

ha estimado indirectamente el volumen total en 4,390 millones de metros cúbicos por año. Los datos más precisos provienen de la Comisión del Canal de Panamá (CCP) cuyas estaciones hidrométricas recogen datos diarios de los ríos principales. Según los registros de la CCP durante los veintiséis años comprendidos entre 1970 y 1996, los ríos que más agua producen, en millones de metros cúbicos por año, son: Chagres (961 Mm<sup>3</sup>), Pequení (437 Mm<sup>3</sup>), Ciri Grande (300 Mm<sup>3</sup>), Boquerón (253 Mm<sup>3</sup>), Trinidad (212 Mm<sup>3</sup>) y Gatún (212 Mm<sup>3</sup>). Estas seis subcuencas que representan el 60% de la superficie de drenaje, aportan en su conjunto 2,375 millones de metros cúbicos de agua anuales, equivalentes al 54% de la producción anual de agua para la Cuenca del Canal.

También son importantes los tributarios menores que aportan el 46% de la producción restante de agua, representando el 40% de la superficie de captación. Sobre estos ríos y quebradas, cuyas cuencas están mayormente deforestadas, se tiene poca información. Entre estos cursos están el Chilibre, el Gatuncillo, Las Cascadas, La Puente, Caño Quebrado, el Mandinga y otros. Con la creciente

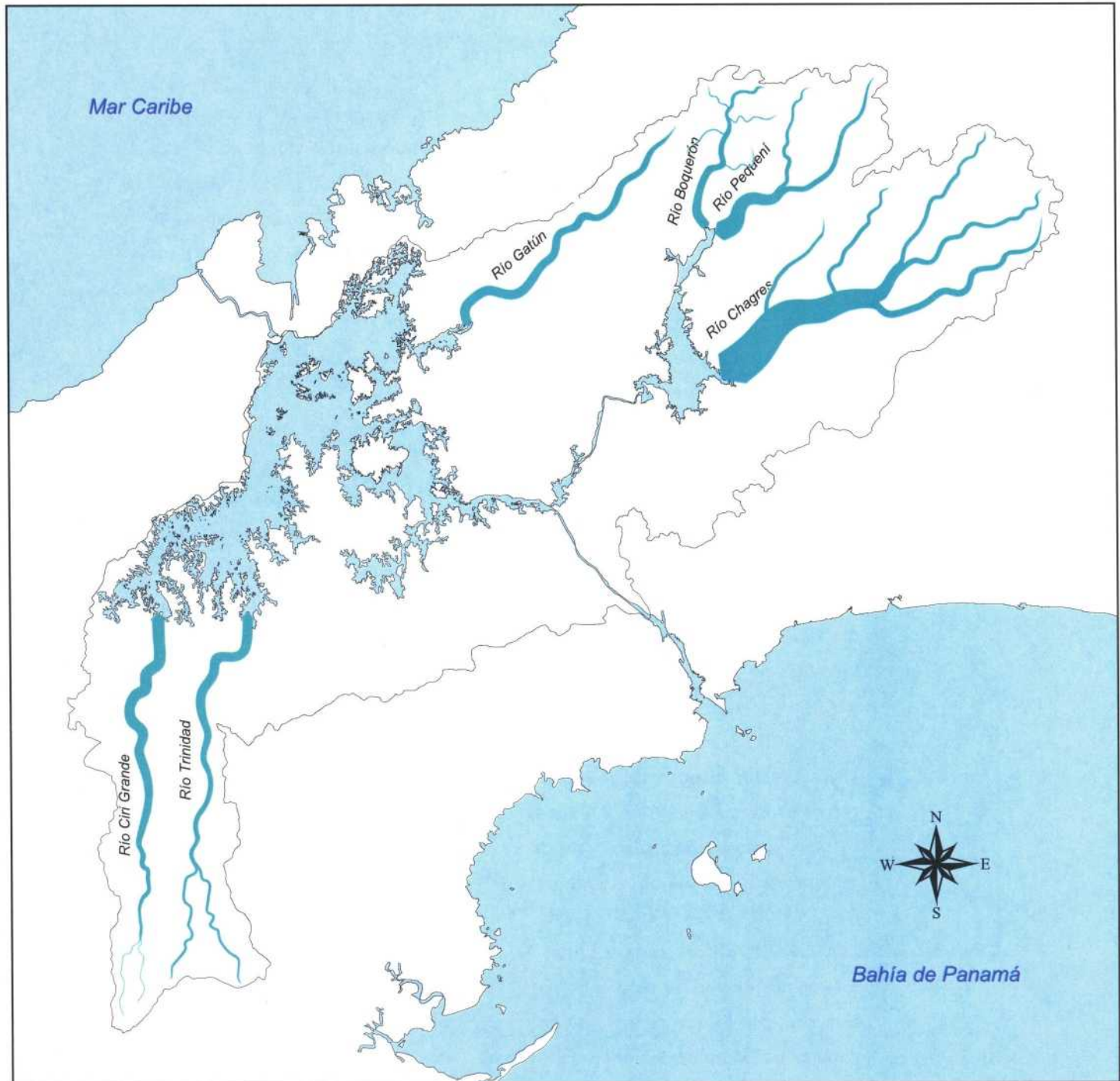
demanda de agua, es importante monitorear en el futuro inmediato algunos de estos cursos menores. La mayor parte de la superficie de estos afluentes menores, sin controles hidrométricos, está cubierta de potreros y suelos desnudos, y es de esperarse que estas subcuencas presenten mayor alteración en su régimen hidrológico impidiendo un mejor aprovechamiento del agua.

Al estudiar los patrones hidrológicos de dos de los ríos principales de la Cuenca del Canal, se observa un comportamiento similar al manifestado por las microcuencas de Agua Salud. Así, el alto Chagres, con 98% de su superficie constituida por bosques, mantiene un régimen hidrológico más uniforme durante el año, contrario al Trinidad que sólo tiene 18% de su superficie constituida por bosques y cuyo régimen hidrológico, más alterado, dispone de mayores volúmenes de agua en el período lluvioso y menor disponibilidad en la estación seca.

Entre las implicaciones de estos comportamientos en los flujos de agua de los ríos con cuencas alteradas, podrían estar las grandes crecidas en años muy lluviosos y caudales mínimos extremos en años secos.

Producción de agua de los seis ríos principales.

Los seis ríos que más agua aportan a la Cuenca del Canal son el Chagres, Pequení, Ciri Grande, Boquerón, Trinidad y Gatún. Nótese la contribución del Chagres en comparación con los otros cinco.



#### 4. Erosión y sedimentación en los ríos principales

Debe subrayarse que en los ríos principales las tasas de erosión han tendido a disminuir desde inicios de la década de 1980, aunque el patrón de lluvias no ha variado. Esta tendencia decreciente en la producción de sedimentos y concentraciones de descarga ponderada es muy posible que obedezca al establecimiento de áreas protegidas en los bosques ubicados en las cabeceras de los ríos principales y a un aumento en la superficie de rastrojos por regeneración natural, así como a una marcada disminución en la deforestación.

No obstante, en 1996, uno de los años más lluviosos registrados, esta tendencia se interrumpió, incrementándose las tasas de producción de sedimentos. Las mayores tasas se dieron en los ríos Ciri Grande y Trinidad, en el sector oeste; se observó un incremento proporcional de 10.2 y 2.4 veces respectivamente comparado con la tasa promedio anual observada para el período 1981-1994. Esta área está mayormente deforestada o tiene menor protección de cobertura boscosa, por lo que representa una zona crítica durante los años de lluvias

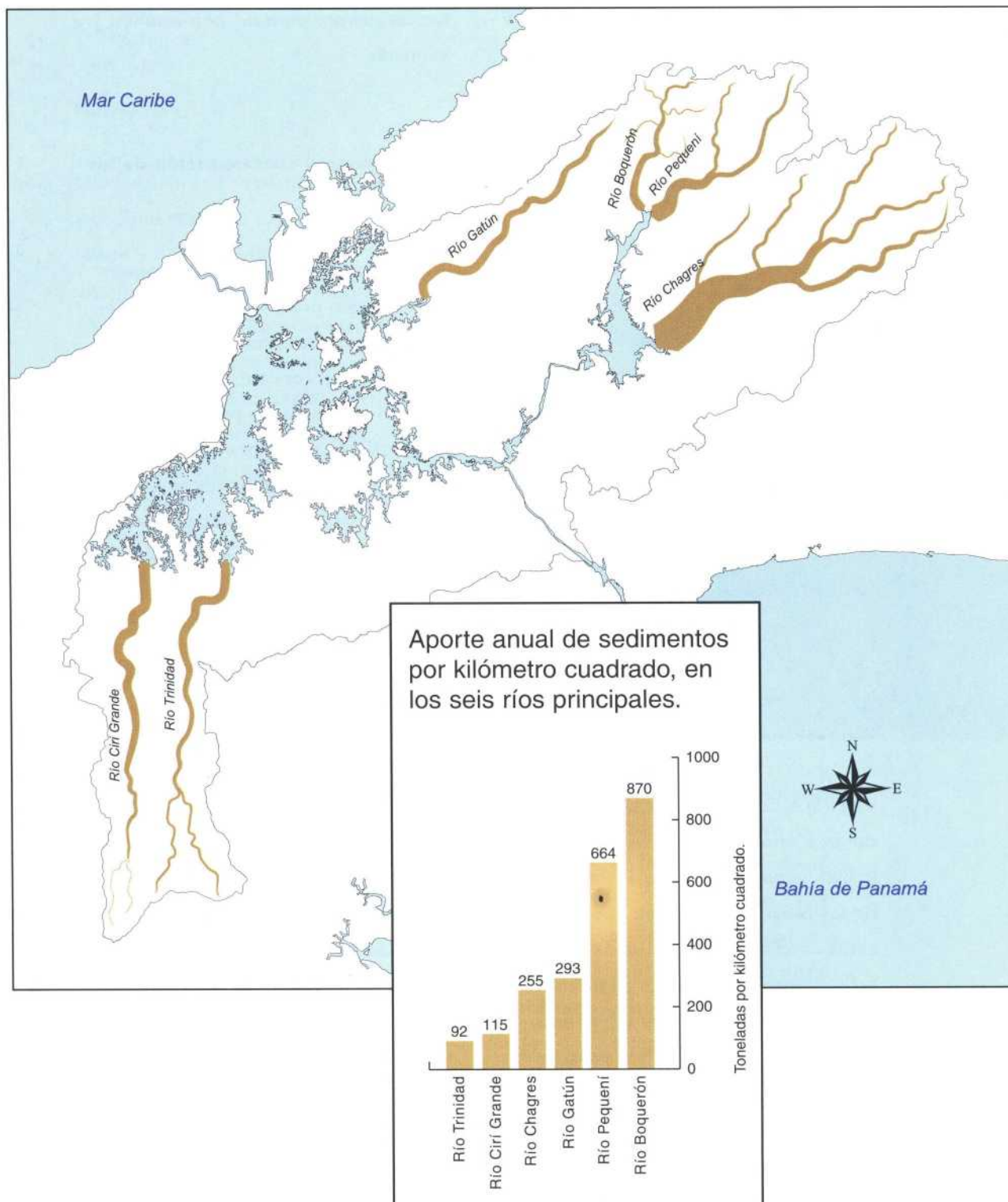
extremas. Una razón del incremento en su erosión puede ser la construcción de más caminos de penetración en las subcuencas.

Según datos suministrados por la CCP, los ríos de la Cuenca con mayor producción anual promedio de sedimentos (estimados para el período de 1987 a 1996 en toneladas por año) son: Chagres (97,629 Ton/año), Pequení (56,838 Ton/año), Boquerón (48,658 Ton/año), Ciri Grande (35,823 Ton/año), Gatún (35,606 Ton/año) y Trinidad (19,434 Ton/año).

No obstante, al ponderar la producción de sedimentos en base a la superficie de cada cuenca, entre 1981 y 1994, los ríos que aportaron las mayores tasas en toneladas de suelos por kilómetro cuadrado por año fueron: Boquerón (870 Ton/km<sup>2</sup>/año), Pequení (664 Ton/km<sup>2</sup>/año), Gatún (293 Ton/km<sup>2</sup>/año), Chagres (255 Ton/km<sup>2</sup>/año), Ciri Grande (115 Ton/km<sup>2</sup>/año) y Trinidad (92 Ton/km<sup>2</sup>/año). En estudios realizados en otras regiones tropicales, se ha determinado que la tasa natural de producción de sedimentos de una cuenca cubierta por bosques y con geologías similares está en el rango de 100 a 600 Ton/km<sup>2</sup>/año. Las subcuencas que drenan hacia el lago Alhajuela

Producción de sedimentos en los seis ríos principales.

En términos absolutos, el río Chagres es el que más sedimentos aporta anualmente. No obstante, en base a la superficie de cada cuenca, el río que más contribuye por kilómetro cuadrado es el Boquerón.



presentan las tasas más altas, algunas sobrepasan los valores naturales, y es en la zona norte del lago, en las desembocaduras de los ríos Boquerón y Pequení, donde se observan los mayores bancos de sedimentos acumulados.

Se han propuesto dos hipótesis para explicar el fenómeno de la aparente disminución en la producción de sedimentos en la Cuenca: (1) la regeneración de la vegetación subsecuente a la deforestación, y (2) el planteamiento de que las producciones de sedimentos están controladas por la erosión, tanto superficial como profunda. Esta erosión profunda se debe a deslizamientos de tierra ocurridos durante períodos prolongados de lluvias intensas, siendo este el factor preponderante. Esta segunda hipótesis parece describir mejor que la primera las tendencias de erosión observadas.

Una variable importante a considerar durante años hidrológicos extremos (muy húmedos) debe ser la intensidad de las precipitaciones, ya que bajo estas condiciones climáticas se pueden activar eventos como los deslizamientos de tierras. Será muy útil conocer en el futuro su efecto en la erosión de la Cuenca, al momento de concebir y

aplicar métodos de control, al igual que para evaluar las áreas de mayor riesgo de deslizamientos que representen un peligro para las poblaciones humanas.

##### **5. La creciente contaminación de las aguas**

El estudio de la calidad de las aguas ha sido poco profundizado. Las contadas investigaciones hasta ahora realizadas se han concentrado en las tomas de agua de las potabilizadoras de Miraflores y Chilibre en Panamá y Mount Hope en Colón. En el resto del país la situación es similar, por no contarse con una red de estaciones para monitorear los cambios en la calidad de las aguas de ríos y quebradas. En el caso de la Cuenca del Canal, poco se sabe de lo que ocurre en la mayoría de los cursos de agua que fluyen a los lagos. El antecedente principal consiste en el estudio de 1975 de la Comisión del Canal, cuyos puntos de muestreo se localizaron mayormente en el lago Gatún.

A grandes rasgos, la evaluación hecha por el PMCC basada en indicadores de contaminación orgánica, inorgánica y microbiológica, apuntan a un creciente deterioro de la calidad de las aguas.

Sobre todo en el curso medio del Chagres, el sector más afectado por la urbanización e industrialización a lo largo del eje de la carretera Transístmica.

### Nutrientes

Los nutrientes son elementos químicos y compuestos que existen en la naturaleza y que son utilizados por los organismos vivos para mantener sus procesos vitales. En este estudio de la calidad de las aguas se analizó la presencia de dos clases de nutrientes: las formas de nitrógeno (nitratos  $\text{NO}_3^-$ , nitritos  $\text{NO}_2^-$  y amonía  $\text{NH}_4^+$ ) y los fosfatos ( $\text{PO}_4^{3-}$ ).

El aumento de los nutrientes en el agua, producto de las descargas de las aguas servidas domésticas e industriales y del uso de fertilizantes, promueve el rápido deterioro de su calidad. Este proceso de degradación es conocido como eutroficación, que se manifiesta por el incremento de la vegetación acuática, la coloración verde grisácea del agua, la producción de malos olores y la disminución en las concentraciones de oxígeno disuelto.

Para establecer la tendencia en la concentración de nitratos a través del

tiempo, se compararon los resultados obtenidos por el PMCC de 1997 a 1998 en 14 sitios cercanos a los estudiados en 1975 por la CCP. En 1975 las concentraciones de nitratos variaban entre 0.010 a 0.114 miligramos por litro (mg/l), presentándose las mayores concentraciones en los ríos Chilibre (0.114 mg/l), Chagres, cerca



de Gamboa, (0.070 mg/l) y Gatuncillo (0.053 mg/l). Actualmente, se ha detectado que las concentraciones de nitratos son más altas que en 1975 para todos los 14 sitios comparados. El rango de concentración de nitratos ahora varía entre 0.063 y 3.017 mg/l. En los ríos Chilibre y Gatuncillo los incrementos de nitratos son de 20 a 60

Crecimiento de vegetación acuática en el Chagres debido al exceso de nutrientes. Es señal del deterioro de la calidad del agua por la contaminación.

veces mayores que en 1975, siendo las principales causas de este aumento la constante y rápida expansión de la población e industrias en ambos ríos y, por tanto, de los volúmenes de aguas servidas.

En cuanto a las formas de nitrógeno (nitratos, nitritos y amonía), se detectó que los niveles más altos se hallan aguas abajo de las áreas urbanas, agrícolas y ganaderas. Las aguas con mayores niveles de nitrógeno son las de los ríos Gatuncillo, Obispo, Chilibre, Quebrada Ancha, Palenque II, Salamanca, Cabuya, Chilibrillo, Palenque Nueva Providencia, Cacao y Baila Monos.

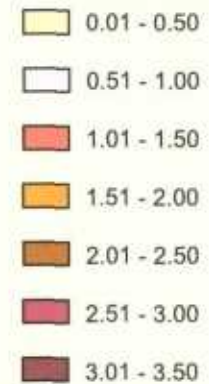
Las mayores concentraciones de fosfatos, expresados como fosfato ( $\text{PO}_4^{3-}$ ), se presentaron al igual que los nitratos y en forma decreciente, en río Chilibre, río Chilibrillo (en el cauce del Canal cerca del poblado de Paraíso), río Chagres (a la altura del puente de la Transísmica), quebrada Ancha, río Gatuncillo, quebrada Lato y río Obispo.

El creciente enriquecimiento de las aguas superficiales con nitrógeno y fosfato acelera la eutroficación, lo que agrava la proliferación de malezas

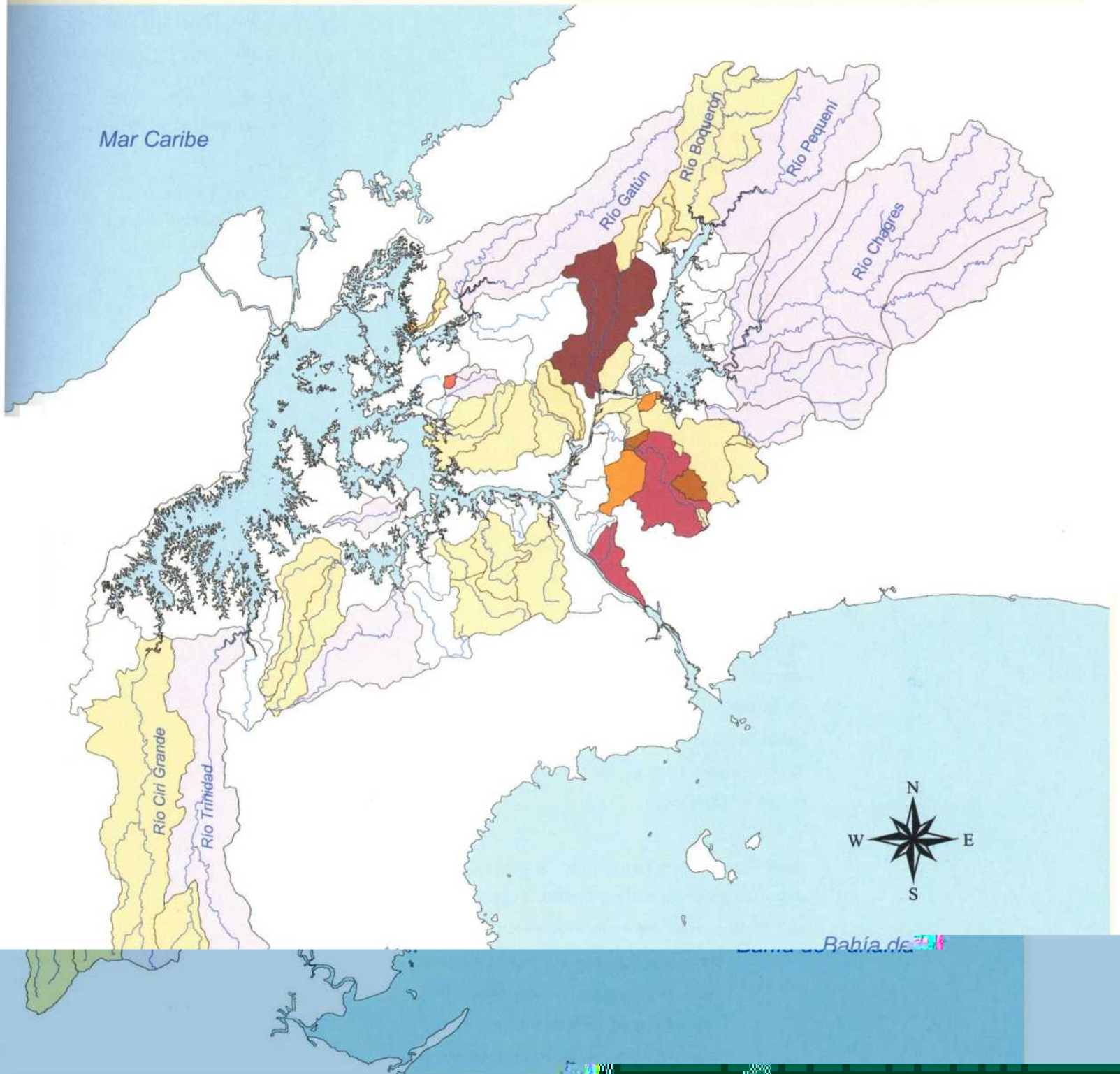
## Concentración de nitratos

(Estación seca: enero-abril 1998)

Concentración de Nitratos ( $\text{NO}_3^-$ )  
Nitritos ( $\text{NO}_2^-$ )  
y Amonía ( $\text{NH}_4^+$ )  
en mg/l



Nótese que los ríos con mayor concentración de nitratos son los ubicados en el eje de la carretera Transistmica.





acuáticas. Este problema adquiere proporciones preocupantes en el curso medio del Chagres, aguas arriba de Gamboa y cerca de la toma de agua de la planta potabilizadora de Miraflores, así como en las bocas de los ríos Paja, Baila Monos y Caño Quebrado en el lago Gatún.

### Contaminación orgánica






La materia orgánica se compone principalmente de combinaciones de carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno, proviniendo de plantas, animales y de las actividades humanas. Debido a la gran variedad de compuestos orgánicos en el agua, rara vez se analizan los compuestos individuales presentes en ella. Normalmente se efectúan análisis de parámetros no específicos como indicadores del contenido de la materia orgánica. Dentro de estos parámetros están el oxígeno disuelto (OD) y la demanda bioquímica de oxígeno (DBO).

Un indicador fundamental de la calidad del agua es el nivel de oxígeno disuelto. Todo cuerpo de agua (río, quebrada o lago), posee cierta capacidad para depurarse. No obstante, de sobrepasarse ciertos límites, esta capacidad de recuperación se pierde.

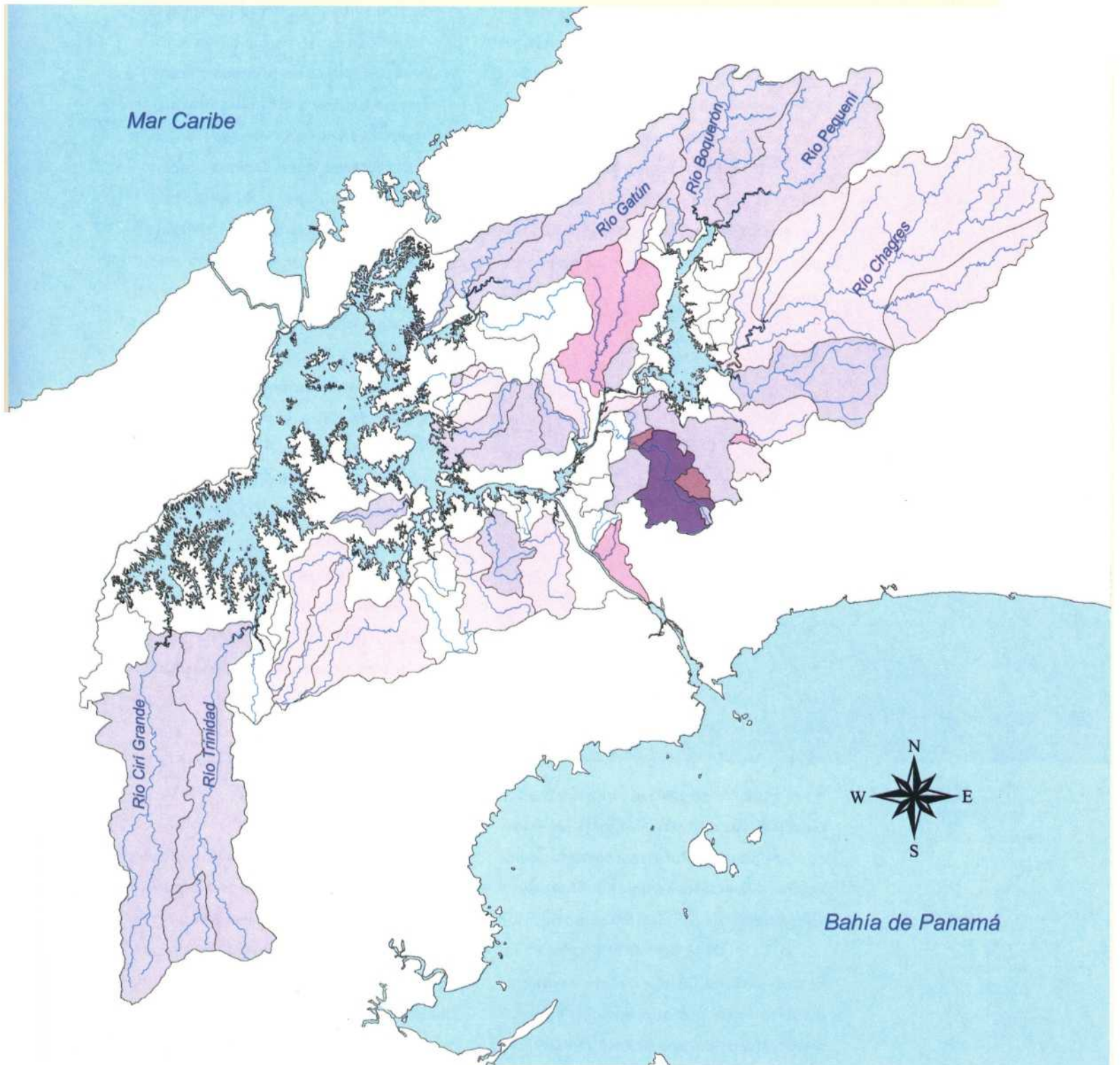
## Concentración de fosfatos

(Estación seca: enero-abril 1998)

Concentración de Fosfatos ( $\text{PO}_4^{-3}$ ) en mg/l

	0.001 - 0.125
	0.126 - 0.250
	0.251 - 0.375
	0.376 - 0.500
	0.501 y más

Las mayores concentraciones de fosfatos, debido a la presencia de detergentes en el agua, entre otras sustancias, se encuentran aguas abajo de las áreas urbanas, agrícolas y ganaderas.



Bajo condiciones ideales y a temperaturas normales del agua (que en los trópicos varía entre 25 y 30 °C), el oxígeno disuelto debe alcanzar concentraciones máximas que varían entre 8.2 y 7.5 miligramos por litro. Sin embargo, al aumentar el contenido de materia orgánica, baja la presencia de oxígeno. Una concentración menor de



Bajos niveles del lago Alhajuela durante el fenómeno El Niño de 1997. En la estación seca, al bajar los caudales de los ríos, aumenta la presencia de contaminantes y descienden los niveles de oxígeno.

3 miligramos de oxígeno por litro es baja, indicio de que las aguas se están contaminando. Para sustentar la vida acuática las concentraciones deben sobrepasar los 5 miligramos por litro.

El proyecto midió el nivel de oxígeno disuelto en el período lluvioso y luego el seco (septiembre a abril) de 1997 a

1998. Durante el período lluvioso, de los 15 sitios muestreados no se encontraron concentraciones de oxígeno disuelto menores a 4.8 miligramos por litro, pues el volumen de agua en ellos es mayor y se diluyen con más facilidad los contaminantes. Los ríos con menores concentraciones de oxígeno fueron los ubicados en las áreas más afectadas por el desarrollo: Chilibre, Chilibrillo, Palenque y Gatún.

Contrariamente, durante la estación seca, cuando bajan los caudales de los ríos, los niveles de contaminantes se concentran más, causando un descenso en el oxígeno disuelto. Los casos más críticos, entre los ríos que fluyen al lago Gatún, son: el Tinajones, Los Hules y Caño Quebrado; en la Transísmica, el Chilibre y sus afluentes, tales como quebradas Ñajú, Las Conchas y Lato; asimismo, el Gatuncillo y el Limón. En todos ellos la presencia de oxígeno es menor a 5 miligramos por litro.

En la estación seca, los ríos con más oxígeno son aquellos menos afectados por el hombre y cuyas cabeceras están dentro del Parque Nacional Chagres: Boquerón, La Puente, Las Cascadas, Chagres y Pequení. Su nivel de oxígeno se mantuvo arriba de los 7.2

miligramos por litro.

El parámetro denominado Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) es el más utilizado para medir la contaminación orgánica. Este representa la cantidad de oxígeno que las bacterias consumen para descomponer la materia orgánica en el agua, durante un período de cinco días y a una temperatura de 20 °C. Se considera que un sitio tiene problemas de contaminación, si los valores de esta demanda bioquímica de oxígeno están por encima de 10 mg/l. Este parámetro sólo se midió en el Chilibre, Chilibrillo y quebrada La Cabima, el principal afluente del río Chilibrillo. No obstante, en el futuro, este parámetro debe monitorearse en un mayor número de ríos y quebradas de la Cuenca, sobre todo en los más afectados por el desarrollo.

En el Chilibre y sus afluentes se encontraron en varios de los sitios muestreados valores mayores a 10 miligramos por litro. Entre ellos, los localizados en la barriada Nuevo Sitio El Carmen y Viento Fronco. El primero es un área muy poblada, y la segunda una zona de actividad ganadera y fincas porcinas. En el Chilibrillo, los niveles más altos de consumo de oxígeno por

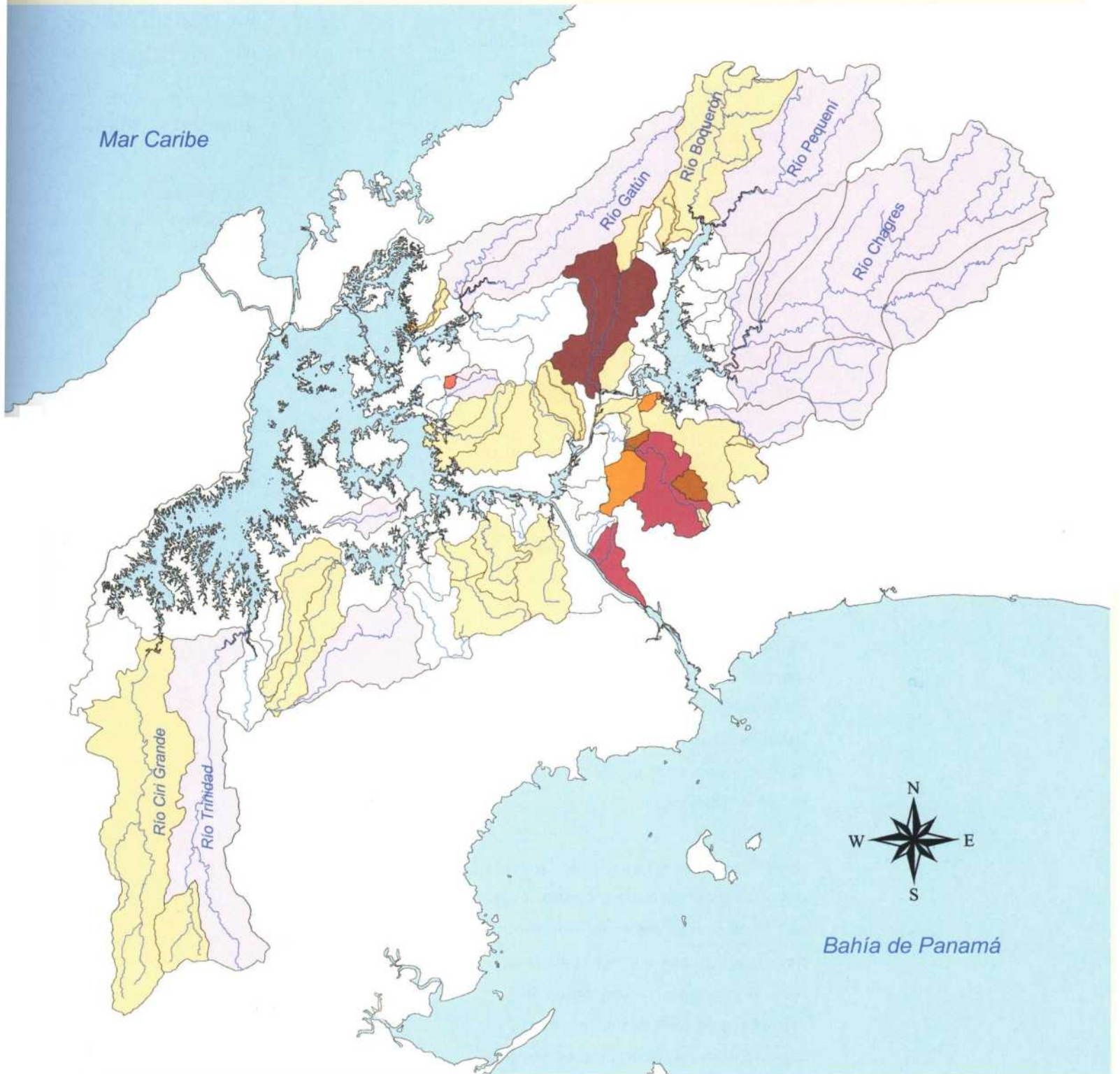
las bacterias se encontraron en el sector de Las Palmitas, el lugar más poblado de los atravesados por este río, donde hay muchos pequeños comercios, talleres de mecánica y una gran actividad ganadera.

### **Contaminación microbiológica**

Para caracterizar la contaminación microbiológica de las aguas se utilizan las bacterias coliformes totales y fecales. Dentro de estas últimas, la *Escherichia coli* sirve como organismo indicador de contaminación fecal y de la posible presencia de bacterias patógenas. Según las normas internacionales de calidad de agua, el agua potable no debe contener coliformes fecales. Para las aguas de uso recreativo, como los lagos Gatún y Alhajuela y el río Chagres, la máxima concentración de bacterias debe ser, para coliformes totales, de 1,000 NMP (Número Más Probable) por 100 mililitros, y para coliformes fecales, de 200 NMP/100 ml. Mientras que para el soporte de la vida silvestre, los coliformes totales no deben sobrepasar los 10,000 NMP/100 ml y los fecales 5,000 NMP/100 ml.

A grandes rasgos, todos los ríos muestreados en la Cuenca sobrepasan

Nótese que los ríos con mayor concentración de nitratos son los ubicados en el eje de la carretera Transistmica.



acuáticas. Este problema adquiere proporciones preocupantes en el curso medio del Chagres, aguas arriba de Gamboa y cerca de la toma de agua de la planta potabilizadora de Miraflores, así como en las bocas de los ríos Paja, Baila Monos y Caño Quebrado en el lago Gatún.

### Contaminación orgánica






La materia orgánica se compone principalmente de combinaciones de carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno, proviniendo de plantas, animales y de las actividades humanas. Debido a la gran variedad de compuestos orgánicos en el agua, rara vez se analizan los compuestos individuales presentes en ella. Normalmente se efectúan análisis de parámetros no específicos como indicadores del contenido de la materia orgánica. Dentro de estos parámetros están el oxígeno disuelto (OD) y la demanda bioquímica de oxígeno (DBO).

Un indicador fundamental de la calidad del agua es el nivel de oxígeno disuelto. Todo cuerpo de agua (río, quebrada o lago), posee cierta capacidad para depurarse. No obstante, de sobrepasarse ciertos límites, esta capacidad de recuperación se pierde.

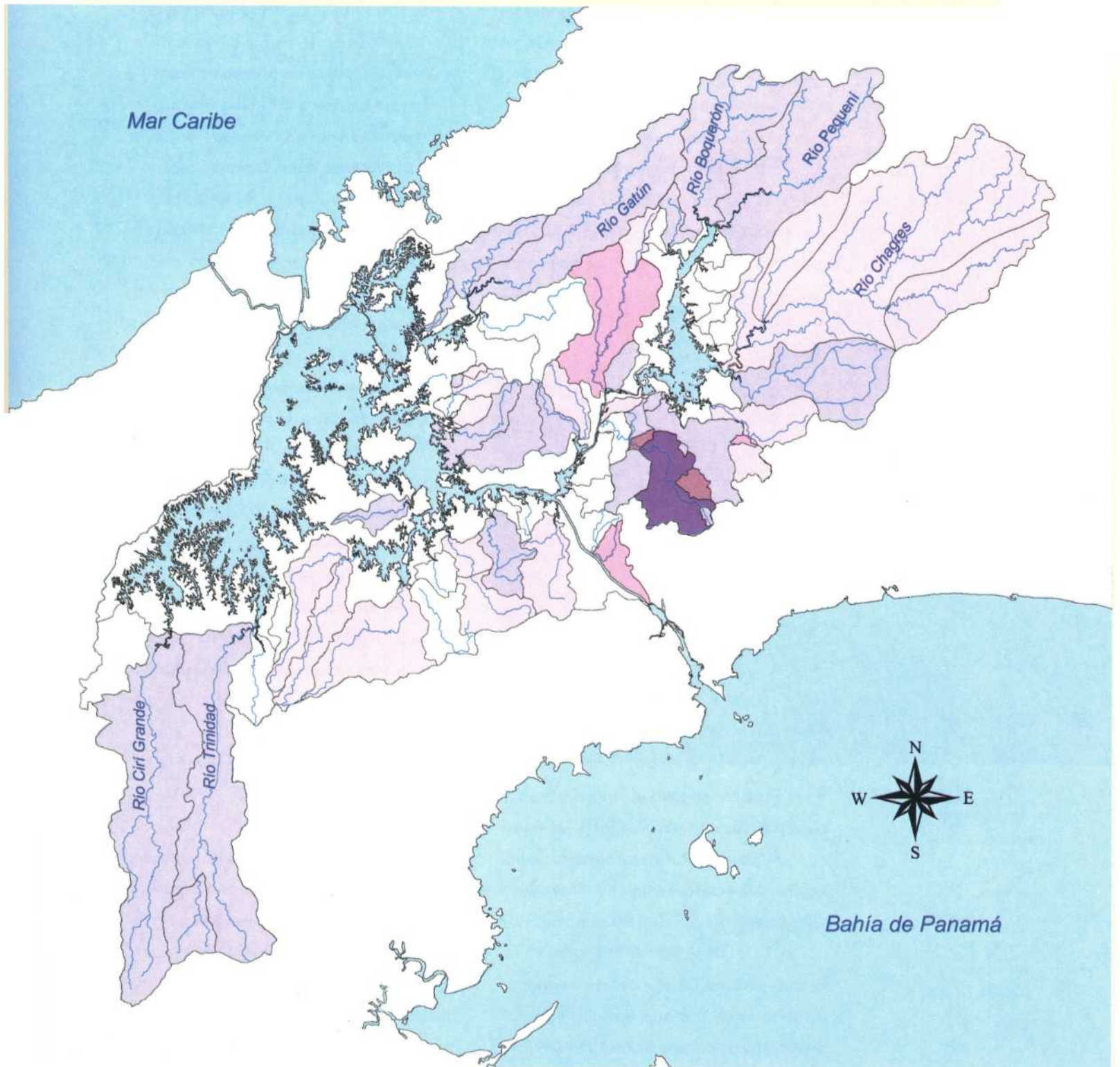
## Concentración de fosfatos

(Estación seca: enero-abril 1998)

Concentración de Fosfatos ( $\text{PO}_4^{-3}$ ) en mg/l

	0.001 - 0.125
	0.126 - 0.250
	0.251 - 0.375
	0.376 - 0.500
	0.501 y más

Las mayores concentraciones de fosfatos, debido a la presencia de detergentes en el agua, entre otras sustancias, se encuentran aguas abajo de las áreas urbanas, agrícolas y ganaderas.



Bajo condiciones ideales y a temperaturas normales del agua (que en los trópicos varía entre 25 y 30 °C), el oxígeno disuelto debe alcanzar concentraciones máximas que varían entre 8.2 y 7.5 miligramos por litro. Sin embargo, al aumentar el contenido de materia orgánica, baja la presencia de oxígeno. Una concentración menor de



Bajos niveles del lago Alhajuela durante el fenómeno El Niño de 1997. En la estación seca, al bajar los caudales de los ríos, aumenta la presencia de contaminantes y descienden los niveles de oxígeno.

3 miligramos de oxígeno por litro es baja, indicio de que las aguas se están contaminando. Para sustentar la vida acuática las concentraciones deben sobrepasar los 5 miligramos por litro.

El proyecto midió el nivel de oxígeno disuelto en el período lluvioso y luego el seco (septiembre a abril) de 1997 a

1998. Durante el período lluvioso, de los 15 sitios muestreados no se encontraron concentraciones de oxígeno disuelto menores a 4.8 miligramos por litro, pues el volumen de agua en ellos es mayor y se diluyen con más facilidad los contaminantes. Los ríos con menores concentraciones de oxígeno fueron los ubicados en las áreas más afectadas por el desarrollo: Chilibre, Chilibrillo, Palenque y Gatún.

Contrariamente, durante la estación seca, cuando bajan los caudales de los ríos, los niveles de contaminantes se concentran más, causando un descenso en el oxígeno disuelto. Los casos más críticos, entre los ríos que fluyen al lago Gatún, son: el Tinajones, Los Hules y Caño Quebrado; en la Transísmica, el Chilibre y sus afluentes, tales como quebradas Ñajú, Las Conchas y Lato; asimismo, el Gatuncillo y el Limón. En todos ellos la presencia de oxígeno es menor a 5 miligramos por litro.

En la estación seca, los ríos con más oxígeno son aquellos menos afectados por el hombre y cuyas cabeceras están dentro del Parque Nacional Chagres: Boquerón, La Puente, Las Cascadas, Chagres y Pequení. Su nivel de oxígeno se mantuvo arriba de los 7.2



miligramos por litro.

El parámetro denominado Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) es el más utilizado para medir la contaminación orgánica. Este representa la cantidad de oxígeno que las bacterias consumen para descomponer la materia orgánica en el agua, durante un período de cinco días y a una temperatura de 20 °C. Se considera que un sitio tiene problemas de contaminación, si los valores de esta demanda bioquímica de oxígeno están por encima de 10 mg/l. Este parámetro sólo se midió en el Chilibre, Chilibrillo y quebrada La Cabima, el principal afluente del río Chilibrillo. No obstante, en el futuro, este parámetro debe monitorearse en un mayor número de ríos y quebradas de la Cuenca, sobre todo en los más afectados por el desarrollo.

En el Chilibre y sus afluentes se encontraron en varios de los sitios muestreados valores mayores a 10 miligramos por litro. Entre ellos, los localizados en la barriada Nuevo Sitio El Carmen y Viento Fronco. El primero es un área muy poblada, y la segunda una zona de actividad ganadera y fincas porcinas. En el Chilibrillo, los niveles más altos de consumo de oxígeno por

las bacterias se encontraron en el sector de Las Palmitas, el lugar más poblado de los atravesados por este río, donde hay muchos pequeños comercios, talleres de mecánica y una gran actividad ganadera.

### **Contaminación microbiológica**

Para caracterizar la contaminación microbiológica de las aguas se utilizan las bacterias coliformes totales y fecales. Dentro de estas últimas, la *Escherichia coli* sirve como organismo indicador de contaminación fecal y de la posible presencia de bacterias patógenas. Según las normas internacionales de calidad de agua, el agua potable no debe contener coliformes fecales. Para las aguas de uso recreativo, como los lagos Gatún y Alhajuela y el río Chagres, la máxima concentración de bacterias debe ser, para coliformes totales, de 1,000 NMP (Número Más Probable) por 100 mililitros, y para coliformes fecales, de 200 NMP/100 ml. Mientras que para el soporte de la vida silvestre, los coliformes totales no deben sobrepasar los 10,000 NMP/100 ml y los fecales 5,000 NMP/100 ml.

A grandes rasgos, todos los ríos muestreados en la Cuenca sobrepasan

los niveles de contaminación establecidos por las normas internacionales de calidad de agua para usos recreativos. Las excepciones son los cursos altos del Chagres y Boquerón, ubicados en áreas del Parque Nacional Chagres. Los ríos cuyas aguas están más contaminadas son: Chilibre, Chilibrillo y Gatún, cuyos niveles sobrepasan entre cuatro y cinco veces lo permitido por las normas internacionales. Estos ríos cuentan con la mayor concentración de población, ganadería, granjas porcinas y avícolas.

#### Otros parámetros de calidad de agua







Otros parámetros para determinar la calidad de las aguas son el pH (grado de acidez o alcalinidad), la temperatura, la conductividad eléctrica, los sólidos totales disueltos y la alcalinidad. En términos generales, en las aguas de la Cuenca, estos parámetros se encontraron dentro de los valores normales para fuentes superficiales.

El pH varió entre 6.0 y 8.2 unidades. Las temperaturas registradas, entre 24 y 33 °C, estuvieron dentro de los rangos esperados. La alcalinidad reportó valores entre 43.5 y 118.9 partes por millón, expresados como  $\text{CaCO}_3$ . La conductividad eléctrica, que guarda

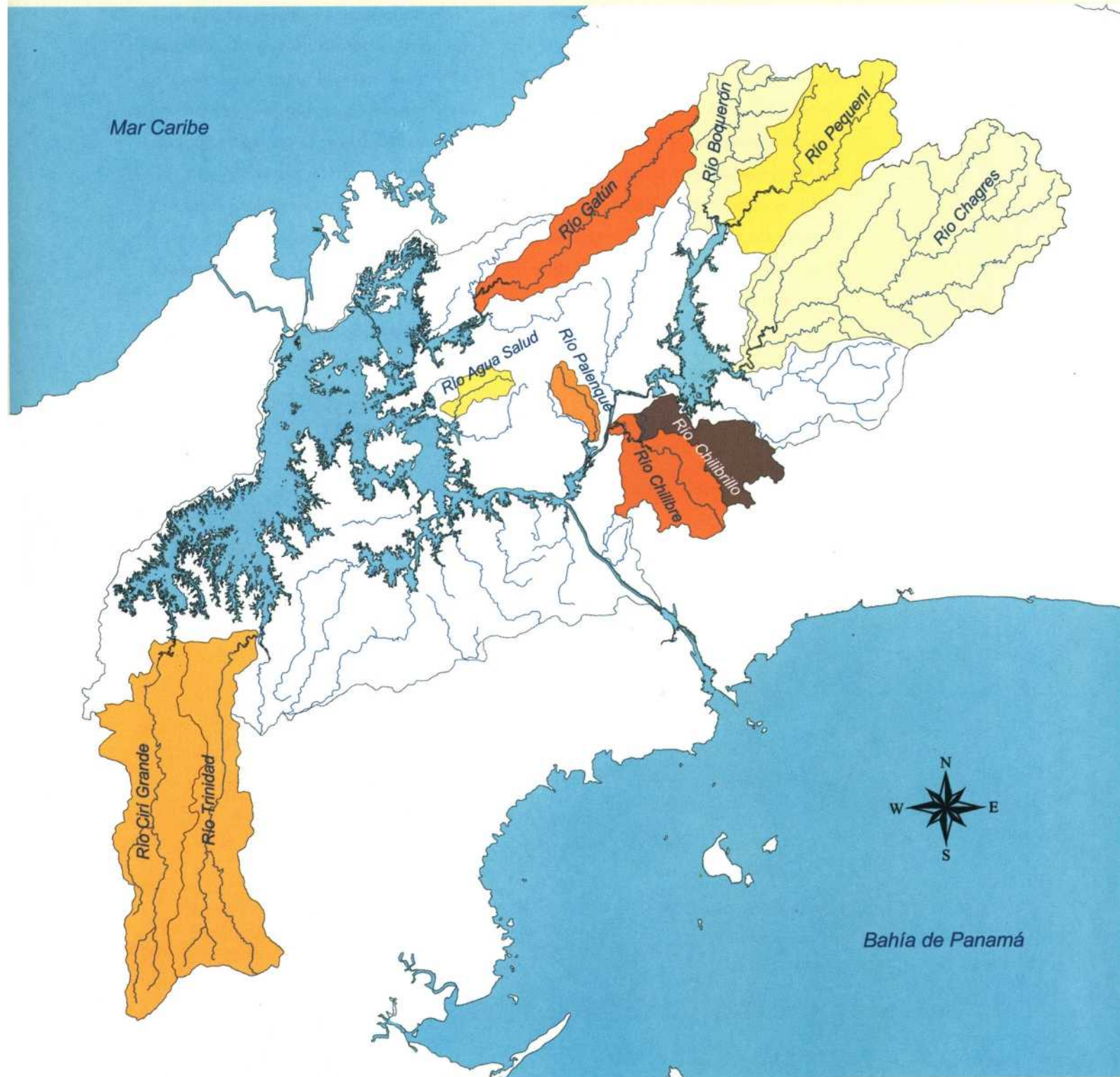
## Coliformes fecales en los ríos principales.

Octubre y noviembre de 1998

Coliformes fecales en número más probable por cien mililitros (NMP/100ml)

	1 - 200
	201 - 400
	401 - 600
	601 - 800
	801 - 1000
	1001 - 1200

Uno de los aspectos más preocupantes es el aumento de la concentración de heces fecales humanas y de animales. Los ríos más contaminados son: Chilibre, Chilibrillo y Gatún, cuyos niveles sobrepasan entre 4 y 5 veces lo permitido por las normas internacionales.



relación con la presencia de minerales disueltos, presentó valores entre 45 y 285 microsiemens por centímetro ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), y tiene un patrón muy relacionado a la distribución de las formaciones del mineral calcita. Los ríos con más altos niveles de conductividad son aquellos que corren por la roca madre con mayor contenido de dicho mineral. Los sólidos totales disueltos fueron inferiores a las 500 partes por millón, que indican una buena calidad con respecto a este parámetro.

Es vital para Panamá establecer una red de estaciones hidrológicas en la Cuenca del Canal para monitorear cambios en la calidad de las aguas, que provean información oportuna y veraz para la toma de decisiones tendientes a conservar la calidad de este recurso. Eventualmente habrá que instalar este tipo de estaciones en los ríos que suplen de agua a las principales urbes del país.

#### **6. El modelo hidrológico TOPMODEL**

Para conocer el régimen hidrológico o el comportamiento de los caudales de un río, se requiere la aplicación de los modelos hidrológicos de lluvia-escorrimento. Uno de ellos se conoce como TOPMODEL, el cual permite

caracterizar los diversos movimientos del agua: verticalmente, hacia la capa freática, donde se almacena, y horizontalmente, como flujo superficial sobre el terreno hasta llegar a los cauces. Este modelo hidrológico requiere un mínimo de datos: la precipitación, la evapotranspiración potencial y la topografía, representada en forma de un modelo de elevación digital del terreno (DTEM); sin embargo, aunque se cuente con estos registros, si la cuenca estudiada ha sufrido los efectos de la deforestación y la urbanización, no se podrá predecir su comportamiento futuro.

Para comprobar la validez de este modelo se seleccionaron cuatro microcuencas: las quebradas Lutz y Conrad en la isla Barro Colorado, a fin de evaluar la influencia de la topografía, plana o con pendientes, sobre el flujo de las aguas; y el río Agua Salud con sus dos microcuencas, una con bosque y otra parcialmente deforestada, para constatar la incidencia del uso de la tierra.

TOPMODEL utiliza el concepto de índice topográfico que propone en esencia que a mayor la pendiente, menor probabilidad hay de que los suelos se saturen. En áreas planas la

saturación es más probable. Las propiedades físicas del suelo, como su textura y permeabilidad, también influyen en la saturación del terreno, y por tanto en el flujo superficial de las aguas; estas propiedades se ven alteradas al perderse la cobertura boscosa.

Los resultados obtenidos al aplicar el TOPMODEL en las microcuencas experimentales de la isla Barro Colorado y del río Agua Salud, per-

miten simular, con bastante confianza, cuál será el comportamiento de los caudales de otros ríos y quebradas de la Cuenca del Canal y otras regiones del país. Este modelo sería particularmente útil para predecir los comportamientos de los caudales de aquellos cursos de aguas sin registros hidrológicos, como para determinar las áreas que contribuyen con mayores escurrimientos superficiales y, por tanto, dónde pueden darse los mayores riesgos de erosión de sus suelos.

Campesinos de La Represa, lago Gatún, sacando productos para el mercado de la capital.



