

marcada y ubicada en mapas. De ser requerido, cada planta puede localizarse según sus coordenadas geográficas.

De este gran total de plantas estudiadas se identificaron 1,125 especies diferentes; de estas, 200 pueden considerarse especies raras, pues sólo se encontró una planta para cada una de estas especies. Cinco de las especies halladas son nuevas para la flora de Panamá. Estos nuevos registros fueron descubiertos en el filo de Santa Rita, en Colón, un área no protegida.

Un resultado importante es que la diversidad y la densidad de especies de plantas se presentan principalmente en un gradiente de humedad que va de mayor a menor precipitación, desde el Atlántico lluvioso hasta el Pacífico más seco, aunque también influye la edad de los bosques; un bosque maduro contiene mayor número de especies.

Asimismo, es en los bosques más húmedos donde se encuentra el mayor número de especies de distribución restringida o endemismo. Entre estas áreas se encuentran Fuerte Sherman, el filo de Santa Rita y cerro Negro, en Capira.



Técnicos forestales
colectando muestras
en el Parque Nacional
Chagres.

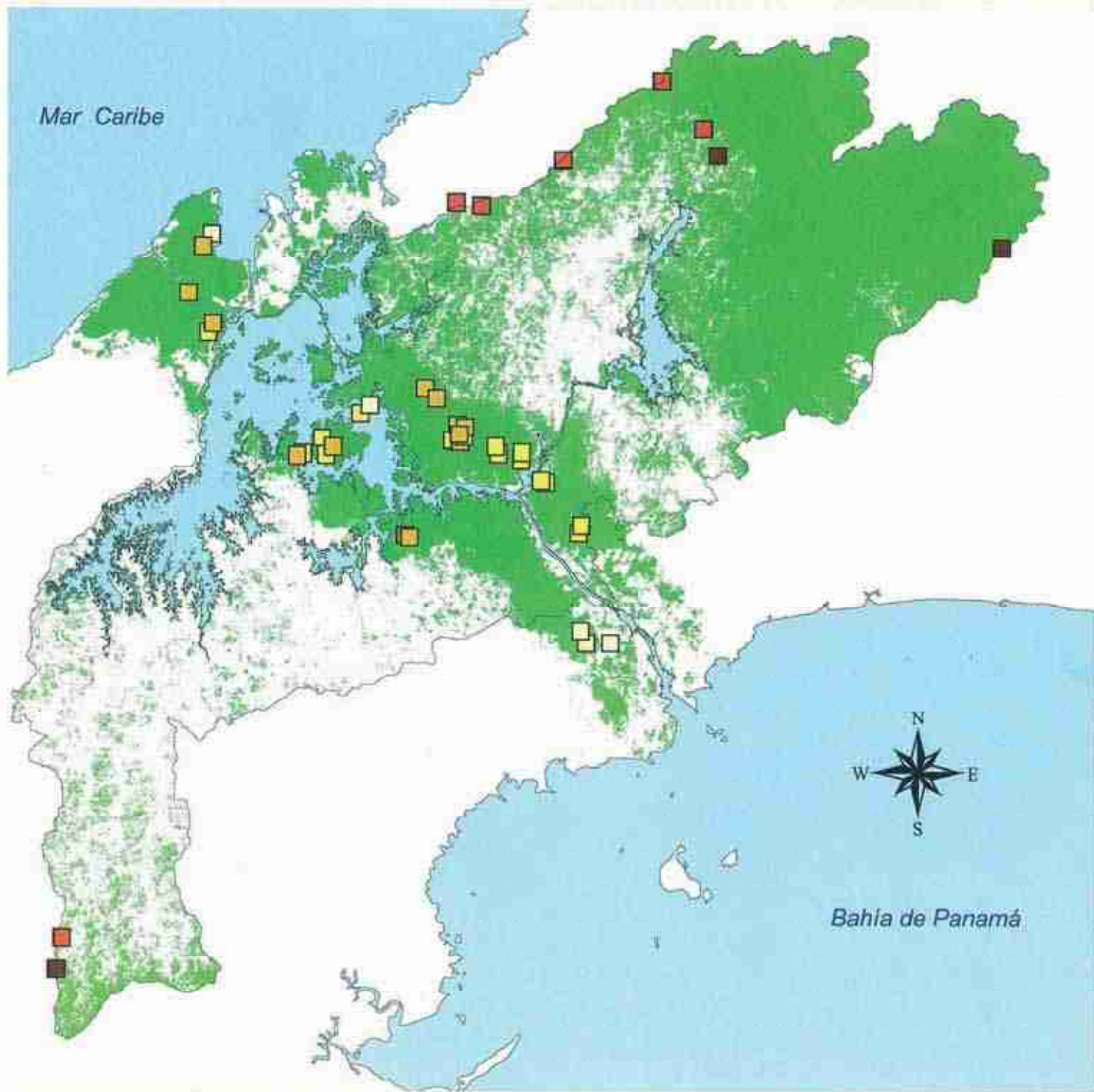
Diversidad de especies en las parcelas

Grado de diversidad



Menor: a Mayor

 Áreas con bosques



Los datos obtenidos por el proyecto sobre la distribución y restricción geográfica de las especies son de suma importancia para los proyectos de reforestación con especies de árboles nativos.

5. Producción de biomasa

Según cálculos sobre la producción de biomasa, se determinó que una hectárea de bosque maduro produce 354,400 kilogramos, mientras que una hectárea de bosque secundario produce 200,400 kilogramos. Si se cobrara en dinero la captura de carbono por la vegetación existente en los bosques naturales del Parque Nacional Chagres, los bosques adyacentes a la vía interoceánica y los de la región suroeste de la Cuenca (cerro Negro y Parque Nacional Altos de Campana), se tendría un equivalente inicial a \$290,400,000. Si toda la superficie de la Cuenca estuviese cubierta por bosque, excluyendo aguas y áreas urbanas, este valor sería de \$471,100,000.

Se encontraron las siguientes especies con mayor biomasa: el *Anacardium excelsum* (espavé) en el bosque seco del sector sur de la Cuenca, incluyendo el área de Cocoli; el *Ficus sp.*

Distribución porcentual de biomasa

Sector Suroeste

Nombre

- 1. *Ficus sp.*
- 2. *Mortonioidendron*
- 3. *Pterocarpus*
- 4. *Calycophyllum*
- 5. *Licania sp.*

Sector Centro

Nombre

- 11. *Anacardium excelsum*
- 12. *Terminalia amazonia*
- 13. *Tabebuia guianensis*
- 14. *Tapirira guianensis*
- 15. *Alseis blackiana*

Sector Sherman

Nombre

- 31. *Brosimum utile*
- 32. *Apitiosperma cruenta*
- 33. *Hura crepitans*
- 34. *Manilkara zapota*
- 35. *Tapirira guianensis*

Sector Sur

Nombre

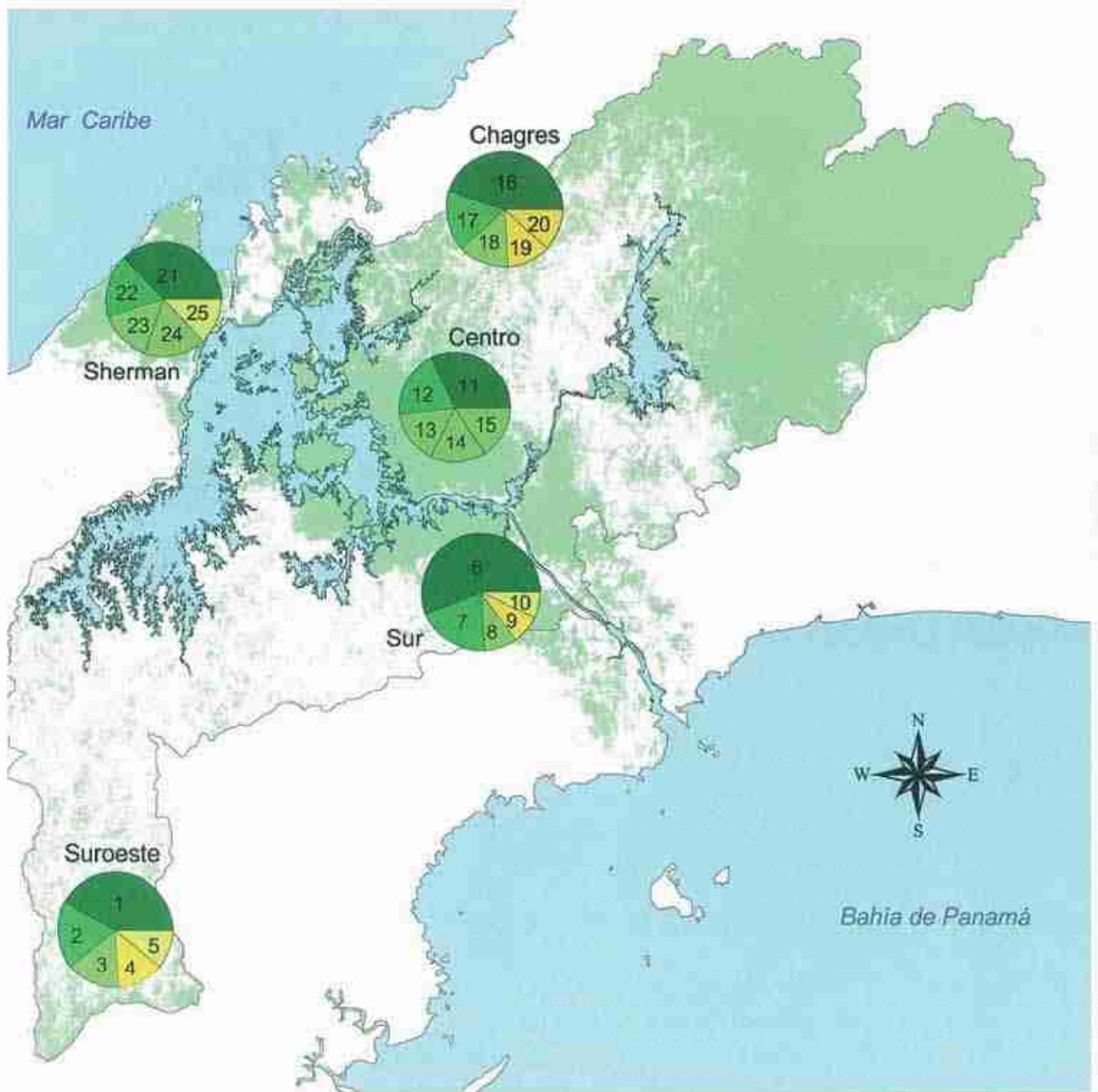
- 1. *Anacardium excelsum*
- 2. *Scheelea zonenis*
- 8. *Cavendishia platanifolia*
- 9. *Calycophyllum candidissimu*
- 19. *Ficus intipida*

Sector Chagres

Nombre

- 10. *Brosimum utile*
- 11. *Humirautium diguense*
- 18. *Carapa guianensis*
- 19. *Erioma blanca*
- 21. *Calophyllum brasiliensis*

 Áreas con bosque



Una hectárea de bosque maduro produce 354,000 kilogramos de biomasa vegetal y una hectárea de bosque secundario, 200,400 kilogramos.

(higuerones) en el bosque muy húmedo del sector suroeste de la Cuenca, en el área de Altos de Chutral (corre-gimiento de Cacao, distrito de Capira); y el *Brosimum utile* (sandé) en los bosques muy húmedos del Parque Nacional Chagres y Fuerte Sherman.



Medida del diámetro de árboles a la altura del pecho.

Estos estudios proporcionan información básica para la conservación y la elaboración de planes de manejo de los bosques del Canal.

6. Reforestación

En la actualidad, según los registros de la ANAM, existen aproximadamente 2,311 hectáreas reforestadas en la Cuenca del Canal. La principal

especie comercial utilizada en la reforestación de la Cuenca, observada durante nuestras investigaciones, es la Teca (*Tectona grandis*). Los sitios donde encontramos las plantaciones principales son: el filo de Santa Rita y la región al norte del lago Alhajuela, el sector comprendido entre la carretera Transístmica y el lago Gatún, y el área suroeste del Monumento Natural Barro Colorado (Las Pavas y algunos sectores de cerro Cama).

Los lugares que se utilizan mayormente para el cultivo de la Teca son los potreros. Sin embargo, se registró un caso aislado en el filo de Santa Rita, un sitio con alta diversidad y gran cantidad de especies restringidas a ese sector, donde se talaron aproximadamente 60 hectáreas de bosque secundario y maduro para este monocultivo. Para evitar la repetición de este caso, se recomienda evaluar los proyectos de reforestación comercial en la Cuenca del Canal, y explorar la posibilidad de sembrar, en una composición adecuada, especies nativas con potencial maderable y de otros usos. Adicionalmente, se sugiere la regeneración natural del bosque, como una alternativa de bajo costo y más acorde con el mantenimiento de la biodiversidad, especialmente para

las zonas dentro y en las cercanías de las áreas protegidas y de otros bosques.



Cultivo de Teca
(*Tectona grandis*) en
la Cuenca del Canal.

Cabe resaltar que la Autoridad de la Región Interoceánica ha otorgado concesiones para proyectos de reforestación en la Cuenca, entre los cuales destaca el de una organización no gubernamental suiza. Este proyecto tiene como meta reforestar 7,000 hectáreas en el sector de Las Pavas-Lagarterita, constituyendo el mayor proyecto de reforestación en el país.

LAS POBLACIONES DE ANIMALES VERTEBRADOS

Roberto Ibáñez D.
George Angehr
Joseph Wright

El objetivo principal del monitoreo de vertebrados ha sido obtener información sobre la composición, abundancia y tendencias en las poblaciones de algunos de estos animales que sirvan de indicadores del estado de su conservación, principalmente dentro de las áreas protegidas de la Cuenca del Canal.

1. Metodología

Se monitorearon algunos grupos de animales vertebrados dentro de la Cuenca, para lo cual se utilizaron dos procedimientos: (1) un método llamado "inventarios" para áreas de difícil acceso y (2) otro denominado "monitoreo" para áreas de fácil acceso, que pueden ser visitadas frecuente y regu-

larmente. En los inventarios se consideraron las especies de anfibios, reptiles, aves y mamíferos; mientras que el monitoreo se concentró en los anfibios de hojarasca, aves del sotobosque y mamíferos y aves de caza.

Los sitios de estudio se establecieron, en su mayoría, dentro de las áreas protegidas de la Cuenca, específicamente el Monumento Natural Barro Colorado y los Parques Nacionales Altos de Campana, Chagres y Soberanía. Los inventarios se realizaron en cinco sitios, en cada uno de los cuales se trabajó durante 10 días. Las áreas remotas estudiadas fueron: Cerro Los Monos, en la cabecera del río Trinidad, dentro del Parque Nacional Altos de Campana; los cerros Bruja y Brewster, en la parte



Mosquero Real, hembra
(*Onichorhynchus coronatus*). Ave que se encuentra dentro de los bordes del bosque o bosque secundario, pero no es común.



Pichón de águila.
Harpia en su nido,
Parque Nacional
Chagres.

alta del Parque Nacional Chagres; y quebrada Las Pavas y la unión de los ríos San Miguel y Pequení, en las tierras bajas de este último parque. El monitoreo se hizo en un total de dieciocho sitios, de acuerdo con el grupo de vertebrados en estudio.

2. Diversidad de vertebrados y alteración humana

Los sitios visitados durante los inventarios se caracterizaron por una diversidad de vertebrados comparativamente alta, en relación a otras áreas de la Cuenca. Adicionalmente, se observaron especies consideradas como amenazadas o en peligro de extinción, especies raras, e incluso, especies no descritas. Cerca de la unión de los ríos San Miguel y Pequení se encontró un nido activo de Águila Harpía (*Harpia harpyja*), especie en peligro de extinción; actualmente, estas águilas se observan sólo ocasionalmente en la región central u otras áreas del país. En cerro Bruja, se encontró un ejemplar de una especie de lagartija multicolor, la cual se trata de una especie nueva, no descrita.

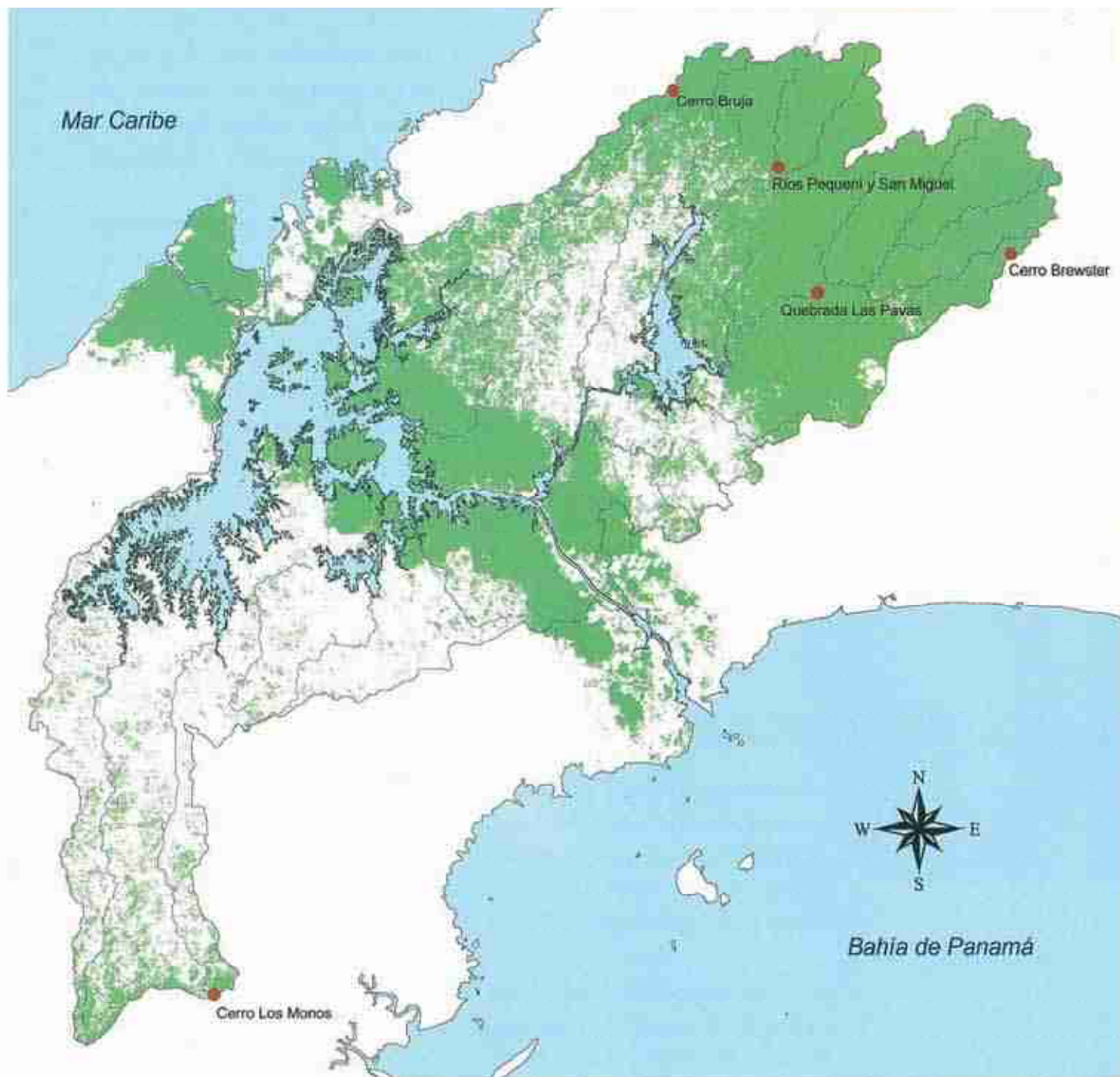
Existen grandes diferencias en el grado de alteración humana

Sitios de inventarios de vertebrados

● Sitios de inventario de vertebrados

■ Áreas con bosque





(deforestación, cacería y minería) y las poblaciones de vertebrados en los sitios visitados. En la cabecera del río Trinidad, en cerro Los Monos, y en la unión de los ríos Pequení y San Miguel existe un alto grado de alteración, requiriéndose mejoras en las condiciones para favorecer la conservación de los vertebrados. Contrariamente, cerro Bruja, cerro Brewster y la unión

consideran raras según su abundancia y distribución, además de especies endémicas (que solamente se encuentran en Panamá). Adicionalmente, en el caso de los anfibios y reptiles, este parque incluye un porcentaje considerable del total de especies que se encuentran en el país. Por consiguiente, este parque constituye un área importante para la protección de la fauna panameña.

La evidencia acumulada hasta el momento permite señalar que ciertas especies de vertebrados parecen tener una distribución asociada a la Sierra Llorona, desde el filo de Santa Rita hasta cerro Bruja. Una rana endémica descrita recientemente, *Atelopus limosus*, tiene un ámbito de distribución restringido a la Sierra Llorona, pudiéndose encontrar desde las tierras bajas hasta los puntos más elevados de la misma; esto resalta la importancia del Parque Nacional Chagres en la preservación de la diversidad biológica del país.

3. Aves del sotobosque

Un total de 165 especies de aves fueron identificadas en siete sitios dentro de fragmentos boscosos con



Neque (*Dasyprocta punctata*). El impacto de la cacería afecta directamente a mamíferos como el neque e indirectamente a los árboles del bosque, que dependen de los animales para dispersar sus semillas.

de quebrada Las Pavas y río Chagres son áreas donde el impacto humano es mínimo o inexistente, sirviendo de refugio y fuente poblacional de los animales de caza.

El Parque Nacional Altos de Campana, a pesar de su pequeño tamaño, contiene una diversidad alta de vertebrados, la cual incluye especies que se

distinto tamaño, utilizando conteos por puntos y redes de niebla. La mayoría (84 a 99%) de las aves observadas en los fragmentos grandes son especies que viven exclusivamente en los bosques, entre las cuales sobresale el saltarín cabecirrojo (*Pipra mentalis*) como una de las especies que se observa con más frecuencia. La diferencia más clara entre fragmentos pequeños y grandes de bosque, es que los primeros tienen una mayor proporción de especies migratorias y de especies que no son del bosque. Por lo tanto, los fragmentos pequeños de bosques que son numerosos y que están dispersos por toda la Cuenca, pueden ser importantes para la conservación de las especies de aves migratorias. Al mismo tiempo la Península Gigante, del Monumento Natural Barro Colorado, un fragmento de bosque considerado mediano, fue muy similar a los fragmentos grandes de bosque en su composición de especies de aves.

4. Mamíferos y aves de caza

El monitoreo de los mamíferos y aves de caza se realizó a lo largo de ocho transectos de 5 kilómetros de largo cada uno, los cuales fueron ubicados

dentro de un gradiente de cacería.

Los resultados muestran que existe un bajo número de mamíferos de caza en las áreas menos protegidas, especialmente en las cercanas a los poblados. También, que la cacería es un hecho frecuente en los parques nacionales. Al comparar los sitios, se encontró que la abundancia de mamíferos y la intensidad de cacería estuvieron negativamente relacionadas para 9 de 11 especies de mamíferos, siendo 5 de estas relaciones significativas. En una relación negativa significativa, la abundancia de mamíferos está inversamente relacionada con la intensidad de cacería en los sitios. El mono aullador (*Alouatta palliata*), el mono cariblanco (*Cebus capucinus*), el corzo (*Mazama americana*), el ñeque (*Dasyprocta punctata*) y la rata espinosa (*Proechimys semispinosus*) mostraron esta relación. El impacto de la cacería no sólo se observa directamente en los mamíferos; también puede tener un efecto indirecto sobre las especies de árboles que componen el bosque, debido al papel de los mamíferos en la dispersión de las semillas.

En contraste con los mamíferos de caza, no se encontró una relación

Reinita Alidorada, macho (*Vermivora chrysoptera*). Ave migratoria proveniente del norte de América; se le encuentra de paso en los bosques de todo el país.



Saltarín Cabecirrojo, macho (*Pipra mentalis*). Una de las especies más comunes de los bosques de las tierras bajas de la Cuenca.

entre la abundancia de aves de caza y la amenaza de la cacería. No obstante, la caza ha determinado claramente el patrón actual de distribución de las especies más grandes. Para las más pequeñas, es probable que la cacería no esté teniendo un gran impacto sobre sus poblaciones. Sin embargo, se debe considerar que los movimientos locales de algunas de estas especies u otros factores asociados al hábitat, podrían impedir la detección de una relación entre la abundancia de aves y la cacería.

5. Los anfibios

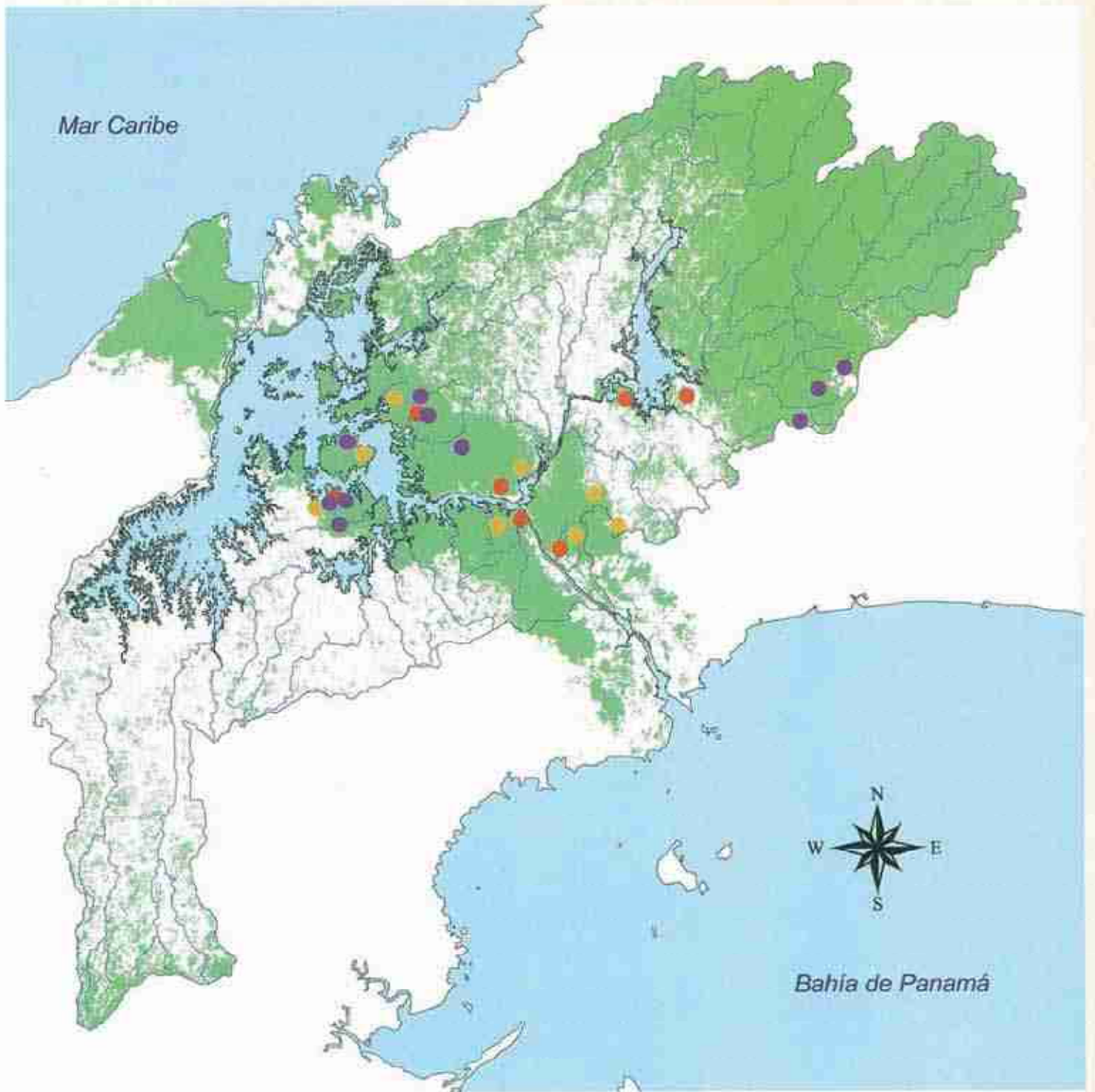
Al inicio de la presente década se hizo notable la desaparición y declinación de anfibios en diversas partes del mundo, lo cual es preocupante, pues estas observaciones podrían ser



Sitios de monitoreo de vertebrados

Sitios de monitoreo

- Aves del sotobosque
- Mamíferos y aves de caza
- Anfibios de la hojarasca
- Areas con bosques





Serpiente coral falsa, (*Oxyrhopus petolarius*), especie no venenosa que habita en la Cuenca.

indicadores del deterioro del medio ambiente, a nivel global y local. Por esta razón, se decidió continuar y expandir el esfuerzo de monitoreo de los anfibios en la Cuenca realizado previamente a este proyecto.

Los anfibios de la hojarasca fueron monitoreados a lo largo de diez transectos de 200 metros de longitud, ubicados en las tierras bajas y a elevaciones moderadas. Allí se encontraron un total de 24 especies de anuros (ranas y sapos). La ranita *Colostethus flotator* fue la única especie que se encontró en todos los sitios de estudio, siendo la especie más abundante en la mayoría de estos. El sapo *Bufo typhonius* y la rana *Eleutherodactylus fitzingeri* se encontraron en 8 de los 10 sitios, siendo *B. typhonius* relativamente más abundante que *E. fitzingeri*. Los sitios a elevaciones moderadas se distinguen por poseer una mayor diversidad de especies del género *Colostethus*.

La abundancia de anfibios en todos los sitios de estudio del proyecto muestra valores normales. Aún más, en aquellos sitios estudiados previamente, su abundancia está dentro del rango de variación observada en el pasado. Los datos sobre la abundancia de estas especies sugieren que sus poblaciones se encuentran en un estado normal y aparentemente "saludable", lo cual se considera como indicador de que la calidad del medio es buena. Hacemos la observación de que los anfibios de la Cuenca del Canal no parecen estar afectados por el hongo patógeno que ha diezclado sus poblaciones en el oeste de Panamá, como en la Reserva Forestal Fortuna, en Chiriquí. La desaparición de los anfibios puede incidir en las comunidades naturales de organismos, al afectarse su red alimentaria. No obstante, se requiere continuar con el monitoreo a largo plazo para determinar tendencias en su abundancia y detectar la presencia del patógeno.

Rana arborícola (*Eleutherodactylus museosus*), recientemente descrita y que solamente era conocida en el oeste de Panamá. Fue encontrada dentro de la Cuenca, en los cerros Bruja y Brewster.



Vista del Parque
Nacional Altos de
Campana, tomada desde
la cabecera del Río
Trinidad hacia el norte,
con el cerro al fondo.

Nótese la
fragmentación boscosa
existente dentro del
parque; no hay un
bosque continuo.



HIDROLOGIA Y SUELOS

*Robert Stallard
Tomás García
Martín Mitre*

Este programa tiene como objetivo general examinar los factores que afectan la disponibilidad y calidad de las aguas de la Cuenca del Canal de Panamá. El programa estudia cinco procesos: (1) cambios del régimen hidrológico como resultado de la deforestación; (2) erosión de los suelos y transporte de sedimentos; (3) niveles de nutrientes en las subcuencas y su movilización hacia los lagos; (4) niveles y fuentes de contaminación para identificar problemas críticos de calidad del agua; y (5) la hidrología y transporte de nutrientes en las aguas de bosques naturales.

En este informe utilizamos frecuentemente los términos cuenca, subcuenca y microcuenca, los cuales definimos a

continuación. Una cuenca es el área de captación de las aguas que fluyen a un río o lago, quedando determinada por los puntos topográficamente más altos. Una cuenca puede subdividirse en subcuencas, y estas, a su vez, en microcuencas.

1. Metodología

Aunque el equipo de investigación de Hidrología y Suelos se conformó a mediados de 1996, el monitoreo mensual se puso en marcha a partir de septiembre de 1997. Ello requirió establecer la logística y los puntos de muestreo, rehabilitar la cuenca experimental del río Agua Salud y acondicionar el laboratorio de análisis de aguas y suelos.








Río Palenque,
afluente menor del
Chagres.

El programa de monitoreo de campo estableció 15 sitios para hacer un muestreo mensual de las aguas de diferentes ríos. En 9 de estos sitios las aguas fluyen hacia el lago Gatún y en 3 de ellos hacia el lago Alhajuela. Estos sitios de monitoreo, usualmente seleccionados cerca de las desembocaduras de los ríos, permiten medir los totales de aguas, de sedimentos y contaminantes que sus cuencas aportan a estos lagos. En cuanto a los otros tres puntos, uno se ubicó en el vertedero de Gatún, donde las aguas de este lago vierten al Atlántico; otro en el curso medio del Chagrés, cercano al poblado de Santa Rosa, aguas abajo de la presa Madden y de las desembocaduras de varios de los ríos más contaminados, entre ellos el Limón y el Gatuncillo. El último punto se localizó en Paraíso, lugar de salida de las aguas de la Cuenca del Canal hacia el Pacífico.

Estos 15 sitios estudiados representan subcuencas clasificadas bajo diferentes tipos de usos del suelo: (1) áreas deforestadas bajo el uso de actividades agrícolas y ganaderas, tales como los ríos Ciri Grande y Trinidad; (2) áreas protegidas cubiertas con bosques en más de un 80% de su extensión, tales como las cabeceras de

Relieve e hidrografía




Elevación (metros)

	10 - 150
	151 - 300
	301 - 450
	451 - 600
	601 - 750
	751 - 900
	900 - 1150

los ríos Boquerón, Pequeñí y Chagres; y (3) zonas urbanas con alta concentración de población y desarrollo agroindustrial, como en los ríos Chilibre y Chilibrillo. Además, se estableció como objetivo de estudio el río Agua Salud, que desemboca en el lago Gatún, cuya condición experimental se debe a que cuenta con dos microcuencas aledañas similares en sus características físicas, pero muy distintas en el uso de la tierra, lo que permite medir el impacto de actividades humanas.

Los sitios de muestreo se ampliaron de 15 a 52 en la estación seca (de enero a abril) de 1998, para identificar con mayor facilidad el grado de contaminación de las aguas causada por el hombre. En la estación seca, al bajar los caudales de los ríos, los contaminantes se diluyen menos, sean de origen doméstico o industrial, facilitando la tarea de determinar su impacto y grado de concentración. Este periodo también permite apreciar mejor el efecto de las condiciones físicas naturales, como la geología, sobre la calidad de las aguas, ya que el mayor volumen de los caudales proviene no de las lluvias, sino de las aguas almacenadas en suelos y mantos acuíferos. El estudio de suelos se concentró en la

Sitios de muestreo: estación seca 1998

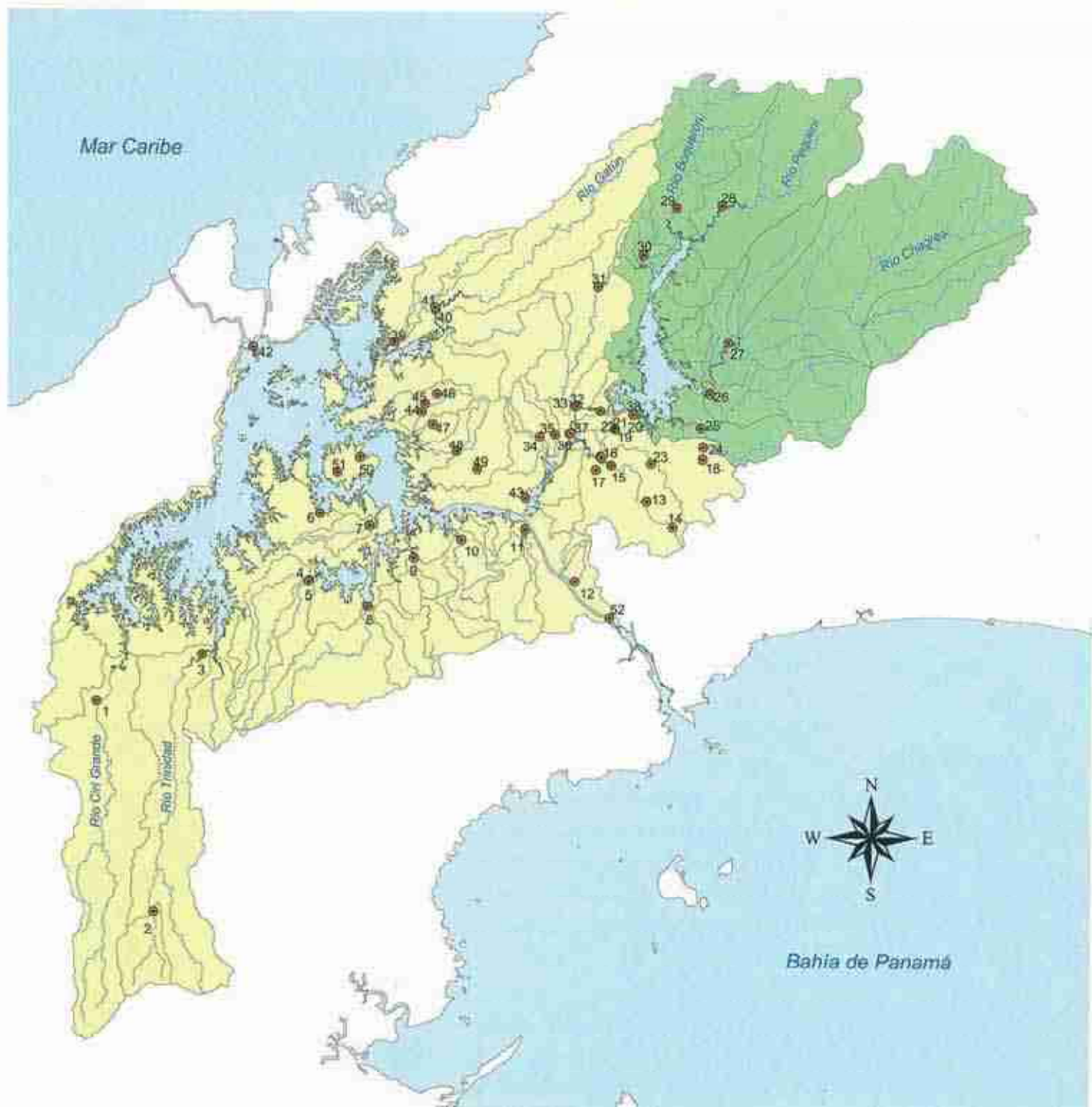
-  Sitios de muestreo
-  Sistema hidrológico del lago Alhajuela
-  Sistema hidrológico del lago Gatún

Sitios de muestreo

- | | |
|------------------------|---------------------------------|
| 1. Ciri Grande * | 27. Chagres * |
| 2. Cacao | 28. Pequeñí * |
| 3. Trinidad * | 29. Boquerón * |
| 4. Los Hules | 30. Salamanca |
| 5. Tinajones | 31. Gatuncillo 1 |
| 6. Qda. Las Pavas | 32. Gatuncillo 2 |
| 7. Gigantito | 33. Limón |
| 8. Caño Quebrado | 34. Qda. Aguas Claras |
| 9. Paja | 35. Palenque |
| 10. Baila Monos | 36. Chagres (Sta. Rosa) |
| 11. Mandinga | 37. Moja Pollo |
| 12. Obispo | 38. Chagres (puente) |
| 13. Qda. Ancha | 39. Palenque (Nva. Providencia) |
| 14. Chilibre 1 | 40. Gatún |
| 15. Chilibre 2 * | 41. Aguas Claras |
| 16. Chilibre 3 | 42. Gatún (Esclusas) |
| 17. Cabuya | 43. Chagres (Gambos) |
| 18. Chilibrillo 1 | 44. Agua Salud 1 * |
| 19. Chilibrillo 2 * | 45. Agua Salud 2 * |
| 20. Chilibrillo 3 | 46. Agua Salud 3 * |
| 21. Qda. Las Conchas 1 | 47. Pelón |
| 22. Qda. Las Conchas 2 | 48. Frijolita |
| 23. Qda. Najú | 49. Frijoles |
| 24. Qda. Guarumalito | 50. Qda. Lutz |
| 25. La Puente | 51. Qda. Conrad |
| 26. Las Cascadas | 52. Canal (Paraiso) |

Nota:

En todas las estaciones se están haciendo análisis de calidad de agua (nutrientes) y sedimentación. Las estaciones marcadas con un asterisco (*) son estaciones permanentes del proyecto.



cuenca experimental de Agua Salud a fin de obtener información para comprender mejor los procesos de escurrimiento, erosión y producción de sedimentos. Para caracterizar física y químicamente los suelos, se tomaron muestras de 14 sitios por capas de suelo. Asimismo, para establecer el papel de los sedimentos como medio de transporte de contaminantes inorgánicos, como fósforo y nitrógeno, se analizaron los sedimentos en las desembocaduras de los 6 ríos más productores de agua: Chagres, Pequení, Boquerón, Cirí Grande, Trinidad y Gatún.

Además de generar su propia información, el proyecto analizó los valiosos datos históricos recopilados por la Comisión del Canal de Panamá sobre precipitación, caudales, producción de sedimentos y calidad del agua. Ambas fuentes de información permitieron conformar tres tipos de registros: (1) caudales y precipitación, (2) parámetros físicos, químicos y microbiológicos de calidad del agua, y (3) características físicas y químicas de suelos y sedimentos.

Entre 1997 y 1998 el proyecto obtuvo gran cantidad de muestras de campo para su análisis en laboratorio: 232 de

agua, 45 de suelos y 6 de sedimentos.

2. Cuenca experimental de Agua Salud: régimen hidrológico, erosión y calidad de agua en microcuencas con y sin bosques

Para medir el impacto del hombre sobre las aguas y los suelos, se rehabilitaron las tres estaciones construidas por la Comisión del Canal en la cuenca experimental del río Agua Salud, las cuales habían sido utilizadas por esta comisión para realizar estudios hidrológicos desde 1979 hasta 1983. Este río, ubicado en la parte central de la Cuenca del Canal, fluye hacia el lago Gatún y drena 1,740 hectáreas.

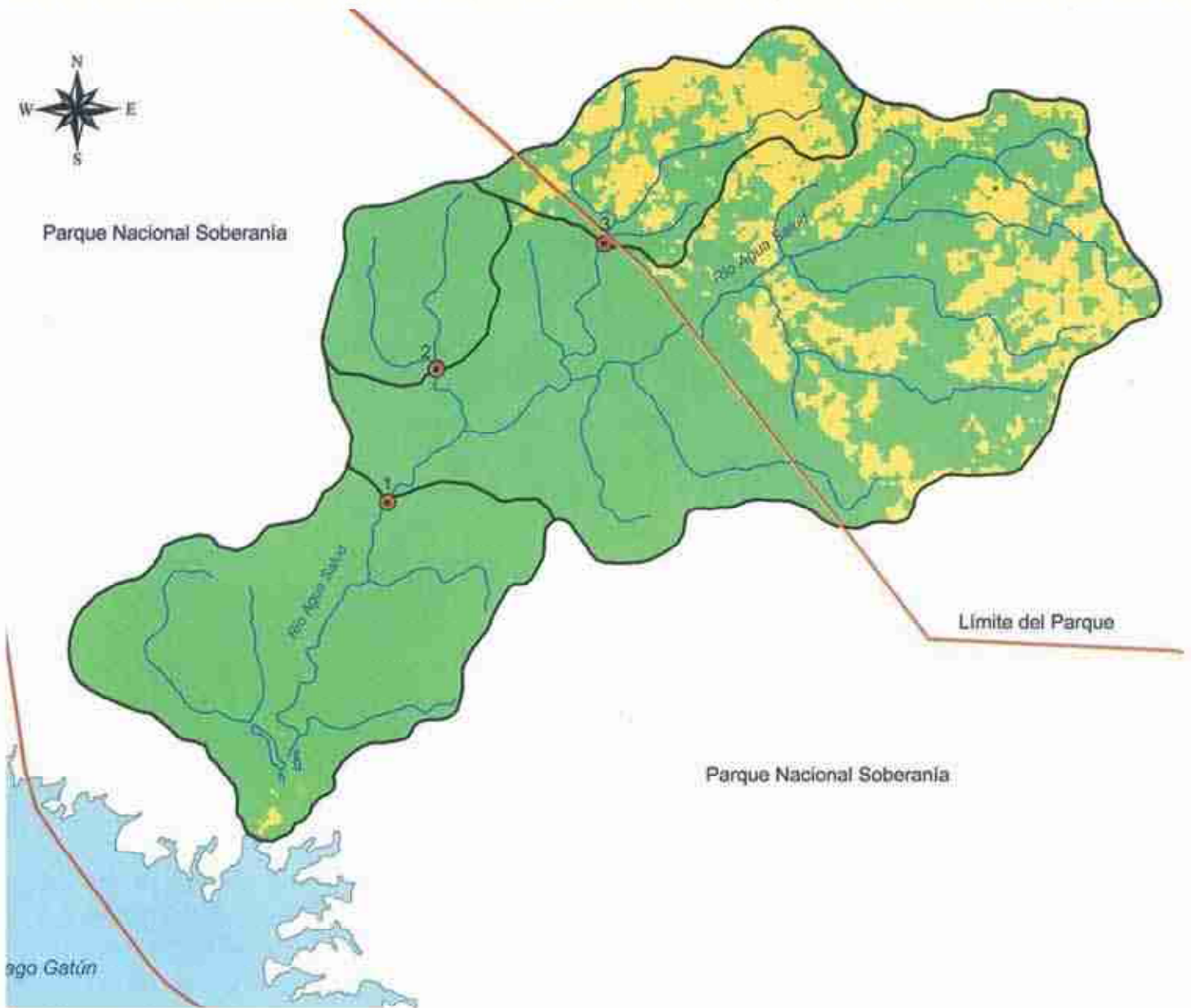
Cuenta con dos ramales que forman dos microcuencas vecinas (las número 2 y 3) cuyas características físicas son muy similares entre sí en cuanto a topografía, geología, suelos, área drenada y pluviosidad, pero difieren en el uso del suelo. La microcuenca No. 2 tiene sus 127 hectáreas cubiertas de bosque; mientras que la No. 3, de 160 hectáreas, tiene solamente el 56% de su superficie con bosques, el 13% con matorrales y el 31% con potreros que son quemados en la estación seca. La diferencia en los resultados de los datos permite establecer claramente la estrecha relación entre el uso del suelo

Uso actual de la tierra en la subcuenca del río Agua Salud

- Ríos
- Sitios de muestreo
- Bosque
- Potrerros y matorrales



Parque Nacional Soberanía



Límite del Parque

Parque Nacional Soberanía

Lago Gatún

y el estado de los recursos naturales.

En cuanto al régimen hidrológico o comportamiento de las aguas en los cursos de estas microcuencas en la estación lluviosa, se observó que el flujo de las aguas superficiales es mayor en 62 milímetros que en la microcuenca parcialmente deforestada; una mayor esorrentía que puede obedecer a la disminución en la permeabilidad de los suelos al cambiar su estructura, producto de su compactación por las actividades ganaderas y por la profundidad de las raíces al ser reemplazados los árboles por pastos.

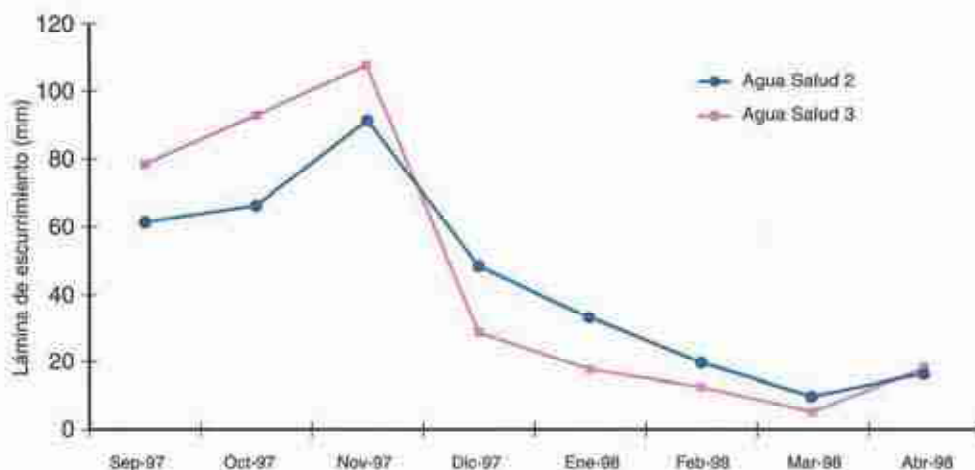
Cabe resaltar que durante las tormentas de la estación lluviosa, los volúmenes de agua alcanzan niveles más rápidos y elevados en la microcuenca parcialmente deforestada que en la totalmente cubierta por bosque. Como ejemplo, durante la tormenta del 21 de septiembre de 1997, en la microcuenca parcialmente deforestada, el caudal alcanzó un máximo de 2.14 metros cúbicos por segundo, mientras que en la boscosa el máximo registrado apenas llegó a 0.79 metros cúbicos por segundo (1 metro cúbico es equivalente a 1,000 litros ó 250 galones).

Contrariamente, al estudiarse el flujo de las aguas durante la estación seca de diciembre de 1997 a marzo de 1998, encontramos que la microcuenca boscosa aportó casi el doble de agua que la parcialmente deforestada. En diciembre, la lámina de agua de la microcuenca boscosa superó en 45 milímetros a la de la microcuenca parcialmente sin bosque. Estos diferentes aportes de agua, expresados en la altura de sus láminas, equivalen a unos 500 metros cúbicos adicionales de agua por hectárea.

Los resultados expuestos arriba permiten concluir que a mayor cobertura boscosa de una cuenca, mejor la regulación del agua durante las estaciones del año. Durante el período de lluvias los bosques facilitan la infiltración del agua en el suelo, permitiendo una mayor disponibilidad en la estación seca. Además, la cobertura boscosa disminuye los escurrimientos superficiales y el caudal máximo de las crecientes, y por ende, reduce la erosión y producción de sedimentos.

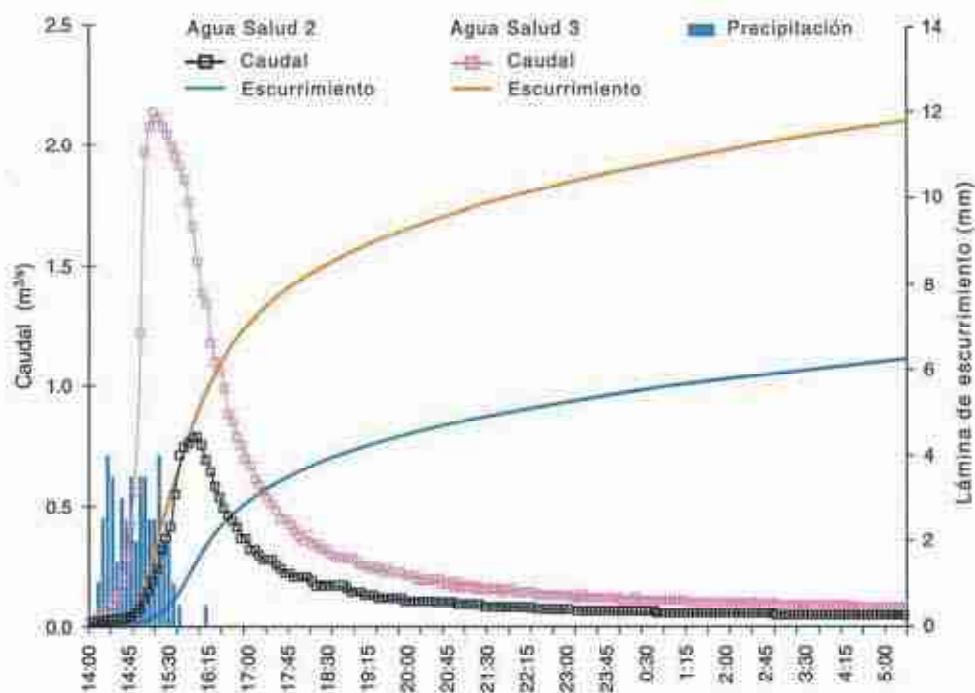
Por otra parte, se estudiaron los suelos de ambas microcuencas para establecer su granulometría (la distribución del tamaño de sus partículas), su permeabilidad, estructura y contenido de

Gráfica de escurrimiento mensual en las microcuencas de Agua Salud 2 y Agua Salud 3.



La gráfica muestra la íntima relación entre la cobertura boscosa y la regulación de las aguas en dos quebradas, una con bosques (línea azul) y otra deforestada (línea roja). A mayor deforestación, más escurrimiento y mayores crecientes en la estación lluviosa y menor disponibilidad de agua en la estación seca.

Hidrograma de las microcuencas de Agua Salud 2 y Agua Salud 3 de la tormenta del 21 de septiembre de 1997.



materia orgánica. Ello permitió estimar el factor K, el cual mide la erodabilidad o resistencia del suelo a la erosión. Según los resultados, los suelos de la microcuenca boscosa son más propensos a la erosión, pero su capa superficial es más profunda, a pesar de no estar en un terreno erosionado. Esta capa (horizonte A) tiene 23 centímetros de espesor, en una pendiente de 40 grados, mientras que la profundidad del suelo superficial en la microcuenca parcialmente deforestada es de sólo 10 centímetros en una pendiente de 10 grados.

Los estudios de suelos y aguas en estas dos microcuencas del río Agua Salud, tienden a corroborar con datos cuantitativos las conclusiones de investigaciones realizadas en otras partes de los trópicos, en el sentido de que los bosques, además de propiciar una mejor regulación del ciclo hidrológico, disminuyen la pérdida de los suelos.

3. Afluentes mayores y menores

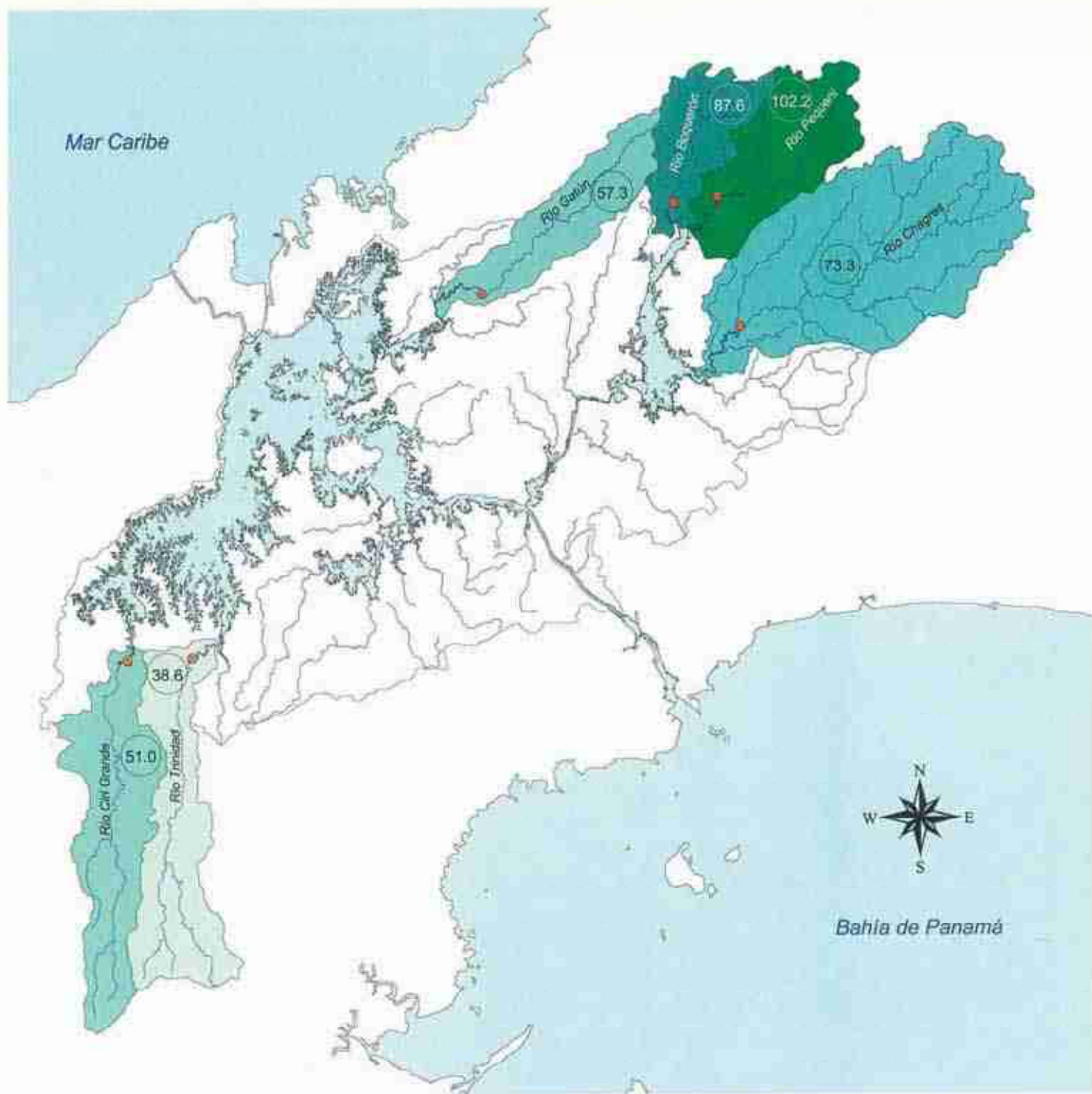
Aunque es difícil precisar el volumen total de agua que fluye anualmente hacia los lagos Gatún y Alhajuela, pues no todos sus ríos son aforados, la Autoridad de la Región Interoceánica

Caudales específicos en los ríos principales

(Periodo 1970 -1996)

Caudal específico en litros por segundo por kilómetro cuadrado (l/s/Kr)





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 Mm³), Pequení (437 Mm³), Cirí Grande (300 Mm³), Boquerón (253 Mm³), Trinidad (212 Mm³) y Gatún (212 Mm³). 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

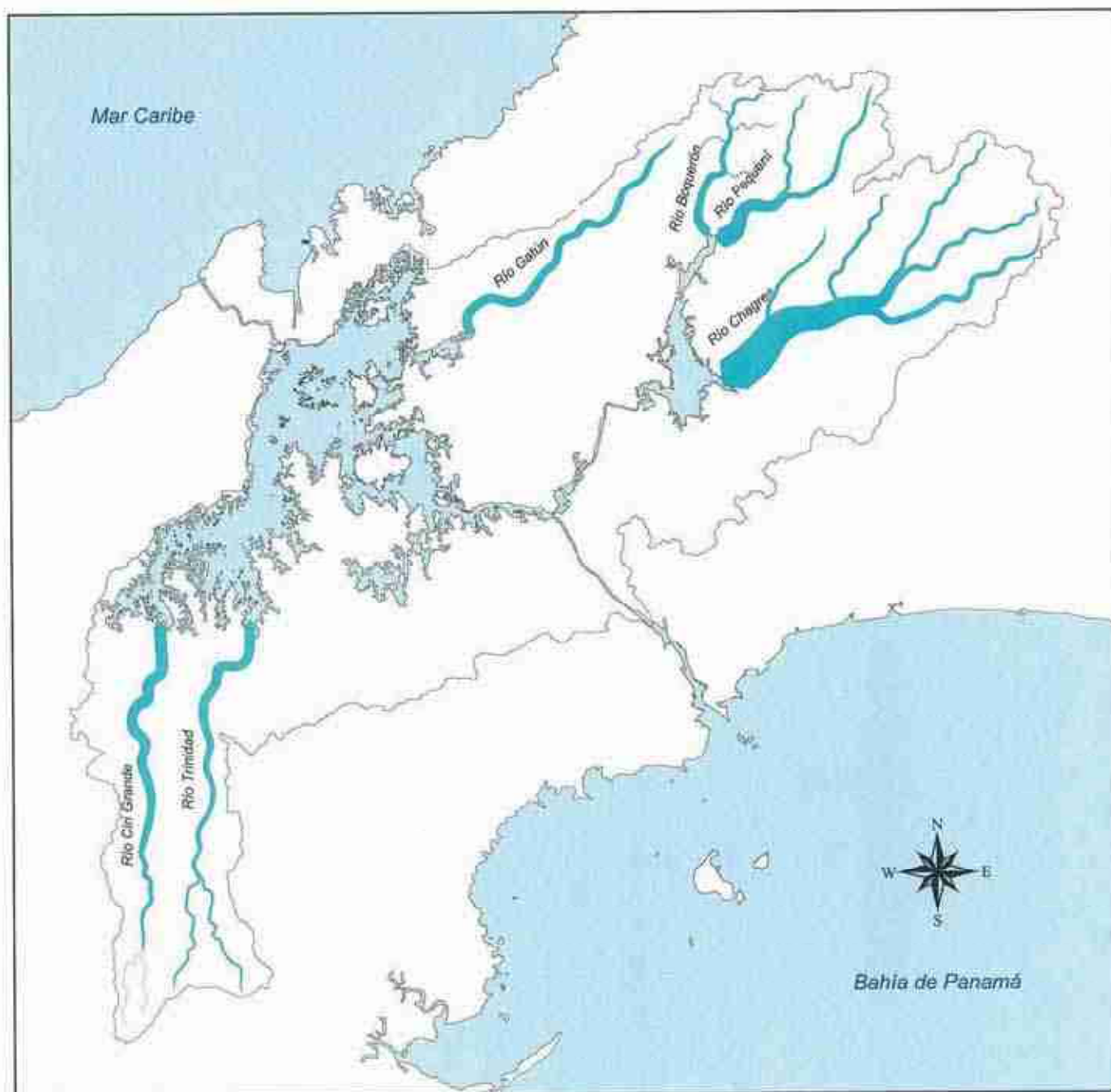
demanda de agua, es importante monitorear en el futuro inmediato algunos de estos cursos menores. La mayor parte de la superficie de estos afluentes menores, sin controles hidrométricos, está cubierta de potreros y suelos desnudos, y es de esperarse que estas subcuencas presenten mayor alteración en 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, Pequeñí, 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 Cirí 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

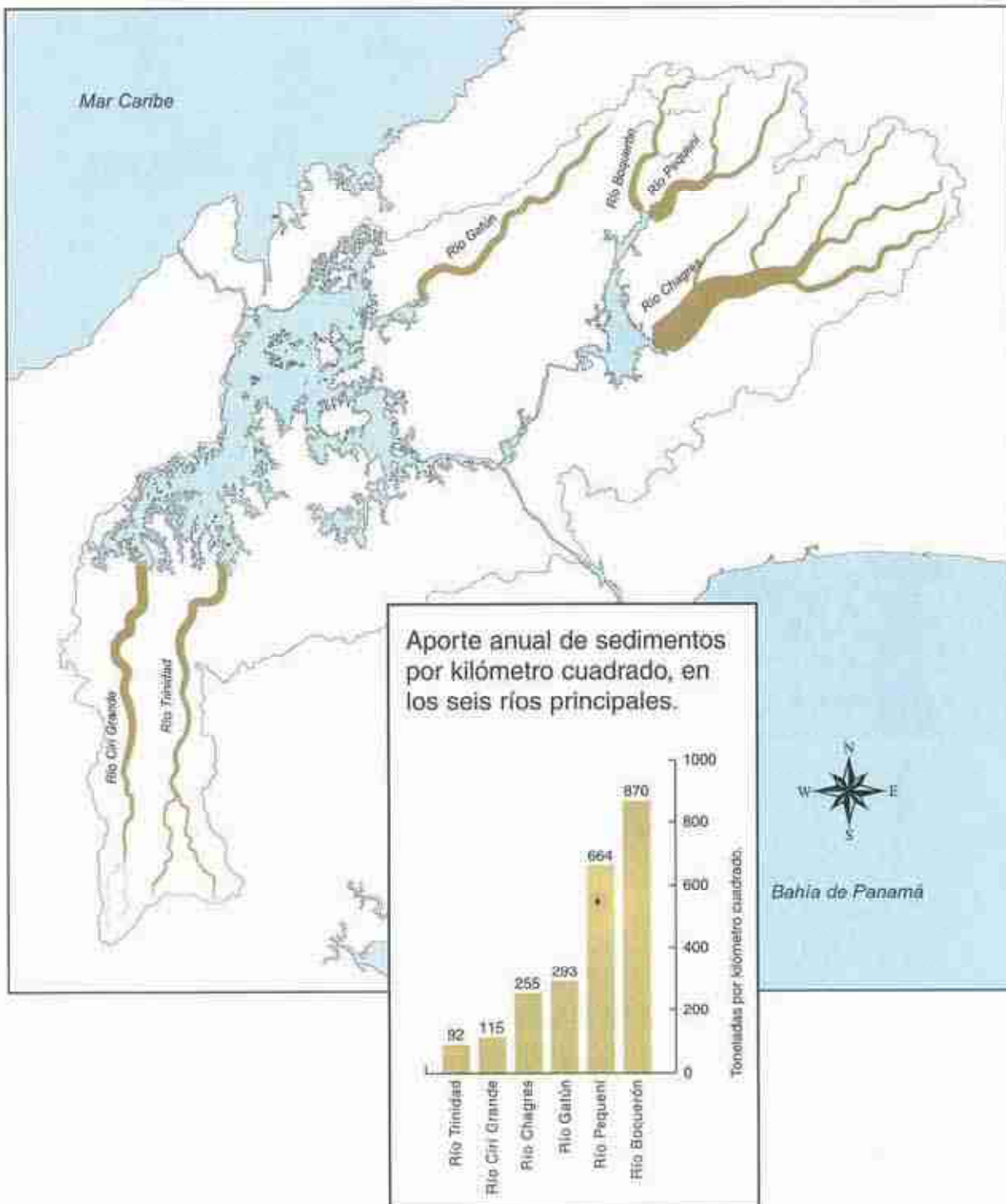
extremas. Una razón del incremento en su erosión puede ser la construcción de más caminos de penetración en las subcuencas.

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), Cirí 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/km²/año), Pequení (664 Ton/km²/año), Gatún (293 Ton/km²/año), Chagres (255 Ton/km²/año), Cirí Grande (115 Ton/km²/año) y Trinidad (92 Ton/km²/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/km²/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 NO_3^- , nitritos NO_2^- y amonía NH_4^+) y los fosfatos (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, Palénque II, Salamanca, Cabuya, Chilibrillo, Palenque Nueva Providencia, Cacao y Baila Monos.

Las mayores concentraciones de fosfatos, expresados como fosfato (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 Paraiso), río Chagres (a la altura del puente de la Transistmica), 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

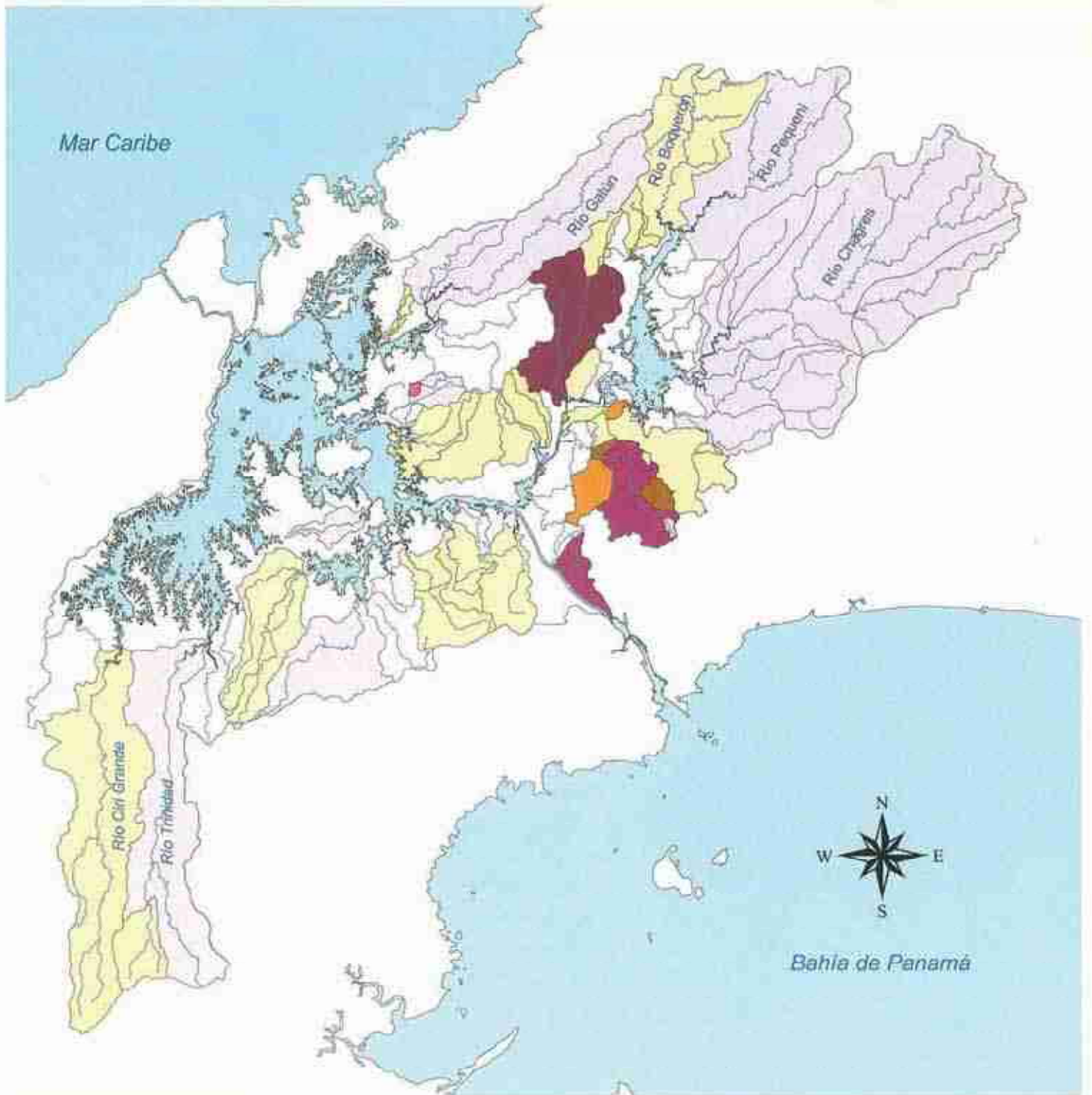
Concentración de nitratos

(Estación seca: enero-abril 1998)

Concentración de Nitratos (NO_3^-) Nitritos (NO_2^-) y Amonía (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 (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.

