Por otro lado, la situación más grave se encuentra en la Ciudad de México (Distrito Federal y zonas conurbanas del estado de México), con 20 millones de habitantes, 20% de la población total. Esta megaurbe, ubicada a 2,240 metros sobre el nivel del mar, importa de poblaciones

vecinas el 30% de sus requerimientos, lo que hace que el agua en esta ciudad sea una de las más costosas en términos económicos y ecológicos, ya que debe traerse de fuentes que están a 200 kilómetros y elevarse 1,500 metros para pasar la cadena montañosa que rodea a la capital.

El alto costo de la infraestructura para llevar el agua hasta donde se encuentra la mayor parte de la población, se ve superado por los costos de no haber considerado su impacto ambiental. Esta infraestructura modificó drásticamente la estructura de muchos paisajes ecológicos, al invadir o destruir coberturas vegetales y al erosionar suelos. Además, 77% de las aguas negras urbanas e industriales se vierten sin tratamiento fuera de las ciudades, lo que mantiene contaminadas a la mayor parte de nuestras aguas superficiales.

La expansión de la ganadería extensiva, especialmente desde fines de los sesenta hasta principios de los ochenta, propició la destrucción de las selvas tropicales húmedas. Ecosistemas que ocupaban más de 200 mil km² en la zona del Golfo de México quedaron reducidos a menos de la cuarta parte. En particular, la selva alta perennifolia, uno de los ecosistemas más ricos del planeta por su biomasa y su biodiversidad, quedó reducida al 15% de su extensión original en el país.

El promedio de la precipitación en México es de 777 mm anuales y su distribución es muy irregular. Para dar una idea, más de la mitad del territorio mexicano localizado al norte y en el altiplano recibe sólo 9% de la precipitación media anual, pero concentra 75% de la población del país, 70% del PIB industrial y 40% de las tierras agrícolas de temporal.

Por otra parte, casi 70% de la precipitación anual se da en el sureste de México, donde vive 24% de la población y la industria es incipiente, excepto la relacionada con el petróleo. En general, las lluvias se acotan a un periodo restringido que pocas veces se extiende más allá de junio a septiembre. Respecto a la altitud, existen también desequilibrios considerables. Además, 85% del volumen almacenado en más de 4 mil estructuras de control de distribución y suministro de agua se localiza a no más de 500 metros sobre el nivel del mar. Sin embargo, 75% de la población vive a una mayor elevación.

Todo esto dificulta el aprovechamiento del agua. Los cortos periodos de lluvias y las sequías prolongadas obligan a almacenarla en infraestructura adicional para su manejo. Por fortuna, el agua subterránea contenida en los mantos acuíferos del país tiene una amplia distribución geográfica, aunque es un recurso agotable y en algunos lugares se localiza a gran profundidad.

Aguas subterráneas

Se tienen identificados 459 acuíferos, que reciben una recarga natural estimada en 48 billones de metros cúbicos, a los cuales se les agregan 15 billones de m³ provenientes de la irrigación. El total de la extracción se estima en 73 billones de metros cúbicos, lo que representa casi el 15% de los recursos de agua disponibles. La agricultura utiliza 83% del agua extraída; el abastecimiento de agua municipal (doméstica y uso industrial menor), 12%; el abastecimiento industrial no conectado

a redes municipales, 3%, y la acuacultura intensiva, 2%. Lo anterior representa 39% de la cantidad extraída (Székely, 2003).

Para el presente ciclo, la sequía que se registra en Sinaloa puede poner en riesgo los cultivos del próximo ciclo agrícola, aseveró Alfredo Fernández Gallegos, delegado de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) en Sinaloa. Ese problema se ha agravado porque las cifras de superficie sembrada en el ciclo otoño-invierno superaron a las programadas.

A pesar de que a Sinaloa se le conoce como el “estado de los ríos”, enfrenta graves problemas de abastecimiento de agua, lo que principalmente se ve reflejado en la ganadería y en la agricultura. En su mayoría, los sistemas de riego desperdician agua. Por lo común, sólo entre 15% y 50% del agua extraída para la agricultura de regadío llega a la zona de cultivos. La mayor parte se pierde por absorción en las acequias no revestidas, por las fugas de las cañerías o por evaporación antes de llegar a los campos de cultivo. Si bien, parte del agua "perdida" en los sistemas de riego ineficientes retorna a las corrientes de agua o acuíferos –de donde puede volver a extraerse–, su calidad se ha degradado por acción de los plaguicidas, fertilizantes y sales que se escurren por el suelo.

Sinaloa es una de las entidades agrícolas más importantes del país. La agricultura se concentra en la llanura costera, donde las precipitaciones son insuficientes para satisfacer las necesidades hídricas de los cultivos, por ello, la mayoría de las tierras cuenta con infraestructura para riego, cuyos principales cultivos son caña de azúcar, maíz, frijol, papa, cártamo, soya,

algodón, entre otros. Hacia el pie de la sierra, los terrenos sostienen agricultura de temporal, con la cual se produce principalmente sorgo, maíz, garbanzo, pastos, cártamo y mango.

Conflictos nacionales e internacionales por el uso del agua

El agua podría ser el móvil de las guerras del siglo XXI, como han señalado en numerosas ocasiones expertos y funcionarios de la Organización de Naciones Unidas. Aunque no todos comparten esa afirmación, pocos dudan que el agua es una fuente de crecientes conflictos. Un caso muy concreto lo tenemos en nuestra frontera al norte del país. El gobierno de Estados Unidos y el meridional estado de Texas, fronterizo con México, reclaman a México (amparados en el tratado de 1944 que rige el uso compartido del río Bravo) el pago de una deuda de unos 2,000 millones de metros cúbicos de agua. México respondió que no puede pagar debido a las sequías que sufre, pero también admitió que más de 70% del agua disponible en su frontera con Estados Unidos se pierde en forma de fugas y evaporación, así como en ineficientes sistemas de riego. El río Bravo marca 61% de la frontera de 3,200 kilómetros entre los dos países (www.unep.org).

En la disputa, Texas amenazó con iniciar acciones legales contra México, mientras el gobierno de Vicente Fox prometió que cumplirá con los compromisos internacionales, pero sin sacrificar a sus compatriotas. Cada año, Estados Unidos debe entregar a México 1,850 millones de m³ de agua del río Colorado (oeste) y México debe aportar a Estados Unidos 432 millones de metros cúbicos de agua del río Bravo (centro y este). Finalmente, en junio pasado, ambos gobiernos alcanzaron un acuerdo que evidencia la carencia de agua mexicana: México abonará el

6% del total de su deuda. Ese diferendo demostró que el “agua no alcanza para los dos países” y que México “vive una crisis de agua”, señala por su parte Homero Aridjis, presidente del Grupo de los Cien.

México recibe 1,570 km³ de agua por precipitación y pierde por evaporación 1,064 km³, lo que establece la oferta de agua a escala nacional en 473 km³. Fluyen por cauces y vasos superficiales 410 km³ y el resto recarga a través de mantos acuíferos (63 km³). En 1995 se usaron 163 km³ de aguas superficiales (40% del total disponible) y 24 km³ de subterráneas (38% del total de recarga), lo que aproxima la demanda nacional a 190 km³ anuales.

El agua superficial se utiliza en general para generar electricidad (113 km³) en plantas termo e hidroeléctricas. Puesto que esta agua vuelve a su cauce y se le puede dar otro uso, se considera que no se consume. El volumen total consumido tanto de aguas superficiales como subterráneas asciende a 73 km³, de los cuales el mayor porcentaje le corresponde al sector agrícola con 61 km³ (83%), y después al uso doméstico amplio con 8.5 km³ (12%). La industria utiliza 2.5 km³ (3%), y en acuacultura intensiva y otros se invierte 1.4 km³ (2%).

A pesar de ser el más grande consumidor de agua del país (83%), el sector agrícola contribuye sólo con el 3% del PIB nacional, mientras que la industria manufacturera, minera y de construcción aporta casi el 30% del PIB y consume sólo el 3% del agua. México tiene un consumo anual de agua de 780 m³ per cápita, similar al promedio de las naciones integrantes de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), pero superior al de los países europeos perteneciente a esta misma organización. La intensidad de uso, expresada en

términos de la demanda como porcentaje de los recursos disponibles, también se asemeja a la de estos países.

Uso y aprovechamiento del agua en México

Proyecciones de demanda para el año 2020

El uso del agua aumentará en función del crecimiento e intensidad de las actividades económicas del país y desde luego, de su crecimiento demográfico. Los posibles escenarios de demanda permiten perfilar políticas de manejo y prever estrategias institucionales para enfrentar necesidades cada vez mayores, bajo presiones de sobreexplotación de fuentes y escasez recurrente del líquido.

Las tendencias demográficas en México plantean retos formidables de suministro y tratamiento de aguas. La población del país dentro de 22 años será de 141 millones de habitantes, de mantenerse las tasas actuales de crecimiento demográfico (1.8%). Según estimaciones oficiales, en un escenario que mantenga un crecimiento económico del PIB de 3%; un desarrollo industrial que aporte el 22% del PIB nacional, incrementos poco considerables en la eficiencia de conducción, distribución y aplicación de agua en riego agrícola y baja productividad de los cultivos, se espera en el año 2020 que la demanda de agua para uso consuntivo sea de 100 km³ (3,181 m³/s) en lugar de los 73 km³ actuales.

De acuerdo con los resultados del XII Censo General de Población y Vivienda 2000, México tiene una población de 97.4 millones de habitantes. Por otro lado, los análisis del Consejo Nacional de Población (CONAPO) indican que la tasa de crecimiento ha disminuido de 1.7% en

1995 a 1.4% en 2000. Aun con esta disminución en la tasa de crecimiento poblacional, se estima que en el año 2025 México tendrá 26 millones de habitantes adicionales y que la población seguirá creciendo hasta alcanzar un máximo de aproximadamente 133 millones en 2040, para luego empezar a descender.

La industrialización y el crecimiento de las actividades urbanas hicieron que el perfil de desarrollo pasara de ser rural a uno predominantemente urbano. Actualmente, 75% de los mexicanos habitan en medio urbano (localidades con población de 2,500 o más habitantes). De acuerdo con los estudios de CONAPO, los principales polos de atracción para la población son las ciudades de México, Guadalajara y Tijuana.

La población, la actividad económica y las mayores tasas de crecimiento se concentran en el centro, norte y noroeste del país, donde la disponibilidad de agua per cápita alcanza valores cercanos a los 2,000 m³/hab/año, valor considerado como peligrosamente bajo. Esta situación comienza a generar problemas de suministro, sobre todo en periodos de sequía (CNA, 2003a).

Finalmente, en relación con el índice de marginación por entidad federativa, municipal y por localidad, de acuerdo con los datos de CONAPO, se observa que las entidades federativas de Chiapas, Guerrero, Oaxaca y Veracruz tienen un grado de marginación muy alto; ocho entidades presentan un grado de marginación alto, siete un grado medio y las entidades restantes un grado de marginación bajo y muy bajo. En los cuatro estados mencionados al principio, las coberturas de agua potable, alcantarillado y saneamiento son muy inferiores a la media nacional.

Literatura citada

Cámara de Diputados (2003). *El Agua dulce en el mundo*. Dirección General de Bibliotecas, Servicio de Investigación y Análisis, en www.cdddhev.gob.mx.

Comisión Nacional del Agua (2003a). *Primera reunión del Comité Mexicano del Año Internacional del Agua dulce*, CNA. México, en www.wateryear2003.org.

Comisión Nacional del Agua (2003b). *Sistema de Información Geográfica del Agua*, CNA. México, en <http://www.cna.gob.mx>.

Székely, Francisco (2003). *Reformas a la Ley de Aguas Nacionales*, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México.

The John Hopkins School of Public Health (1998). *Disponibilidad y uso del agua*, Center for Communication Programs, 26 (1), en www.infoforhealth.org.

United Nations Environment Programme (2003). *Water-Two billion people are dying for it*, World Environment Day. 5 June, en www.unep.org.

Year of freshwater to be focus of 2003. World environment day (2003). *Observance at an headquarters*, Press Release Note N° 5795, en www.un.org.

**ESTADO, SOBERANÍA Y MANEJO INTEGRAL DE LAS
CUENCAS TRANSFRONTERIZAS INTERNACIONALES**

Patricia Herrera Ascencio

Resumen

Tradicionalmente se ha dejado al Estado como el único titular para ejercer la soberanía, sin embargo al verse desplazado por la empresa transnacional, se ha recrudecido su inclinación hacia un solo grupo social que tiene el poder y los recursos económicos, imponiéndose así la soberanía según Bodin. Aunque la soberanía popular, según Rousseau, se manifestó en las constituciones democráticas y el sufragio universal, ésta ha estado cooptada por las elites políticas y los grupos sociales privilegiados. En el proceso de globalización no se debe ceder soberanía, sino que se deben generar dinámicas de cooperación para beneficio de las partes. El factor ambiental es el elemento clave para recuperar y ejercer la soberanía desde una perspectiva de corresponsabilidad social. ¿El escenario?: una cuenca hidrológica, en virtud de que allí confluyen recursos naturales y población, considerando seis factores básicos: legales, sociales, políticos, financieros, ambientales y tecnológicos. Más de la mitad de los cuerpos de agua que poseen la mayor cantidad del líquido en el mundo son transfronterizos, lo cual además de representar un gran potencial de conflicto, implica aspectos internos y externos de soberanía. El manejo de las cuencas internacionales es un área obvia donde la cooperación entre Estados y personas es esencial, y esta cooperación refuerza –y no disminuye–, la soberanía de cada Estado.

Introducción

En los asuntos ambientales, el rol del Estado es potencialmente importante tanto por su carácter normativo y regulativo como por el poder de convocatoria y organización que puede adquirir, y sería positivo si fuera para el buen manejo de los recursos. No obstante, y dada la estructura del sistema capitalista, su función ha sido hasta cierto punto negativa, y para comprobarlo basta con ver su inclinación hacia un solo grupo social que tradicionalmente ha tenido el poder y los recursos económicos. Aun con ello, en las últimas décadas, el Estado se ha visto sobrepasado y relegado por ese gigante que es la empresa transnacional, actor internacional que desconoce

fronteras y que incluso alcanza ingresos muy superiores a lo que puede llegar a ser el Producto Interno Bruto de un Estado-nación.

Ahora bien, para replantear este nuevo rol del Estado, es necesario que la sociedad se inserte de manera activa y participativa, y resulta imprescindible reconsiderar algunos de los conceptos involucrados, tal es el caso de la soberanía.

El Estado se define a partir de la organización institucional del poder político de una comunidad nacional. Los tres elementos del Estado son: pueblo, territorio y poder soberano. El poder es la capacidad de decisión y de “hacer por sí mismo”, de determinar que “otros hagan” o por lo menos de tener alguna influencia en su actuación. Se puede imponer por la fuerza o bien puede basarse en la autoridad proveniente del prestigio, honestidad, conocimiento. La soberanía es la fuente de todos los poderes públicos y se establece como un derecho supremo en el cual todos los derechos particulares encuentran su síntesis y su razón común. Sin soberanía no existe el Estado.

Soberanía

El concepto de soberanía surgió con el nacimiento del Estado moderno. El francés Jean Bodin lo empleó en el siglo XVI para reforzar el poder del rey francés sobre los señores feudales rebeldes. Hobbes identificó el poder absoluto con la figura del monarca. Los teóricos de la ilustración atacaron el carácter absoluto del Estado al introducir los conceptos de división de poderes (Locke), soberanía nacional y soberanía popular (Rousseau). Tras la revolución francesa, la doctrina de la soberanía popular según la cual el poder del Estado emana del conjunto de los individuos que componen el pueblo, encontró su expresión en la elaboración de constituciones democráticas y en la adopción del sufragio universal. El carácter individual del derecho de autodeterminación y su iniciativa no es un planteamiento frecuente, se opone a las estrategias más habituales de los nacionalismos sin Estado. Es habitual que las elites políticas se

apropien de la soberanía popular y la población asume el grave riesgo de que la confrontación política esconda realmente una lucha entre elites (De la Cueva, 1964).

Posteriormente, la difusión de teorías revolucionarias como el marxismo, que criticaban el acaparamiento del poder estatal por los grupos sociales privilegiados, contribuyó a restar validez al concepto de soberanía. No obstante a lo largo del siglo XX, se produjo una progresiva limitación de la soberanía plena del Estado como consecuencia de la aparición de organismos con autoridad supranacional, como el Sistema de Naciones Unidas o la Unión Europea, o los Tratados de Libre Comercio como el NAFTA. Hoy en día no se puede hablar de poder soberano, ya que tiene límites internos (constitución) y externos (acuerdos internacionales) (Carpizo, 1980).

La democracia radical sólo acepta la soberanía en el individuo, en el ser humano. Ningún otro sujeto es titular de derecho político alguno. Ni nación, ni parlamento, ni constitución; la soberanía por esencia es intransferible. La democracia representativa, tal y como se ha establecido en los regímenes contemporáneos, pervierte deliberadamente este principio. Nuestras predemocracias convierten a los simples gestores en titulares de nuestra soberanía. La autodeterminación es un fenómeno político con profundo sentido democrático, históricamente tan utópico como el derecho al control popular de la guerra.

Nacionalismo y democracia no son excluyentes si el fundamento último de la nación es el consentimiento, no las fronteras, ni la lengua, ni la historia, ni la raza, ni la religión. Los únicos titulares de soberanía son los individuos; aunque como ser social, el hombre ejerce colectivamente sus derechos políticos. Debemos asimilar el ejercicio del derecho de autodeterminación a otros ejemplos más clásicos, como la libertad religiosa, de manifestación o de huelga (Heller, 1965).

En los años setenta, los profundos cambios tecnológicos dieron la pauta para acelerar, profundizar, generalizar y transfigurar los procesos de internacionalización que luego de los ochenta fueron perfilando los rasgos de lo que se conocerá como globalización. Por

consiguiente, la multiforme y cambiante división internacional del trabajo produce entonces nuevos movimientos de relocalización hacia los países centrales, acentuando así la enorme desigualdad y polarización entre las naciones del centro y los muy diferenciados países periféricos de un sur que se fracciona sin cesar.

La empresa transnacional se vuelve el principal motor de la economía, relegando al Estado-nación la dificultad para identificar una sola territorialidad (jurídica, económica, tecnológica) debido a las numerosas interrelaciones e integraciones de las distintas fases de la producción. Se da otro tipo de Estado directamente subordinado a la lógica del mercado con aparatos más reducidos, que tiende a reconstituir sus funciones sociales a partir de nuevos criterios de eficiencia, subsidiariedad económica y corresponsabilidad social. Los acuerdos internacionales y regionales resuelven problemas internos, reformulando la soberanía nacional en nuevos requerimientos de interdependencia. La globalización desborda los procesos del Estado-nación, las economías, las culturas, así como el flujo de innovación de la producción fuera del territorio de origen de los actores.

La mundialización de las empresas trajo la mundialización financiera y ésta se independiza poco a poco de la producción, obedeciendo a su propia lógica. La competencia intercapitalista provoca el desbordamiento de los Estados-nación por parte del capital, dificultando la aplicación de las políticas económicas nacionales. Más que la homogenización en la interdependencia, la globalización alienta la polarización, potenciando todas las diferencias y segregaciones tanto entre los Estados-nación –arrastrados a la competencia mercantil– como al interior de sus sociedades, divididas por contradicciones sociales, influjo de procesos y fuerzas mundiales que las desbordan (Anguiano, 1998).

En este contexto de repliegue del Estado que se aniquila, el factor ambiental es la única forma a través de la cual el Estado puede recuperar terreno frente a la empresa transnacional, y ello sólo será posible a través del ejercicio pleno del concepto de soberanía, particularmente en cuanto a la corresponsabilidad social se refiere. Esto ya no es soberanía en favor de los grupos

dominantes de la sociedad, sino soberanía popular, según la cual el poder del Estado emana del conjunto de los individuos que componen el pueblo.

Aquí es donde se da la recomposición del Estado y del rol de la sociedad, pues al ser el factor ambiental un elemento de disputa como insumo directo de las economías, se le otorga carácter de bien económico que se reduce al sistema de apropiación clasista, generando así el conflicto. Es la sociedad quien lo provoca, pues el abuso y el consumo son pilares esenciales y sus objetivos se orientan hacia el crecimiento en lugar del desarrollo,¹ y es aquí que la tecnología y el mercado son los aceleradores del colapso. En cambio, si el objetivo es el desarrollo integral y equilibrado en todo el país, entonces la tecnología se convierte en una herramienta útil para lograr un balance entre recursos naturales y bienestar social.

Aun más, en el proceso de globalización, la internacionalización de lo económico, productivo, tecnológico y jurídico, profundiza las diferencias del desarrollo alcanzado en los países y establece un estado de competencia que vuelve sujeto del conflicto al factor ambiental. En el marco de la globalización, no se debe ceder soberanía: se deben generar dinámicas de cooperación que beneficien a ambas partes.

Para el caso específico del sector agua, en el territorio delimitado por la propia naturaleza y que se denomina cuenca hidrológica, confluyen recursos naturales y población, y se dan condiciones físicas, biológicas, económicas, sociales y culturales, con características particulares. La interdependencia y los grados de desarrollo que se presentan al interior de la cuenca hacen del recurso un motivo de competencia y, por ende, motivo de conflicto, de allí que se requiera de mecanismos de conciliación de intereses. Sobre todo cuando la condicionante no son los límites físicos sino el cómo se accede a la naturaleza.²

¹ El crecimiento se entiende aquí como un proceso incontrolado de acumulación de poder o riqueza desmedida. Por su parte, el desarrollo implica un proceso controlado, organizado y compartido de riqueza, vinculado a la capacidad de carga de los recursos naturales.

² Esto es, las contradicciones sociales que se establecen y cuyo origen son las relaciones sociales de producción.

Manejo de cuencas y administración de aguas

Utilizando el concepto de soberanía en que la titularidad recae en el individuo, se propone su ejercicio directamente en el manejo de los recursos naturales, como es el agua, y si se trata de una cuenca internacional, a través del establecimiento de una entidad de cuenca.

La definición de manejo de cuenca parte de un concepto hidrológico-forestal desarrollado por la Universidad de Colorado y aplica sólo para Estados Unidos: es el arte y la ciencia de manejar los recursos naturales de una cuenca con el fin de controlar la descarga de agua en cantidad, calidad, lugar y tiempo de ocurrencia. En el caso de los países en desarrollo, la definición más completa es la del Colegio de Ingenieros del Perú, que señala que por manejo de cuencas se entiende la aplicación de principios y métodos para el uso racional e integrado de los recursos naturales de la cuenca, fundamentalmente agua, suelo, vegetación y fauna, para lograr una producción óptima y sostenida de estos recursos con el mínimo deterioro ambiental, para beneficio de los pobladores de la cuenca y de las poblaciones vinculadas a ella (Dourojeanni, 1994). Por lo que toca a México, González-Villarreal y Garduño (1994) establecen el manejo de cuencas a partir de dos principios básicos: el primero establece que se requiere licencia o concesión, ya sea pública o privada, para el uso de las aguas de la nación y también para las descargas en cuerpos receptores; el segundo principio dispone que todo beneficiario del uso del agua y responsable de su contaminación debe contribuir equitativamente en función de los beneficios, en la restauración o mejoría del recurso en ríos y acuíferos.

Así, en el manejo de cuencas es imprescindible la participación activa de la población local debidamente organizada, con el apoyo coordinado de las instituciones públicas y privadas pertinentes para la administración de las aguas. El objetivo de la administración de aguas consiste en compatibilizar la oferta con la demanda en cantidad, calidad, lugar y tiempo en forma equitativa. Entre las acciones relevantes, se tiene el registro de los usuarios, el reglamento del otorgamiento y de la distribución del agua, el mantenimiento de los registros de oferta y demanda, la planificación de las demandas a futuro, la realización de pronósticos de ofertas de

agua, la operación de vasos de almacenamiento, la realización de tratamientos de agua, el cobro por los servicios de distribución del recurso y otros aspectos vinculados con la gestión para el uso múltiple del agua.

En un sistema hidrológico compartido por varios usuarios, los servicios para satisfacer diferentes demandas pueden estar en manos privadas (agua potable, agricultura, hidroenergía y otros) pero la administración de la oferta de agua de la cuenca, incluidas todas las posibles formas de reaprovechamiento, debe estar a cargo de los usuarios y del Estado. Ésta es la única manera de resolver los conflictos que puedan surgir y aportar recursos para evitar problemas internos –como la contaminación y las inundaciones–, además de controlar los externos, –por ejemplo, el uso de las aportaciones de los ríos y sus efectos en la franja costera donde desembocan–. También permite delimitar el máximo óptimo de desarrollo que debe haber en la cuenca, sin deterioro de sus recursos naturales.

En virtud de que la gestión del agua implica conflictos entre usuarios que compiten por el mismo recurso, ésta debe ayudar a prevenir o evitar tales conflictos, estudiando por un lado las interrelaciones y sugiriendo las transacciones pertinentes entre los mismos.

El objetivo de la planeación a partir de la cuenca debe ser el desarrollo económico-político y social de la misma; como confluyen varios intereses, es necesario prever de manera específica los factores de índole política (entendiendo la política como el ejercicio del poder en una sociedad) y evitar que las entidades de cuenca sean cooptadas por ciertos grupos de interés regional (lo que podría provocar que se adoptaran de manera institucional los intereses de dichos grupos). Es decir, los miembros de la comunidad ejercerán su derecho soberano a generar un desarrollo propio de la cuenca sin provocar conflicto. Las recomendaciones o imposiciones de entes externos, como los organismos financieros internacionales, los ministerios de salud o los códigos generales de conducta ambiental, imponen las consideraciones ambientales en el proceso de administración del agua, mismas que se han

desarrollado en los países del primer mundo, mientras que en países del tercero apenas se están coordinando plenamente las acciones de desarrollo y gestión de los recursos naturales.

Para asegurar la participación de grandes segmentos de la sociedad, deberá eliminarse la administración fragmentada por cuerpos gubernamentales centralizados, porque si este sistema persiste, anulará cualquier esfuerzo por lograr un manejo sustentable del recurso que resulta vital para la vida misma.

Una nueva política de la escasez emerge a escala local, regional, nacional e internacional, llevando a una competencia por el recurso limitado que se manifiesta en un creciente antagonismo entre los receptores de la contaminación y los que la producen, incluyendo países, ya que más de la mitad de los cuerpos de agua que poseen la mayor cantidad del líquido disponible en el mundo son transfronterizos.

En este sentido, se requiere un manejo integral de las aguas internacionales compartidas, considerando a la cuenca hidrológica como unidad de planeación que debe incluir seis factores básicos: legales, sociales, políticos, financieros, ambientales y tecnológicos. Además, en el ejercicio de la soberanía popular, la cooperación resulta un elemento imprescindible y se define como un ejercicio de corresponsabilidad que ante la mano invisible del mercado, se torna como un brazo generoso de solidaridad entre los pueblos (Herrera, 2000).

Cuando se considera la cuestión de las aguas transfronterizas, se manifiestan aspectos de soberanía internas y externas. Tradicionalmente, se afirma que la soberanía estatal es incompatible con la cooperación interestatal; lo cierto es que una de las características más importantes de un Estado independiente es su interés por establecer relaciones internacionales. El manejo de las cuencas internacionales es un área obvia donde la cooperación entre Estados y personas resulta esencial y refuerza la soberanía de cada nación.

Aunque en este momento lo que permea es el conflicto, las relaciones de cooperación entre usuarios de aguas compartidas son difíciles de lograr, especialmente donde las principales presas y otro tipo de infraestructura hidráulica están involucradas, lo cual se debe

principalmente a que los intereses de ciertos grupos son diametralmente opuestos y dificultan la mediación.

Propuesta de cooperación para el manejo integral de las aguas compartidas

Ante tal situación, la solución óptima consiste en revertir el proceso de conflicto mediante el ejercicio pleno de la soberanía por parte la sociedad, y con la cooperación en el amplio espectro de una cuenca. En cuanto al manejo de cuencas internacionales, conviene plantearlo desde diferentes puntos de vista:

- El reparto de aguas según la localización, ya que actualmente existe una falta de visión holística de la cuenca y es inflexible a cambios en prioridades de población, desarrollo económico y ambiental; aunque hay ejemplos de sistemas que se mueven desde una significativa coexistencia pacífica hacia una cooperación más integrada.
- La cooperación por salvación o conveniencia, que indica la necesidad de algunos Estados para cooperar en materia de agua y así evitar el desastre absoluto, ya sea en forma de conflicto o destrucción ambiental. La esperanza es que los esfuerzos de cooperación descansen a largo plazo en proyectos regionales progresivos.
- La cooperación como oportunidad, la cual provee beneficios concretos para los Estados involucrados en una acción cooperativa sobre otros asuntos regionales. Un incentivo importante para colaborar con los vecinos que están cerca de los cuerpos de agua es la preservación de la herencia cultural de una región, que en muchos casos originalmente se desarrolla alrededor de un río (Cosgrove, 1999).

En este sentido, la cooperación debe estructurarse en tres ámbitos: internacional, nacional y regional, cada uno con las siguientes responsabilidades específicas:

Internacional: el Sistema de Naciones Unidas deberá trabajar más en recomendaciones para hacer un uso equitativo de las aguas, tanto en su aspecto ambiental como del recurso, tomando en cuenta el nivel de desarrollo de los países que las comparten, sentando las bases

para establecer mecanismos de solución de disputas y permitiendo el ejercicio pleno de la soberanía por parte de la sociedad.

Regional: enfocarse a fortalecer el manejo regional más que central, buscando revertir el deterioro del recurso y su consecuente escasez y así lograr la seguridad de la disponibilidad del agua, generando mecanismos de solución de disputas.

Nacional: incrementar la cultura de la preservación y cuidado del agua en los usuarios, con el fin de lograr su manejo adecuado para solucionar el conflicto a través de la cooperación.

Literatura citada

Anguiano, A. (1998). *Mundialización, regionalización y crisis del Estado nación*, Argumentos, División de Ciencias Sociales y Humanidades de la Unidad Xochimilco, UAM, México.

Carpizo, Jorge (1980). *Estudios Constitucionales*, UNAM, México.

Cosgrove, William J., Frank R. Rijsberman (1999). *World Water Vision, Making Water Everybody's Business*, World Commission on Water for the 21st Century, Paris, France.

De la Cueva, Mario (1964). *La idea de la soberanía*, Estudios sobre el Decreto Constitucional de Apatzingan, UNAM, México.

Dourojeanni, Axel (1994). *Políticas públicas para el desarrollo sustentable: la gestión integrada de cuencas*, CEPAL, Santiago de Chile, Chile.

González Villarreal, Fernando, Héctor Garduño (1994). "Water Resources Planning and Management in Mexico", *Water Resources Development*, 10 (3): pp.239-255.

Heller, Hermann (1965). *La soberanía*, UNAM, México.

Herrera Ascencio, Patricia (1998). *La necesidad de una gestión sustentable en el manejo del agua en la zona fronteriza del Río Bravo*, Tesis de maestría, UNAM, México.

Herrera Ascencio, Patricia (2000). *El manejo integral de las cuencas compartidas internacionales: conflicto o cooperación*, AMH, XVI Congreso Nacional de Hidráulica, Morelia, Michoacán, México.

**HIDROPOLÍTICA. ¿UN CONCEPTO ÚTIL PARA ENTENDER LA
PROBLEMÁTICA DEL AGUA EN LA FRONTERA MÉXICO-
GUATEMALA-BELICE?**

Edith F. Kauffer Michel

Resumen

En este trabajo proponemos aplicar el concepto de hidropolítica a la problemática del agua en la frontera México-Guatemala-Belice. Por lo tanto, después de mencionar algunos elementos sobre tal problemática, elaboramos una revisión de las diferentes acepciones del término hidropolítica, que surgió en un contexto histórico y político muy específico: el Medio Oriente, región en la que la situación del agua se relaciona con los conflictos violentos entre Estados. En este sentido, la aplicación del concepto a nuestra región parece poco adecuada, pero en fechas recientes, algunos autores han propuesto una nueva definición de la hidropolítica, la cual revisamos aquí con el fin de valorar su utilidad para entender la compleja temática del agua en la frontera sur de México.

Introducción

El desconocimiento acerca de la problemática del agua en la frontera México-Guatemala-Belice empieza desde el momento en que se hace el intento por delimitar las cuencas compartidas, transfronterizas o internacionales, es decir, definidas como el conjunto de vertientes inclinadas que drenan las aguas superficiales hacia un mismo curso de agua, correspondiendo éste a un área de captura y drenaje de las precipitaciones que rebasa las fronteras de un Estado-nación. Tal definición difiere de la de cuenca hidrogeológica que se refiere a las aguas subterráneas, y en nuestro caso, solamente centraremos nuestra atención en los aspectos superficiales de las aguas.

Diversas fuentes hablan de cinco (Oregon State University, 2003), seis (García, 2003), siete u ocho cuencas transfronterizas en la frontera política entre México y sus vecinos del sur: Guatemala y Belice. Obviamente, una investigación sobre las cuencas compartidas debe partir de una definición clara y coherente de su objeto y de una delimitación geográfica precisa. Reconociendo esta necesidad, el presente trabajo pretende reflexionar sobre las potencialidades del uso de un concepto teórico que nació en un contexto político, histórico y geográfico distinto del que

nos interesa. Después de ubicar la problemática del agua en el sur México y en las cuencas transfronterizas, reflexionaremos sobre la definición tradicional de la hidropolítica y sobre la aportación novedosa de Turton y Henwood (2002) a ésta. Posteriormente, examinaremos sus potencialidades para nuestro ámbito de investigación, el cual se encuentra determinado por las cuencas transfronterizas ubicadas entre México, Guatemala y Belice.

México, las cuencas internacionales de la frontera sur y la problemática del agua

Desde el cambio de administración en el año 2000, el tema del agua en México ha sido declarado por el Ejecutivo federal –que bajo su competencia concentra las atribuciones en la materia– como una “cruzada” (CNA, 2003; SEMARNAT, 2004) y un problema de “seguridad nacional” (CNA, 2001). La prensa nacional hace eco sobre la importancia del tema del agua y reporta cotidianamente noticias al respecto, principalmente en referencia a conflictos existentes a escala local, regional, entre estados; a aspectos jurídicos o políticos vinculados con el agua, y a la construcción de obras hidráulicas.

México y la reciente atención hacia las aguas internacionales en el sur

Como muchos asuntos vinculados con la frontera, el tema de las aguas internacionales ha sido abordado y considerado importante para la frontera norte de México, debido a una disputa histórica entre México y Estados Unidos que se fundamenta en un tratado firmado entre ambas naciones, pero que define condiciones consideradas como desventajosas para México (Ingram *et al.*, 1994).

La problemática de las aguas en la frontera sur de México había sido desconocida hasta fechas recientes, y a pesar del manejo de la política del agua por cuencas desde 1998, el manejo de las cuencas del sur se ha visto truncado porque en el marco de la política hídrica federal sólo se reconoce y se atiende la sección ubicada en territorio mexicano. Parte de la indiferencia oficial se

debe a que la máxima autoridad en materia de aguas en México, la Comisión Nacional del Agua (CNA), no posee competencias para actuar fuera del territorio nacional o para desarrollar acciones de tipo diplomático o de cooperación con las naciones vecinas. Este asunto tampoco ha sido planteado como relevante para la política hídrica en la frontera sur.

El año 2003 se ha caracterizado por intentos de acercamiento con Guatemala alrededor del tema ambiental, y más particularmente sobre agua, por parte de las autoridades mexicanas. Como prueba de ello podemos mencionar dos actividades fundamentales. La primera consistió en dos reuniones: una en Guatemala (en agosto), en la cual se trabajó una mesa sobre agua y se formó el grupo de trabajo bilateral México-Guatemala, y una reunión de seguimiento en Chiapas (en septiembre); ambas significan esfuerzos formales para establecer una mesa binacional sobre agua. La segunda actividad fue la aparición, en estos escenarios, de la Unidad de Asuntos Fronterizos de la CNA, cuya esfera de acción se abrió recientemente a la frontera sur de México. Esta unidad sólo había trabajado en la frontera norte del país y se dedicaba a la construcción de plantas de tratamiento.

A la luz de tales tentativas de acercamiento hacia una mayor cooperación bilateral, podemos subrayar algunos obstáculos detectados, unos relacionados con México y otros con Guatemala. Del lado mexicano, el principal obstáculo se refiere a la poca claridad del marco institucional, derivada de la no definición de competencias entre diferentes instancias o de su desconocimiento por los actores gubernamentales: la CNA, la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) así como la Comisión Internacional de Límites y Aguas (CILA); tres instancias vinculadas de cierta forma con el tema de las aguas compartidas, pero con poca claridad respecto a sus ámbitos de competencia en la materia. Por lo menos, un trabajo de observación llevado a cabo durante estas reuniones permitió poner en evidencia cierta confusión en la materia. Paralelamente, cabe subrayar que en la primera reunión de la mesa binacional organizada en Guatemala por las dos

cancillerías, fue patente el desinterés de la CNA que no envió a ningún representante mientras las otras dos instancias gubernamentales estuvieron presentes. Además, en materia de agua, la frontera sur de México se caracteriza por el mismo olvido que para otros temas y fue en fechas muy recientes que la atención oficial empezó a notarse en esta problemática entendida de manera amplia y no sólo para las cuencas que corresponden al ámbito territorial mexicano.

Del lado guatemalteco, resulta muy clara la desorganización de la contraparte, los pocos recursos disponibles, la ausencia de un marco legal que regule los asuntos del agua y la tendencia a enviar funcionarios de nivel menor para asistir a la segunda reunión de la mesa binacional, además del notable incumplimiento de los acuerdos establecidos. La ausencia de una instancia dedicada exclusivamente al agua hace que la política hídrica se encuentre dividida entre varios ministerios, y la creación de Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN) en 2000 acentuó una situación de por sí caótica que nos lleva a afirmar que Guatemala, además de carecer de ley de agua, no posee autoridad con competencias definidas para atender el tema, lo cual se traduce en una ausencia de política hídrica. Obviamente, en este contexto, es fácil imaginar que el tema de las cuencas compartidas con México y Belice –en las cuales Guatemala lleva la ventajosa ubicación de encontrarse en la parte de arriba– no representa un tema inscrito en la agenda política guatemalteca, menos aun considerando que estas cuencas se localizan en zonas marginadas y periféricas.

En el marco de un interés reciente en México hacia los asuntos del agua, que incluye una visión fundamentada en las cuencas hidrográficas y se deriva de los principios rectores de las políticas definidas por instancias internacionales, los intentos de cooperación binacional son bastante débiles y enfrentan serios desafíos. Concretar el enfoque de cuencas más allá de los límites políticos y administrativos es un verdadero reto para la frontera sur de México y más aun para sus vecinos.

Breve acercamiento a la problemática de las cuencas transfronterizas

Partiendo del hecho de que México se ubica geográficamente en la parte baja de las cuencas transfronterizas, es ineludible reconocer que todo lo que se realiza en la parte alta, es decir, en Guatemala, tendrá tarde o temprano consecuencias positivas o negativas para el lado mexicano. Entre los temas que tenemos que resaltar de la problemática del agua en estas cuencas transfronterizas, encontramos una ausencia de tratados sobre el agua, pero también una ausencia de conflicto abierto, aunque la prensa guatemalteca (Barrios Peña, 2004) en ocasiones alerte sobre roces e insinuaciones acerca de posibles futuros conflictos. Los temas que suscitan comentarios controvertidos por parte de los guatemaltecos se refieren a las presas construidas y en proyecto de construcción del lado mexicano y a la no retribución para Guatemala, en donde se originan las aguas que llegan a México y son usadas para producir electricidad. Las presas constituyen en sí un elemento también muy polémico del lado mexicano y han generado una considerable movilización social, como ha sucedido en otros países.

Una característica de la región estudiada es el aumento reciente de las referencias periodísticas a los conflictos existentes alrededor del agua, principalmente a escala local. Parece ser que este recurso cristaliza o representa una válvula de escape de otros conflictos existentes de índole política, social, económica o religiosa.

Finalmente, una de las características de las cuencas transfronterizas se relaciona con la presencia de numerosos grupos indígenas, por lo que la problemática del agua en la zona tiene que abordar forzosamente la relación entre el agua, la cosmovisión indígena y los sistemas comunitarios de gestión existentes, así como su articulación con los diferentes marcos legales en vigor y las políticas públicas. En la actualidad, dichos aspectos son ignorados por las políticas hídricas en los tres países.

Este breve acercamiento a la problemática del agua en las cuencas compartidas del sur de México permite poner en evidencia que se trata de un tema sumamente complejo en el cual interactúan aspectos políticos, económicos, físico-geográficos, sociales, culturales y ambientales.

El concepto de hidropolítica: de la definición tradicional a la propuesta de Turton

A continuación explicaremos brevemente el origen del concepto de hidropolítica y expondremos su definición tradicional relacionada con el contexto histórico y político de su surgimiento, así como los conflictos que se desarrollan en el Medio Oriente. En un segundo momento, presentaremos la reflexión de Anthony Turton y Roland Henwood que permite ampliar el concepto de hidropolítica a una definición nueva y extender su aplicabilidad a otros contextos.

El concepto tradicional de hidropolítica

John Waterbury (1979) es el primer autor que usa el término de *hydropolitics* al referirse al Valle del Nilo en 1979. A partir de esta publicación, el término alcanza un considerable éxito entre los estudiosos del agua en el Medio Oriente y se utiliza comúnmente en referencia a conflicto, disputa, guerra, discordia; elementos que vienen a ser aspectos negativos de las relaciones internacionales derivadas del manejo de las aguas. La definición de la hidropolítica propuesta por Elhance (1999) como “el estudio del conflicto y de la cooperación entre naciones acerca de los recursos hídricos compartidos” ilustra perfectamente los enfoques desarrollados desde John Waterbury en el Medio Oriente, e indica con claridad la orientación de los estudios realizados. Todos los autores utilizan esta acepción, la cual tiene varias consecuencias e implicaciones para el abordaje de la problemática y los enfoques utilizados en las investigaciones.

De la definición de Elhance (1999), podemos subrayar que el concepto de hidropolítica es aplicable cuando el agua rebasa los límites de un Estado nacional, es decir que involucra dos o más

países, sin límite de número. Esta perspectiva, derivada de las teorías de las relaciones internacionales y de la geopolítica, implica que los únicos actores de la hidropolítica son los Estados y que el análisis se centrará en ellos y en sus relaciones. Así, la visión se centra en la soberanía de los Estados nacionales y en el carácter inamovible de las fronteras políticas.

La problematización de la hidropolítica tradicional conduce a la investigación de los factores de conflicto existentes en las cuencas transfronterizas y al análisis de las disputas entre los países y su vínculo con el agua. Algunos autores clasifican las cuencas por su grado potencial de conflicto (Wolf *et al.*, 2003), mientras otros intentan detectar los factores de conflicto (Marín, 2001; Shasheen, 2000; Postel y Wolf, 2001). Algunas investigaciones evocan los tipos de conflicto (Hafttendorn, 2000; Iutto y Duda, 2002) y otras pretenden predecir el futuro de cooperación o de guerra en alguna cuenca internacional (Postel y Wolf, 2001; Wolf *et al.*, 2003).

Al querer aplicar este concepto a la frontera sur de México, notamos que podemos aportar pocos elementos de reflexión acerca de la probabilidad de ocurrencia de conflicto o cooperación, ya que estas dinámicas han estado históricamente ausentes en las relaciones internacionales en torno al agua en la zona. Es decir que el concepto de hidropolítica en su acepción tradicional no permite analizar el agua en las cuencas transfronterizas entre México, Guatemala y Belice.

La propuesta de Turton y Henwood y la apertura del concepto

En un trabajo realizado en África del Sur, Anthony Turton y Roland Henwood (2002) hacen una revisión del concepto de hidropolítica y concluye que la acepción tradicional es demasiado restringida para ser aplicable a su estudio de caso. Turton y Henwood proponen hablar de hidropolítica como la “asignación de los valores respecto al agua en una sociedad”, y mencionan que este concepto permite la articulación de dos dimensiones: la escala y la variedad de temas. Aunque la definición de Turton y Henwood presenta ciertas aristas y cuestionamientos de tipo

teórico, lo rescatable de su propuesta consiste en abrir el concepto a aspectos no limitados a las relaciones internacionales e interestatales alrededor del agua. Otro elemento fundamental derivado de la definición de Turton y Henwood es la variedad de escalas en las cuales se puede llevar a cabo una investigación sobre hidropolítica desde lo doméstico, comunitario, hasta lo internacional. Esta posibilidad abre perspectivas interesantes para el estudio de la hidropolítica, principalmente en cuanto a su aplicabilidad en la frontera entre México, Guatemala y Belice.

Potencialidades del concepto de hidropolítica para las cuencas transfronterizas

Los tres niveles del estudio de la hidropolítica en la frontera México-Guatemala-Belice

A la luz de la propuesta de Turton y Henwood, proponemos problematizar la hidropolítica de las cuencas compartidas entre México, Guatemala y Belice a partir de tres dimensiones u objetivos articulados con tres hipótesis generales.

La hidropolítica se puede estudiar desde una perspectiva tradicional considerando las relaciones binacionales y trinacionales alrededor del recurso agua que se comparte desde una perspectiva histórica, pero no solamente centrada en los actores estatales sino tomando en cuenta otros actores, como las organizaciones no gubernamentales nacionales e internacionales. Para este primer acercamiento, proponemos la hipótesis de que la geopolítica del agua en la región está determinada por dos factores: la situación geográfica y las diferencias de desarrollo. Como lo señala un estudio para la frontera norte de México, las diferencias de desarrollo entre México y Estados Unidos, al referirse a la solución de los diferendos relacionados con el agua, no siempre se caracteriza por un criterio de equidad para México (Ingram *et al.*, 1994). Se trata de un factor fundamental en las relaciones internacionales.

Entre los tres países considerados, existen importantes diferencias de desarrollo entre México y Guatemala, México y Belice, y Guatemala y Belice, como son la extensión territorial, el

Producto Interno Bruto y el número de habitantes. Además, como mencionamos anteriormente, Guatemala tiene una ventaja geográfica determinante respecto a México y Belice por encontrarse en la parte alta de las cuencas. Es claro que en la relación con México, esta ventaja resulta atenuada por el desequilibrio político y económico entre ambos países, y podemos tal vez sugerir una hipótesis de neutralización de la ventaja geográfica. En el caso de la relación Guatemala-Belice, la desventaja geográfica de este país se combina con una desventaja política y económica, además de un histórico reclamo territorial de Guatemala hacia Belice. En este caso, es probable que la relación bilateral se fundamente en una suma de desventajas para Belice. Sin embargo, el hecho que el río Hondo se ubique en la frontera terrestre entre México y Belice puede ser un elemento en favor de este pequeño país porque la problemática derivada del uso de las aguas en la parte de arriba afecta de la misma forma a México y a Belice, y el hecho de compartir una misma problemática ambiental nos lleva a sugerir que la hipótesis de la neutralización de los dos efectos negativos puede ser, de igual forma, válida.

Para rebasar esta visión tradicional cuya validez no se cuestiona, y considerando los aportes de las ciencias políticas, proponemos un segundo eje del estudio de la hidropolítica en las cuencas referidas, que consiste en el análisis de la interacción entre las políticas hídricas nacionales y el sistema político, es decir, recurrimos a un viejo debate de la disciplina que se interroga acerca de la influencia entre políticas públicas entendidas como *policies*¹ y el sistema político. Este eje tendría como hipótesis que las características del sistema político de cada Estado, su historia, su situación socioeconómica y política, condicionan la gestión del agua a escala nacional para poder entender los desafíos y articular una visión de cuencas que rebase los territorios de cada país.

Finalmente, una hidropolítica de las cuencas transfronterizas debe rebasar estos límites establecidos artificialmente por los seres humanos para poder estudiar la problemática regional que

¹ A diferencia del inglés que usa dos términos para referirse a la política (*politics*) en tanto lucha por el poder político y a las políticas públicas (*policies*), el español no permite hacer una diferenciación clara entre ambos conceptos.

se reproduce más allá de la línea de división internacional. Para aprehender esta hidropolítica regional proponemos considerar que la primacía de la gestión del agua para las zonas urbanas y la exclusión de la mayoría de la población de las políticas hídricas (mujeres, indios, pobres), caracterizan este fenómeno, el cual a su vez puede ser documentado en diversas escalas.

Conclusión

Le propuesta de una hidropolítica abordada desde tres enfoques, las relaciones internacionales, la relación entre *policy* y *politics* en el marco de los Estados nacionales y los aspectos regionales retoman los dos elementos propuestos por Turton y Henwood: la diversidad de escalas para estudiar la hidropolítica y los múltiples temas que pueden ser abordados debido a su pertinencia en un contexto definido. Estos ejes abren perspectivas novedosas para el análisis de la hidropolítica en la frontera México-Guatemala-Belice.

Literatura citada

Alam, Undala Z. (2002). "Questioning the water wars rationale: A case study on the Indus water treaty", *The Geographical Journal*, diciembre, 168 (4), pp.341-353.

Barrios Peña, Ricardo (2004). "Testimonio histórico. La represa mexicana Boca del cerro sería catastrófica para Guatemala", *La Prensa Libre*, 19 de febrero.

Comisión Nacional del Agua (2001). *Programa Nacional Hidráulico*, Comisión Nacional del Agua, SEMARNAT, México.

Comisión Nacional del Agua (2003). *Programa Hidráulico Regional 2002-2006, Región XI Frontera Sur*, Comisión Nacional del Agua, SEMARNAT, México.

Elhance, Arun P. (1999). *Hydropolitics in the Third World: Conflict and Cooperation in International River Basins*, United States Institute of Peace Press, Washington D.C.

Elhance, Arun P. (s/f). *Geography and Hydropolitics* en www.acdis.uiuc.edu/Research/S&Ps/1992-93-Wi/S&P_VII-2/hydropolitics.html

El-Hindi Jamal, Laurence (2000). "Compensation as part of equitable utilization in the Israeli-Palestinian water context", *Arab Studies Quarterly*, primavera, 22 (2), pp.113-146.

Giordano, Meredith A., Aaron T. Wolf (2003). "Sharing waters: Post-Rio international water management", *Natural Resources Forum*, (27), pp.163-171.

Giordano, Meredith, Mark Giordano, Aaron Wolf (2002). "The geography of water conflict and cooperation: internal pressures and international manifestations", *The Geographical Journal*, diciembre, 168 (4), pp.293-312.

Haftendorn, Helga (2000). "Water and international conflict", *Third World Quarterly*, febrero, 21 (1), pp.51-68.

Arms Control, Disarmament, International Security, en http://www.acdis.uiuc.edu/homepage_docs/pubs_docs/S&P_docs/S&P_V.../hydropolitics.htm, acceso septiembre de 2003.

Ingram Helen, Milich Lenard, Varady Robert G. (1994). "Managing transboundary resources: Lessons from Ambos Nogales", *Environment*, mayo, 36 (4), pp.6-38.

International Water Treaties, Oregon State University, en <http://ocid.nacse.org/cgi-bin/qml>, acceso noviembre 2003.

Kliot, N. (1994). *Water Resources and Conflict in the Middle East*, Routledge, London.

Marín, Gonzalo (2001). *El agua como fuente de conflicto*, Ingeniería sin Fronteras, Madrid, España, en <http://madrid.ingenieriasinfronteras.org/conf2001/documents/ConflictosAgua.doc>

Milich, Lenard, Varady Robert G. (1998). "Managing transboundary resources: Lessons from river-basin accords", *Environment*, octubre, 40 (8), pp.10-15.

Moh'ed, Abdullahi Elmi (s/f), *Hydropolitics in the Horn of Africa: Conflicts and Required Cooperation in the Juba and Shabelle Rivers*, en <http://www.somwat.com/hydropolitics2.html>, acceso septiembre 2003.

Postel, Sandra I., Wolf Aaron T. (2001). "Deshydrating Conflict", *Foreign Policy*, 126, pp.60-67.

SEMARNAT (2004), *El bosque y el agua*, en www.semarnat.gob.mx/wps/portal, acceso abril 2004.

Shaheen, Murad (2000). "Questioning the water-war phenomenon in the Jordan Basin" *Middle East Policy*, 7 (3), junio, pp.137-150.

Sherman, M. (1999). *The Politics of Water in the Middle East: An Israeli Perspective on the Hydro-Political Aspects of the Conflict*, Macmillan Press., London.

Turton, Anthony R., Roland Henwood (Eds) (2002). *Hydropolitics in the Developing World: A Southern African Perspective*, Pretoria, African Water Issues Research Unit.

Uitto, Juha I., Alfred M. Duda (2002). "Management of transboundary water resources: Lessons from international cooperation for conflict prevention", *The Geographical Journal*, diciembre, 168 (4), pp.365-378.

Uitto, Juha I., Aaron T. Wolf (2002). "Water wars? Geographical perspectives: Introduction", *The Geographical Journal*, diciembre, 168 (4), pp.289-292.

Waterbury, J. (1979). *Hydropolitics of the Nile Valley*, New York, Syracuse University Press.

Wolf, Aaron T. (1995). *Hydropolitics along the Jordan river: Scarce Water and its Impacts on the Arab-Israeli Conflict*, United Nations University Press, Tokyo.

Wolf, Aaron T., Shira B. Yoffe, Mark Giordano (2003). "International waters: identifying basins at risk", *Water Policy*, (5): pp.29-60.

Yoffe, Shira, Kelli Larson (2001). *Basins at risk: water event database methodology*, submitted for publication.

**MODO DE VIDA SUSTENTABLE PARA LA MUJER:
DEL CONCEPTO A LA ACCIÓN EN EL SECTOR HÍDRICO**

Sonia Dávila Poblete

Resumen

Este trabajo tiene dos objetivos primordiales: por un lado, dar relieve a la importancia de la participación de la mujer y, por el otro, presentar una propuesta para incentivar e incrementar dicha participación en el sector hídrico. Con el propósito de lograr lo anterior, el trabajo empieza analizando el origen del concepto de modo de vida sustentable (Sustainable Livelihoods) en torno al recurso hídrico, acuñado en el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD).

La aplicabilidad de la metodología de los modos de vida sustentable propuesta por el PNUD es vista en el contexto del sector hidráulico y a la luz de la problemática social en la que está inserta América Latina. Posteriormente se analiza la situación de la mujer en el sector hídrico, haciendo énfasis en la necesidad de que se abran espacios con una perspectiva de género; y al final se presenta una propuesta metodológica para incentivar e incrementar la participación de la mujer en el sector hidráulico.

Introducción

A pesar de que la presencia de la mujer "cruza" de manera transversal todos los estratos y grupos sociales, tanto desde la perspectiva social, económica, cultural y política, como del hecho de que su participación directa o indirecta en la producción y reproducción socioeconómica es incuestionable, las mujeres son uno de los grupos sociales que enfrentan mayores obstáculos para acceder a las instancias de poder o a los espacios donde se toman decisiones respecto al manejo y gestión del recurso hídrico. Aunque su participación no es reconocida en la mayoría de las instancias del manejo hídrico –sobre todo las gubernamentales–, ellas tienen distintas formas de participación o incidencia en la toma de decisiones, principalmente a escala familiar y comunal, razón por la que es imprescindible abrir espacios para una participación real y activa, con una perspectiva de género.

En el mismo sentido, dentro de los recursos naturales el agua es sin lugar a dudas el elemento central, ya que la vida de todos los seres depende de ella, al igual que todas las actividades

productivas y reproductivas requieren cotidianamente de este líquido vital. El carácter imprescindible del agua hizo que pasara de ser un bien social a un bien económico; en la actualidad, muchos países que tienen vastas regiones con escasez de agua –como México– la reconocen como un elemento estratégico para el desarrollo de la humanidad, por lo que actualmente las instancias gubernamentales están encargadas del manejo integral del recurso hídrico a escala local, regional y nacional.

En tal contexto, este trabajo vincula aspectos de la problemática de la participación de la mujer con el manejo integral del recurso hídrico, a la luz de los procesos de globalización surgidos del modelo económico adscrito por México y otros países latinoamericanos. Se tomó en cuenta la propuesta contenida en el concepto de “modos de vida sustentable (*Sustainable Livelihoods*) para combatir la pobreza” como parte de las políticas de desarrollo planteadas por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), las que a su vez fueron emanadas de la Cumbre de Río (1992) y de la Agenda 21. El PNUD propone acciones concretas para abrir espacios a los grupos sociales con mayores desventajas, como los indígenas y las mujeres, además de tomar en cuenta la sustentabilidad ambiental a partir de las acciones en el ámbito local hasta las políticas de gestión de las instancias gubernamentales.

Posteriormente se analiza la situación de la mujer en el sector hídrico, tomando en cuenta las actividades laborales que realiza, para dar pie al último apartado en el que se propone una metodología conducente a lograr una mayor participación de las mujeres en el sector hídrico, a la luz del modelo de desarrollo implantado en México, base sobre la cual el concepto de los modos de vida sustentable puede ser aplicado para apoyar la propuesta de participación de las mujeres.

Origen del concepto

El concepto modo de vida sustentable (MVS) fue introducido en el informe de la Comisión Brundtland en 1987, el cual hace referencia a la propiedad y acceso a los recursos naturales; la

satisfacción de las necesidades básicas, y la seguridad para las condiciones de vida, especialmente en el área rural.

En 1992, en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo (más conocida como la Cumbre de Río, por realizarse en Río de Janeiro), se rescató el concepto, aduciendo a su carácter integrador, dado que a través de dicho concepto se podía ver cómo las políticas socioeconómicas y ecológicas tenían una cohesión estructural, pues este concepto se derivaba de lo que la Comisión de Medio Ambiente y Desarrollo de las Naciones Unidas definió como *Desarrollo Sustentable*, el que es definido como aquel “que satisface las demandas del presente sin comprometer la posibilidad de las generaciones futuras de satisfacer sus propias necesidades” (<http://www.wced.org>). De esta manera, al momento de definir e implementar las políticas de desarrollo sostenible asentadas en la “Declaración de Río”, se consideró la necesidad de elaborar un plan de acción estratégico que sirviera de base para todos los países y se redactó la Agenda 21.

Es necesario resaltar que al principio, la Agenda 21 establecía que el enfoque del modo de vida sustentable debía ser para *todos*; empero dicho enfoque tuvo que ser modificado al contemplar las diferencias que existían entre el hemisferio norte y el sur, o sea, entre los países industrializados, que son los principales contaminadores, y los países en vías de desarrollo, que tenían más carencias y necesidades. Este aspecto fue claramente percibido en el discurso inaugural del Sr. Maurice Strong, secretario general de la Conferencia, quien afirmó lo siguiente:

“La humanidad ha alcanzado un momento definitorio en su historia. Nosotros podemos continuar con nuestras políticas actuales, que sirven para ahondar las divisiones económicas dentro y entre países; para aumentar la pobreza, el hambre, la enfermedad y el analfabetismo en todo el mundo; y continuar ocasionando el deterioro del ecosistema del que depende la vida sobre la tierra. O podemos cambiar [el curso de la historia]. Nosotros podemos mejorar el modo de vida de los que tienen necesidad; podemos administrar y proteger mejor el ecosistema y traer un futuro más próspero para todos. Ninguna nación puede lograr esto por sí misma. Juntos sí podemos, en una asociación global para el desarrollo sustentable” (www.onu.org/publications/html).

De esta manera, la Agenda 21 se sustenta en el hecho de que los problemas ecológicos son globales y afectan a todos los países, pues parte del principio de que el impacto de la actividad humana sobre el medio ambiente y el efecto nocivo de la degradación ambiental influyen sobre el potencial del crecimiento económico y el bienestar social, tanto de los países desarrollados como de las naciones en vías de desarrollo.

A partir de la implementación de la Agenda 21, el concepto de modo de vida sustentable fue consolidándose como “los medios, las actividades, los derechos y los bienes con los que la gente hace su vida”. Hay que recordar que en esta conceptualización los bienes no sólo son definidos como los naturales o biológicos, es decir, la tierra, agua, bienes inmuebles, recursos, flora, fauna; sino que también se toman en cuenta los aspectos sociales y políticos referidos a la comunidad, familia, redes sociales, participación, empoderamiento; al igual que el aspecto humano: el conocimiento, la creatividad, las habilidades; y la infraestructura física como caminos, mercados, clínicas, escuelas, puentes y otros.

Posteriormente, el concepto fue ampliado al insertarle un enfoque más social, surgido de la Conferencia de la Cumbre de Desarrollo Social de Copenhague en 1995 –donde se le relacionó con las necesidades laborales– y de la plataforma de Beijing de 1995, cuando se volvió a enfatizar la importancia de considerar el modo de vida sustentable de las mujeres para el éxito del desarrollo sustentable.

En consecuencia, el modo de vida sustentable se refiere a cómo hombres y mujeres utilizan este portafolio de bienes a corto y largo plazo, por lo que de manera más amplia se puede definir como la conjunción de los siguientes aspectos:

- Habilidad para enfrentar y recuperarse de situaciones de *shock* y estrés, por ejemplo, desastres naturales como inundaciones o sequías.
- Efectividad económica o el uso mínimo de ingresos para alcanzar el máximo de egresos financieros.

- Integridad ecológica para asegurar que las actividades de vida cotidiana no degraden los recursos naturales de un determinado ecosistema.
- Equidad social, que sugiere la promoción de oportunidades para que el modo de vida de un grupo social no contrarreste las opciones o ponga en peligro a otros grupos, ni en el presente ni en el futuro.

Con base en lo anterior, el concepto de modo de vida sustentable se define como “la capacidad de la gente de hacer y mejorar su calidad de vida, sin poner en peligro las opciones de los modos de vida de otros, ni ahora ni en el futuro” (www.undp.org).

Este concepto fue adquiriendo legitimidad en las innumerables reuniones nacionales e internacionales, habiendo llegado a constituirse en uno de los cinco mandatos del PNUD, aunque en la actualidad su implementación ha sido más orientada a los países africanos y asiáticos que a los latinoamericanos.

Etapas metodológicas del modo de vida sustentable

Antes de explicar de manera sucinta las etapas metodológicas del modo de vida sustentable, es necesario hacer notar que están enmarcadas en los programas y planes de las políticas de desarrollo, cuyo objetivo primordial es encontrar los medios para aliviar los problemas de inequidad socioeconómicos, especialmente en el área rural.

Asimismo, cabe recordar que en la ejecución de las políticas de desarrollo hubo dos periodos notablemente marcados por la diferencia en sus enfoques. El primero, que duró hasta finales de la década de los ochenta, dirigió sus actividades a la seguridad productiva nacional, por lo que todos los programas y proyectos estuvieron encaminados a incentivar y mejorar la producción agropecuaria. El segundo toma más fuerza a partir de la Cumbre de Río, cuando los planes y programas tuvieron que reorientar sus actividades hacia la seguridad alimentaria, ya que la Agenda 21 y las resoluciones de las demás conferencias nacionales e internacionales reconocían la

necesidad de tomar en cuenta el manejo de los recursos naturales –dada su creciente escasez y demanda– y las necesidades de la gente, cuyo incremento poblacional hacía que no se logaran satisfacer las demandas de alimentos.

Lo anterior le dio un enfoque metodológico diferente de lo que hoy se conoce como modo de vida sustentable, cuya característica principal parte de que sus programas de desarrollo no empiezan buscando las necesidades de cada comunidad, sino que inician sus actividades evaluando las fortalezas y los “bienes” que tiene cada comunidad o localidad en la que se va a trabajar. Es decir, el análisis de los modos de vida sustentable requiere que se entiendan los intercambios que ocurren cuando se invierten o transforman uno o más de estos capitales –fortalezas y bienes– en otro tipo de flujos, ya sean financieros o de protección ambiental.

La base de esta metodología radica en detectar cómo se utilizan los bienes a corto, mediano y largo plazo, recordando que ello implica la conjunción de las etapas antes explicadas: habilidad para enfrentar y recuperarse de situaciones de *shock* y estrés; efectividad económica; integridad ecológica, y equidad social. Es necesario empezar con una evaluación participativa con la gente del lugar, para comprender el conocimiento que tienen y cómo ellos enfrentan o se adaptan a los riesgos, bienes y beneficios. Dicha evaluación habrá de tomar en cuenta dos aspectos fundamentales: por un lado, las respuestas inmediatas a un determinado *shock* o estrés. Por el otro, la adaptación que implica un cambio de largo alcance derivado del *shock* o estrés. Ambos tienen implicaciones en la composición de los bienes de los que se derivan.

Con base en dicha evaluación, se procede a buscar las alternativas que permitan mejorar el modo de vida de los pobladores, para lo cual es necesario analizar las políticas macro y microsectoriales, y los acuerdos de gobernabilidad.

De igual manera, es necesario evaluar y determinar las contribuciones potenciales de las ciencias modernas y de la tecnología, complementarias a los sistemas de conocimiento local; así como identificar los mecanismos de inversión social y económica, como por ejemplo los proyectos

de microfinanciamiento, gastos en salud, educación y otros, para detectar de qué manera ayudan o inhiben las estrategias de los modos de vida de los pobladores. Finalmente, con el propósito de que los modos de vida sean sustentables, hay que asegurarse de que las primeras cuatro etapas estén integradas y que sean interactivas entre sí en tiempos reales.

Este breve recuento metodológico de los modos de vida sustentable habrá de servir como base para la propuesta a ser presentada en el último apartado.

Situación de las mujeres en el sector hídrico

Con el propósito de tener una mejor comprensión del papel de la mujer en el sector hídrico, comenzaremos señalando que cada año hay un crecimiento de 77 millones de personas en el mundo, siendo el incremento más marcado en los países en vías de desarrollo, por lo que un informe de las Naciones Unidas estima que si se mantiene el nivel de uso actual del agua, para el año 2025, de los 7.9 millones de habitantes que existirán en el mundo, 5 mil millones vivirán en lugares donde no habrá suficiente agua para satisfacer las necesidades más elementales. Se calcula que habrá un incremento total de 40% en el uso del agua. (<http://www.unfpa.org/news>). Estos datos muestran la necesidad de reducir el uso de dicho recurso, mejorar las condiciones de vida y garantizar la implantación de políticas para el manejo y gestión del agua, tendientes al uso eficiente para su preservación y conservación, así como evitar el surgimiento de conflictos sociales.

En este sentido, cabe señalar que la mayoría de los conflictos sociales surgen o se derivan de la distribución y operación¹ del recurso, por lo que en estas circunstancias, las instituciones gubernamentales, al igual que los organismos internacionales, han propuesto introducir el Manejo Integral del Recurso Hídrico (MIRH), el cual contempla incentivar la participación social –ante

¹ En el sentido amplio del término, o sea, administración, manejo y gestión.

todo del sector privado— y enfatiza el diseño de políticas de gestión para lograr un mayor margen de gobernabilidad.

A partir de 1996, el Consejo Mundial del Agua (*World Water Council*) se constituyó en la instancia internacional encargada de plantear el diseño de las políticas y estrategias tendientes a lograr lo anterior, así como sentar las bases para lograr el MIRH, por lo que entre sus objetivos destacan los siguientes:

- Identificar los temas críticos del agua que son de importancia local, regional y global, con base en la evaluación en curso del estado del agua en el mundo.
- Incrementar la toma de conciencia de los temas críticos del agua en todas las instancias de toma de decisiones, desde el nivel más alto de las autoridades hasta el ámbito local.
- Proveer el foro necesario para tener una visión estratégica común del MIRH con una base sustentable, y promover la implementación de políticas y estrategias efectivas en todo el mundo.
- Otorgar asesoría e información relevante a instituciones y tomadores de decisión para el desarrollo y la implementación de políticas y estrategias amplias requeridas en el manejo sustentable del recurso hídrico, con el respeto que se merece el medio ambiente y la *equidad social y de género*.²
- Contribuir en la resolución de los problemas relacionados con aguas transfronterizas (World Water Council, 2000: 4).

Si bien es cierto que estos objetivos plantean la importancia de considerar el cuidado del medio ambiente y velar por la equidad social y de género, no se dan las pautas necesarias para crear un ambiente propicio a su cumplimiento, como sí ocurre con los demás objetivos circunscritos a los problemas de manejo del agua. En este sentido es necesario precisar que para conseguir la equidad de género se debe tomar en cuenta que este tema “tiene que ser integrado en una aproximación

² El énfasis es mío.

global a las diferenciaciones sociales y étnicas, [donde] la desigualdad racial, la de clase y la de género son parte de un sistema único, específico e históricamente creado” (Vaca Buchelli, 1995:181). Es decir, la equidad de género sólo puede lograrse si se reconoce que desde un inicio, la mujer está en desventaja frente al hombre en la sociedad, ya que como se señala, género es “la red de creencias, de características de personalidad, actitudes, sentimientos, valores, comportamientos y actividades diferenciadas entre hombres y mujeres, que se dan por medio de los procesos de construcción social que tienen numerosos rasgos distintivos. Es histórico y se realiza dentro de las diferentes esferas macro y micro, como pueden ser el Estado, el mercado laboral, las escuelas, los medios de comunicación, la ley, las unidades familiares y las relaciones interpersonales, involucrando una jerarquización de características y actividades, de tal manera que las que están asociadas a los hombres, normalmente serán más valoradas” (Benería y Roldan 1987:11-12).

Así, el logro de la equidad de género hace que la situación de desventaja de la mujer requiera de la creación de espacios que reconozcan que la diferencia de género va más allá de la distinción sexual de hombre y mujer, por lo que es necesario crear un ambiente propicio para compensar dichas diferencias y lograr la participación real y activa de las mujeres.

Es importante señalar que con base en el tercer principio de la reunión de Dublín (1992) que resalta que la mujer juega un papel central en la provisión, el manejo y la protección del agua, de igual manera, la mayoría de las políticas del agua reconocen que la mujer participa de manera directa o indirecta en todos los proyectos del sector y que sus responsabilidades varían según el grupo social al que pertenecen: urbano, peri-urbano o rural, siendo las tareas socialmente asignadas las más reconocidas como las actividades de las mujeres, es decir, las que son fundamentalmente reconocidas como parte de la denominada “esfera privada” dentro del hogar o de la unidad familiar: preparar la comida, velar por la higiene familiar, transmitir las costumbres culturales a los hijos, y, en algunos lugares, donde no hay conexiones de agua potable son las principales encargadas de traer agua de la toma más cercana, ya sea de ríos, lagunas o suministros públicos.

En consecuencia, el agua de uso doméstico, que por lo general se relaciona con la salud y la reproducción social, normalmente está a cargo de la mujer, quien es responsable del lavado, la preparación de los alimentos y demás actividades concernientes a los aspectos de higiene en la familia. Respecto al hecho de que en muchos casos las mujeres deben realizar un gran esfuerzo para acarrear agua desde lugares lejanos, la que muchas veces se encuentra contaminada o tiene impurezas, bacterias o virus que provocan enfermedades e incluso pueden ocasionar la muerte. Los países pobres son los que reportan mayores incidencias de este tipo de problemas, por lo que los gobiernos deben invertir cantidades considerables en la ejecución de programas curativos y preventivos; aspecto que podría ser aminorado si se plantearan más programas y proyectos de formación y capacitación de las mujeres en el cuidado de la salud y el uso eficiente del agua.

El hecho de que las actividades de carácter privado o doméstico sean las más atribuidas a las mujeres, no significa que ellas no puedan ser reconocidas como usuarias o como un grupo social que participa –ya sea de manera directa o indirecta– en las esferas productivas y reproductivas. Asimismo, hay una tendencia a hacer invisible su trabajo, evitando identificarlas como actrices sociales económicamente activas, tanto en el sector productivo como en el de servicios. En México y en el mundo, un poco más de la mitad de la población está constituida por mujeres, las que a su vez son las encargadas de la reproducción social de los hombres y de sus familias. A escala mundial, las mujeres son las proveedoras de la mitad de los alimentos y constituyen 60% de la fuerza laboral, aunque sólo un tercio de la misma está inserta en el sector formal (IDMAT, 2000:4).

A pesar de que los datos estadísticos señalan que sólo un tercio está adscrito al sector formal, muchas mujeres realizan actividades laborales que no son contabilizadas porque no registran una remuneración económica, razón por la que el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) indica que “las tasas de participación por nivel de instrucción muestran que las mujeres con más estudios tienen una mayor participación en las actividades económicas” (INEGI, 1997:118), donde según dichos datos, 37.7% de mujeres con estudios de

secundaria completa y 52.3 % con estudios postsecundarios participan en el mercado laboral, mientras que sólo hay 27.5% de mujeres sin instrucción o con primaria incompleta.

Por otro lado, podemos ver que los datos de los censos oficiales no consideran a las mujeres que trabajan a cambio de pagos en especie se da en el área rural, porque la mayoría de ellas trabajan en los terrenos familiares, ya sean propios o de parientes, y reciben un pago en alimentos o por mediería.³ De igual manera, se puede mencionar a las trabajadoras del hogar, las que según los datos de la Encuesta Nacional del Empleo, están en el tercer lugar de las ocupaciones realizadas por las mujeres con un 11.6%, siendo las “vendedoras o dependientes económicas” el primer lugar (23.2%) y las oficinistas el segundo (13.4%) (INEGI, 1997: 119), datos que no toman en cuenta a las empleadas que trabajan a destajo o por alimentos, ni a las que preparan alimentos y los venden en las calles o en las puertas de sus casas.

Otro fenómeno que no puede pasar desapercibido es el hecho de que la actual situación económica, basada en el modelo neoliberal, obliga a más mujeres a ingresar en el sector laboral, ya que el salario promedio pierde diariamente su valor real, por lo que las unidades familiares no pueden satisfacer sus necesidades. A tal situación se agrega el incremento de la tasa de desempleo, por lo que muchas unidades familiares han sido afectadas y uno de los cónyuges tuvo que migrar, también hubo abandono de las parejas; factores que hicieron que muchas mujeres tuvieran que desarrollar actividades remunerativas o ingresar en el mercado laboral para ser el principal sustento del hogar.

Esto se ha dado a la par de la creciente migración de las localidades rurales a las principales ciudades. Las migraciones internas corresponden sobre todo a las mujeres y las internacionales, a los hombres (INEGI, 1997: 73). Asimismo, el fenómeno de la migración ha ocasionado que muchas mujeres, especialmente las que viven en localidades pequeñas menores de 2,500 habitantes,

³ En México muchos productores realizan acuerdos donde uno pone el terreno y el trabajo, mientras que el otro pone el capital y los insumos; una vez concluida la cosecha, la producción se divide a medias y por eso se le da el nombre de mediería.

tuvieran que asumir diversas funciones y actividades que realizaban los hombres, tales como la administración y manejo de los sistemas de agua potable y saneamiento. Además, muchas están a cargo del cuidado del ganado y huertos familiares; incluso hay comunidades y ejidos donde las mujeres están organizadas en torno a proyectos productivos, habiendo casos, aunque pocos, en los que dichos proyectos se han convertido en microempresas que garantizan un ingreso familiar.

Todo lo anteriormente explicitado nos muestra las diferentes formas de participación de la mujer, que por lo general son invisibles ante el diseño de las políticas de gestión del agua, situación que tiene que ser revertida si se desea un verdadero manejo integral del recurso hídrico. A continuación presentamos una propuesta tendiente a lograr una mayor participación de las mujeres en el sector hídrico.

Del concepto a la práctica

Es importante señalar que esta propuesta –al igual que la del MVS– inicia con el análisis de los bienes que las mujeres y la comunidad tienen, en lugar de partir de sus necesidades, motivo por el cual es imprescindible contextualizar la situación socioeconómica en la que las mujeres están insertas, no sólo como grupo social, sino también desde la perspectiva de país y región dentro del entorno internacional.

En este sentido, se debe tomar en cuenta que muchos países están insertos en el denominado modelo económico neoliberal, cuyo resultado más notorio se refleja en la dependencia del sistema financiero y de los mercados al ámbito regional e internacional. Dependencia que surge a raíz de la crisis producida, durante la década de los ochenta, por los desequilibrios macroeconómicos y por la cuantiosa deuda externa que afecta a los países latinoamericanos. En este contexto, los gobiernos tuvieron que implementar medidas económicas tendientes a “promover la estabilización de la economía y reducir el tamaño del Estado” (García de la Cruz y Sánchez, 2002:29).

Los esfuerzos por sanear las economías de los países condujeron a que los gobiernos tomaran distintos caminos para implementar la reestructuración o reformulación de sus políticas antiinflacionarias y de ajuste presupuestal, habiendo obtenido resultados diferentes. Aunque cada país desarrolló distintas políticas, se puede detectar cierta tendencia a las políticas comunes influenciadas por el modelo económico neoliberal, como son el manejo de los recursos naturales, en especial el agua, y la necesidad de incrementar la participación de la empresa privada y de la sociedad en general, a fin de que el Estado pueda disminuir su papel económico productivo y planificador en el ámbito nacional (Bennett, Dávila-Poblete y Rico, 2004).

Con este contexto en mente, se propone tomar en cuenta a la mujer como uno de los sujetos sociales que debe estar inserto en un proceso socio-organizativo dentro del sector hídrico, por lo que los pasos que se sugieren a continuación toman en cuenta que este proceso se desarrollará alrededor de un sistema de agua, ya sea potable o de riego.

Metodología

Promover una mejor operación en la infraestructura del sistema de agua potable / riego

Considerando que la metodología propuesta se sustenta en la organización de los usuarios y en especial de las mujeres en torno al agua, las obras de infraestructura son la columna vertebral sobre la cual se habrá de basar su trabajo; razón por la cual, el punto de partida será el tipo, las formas y las condiciones en las que se encuentran las obras donde se quiere trabajar, y el uso que se hace de las mismas, ya que en muchos casos, más que los problemas técnicos de la infraestructura, destacan los de mal manejo por parte de las usuarias.

Basados en lo anterior, consideramos que es necesario que las instituciones encargadas del recurso capaciten a sus usuarias, facilitándoles el acceso a nuevas técnicas para el mantenimiento y renovación de la infraestructura. Esto habrá de implicar una evaluación participativa similar a la presentada en el MVS, donde la institución y la organización de usuarios desarrollarán

conjuntamente y de acuerdo a las capacidades y conocimientos de cada quien, un diagnóstico de la infraestructura y de la situación del sistema de agua.

Fortalecer las organizaciones en torno al sistema: primer nivel

En referencia a las mujeres en torno a sus sistemas de agua, entendemos por fortalecimiento a aquel proceso que permite a las usuarias defender sus derechos de acceso al agua, tomar decisiones de manera colectiva y bien informada, usar eficientemente el recurso, así como la capacidad de negociación con distintas organizaciones, con otros usuarios y con las instituciones gubernamentales, para garantizar su participación en los programas o proyectos dirigidos al sector hidroagrícola.

El logro de lo anterior requiere que las usuarias de los sistemas de agua alcancen una visión contextualizada del momento que vive el país en términos de su transición de un modelo económico a otro, del lugar que ellas ocupan en dicho contexto; de las razones por las que deben desarrollar un sistema de organización y gestión más efectivo, participativo y motivador para todas sus integrantes; y el porqué de la necesidad de formalizar su situación legal como usuarias del agua que les permita nuevas formas para defender sus derechos de uso del recurso. A partir de estas consideraciones, podemos precisar, de manera general, tres perspectivas alrededor de las cuales se plasma la propuesta para el fortalecimiento de las organizaciones de las mujeres en el primer nivel: la socioeconómica, la socio-organizativa y la del ámbito jurídico-legal como usuarias con o sin títulos de concesión.

Elevar el poder de negociación y la capacidad de gestión: segundo nivel

Cabe señalar de que las mujeres que ya se organizaron con base en el anterior enunciado, podrán constituirse en este segundo nivel, donde deberán buscar los intereses en común que les permitirán

organizarse para buscar un MVS que implica el crecimiento económico, el buen uso del recurso hídrico, la equidad social y de género.

Esta fase del proceso propone promover reuniones entre los y las usuarias que comparten una misma fuente de abastecimiento, para que conjuntamente realicen un análisis de su situación y la búsqueda de intereses comunes, ya sea en el terreno de la mejora de la operación del riego, o bien en el de la producción y comercialización. Es decir, esta fase es un salto cualitativo encaminado a recuperar la experiencia organizativa del primer nivel a la de un MVS en este nivel, en el que los esfuerzos se orientan a identificar las áreas que requieren mayor asistencia técnica y detectar alternativas viables entre las mujeres y los hombres que decidieron asociarse, unir esfuerzos e intercambiar experiencias.

Constitución de redes de apoyo

La globalización de la economía exige que los y las usuarias del agua tengan una serie de datos e información ampliada y actualizada respecto a las nuevas tecnologías de manejo del agua; sobre formas de ejercer sus derechos y negociarlos frente a agentes agresores como son las fuentes de contaminación; sobre nuevos mercados para sus productos; sobre los flujos comerciales, los precios a nivel local, regional e internacional y otras similares. Requieren, asimismo, tener conocimiento acerca de la tecnología necesaria para identificar los nichos de mercado para nuevos productos y formas innovativas de elaborarlos.

La heterogeneidad de la información que los y las usuarias del agua requieren hace necesaria la formación de redes de recursos profesionales, que den asesoría accesible a las organizaciones de mujeres que están en proceso de fortalecimiento. A escala nacional y estatal existen múltiples agentes capaces de aportar asesoría y asistencia técnica con las que se podría configurar una red de apoyo de varias organizaciones de acuerdo con los requerimientos del grupo, los que pueden ser asociaciones femeninas; universidades y facultades especializadas en los temas

de interés en torno al recurso hídrico; institutos, organizaciones no gubernamentales y fundaciones privadas; centros de investigación e instituciones.

Todos los puntos señalados parten del hecho de que son parte de un proceso dinámico y en constante cambio, por lo que la metodología debe adaptarse a los momentos y necesidades del grupo y no a la inversa. Asimismo, el conocimiento y las habilidades de las organizaciones de mujeres alrededor de su sistema de agua, deben ser tomadas en cuenta para que, en una acción conjunta con las redes de apoyo, se diseñen estrategias de acción que modifiquen la valoración usual del papel de la mujer, por una perspectiva nueva; para ello es necesario:

- Incidir en la voluntad política de las autoridades del sector hídrico para que integren a la mujer en todos los niveles de toma de decisiones.
- Diseñar estrategias organizativas tendientes al empoderamiento de las mujeres.
- Buscar el fortalecimiento organizativo para el manejo de los recursos económicos, naturales y humanos.
- Organizar talleres y cursos de capacitación administrativa, así como de transferencia de tecnología para el manejo del recurso y otros temas de acuerdo con las necesidades de la organización.

Literatura citada

Benería, Lourdes, Martha Roldán (1987). *The crossroads of class and gender: industrial homework, subcontracting, and household dynamics in Mexico City*, University of Chicago Press, Chicago, USA.

Bennett, Vivienne, Sonia Dávila Poblete, Nieves Rico (Eds.) (2004). *Opposing currents: The politics of water and gender in Latin America*, University of Pittsburgh Press, en imprenta en Pittsburg, USA.

Chomsky, Noam, Dietrich Heinz (1996). *La sociedad global. Educación, mercado y democracia*, Planeta, México.

Comisión Brundtland (1988). *Nuestro futuro común*, Alianza, Madrid, España.

Comisión Económica para América Latina y el Caribe (1998). *Recomendaciones de las reuniones internacionales sobre el agua: de Mar del Plata a París*, LC/R.1865, CEPAL, Santiago, Chile.

Comisión Económica para América Latina y el Caribe (2002). *Globalización y Desarrollo*, CEPAL, Santiago, Chile.

Comisión Económica para América Latina y el Caribe, Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (2002). *América Latina y el Caribe hacia la cumbre mundial sobre el desarrollo sostenible. Conferencia regional preparatoria, Serie Seminarios y Conferencias*, CEPAL, 22. Santiago, Chile.

Congreso Mundial de la Mujer para un Planeta Sano (1991). *Agenda de acción de la mujer 21*, Fundación Arias para la Paz y el Progreso Humano, San José, Costa Rica.

Cosgrove, W.J., F.R. Rijsberman (2000). *World Water Vision: Making Water Everybody's Business*, World Water Council, Earthscan, [Ahlers], London, England.

Dávila Poblete, Sonia (1999). "Quién tendrá que pagar la cuenta", en *Población y Medio Ambiente: Descifrando el Rompecabezas*, Haydea Izazola (Ed). El Colegio de México, Sociedad Mexicana de Demografía, México, pp. 303-325.

Deere, Carmen Diana, Magdalena León (2001). *Empowering women: Land and property rights in Latin America*, University of Pittsburgh Press, Pittsburgh, USA.

Economic Commission for Latin America and the Caribbean (1998) *Report of the Seventh Session of the Regional Conference on the Integration of Women into the Economic and Social Development of Latin America and the Caribbean*, LC/G2016 (crm.7/7), ECLAC, Santiago, Chile.

Fondo de Población de las Naciones Unidas, en <http://www.unfpa.org/news/news.cfm?ID=193>

García de la Cruz, José Manuel, Ángeles Sánchez Díaz (2002). "Maastricht y Washington: dos experiencias diferentes", *Política y Cultura*, 17, pp. 25-44.

Global Water Partnership Technical Advisory Committee (2000). *Integrated Water Resources Management*. Technical Advisory Committee Background Papers, no. 4 (March), Global Water Partnership, Stockholm, Sweden.

Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (1997). *Mujeres y Hombres en México*, INEGI, México.

International Institute of Development Management Technology (IDMAT) (2000). *Women and development management technology*, IDMAT Asia Office, India.

Meinzen-Dick, Ruth, Margareet Zwarteveen (1997). *Gendered Participation in Water Management: Issues and Illustrations from Water Users' Associations in South Asia*, Trabajo presentado en el taller de Women and Water, IMWI, Sri Lanka.

Naciones Unidas, en <http://www.un.org/esa/sustdev/agenda21text.htm>.

Naciones Unidas, en <http://www.un.org/News/Press/docs/1992>.

Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, en <http://www.undp.org>.

United Nations (1992a). *The Dublin Statement and Report of the Conference, International Conference on Water and the Environment: Development Issues for the 21st Century*, Dublin, Ireland, January 26-31, The United Nations, New York, USA.

United Nations (1992b). *Report of the United Nations Conference on Environment and Development, A/CONF.151/26*, The United Nations, New York, USA.

United Nations (1992c). *Agenda 21 press report 1992*, United Nations, New York, USA.

United Nations (1995). *Report of the Fourth World Conference on Women, A/CONF.177/20*, The United Nations, New York, USA.

United Nations General Assembly (2000). *Further actions and initiatives to implement the Beijing Declaration and Platform for Action, A/res/s-23/3*, The United Nations, New York, USA.

United Nations (2001). *State of the World's Children*, UNICEF, New York, USA.

Vaca Bucelli, Rocío (1995). "Mujeres campesino-indígenas: socialización, cambios y conflictos" en Marcia Rivera (Compiladora), *Voces femeninas y construcción de identidad*, CLACSO, Buenos Aires, Argentina.

Western Center for Environmental Decision-making, en <http://www.wced.org>.

Microsoft Encarta Encyclopedia 2000. Women, Employment © 1993-1999 Microsoft Corporation. Derechos Reservados. (Versión en CD).

World Water Council (2000). *Final Report. World Water Council's Second World Water Forum and Ministerial Conference: From Vision to Action*, Water Management Unit, Ministry of Foreign Affairs, The Hague, The Netherlands.

**METODOLOGÍA PARA EL USO DE LOS SISTEMAS DE
INFORMACIÓN GEOGRÁFICA PARA LA ESTIMACIÓN DE LA
PÉRDIDA DE BOSQUE Y EL CÁLCULO DE LOS NÚMEROS DE
ESCURRIMIENTO.
CASO DE APLICACIÓN: LA CUENCA DEL RÍO EL QUELITE**

Margarita E. Preciado J.
Aldo I. Ramírez O.
Alfredo R. Ocón G.

Resumen

Los sistemas de información geográfica (SIG) se han constituido durante los últimos 10 años en una de las más importantes herramientas de trabajo para investigadores, analistas y planificadores, en todas las actividades cuyo insumo es el manejo de la información. Este trabajo presenta una metodología para el cálculo de la pérdida de áreas boscosas, teniendo como caso de aplicación la cuenca del río El Quelite en el estado de Sinaloa, México. Como base se cuenta con las imágenes de satélite de diferentes años entre 1973 y 2000, usando un sistema reinformación geográfica (SIG) para evaluar y calcular dichas áreas boscosas. La pérdida de los bosques conduce a la pérdida del suelo, reducción en tiempo de concentración de la cuenca y cambio en el volumen de la recarga.

Los resultados de este estudio establecieron que el número de escurrimiento (N) ha crecido en un promedio del 5% y que a su vez la producción de agua en la cuenca ha aumentado hasta 35% en volumen. Aun cuando la deforestación produce un incremento en el volumen escurrido, la intensificación de sedimentos producidos por la cuenca, el cambio en el régimen de la precipitación y la reducción de los volúmenes de recarga, pueden ser factores que inclinen la balanza hacia la protección de los bosques en el mundo.

Metodología

Localización de la cuenca en estudio

La cuenca deberá estar aforada por una estación hidrométrica a su salida, contar con información hidrométrica y tener información climatológica por un periodo de tiempo similar al que se va a estudiar.

Edafología de la cuenca

Es necesaria la determinación de los suelos predominantes en la cuenca, es decir, el tipo de suelo por el cual está constituida la misma. Los suelos pueden ser tipo A (gravas y arenas de tamaño medio y mezcla de ambas), B (arenas muy finas, arcillas de baja plasticidad, mezcla de arena, limo y arcilla), C (arenas finas, limos orgánicos e inorgánicos mezcla de arena y limo).

División por subcuencas

Para efectos de modelar correctamente la cuenca, se hace una subdivisión tomando como referencia el uso y el tipo de suelo predominante en cada zona; esto permite un mejor control en la modelación y facilita el proceso de calibración. La subdivisión de la cuenca permite adicionalmente el manejo distribuido de los números de escurrimiento.

Uso de suelo en la cuenca

Esto se determina usando las cartas de cobertura vegetal para la zona de estudio; en el caso de aplicación se utilizaron tres imágenes de satélite: una de 1973, otra de 1990 y la última de 2000.

Determinación de los números de escurrimiento

El número de escurrimiento N es un valor que depende del tipo de suelo, la cobertura vegetal, la pendiente del terreno y la precipitación antecedente, entre otros factores, y sirve para calcular la lluvia efectiva o en exceso y, por lo tanto, las pérdidas por infiltración (Aparicio, 2001).

Una de las funciones más importantes del SIG es la capacidad de combinar distintas capas en una sola operación, que se conoce con el nombre de “superposición”. Con la superposición de los mapas digitales de la cuenca a analizar, esto es, el mapa de edafología, el mapa de uso de suelo, y adicionando según el uso de cultivo una tabla con los números de escurrimientos que se reportan en la literatura, se obtienen los números de escurrimiento ponderados por regiones.

Caso de estudio: la cuenca del río El Quelite

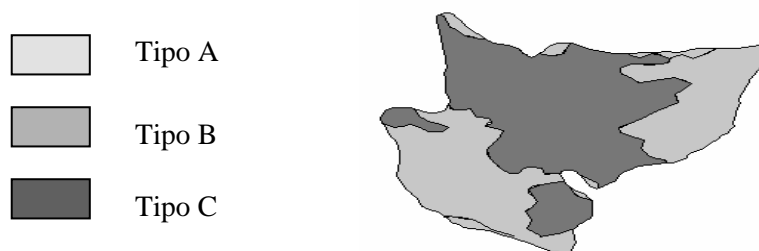
Localización de la cuenca en estudio

La cuenca del río El Quelite se localiza en la porción noroccidental de la República mexicana. Se ubica en la región hidrológica número 25, y tiene un área total de 835 km² hasta la estación hidrométrica denominada El Quelite.

Edafología de la cuenca

Los suelos predominantes en la cuenca del río El Quelite son del tipo C y B. Estos tipos de suelo ocupan 90% de la superficie del estado de Sinaloa y se aprecian principalmente en el noroeste, este, sur, y hacia el oriente de la parte norte y central del estado (INEGI, 2000); el 10% restante está constituido por el tipo A (figura 1).

Figura 1. Edafología de la Cuenca del río El Quelite



División por subcuencas

Para efectos de modelar correctamente la cuenca del río El Quelite, se subdividió en cuatro subcuencas. Se tomó como referencia el uso y el tipo de suelo predominante en cada zona,

observándose en la parte alta de la cuenca una zona boscosa; en la parte media, zonas de selva media y baja, y en la parte baja de la cuenca, una creciente zona agrícola.

Figura 2. División por subcuencas de la Cuenca del río El Quelite



Uso de suelo en la cuenca

En la cuenca baja se tiene un uso de suelo agrícola en su mayoría. La parte media es una zona selvática baja caducifolia y media, con una creciente zona agrícola alrededor de las rancherías. En la parte alta de la cuenca se nota un cambio inmediato en el clima, variando del cálido en la parte baja y media baja, al templado en la parte media alta y alta de la cuenca. Por otro lado, el tipo de vegetación varía desde arbustos medios hasta grandes árboles cerca del parteaguas.

Figura 3. Uso de suelo de la cuenca del río El Quelite, año 1973



Figura 4. Uso de suelo de la cuenca del río El Quelite, año 1995



Figura 5. Uso de suelo de la cuenca del río El Ouelite, año 2000

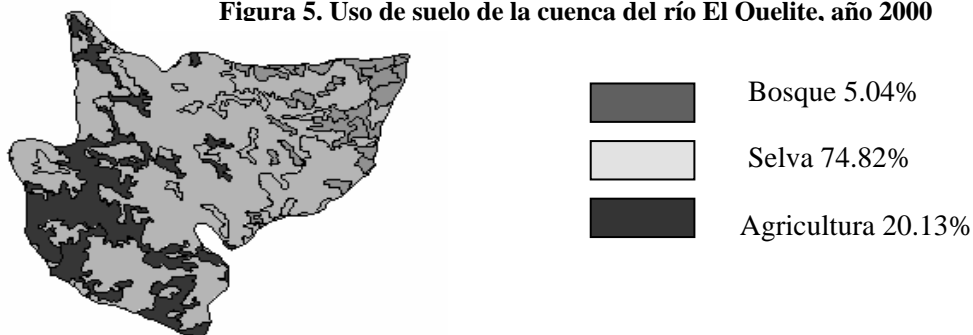


Tabla 1. Determinación de los números de escurrimiento

| Subcuencas | Área (km ²) | Número de Escurrimiento | | |
|------------|-------------------------|-------------------------|--------|--------|
| | | (1973) | (1995) | (2000) |
| Uno | 176.82 | 69 | 73 | 75 |
| Dos | 363.47 | 70 | 71 | 72 |
| Tres | 88.41 | 73 | 73 | 75 |
| Cuatro | 206.29 | 74 | 77 | 79 |

Conclusiones

Para diversos problemas relacionados con agua y bosque las soluciones requieren con frecuencia acceso a varios tipos de información que sólo puede ser relacionada por geografía o distribución

espacial. En este sentido, únicamente la tecnología SIG permite almacenar y manipular información usando geografía, y como medio para analizar patrones, relaciones, y tendencias en la información, con el fin de contribuir a tomar mejores decisiones.

En el caso analizado, nos damos cuenta de que aunque la pérdida de bosque propicia el escurrimiento, esto no siempre es favorable desde el punto de vista de la oferta de agua. Por ejemplo, el efecto en el cambio del clima debido al cambio en la cobertura vegetal de la región y el comportamiento de las lluvias, son aspectos aún no estudiados y que podrían ocasionar situaciones desfavorables a largo plazo para la cuenca del río El Quelite.

La metodología aquí expuesta puede ser aplicada en otras cuencas con información de uso y tipo de suelo en grandes periodos de tiempo. Ello favorece la obtención de un mayor número de datos con los cuales se podría establecer una correlación entre las áreas de bosque perdidas, los volúmenes de infiltración y otras variables que en este trabajo no se han tomado en cuenta explícitamente, como pueden ser los cambios en los microclimas de la zona.

Literatura citada

Aparicio Mijares, J. (2001). *Fundamentos de hidrológica de superficie*, Limusa, México.

Blackland Research y Extension Center, "Suggested values of curve number", en <http://www.brc.tamus.edu>.

Chow V.T (1988). *Runoff curve numbers for selected agricultural, suburban and urban land use. Applied hydrology*, Mc Graw Hill. New York. USA.

Comisión Nacional del Agua (1988). *Instructivo de hidrológica para determinar la avenida máxima ordinaria asociada a la delimitación de la zona federal*, CNA, Volumen 1, México.

Comisión Nacional del Agua, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (2000). *Banco Nacional de Datos de Aguas Superficiales*, Paquete tecnológico, base de datos, Jiutepec, Morelos, México.

Hydrologic Engineering Center (2001). *US Army Corps of Engineers, Hydrologic Modeling System HEC-HMS User's Manual, version 2.1*, HEC, USA.

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (2000). *Cartas edafológicas del estado de Sinaloa*, INEGI, México.

National Engineering Handbook (1972). "Runoff Curve Numbers", USDA-NRCS, hydrology section 4. Spiral edition. *Water Resources Pub.*, Vol. I, New York. USA, p. 84.

Rzedowsky, J. (1989). *Vegetación de México*, Limusa, México.