

**PLAN ESTRATEGICO PARA LA DETERMINACION DE LA CALIDAD DEL AGUA
DE LA CUENCA DEL RIO TINACO: CONTROL FISICOQUÍMICO Y
MICROBIOLÓGICO**

**Strategic Plan for the Water Quality Determination of Tinaco River Basin:
Physical-Chemical and Microbiological Control**

Héctor Rodríguez Márquez

Programa Ciencias del Agro y del Mar, Vicerrectorado de Infraestructura y Procesos Industriales,
Universidad Nacional Experimental de los Llanos Occidentales “Ezequiel Zamora”,
San Carlos, estado Cojedes, Venezuela.

Email: hcarbe@cantv.net

Recibido: 12-11-2005 / Aceptado: 15-04-2006

RESUMEN

Se realizó un estudio físico-químico y microbiológico del grado de contaminación presente en el río Tinaco y en sus principales tributarios a través de 6 campañas de muestreo realizadas en los años 2003 y 2004. En todos los ríos analizados se encontró contaminación con hidrocarburos, aceites y grasas, materia orgánica y coliformes totales y termotolerantes. En algunos se encontraron metales pesados y detergentes. Se midieron los caudales presentes en estos ríos y se encontró que los mínimos se presentan en el mes de marzo, por lo que se tomaron los caudales de ese mes como “Caudales de Control” para calcular las cargas máximas de algunos materiales que pueden transportar estos ríos sin que se consideren contaminantes de acuerdo a la normativa venezolana. Se calcularon y presentaron esas cargas. Se construyeron 3 modelos matemáticos de regresión (uno para cada mes), que relacionan la cantidad de materia orgánica presente en el río Tamanaco (medida como DBO) luego que recibe una alta carga contaminante (río Tinaquillo), con la distancia recorrida por el río aguas abajo. Se construyó también un modelo multivariante para los 3 meses, que considera adicionalmente el grado de contaminación inicial presente en cada río.

Palabras Clave: *Ríos, Contaminación, Calidad*

SUMMARY

A microbiological and physical-chemical study was made to account for the present degree of contamination in the main Tinaco river and its tributary ones through 6 campaigns of sampling made in the years 2003 and 2004. Contamination with hydrocarbons, oils and fats, organic matter and total and thermo tolerant coliforms was found in all the analyzed rivers, In some were found heavy metals and detergents. The great volume presents in these rivers were moderate and it was found that the minimum appears in the month of March, reason why the volumes were taken from that month like "Volumes of Control" to calculate the maximum mass loads of some materials that can transport these rivers without polluting agents according to the Venezuelan norm are considered. Those loads were calculated and presented. Three mathematical regression models were constructed (one for each month), that relates the amount of organic matter present in the Tamanaco river (measured like DBO) as soon as it receives a high polluting load (Tinaquillo river), with the whole range by the river waters down. Additionally, a multivariant model for the 3 months that considers the initial degree of contamination present in each river was also constructed.

Key words: *Rivers, Contamination, Quality*

INTRODUCCIÓN

Son muchos los autores, investigadores y líderes del mundo que últimamente han expresado su vehemente opinión acerca del grave impacto que en las diferentes formas de vida terrestre ha tenido y continuará teniendo la escasez de agua dulce (García Puertas 1991, Walles 1999, Population Reports 1998, Sandrasagra 2001).

Se conoce que de los 160 millones de kilómetros cúbicos de agua existentes en la tierra, el 98% es salada, y del restante 2%, sólo la cuarta parte resulta de fácil acceso para ser utilizada por el hombre (Chanlett 1976), encontrándose la demás atrapada en las densas capas de hielo de los círculos polares (García Puertas 1991). Mientras la cantidad de agua es una constante y no puede crecer, sí lo ha hecho la población humana que se sirve de ella, la cual hasta hace tan solo 2.000 años era el 3% de la actual y se duplicará en los próximos 90 años de acuerdo al escenario más conservador (Walles 1999). Ya en el año 1996 los humanos estaban utilizando un estimado del 54% de toda el agua dulce disponible, lo cual subirá al menos al 70% para el año 2025 si se considera solo el crecimiento de la población y no el crecimiento continuo per cápita en el consumo, que también ha venido ocurriendo en muchas regiones durante los últimos años (Population Reports 1998).

La cada vez más alta proporción de agua fresca utilizada por la especie humana preocupa, tanto por lo limitado de ésta, como por el hecho reciente de su contaminación. La cantidad de agua disponible para el hombre y el resto de los seres vivos del planeta no solo ya no es constante sino que ha venido disminuyendo como consecuencia de este fenómeno humano de historia inédita (Population Reports 1998). Se calcula que actualmente alrededor de 450 kilómetros cúbicos anuales de aguas residuales se vierten en los ríos, estuarios y lagos, las cuales deben diluirse con 6.000 kilómetros cúbicos adicionales de agua fresca a fin de hacerlas aptas para su reutilización (Population Reports 1998). Estos vertidos provienen principalmente de actividades agrícolas (agricultura y ganadería), industriales y urbanas, en ese mismo orden.

Se sabe que como consecuencia de la contaminación, muchos países poseedores en el pasado de cantidades aceptables de fuentes de agua actualmente padecen escasez del recurso o están en vías de padecerla (Population Reports 1998, Walles 1999, Sandrasagra 2001). Por ello se hace necesario en todo el mundo que cada país tome conciencia de la gravedad de estos hechos y se dedique a la realización de planes de gestión y de manejo de sus aguas tendientes a la preservación de sus usos benéficos presentes y futuros.

Venezuela, a pesar de ser un país tropical de amplia selva húmeda y por tanto rico en acuíferos dulces,

ha iniciado acciones en este sentido. A raíz de la promulgación en Venezuela de las “Normas para la Clasificación y el Control de la Calidad de los Cuerpos de Agua”, mediante el decreto Presidencial N° 883 del 11.10.95 (República de Venezuela 1995), se hizo necesario en este país la elaboración de los distintos **Planes Maestros para el Control y Manejo de Calidad de Aguas de las Cuencas**. Con estos Planes, el estado venezolano pretende darle un enfoque racional al control del impacto de los efluentes líquidos sobre la calidad de los cursos y cuerpos de agua. Hasta ahora, y a pesar de la gran cantidad de cuencas de agua dulce con las que cuenta Venezuela, sólo se ha elaborado el Plan Maestro de la Cuenca del Lago de Maracaibo, de la Cuenca del río Yaracuy, y está adelantándose el de la Cuenca del Lago de Valencia, por lo que resta realizar el trabajo para todas las otras cuencas (MARN 1997).

La escasez de recursos técnicos, humanos y económicos ha impedido que, a nueve años de la promulgación del Decreto, estas cuencas cuenten con un instrumento como un Plan Maestro o Estratégico que garantice el mantenimiento de la calidad de sus aguas para las generaciones futuras.

El estado Cojedes es uno de los más ricos de Venezuela en materia de acuíferos, cuyos ríos proveen de agua, aproximadamente, a 2 millones de personas en la región central del país, por ello parece lógico elaborar el “Plan Maestro para el Control y Manejo de la Calidad de Aguas” de la cuenca de uno de sus principales ríos, el Tinaco, por la variedad de usos que se le da a sus aguas, y por encontrarse actualmente amenazado por los vertidos que recibe de las actividades industriales que se realizan en la zona industrial del municipio Falcón, de las actividades de los núcleos urbanos de Tinaquillo, Tinaco y San Carlos y de las actividades agrícolas del sur del Estado (Desarrollos Hidráulicos Cojedes 1996). A continuación veremos cuáles son esos usos y las amenazas que se ciernen sobre las aguas del río Tinaco:

1.- En la población de Tinaco (aproximadamente 30.000 habitantes) se encuentran localizados dos balnearios recreativos de uso público dentro del río Tinaco: Uno en el sector “Las Tejas”, y otro en los alrededores del “Puente Tinaco” (Carbonell 2001).

2.- El uso más importante del agua del río Tinaco para abastecimiento de agua potable se ubica en la población de Tinaco, que recibe de la planta de potabilización alrededor de 40 litros de agua por segundo. Las pequeñas poblaciones ubicadas a lo largo de los 30 km que separan a las poblaciones de Tinaquillo y Tinaco, y a cuyo margen discurre el río Tinaco, se surten de agua potable a través de una red de pozos. Esto incluye al municipio Lima Blanco, donde el río Macapo, tributario del río Tinaco, abastece a parte de la población que lleva su nombre con sus aguas de aparentemente buena calidad, aunque de aumentar sensiblemente el número de sus habitantes actuales (aproximadamente 10.000) las diversas actividades que allí se realicen podrían cambiar esta situación.

3.- En la región suroeste de la Cuenca, existe un desarrollo agropecuario de importancia. Allí destacan las fincas que se dedican a la cría y cebo de ganado bovino. De igual manera, algunos productores se dedican a la siembra de cultivos de maíz (*zea mayz*) y sorgo (*sorghum bicolor* y *sorghum vulgare*), pero en cantidades muy por debajo a la verdadera actividad de la zona, que es la ganadería.

4.- Hacia el sur, cercano a Las Galeras del Baúl, se desarrolla una actividad eminentemente pecuaria, donde se agrupan varias fincas que se dedican a la cría y cebo de ganado bovino, las cuales utilizan las aguas del río Tinaco para una parte del brebaje de los animales y para una parte del riego de sus cultivos y

pastizales.

5.- En el municipio Falcón, en la parte norte de la cuenca, se encuentra el polígono industrial más importante del estado Cojedes, donde las principales industrias desarrollan su actividad en los sectores de alimentos, bebidas y tabaco, metal-mecánicas y en el área de los derivados del petróleo (caucho, pinturas y plástico). En el resto de la Cuenca existen algunas industrias dispersas, como mataderos de cerdos y bovinos y empresas extractoras de productos no metálicos (Desarrollos Hidráulicos Cojedes 2001a).

6.- La carencia de una planta de tratamiento para las aguas negras, hace que la ciudad de Tinaquillo descargue, en la práctica, su sistema de cloacas directamente en el río Tinaquillo (esta ciudad contiene solamente una laguna de oxidación, en la cual se digieren de manera ineficiente solo una parte de sus aguas cloacales), el cual tributa en el río Tamanaco, y éste, a su vez, lo hace en el río Tinaco (Desarrollos Hidráulicos Cojedes 2001a).

7.- De la misma forma, la población de Tinaco vierte parte de sus aguas residuales al río Tinaco (el resto es parcialmente tratada también solo a través de una laguna de oxidación). El caño La Yaguara, que es tributario del río Tinaco, recoge en su recorrido por la ciudad de San Carlos (100.000 habitantes) la descarga proveniente de las lagunas de oxidación que tratan buena parte de las aguas servidas de esa ciudad y atraviesa, antes de llegar al río Tinaco, una gran extensión de cultivos forestales y otras fincas pecuarias con cría y cebo de ganado bovino (Desarrollos Hidráulicos Cojedes 2001a).

8.- El río Tinaco recibe permanentemente elementos contaminantes desde su misma cabecera debido a las numerosas empresas dedicadas a la cría de cerdos ubicadas a todo lo largo de su cauce. Al oeste de la ciudad de Tinaquillo existen granjas ganaderas y avícolas, las cuales descargan sus desechos al río Tamanaco, que luego se trasladan al río Tinaco (Desarrollos Hidráulicos Cojedes 2001a).

9.- El matadero industrial SATCA ubicado al sur de la población de Tinaco, descarga sus aguas residuales al río Tinaco. Sin embargo se cree que una de las mayores fuentes de contaminación del río, proviene de las empresas ubicadas en la zona industrial del municipio Falcón, que descargan sus efluentes en el río Tinaquillo (Desarrollos Hidráulicos Cojedes 2001b).

Siendo esta la situación existente, nos planteamos el objetivo principal de elaborar un Plan Maestro, estratégico o de gestión, que nos permita establecer las cargas máxicas máximas de contaminantes que puede recibir cada tramo del río Tinaco en sus momentos más críticos de caudal, de manera de mantener, en todo momento, la calidad que requiere el uso que se le da al agua que transita por ese tramo y por los tramos cercanos.

De igual manera, en este trabajo, se realizó una evaluación de los principales afluentes que recibe el río Tinaco a lo largo de su recorrido, durante seis campañas de muestreo. Estas campañas comprenden los meses de marzo, abril, mayo y agosto del año 2003 y enero y febrero del año 2004. De esta manera se estableció su composición y el grado de afectación que producen en la calidad de las aguas del río receptor. Finalmente se analizó, parcialmente, la capacidad autodepuradora orgánica de uno de los ríos de la Cuenca a través del comportamiento de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5-20) a lo largo de, aproximadamente, 5 km aguas abajo de la confluencia de un río aparentemente bastante contaminado (río Tinaquillo) con un río aparentemente no tan contaminado (río Tamanaco) en tres meses distintos de la

temporada de estiaje, a saber: marzo y abril del año 2003 y febrero, del año 2004. Este análisis lo realizamos con el propósito de establecer algún tipo de modelo, o modelos de regresión que simule(n) la variación de la DBO5-20 con la distancia, aguas abajo, del punto contaminante.

2.- La Cuenca hidrográfica del río Tinaco

La cuenca del río Tinaco, está localizada entre las coordenadas 08°53'00 a 10°05'00, de latitud norte y 68°12'00 a 68°17'00, de longitud oeste, estando íntegramente ubicada dentro del estado Cojedes, en Venezuela (Desarrollos Hidráulicos Cojedes 1996).

2.1.- Geología y recursos mineros

La cuenca del río Tinaco está integrada principalmente por formaciones geológicas pertenecientes al sistema montañoso del Caribe, dividida por la falla tectónica de la Cordillera de la Costa, Cauagua - Tinaco, Paracotos, complejo volcánico de Villa de Cura, Piemontina y Volcada. También se distingue al sur de la cuenca, las galeras del Baúl. (Desarrollos Hidráulicos Cojedes 2001a).

Predominan las montañas de piedemontes, colinas altas, altiplanicies y planicies intermedias, con pendientes entre 0 y 60%. Posee una gran diversidad de tierras, según su capacidad de uso, que van desde la clase II hasta la VIII. La vegetación existente es de bosques de galería, herbazales, sabana abierta y sabana con chaparro (Desarrollos Hidráulicos Cojedes 2001a).

2.2.- Climatología y otras características de la Cuenca

La flora y la fauna que tienen su hábitat en esta cuenca son las propias del bosque seco tropical y del bosque húmedo premontano. El clima es el propio de los llanos y sabanas venezolanos, con lluvias normales entre los 1.400 y los 1.600 mm/año. En los terrenos que conforman la cuenca están localizados asentamientos urbanos de aproximadamente 200.000 habitantes, asentamientos agrícolas y pecuarios y polígonos industriales (Dirección de Planificación y Desarrollo 2004). El principal río de la cuenca, el Tinaco, hace un recorrido aproximado desde su nacimiento y hasta su desembocadura de 170 km, mostrando en su región de mayor envergadura profundidades superiores a 6 metros, anchos de más de 100 metros y caudales que sobrepasan los 100 metros cúbicos por segundo (Desarrollos Hidráulicos Cojedes 2001a).

El río Tinaco cuenta entre los integrantes de su fauna al voraz “caimán del Orinoco” (*Crocodylus intermedius*), y grandes poblaciones del temido pez “Piranha” o “Caribe” (*Pygopristis denticulatus*, *Pygocentrus caribe* y *Serrasalmus rhombeus*), así como una gran variedad de ofidios, muchos de ellos altamente ponzoñosos.

Los principales ríos de la cuenca del río Tinaco son: Tinaquillo, Tamanaco, Tinapún, Orupe y Macapo. El río Tinaco nace en la fila Naranjales, al norte de la ciudad de Tinaquillo, con el nombre de río Tamanaco. Luego, confluye con el río Tinaquillo y continúa con el nombre de río Tamanaco, para varios kilómetros, aguas abajo, encontrar en su recorrido al río Tinapún, con el que se une para finalmente recibir el nombre de río Tinaco. Desde este punto en adelante, el río Tinaco recibe una multitud de tributarios, casi todos de poco caudal, y casi todos exclusivamente en la temporada lluviosa.

Hipótesis de Trabajo

Puesto que: “La calidad del agua debería juzgarse basándose en el impacto de los contaminantes en sus

usos benéficos para el hombre y no por la concentración total de contaminantes en una muestra de agua” (Lee et al. 1982) , para elaborar un **Plan Maestro, o estratégico, para el Control y Manejo de la Calidad de las Aguas de una cuenca**, es necesario conocer qué uso humano se le está dando, o se estima se le va a dar en el tiempo previsible, al agua que transita por cada tramo de esa cuenca. En nuestro caso, se conoce perfectamente este uso (Desarrollos Hidráulicos Cojedes - CANAGRO, 1996), de manera que es posible, tomando como guía la reglamentación que emitió el Estado venezolano para tal fin a través del Decreto N° 883 (República de Venezuela 1995) establecer los límites máximos de las descargas másicas permisibles para cada elemento contaminante en cada tramo de la Cuenca. En vista que en Venezuela el caudal de los ríos es sensiblemente diferente en la temporada seca y en la lluviosa, debemos establecer esos límites máximos para la temporada seca, cuando los ríos muestran su menor caudal y por tanto son más sensibles y aceptan una menor masa de cada contaminante para mantener la calidad que de ellos se requiere.

Así, para establecer las descargas másicas permisibles para cada contaminante en cada tramo de la cuenca es necesario conocer el caudal mínimo, a lo largo del año, del río o tributario que transita por esa zona de la cuenca. Ya que estos valores solo se conocen para muy pocos puntos de la cuenca del río Tinaco (Desarrollos Hidráulicos Cojedes 2001b), debieron ser medidos para alcanzar los objetivos de esta investigación. Se sabe que en materia hidrológica, no es posible conocer el comportamiento de un río sino luego de muchísimos años de observación (Monsalve 2000, Ruiz 2001) pero, como los recursos con los que contamos, tanto de tiempo, como de financiamiento para la ejecución de este proyecto son limitados, para los propósitos que se persiguen (siendo uno de ellos el de entregar al gobierno de Venezuela un estudio técnico que le permita normar la cantidad de desechos que pueden recibir los ríos de esta cuenca, sin que se afecte su calidad), el caudal mínimo medido durante el mes más severo de estiaje de los años 2003 y 2004, nos sirvió para la realización de los cálculos que se necesitan.

Para conocer el grado de contaminación que presentan los principales ríos de la cuenca durante el tiempo de ejecución de este Proyecto, en cada oportunidad que se realizaron las mediciones de caudal, se tomaron muestras de agua en los mismos puntos, considerados críticos, tanto por su ubicación, como por las descargas que sabemos reciben (Desarrollos Hidráulicos Cojedes junio 2001a).

METODOLOGÍA

Para la realización de la toma de muestras se seleccionaron 18 puntos de muestreo, a saber:

1 Tinaquillo en el Puente	10 Tinaco en Balneario
2 Tamanaco en Hato Tamanaco	11 Orupe en Puente
3 Tinaquillo en El Remanso	12 Quebrada La Yaguara en La Culebra
4 Tamanaco en El Remanso	13 Tinaco en El Cañito
5 Quebrada La Manzanita	14 Tinaco en Tirado
6 Tinapún cerca Aguadita	15 Tinaco en El Baúl
7 Tamanaco cerca Aguadita	16 Tinaco en Arenera
8 Macapo en Puente	17 Tinaco en Sitio de Presa
9 Tinaco en El Topo	18 Laguna de Oxidación en La Culebra

Estos puntos se seleccionaron siguiendo los criterios que mundialmente se han venido utilizando para establecer los puntos de muestreo en cursos de agua y se señalan en la Figura N° 1 (Nemerow 1977, Confederación Hidrográfica del Ebro 2000, Confederación Hidrográfica del Ebro 2000).

El procedimiento establecido para la realización de la presente investigación, fue el siguiente:

1.- Se realizó una distribución espacial de las principales actividades que ocurren a lo largo de la cuenca (urbanas, industriales, agrícolas).

2.- Se dividió el río receptor en tramos y se identificaron las posibles fuentes de contaminación de la cuenca en cada tramo.

3.- Se recopiló información sobre el cuerpo de agua receptor (río Tinaco) y sus principales tributarios en diferentes puntos y en diferentes épocas del año, utilizando la información obtenida en 1 y en 2. Esto se hizo midiendo sus caudales y realizando análisis de su calidad físico-química y microbiológica.

4.- Utilizando la información contenida en las “Normas para la Clasificación y el Control de los Cuerpos de Agua y Vertidos o Efluentes Líquidos”, Decreto 883 de la Presidencia de la República de Venezuela (República de Venezuela 1995), se verificó si esta es la calidad que mostró el río Tinaco en sus diferentes tramos y en las diferentes épocas.

5.- Como esta no fue la calidad encontrada en el agua del río, se realizó un análisis de relación causa efecto.

6.- Se asignaron los límites y proporciones máximas de contaminantes o de desechos que, en lo sucesivo, podrán descargarse en cada tramo del río receptor y de algunos de sus tributarios, utilizando para ello los valores obtenidos bajo las condiciones más críticas de caudal.

Además de esto para realizar una evaluación de la capacidad de autodepuración de una parte de uno de los cuerpos de agua receptores pertenecientes a esta cuenca (el río Tamanaco) cuando recibe un vertido bastante contaminante (el río Tinaquillo), tomamos muestras de agua en seis (6) puntos distintos, en cada oportunidad, separados entre sí aproximadamente 1 Km., aguas abajo de la confluencia de los dos ríos, donde analizamos la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5-20) en cada uno de estos puntos. Esta medición la realizamos en tres oportunidades distintas de la temporada de sequía (condiciones más críticas de los ríos) y bajo relaciones de caudal entre los ríos Tamanaco y Tinaquillo, distintas (los caudales también fueron medidos en cada uno de esos tres momentos). Con esta información elaboramos algunos modelos de regresión estadísticos

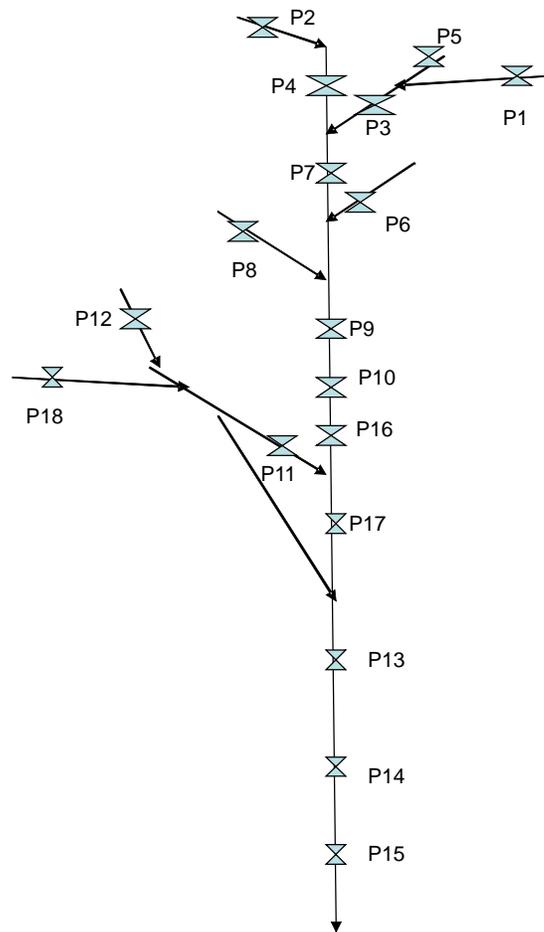


Figura 1. Diagrama de flujo donde se señala la ubicación de los puntos de muestreo en el río receptor (Río Tinaco) y en los tributarios analizados durante las seis campañas realizadas. San Carlos, Cojedes. Abril del 2004

que relacionan la distancia recorrida desde el foco contaminante y la DBO5-20, en cada momento.

Para el comportamiento del cuerpo de agua receptor durante los 3 meses en su conjunto, elaboramos otro modelo que considera también la carga másica orgánica biodegradable, medida como Población Equivalente (PE), presente en ambos ríos antes de su confluencia.

Aunque sabemos que tomar muestras en solo 6 puntos de un río, y en únicamente 3 momentos distintos (repeticiones) no es mucha información para la creación de un modelo matemático que simule el comportamiento de un medio tan complicado como ese, y aunque también sabemos la dificultad del acceso a cada uno de los 6 puntos de muestreo, realizamos este estudio, planteándolo como un paso preliminar que estimule a los organismos públicos competentes en el mantenimiento de la calidad de las aguas de los ríos en Venezuela, y se logre la asignación de los recursos económicos y humanos necesarios que permitan encarar con mayor profundidad un objetivo tan ambicioso como este.

Los parámetros físico-químicos y microbiológicos que se evaluaron en las muestras de agua para determinar su calidad, fueron los siguientes: pH, conductividad, color real, turbidez, temperatura, oxígeno disuelto, alcalinidad total, dureza total, dureza cálcica, cloruros, sulfatos, cianuros, nitratos, nitritos,

nitrógeno amoniacal, nitrógeno total, fósforo total, ortofosfatos, DBO5-20, DQO, sólidos suspendidos, sólidos totales, sólidos disueltos, aceites y grasas, hidrocarburos totales, coliformes, coliformes termotolerantes y detergentes. De igual manera se analizaron la presencia de los siguientes metales: cadmio, cobre, cromo, hierro, plomo y níquel.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos se presentarán en tres grupos: un primer grupo correspondiente a los resultados que permiten conocer el grado de contaminación presente en las aguas de la cuenca del río Tinaco; un segundo grupo que nos provee de la información necesaria para la elaboración del “Plan Maestro o Estratégico para la determinación de la calidad de las aguas de la cuenca del río Tinaco”, y un tercer grupo referido a los resultados que permitieron la construcción de sencillos modelos de regresión que estiman el comportamiento de la DBO5-20 aguas abajo de un “foco contaminante”, en uno de los ríos más importantes de la Cuenca, en tres momentos distintos.

Resultados que permiten conocer el grado de contaminación presente en las aguas de la cuenca del río Tinaco

El cuadro N° 1, a continuación, muestra la ubicación de los 18 puntos de muestreo a lo largo de la cuenca del río Tinaco, que fueron seleccionados para obtener la información necesaria para la realización de este trabajo. En el mismo se señalan las coordenadas UTM medidas con GPS en el campo y su correspondiente valor en coordenadas geográficas.

Cuadro 1. Coordenadas geográficas* y UTM (La CANOA) de los 18 puntos muestreados en la cuenca del río Tinaco durante los años 2003 y 2004.

Punto	Este	Norte	Longitud	Latitud
1 Tinaquillo en el Puente	577085	1097427	68° 17' 48.63"	9° 55' 36.93"
2 Tamanaco en Hato Tamanaco	572653	1099226	68° 20' 14.05"	9° 56' 35.80"
3 Tinaquillo en El Remanso	571684	1093641	68° 20' 46.23"	9° 53' 34.02"
4 Tamanaco en El Remanso	571325	1093670	68° 20' 58.01"	9° 53' 35.00"
5 Quebrada La Manzanita	577300	1096419	68° 17' 41.64"	9° 55' 04.10"
6 Tinapún cerca Aguadita	569213	1083408	68° 22' 08.00"	9° 48' 01.00"
7 Tamanaco cerca Aguadita	568296	1085218	68° 22' 37.99"	9° 48' 59.99"
8 Macapo en Puente	566104	1083927	68° 23' 50.02"	9° 48' 18.10"
9 Tinaco en El Topo	565935	1076614	68° 23' 55.99"	9° 44' 20.00"
10 Tinaco en Balneario	563378	1071866	68° 25' 20.18"	9° 41' 45.55"
11 Orupe en Puente	553970	1069746	68° 30' 29.00"	9° 40' 37.01"
12 Quebrada La Yaguara en La Culebra	548123	1066298	68° 33' 41.01"	9° 38' 45.00"
13 Tinaco en El Cañito	563948	1021991	68° 25' 04.21"	9° 14' 41.62"
14 Tinaco en Tirado	566829	1001745	68° 23' 30.91"	9° 03' 42.26"
15 Tinaco en El Baúl	578360	992268	68° 17' 13.82"	8° 58' 30.01"
16 Tinaco en Arenera	564116	1069001	68° 24' 56.12"	9° 40' 12.23"
17 Tinaco en Sitio de Presa	569945	1050330	68° 21' 46.00"	9° 30' 03.99"
18 Laguna de Oxidación en La Culebra	548154	1065241	68° 33' 40.04"	9° 38' 10.59"

* Las coordenadas UTM (La CANOA) se midieron con GPS TRACKER MAGELLAN.

Las coordenadas geográficas se obtuvieron por ordenador.

El Cuadro N° 2 contiene los valores resultantes de los caudales o gastos medidos (m³/s) en cada uno de los 18 puntos seleccionados, durante las 6 campañas de muestreo realizadas. Como se puede apreciar en este cuadro, los menores caudales que mostraron los ríos de la Cuenca durante el período de estudio, ocurrieron en el mes de marzo del año 2003.

En total, se realizaron 86 mediciones de caudal en la Cuenca en el transcurso de la investigación: 76 mediante el procedimiento de vadeo, 4 desde un puente ubicado sobre el río, y 6 utilizando bote.

Cuadro 2. Caudales medidos en 18 puntos de la cuenca del río Tinaco, ubicada en Cojedes, Venezuela, durante 6 meses distintos de los años 2003 y 2004 (m³/s)

Puntos	Marzo 2003	Abril 2003	Mayo 2003	Agosto 2003	Enero 2004	Febrero 2004
P1	0,0081	0,0160	0,0537	0,6498	0,1735	0,0748
P2	0,0501	0,0835	0,1010	0,8583	0,1274	0,1264
P3	0,1010	0,5259	0,9136	2,9315	0,7887	0,5637
P4	0,2173	0,3523	0,3783	2,4997	0,5778	0,4286
P5	0,0252	0,0848	0,1451	0,7725	0,1596	0,0594
P6	S	0,0541	1,5325	2,1309	0,1189	S
P7	0,3732	1,1187	1,6006	5,9532	1,6020	1,0767
P8	S	0,0407	0,7239	2,3459	0,2599	S
P9	0,4410	1,0889	7,0147	12,4620	2,1812	1,0853
P10	0,4759	1,0946	8,4672	12,6170	1,7609	1,1203
P11	S	0,0199	0,6397	2,4698	0,0559	S
P12	S	0,0109	0,0787	0,5551	0,0093	S
P13	SM	1,3044	11,9192	22,1199	1,4504	SM
P14	SM	NSPM	8,0941	109,6328	1,5307	SM
P15	SM	NSPM	16,0895	109,1361	6,0657	SM
P16	NSPM	1,2092	6,0999	NSPM	1,8140	1,2110
P17	SM	NSPM	11,9114	NSPM	1,9617	SM
P18	0,1572	0,0684	0,2365	0,1678	0,0651	0,0735

S: Seco; SM: Agua sin movimiento; NSPM: No se pudo medir caudal

Cuadro 3. Parámetros con valores obtenidos en el mes de marzo del año 2003, que indican la presencia de contaminación en algunos puntos de la cuenca del río Tinaco.

Punto	Oxígeno disuelto (mg/L)	DBO5-20 (mg O ₂ /L)	DQO (mg O ₂ /L)	Aceites y Grasas (mg/L)	Coliformes (NMP/100 ml)	Cd (mg/L)	Pb (mg/L)	Fe (mg/L)	Ni (mg/L)	Cr (mg/L)
P1	3,49	2,85	11,12	191,85	160.000	0,180	0,530	0,33	1,645	0,060
P2	3,04	11,82	22,24	11,55	50.000	0,070	0,350	0,35	1,470	0,080
P3	3,01	29,94	68,94	8,65	160.000	0,050	0,170	0,51	1,810	0,050
P4	6,78	3,79	15,57	10,76	160.000	0,020	ND	0,92	1,640	0,040
P5	2,85	13,84	40,03	3,49	160.000	0,005	ND	2,91	1,670	0,080
P7	6,99	3,19	28,91	5,00	50.000	0,0275	0,09	1,76	1,480	0,010
P9	7,90	4,83	6,67	6,92	35.000	ND	ND	0,60	0,820	0,060
P10	7,03	9,18	15,56	5,52	160.000	0,0025	ND	0,78	1,520	0,060
P18	8,76	29,48	193,48	115,30	160.000	0,010	0,01	0,61	1,510	0,060

ND: no detectable

Cuadro 4. Parámetros con valores obtenidos en el mes de abril del año 2003, que indican la presencia de contaminación en algunos puntos de la cuenca del río Tinaco.

Punto	Oxígeno disuelto (mg/L)	DBO 5-20 (mg O2/L)	DQO (mg O2/L)	Aceites y Grasas (mg/L)	Coliformes (NMP/100 ml)
P1	3,04	10,68	13,46	21,46	5.000.000
P2	3,79	8,26	38,45	17,65	700.000
P3	3,12	13,95	24,99	16,33	17.000
P4	6,87	2,42	36,53	3,29	700
P5	1,89	14,11	32,49	17,01	50.000
P6	7,90	2,70	26,52	23,91	28.000
P7	6,72	1,98	26,91	3,41	2.300
P8	7,70	0,20	6,12	20,21	2.200
P9	7,40	2,73	14,28	24,42	1.100
P10	7,18	1,39	8,16	12,82	22.000
P11	4,80	2,77	12,24	5,14	2.200
P12	0,70	2,29	15,84	6,50	1.100
P13	3,70	6,14	25,74	4,62	7.000
P14	3,90	12,59	41,58	5,34	7.000
P16	7,30	0,36	120,36	11,30	17.000
P18	16,00	132,78	69,30	19,20	1.100.000

Cuadro 5. Parámetros con valores obtenidos en el mes de mayo del año 2003, que indican la presencia de contaminación en algunos puntos de la cuenca del río Tinaco.

Punto	Oxígeno disuelto (mg/L)	DBO 5-20 (mg O2/L)	DQO (mg O2/L)	Aceites y Grasas (mg/L)	Coliformes (NMP/100 ml)
P1	2,37	4,02	31,77	10,59	17.000
P2	2,65	6,08	72,88	4,34	3.000
P3	0,82	7,05	41,11	93,69	30.000
P4	3,72	1,55	7,48	3,38	1.300
P5	1,24	16,71	65,41	9,71	13.000
P6	7,18	2,27	14,95	7,10	3.000
P7	4,05	1,49	18,69	4,95	13.000
P8	7,49	2,16	74,75	4,89	14.000
P9	7,31	3,98	121,21	2,01	2.800.000
P10	6,78	2,65	67,28	1,75	14.000
P11	3,48	12,96	108,16	1,67	1.400
P12	3,05	1,63	26,16	10,1	3.000
P13	3,49	1,91	1,87	3,28	5.000
P14	3,71	1,33	89,70	2,84	3.500.000
P15	4,68	3,12	16,82	2,87	23.000
P16	6,31	2,67	122,00	5,2	17.000
P17	6,24	2,96	3,74	12,63	2.200
P18	13,90	16,38	9,34	72,52	1.400.000

Cuadro 6. Parámetros con valores obtenidos en el mes de agosto del año 2003 que indican la presencia de contaminación en algunos puntos de la cuenca del río Tinaco.

Punto	Oxígeno disuelto (mg/L)	DBO 5-20 (mg O ₂ /L)	DQO (mg O ₂ /L)	Aceites y Grasas (mg/L)	Coliformes (NMP/100 ml)
P1	7,60	1,10	33,63	24,50	30.000
P2	6,10	1,90	131,48	34,00	1.100
P3	6,10	3,10	44,34	20,40	1.600.000
P4	7,50	1,50	32,10	45,80	3.000
P5	6,20	2,80	139,12	29,20	21.000
P6	8,10	3,02	23,52	1,15	30.000
P7	7,90	1,70	94,79	14,20	23.000
P8	8,07	1,61	3,92	11,75	5.000
P9	7,92	2,67	9,80	7,67	24.000
P10	7,50	2,76	17,64	4,40	2.600
P11	7,00	3,23	19,60	0,97	7.000
P12	6,97	1,54	5,88	10,35	40.000
P13	2,94	2,40	27,44	0,32	5.000
P14	1,70	1,07	99,59	0,69	4.000
P15	2,82	1,56	48,82	0,83	<2.000
P16	6,80	2,87	13,72	4,96	24.000
P18	11,00	10,98	98,00	20,50	500.000

Cuadro 7. Parámetros con valores obtenidos en el mes de enero del año 2004 que indican la presencia de contaminación en algunos puntos de la cuenca del río Tinaco.

Punto	Oxígeno disuelto (mg/L)	DBO 5-20 (mg O ₂ /L)	DQO (mg O ₂ /L)	Aceites y Grasas (mg/L)	Coliformes (NMP/100 ml)
P1	5,06	2,24	21,77	3,16	930.000
P2	4,14	13,08	9,52	6,57	11.000
P3	2,78	5,57	29,93	2,57	240.000
P4	6,60	1,64	40,82	3,68	2.400
P5	2,66	5,76	25,85	8,54	46.000
P6	6,80	2,04	20,41	19,72	3.300
P7	6,79	2,48	21,77	0,42	1.500
P8	7,90	2,88	45,70	1,98	400
P9	8,15	2,61	39,17	7,24	700
P10	6,90	3,06	80,51	7,15	93.000
P11	6,20	2,28	76,16	4,29	15.000
P12	7,90	2,88	45,70	1,98	400
P13	6,54	2,92	58,75	3,73	2.000
P14	4,72	2,49	43,52	3,63	1.500
P15	6,67	1,32	45,70	1,33	800
P16	6,00	3,63	32,64	3,95	46.000
P17	6,94	2,70	36,99	1,44	42.000
P18	16,57	24,03	110,98	6,83	650.000

Cuadro 8. Parámetros con valores obtenidos en el mes de febrero del año 2004 que indican la presencia de contaminación en algunos puntos de la cuenca del río Tinaco.

Punto	Oxígeno disuelto (mg/L)	DBO 5-20(mg O2/L)	DQO (mg O2/L)	Aceites y Grasas (mg/L)	Coliformes (NMP/100 ml)
P1	6,76	0,55	25,00	5,52	34.000
P2	4,15	2,88	32,69	3,16	5.000
P3	2,15	3,24	40,39	3,57	500.000
P4	7,42	0,32	30,77	3,08	140
P5	2,17	3,29	53,85	4,85	80.000
P7	7,74	0,54	25,00	2,97	3.000
P9	7,96	21,27	48,08	1,58	800
P10	7,90	2,40	34,62	1,01	5.000
P18	7,80	1,77	28,85	5,64	8.000

Resultados obtenidos que permiten la elaboración del “Plan Estratégico para la Determinación de la Calidad de las Aguas de la Cuenca del río Tinaco”

Al analizar la información sobre los caudales mínimos históricos mensuales que han sido registrados para el punto P10, observamos que es en el mes de marzo donde, en promedio, se han presentado los menores caudales de agua en ese lugar del río Tinaco.

Al comparar, a través de la curva normal, el caudal mensual de menor valor promedio histórico que durante 36 años presentó el punto P10 ($0,33 \text{ m}^3/\text{s}$), con el caudal mínimo medido por nosotros en ese punto durante las seis campañas ($0,4759 \text{ m}^3/\text{s}$), encontramos que el valor que medimos y el valor mínimo histórico promedio, no presentan diferencias significativas a un nivel de confianza del 95%.

Puesto que el punto P10 se encuentra ubicado en un lugar donde existe flujo de agua durante todo el año, consideraremos que el comportamiento histórico del caudal en ese punto debe ser similar al comportamiento histórico en el resto de los puntos de la Cuenca.

Por las razones anteriores, estableceremos como “Caudales de Diseño de Control” para servir de base para la elaboración del Plan Estratégico de Control de la Calidad de las Aguas de la Cuenca del río Tinaco, a los caudales que obtuvimos en el campo durante la campaña realizada en el mes de marzo del año 2003.

El agua que transita a través de la cuenca del río Tinaco se utiliza como agua de bebida para suplir parte de los requerimientos de los habitantes de la población de Tinaco, donde existe una planta potabilizadora que suministra 40 litros por segundo (Desarrollos Hidráulicos Cojedes 2001b), y conociendo que la toma de agua para esos fines se encuentra ubicada entre los puntos de muestreo P9 y P10, es necesario controlar los vertidos que recibe la Cuenca aguas arriba de estos puntos, de manera que el agua llegue con la calidad que se requiere al punto de la toma.

Por otra parte, aguas abajo del punto P10, al agua de esta Cuenca se le da, fundamentalmente, un uso agropecuario que incluye la siembra de pasto y algunos cereales y la cría y cebo de ganado bovino.

Siendo esta la situación de la Cuenca y con los datos de caudal medidos en el mes de marzo del año

2003, hemos elaborado el Cuadro N° 9 para mostrar el contenido máximo de los contaminantes físico-químicos y microbiológicos que pueden aceptar el río Tinaco y los tributarios considerados en este estudio de acuerdo a lo que señalan las “Normas para la Clasificación y el Control de la Calidad de los Cuerpos de Agua y Vertidos o Efluentes Líquidos” (República de Venezuela 1995) para mantener su calidad.

Debe tenerse presente que este Cuadro N° 9 contiene varios elementos y compuestos cuyo contenido no fue evaluado durante las campañas de muestreo realizadas, pero que por encontrarse limitado su contenido máximo en las aguas, por la normativa venezolana, se incluyen en el citado cuadro.

El Cuadro N° 9 toma en cuenta, también, que en el punto de muestreo P4, y entre los puntos de muestreo P7 y P10, las aguas de la Cuenca son utilizadas como balneario. Igualmente considera, que aguas abajo del punto P7, es decir entre P9 y P10, el agua se utiliza como bebida, por lo que las condiciones que se exigirán al agua del río entre estos puntos son las que priman para el agua de bebida y no para el agua de balnearios, y que más abajo aún, las aguas que provienen de las lagunas de oxidación de la ciudad de San Carlos (punto P18), deben ser consideradas como un vertido industrial.

Estas últimas aguas se incluyen a pesar de que en el mes de marzo no logran ser afluentes del río receptor, ya que por el bajo caudal de la quebrada “la Yaguara” que las recibe, y del río Orupe que a su vez recibe a ésta, aunado a que todas estas aguas deben recorrer una larga distancia para alcanzar el cauce del río Tinaco, se produce su total pérdida por evaporación y por filtraciones en el suelo.

En el Cuadro N° 10 se muestran los valores determinados por nosotros de algunos metales, aniones, cationes, sólidos disueltos y coliformes presentes en las muestras tomadas en el mes de marzo del año 2003.

En ambos cuadros, el N° 9 y el N° 10, los resultados se expresan en cargas máxicas diarias (Kg/día), por lo que se ha considerado, no solo la concentración presente del contaminante en cuestión, sino también el caudal del río que lo transporta. En el caso de los organismos coliformes, su valor se ha expresado en términos de “Población Equivalente” (PE).

Cuadro 9. Contenido máximo de varios materiales y microorganismos que pueden estar presentes en las aguas de algunos puntos ubicados en la cuenca del río Tinaco de acuerdo al Decreto N° 883 de la Presidencia de la República de Venezuela de fecha 18.12.95 (Kg/día).

Elemento	P1	P2	P3	P4	P5	P7	P9	P10	P18**
Fluoruros	1,190	7,359	14,835	31,917	3,701	54,816	64,774	69,900	67,91
Colf. Tot. *	0,035	0,216	0,436	0,537	0,189	16,11	15,051	26,563	0,6792
Aceites M.	0,210	1,299	2,618	5,632	0,653	9,673	11,431	12,335	271,66
Aluminio	0,140	0,866	1,745	3,755	0,435	6,449	7,620	8,224	67,91
Arsénico	0,035	0,216	0,436	0,939	0,109	1,612	1,905	2,056	6,79
Bario	0,700	4,329	8,726	18,775	2,177	32,244	38,102	41,118	67,91
Cadmio	0,007	0,043	0,087	0,188	0,022	0,322	0,381	0,411	2,7166
Cianuro	0,800	4,429	8,826	18,875	2,277	32,344	38,202	41,218	2,7166
Cloruros	419,90	2597,18	5235,8	11264,83	1306,37	19346,69	22861,44	24670,66	13583,0
Cobre	0,700	4,329	8,726	18,775	2,177	32,244	38,102	41,118	13,583

Continuación del cuadro 9

Elemento	P1	P2	P3	P4	P5	P7	P9	P10	P18**
Cromo	0,035	0,216	0,436	0,939	0,109	1,612	1,905	2,056	27,166
Detergentes	0,700	4,329	8,726	18,775	2,177	32,244	38,102	41,118	27,166
Dispersantes	0,700	4,329	8,726	18,775	2,177	32,244	38,102	41,118	27,166
Dureza Tot.	349,92	2164,32	4363,2	9387,36	1088,64	16122,24	19051,20	20558,88	NER
Fenoles	0,001	0,009	0,017	0,038	0,004	0,064	0,076	0,082	6,79
Hierro	0,700	4,329	8,726	18,775	2,177	32,244	38,102	41,118	135,83
Manganeso	0,070	0,433	0,873	1,877	0,218	3,224	3,810	4,112	27,166
Mercurio	0,007	0,043	0,087	0,188	0,022	0,322	0,381	0,411	0,136
Nitri.+Nitrat	6,998	43,286	87,264	187,747	21,773	322,445	381,024	411,178	135,83
Plata	0,035	0,216	0,436	0,939	0,109	1,612	1,905	2,056	1,36
Plomo	0,035	0,216	0,436	0,939	0,109	1,612	1,905	2,056	6,79
Selenio	0,007	0,043	0,087	0,188	0,022	0,322	0,381	0,411	0,679
Sodio	139,97	865,73	1745,3	3754,94	435,46	6448,90	7620,48	8223,55	NER
Zinc	3,499	21,643	43,632	93,874	10,886	161,222	190,512	205,589	67,910
Níquel	NER	NER	NER	NER	NER	NER	NER	NER	NER
Sólidos Dis.	1049,8	6492,96	13090	28162,08	3265,92	48366,72	57153,60	61676,64	NER
Sulfatos	279,94	1731,46	3490,6	7509,89	870,91	12897,79	15240,96	16447,10	11.358,3
Organocloro.	0,140	0,866	1,745	3,755	0,435	6,449	7,620	8,224	0,679
Organofos y									
Carbamatos	0,070	0,433	0,873	1,877	0,218	3,224	3,810	4,112	3,395
Boro	NER	NER	NER	NER	NER	NER	NER	NER	67,91

NER: No Está Regulado

*Los coliformes están expresados en PE (Población Equivalente)

**Las aguas presentes en el punto P18 son consideradas como un vertido industrial que se va a incorporar a un río

Cuadro 10. Contenido de algunos contaminantes presentes en las aguas de la cuenca del río Tinaco los días 24 y 25 de marzo del año 2003 (Kg/día).

Elemento	P1	P2	P3	P4	P5	P7	P9	P10	P18
Cadmio	0,1260	0,3030	0,4363	0,3754	0,0218	0,8807	ND	0,1028	0,1358
Cianuro	0,0010	0,0061	0,0052	0,0075	0,0041	0,0161	0,0229	0,1357	0,0570
Cobre	0,056	0,256	0,524	1,314	0,152	3,865	3,010	5,345	0,543
Cloruros	15,047	70,340	465,030	192,441	89,791	999,256	590,587	1562,06	726,51
Cromo	0,048	0,346	0,436	0,757	0,174	0,966	2,266	2,467	0,815
Dureza Total	88,572	720,069	1326,15	3456,23	253,63	5317,43	6356,62	7017,56	1152,2
Hierro	0,237	1,575	4,450	17,273	6,336	56,750	22,061	32,072	8,285
Níquel	1,155	6,363	15,755	30,797	3,630	47,722	31,244	62,491	20,501
Nitritos + Nitratos	0,385	15,800	0,349	0,939	0,044	103,827	91,065	34,128	9,372
Plomo	0,377	1,575	1,464	1,508	ND	2,902	ND	ND	0,136
Sólidos Disueltos	86,08	536,75	1972,17	4092,89	269,98	4127,29	4991,41	5304,19	1820,0
Sulfatos	17,28	114,02	412,93	532,83	74,77	422,08	10210,3	11763,7	3760,7
Colf. Tot*	> 5,6	10,82	> 65,81	150,2	>17,42	80,61	304,82	328,54	108,66
Aceites M.	13,48	32,85	68,85	171,41	5,07	147,36	209,94	145,56	4414,3

*Los coliformes están expresados en PE (Población Equivalente)

Resultados que permiten la construcción de algunos modelos de regresión que relacionan la variación de la DBO con la distancia recorrida, aguas abajo, de la confluencia de los ríos Tinaquillo y Tamanaco.

Para la confección de los modelos de regresión se fijaron seis nuevos puntos de muestreo. En el Cuadro N° 11 se muestran los puntos seleccionados así como sus coordenadas geográficas. El punto F0 se ubicó unos cuantos metros aguas abajo de la confluencia de los ríos Tinaquillo y Tamanaco para garantizar un buen mezclado de las aguas de ambos ríos antes de la toma de las muestras.

El Cuadro 12, contiene la verdadera distancia recorrida entre los puntos de muestreo.

El cuadro N° 13 contiene los valores obtenidos en el laboratorio para la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_{5-20}) de los 6 puntos, ubicados aguas abajo de la confluencia entre los ríos Tinaquillo y Tamanaco, en las tres ocasiones distintas en las que se efectuó su medición.

Cuadro 11. Ubicación de los puntos donde se tomaron las muestras para los análisis de DBO, expresados en coordenadas geográficas y UTM, aguas abajo, de la confluencia de los ríos Tamanaco y Tinaquillo.

Punto	Este	Norte	Longitud	Latitud
F0	571268	1093429	68° 20' 59,96"	9° 53' 27,00"
F1	571272	1092789	68° 20' 60,00"	9° 53' 06,31"
F2	571023	1092400	68° 21' 08,01"	9° 52' 53,66"
F3	571334	1091663	68° 20' 57,85"	9° 52' 29,65"
F4	570755	1091143	68° 21' 16,89"	9° 52' 12,75"
F5	570389	1090857	68° 21' 29,92"	9° 52' 03,46"

Cuadro 12. Distancia recorrida aguas abajo, entre un punto y otro, desde la confluencia de los ríos Tinaquillo y Tamanaco.

Ente los puntos	Distancia (m)	Distancia Acumulada (m)
Co* y F0	131	131
F0 y F1	741	872
F1 y F2	535	1407
F2 y F3	1157	2564
F3 y F4	884	3448
F4 y F5	1269	4717

Co: Confluencia entre los ríos Tinaquillo y Tamanaco

Cuadro 13. Resultados obtenidos en los análisis de la DBO5-20(mg/L) de las muestras de aguas recabadas en 6 puntos distintos ubicados, aguas abajo, de la confluencia de los ríos Tinaquillo y Tamanaco durante los meses de marzo y abril del año 2003 y febrero del año 2004.

Tras varias pruebas con distintos modelos de regresión estadísticos se procedió a correlacionar la DBO₅₋₂₀ medida en cada uno de los 6 puntos de muestreo, y en cada uno de los 3 momentos distintos, con la distancia recorrida por el río aguas abajo, después de haber recibido un fuerte foco contaminante.

Posteriormente se intentó incluir en esas ecuaciones la influencia que sabemos tiene el caudal de los ríos en la efectividad del ataque bacteriano aeróbico al material orgánico metabolizable. Del mismo modo se realizaron intentos con la carga orgánica metabolizable inicial, es decir, la DBO5-20 en el punto F0, puesto que suponemos que la capacidad autodepuradora de un río es una función que depende de la cantidad de contaminantes que sobre él se viertan. Ambos intentos no se pudieron llevar a término en virtud de no haber podido realizar sino 3 repeticiones para cada uno de los 6 puntos de muestreo.

Es por esto que se decidió la confección de 3 modelos de regresión estadística, uno para cada mes estudiado, que correlacionaran la DBO5-20 solo con la distancia recorrida aguas abajo desde el foco contaminante.

Modelo de regresión obtenido para el mes de marzo del año 2003

El modelo de regresión estadística que presentó una mayor correlación entre la DBO₅₋₂₀ medida en el mes de marzo del año 2003, y la distancia recorrida por las aguas del río a partir del foco contaminante, fue el modelo logarítmico siguiente:

$$DBO_{5-20} = 24,21 - 2,51 \times \ln(\text{distancia, en metros})$$

Este modelo presentó un coeficiente de correlación igual a 0,95919 y un R² ajustado igual a 0,90006.

Modelo de regresión obtenido para el mes de abril del año 2003

El modelo de regresión estadística que presentó una mayor correlación entre la DBO₅₋₂₀ medida en el mes de abril del año 2003, y la distancia recorrida por las aguas del río a partir del foco contaminante, fue el modelo potencial siguiente:

$$DBO_{5-20} = 58.026,17 \times (\text{distancia, en metros})^{-1,21}$$

Este modelo presentó un coeficiente de correlación igual a 0,90703 y un R² ajustado igual a 0,77837.

Modelo de regresión obtenido para el mes de febrero del año 2004

El modelo de regresión estadística que presentó una mayor correlación entre la DBO₅₋₂₀ medida en el mes de febrero del año 2004, y la distancia recorrida por las aguas del río a partir del foco contaminante, fue

el modelo potencial siguiente:

$$DBO_{5-20} = 40,43 \times (\text{distancia, en metros})^{-0,26}$$

Este modelo presentó un coeficiente de correlación igual a 0,94738 y un R^2 ajustado igual a 0,87190

9.3.4.- Modelo de regresión multivariante de posible aplicación para los meses de marzo y abril del año 2003, y febrero del año 2004.

Para formular un modelo de este tipo se definen, en primer lugar, los siguientes términos a incluirse en la ecuación:

- DBO_{5-20} resultante
- Distancia recorrida (aguas abajo del punto contaminante), en metros
- Relación inicial de carga másica orgánica biodegradable, medida como Población Equivalente (PE), presente en ambos ríos. Es decir: $PE_{Tinaq.} / PE_{Taman.}$

Al probar la bondad del ajuste obtenido con diferentes modelos, medida ésta en base a la obtención del error mínimo en los valores estimados para la DBO_{5-20} , obtuvimos el siguiente modelo matemático que mostró los menores errores de estimación para cada uno de los 3 meses estudiados y permitió, también, usar el mismo tipo de modelo (aunque lógicamente, con parámetros de regresión distintos) para realizar estimaciones para cada mes, por separado:

$$DBO_{5-20} = e^{a \times \log \left(b \times \text{distancia}^c + (1-b) \times \frac{PE_{Tinaquillo}}{PE_{Tamanaco}} \right)^c}$$

Donde:

Mes	$\frac{PE_{Tinaquillo}}{PE_{Tamanaco}}$	a	b	c
Marzo 2003	3,6717	136,31	- 0,34	0,0080
Abril 2003	8,6049	2,48	- 304,37	0,0040
Febrero 2004	4,636	519,38	- 0,24	0,0020
Todos		7,89	474,69	0,00037

El modelo en cuestión muestra los siguientes valores para el coeficiente de correlación R, y para la varianza de la DBO_{5-20} explicada, en cada una de sus 4 posibles aplicaciones, esto es, para realizar estimaciones con los datos del mes de marzo 2003, mes de abril 2003, mes de febrero 2004, o cualquiera de los 3 meses, siempre que se tenga el valor de $PE_{Tinaq.}/PE_{Tama.}$

Mes	R	Varianza explicada (%)
Marzo 2003	0,878	77,11
Abril 2003	0,8116	90,09
Febrero 2004	0,968	93,69
Todos	0 755	56 99

CONCLUSIONES

Las medidas de caudal realizadas en el río Tinaco (punto P-10), nos permiten afirmar que es el mes de marzo en el que, en promedio, se observan los menores caudales de agua ($0,4759 \text{ m}^3/\text{s}$), por lo que, dada la concordancia con los valores históricos ($0,33 \text{ m}^3/\text{s}$) a un nivel de confianza de 95%, tomaremos como representativos los gastos de agua en el citado mes de marzo para la elaboración del Plan Estratégico.

A tenor de los resultados de los análisis realizados, el río Tinaquillo y la quebrada “La Manzanita” son los contribuyentes del río Tinaco que mayor carga contaminante aportan, tanto en lo que respecta a DBO_{5-20} , DQO, aceites, grasas y metales pesados, como en lo atinente a microorganismos coliformes y coliformes termotolerantes.

Los niveles de cianuros encontrados, aunque bajos, concuerdan con la presencia de metales quienes, a su vez, están condicionados por los de alcalinidad, y tienen su origen en los vertidos industriales incontrolados y sin tratamiento alguno, procedentes del entorno industrial de la ciudad de Tinaquillo. Así, los ríos Tinaquillo y Tamanaco presentaron contaminación con cadmio ($0,18 \text{ mg/L}$ y $0,07 \text{ mg/L}$, respectivamente), plomo ($0,53 \text{ mg/L}$ y $0,35 \text{ mg/L}$, respectivamente) y cromo ($0,06 \text{ mg/L}$ y $0,08 \text{ mg/L}$, respectivamente). El río Tamanaco presentó, además, contaminación con hierro ($1,76 \text{ mg/L}$) y la quebrada “La Manzanita”, con hierro ($2,91 \text{ mg/L}$) y cromo ($0,08 \text{ mg/L}$). Se observaron cantidades apreciables de níquel, de hasta $1,81 \text{ mg/L}$, en los ríos Tinaquillo, Tamanaco, quebrada “La Manzanita” y río Tinaco.

Los análisis efectuados de aceites, grasas y detergentes, muestran valores muy elevados, siempre superiores a los establecidos por la norma venezolana, y son consecuencia de los vertidos incontrolados procedentes tanto de la actividad urbana, como de la presencia de mataderos que carecen de sistemas de tratamiento de aguas residuales.

Las condiciones de eutrofización que se dan en la cuenca son consecuencia de los elevados valores de DBO_{5-20} , los grandes descensos de oxígeno disuelto, originados por las altas temperaturas, y los bajos caudales de la época de estiaje que condicionan la existencia de aguas remansadas.

Desde el punto de vista microbiológico, los valores obtenidos en este estudio a lo largo de toda la cuenca (valores próximos a $5 \times 10^6 \text{ NMP}/100 \text{ ml}$ de coliformes y de $2,8 \times 10^6 \text{ NMP}/100 \text{ ml}$ de coliformes termotolerantes), aconsejan la no utilización de dichas aguas para usos recreativos o de consumo sin tratamiento previo.

Se construyeron 3 modelos de regresión aplicables a los resultados obtenidos durante los muestreos realizados en los meses de marzo y abril del año 2003 y febrero del año 2004, con la correlación mostrada por la DBO_{5-20} y la distancia recorrida, aguas abajo, por el río Tamanaco, luego de su confluencia con el río Tinaquillo en el sector “El Remanso”. Estos modelos fueron:

$$\text{DBO}_{5-20} = 24,21 + 2,51 \times \ln(\text{distancia, en metros}), \text{ para lo ocurrido en marzo de 2003. Con un } R = 0,95919,$$

y un $R^2=0,90006$.

$DBO_{5-20} = 58.026,17 \times (\text{distancia, en metros})^{-1,21}$, para lo ocurrido en abril de 2003. Con un $R = 0,90703$, y un $R^2=0,77837$.

$DBO_{5-20} = 40,43 \times (\text{distancia, en metros})^{-0,26}$, para lo ocurrido en febrero de 2004. Con un $R = 0,94738$, y un $R^2=0,87190$.

RECOMENDACIONES

Debe suspenderse, de manera inmediata, la utilización como balnearios públicos de algunos ríos de la cuenca del río Tinaco hasta tanto se les elimine la contaminación presente.

Para ello debe exigírseles a las empresas ubicadas en el polígono industrial de Tinaquillo y en el resto de las áreas de la Cuenca, cumplir con las normas que establece el Decreto Presidencial N° 883, en cuanto a la cantidad y el contenido de los vertidos que pueden realizar a un cuerpo de agua natural.

Igualmente, deberán establecerse mecanismos de gestión que permitan mejorar la eficiencia en el tratamiento de los vertidos urbanos de las ciudades de San Carlos, Tinaco y Tinaquillo, bien a través de la incorporación en serie de nuevas lagunas de oxidación, que permitan una mayor maduración de estos vertidos antes de su incorporación a los ríos, o bien con la implantación de otros sistemas de tratamiento más modernos y eficientes.

Es igualmente perentorio la implantación de un mecanismo eficiente que permita conocer, en todo momento, la carga de DBO_{5-20} , cantidad de coliformes y de algunos metales traza muy tóxicos presentes en las aguas que surten la planta de potabilización de la ciudad de Tinaco, de manera de captar aguas con la calidad establecida por la normativa venezolana, y evitar así problemas con la cloración posterior de las aguas y con los microorganismos marcadores.

Es necesaria la construcción, a la brevedad posible, de un puente sobre el río Tinaco en el sector “Las Lajitas” del “Topo”, de manera que el transporte por camiones ganaderos no se efectúe poniendo en contacto estos vehículos altamente contaminantes con las aguas del río Tinaco, como actualmente ocurre.

El Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales, debe dedicarse de inmediato a investigar, qué empresa o taller está eliminando residuos de productos cromados al río Tinaco, entre las poblaciones de “la Aguadita” y “El Topo”, de manera de obligar a esa factoría a ceñirse a lo establecido en la normativa venezolana para la eliminación de esos residuos tóxicos.

De igual manera, ese Ministerio debe dictar normas que regulen la ubicación de los depósitos de maquinarias agrícolas y combustibles en los asentamientos agropecuarios ubicados a las márgenes de ríos, quebradas y zonas inundables, de manera de minimizar el arrastre hasta los cursos fluviales de residuos de aceites y grasas minerales y detergentes.

También el Ministerio deberá vigilar estrictamente los vertidos de productos líquidos, así como la gran cantidad y variedad de residuos sólidos y otros desperdicios, que realizan al río Tinaco los establecimientos de expendios de alimentos de origen animal y vegetal y los centros de matanza de

porcinos ubicados en los márgenes del río Tinaco, entre las poblaciones de “La Aguadita” y “El Topo”.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- APHA - AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. *Standard Methods for the examination of water and wastewater*. - 17 ed. APHA. - Washington, USA. - Traducción de Ediciones Diaz de Santos, S.A., Madrid, España 1992.
- CARBONELL, R. E. “*Mapa Político Territorial. Folleto de Apoyo*”- Gobernación del Estado Cojedes, Dirección de Planificación y Desarrollo, - San Carlos, Cojedes, Venezuela julio 2001.
- CHANLETT, E.T. *La protección del medio ambiente* - Instituto de Estudios de la Administración Local - Madrid, España 1976.
- CONFEDERACION HIDROGRAFICA DEL EBRO. “*Informe Anual del Año 1999*” - Red Integrada de Calidad de las Aguas, ICA - Zaragoza, España junio 2000.
- CONFEDERACION HIDROGRAFICA DEL EBRO. “*Resultados Analíticos de Aguas Superficiales del Río Ebro años 2000-2001*”- Red Integrada de Información del Agua - Zaragoza, España 2002.
- DESARROLLOS HIDRAULICOS COJEDES. “*Informe de Avance Monitoreo de los Efluentes Industriales, Cuenca del Río Tinaco*”- DHC, - San Carlos, Cojedes, Venezuela, 2001a.
- DESARROLLOS HIDRAULICOS COJEDES. “*Monitoreo de los Efluentes Industriales de la Cuenca del Río Tinaco. Primera Etapa. Ensayos Físicos, Químicos y Microbiológicos*” - DHC, - San Carlos, Cojedes, Venezuela, 2001b.
- DESARROLLOS HIDRAULICOS COJEDES CANAGRO. “*Resumen del Diagnóstico de la Calidad de las Aguas Superficiales del Estado Cojedes 1996*”- DHC-CANAGRO - San Carlos, Cojedes, Venezuela, 1996.
- DIRECCIÓN DE PLANIFICACIÓN Y DESARROLLO. “*Inventario de Industrias del Estado Cojedes. Año 2004*”.- Gobernación del estado Cojedes, Venezuela 2004.
- GARCIA PUERTAS, P. “*Aspectos Toxicológicos de las Aguas*”- Discurso pronunciado en la Real Academia de Farmacia de España el 04/04/91. Anales de Bromatología, XLIII- 2/3, pp. 239-255 - Madrid, España 1991.
- LEE, G.F.; JONES, R.A. y NEWBRY, B.W. “*Alternative approach to assessing water quality impact of waste water effluents*”- Journal WPCF, vol. 54, N° 2, pp 165-174, USA 1982.
- MARN. “*Guía para la aplicación del Decreto 883 relativo a las Normas para la Clasificación y el Control de la Calidad de los Cuerpos de Agua y Vertidos o Efluentes Líquidos*” Dirección General Sectorial de Calidad Ambiental. Caracas, Venezuela 1997
- MONSALVE, G. “*Hidrología en la Ingeniería*”. 2º Edición. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería. Colombia 2000.
- NEMEROW, N. C. “*Aguas Residuales Industriales*” - Ed. Blume, - Madrid, España 1977.
- POPULATION REPORTS. “*Consequences of Overuse and Pollution*” and “*Solutions for a Water-Short World*”, Johns Hopkins School of Public Health - vol. XXVI, N° 1 - Baltimore, Maryland, USA 1998.
- REPUBLICA DE VENEZUELA. “*Normas para la Clasificación y el Control de la Calidad de los Cuerpos de Agua y Vertidos o Efluentes Líquidos*”- Gaceta Oficial , Decreto N° 883 de la Presidencia de la República, año CXXIII, mes III, N° 5.021 Extraordinario - Caracas, Venezuela diciembre 18 1995.
- RUIZ, J. “*Hidrología, evolución y visión sistémica: La morfometría de cuencas como aplicación*”.- Ediciones de la Universidad Ezequiel Zamora, Colección Ciencia y Tecnología. Barinas, Venezuela 2001.
- SANDRASAGRA, M. “*Polluted Water Sets Stage for Future Wars*” - Common Dreams, News Center, United Nations, USA Marzo 2001.
- VALERY, I., GARCIA, V. y FLORES, E. “*Elementos Químicos y sus recursos Minerales*”. Instituto Nacional de Geología y Minería. INGEOMINCIENCIAS I, Caracas, Venezuela junio 2002.
- WALLES, B. “*Water, The Most Precious Resource*”- <http://www.dana.edu/dwarman/lbw.htm>. 1999.