社会開発調査部報告書

No. 2

REPUBLICA DEL PARAGUAY
PRESIDENCIA DE LA REPUBLICA
SECRETARIA TECNICA DE PLANIFICACION

# ESTUDIO SOBRE EL PLAN DE CONTROL DE CONTAMINACION DEL LAGO YPACARAI Y SU CUENCA

## VOLUMEN 1
## RESUMEN EJECUTIVO

AGOSTO 1989

AGENCIA DE COOPERACION INTERNACIONAL DEL JAPON

REPUBLICA DEL PARAGUAY
PRESIDENCIA DE LA REPUBLICA
SECRETARIA TECNICA DE PLANIFICACION

# ESTUDIO SOBRE EL PLAN DE CONTROL DE CONTAMINACION DEL LAGO YPACARAI Y SU CUENCA

## VOLUMEN 1
## RESUMEN EJECUTIVO

AGOSTO 1989

AGENCIA DE COOPERACION INTERNACIONAL DEL JAPON

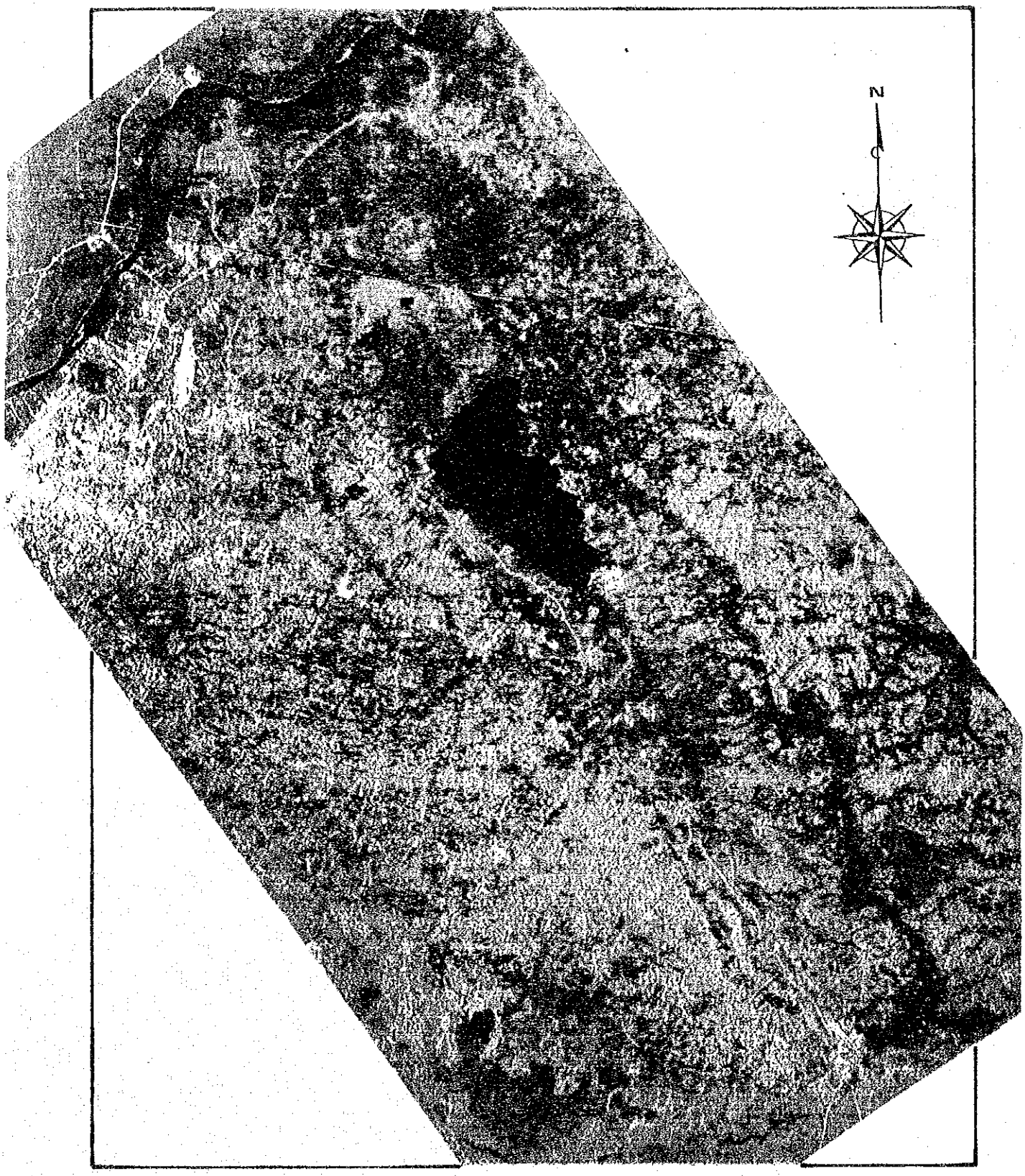


Imagen LANDSAT de la Cuenca del Lago Ypacarai (Foto ; NASA, Abril 5, 1981)

CONTENIDO

# RESUMEN EJECUTIVO

## I. Introducción

### 1. Objetivos del estudio

El lago Ypacarai, ubicado a aproximadamente 30km al este de Asunción, es un recurso natural importante para un país mediterráneo como Paraguay, y se utiliza como lugar turístico-recreacional. Sin embargo, debido a las características limnológicas y el desarrollo de la zona, la calidad del agua del lago está empeorando poco a poco, y se teme que si sigue esta tendencia podría perder su valor como lugar turístico-recreacional y recurso natural. Este estudio, considerando dichas circunstancias, tiene como objeto formular un plan contra la contaminación del agua del lago Ypacarai y su cuenca, y al mismo tiempo transferir la tecnología al personal de contraparte paraguayo a través de las investigaciones.

### 2. Generalidad del estudio

El estudio consta de cuatro temas principales: ① comprensión del medio ambiente natural y socioeconómico de la cuenca como antecedentes de la contaminación de agua, ② comprensión de la situación de la contaminación del lago y los ríos, y análisis del mecanismo de la contaminación, ③ selección y evaluación de las tecnologías de mejoramiento de la calidad de agua aplicables a la cuenca y ④ preparación de un plan de conservación de la calidad de agua. Se muestra el flujo del estudio en la Fig. 1.

### 3. Area del estudio

El estudio se hizo principalmente en el lago Ypacarai y las cuencas de los arroyos que entran al lago, pero también en la cuenca efluente del río Salado. Se muestra el área del estudio en la Fig. 2.

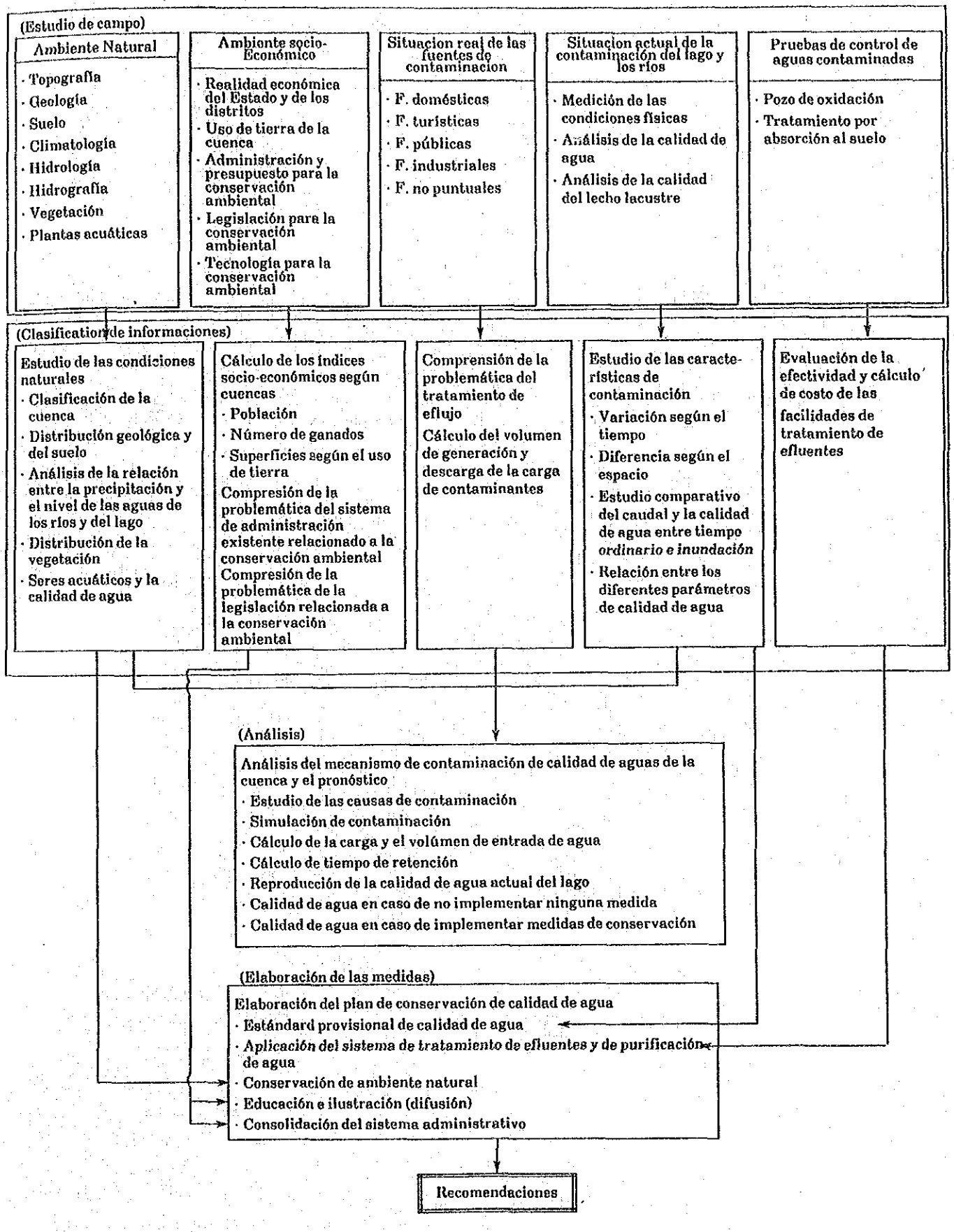


Fig. 1 Flujo de trabajo de investigación

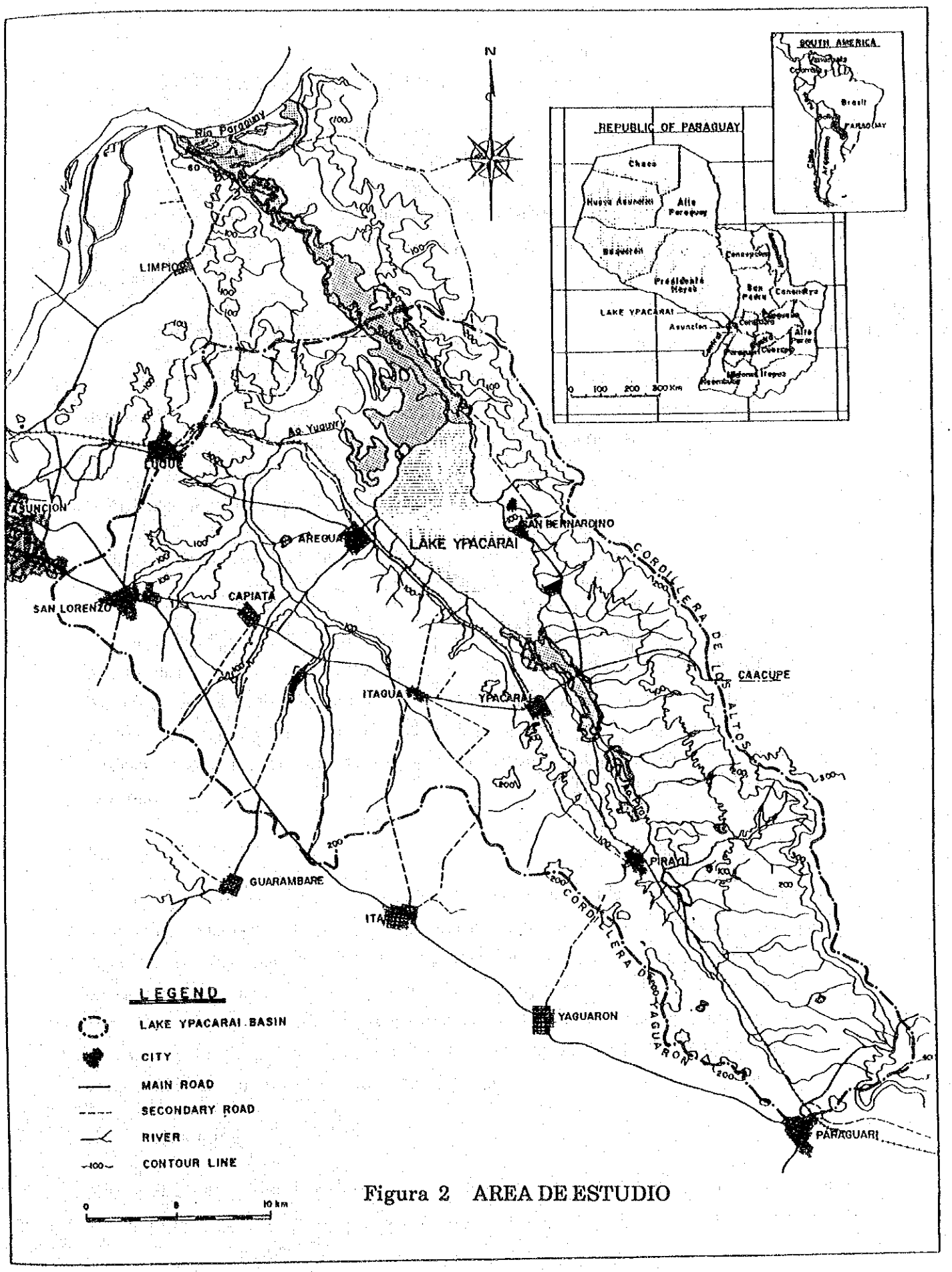


Figura 2 AREA DE ESTUDIO

## II. Medio ambiente natural del lago y su cuenca

### 1. Relación entre el arroyo Yuquyry y el lago

La relación del arroyo Yuquyry con el lago no había estado claro debido a que su curso se dispersa en el humedal aguas abajo. Sin embargo, los resultados de las investigaciones indican que la mayor parte de sus aguas entra al lago Ypacarai.

### 2. División de la cuenca

Por consiguiente, la cuenca del lago Ypacarai se compone de cuatro principales sistemas hídricos: sistemas de los arroyos Pirayú (353.7km$^2$) y Yuquyry (343.9km$^2$), y sistemas de los rios de la costa este (75.2km$^2$) y la costa oeste (60.2km$^2$), con una superficie total de 833km$^2$. En cambio, la salida del lago es única y se produce por el río Salado.

### 3. Topografía y sedimentos del fondo del lago

El lago Ypacarai tiene 59.6km$^2$ de superficie con una profundidad máxima de 3m y formando un talud hasta aproximadamente 500m de la orilla, pero la mayor parte del fondo es plano y no se observan canales. En la salida del río Salado, único efluente del lago, la profundidad de agua estaba 85cm más abajo que el nivel de referencia. En las orillas este y oeste, están extendidas las arenas cuarzosas gruesas, pero la mayor parte del fondo está cubierta por un lodo negro homogéneo.

### 4. Humedales

En la zona más baja del río Yuquyry se extiende una zona pantanosa de 16km$^2$ de extensión, llamada "humedales" que cumple un papel importante en regular el nivel de agua y preservar la calidad del agua. Aguas abajo del Pirayú, se esparcen humedales menores de 2km$^2$ de extensión. Estos humedales y las innumerables pequeñas lagunas de poca profundidad que se encuentran en la orilla derecha del curso principal del arroyo Pirayú a la altura de 80-200m, serían restos de la extensa área del lago en el pasado.

### 5. Geología

La capa más baja de los estratos de la cuenca es de granito de la era cambriana, y hay rocas que afloran hasta la superficie. La mayor parte de las

montañas del este está formada por la arenisca de la era paleozoica y es explotada en muchos lugares como material de construcción. Mientras, la mayor parte de las lomas del oeste es de conglomerado y arenisca rojiza de la época cretácea y la terciaria, y el primero es explotado como material de gravas. En la zona baja central, se distribuye una capa de arena fina no consolidada. En el fondo del valle del arroyo Yuquyry está distribuída la arcilla semi-consolidada de color gris obscuro-marrón obscuro y es explotada como material de cerámica.

## 6. Suelos

Los suelos de la cuenca se clasifican en 4: litosol, acrisol, regosol y planosol, y están distribuidos en relación muy estrecha a la configuración topográfica. De esto y del resultado del análisis de la granulometría, se podría decir que el litosol y el acrisol son suelos formados sobre la misma roca madre y el regosol es suelo arenoso trasladado hacia la zona baja y acumulado en los pastizales húmedos, y el planosol es suelo arcilloso convertido en partículas finas al haber recibido el efecto de ríos. Se supone que estos suelos, por su naturaleza, se acumularon en las lomas, pero debido a la urbanización y construcción de carreteras, se han perdido una considerable parte. En cuanto a la capacidad de intercambio catiónico (CEC) y el coeficiente de absorción de ácido fosfórico (PAC), los de planosol fueron los más altos (16.3me/100g, 500 mg/100g) y los del acrisol fueron los más bajos (2.6me/100g, 100 mg/100g).

## 7. Meteorología

Según el resultado de la observación durante marzo de 1988 y febrero de 1989, la precipitación anual de la cuenca fue 1,485mm, como los años ordinarios. No obstante, la de abril fue 190-390mm, casi el doble de los años normales. En cambio las de marzo y julio fueron 20-55mm y 1-5mm, respectivamente, extraordinariamente bajas comparado con los años normales. Por lo que respecta a la temperatura, la media mensual de marzo (San Bernardino) fue la máxima registrada con 28.2°C, y la media de mayo y julio fueron las mínimas registradas con 16.2°C y 15.5°C, respectivamente. Como una información, hubo una precipitación fuerte entre el 13 y el 16 de enero de 1988, antes de haber comenzado la investigación, suponiéndose que hubiese llovido más de 180mm, con lo que subió notablemente el nivel del agua del lago. La época de viento más fuerte fué entre julio y septiembre con la dirección predominante del sur-suroeste.

8. Nivel de agua del lago

El nivel promedio del lago desde 1965 a 1987 fué 1.20m más alto que el nivel de referencia (62.29m sobre el nivel del mar) y el máximo registrado durante el mismo plazo fue 2.20m más alto que el nivel de referencia (17 de marzo de 1974). No se observa mucha correlación entre el nivel medio mensual y la precipitación media mensual. Esto sugiere que el nivel del lago no se determina sólo por la cantidad de entrada de agua de las cuencas del contorno sino más bien con el estado de la salida al río Salado. El nivel entre el 16 y el 20 de enero de 1988 fué 2.60m, el máximo al registro, causando la depuración posterior del lago. El nivel durante el plazo de la investigación fue siempre 19-61cm más alto que el nivel medio.

9. Nivel de los ríos

El río Yuquyry, en momentos de lluvias, alcanza a su nivel máximo 0.5-1 día después del pico de lluvia y el río Pirayú 1.5-2 días después. Esto se supone que es debido a la urbanización en la cuenca del río Yuquyry, que reduce el tiempo de escorrentía. El nivel del lago comienza a subir casi al mismo tiempo que la subida del nivel de los ríos, pero no baja tan rápidamente aún después de que el nivel de los ríos haya bajado, debido a que es regulado por la condición de la salida al río Salado.

10. Vegetación de la cuenca

La comunidad vegetal distribuída en la cuenca se divide en 4 grupos principales: bosques, comunidad de palmas, pastizales y plantas acuáticas. Dentro de los bosques, los que están distribuídos en las montañas podrían ser los bosques secundarios formados por los árboles altos que predominaban extensamente en la cuenca y fueron transformados en árboles bajos debido a las talas selectivas y el empobrecimiento del suelo. Estos bosques en montañas han prácticamente desaparecido de la cuenca del río Yuquyry, y en otras zonas también están rápidamente disminuyéndose. En las comunidades de palmas, existen las de palmas de Karanday que crecen en el suelo arcilloso de baja permeabilidad y las de los cocoteros paraguayos que crecen en el suelo arenoso que tiene buena permeabilidad.

11. Vegetación en el perilago

En las orillas del lago Ypacarai, se observan diversas especies de plantas higrófilas e hidrófilas. Las plantas higrófilas se componen principalmente de las comunidades de *Cyperus* que se distribuyen extensamente en los humedales a aguas abajo del río Yuquyry y el Pirayú, y en el contorno del río Salado. Las plantas hidrófilas se desarrollan preferentemente formando comunidades mixtas en la zona norte de la costa este del lago Ypacarai y en la desembocadura del río Pirayú al extremo sur del lago, donde no hay mucha influencia del viento.

12. Seres acuáticos

Los fitoplancton del lago Ypacaraí, en su mayor parte están constituídos por las cianófitas durante todo el año, mostrando las características de un lago eutrófico. El número de células de los fitoplancton durante el plazo de la investigación estaba en un orden de $10^4$/ml, y se generaron las flores de agua durante febrero y marzo de 1988. Los zooplancton consisten principalmente de rotíferas, cladoceras y copépodas, que son componentes típicos de un lago eutrófico. Pero, la cantidad de los bentos era baja comparada con la de los lagos en la zona templada.

## III. Ambiente socioeconómico de la cuenca

1. Presión de la zona metropolitana de Asunción

Son 9 Distritos que pertenecen a la cuenca, de los cuales Luque y San Lorenzo forman parte de la zona metropolitana de Asunción, y Capiatá y Areguá cumplen el papel de ciudad dormitorio de la capital. De unos 210.000 habitantes en la cuenca (1982), más de 160 mil residen en la cuenca del río Yuquyry. La carretera nacional No2 que une Asunción con Brasil cruza esta cuenca y hay muchas fábricas y empresas que se sitúan a lo largo de la misma. Por otra parte, los que visitan las instalaciones recreativas del lago, en su mayoría son ciudadanos de la zona metropolitana. Por lo tanto, no se puede excluir la zona metropolitana de Asunción cuando se habla del problema de contaminación calidad de agua de la cuenca.

2. Uso de la tierra

El uso de la tierra por categoría en la cuenca es como sigue: 14.1% bosques, 0.4% tierra asolada (o tierra herbal seca), 3.8% humedal (o tierra inundada), 36.3% pradera, 28.9% tierra cultivada, 0.3% lagos y pantanos, y 16.2% zona urbana. Sin embargo, esta composición es muy diferente en las cuencas del río Yuquyry y el río Pirayú. En la primera, el orden es de tierra cultivada, zona urbana y pradera, sucesivamente, y su zona urbana ocupa aproximadamente el 70% de la superficie urbana total de toda la cuenca. En cambio, en la cuenca del Pirayú, el orden es pradera, tierra cultivada y zona urbana, y su pradera ocupa aproximadamente el 60% de la superficie total de pradera de toda la cuenca.

3. Expansión de la zona urbana

Si se compara el uso de la tierra del año 1988 con el de 1965, se observa que la zona urbana aumentó más del doble en 23 años. Esto se debe principalmente al crecimiento de la urbanización en la cuenca del río Yuquyry, a expensas de tierras agrícolas. Dicho crecimiento de la zona urbana indica que la zona metropolitana de Asunción está extendiéndose en la cuenca, y lo seguirá, a menos que se adopte alguna medida especial.

## IV. Fuentes de contaminantes y situación de generación y descarga

1. Tipos y distribución de las fuentes contaminantes

Se clasifican las fuentes contaminantes en puntuales y no puntuales. Las fuentes puntuales se dividen en 4 tipos por conveniencia: doméstica (casas familiares), turística (hoteles y clubes), instalaciones públicas, e industrial (la mayoría es industria de elaboración de productos agrícolas y ganaderos). Cerca de un 80% de las fuentes domésticas se encuentran en el curso del río Yuquyry y las turísticas se concentran en la orilla este. Las de instalaciones públicas comprenden un hospital nacional y una planta de tratamiento de aguas residuales. Dentro de las industriales, las más grandes son las 4 fábricas de aceite vegetal, de las cuales 3 se ubican en la cuenca del río Yuquyry. Muchas de las otras fuentes industriales se encuentran también en la cuenca del río Yuquyry.

2. Fuentes domésticas

El desagüe doméstico sólo es tratado en la parte que corresponde a 15,000 habitantes de San Lorenzo, y el resto es tratado por la percolación al suelo, tales como las pozas absorbentes (poza excavada a mano con 1m de diámetro y unos 2-6m de profundidad) o añadiendo a ésta el tanque séptico. Debido a esto, en las zonas donde no está instalado el sistema de agua potable ocurre de vez en cuando el problema sanitario causado por la contaminación del agua freática. La cantidad de descarga de las aguas servidas se estima en 130-150ℓ/habitante/día en las ciudades y un poco menos en las aldeas.

3. Fuentes turísticas

En las fuentes turísticas, están instaladas las pozas sépticas y pozas de almacenamiento en su mayoría, pero hay muchas que no están bien mantenidas, y hay lugares que vierten directamente sus aguas negras en el lago. La cantidad de aguas servidas es mayor en verano, en la época de turismo, pero el número de huéspedes no pasa de 100 personas/día como promedio.

4. Fuentes de las instalaciones públicas

Dentro de las fuentes de instalaciones públicas, el hospital nacional cuenta con 350 empleados y 200 camas, y su sistema de desagüe consta de tres pozas sépticas en serie y filtración por arena y grava. La planta de tratamiento de aguas residuales consta de tres lagunas en serie y trata los residuos humanos y otros desagües de alrededor de 15,000 habitantes de San Lorenzo.

5. Fuentes industriales

De las fuentes industriales, las 4 fábricas de aceite vegetal de mayor escala se estiman que vierten un total de efluentes de más de 5,000m$^3$/día siendo las más importantes fuentes de contaminación. Entre ellas, las dos fábricas de mayor producción cuentan con plantas de tratamiento de desagüe de alta concentración, pero en este momento están fuera de funcionamiento. Las dos restantes no tienen planta de tratamiento. Los mataderos son instalaciones semi-públicas y se encuentran en casi cada población, pero hay muchos que vierten directamente a los ríos la sangre y contenidos de estómago que se generan del faenamiento. Aparte de estas, hay fábricas pequeñas y medianas de curtidos, alcohol, salchichas, almidón, etc., y la mayoría descargan sus efluentes al río sin tratamiento.

6. Generación de carga de contaminantes de las fuentes puntuales

Según el cálculo que se hizo de la carga generada de las fuentes puntuales en la cuenca, en base a los datos existentes de la calidad de aguas servidas y las informaciones relacionadas a la carga unitaria generada, el desagüe doméstico ocupa el 52% de COD, 78% de TN y 65% de TP. Por otra parte, el desagüe industrial ocupa el 44% de COD, 15% de TN y 30% de TP. Dentro del desagüe industrial, el porcentaje que ocupan las fábricas de aceite vegetal es alto con el 85% de COD, 64% de TN y 69% de TP.

7. Fuentes no puntuales

Dentro de las fuentes no puntuales, de los pastizales se descarga una parte de los excrementos de los animales domésticos. De los campos cultivados, se descarga una parte de fertilizantes para los cultivos agrícolas, pero el consumo de fertilizantes en la cuenca es generalmente bajo. Los bosques tienen una función de depurar sustancias contaminantes, pero su distribución en la cuenca es reducida. Aparte de esto, debido a que el suelo de la cuenca es arenoso y contiene poca materia orgánica, y a que varias veces al año existen precipitaciones de 80-120mm en unas horas, se erosiona cada año gran cantidad de tierra de la cuenca. Las zonas de gran erosión son: las montañas y lomas que no tienen cobertura vegetal, los afluentes de la orilla izquierda del río Pirayu, las carreteras, las zonas urbanas, las canteras de material de construcción, gravas y arcilla.

## V. Contaminación de los ríos y el lago

1. Contaminación de los ríos

El sistema hídrico del río Yuquyry tiene bajo índice de saturación de DO en muchos tramos, lo cual indica que la entrada de sustancias orgánicas excede la capacidad de autopurificación. En cambio, el sistema hídrico del río Pirayú, en muchos de sus tramos no sufre contaminación orgánica, sobre todo el río Yagua-Resa-u prácticamente no está contaminado. Cuando el nivel de agua es normal, todos los ríos muestran bajo índice de BOD/COD, lo cual indica que la mayoría de las materias orgánicas son sustancias lentas en degradarse. Y también es común para todos los ríos de que un 70-90% de los materiales residuales son disueltos (diámetro menor de 1μm).

2. Calidad de agua de ríos en inundación

La concentración de las sustancias contaminantes en inundación aumenta menos en el río Yuquyry que en el río Pirayú (Y-pucu y Yagua-Resa-u) que se incrementa en unas 10-100 veces, llegando en esas épocas a la misma cantidad de carga de contaminantes en ambas cuencas. Se supone que esto se debe a que el primero tiene mayor porcertaje de carga de las fuentes puntuales, en cambio, el posterior tiene mayor carga de las fuentes no puntuales. Dentro de las sustancias contaminantes, se destaca el aumento notable de la concentración de SS, lo cual indica que en inundación incrementa el arrastre de la tierra.

3. Sedimentos del fondo de los ríos

Si bien entra mucha cantidad de materias orgánicas de la cuenca, el contenido de las mismas en los materiales del fondo de ríos es bajo, lo cual podría atribuirse a que los SS inorgánicos procedentes de la tierra y arenas se sedimentan en gran cantidad en los lechos de rios.

4. Carga de entrada

La carga anual que entra al lago calculada en base a la calidad de agua y el caudal en condiciones normales y en inundación (en el río Yuquyry y el Pirayú se tomaron datos antes de los humedales), muestra $9.8\times10^6$kg en COD, $374\times10^3$kg de TN, $94.4\times10^3$kg de TP y $20.4\times10^6$kg de SS. Es decir, de la cuenca del río Yuquyry entran 53% de COD, 48% de TN, 58% de TP y 39% de SS, y de la cuenca del río Pirayú, 27% de COD, 29% de TN, 20% de TP y 34% de SS.

5. Capacidad de purificación de los humedales

En los humedales, se eliminan las sustancias contaminantes por consecuencias de la sedimentación de las partículas grandes por ser reducida la velocidad de corriente, la adhesión en las raíces de las plantas acuáticas y la descomposición por los microorganismos adheridos a las plantas acuáticas. Aunque tanto el método como el número de medición no son suficientes, se estima que, en caso del río Yuquyry en las condiciones normales, se eliminan un 80% de SS, un 50% de COD, un 75% de TN y un 70% de TP al atravesar por los humedales. Los humedales aguas abajo del río Pirayú no tienen más que un 1/8-1/9 de la superficie de los del Yuquyry, por lo que el tiempo de retención es corto y su rendimiento de purificación se considera en el equa del lago bastante más bajo que el primer caso.

6. Materias orgánicas en el agua del lago

Al incrementar las materias orgánicas en las aguas se consume notablemente el oxígeno diluído, lo cual reduce la capacidad autopurificadora de los ríos y de los lagos. Este ambiente acelera el proceso de putrefacción del agua y del lodo del lecho, a la vez que cambia el ecosistema. La concentración de COD de las aguas del lago durante el período del estudio fue alta marcando 50 mg/lit. como índice máximo y 20 mg/lit. como mínimo, lo cual significa que la contaminación del lago por las materias orgánicas ha avanzado notablemente. La concentración de BOD osciló entre 2,5 y 4,3 mg/lit., por lo que la relación BOD/COD es de 1/10, y esto significa que la mayor parte de las materias orgánicas son difíciles de descomponerse. La concentración de DCOD no varía mucho entre las aguas del lago y de los ríos afluentes.

7. Sales nutrientes en el agua del lago

El incremento de las sales nutrientes en las aguas acelera la reproducción de fitoplancton que se alimentan de ellas, ocasionando problemas en el proceso de purificación de agua y olores desagradables en el agua potable. Además, los restos mortales de fitoplancton contribuyen a la contaminación orgánica del cuerpo de aguas. La concentración de TN de las aguas del lago durante el período de estudio fue de 3,3 mg/lit. máximo y 0,7 mg/lit. mínimo. En cuanto a la concentración de TP que en el año 1988 fué baja, superó a 0,2 mg/lit. en 1989. Según los datos de años pasados, la concentración de las sales nutrientes en el lago fué siempre alta, por lo que se puede considerar que el lago Ypacarai se encuentra supereutroficado desde muchos años atrás.

8. Causantes de la turbiedad del lago

La turbiedad deteriora la belleza del paisaje y el baño agradable en el cuerpo de aguas. Pese a que según los datos existentes, el índice de transparencia (SD) del lago es generalmente muy bajo (menor a 15 cm), durante el período de estudio comprendido entre los meses de febrero a septiembre de 1988, éste osciló entre 60 y 80 cm. Sin embargo, entrando en 1989, el valor de SD se redujo hasta alrededor de 25cm, y el agua revistió un color oscuro con una concentración alta de TP. Las causas de la turbiedad son: ① materias disueltas en las aguas de los ríos afluentes que entran al lago (compuestas principlamente por las materias orgánicas difíciles de descomponerse), ② fitoplancton reproducido en el lago y sus restos mortales, y ③ lodos levantados por las olas producidas por el viento, cuya cantidad y proporción varía según las condiciones climatológicas e hidrológicas.

En el presente estudio no se pudo aclarar aún las materias causantes que producen el color negro de las aguas y que disminuyen notablemente la intensidad de iluminación dentro del lago.

9. Contaminación por bacterias y por sustancias tóxicas

Las bacterias y sustancias tóxicas son causas eventuales de daños a la salud de las personas y animales domésticos. Actualmente, el nivel de la contaminación por bacterias y por materias tóxicas está bajo. Pero aguas abajo del río Yuquyry, el número de coliformes fecales marcaba siempre entre 1,000 y decenas de miles de MPN/100ml, por lo que se supone que existe contaminación por los desagues domésticos y de los mataderos. Por otro lado, aunque son pocos, existen fábricas que pueden verter sustancias tóxicas tales como la de productos farmacéuticos en San Lorenzo y la de curtiembre en Ypacaraí.

10. Materiales del fondo del lago

Los materiales del fondo, excepto algunas zonas, consta de 99% de arcilla y limo con 150-400% de contenido de agua natural, y no se observa mucha diferencia de localidad. La IL es alta con 15-20%, que contiene bastante sustancias orgánicas. Según las muestras columnares del centro del lago, se reducen notablemente la concentración de C N, el contenido de agua y la IL a 15-17.5cm del fondo. La velocidad de sedimentación del fondo calculado en base al volumen de sedimentación de SS, con el contenido de agua de la superficie del fondo, es 5.3mm/a, y con el contenido de agua a 20cm debajo de la superficie del fondo es 2.1mm/a. Por lo tanto, aun considerando la reducción por descomposición y/o la consolidación, la profundidad en que el material de fondo cambia bruscamente no sería más antiguo que 80 años.

## VI. Mecanismo de contaminación del lago y predicción de la calidad de agua del lago

1. Tiempo de retención

El tiempo de retención del lago Ypacaraí obtenido del volumen y el balance hidrológico del lago es de unos 150 días, o sea tiene una frecuencia de cambio de agua de 2-3 veces al año.

2. Características de distribución de la calidad de agua

La diferencia en la calidad de agua entre los diferentes puntos del lago es pequeña, por lo que la convección y la difusión horizontal es suficiente. Además de esto, ya que la alteración en la calidad de agua de los ríos se refleja inmediatamente a la del lago, se supone que la velocidad de mezcla horizontal es muy rápida. Tampoco se nota gran diferencia vertical en la calidad de agua, y la saturación de DO es adecuada aun en la capa inferior. Por lo tanto, se supone que la mezcla vertical también es efectiva.

3. Factores reguladores de la calidad de agua

De acuerdo con el estudio de la calidad de agua considerando las condiciones meteorológicas e hidráulicas, y el resultado de la reproducción de la situación actual mediante la simulación de contaminación, se deduce que los factores reguladores son: ① el residuo de la carga de entrada de los ríos (los que no se eliminan por la purificación en los humedales y por la sedimentación en las desembocaduras de ríos), ② reproducción de los fitoplancton en el lago, ③ elución del material de fondo y levantamiento de los mismos por los vientos y olas. El caso ① aumenta cuando existe inundación, y su porcentaje sería 15-20% de la producción en el lago. El ② se regula según el espesor de la zona eufótica, pero la velocidad de descomposición es rápida. Del ③, la elución aumenta en verano cuando sube la temperatura del agua y el levantamiento del fondo aumenta en invierno cuando el viento es fuerte.

4. Predicción de los efectos de las medidas contra la contaminación

Bajo las condiciones meteorológicas durante el plazo de investigación, se hizo un cálculo de la evolución de la calidad de agua del lago a través de una simulación de contaminación, disminuyendo la carga de entrada a 1/2, y se obtuvo el resultado de que la calidad de agua mejoraría algo pero no en forma dramática. Al mismo tiempo, se calculó la concentración de COD del agua del lago para el año 2010 bajo la suposición de que la carga de entrada aumente 2% al año, y el resultado fue que llegará a 1.5-2 veces más que el valor actual. Esto no quiere decir que las medidas contra la contaminación no tendrían efecto, sino que se necesita mucho tiempo para mejorar la calidad de agua de una zona cerrada, aparte de que la contaminación avanzaría rápidamente si se deja de aplicar las medidas.

## VII. Tecnologías de mejoramiento de la calidad de agua aplicables a la zona

### 1. Lista de tecnologías de mejoramiento de la calidad de agua

Dentro de las tecnologías de mejoramiento de la calidad de agua que ya se están utilizando y obteniendo buenos resultados en Japón y en otros países, se han seleccionado las aplicables a la zona del proyecto considerando las circunstancias de la misma, y se les ha dado la prioridad de ejecución descrita en la Tabla 1. Las prioridades se establecieron teniendo en cuenta el efecto de aplicación, costos, y necesidad de nueva legislación.

### 2. Medidas contra las fuentes de contaminación industrial

Considerando de las medidas contra las fuentes de generación y descarga de contaminantes, si se trata de las fuentes puntuales, la instalación de plantas de tratamiento de efluentes sería el objeto principal, y considerando el porcentaje que ocupan las fuentes industriales en toda la carga, es muy preciso mejorar e instalar cuanto antes plantas de tratamiento de efluente industrial. Particularmente, las fábricas de aceite vegetal vierten gran cantidad de efluentes de alta concentración de contaminantes (total de las 4 fábricas: 5,000m$^3$/día), por lo cual es indispensable su tratamiento. Se debería exigir la reactivación de blantas en las 2 fábricas que tienen ya plantas de tratamiento de alta concentración pero que están fuera de funcionamiento, y en las otras dos fábricas que no tratan sus efluentes, que instalen cuanto antes planta de tratamiento que tenga más o menos una capacidad similar a las dos anteriores. Además, es deseable mejorar la capacidad de tratamiento instalando lagunas, aparte de las plantas de tratamiento de alta concentración. En las otras fábricas pequeñas y medianas de distintos tipos se debería orientar la instalación por lo menos de lagunas para lograr la descomposición de sustancias orgánicas hasta cierto nivel antes de verter. En aquellas fábricas que tienen posibilidad de descargar sustancias tóxicas tales como fábrica de productos farmacéuticos, curtiembres, etc. es necesario ejecutar la vigilancia diaria.

### 3. Medidas contra fuentes de contaminación domésticas

La cantidad de la carga de entrada procedente del desagüe doméstico es actualmente mucho más reducida que la del efluente industrial, pero la generación de carga contaminante es mucho más alta y seguirá aumentando a medida que avance la urbanización. Por otra parte, en las zonas urbanas ya comienza a faltar el espacio para renovar las pozas absorbentes, y en las zonas

## Tabla 1 Tecnología de Mejoramiento Aplicable a la Cuenca del Lago Ypacarai

| Localización | Contenido de la reducción de carga | Técnica de mejoramiento de calidad de aguas |
|---|---|---|
| Medidas en las fuentes de generación y descarga | Reducción de la carga generada de fuente puntual | · Regulación de localización de industrias y viviendas ★<br>· Mejoramiento del proceso de producción industrial ◆ |
| | Reducción de la carga descargada de fuente puntual | · Sistema de tratamiento de efluentes industriales<br>Grandes industrias:<br>- Tratamiento químico ●<br>- Lagunas ●<br>- Recuperación de capacidad operativa de instalaciones actuales ●<br>Pequeña y mediana industria:<br>- Lagunas ●<br>· Mejoramiento del tratamiento de efluentes de fuente turística y mantenimiento conveniente de las instalaciones existentes ●<br>· Sistema de tratamiento de fuente doméstica<br>- Construcción de alcantarillados y plantas de tratamiento ★<br>- Mejoramiento de sistema de tratamiento individual (tratamiento por suelos) ●<br>- Recolección de desagues con camiones cisternas ■<br>- Mejoramiento del sistema de tratamiento de San Lorenzo con la inclusión de sistema de aireación ◆<br>- Ejecución del tratamiento de lodos, secado al natural, plantas ◆ |
| Medidas en las fuentes de generación y descarga | Reducción de la carga generada de fuentes no puntuales | · Plan de uso de tierras teniendo en consideración la conservación de calidad de aguas ★<br>· Conservación forestal (regulación de deforestación, manejo forestal) ◆<br>· Aumento de zona forestal (reforestación) ★<br>· Prevensión de la introducción directa de evacuación ganadera hacia los ríos (establecimiento de zonas prohibidas de pastoreo, reforestación de las riberas fluviales) ★ |

| Localización | Contenido de la reducción de carga | Técnica de mejoramiento de calidad de aguas |
|---|---|---|
| Medidas en las fuentes de generación y descarga | Reducción de la carga generada de fuentes no puntuales | · Prevención de la erosión de suelos de tierras de cultivo ★<br>· Prevención de erosión de zonas urbanizadas y caminos (construcción de canaletas) ◆<br>· Prevensión de erosión de minas y canteras (pozas de sedimentación, muros de contensión) ◆<br>· Prevensión de erosión de las zonas ribereñas ◆ |
| Medidas en los ríos afluentes | Prevención de introducción de carga en época de lluvias | · Establecimiento de canales de derivación (Aguas abajo del Yuquyry) ■ |
| | Elevación del porcentaje de purificación del lecho de ríos | · Canal de oxidación por contacto (los ríos dentro de poblaciones) ■ |
| | Eliminación de carga acumulada en el lecho de los ríos | · Eliminación de lodo y basura de lechos de ríos (Zonas estancadas cerca de fábricas y zona urbana) ● |
| Medidas en el lago | Reducción de carga en las desembocaduras de ríos | · Conservación de humedales (Yuquyry y Pirayú) ●<br>· Amplicación de humedales (Pirayú) ★ |
| | Reducción de carga directa de la costa | · Eliminación de basuras de la costa ●<br>· Conservación de la vegetación del perilago ● |
| | Control de la generación de la carga interna | · Eliminación de hojas y algas muertas ● |
| | Control de carga retornada de los lodos del lecho lacustre | · Construcción de canalización con esclusas (rio Salado) ■ |

Nota: ● Se debe ejecutar lo más pronto posible
◆ Deseable que se ejecute en 3 a 5 años
★ Deseable que se ejecute en 5 a 10 años
■ Se decidirá su ejecución después de un estudio sobre su factibilidad

donde no hay instalación de agua potable se presentan problemas de sanidad de agua subterránea. Por lo tanto, es indispensable implementar el sistema de alcantarillados, y para aquellas zonas en que se necesita tiempo para la implementación del sistema de desagües, es necesario reemplazar el actual sistema de pozas absorbentes con el de tratamiento por infiltración en suelo. Para las zonas donde el nivel de agua fréatica no es profundo o donde no es aplicable dicho sistema, se debe estudiar la posibilidad de introducir el sistema de recolección de los residuos humanos por camión aspirador. En tal caso, hay que separar los residuos del desague general instalando poza de almacenamiento para los residuos, aparte de las pozas absorbentes.

4. Medidas contra las fuentes no puntuales

Como las medidas contra las fuentes no puntuales, es fundamental utilizar la tierra en forma planificada, teniendo como objetos principales la conservación y ampliación de los bosques que tienen funciones de prevenir la erosión del suelo y purificar el agua, y la prevención de la expansión urbana cuya infraestructura sea incompleta. Con respecto a los bosques, es preciso detener la disminución de los bosques montañosos en las fuentes de agua y los bosques a lo largo de los ríos principales, y fomentar la repoblación en las laderas abruptas. Al mismo tiempo, es deseable ejecutar obras de prevención de arrastre de tierra adecuadas a las tierras cultivadas, carreteras, orillas de río y canteras de gravas, arcilla y material de construcción.

5. Medidas para los ríos afluentes

Se puede esperar un gran efecto al constuir sobre el arroyo Yuquyry en canal de descarga (sistema de presa vertedero) que evacúe la carga de entrada hacia fuera de la cuenca en caso de inundación, pero será muy costoso (aproximadamente US$ 5,4 millones). Además, existe el peligro de afectar el ambiente de los humedales aguas abajo del río Salado, por lo cual se requiere de una evaluación de la influencia al medio ambiente.

6. Medidas para el lago

Dentro de las medidas para el lago, la primera prioridad sería conservar los humedales aguas abajo del río Yuquyry y el rio Pirayú, cuya capacidad de purificatión de agua se considera grande. Para esta finalidad, es necesario controlar la edificación de viviendas y la construcción de las carreteras en su contorno a fin de minimizar la entrada de la tierra y las sustancias

contaminantes. El dragado del depósito de fondo servirá para eliminar la causa de elución y levantamiento de los sedimentos, pero se estima que el tiempo del efecto favorable es corto frente al costo requerido. Además traerá aperejado problemas de contaminación por la propia obra y de tratamiento de los lodos extraídos, por lo que no es una solución muy factible. Antes bien, podría ser eficiente para purificar el lago el construir una compuerta a la entrada del río Salado después de profundizar su fondo (tiene actualmente apenas 85cm de profundidad) para que pueda regular libremente la descarga de las sustancias de fondo y el nivel de agua del lago. Sin embargo, si se aumenta la transparencia, provoca la generación de las flores de agua y surge el problema de utilización de agua, como ocurrió entre febrero y marzo de 1988, de modo que es necesario estudiar las condiciones detalladas que regulan la producción interna.

7. Prueba del efecto de purificación de la poza de oxidación

Se comprobó el efecto de la poza de oxidación construyendo una planta experimenal en el matadero de Areguá (faenan 8-10 vacas al día). La planta fué diseñada para una capacidad de tratamiento de $6m^3$ de agua y para disminuir la concentración de BOD de 10,000mg/ℓ a 5,000mg/ℓ. Consta de 3 estanques en serie de 1m de profundidad (tiempo de retención: 18 días), poza de sedimentación como equipo de pretratamiento, tubería de riego contra olor y bomba para mantener la condición aeróbica. Resultó que, debido a la alta concentración del agua cruda, no se pudo mantener el estado aeróbico, y se limitó a reducir un 30% de BOD y COD. De este resultado, se ha aclarado que, en caso de aplicar la poza de oxidación al matadero, es necesario separar la sangre y el contenido del estómago antes del tratamiento. El costo aproximado de la construcción de este tipo de poza de oxidación se estima en US$50/$m^3$.

8. Prueba del efecto de purificación en tratamiento en suelo

Se comprobó el efecto del tratamiento en suelo construyendo una planta experimental en la comisaría de Areguá. La base del diseño fue: número de personas a tratar: 20, consumo de agua: 30ℓ/día/persona, permeabilidad: $7.8\times10^{-3}$cm/s, y de acuerdo con las especificaciones de EPA se instaló un tanque séptico en las dos zanjas de 10m (tiempo de retención, más de dos días). La CEC del suelo de instalación fue 9.4me/100g, y el PAC fue 270 mg/100g. Debido a diversos problemas, no se pudo realizar el número de pruebas previsto, por lo que la fiabilidad de los datos es baja, pero el porcentaje de eliminación de las sustancias orgánicas de este sistema es extraordinariamente alto (alrededor de

90% tanto de BOD como de COD). Aunque existe un defecto de que no es efectivo en eliminar N y P, tiene alto porcentaje de eliminación de sustancias orgánicas y menos posibilidad de contaminar el agua freática que la poza absorbente, por lo que es deseable difundir ampliamente este método de tratamiento en suelo como instalación de tratamiento del desagüe doméstico. El costo aproximado de este tipo de tratamiento en suelo se estima en US$20/m.

## VIII. Plan de conservación de la calidad de agua

### 1. Demanda futura del uso del lago Ypacaraí y su cuenca

Actualmente, el agua cruda del lago está siendo utilizada como agua potable sólo para las 1,095 casas de San Bernardino. Sin embargo, SENASA y CORPOSANA tienen intención de utilizar el agua del lago como agua potable para Ypacaraí y otras zonas donde es difícil obtener agua subterránea de buena calidad y suficiente volumen. Por otra parte, el área del lago está siendo aprovechada para el lugar de baño, yate y remo en verano, y a medida que mejora el nivel de vida del pueblo, la demanda como recurso turístico-recreacional aumentará sin duda. La demanda latente de aprovechar los ríos como lugar de recreación local será también grande.

### 2. Metas de conservación de calidad de agua

Considerando la futura demanda del lago y sus alrededores descritas anteriormente, se deben tener en cuenta los siguientes puntos para proponer las metas de calidad de agua de la cuenca:

① Uso de las aguas del lago como agua potable
② Uso recreativo del lago y de los ríos
③ Conservación del paisaje y el ecosistema del cuerpo de aguas y sus alrededores.

Sin embargo, actualmente son escasos los datos referentes al mecanismo de contaminación del lago y a la relación entre la calidad de agua y los problemas de la salud. Por tal motivo, se ha sugerido establecer las normas provisionales de calidad de agua expuestas en la Tabla 2, en base a los datos obtenidos durante el presente estudio y a las normas establecidas para cuerpos de aguas públicas en

Japón. Sin embargo, estas normas deberán ser modificadas en dos o tres años conforme a los resultados de los estudios que se realizarán en el futuro próximo.

Tabla 2 Normas provisionales de calidad de agua para el Lago Ypacarai

| pH | COD mg/lit | DO mg/lit | Coliformes fecales MPN/100ml | TN mg/lit | TP mg/lit |
|---|---|---|---|---|---|
| 6,5 ~8,5 | Inferior a 20 | Mayor a 7,5 | Inferior a 1.000 | Inferior a 0,7 | Inferior a 0,1 |

3. Normas de efluentes

Se ha mencionado ya las medidas básicas sobre instalaciones de tratamiento y purificación de agua para las fuentes puntuales, pero también se deben establecer las normas de efluentes. Dentro de la cuenca, no se encuentran todavía muchas fuentes puntuales de gran volumen de descarga (fábricas y empresas), y la variedad de industria es limitada. Por lo tanto, una vez que se establezcan las normas de calidad de agua del lago y rios, podrían ser más eficientes si se establecen normas de efluentes para cada fábrica y empresa o según su tipo de industria considerando las situaciones de cada uno. Pero, como no es conveniente dejar este problema sin tomar ninguna medida, se debe obligar de inmediato a las fábricas y empresas a que ejecuten el monitoreo de la calidad de efluentes, y al mismo tiempo fortalecer la vigilancia y dirección de acuerdo con las leyes en vigor.

4. Marco general de las medidas para conservar la calidad de agua

La implementación de las medidas de conservación de la calidad de agua en la cuenca del lago, debe basarse en los siguientes 5 puntos: ①estudios e investigaciones básicas ②aplicación de la tecnología de mejormiento de la calidad de agua, incluyendo la conservación del medio ambiente natural de la cuenca, ③promulgación de la legislación relacionada a la conservación de calidad de agua, ④actividades educativas/instructivas relacionadas al concepto de la conservación de la calidad de agua, y ⑤fortalecimiento de la administración para la conservación de la calidad de agua. El punto ② se ha mencionado bajo el titulo VII, de modo que a continuación se describirán del ③ a ⑤.

5. Promulgación de la legislación relacionada a la conservación de la calidad de agua

En el Paraguay, existen ya leyes para la conservación de medio ambiente. No obstante, no tienen eficacia suficiente por las razones siguientes: ① no está descrito claramente el responsable de controlar la calidad de agua (responsable de administración del medio ambiente de las zonas de agua públicas, responsable de controlar efluentes de fábricas y empresas) ni la jurisdicción de sus funciones: ② las normas de calidad de agua (normas de la calidad de agua de las zonas de agua públicas, y normas de la calidad de efluentes de fábricas y empresas) no están indicadas en valores significativos; ③ no están establecidos sistemas de evaluación previa (evaluación de la influencia al medio ambiente y posterior sabre eliminación) de sustancias contaminantes (urbanización, canteras, etc., ubicación de fábricas y empresas); ④ no existen disposiciones preferenciales (exención de impuestos, concesión de subsidios, etc.) eficientes para fomentar la utilización de la tierra en forma planificada y/o la instalación de equipos de tratamiento del agua. Por lo tanto, se debe complementar la legislación teniendo en cuenta los puntos arriba mencionados.

6. Actividades educativas/instructivas relacionadas al concepto de conservación de la calidad de agua

Para poder llevar a cabo en forma efectiva las medidas de conservación de calidad de agua, es una premisa que el pueblo debe comprender de que el medio ambiente en sí es un patrimonio público irreversible, un recurso común agotable, un recurso que debe cargar cada uno con el costo de su mantenimiento según su nivel de aprovechamiento, si quieren utilizarlo para siempre. Por lo tanto, es preciso comenzar cuanto antes las actividades de difusión de la idea de conservación de la calidad de agua a través de los medios de comunicación, conferencias y cursillos, educación escolar, etc.

7. Establecimiento de la organización administrativa de la cuenca

A fin de impulsar en forma segura las medidas de conservación de la calidad de agua, se requiere de una organización independiente con la capacidad de planear medidas integralmente por cada cuenca, y que tenga las atribuciones necesarias para impulsar las medidas. Sin embargo, será difícil establecer a corto plazo una organización que efectúe la administración de conservación de la calidad de agua a nivel nacional, desde el punto de vista del presupuesto, recurso humano, coordinación con las organizaciones existentes, etc.

Por lo tanto, es deseable establecer inicialmente una "Oficina de Administración de la Cuenca del Lago Ypacaraí", para planear medidas de

conservación de calidad de agua y promover proyectos sólo para la cuenca del lago Ypacaraí. Esta oficina puede ir fortaleciendo paulatinamente el personal y las funciones.

8. Beneficios socioeconómicos de las medidas de conservación de la calidad de agua

Cuando se hayan puesto en marcha las medidas de conservación de calidad de agua, se podrían esperar los siguientes beneficios socioeconómicos (incluye los efectos económicos indirectos); ① reducción del costo de tratamiento de aguas, ② reducción de los gastos médicos de los habitantes, ③ reducción de los gastos veterinarios de los animales domésticos y aumento de su valor comercial, ④ aumento del ingreso de los campesinos por aprovechamiento del agua de ríos para irrigación, ⑤ aumento del ingreso de la zona turística-recreativa, ⑥ aumento del precio de la tierra en la cuenca, ⑦ aumento de la disponibilidad de productos agrícolas, ⑧ aumento de los recursos, etc. Si se comprueba que estos beneficios superan los gastos para realizar las medidas, se obtendría la conformidad del pueblo. Esta cuantificación es una tarea futura que debe realizarse.

9. Método para implementar el plan de conservación de calidad de agua

El plan de conservación de calidad de agua debe ejecutarse de inmediato, teniendo en cuenta el orden de prioridad. Sobre la fecha de cumplimiento de la meta, sería conveniente fijarla a unos 20 años, ya que se trata de una zona cerrada. Por lo tanto, se presenta un programa anual de ejecución en la Fig. 3, suponiendo que se cumpla la meta de conservación de calidad de agua en 2011, año del bicentenario de la independencia de la República del Paraguay.

10. Recursos financieros del plan de conservación de calidad de agua

Dentro de las diferentes alternativas de conseguir fondos para realizar el plan de conservación de calidad de agua, la recaudación de impuestos es un método seguro para obtener fondos durante mucho tiempo. Este impuesto debería basarse en el principio de que el que contamina cargará su parte según el grado de contaminación (principio de carga por el que contamina), y se recaude según el volumen de descarga y/o volumen de producción.

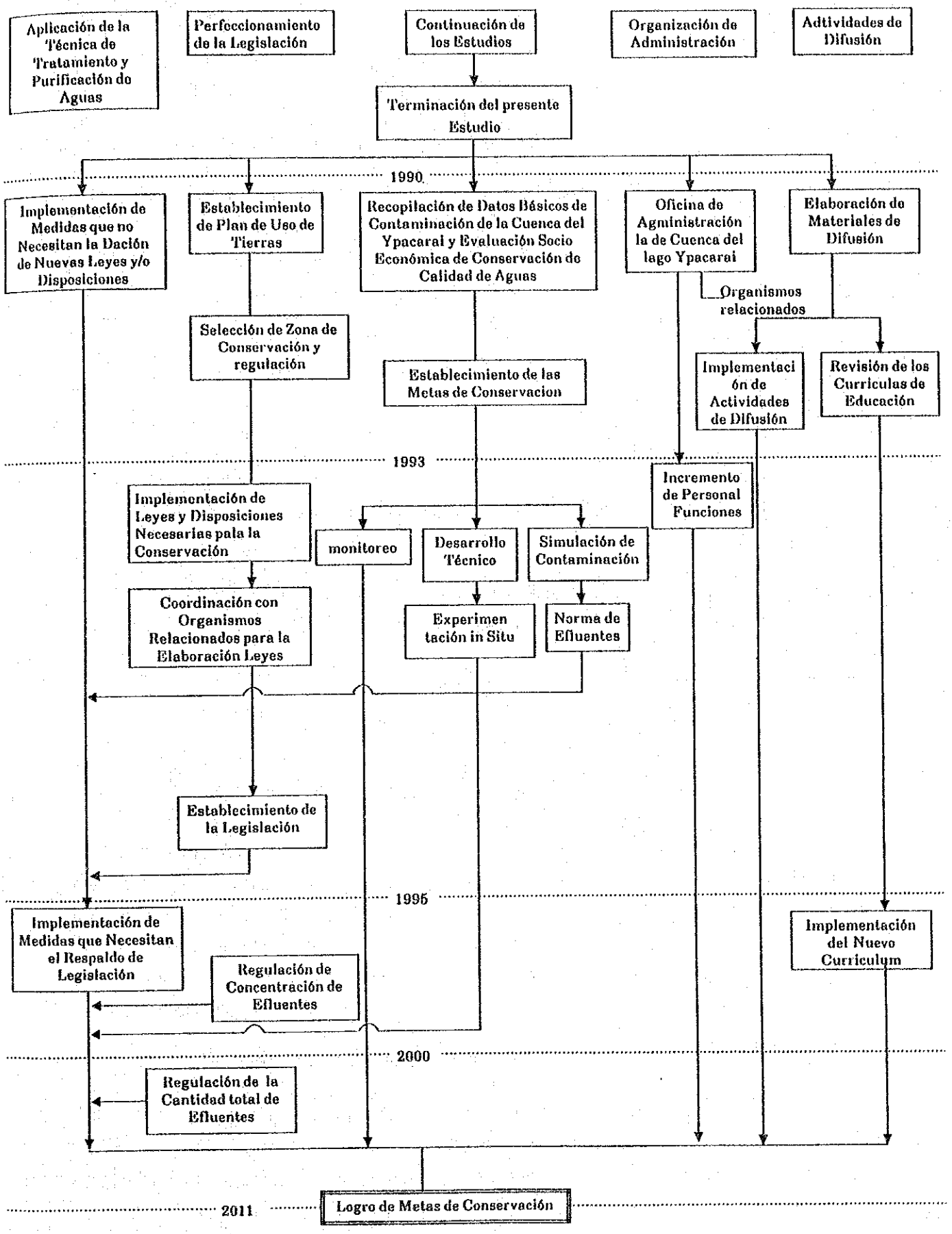


**Fig. 3 Plan Anual de Conservación de Calidad de Aguas**

## IX Recomendaciones

### 1. Estrategia para la conservación de la calidad de guas

Teniendo en cuenta los usos futuros del lago Ypacaray su cuenca, situación de contaminación de la cuenca, técnicas de mejoramiento de calidad de agua posibles de utilización, y el sistema y organización existentes en relación a la conservación de la calidad de aguas, se recomienda basar la promoción del plan de conservación de la calidad de aguas de la cuenca en los siguientes cinco puntos:

① estudios e investigaciones básicas

② aplicación de técnicas de mejoramiento de calidad de aguas, incluyendo la conservación del medio ambiente natural

③ perfeccionamiento de la legislación sobre la conservación de la calidad de aguas

④ actividades educativas/instructivas relacionadas a la idea de conservación de la calidad de aguas

⑤ fortalecimiento de la administración de la conservación de la calidad de aguas

### 2. Lineamiento básico de la estrategia

Conforme a los resultados de la simulación de contaminación, y los efectos de las medidas de conservación de calidad de agua aplicadas en otros lagos, es necesario implementar en el lago Ypacarai medidas a largo plazo. Existen métodos de mejoramiento temporal de calidad de agua del lago, pero un mejoramiento permanente puede ser logrado solamente si se toman medidas contra las fuentes de contaminación dentro de la cuenca del lago en base al plan de conservación de la calidad de aguas.

### 3. Medidas contra fuentes de contaminación industriales y turísticas

Desde el punto de vista de la proporción de la carga de efluentes, se debería dar primera prioridad al mejoramiento de las instalaciones de tratamiento de efluentes industriales. Es deseable que se instalen lagunas además de las plantas de tratamiento químico de efluentes de alta concentración descargados de las aceiteras, y que se instalen lagunas como medidas mínimas en fábricas de mediana y pequeña escala. Para aquellas industrias que, teniendo instalaciones

de tratamiento de efluentes, no las tienen en operación o que no las mantienen debidamente, los organimos administrativos deberían obligar a que estas instalaciones sean puestas en plena función.

4. Medidas contra fuentes de contaminación domésticas

Es deseable difundir el servicio de alcantarillado y de las plantas de tratamiento de desagues para combatir las fuentes domésticas de contaminación de las zonas urbanas. Sin embargo, para aquellas zonas en que no sea posible el alcantarillado, es necesario estudiar la implementación de otras medidas provisionales. Conforme a los resultados obtenidos eb los experimentos realizados, se aclaró que, pese a que la tasa de eliminación de sales nutrientes es baja, el proceso de absorción al suelo muestra gran efectividad para la eliminación de materias orgánicas. Este método es apropiado como una medida provisional en las zonas urbanas, por cuanto la probabilidad de contaminar las aguas freáticas es más baja que los tanques de infltración. Sin embargo, también es necesario estudiar la posibilidad de introducir el sistema de recolección de aguas negras por camióm aspirador en aquellas zonas en que no es posible realizar el proceso de absorción al suelo debido a las características del suelo.

5. Medidas contra fuentes no puntuales

La medida básica contra fuentes no puntuales, es planear el uso de tierras poniendo énfasis en la conservación y ampliación de áreas forestales, y previniendo el avance de urbanizaciones donde la infraestructura social es deficiente. Para aquellas zonas donde el flujo de sedimentos constituye un problema serio, es deseable realizar obras de prevención.

6. Medidas para los ríos afluentes

Como una de las medidas que impidan la entrada de las aguas de los ríos cuya carga de flujo es grande al lago, se podría construir un canal que, durante las inundaciones, conduzca directamente las aguas del arroyo Yuquyry al río Salado. No obstante, es probable que este tipo de canales deteriore el ecosistema de los humedales de aguas abajo del río Salado, por lo que se requiere de un cuidadoso estudio preliminar antes de su construcción.

7. Medidas en el lago

Como una medida de purificación directa de las aguas del lago, se podría construir una compuerta en la salida al río Salado. Probablemente se podría purificar las aguas del lago como a principios de 1988, al dejar correr el agua del lago de un sólo golpe después de haber dejado elevar artificialmente el nivel del agua cerrando dicha compuerta por un tiempo determinado. Sin embargo, al igual que la medida expuesta anteriormente, la implementación de este método deberá ser cuidadosamente estudiada teniendo los datos básicos referentes a la condición de reproducción de fitoplancton.

8. Aprovechamiento de la capacidad purificadora natural

Pese a que la explotación de la cuenca del lago ha alcanzado un nivel bastante avanzado, todavía queda abundante naturaleza en la cuenca. Por lo tanto, junto con la difusión de las medidas mencionadas y otras técnicas de mejoramiento de calidad de agua, es necesario conservar la naturaleza de la zona y hacer pleno uso de su capacidad de purificación. Desde este punto de vista, es sumamente importante conservar los humedales de las cuencas bajas de los arroyos Yuquyry y Pirayú,y conservar y ampliar las áreas forestales de las fuentes de agua y de las márgenes de los ríos.

9. Promalgación de leyes nuevas

Para promover las medidas de conservación de la calidad de aguas es recomendable promulgar leyes nuevas, de manera que abarquen los puntos siguientes:

① organismo responsable del monitoreo de la calidad de aguas y sus funciones

② normas de calidad de aguas públicas y de efluentes (domésticos, industriales, públicos, et.c) debidamente fundamentadas y cuantificados

③ sistema de evaluación previa e inspección posterior de descarga de materiales contaminantes

④ diversos mecanismos de promoción de uso planificado de tierras y de construcción de obras de tratamiento de aguas

10. Inmediato inicio de actividades educativas e instructivas

Se recomienda iniciar lo más pronto posible las tareas de difusión de ideas sobre la necesidad de conservación de calidad de aguas, a través de diversos medios, ya que es necesario obtener una suficiente comprensión de tal necesidad por parte de los diversos estratos de la población, para poder promover la ejecución del plan de conservación.

11. Establecimiento de la Oficina de Administración de la Cuenca del Lago Ypacarai

Es conveniente crear la "Oficina de Administración de la Cuenca del Lago Ypacarai" para la promoción del plan de conservación de la calidad de aguas. Esta oficina en los primeros 2 a 3 años tendrá como objetivo principal la planificación y la coordinación, e irá fortaleciendo progresivamente sus funciones y personal para que sea capaz de planificar y ejecutar planes integrales por cuenca.

12. Responsabilidades de la Oficina de Administración

Las responsabilidades de la Oficina de Administración de la Cuenca del Lago Ypacarai serán la promoción de los siguientes puntos:

① investigaciones y estudios básicos necesarios para la elaboración del plan de conservación de la calidad de aguas

② actividades educativas/instructivas relacionadas con conceptos sobre la conservación de la calidad de aguas

③ promulgación de leyes y reglamentos necesarios para la ejecución del plan de conservación de la calidad de aguas

④ ejecución de las medidas de conservación de la calidad de aguas

⑤ desarrollo de técnicas de purificación y tratamiento de aguas y su orientación

⑥ formación y capacitación de técnicos en administración de la calidad de aguas

⑦ monitoreo de la calidad de las aguas públicas y de las fuentes de contaminación

⑧ obtención del financiamiento y del personal necesarios para la implementación de los puntos anteriores citados.

# VOCABULARIO

Este vocabulario contiene una explicación simplificada de los términos especializados que se han usado en este resumen ejecutivo

# VOCABULARIO

Este vocabulario es una explicación simplificada de los términos especiales que aparecen en este informe.

Advección
Flujo horizontal de las aguas. Aparte de la advección, los materiales dentro del agua se transportan también por difusión y por precipitación.

Bacteria
Organismos unicelulares sólamente visibles por microscopio de unos cien veces de aumento. Contaminación bacteriológica significa contaminación de las aguas por bacterias causantes de epidemias de origen hídrico y cuyo índice es el número de coliformes fecales. En cambio, hay bacterias que contribuyen a la purificación de agua por su efecto de descomposición de materiales orgánicos dentro del agua.

BOD (Demanda Bioquímica de Oxigeno)
Es el índice del grado de contaminación orgánica de las aguas e indica la cantidad de materiales orgánicos degradables por microorganismos. Por lo general, al aumentar BOD, disminuye la cantidad de oxígeno disuelto e impide el crecimiento de organismos acuáticos.

CEC (Capacidad de Intercambio Catiónico)
Es el índice de la capacidad de adsorción catiónica del suelo. En aguas contaminadas, el nitrógeno inorgánico existe en forma de $NH_4^+$,$NO_2^-$ y $NO_3^-$ , pero en el suelo permanece solamente en forma de $NH_4^+$ por efecto de la capacidad de adsorsión catiónica. Por lo tanto, se puede eliminar eficazmente el nitrógeno amoniacal pasando el agua contaminada por suelo con alta capacidad de adsorsión catiónica.

Area Acuática de Tipo Cerrado
Es un cuerpo de agua con largo tiempo de retención, tales como: lagos, y embalses. En caso de que haya una abundante afluencia de sales nutrientes, se acelera la eutroficación , junto a un aumento en la producción biológica en el agua, que contribuye al incremento de la contaminación.

COD (Demanda Química de Oxígeno)
Es un índice del grado de contaminación de aguas y es un indicador de la cantidad de materiales orgánicos existentes en el agua. A diferencia de BOD, se incluyen

materiales orgánicos que requieren mucho tiempo para ser descompuestos por microorganismos, por lo que el valor de la COD es mayor que el de BOD.

Materia Orgánica Difícil de Degradarse

Materia orgánica, como el ácido húmico, que resulta difícil de ser degradada por microorganismos, o que requiere de mucho tiempo para su descomposición. Cuando abunda este tipo de materia orgánica, aunque el valor de COD sea alto, el de BOD es bajo.

Difusión

Movimientos de moléculas de gases y líquidos que tratan de igualar la densidad de los mismos en un cierto espacio cuando existe una diferencia entre ellos.

Sólidos Residuales Disueltos

Sólidos flotantes densos dentro del agua cuyo diámetro es menor de 1 μm. Junto con SS forma el Sólido Residual Total. No es posible eliminarlos con una filtración normal.

DO (Oxígenos Disueltos)

Cantidad de oxígenos disueltos en el agua. Al aumentar la cantidad de materiales orgánicos en el agua, los microorganismos acuáticos consumen estos oxígenos para descomponer materiales orgánicos, por lo tanto, disminuye la cantidad de DO. Es mejor utilizar el grado de saturación para comprender el nivel de contaminación, ya que el DO cambia con la temperatura del agua y con otros factores.

Zona Eufótica

La profundidad del agua hasta donde penetra la luz solar y en donde se encuentra una activa producción de fitoplancton. Se llama también zona de producción. Por lo general, se encuentra hasta el doble de la profundidad de la lectura del Disco de Secchi.

Lago Eutrófico

Es un lago donde se encuentra una abundante cantidad de sales nutrientes como el nitrógeno y el fósforo y en el que se observa una masiva producción de plancton, hidrófitas, bentos y peces. En especial, un lago con abundancia de sales nutrientes, es denominado como Lago Hipertrófico y un lago con poca cantidad de sales nutrientes y una débil producción es denominado como Lago Oligotrófico. En general, con el transcurso del tiempo un lago oligotrófico se convierte en

hipertrófico por el suministro de sales nutrientes de la cuenca. Este fenómeno se llama eutroficación.

Coliformes Fecales

El grupo coliforme incluye no sólamente bacterias intestinales sino también microorganismos existentes en el suelo o en la naturaleza en general. Por consiguiente, al indicar el grado de contaminación por excrementos de hombres y animales, se utiliza el número de coliformes fecales.

Sustancias Tóxicas

Las aguas que contienen estas sustancias, dañan gravemente la salud humana. Cianuro, fósforo orgánico y arsénico son sustancias de toxicidad aguda. Las sustancias de toxicidad acumulativa son cadmio, plomo y mercurio.

Tanque de Infiltración

Un tipo de tratamiento de aguas residuales en que el agua contaminada se hace infiltrar por el suelo. En la cuenca del Lago Ypacaraí, está ampliamente difundido el uso de pozos de 1-2 m de diámetro y 2-6m de profundidad para purificación de aguas residuales domésticas. En lugares donde el nivel de agua subterránea es alto, existe el peligro potencial de contaminación de agua subterránea por el agua residual contenida en estos tanques de infiltración.

IL (Pérdida por Ignición)

La diferencia entre el peso de sólidos después de evaporar el agua y los lodos del fondo entre 105 y 110°C y el peso de cenizas después de calentarlos a 600 ± 25°C durante 30 minutos. Es un índice de la cantidad de materiales orgánicos contenidos en el agua y en lodos del lecho.

Laguna

Es un depósito de aguas de poca profundidad para purificar las aguas contaminadas. Se llama también estanque de estabilización. La laguna aeróbica o el estanque de oxidación es donde se descomponen materiales orgánicos del agua por bacterias aeróbicas, mientras que la laguna anaeróbica utiliza la bacteria anaeróbica para el mismo propósito. La laguna anaeróbica es adecuada para tratar las aguas servidas de la industria alimenticia que contienen una alta concentración de BOD, tales como carne, almidón, aceites y grasas.

Contenido de Aguas Naturales

La cantidad de agua que contienen suelos y rocas en su estado natural. Se presenta este contenido por la relación entre el peso sólido y el peso líquido.

Fuentes no Puntuales

Fuentes de contaminación zonales, tales como: zonas urbanas, tierras cultivadas y pastizales. Se llaman también fuentes de contaminación no específicas.

Sales Nutrientes

Elementos inorgánicos necesarios para el crecimiento y proliferación de microorganismos. Los más importantes son compuestos de nitratos y fosfatos.

Materiales Orgánicos

Compuestos carbónicos que componen los organismos vivos tales como proteinas, grasas e hidratos de carbono.

Laguna de Oxidación

Laguna que aprovecha las actividades de bacterias aeróbicas. Tiene una profundidad aproximada de 1 m y se aceleran las actividades de microorganismos aeróbicos por oxígenos provenientes de algas proliferadas. Aunque es necesario disponer de un terreno extenso, por su fácil mantenimiento, se utiliza para la purificación de aguas servidas domésticas e industriales de baja concentración.

PAC (Coeficiente de Adsorción de Acido Fosfórico)

Indice de la capacidad de adsorción de ácido fosfórico del suelo. El fósforo produce sales que no se disuelven fácilmente en agua por ser adsorbidas por Al, Fe, Ca del suelo. El fósforo se elimina eficazmente si se hace infiltrar el agua contaminada por suelo con abundancia de estos elementos (especialmente Al activo).

Fuentes Puntuales

Fuentes de contaminación que existen en forma puntual en una cuenca, tales como; fábricas, oficinas y domicilios. Se llaman también fuentes de contaminación fijas.

Carga de Contaminantes

Cantidad de materias contaminantes contenidas en aguas residuales y que deben ser eliminadas antes de dedicar las aguas a otro uso. Los índices de calidad de agua están dados por item: BOD y COD para materia orgánica, SS para turbiedad, y N y P para sales nutrientes.

Materias Fecales

Son excrementos humanos y de animales. A diferencia de aguas servidas, contienen mayores proporciones de sustancias sólidas, por que, el método de tratamiento es diferente.

Tiempo de Retención

El tiempo promedio transcurrido desde que las aguas o los materiales entran en un cuerpo de agua hasta que efluyen de éste. Se obtiene este tiempo dividiendo la cantidad de retención por el caudal promedio de afluencia total. Se llama número de rotación la relación entre un año y el tiempo de retención.

Tiempo de Escorrentía

Es el tiempo transcurido desde que se observa el pico de la precipitación hasta que se registra el pico del caudal fluvial. Por lo general, se prolonga este tiempo si existen zonas forestales extensas en la cuenca. En cambio se acorta este tiempo si las zonas urbanizadas se encuentran ampliamente distribuídas.

SD (Lectura del Disco de Secchi)

La profundidad en que no es posible identificar la placa del color blanco denominada Disco de Secchi al sumergirla lentamente dentro del agua. Es un índice del grado de transparencia del agua.

Autopurificación

Purificación de aguas y aires contaminados por la naturaleza con la intervención de ríos, suelos, humedales y zonas forestales. Por ejemplo, los ríos purifican efluentes contaminados tanto por el efecto físico-químico de dilución y aeración como por el efecto biológico de descomposición por microorganismos.

Tanque Séptico

Es una instalación tanto para sedimentar los materiales flotantes de aguas servidas como para realizar descomposición anaérobica de los lodos sedimentados.

Tratamiento por Adsorción al Suelo

Es un método de tratamiento de aguas contaminadas por el efecto de auto-purificación por uso de suelos y es empleado para el tratamiento de aguas servidas domésticas. Hay dos métodos, uno por el riego de aguas contaminadas desde la superficie del suelo y el otro por el riego de las mismas dentro del suelo por medio de trincheras. En ambos casos no se realiza el riego directo sino se ejecutan unos

tratamientos preliminares como sedimentación, cribado y ciertos tratamientos anaeróbicos.

SS (Sólidos Suspendidos)
Son materiales flotantes existentes dentro del agua mayores de 1 µm de díametro de grano y se incluyen materiales orgánicos y no orgánicos. Es un índice que muestra el grado de turbiedad y transparencia. Los materiales menores de 1 µm de díametro son denominado materiales disueltos.

TN (Nitrógeno Total)
Total de nitrógenos inorgánicos (nitrógeno amoniacal, nitrógeno de nitrito, etc.) y nitrógenos orgánicos (proteína, urea y aminoácido, etc.).

TP (Fósforo Total)
Suma de fósforos inorgánicos (ácido fosfórico) y fosfóros orgánicos.

Aguas Servidas
Son aguas contaminadas descargadas desde la cocina, la ducha y el lavado. A diferencia de materias fecales, no contienen mucha cantidad de sólidos. En el caso de Paraguay, se estima que la cantidad de aguas servidas por persona en zonas urbanas serían del orden de 130 a 150 l por día.

Flor de agua
Un fenómeno en donde el color del agua se convierte en verde por la proliferación masiva de fitoplancton (principalmente cianófitas). Si se presenta este fenómeno, se entiende que está avanzada la eutroficación.

JICA