



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE INGENIERÍA

**SIMULACIÓN DE LOS CONTAMINANTES EN EL
LAGO DEL BOSQUE DE SAN JUAN DE ARAGON,
MEXICO DF.**

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO CIVIL
P R E S E N T A N:
PATRICIA IVONNE ALVAREZ YAÑEZ
Y GERARDO DURAN VALDEZ

DIRECTORA DE TESIS: DRA. GEORGINA FERNANDEZ VILLAGOMEZ

MEXICO, DF.

2005





Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA
DIRECCIÓN
FING/DCTG/SEAC/UTIT/063/05

Señores
PATRICIA IVONNE ALVAREZ YAÑEZ
GERARDO DURÁN VALDEZ
Presente

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso la profesora DRA. GEORGINA FERNÁNDEZ VILLAGÓMEZ, que aprobó esta Dirección, para que lo desarrollen ustedes como tesis de su examen profesional de INGENIERO CIVIL.

"SIMULACIÓN DE LOS CONTAMINANTES EN EL LAGO DEL BOSQUE DE SAN JUAN DE ARAGÓN MÉXICO, D.F."

- I. INTRODUCCIÓN
- II. ÁREA DE ESTUDIO
- III. METODOLOGÍA
- IV. RESULTADOS Y SU EVALUACIÓN
- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES
- REFERENCIAS
- ANEXOS

Ruego a ustedes cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el Título de ésta.

Asimismo les recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
Cd. Universitaria a 3 de noviembre del 2005.
EL DIRECTOR

M.C. GERARDO FERRANDO BRAVO
GEB/A-IP/crc.

.....

DE IVONNE Y GERARDO...

GRACIAS

A la Universidad Nacional Autónoma de México, por habernos dado la oportunidad de tener la mejor educación en Ingeniería del país y con toda seguridad los mejores recuerdos de nuestra juventud.

A todos nuestros profesores, por transmitimos sus conocimientos.

Al Doctor Felipe Vázquez Gutiérrez por su ayuda en el desarrollo de la simulación.

A todos aquellos quienes trabajan en el laboratorio de Química Ambiental del Posgrado que fueron tan amables con nosotros, en especial a la Bióloga Livia E. Sánchez Rueda quien nos enseñó tanto.

Y un agradecimiento especial a la Doctora Georgina Fernández Villagómez, que apoyó este proyecto desde el principio y nos dio su confianza y su amistad.

Al Maestro Fernando de Lorenz Santos, sin su apoyo y entusiasmo no hubiéramos logrado hacer esta tesis, Gracias por ser parte de nuestro equipo de trabajo.

A todos nuestros amigos.

Y a nuestras familias, Gracias por estar a nuestro lado.

.....

.....

DE IVONNE:

GRACIAS

Por fin comienzo a escribir la última página de esta tesis, la más difícil, los agradecimientos...

Antes que nada quiero agradecerle a Dios, que no sé cómo, ni por qué, pero él guía mis pasos.

A la Universidad Nacional Autónoma de México, por la formación y el conocimiento que me dio, desde los buenos años en la preparatoria, hasta mi estancia en la Facultad de Ingeniería, que cambió mi vida, Gracias.

A mis profesores que tanto me enseñaron y que fueron siempre, además de guías intelectuales, mis amigos.

Afortunadamente hay tantas personas en mi vida a las que agradezco estar a mí alrededor, que espero no se me olvide nadie.

A mis amigos de la prepa 8: Vane, Giovanna, Karlis, César, Dany y Lalo, gracias por su amistad; y a ti Caro, gracias por estar ahí siempre que te necesito.

A los 4 fantásticos del CELE: Ernesto (Capo di mela), Erick (Etoel), y Hector (Muratore) senza voi, mai avessi finito l'italiano... grazie per la sua amicizia.

A las mejores amigas que pude haber conocido desde la infancia: Rosario, Maria Eugenia y Margarita, todavía no me canso de ustedes,... espero tenerlas cerca toda mi vida.

A todos mis amigos ingenieros: Javhé, Julio, Leobardo, Toño, Iván, Isabel, Marcia, Ofelia, Norberto, Raúl, Nahiel, Sergio, Pepe, Dalia, Memo, Carlos, Luis Carlos, Karla, sin ustedes no hubiera acabado nunca la carrera, eran el aliciente para levantarme cada día de la cama e ir a la escuela, Gracias.

Y a Fernando de Lorenz, Georgina Fernández y Livia Sánchez los induyo en esta lista, porque más que mis profesores, son mis amigos, gracias por todo su apoyo, esta tesis no existiría sin su entusiasmo.

A la familia Reyes-Ibarra, Gracias por sus atenciones desde el día en que me conocieron, ya son parte de mi familia.

Y ahora me falta toda mi gran familia, mi motor...

A personas que están lejos, pero que han sido tan importantes... Palmira, Josefina, Pepe (donde quiera que estés, t.q.m.) y a Nuria Casajuana, mi mamá adoptiva, Gracias por ese año que pasamos juntas y por todos los que hemos pasado separadas, los quiero mucho.

.....

.....

Y a los que no están tan lejos, a toda mi familia de Acapulco, Gracias por esos días de de mi niñez en la playa, y a mi abue Amalia que es un mujerón digna de toda mi admiración.

Ahora, comenzando por la familia Carrillo-Yáñez, Gracias a todos quienes la conforman, y en especial a mi tía Lolita, a Mari y a Lolis, ustedes me ayudaron a formarme, sin ustedes no hubiera acabado ni la primaria, las quiero mucho y a toda su familia también.

A los Yáñez-Patiño, Jorge y Olga, Gracias por su cariño y por estar siempre pendientes de mi familia y de mí, saben que son igualmente correspondidos.

A los de la hermana república de Yucatán, los Durán-Yáñez, un beso. Y a mis compadres los Campos-Duran, Gracias por el amor que siempre me han demostrado.

A la familia Yáñez-Campos, Gracias por su apoyo, en especial al Ingeniero Josué y al Ingeniero Oscar que me ayudaron a pasar la carrera en limpio!!

A la familia Espíndola-Yáñez que desde mi niñez han estado tan presentes con su amor, tía Roci sabes que te dedico este logro, te quiero.

Al Ingeniero Alberto Yáñez, por ser un ejemplo para mí y ser mi adorado Betito.

A la familia Yáñez-Ortega, con quienes siempre cuento, Gracias por confiar en mí.

A mi mami Esther, la mejor abuelita que me pudo tocar, Gracias por tus consejos, eres bien chida y te quiero mucho.

A Gerardo Duran Valdez, quien trabajo tanto junto a mí para poder acabar esta tesis, Gracias por tu empeño y por la amistad que me has demostrado todos estos meses, mucha suerte.

A dos personas muy especiales para mí, mis hermanos, el Ingeniero Marco Álvarez, Gracias por ayudarme siempre que te lo pedí, por esas largas platicas que me gustan tanto, sigues siendo mi ejemplo a seguir.

Y Jordy, siempre cuento contigo y aunque eres menor que yo, siempre te das tiempo para enseñarme algo, Gracias. Los quiero mucho.

A Lenin Reyes, eres lo mejor que me ha pasado, Gracias por tu apoyo, por estar siempre a mi lado, por ser mi mejor amigo, por tu confianza, y por tu amor. Te Amo.

Y finalmente a mis padres...

A ti mamá, Patricia Yáñez, Gracias por TODO, por ser mi mejor amiga, mi cómplice y mi impulso para lograr todas mis metas, si hubiera podido elegir, te hubiera elegido a ti, eres la mejor mamá del mundo.

Y a ti papá, Ingeniero Marco A. Álvarez Solís, el mayor de mis ejemplos, y el hombre que más admiro en este mundo, Gracias por tu apoyo y por tu amor, sin ti y sin tu confianza no podría haberlo logrado.

A los dos les agradezco la vida tan feliz que me han dado, Los Amo.



.....

AGRADECIMIENTOS

A DIOS.

A mi Padre Jehová. Dios, gracias por todas las bendiciones que me has brindado, hoy tengo algo más que agradecerte, el hecho de ayudarme, orientarme y darme fuerza para realizar uno de mis más grandes sueños, el titularme como Ingeniero, muchas gracias Dios Jehová, no tengo palabras para agradecerte todo lo que has hecho por mi, Gracias Dios.

A MI FAMILIA.

A mi madre Isabel Valdez Fernández. Mami muchas gracias por todo lo que has hecho por mi, por lo grande que eres, por aguantar a este hijo que tantos corajes te ha hecho hacer, muchas gracias por ser como eres, por ese ejemplo de humildad, de fortaleza y de amor, espero el día de mañana poder compensar todos los sacrificios que has hecho por mi y mis hermanos. Gracias mamita, te quiero con toda el alma.

A mi hermano Ignacio Durán Valdez. Nachito muchas gracias por todo lo que has hecho por mi, por el ejemplo que me has dado, el enseñarme a ser hombre, y como debo enfrentar la vida. Gracias por el sacrificio que hiciste para que pudiera terminar mi carrera, me siento muy comprometido contigo y trataré el día de mañana, compensar todos tus esfuerzos, eres la persona con la que más he convivido toda mi vida y tienes un lugar muy especial en mi corazón, muchas gracias hermanito, te quiero mucho.

A mis hermanas, Elizabeth Durán Valdez, Marisela Durán Valdez y Estrella Durán Valdez. Sisters muchas gracias por ser parte de mi vida, por el apoyo que siempre me han dado, tengo mucho que agradecerles porque son un ejemplo y un estímulo para seguir superándome. Eli, eres para mi un ejemplo de madurez y serenidad; Mari, has sido un ejemplo de superación, te admiro mucho porque sé lo que te ha costado todo lo que hoy tienes; y Tella, eres una de las personas que admiro y que me ha enseñado mucho de la vida, como la lealtad a una pareja por sobre todas las cosas, el amor, el luchar por lo que queremos, el hacernos responsables de las consecuencias de nuestros actos, y porque le has dado a mi familia el regalo más grande que alguien nos pudiera haber dado, mi preciosa Itzel y el pequeño Rodo, que son una bendición para nosotros. Gracias.

.....

.....

A mi padre, Cirilo Ignacio Durán Hernández. Padre, gracias por el apoyo que me has brindado, te agradezco las lecciones que me enseñaste, y te puedo decir que mucho de lo que soy es gracias a ti. Gracias por enseñarme a trabajar con las dos manos y no con una, me has dado muchos ejemplos que me han servido para darle frente a la vida, Gracias Papá.

A MI UNIVERSIDAD

A mi querida Universidad Nacional Autónoma de México, me siento muy orgulloso de poder ser egresado de la Máxima Casa de Estudios, hoy tengo el compromiso y el gusto de poner en alto el nombre de mi Universidad y de México, te doy gracias a ti Universidad y a todos los que forman parte de esta comunidad por la oportunidad que me dieron de poder ser parte de este grandioso sueño, muchas gracias UNAM. Goya.

A MIS AMIGOS

A los Tittus, Juan Pablo Olguín Flores, Hiram Bermúdez Córdoba y Miguel Jiménez Rosas. Tittus tengo mucho que agradecerles, ustedes vinieron a ser para mi el equilibrio de mi vida, gracias por el apoyo que me dieron, por todos los momentos que vivimos juntos y que junto a ustedes he aprendido a disfrutar la vida. Gracias.

A mi compañera de tesis, Ivonne Álvarez Yáñez. Gracias por compartir conmigo uno de los momentos más importantes de mi vida, agradezco tu amistad y el apoyo que me brindaste en este proyecto. Gracias.

De todo corazón se los agradece Gerardo Durán Valdez.



CONTENIDO

| | Pág. |
|------------------------------------|------|
| LISTA DE FIGURAS. | |
| LISTA DE TABLAS. | |
| 1. INTRODUCCIÓN | 1 |
| 1.1 OBJETIVOS | 5 |
| 1.2 ALCANCES. | 6 |
| 1.3 LIMITACIONES. | 6 |
| 2. ÁREA DE ESTUDIO. | 7 |
| 2.1 LAGO | 19 |
| 3. METODOLOGÍA. | 26 |
| 3.1 TRABAJO DE CAMPO. | 27 |
| 3.2 TRABAJO DE LABORATORIO. | 32 |
| 3.3 SIMULACIÓN. | 39 |
| 4. RESULTADOS Y SU EVALUACIÓN. | 44 |
| 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES. | 72 |
| REFERENCIAS. | 76 |



SIMULACIÓN DE LOS CONTAMINANTES EN EL LAGO DEL BOSQUE DE SAN JUAN DE ARAGÓN.



LISTA DE FIGURAS.

- Figura 2.1. Ubicación del Bosque de San Juan de Aragón.
- Figura 2.2. Bosque de San Juan de Aragón.
- Figura 2.3. Áreas verdes del Bosque.
- Figura 2.4. Balneario del Bosque de Aragón.
- Figura 2.5. Centro de Convivencia infantil.
- Figura 2.6. Biblioteca.
- Figura 2.7. Pista de educación vial.
- Figura 2.8. Pista de patinaje.
- Figura 2.9. Talleres.
- Figura 2.10. Teatro Tío Gamboín.
- Figura 2.11. Acuario.
- Figura 2.12. Cabañas del BSJA.
- Figura 2.13. Tren Escénico del Bosque de Aragón.
- Figura 2.14. Espacio Escultórico.
- Figura 2.15. Lanchas del BSJA.
- Figura 2.16. Ubicación del antiguo muelle del Barco del BSJA.
- Figura 2.17. Isletas y fauna observada en el BSJA.
- Figura 2.18. Fallas y asentamientos del dique perimetral del lago del BSJA.
- Figura 2.19. Condiciones actuales de las válvulas del lago del BSJA.
- Figura 2.20. Planta de bombeo y obra de excedencias del lago del BSJA.
- Figura 2.21. Canal de recirculación y vista de la salida en el cuerpo sur.
- Figura 2.22. Vista panorámica del Lago del BSJA.
- Figura 3.1. Plano del Lago con los puntos de muestreo ubicados.
- Figura 3.2. Coloración que presenta el Lago del BSJA en diferentes puntos.
- Figura 3.3. Recolección de las muestras.
- Figura 3.4. Llenado de la hoja de registro en campo.
- Figura 3.5. Conductivímetro y Oxímetro
- Figura 3.6. Medidor de Sólidos Disueltos CORNING.
- Figura 3.7. Mediciones con el potenciómetro tipo pluma.



SIMULACIÓN DE LOS CONTAMINANTES EN EL LAGO DEL BOSQUE DE SAN JUAN DE ARAGÓN.



- Figura 3.8. Ubicación de los puntos de muestreo con el GPS
MAGALLAN.
- Figura 3.9. Determinación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno.
- Figura 3.10. Determinación de Coliformes Totales y Coliformes Fecales.
- Figura 3.11. Cápsulas de porcelana para la determinación de Sólidos
Suspendidos Totales.
- Figura 3.12. Crisoles para determinar Sólidos Filtrables.
- Figura 3.13. Preparación y Digestión de la Demanda Química de Oxígeno.
- Figura 3.14. Determinación del Nitrógeno Total.
- Figura 3.15. Turbidímetro Modelo 2100A HACH.
- Figura 3.16. Colorímetro Hellige Aqua Tester, Modelo 611-A
- Figura 3.17. Conductivímetro Conductivity Instrument 3100, YSI.
- Figura 3.18. Laboratorio de Química Ambiental y División de las
Ingenierías Civil y Geomática.
- Figura 4.1. Salinidad en cada punto de muestreo.
- Figura 4.2. Conductividad en cada punto de muestreo.
- Figura 4.3. pH en cada punto de muestreo.
- Figura 4.4. Turbiedad y color en cada punto de muestreo.
- Figura 4.5. DQO y OD en cada punto de muestreo.
- Figura 4.6. Coliformes en cada punto de muestreo.
- Figura 4.7. DBO y OD en cada punto de muestreo.
- Figura 4.8. Nitrógeno en cada punto de muestreo.
- Figura 4.9. Magnitud y dirección de los vectores velocidad.
- Figura 4.10. Transporte de partículas en la sección menor del claro
norte.
- Figura 4.11. Transporte de partículas en la sección mayor del
claro norte.
- Figura 4.12. Transporte de partículas en el claro sur.

LISTA DE TABLAS

- Tabla 4.1. Valores obtenidos en campo
- Tabla 4.2. Resumen de Resultados de Laboratorio.



SIMULACIÓN DE LOS CONTAMINANTES EN EL LAGO
DEL BOSQUE DE SAN JUAN DE ARAGÓN.



INTRODUCCIÓN.



INTRODUCCION.

Las cuencas de los lagos pueden formarse debido a procesos geológicos como son las deformaciones o fracturas de rocas estratificadas, por la formación de una represa natural en un río debida a la vegetación, deslizamiento de tierras, acumulación de hielo o la deposición de aluviones o lava volcánica (lagos de barrera). Las glaciaciones también han originado lagos, ya que los glaciares excavan amplias cuencas al pulir el lecho de roca y redistribuir los materiales arrancados (lago glaciar). Otros lagos ocupan el cráter de un volcán dormido o extinto (lago de cráter) (Delgadillo y Ramírez, 2004).

El agua de un lago proviene de la precipitación atmosférica que lo alimenta directamente, y de los manantiales, arroyos y ríos. Los lagos se forman y desaparecen en el transcurso de las edades geológicas. Pueden evaporarse cuando el clima se vuelve más árido, o rellenarse de sedimentos y dar lugar a un pantano o ciénaga. En las regiones áridas, donde las precipitaciones son insignificantes y la evaporación intensa, el nivel de agua de los lagos varía notablemente según las estaciones (Bonatura, 2004).

La composición química del agua de los lagos no sólo se debe al tipo de agua que los alimenta, sino también a los cambios de composición que ocurre durante el período de residencia del agua, tiempo en el cual se puede producir la decantación de sólidos suspendidos, la aglomeración de partículas finas de carácter orgánico e inorgánico y otros fenómenos. Debido a que los lagos suelen ser más profundos que los ríos, se hace más difícil la restitución del oxígeno disuelto desde la atmósfera (PUC. 2004).

Los contaminantes de origen antropogénico más importantes en lagos naturales y artificiales son de dos tipos: a) aguas residuales domésticas que contienen gran cantidad de materia orgánica y nutrientes que descargan directamente en estos cuerpos de agua; y b) entrada de fertilizantes, principalmente en base a N y P, provenientes de faenas agrícolas y que pasan a los cuerpos a través de escurrimientos superficiales, filtraciones subterráneas o bien, por la

erosión de los suelos. La entrada de materia orgánica a través de las aguas residuales no sólo aumenta las concentraciones existentes de dichos nutrientes, sino que también su descomposición regenera otros nutrientes con base a P y N. Este proceso de aumento desproporcionado de nutrientes se denomina **eutroficación** (PUC, 2004).

Por desgracia, hay muchos ejemplos de lagos dañados por este mecanismo. Algunos de los casos mejor documentados corresponden a Suecia (lagos Norrviken y Trummen), Europa Central (lagos de Zurich y Constanza) y Estados Unidos (lago Washington). En los casos más graves, los lagos pierden la limpidez debido a la multiplicación de algas en suspensión y el agotamiento del oxígeno de las zonas profundas, y el agua adquiere sabor y olor desagradables. Al margen del deterioro estético, se han dañado las pesquerías, han aumentado los costos de tratamiento de potabilización y se han degradado las actividades recreativas (Encarta, 2005).

En la actualidad, la superficie del ex lago de Texcoco se encuentra conformada por cinco lagos artificiales, uno de ellos el lago del Bosque de San Juan de Aragón (BSJA), que se alimentan de las lluvias (México Desconocido, 2004) y de las aguas tratadas provenientes de la planta de Tlacos (Dirección del Bosque, 2005). Con estas mismas aguas se reinyectan los mantos acuíferos que, por la sobre explotación, han venido deshidratando el subsuelo del Valle de México, de ahí la importancia de que el lago del sitio de estudio tenga las condiciones fisicoquímicas apropiadas (México Desconocido, 2004).

El lago artificial más importante en esta zona es el Nabor Carrillo, el cual mide 1000 ha, con un diámetro de 12 Km. y una capacidad de 36 millones de m³ (México Desconocido, 2004). Le sigue en extensión el Lago de Regulación horaria, con una capacidad de 4.5 millones de m³. Por otro lado, la laguna de Xalapango está destinada a acaparar el agua de lluvia que baja de la zona alta, teniendo una extensión de 240 ha y una capacidad de 3.6 millones de m³. Por su parte, el lago Churubusco cuenta con una extensión de 270 ha y es utilizado sólo como vaso de almacenamiento de las obras de toma y finalmente el



SIMULACIÓN DE LOS CONTAMINANTES EN EL LAGO DEL BOSQUE DE SAN JUAN DE ARAGÓN.



Lago del Bosque de San Juan de Aragón, tiene una extensión de 11 ha y fue diseñado como modelo de educación ambiental (México Desconocido, 2004).

El lago del Bosque de San Juan de Aragón puede ser en un futuro un ejemplo del fenómeno de eutroficación. Por esta razón la Facultad de Ingeniería a través del Departamento de Ingeniería Sanitaria y Ambiental perteneciente a la División de las Ingenierías Civil y Geomática junto con la Administración del Bosque de San Juan de Aragón llevan a cabo un diagnóstico de los contaminantes que se encuentran en este cuerpo de agua, con el fin de proponer alternativas de solución a los problemas que están impactando a dicho cuerpo.



SIMULACIÓN DE LOS CONTAMINANTES EN EL LAGO
DEL BOSQUE DE SAN JUAN DE ARAGÓN.



OBJETIVOS.



SIMULACIÓN DE LOS CONTAMINANTES EN EL LAGO DEL BOSQUE DE SAN JUAN DE ARAGÓN.



1. OBJETIVOS.

1.1. Objetivo general.

Simular la distribución de los contaminantes en el Lago del Bosque de San Juan de Aragón, utilizando un paquete de cómputo comercial y las normas NOM-001-SEMARNAT-1996 y NOM-003-SEMARNAT-1997.

1.2. Objetivos específicos.

- ✓ Realizar el muestreo en el cuerpo de agua con base a la NMX-AA-003-1980.
- ✓ Determinar los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de las muestras obtenidas, con base en la NOM-001-SEMARNAT-1996 y NOM-003-SEMARNAT-1997.
- ✓ Seleccionar el paquete de cómputo comercial más viable para la simulación de los contaminantes presentes en el lago del Bosque de San Juan de Aragón.

1.3. ALCANCES.

Se propondrán alternativas de solución para el control de la contaminación del lago del Bosque de San Juan de Aragón, considerando los resultados obtenidos en el laboratorio y en la simulación de las partículas.

1.4. LIMITANTES.

- ✓ El muestreo se realizará en época de sequía.
- ✓ Las muestras serán puntuales y superficiales.
- ✓ Los coliformes se determinarán solamente como parámetros indicativos de la contaminación.
- ✓ Los parámetros que se simularán con el modelo matemático serán Sólidos Suspendidos Totales.



SIMULACIÓN DE LOS CONTAMINANTES EN EL LAGO
DEL BOSQUE DE SAN JUAN DE ARAGÓN.



ÁREA DE ESTUDIO.



2. ÁREA DE ESTUDIO.

Antiguamente el sitio que ocupa ahora el Bosque de San Juan de Aragón (BSJA) era parte del Lago de Texcoco, el cual formaba parte de un cuerpo de agua salada, alimentado por lagos de agua dulce como el de Xochimilco y Chalco al sur, de Xaltocan y Zumpango al norte y el río Acolman, al noreste (Gobierno del Distrito Federal, 2003).

A la caída de Tenochtitlán (1521) y con la llegada de los españoles al Valle de México, dio comienzo la desecación del Lago de Texcoco, favoreciendo con ello los asentamientos y el crecimiento de la población. El origen lacustre del suelo, permitió la realización de actividades como la agricultura y la ganadería (Gobierno del Distrito Federal, 2003).

A mediados del siglo XVIII, los tlaltelolcas rentaron sus terrenos al poniente del Lago de Texcoco al Capitán Blas López de Aragón, el cual construyó la "Hacienda Santa Ana". El casco principal de la hacienda se encontraba en el actual cruce de la calzada de Guadalupe y Nezahualcóyotl; ésta tenía una producción de tipo mixto (maíz, trigo y arvejon) además de la práctica de la ganadería (Gobierno del Distrito Federal, 2003).

A la muerte de López de Aragón, se sustituyó el nombre de la hacienda por el de "Hacienda de Aragón". Cerca del 1800, las rancherías crearon un pequeño pueblo cuyas actividades giraban en torno a la Hacienda. En 1857 el Presidente Ignacio Comonfort promulgó el decreto por el cual se fundó el pueblo llamado San Juan de Aragón. Sin embargo al estallido de la Revolución Mexicana, la Hacienda fue fraccionada y al fin de la revolución (1917), se realizó la distribución de tierras a los campesinos, tomando un carácter ejidal (Gobierno del Distrito Federal, 2003).

El BSJA se localiza en la zona que antiguamente era el potrero de la Hacienda de Aragón. El lugar era una zona de terrenos baldíos, con tipo de suelo salitroso, que desfavorecía el crecimiento de abundante vegetación y que impidió que fuera una zona de cultivo intenso (Gobierno del Distrito Federal, 2003).

Durante el sexenio de Lázaro Cárdenas (1934-1940), se decidió crear un campamento de reforestación en la zona desecada del lago (que ya había agotado su reserva salina) para evitar tolvaneras que afectaran a la población aledaña, además de brindarles un espacio en el que pudieran recrearse (Gobierno del Distrito Federal, 2003).

Debido al crecimiento demográfico en la zona noreste de la Ciudad de México la Regencia del Distrito Federal, encabezada por Uruchurtu, se vio obligada a proveer vivienda a la población que lo necesitaba, y a reubicar los asentamientos irregulares de la Sierra de Guadalupe mediante un proyecto que incluyó la construcción de unidades habitacionales, un bosque y un lago (Gobierno del Distrito Federal, 2003).

Las primeras unidades habitacionales recibieron el nombre de Campamento José L. Fabela en reconocimiento al arduo trabajo del ingeniero por reforestar e inducir la aparición del Bosque. Es interesante destacar que la idea original no fue propiamente la de crear un Bosque sino que las unidades habitacionales que se iban a instalar en esa zona contasen con un parque recreativo (Gobierno del Distrito Federal, 2003).

El 22 de febrero de 1962 se publicó en el Diario Oficial de la Federación el decreto por el cual se expropiaron 885.39 ha al ejido de San Juan de Aragón a favor del Departamento del Distrito Federal, mismas que se destinaron a la construcción de aproximadamente 9,937 viviendas económicas en siete unidades habitacionales, así como un campo deportivo, conformado por áreas verdes, lagos artificiales y un zoológico que abastecieran de zonas de esparcimiento a las colonias ya establecidas y a los habitantes de las futuras Unidades Habitacionales (Gobierno del Distrito Federal, 2003).

Posteriormente, el Presidente de la República Lic. Adolfo López Mateos inauguró el 20 de noviembre de 1964 el Bosque de San Juan de Aragón como un "pulmón" y zona recreativa orientada a la población de bajos recursos de las zonas aledañas (Gobierno del Distrito Federal, 2003).



SIMULACIÓN DE LOS CONTAMINANTES EN EL LAGO DEL BOSQUE DE SAN JUAN DE ARAGÓN.

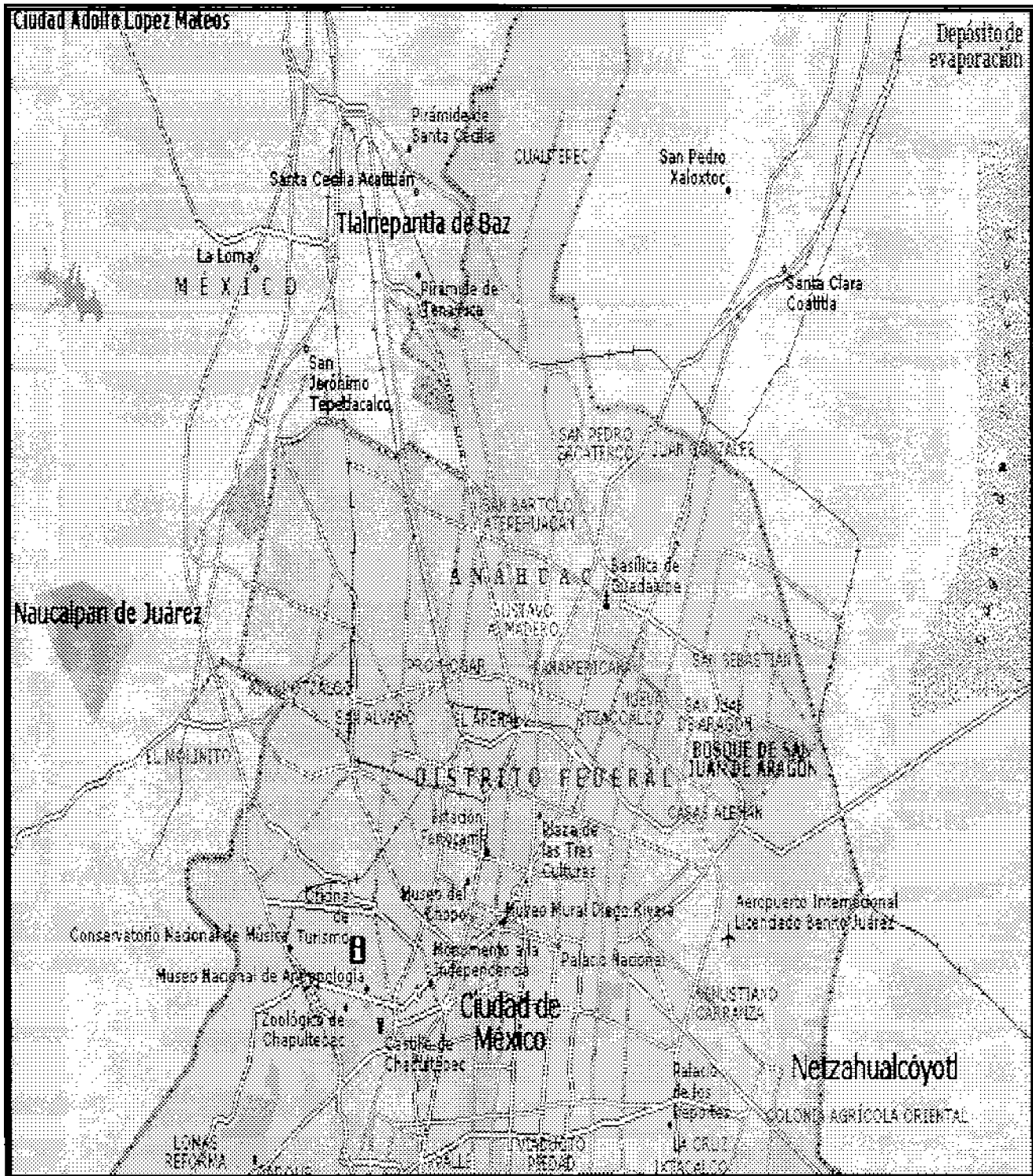


Figura 2.1. Ubicación del Bosque de San Juan de Aragón (Encarta, 2005).

ÁREA DE ESTUDIO.

El Bosque de San Juan de Aragón actualmente cuenta con una extensión territorial de 162.028 ha y está situado al norte del Distrito Federal a una altitud promedio de 2240 msnm (Secretaría del Medio Ambiente, 2003).

El Bosque se ubica dentro de la Delegación Política Gustavo A. Madero; limitado por las siguientes vialidades: al norte por las Av. 412 y Av. 510, al poniente por las Av. José Loreto Fabela y Av. 508, al sur-oriente por la Av. 608. Existen tres estaciones del Sistema de Transporte Colectivo Metro que permiten acceder al Bosque, las cuales son: Deportivo Oceanía, Bosque de Aragón y Villa de Aragón en la Línea B. En auto se puede llegar desde el sur, por Circuito Interior y Av. Oceanía, por el oriente Vía Tapo, al nororiente por Av. Hank González (Av. Central) y por el poniente Av. 510 y Av. 508 (Secretaría del Medio Ambiente, 2003).

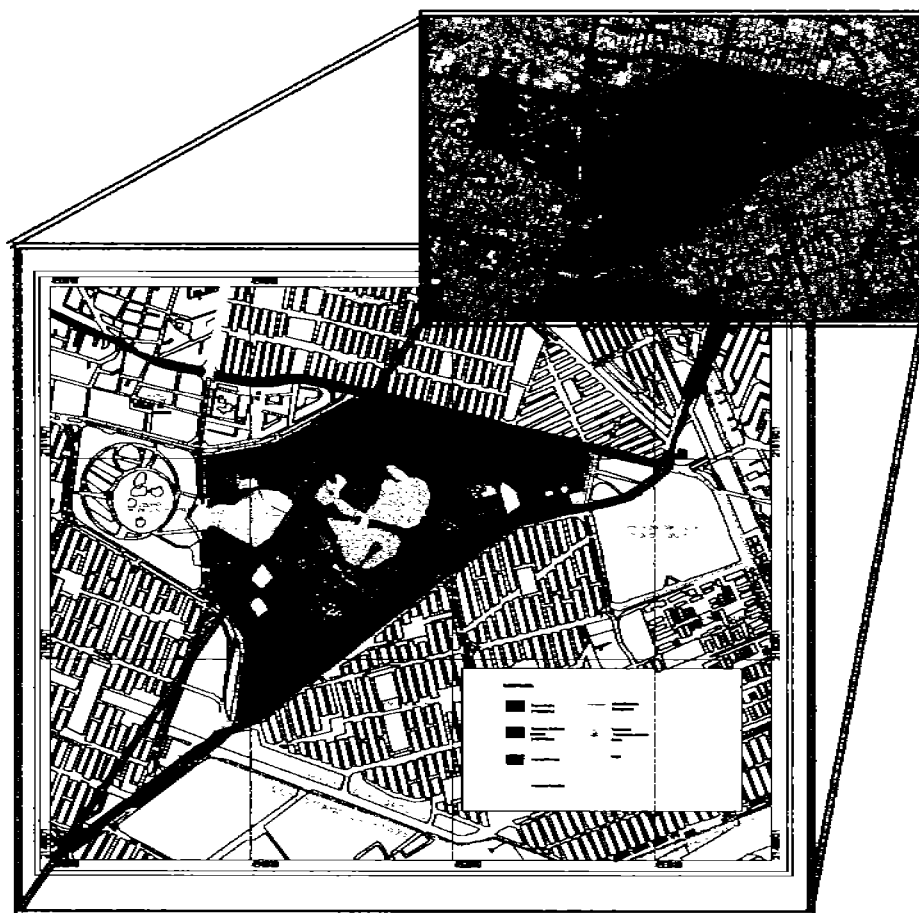


Figura 2.2. Bosque de San Juan de Aragón.



SIMULACIÓN DE LOS CONTAMINANTES EN EL LAGO DEL BOSQUE DE SAN JUAN DE ARAGÓN.



El Bosque cuenta con las siguientes instalaciones (Gobierno del Distrito Federal, 2003):

Áreas Verdes.

El Bosque se ha preocupado por mantener una superficie importante de áreas verdes, la cual es de 1'149,460.00 m², siendo el 70.94% de la superficie total del bosque, donde se tienen 28 especies diferentes de árboles, arbustos y plantas de ornato aunque prevalecen los eucaliptos. En el Bosque se reciben alrededor de 250 000 visitantes mensuales.



Figura 2.3. Áreas verdes del Bosque (Secretaría del Medio Ambiente, 2003).

Balneario Popular.

Cuenta con una extensión de 56,766 m², brindando a la población la posibilidad de disfrutar de instalaciones acuáticas sin tener que salir de la ciudad, se cuenta con alberca, chapoteadero, canchas de básquetbol, frontón, voleibol, tenis, fútbol rápido, vestidores y área de acampado.



Figura 2.4. Balneario del Bosque de Aragón (Secretaría del Medio Ambiente, 2003).

Centro de Convivencia Infantil.

El centro cuenta con nueve áreas donde se realizan actividades educativas con el propósito de fomentar el desarrollo integral de los niños, reforzando los conocimientos adquiridos; con este fin se han implementado actividades manuales, físicas, artísticas y ecológicas que además cumplen con un papel recreativo fundamental para su desarrollo.



Figura 2.5. Centro de Convivencia infantil.



SIMULACIÓN DE LOS CONTAMINANTES EN EL LAGO DEL BOSQUE DE SAN JUAN DE ARAGÓN.



Biblioteca.

Se imparte el túnel del cuento, taller de papiroflexia, asesoría en tareas hasta nivel secundaria y manualidades en plastilina y papel mache.



Figura 2.6. Biblioteca.

Pista de Educación Vial.

En el área se cuenta con 70 triciclos y 68 bicicletas, funciona con el apoyo de la Secretaria de Seguridad Pública, impartiendo pláticas sobre como conducirse con seguridad en la vía publica, enseñándole a los niños a respetar los señalamientos de transito recorriendo la pista de educación vial en triciclo o bicicleta.



Figura 2.7. Pista de educación vial.

Pista de Patinaje.

Se han rehabilitado 40 pares de patines que se prestan a niños que no rebasen 1.20 m de estatura presentando una identificación oficial de sus padres.



Figura 2.8. Pista de patinaje.

Taller de Pintura.

Conjuntamente con personal del programa Radar se imparten pláticas sobre educación vial y posteriormente se realizan dibujos referentes al tema.

Taller de Educación Ambiental.

Se ofrecen pláticas sobre temas ecológicos, trabajos manuales con material de desecho, utilizando principalmente vidrio, aluminio, papel y plástico, entre otros.



Figura 2.9. Talleres.

Teatro Tío Gamboín.

Teatro al aire libre con capacidad para 1,500 personas, Sala de Proyecciones y Auditorio cerrado con aforo de 189 personas.



Figura 2.10. Teatro Tío Gamboín.



SIMULACIÓN DE LOS CONTAMINANTES EN EL LAGO DEL BOSQUE DE SAN JUAN DE ARAGÓN.



Acuario.

En el se ofrecen espectáculos con delfines, leones marinos y aves, además del acuario. Abierto de miércoles a domingo, de 10:00 a 17:30 horas.



Figura 2.11. Acuario.

Cabañas.

Se cuenta con un total de 26 cabañas en el interior del Bosque y Centro de Convivencia Infantil, mismas que se rentan para realizar fiestas y reuniones.



**Figura 2.12. Cabañas del
BSJA (Secretaría del Medio
Ambiente, 2003).**

Ciclopista.

Existe un circuito de aproximadamente 5,000 m, en el cual se realizan actividades tanto de ciclismo como de atletismo.

Estancia Infantil.

Se realizan actividades manuales, para reforzar el desarrollo motriz fino, capacidad de concentración y adaptación de los niños.

Tren Escénico.

El BSJA cuenta con un sólo tren, con un recorrido de 3,500 m. alrededor del lago y sobre vías férreas. Tiene una capacidad aproximada para 50 personas y un lugar para silla de ruedas. El servicio es de martes a domingo, de 10:00 a 18:00 horas y tiene una duración de 13 minutos.



Figura 2.13. Tren Escénico del Bosque de Aragón (Secretaría del Medio Ambiente, 2003).



SIMULACIÓN DE LOS CONTAMINANTES EN EL LAGO DEL BOSQUE DE SAN JUAN DE ARAGÓN.



Espacio Escultórico.

Exposición permanente "Columnas" espacio integrado por 33 esculturas de 18 destacados artistas: Manuel Felguérez, Vicente Rojo, José Luis Cuevas, Roger Gunten, Brian Nissen, Ricardo Regazzoni, Lidia Azout, Fernando González, Irma Palacios, Jesús Mayagoitia, Paul Nevin, Gustavo Pérez, Marina Láscaris, Alberto Castro, Gabriel Macotela, Miguel Ángel Alamilla y Tatiana Montoya. Este espacio se ubica frente al embarcadero del lago, entre la puerta 3 y 4 del Bosque.



Figura 2.14. Espacio Escultórico.

2.1. LAGO.

Desde el punto de vista ambiental, el Bosque de San Juan de Aragón es el tercero en tamaño en la Ciudad de México, después del Desierto de los Leones y del Bosque de Chapultepec, con una extensión de 162.028ha (García-Maya, 1998).

En lo que respecta al Lago, su importancia radica en que se encuentra entre los de mayores dimensiones de los existentes en el D.F. con aproximadamente 11 ha. Fue creado con fines recreativos, para ello se instaló un embarcadero con 315 lanchas (Figura 2.15), el cual aun está en funcionamiento, y otro para un barco, que actualmente ya no existen (Figura 2.16).



Figura 2.15. Lanchas del BSJA.

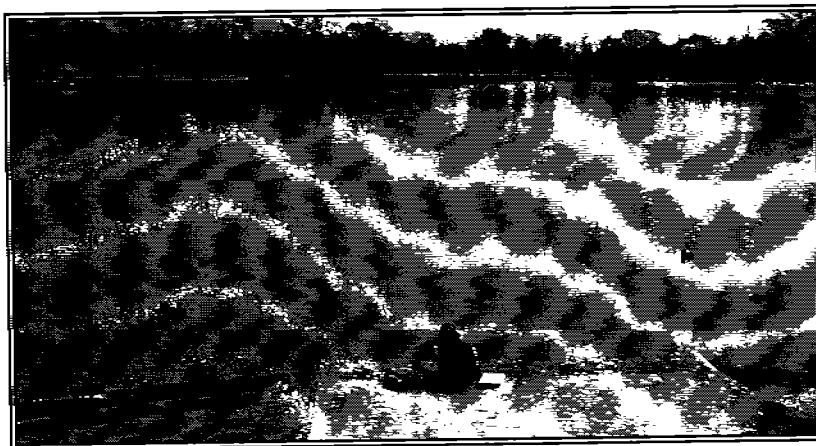


Figura 2.16. Ubicación del antiguo muelle del Barco del BSJA.



SIMULACIÓN DE LOS CONTAMINANTES EN EL LAGO DEL BOSQUE DE SAN JUAN DE ARAGÓN.



El Lago también cuenta con cuatro isletas que son refugio de aves residentes y migratorias, lo que lo hace un lugar de gran atractivo para la observación de aves, principalmente en el periodo de noviembre a marzo; se pueden observar patos, gansos, garzas, además de algunos peces, salamandras y charales (Figura 2.17).

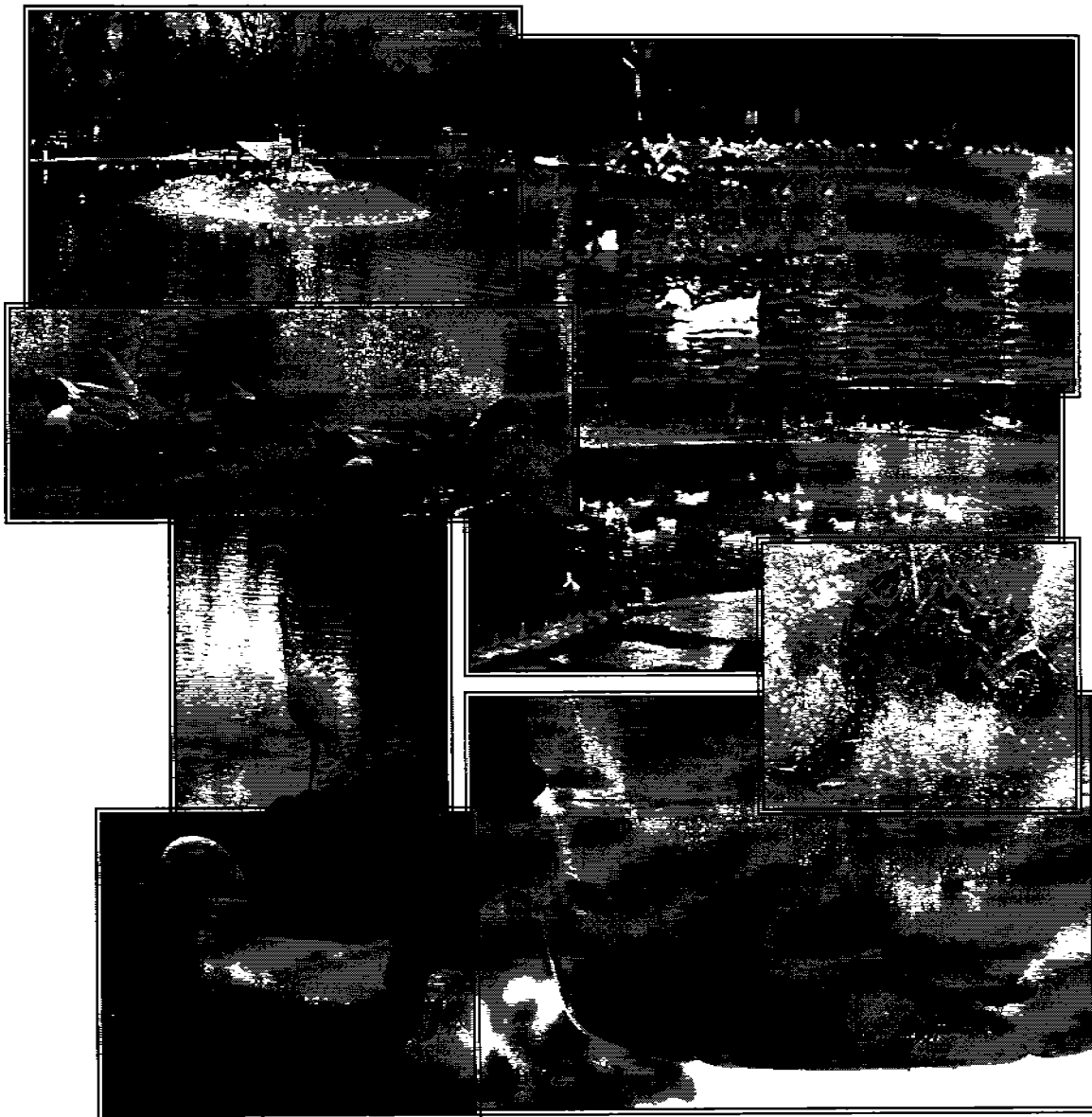


Figura 2.17. Isletas y fauna observada en el BSJA.

ÁREA DE ESTUDIO.

El Lago se construyó a desnivel, con taludes revestidos de mampostería, un dique paralelo a dicho talud y fondo sin recubrimiento, su llenado se hace con agua residual tratada proveniente de la Planta de Tratamiento Tlacos.

Se estima que su profundidad promedio es de 0.83 m, con un mínimo de 0.50 m y máxima de 1.45 m (García Maya, 1998).

Debido al paso del tiempo y a la falta de mantenimiento, el lago ha sufrido muchos daños, como azolvamiento el cual reduce su capacidad y modifica su régimen hidrodinámico.

Todo esto, ha influido en el deterioro paulatino del Bosque en general desde un punto de vista ambiental y estético, especialmente en el lago que es el principal atractivo y por ende la mayor fuente de ingresos. Así mismo el hecho de haberlo vaciado en dos ocasiones (la primera hace 34 años y la segunda en octubre de 1993), en lugar de beneficios trajo consigo otros problemas, como asentamientos diferenciales y falla de taludes (Figura 2.18).

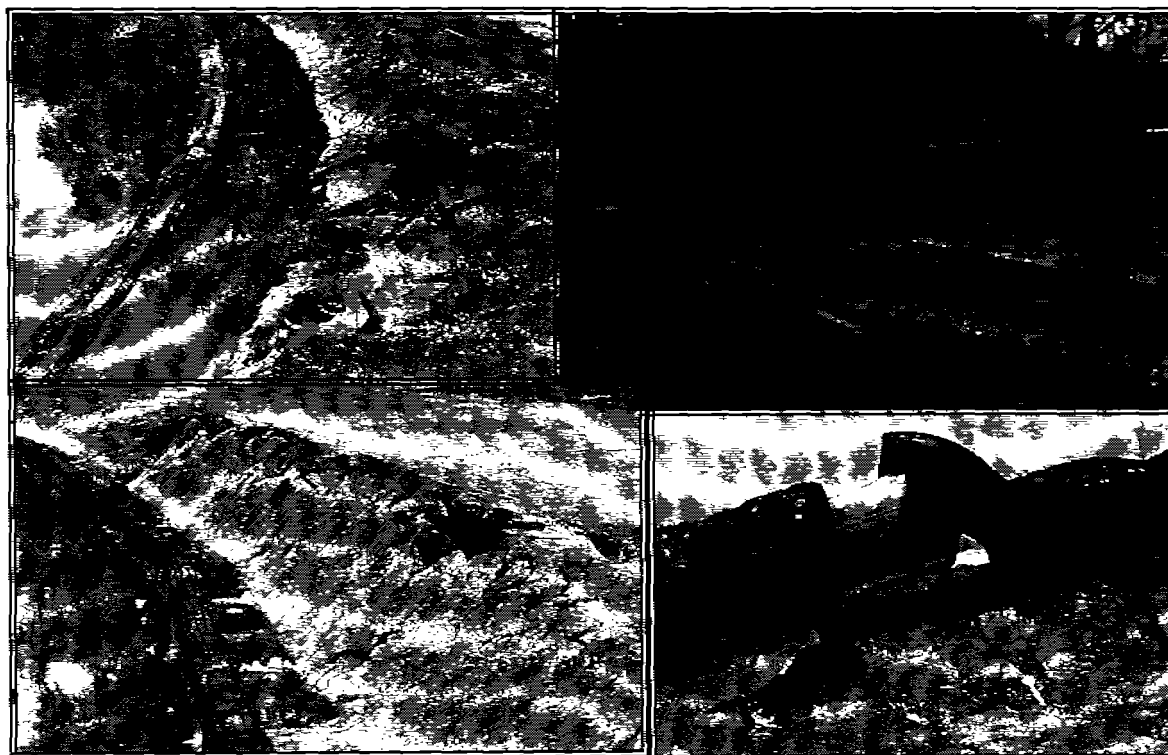


Figura 2.18. Fallas y asentamientos en el dique perimetral del lago del BSJA.



SIMULACIÓN DE LOS CONTAMINANTES EN EL LAGO DEL BOSQUE DE SAN JUAN DE ARAGÓN.



Este lago artificial está conformado por dos grandes claros unidos por un angosto canal, sobre el cual se levantan dos puentes.

En el claro mayor o claro norte del lago, cerca del embarcadero se encuentra el influente, y se comunica hacia el sur por un largo canal al claro menor o claro sur, donde está el efluente.

El efluente consiste en una planta de bombeo operada por la Comisión Nacional del Agua (CNA) y una obra de excedencias superficial que descarga a un pozo de visita del sistema de alcantarillado de la Ciudad de México (Figura 2.20.). Además se cuenta con 4 válvulas cercanas a la planta de bombeo (Figura 2.19), que deberían de funcionar como obras de excedencia por gravedad, sin embargo ninguna de ellas está funcionando pues según se observa no fueron correctamente ubicadas y además están azolvadas y llenas de basura.



**Figura 2.19. Condiciones actuales de las válvulas
del lago del BSJA.**



Figura 2.20. Planta de bombeo y obra de excedencias del lago del BSJA.

Existen dos canales relativamente pequeños, que comunican los dos claros del cuerpo y que deberían servir para la recirculación del agua; uno de ellos no se observa correctamente y el otro se encuentra lleno de basura y totalmente parado, incluso en el claro sur justo a la salida de esta conexión se encuentra una de las zonas muertas del lago (Figura 2.21).



SIMULACIÓN DE LOS CONTAMINANTES EN EL LAGO DEL BOSQUE DE SAN JUAN DE ARAGÓN.

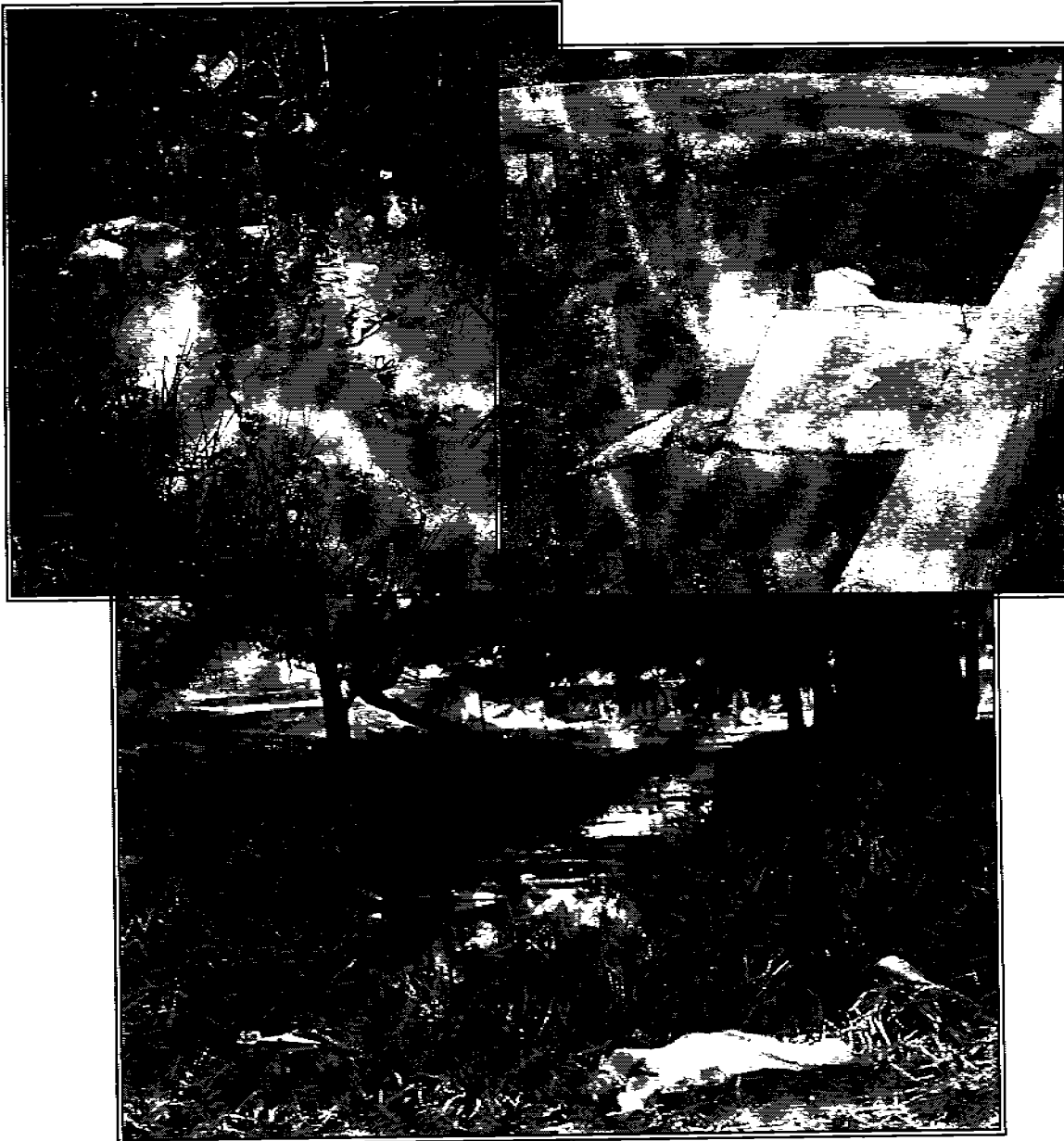


Figura 2.21. Canal de recirculación y vista de la salida en el cuerpo sur.

La falta de mantenimiento preventivo y correctivo en el lago, conlleva a una deficiente circulación del agua, teniendo como resultado zonas muertas, ocasionando una mala oxigenación en estos sitios y la sedimentación de partículas (entre las que se encuentran los contaminantes), generando áreas de gran azolvamiento.

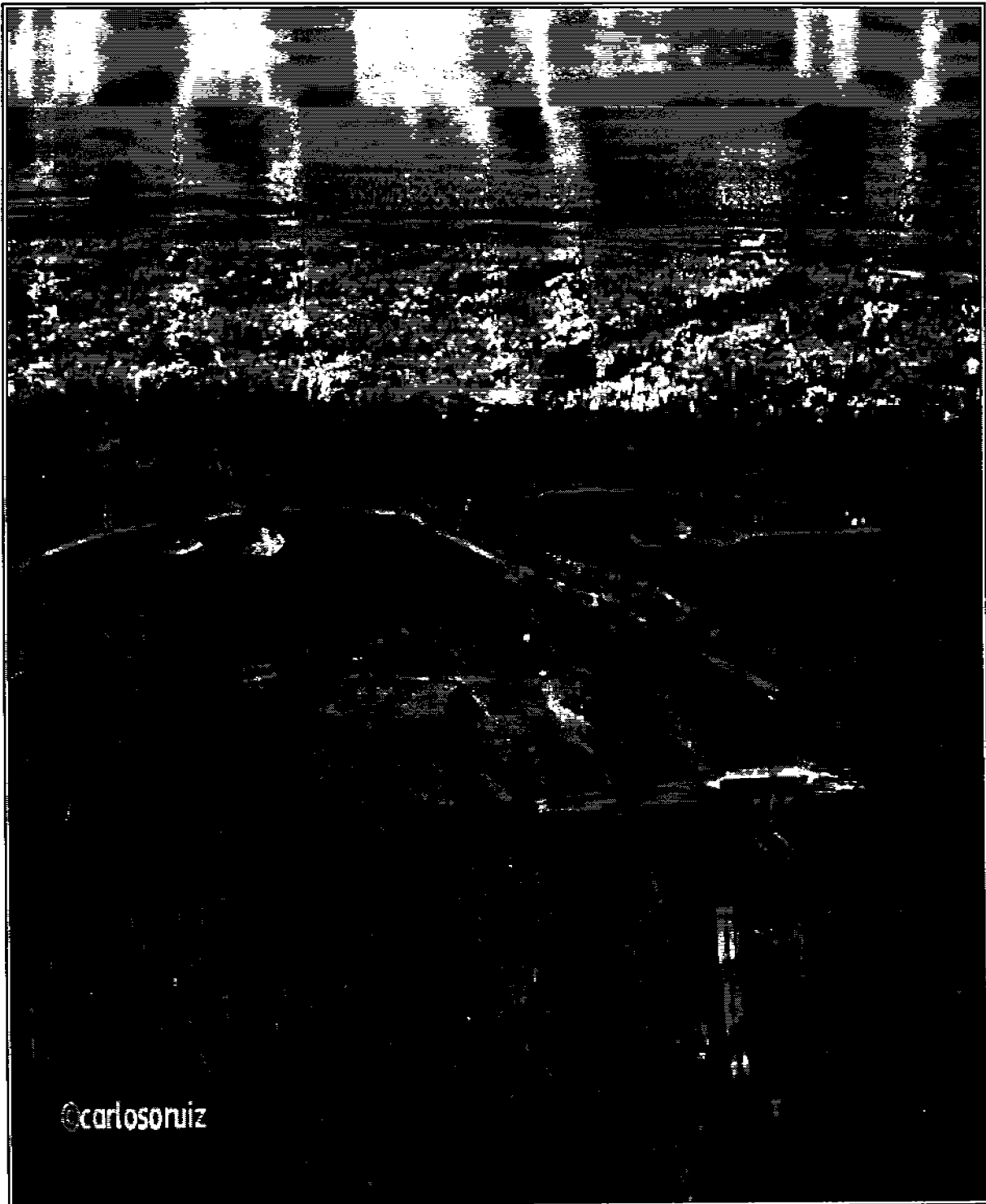


Figura 2.22. Vista panorámica del Lago del Bosque de San Juan de Aragón (Ruiz O., 2000).



SIMULACIÓN DE LOS CONTAMINANTES EN EL LAGO
DEL BOSQUE DE SAN JUAN DE ARAGÓN.



METODOLOGÍA.



3. METODOLOGÍA.

3.1. TRABAJO DE CAMPO.

Entre los trabajos preliminares se realizó el reconocimiento a pie del sitio de estudio, que permitió ubicar los puntos de muestreo así como una recopilación de trabajos antecesores en el BSJA.

El muestreo se llevó a cabo tomando como base la NMX-AA-003-1980, la cual propone el procedimiento que debe seguirse para desarrollar un muestreo en cuerpos de aguas superficiales y artificiales con un uso recreativo.

Se tomó una muestra por cada punto para la determinación de los parámetros fisicoquímicos y una muestra para los parámetros microbiológicos.

Los puntos de muestreo se propusieron con base a la ubicación del influente que alimenta al cuerpo de agua, las islas donde se encuentra las aves, las zonas donde se observa una mayor concentración de personas, el muelle, los sistemas hidráulicos y la localización del efluente.



Figura 3.1. Plano del Lago con los puntos de muestreo ubicados.

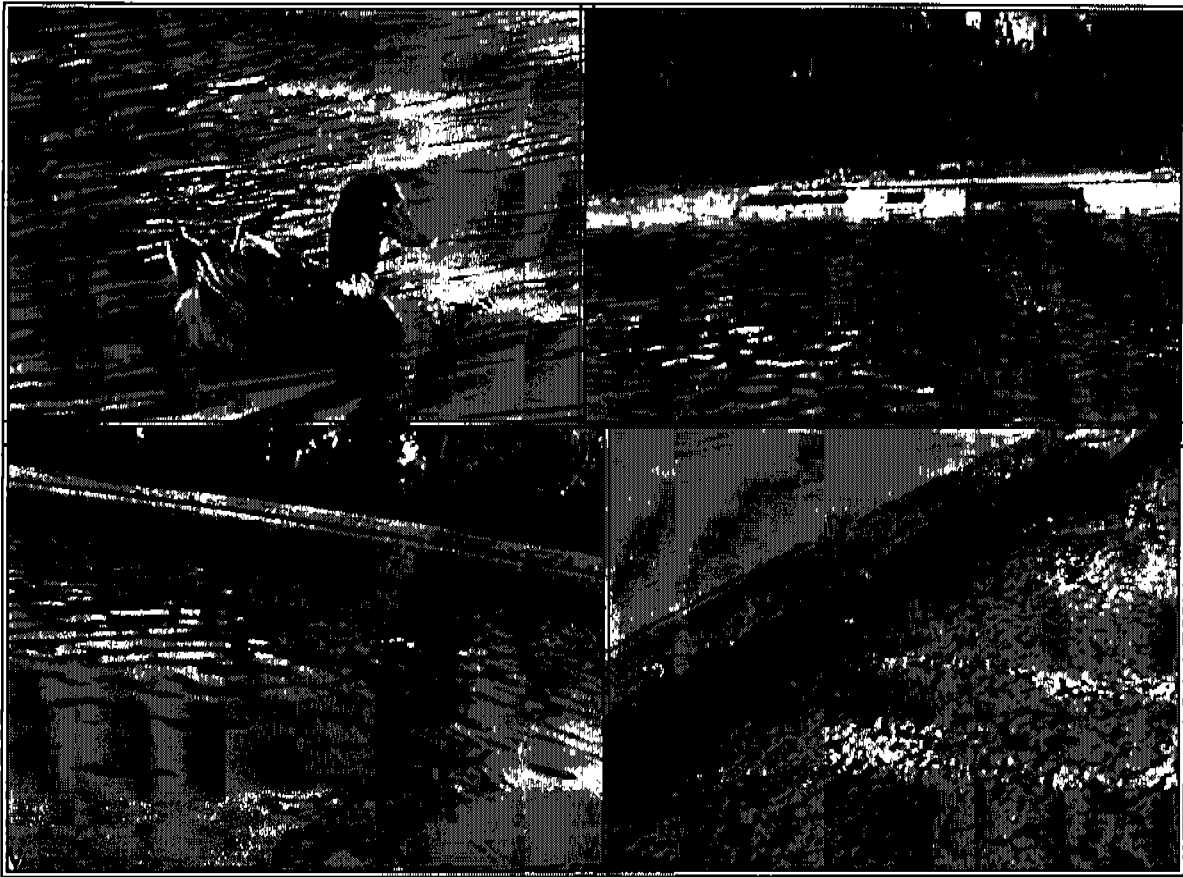


Figura 3.2. Coloración que presenta el Lago del Bosque de Aragón en diferentes puntos.

Todas las muestras fueron identificadas con etiquetas y recolectadas en envases previamente lavados con agua acidulada al 20% y extrán (detergente libre de sales y fosfatos), y se colocaron en una hielera para su conservación a 4°C (Figura 3.2).



Figura 3.3. Recolección de las muestras.



SIMULACIÓN DE LOS CONTAMINANTES EN EL LAGO DEL BOSQUE DE SAN JUAN DE ARAGÓN.



Figura 3.4. Llenado de la hoja de registro en campo.

En el sitio también se midieron los siguientes parámetros: salinidad, conductividad con un Conductímetro Ysi Modelo 33, oxígeno y temperatura con el Oxímetro de campo Ysi Modelo 58 (Figura 3.5), sólidos disueltos totales (DTS) con el medidor CORNING Modelo TDS-60 (Figura 3.6), y pH con un potenciómetro tipo pluma HANNA INSTRUMENTS Modelo pHep (Figura 3.7).

Estas determinaciones fueron realizadas con base a la NOM-001-SEMARNAT-1996, NOM-003-SEMARNAT-1997, Métodos Estandarizados (APHA, 2000) y el Manual de Laboratorio de Química de Agua (Fernández, 1990).

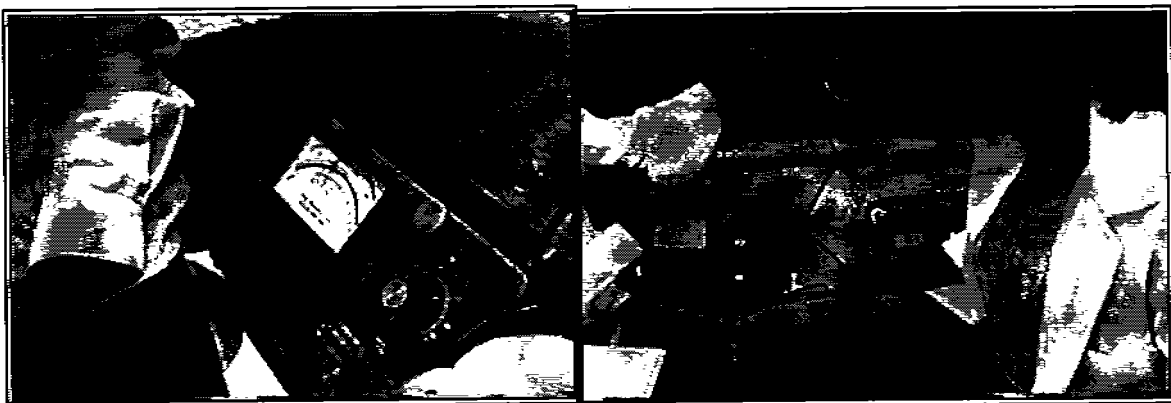


Figura 3.5. Conductímetro y Oxímetro



Figura 3.6. Medidor de Sólidos Disueltos CORNING.

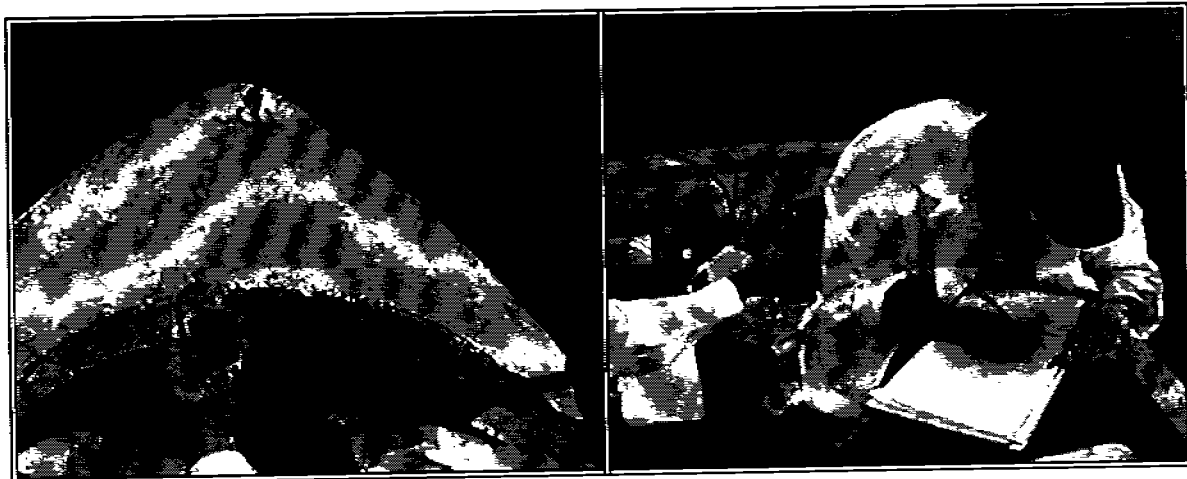


Figura 3.7. Mediciones con el potenciómetro tipo pluma.

Los puntos de muestreo se ubicaron geográficamente con un Geoposicionador Global (GPS) marca MAGALLAN Modelo Explorist 100 (Figura 3.8), obteniendo la longitud, latitud y altitud de cada punto de muestreo con el fin de tener una mayor exactitud en su localización.



SIMULACIÓN DE LOS CONTAMINANTES EN EL LAGO
DEL BOSQUE DE SAN JUAN DE ARAGÓN.



**Figura 3.8. Ubicación de los puntos de muestreo con el GPS
MAGALLAN.**

3.2. TRABAJO DE LABORATORIO.

El trabajo de laboratorio consistió en la determinación de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos que las NOM-001-SEMARNAT-1996 y NOM-003-SEMARNAT-1997 proponen, para evaluar el grado de contaminación de un cuerpo de agua tomando como base los límites máximos permisibles de dichos parámetros.

Así mismo se consideró indispensable la determinación de otros parámetros fisicoquímicos que dichas normas no especifican, con el fin de tener un mejor sustento de las condiciones ambientales actuales del cuerpo de agua.

3.2.1. DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGENO (DBO₅).

Para la determinación de la DBO₅ se siguieron las recomendaciones de la norma mexicana NMX-AA-028-1981 que recomienda la técnica correspondiente (Figura 3.10).



Figura 3.9. Determinación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno.



3.2.2. COLIFORMES TOTALES Y FECALES.

La determinación de Coliformes Totales y Fecales se hizo utilizando el método de filtro de membrana, localizado en el Métodos Estandarizados (APHA, 2000).

Esta evaluación también se llevó a cabo con un kit llamado Coli-Count, con la finalidad de hacer una comprobación de los resultados obtenidos y conocer la eficiencia de dicho equipo de campo (Figura 3.9). Esta técnica es certificada a nivel internacional y ha sido utilizada en otros proyectos similares a este trabajo.

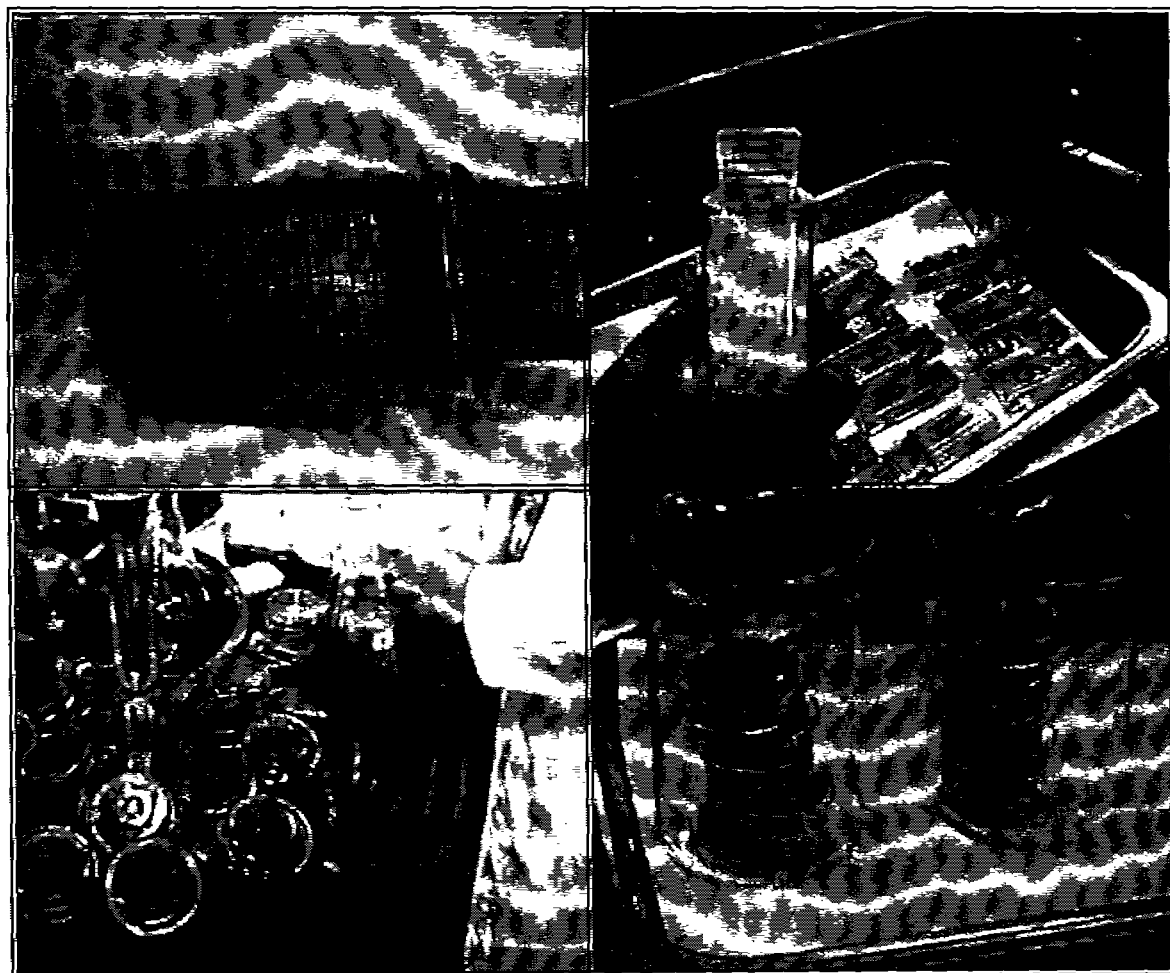


Figura 3.10. Determinación de Coliformes Totales y Coliformes Fecales.

3.2.3. SÓLIDOS TOTALES (STT).

La determinación de SST se realizó siguiendo las indicaciones de la norma mexicana NMX-AA-034-1981 y el Manual de Laboratorio de Química de Agua (Fernández, 1985), que propone el método recomendado para la evaluación de dicho contaminante (Figura 3.11).



Figura 3.11. Cápsulas de porcelana para la determinación de Sólidos Suspendedos Totales.

3.2.4. SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (SST).

La determinación de los SST se hizo por medio de la norma mexicana NMX-AA-034-1981 y el Manual de Laboratorio de Química de Agua (Fernández, 1985) que propone la técnica recomendada para la caracterización del contaminante antes mencionado (Figura 3.12).



Figura 3.12. Crisoles para determinar Sólidos Filtrables.



3.2.5. DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO.

Esta determinación se llevó a cabo utilizando el método colorimétrico propuesto en el Manual de Laboratorio de Química de Agua (Fernández, 1985) y el Métodos Estandarizados (APHA, 2000).

El objetivo principal de esta determinación fue solamente para corroborar la relación existente entre la DQO con la DBO_5 y O_2 (Figura 3.13).

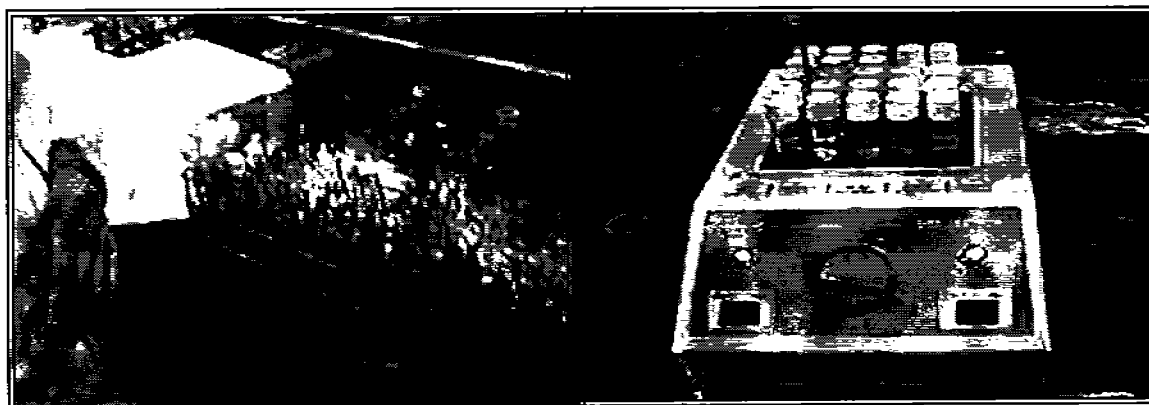


Figura 3.13. Preparación y Digestión de la Demanda Química de Oxígeno.

3.2.6. NITROGENO TOTAL

Para la determinación del Nitrógeno Total en sus formas de nitritos (NO_2), nitratos (NO_3) y amoniacal (NH_4), se siguieron las indicaciones que la norma mexicana NMX-AA-099-1987, NMX-AA-079-1996 y NMX-AA-026-1980 respectivamente y el Manual de Laboratorio de Química de Agua (Fernández, 1985), las cuales proponen las técnicas para dichos parámetros (Figura 3.14).

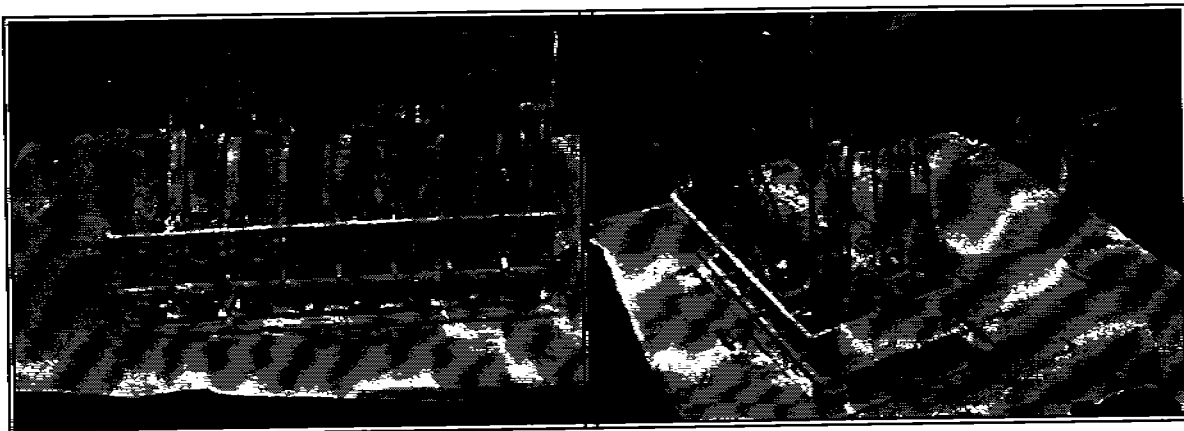


Figura 3.14. Determinación del Nitrógeno Total.

3.2.7. TURBIEDAD.

Para la determinación de este parámetro se siguió la indicación que está en el Manual de Laboratorio de Química de Agua (Fernández, 1985) (Figura 3.15).

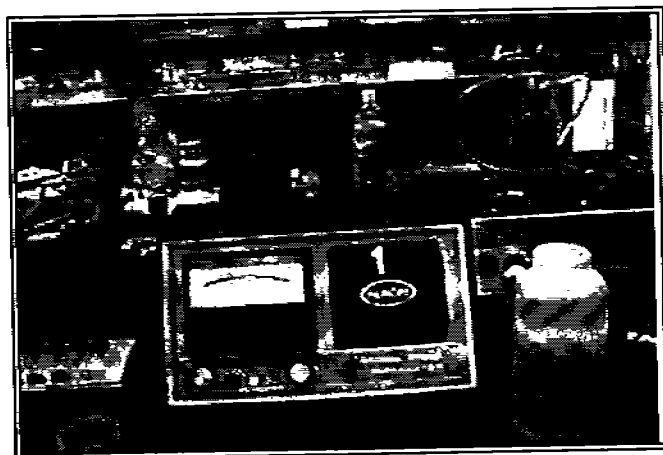


Figura 3.15. Turbidímetro Modelo 2100A HACH.



3.2.8. COLOR.

Para la determinación del color se utilizó un equipo llamado colorímetro, siguiendo las indicaciones del Manual de Laboratorio de Química de Agua (Fernández, 1985) (Figura 3.16).



Figura 3.16. Colorímetro Hellige Aqua Tester, Modelo 611-A

3.2.9. CONDUCTIVIDAD.

En la evaluación de la conductividad se utilizó un Conductivímetro siguiendo las instrucciones del Manual de Laboratorio de Química de Agua (Fernández, 1985) (Figura 3.17).

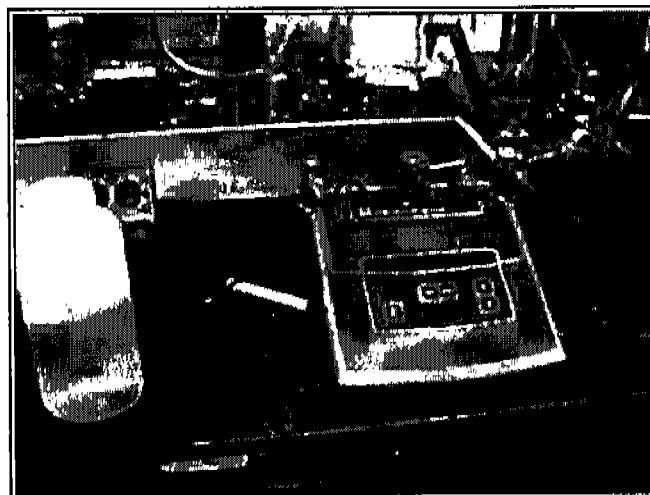


Figura 3.17. Conductivímetro Conductivity Instrument 3100, YSI.

Todos estos parámetros se determinaron en el Laboratorio de Química Ambiental que pertenece al Departamento de Ingeniería Sanitaria y Ambiental de la División de las Ingenierías Civil y Geomática de la Facultad de Ingeniería, UNAM (Figura 3.18).

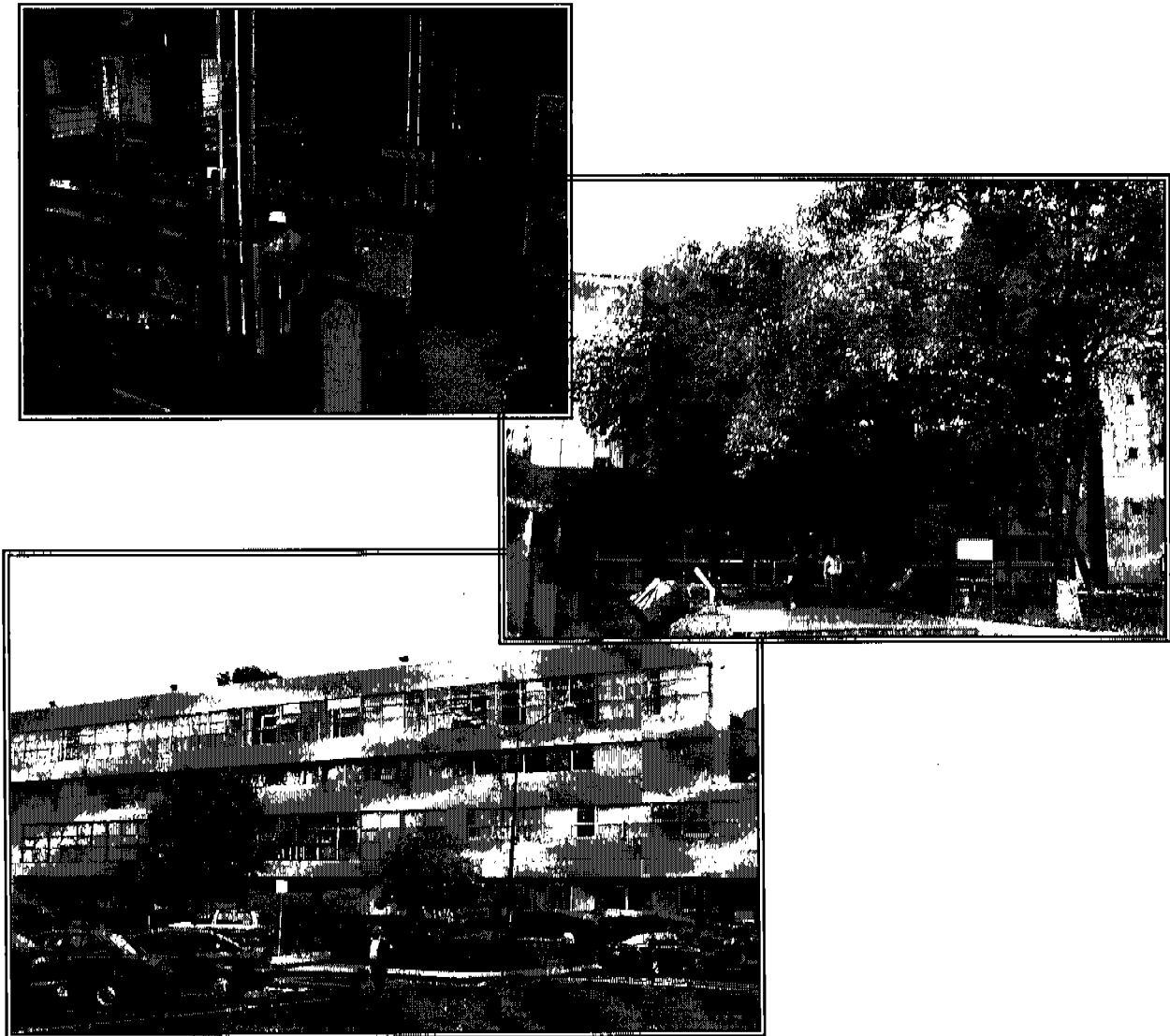


Figura 3.18. Laboratorio de Química Ambiental y División de las Ingenierías Civil y Geomática.



3.3. SIMULACIÓN.

3.3.1. MODELO HYDRO TRACK™.

Para modelar la hidrodinámica del lago del Bosque de San Juan de Aragón bajo diferentes condiciones ambientales, así como las plumas de dispersión de los sólidos suspendidos totales, aportados por la alimentación proveniente de la planta de tratamiento Tiacos, se empleará el software denominado Hydro Track™, elaborado por García-Martínez y Rodríguez-Molina (1997).

El modelo Hydro Track™ es un software que permite determinar la distribución de los sólidos suspendidos y algunos contaminantes en cuerpos de aguas costeros, continentales y lagos artificiales como es el caso del Lago del Bosque de San Juan de Aragón.

Este modelo ya a sido aplicado para determinar el comportamiento de las partículas suspendidas en otros cuerpos costeros, como es el caso de la Laguna de Mecocacán, que es un estuario ubicado en el sureste de México (Tabasco) y la Laguna de Términos localizada en el estado de Campeche (De Lorenz, 2004).

Este software consta de dos modelos; el primero es un modelo bidimensional barotrópico de corrientes hidráulicas, que emplea el método de solución de diferencias finitas, el cual resuelve las ecuaciones de conservación de masa y de momentum conocidas también respectivamente como ecuaciones de continuidad y de Navier-Stokes. El modelo calcula la magnitud y dirección de las corrientes hidráulicas, cuyos campos vectoriales de velocidad son mostrados en representación Euleriana.

El segundo es un modelo de transporte de contaminantes que, partiendo de los campos de velocidades generados por el modelo hidrodinámico, calcula y describe las trayectorias de sustancias conservativas (no reactivas) disueltas y suspendidas. El modelo permite además dibujar el dominio o área de integración y definir sobre ésta la batimetría, tipos de fronteras y condiciones de las mismas.

3.3.2. ECUACIONES QUE UTILIZA EL MODELO HYDRO TRACK™

Las ecuaciones hidrodinámicas que gobiernan el modelo son las resultantes de la integración vertical de las ecuaciones de continuidad y Navier–Stokes (Mantilla y Salle, 2002). Se consideró aquí el efecto del viento sobre la superficie del agua, el efecto de la fuerza de coriolis debido a la rotación de la tierra.

Lo anterior se puede desarrollar de diferentes formas, las cuales son: realizar una medición sistemática de la velocidad de la corriente en diferentes puntos del cuerpo; la segunda es mediante la aplicación de un modelo matemático, que simule a escala el movimiento de las partículas en un flujo de un embalse y la tercera, resolviendo las ecuaciones diferenciales que describen el movimiento del flujo y las partículas que viajan en el cuerpo de agua (Sánchez B. y Fuentes M., 1992; De Vitorica, 1983).

Para el caso de éste estudio, se utiliza el paquete Hydro Track™ en el que se resuelve las ecuaciones de Navier–Stokes y de Continuidad, definidas respectivamente como:

$$\rho \frac{du}{dt} = - \frac{\partial p}{\partial x} + \rho g_x + \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) \quad 3.1$$

$$\rho \frac{dv}{dt} = - \frac{\partial p}{\partial y} + \rho g_y + \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) \quad 3.2$$

$$\rho \frac{dw}{dt} = - \frac{\partial p}{\partial z} + \rho g_z + \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) \quad 3.3$$

$$\iint \rho (\mathbf{v} \cdot \mathbf{n}) dA + \iiint \rho dV = 0 \quad 3.4$$



Donde

- ρ = densidad del flujo
- V = velocidad
- μ = viscosidad
- g = gravedad de la Tierra

De acuerdo con Kjerfve (1988), en el modelo Hydro Track™ las ecuaciones hidrodinámicas para las componentes x y y de la velocidad son las siguientes:

$$\frac{\partial uz}{\partial t} + \frac{\partial u^2 z}{\partial x} + \frac{\partial uvz}{\partial y} - fvz + gz \frac{\partial \eta}{\partial y} = \xi_x - ku(u^2 + v^2)^{1/2} \quad 3.5$$

y

$$\frac{\partial vz}{\partial t} + \frac{\partial vuz}{\partial x} + \frac{\partial v^2 z}{\partial y} + fuz + gz \frac{\partial \eta}{\partial x} = \xi_y - kv(u^2 + v^2)^{1/2} \quad 3.6$$

donde u y v representan el campo de velocidades en "x" y "y".

Para simular el comportamiento de las partículas suspendidas es necesario definir las condiciones iniciales y de frontera, así como los parámetros del cuerpo de agua tomando los límites de integración desde el fondo ($z = -h$) hasta la superficie libre ($z = h + \eta$). Estos parámetros se presentan a continuación:

- $z(h, \eta)$: Espesor instantáneo de la columna de agua dado por $z = h + \eta$
- h : Profundidad referida al nivel medio del lago (0.8 m)
- η : Elevación de la marea referida al nivel medio del mar (0)
- $f(\alpha, \Omega)$: Parámetro de coriolis dado por $f = 2\Omega \text{ sen } \alpha$, donde α es la latitud y Ω es la velocidad angular de la rotación terrestre ($7.29 \times 10^{-5} \text{ rad/s}^2$).
- g : Constante de aceleración gravitacional terrestre (9.81 m/s^2).
- k : Coeficiente de fricción adimensional agua-fondo (2.5×10^{-3}).
- ξ : Esfuerzo del viento sobre la superficie del agua, con un coeficiente de fricción adimensional entre estos dos fluidos de 3.6×10^{-3} .

Considerando ahora que el lago del BSJA es somero y que su batimetría es relativamente uniforme, es valido suponer que la velocidad del agua en éste no se ve afectada por la presión hidráulica (fluido incompresible).

3.3.3. APLICACIÓN DE LAS ECUACIONES DE CONTINUIDAD Y NAVIER-STOKES EN EL MODELO HYDRO TRACK™.

Aplicando las ecuaciones 3.5 y 3.6 a las condiciones del lago del BSJA y las condiciones iniciales y de frontera, además de considerar que la densidad del agua se mantiene uniforme en la vertical, se está suponiendo también que no existen cambios importantes de salinidad respecto a la profundidad. Ahora, para incluir en la modelación la dispersión de un constituyente conservativo, se requiere incluir la concentración de este constituyente en la ecuación de continuidad (ecuación 3.4), la cual queda expresada como sigue:

$$\frac{\partial cz}{\partial t} + \frac{\partial uz}{\partial x} + \frac{\partial vz}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} (zk_x \frac{\partial c}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (zk_y \frac{\partial c}{\partial y}) + F\eta(x, y, \eta) - F_{-h}(x, y, -h) \quad 3.7$$

En donde F es el flujo total del constituyente delimitado por la interfase aire-agua (F_η) y la interfase agua-fondo (F_{-h}). En este caso se está asumiendo, que el sedimento suspendido se comporta como una sustancia conservativa, o sea no reactiva, por lo que el cambio en su concentración se debe solamente a su dilución; y que los coeficientes k_x y k_y son función cuadrática de la velocidad hidráulica, los cuales dependen también de las propiedades de las partículas suspendidas.

Los términos que se encuentran hacia la izquierda del signo de igualdad representan la ecuación de continuidad, que calcula la dirección de las partículas; los términos intermedios sirven para el cálculo de la dispersión de partículas y los dos últimos términos son los flujos totales en superficie y fondo del cuerpo de agua, para obtener el transporte de las partículas suspendidas en la superficie y el fondo del cuerpo de agua.



3.3.4. DATOS REQUERIDOS PARA SIMULAR EN EL MODELO HYDROTRACK.

Este modelo requiere la siguiente información:

- Batimetría.
- Tiempo de simulación hidrodinámico (ΔT) (43 min).
- Tiempo y límites de altura de las olas (0 hrs).
- Velocidad del viento a 10 m de altura (2.97 m/s)
- Coeficiente de rugosidad o resistencia en el fondo del lago (1.4 a 1.6).
- Coeficientes de Manning en el fondo del cuerpo (max. 0.035).
- Latitud de la región geográfica en estudio.(19°)

Para la parte del modelo de transporte de contaminantes, se requiere:

- Concentración total del contaminante (ver tabla 5.2 SST)
- Densidad del contaminante y del agua.
- Duración de la descarga (10 hrs).
- Coordenadas de la descarga (x, y, z).
- Coeficientes de difusión.
- Velocidad de la corriente del agua (0.017 m/s).

Esta información se introduce en el software siguiendo el procedimiento para completar una nueva sesión de modelación, la cual calcula el campo de velocidad del área de estudio (García-Martínez y Rodríguez-Molina, 1997).



SIMULACIÓN DE LOS CONTAMINANTES EN EL LAGO
DEL BOSQUE DE SAN JUAN DE ARAGÓN.



RESULTADOS Y SU
EVALUACIÓN.



SIMULACIÓN DE LOS CONTAMINANTES EN EL LAGO
DEL BOSQUE DE SAN JUAN DE ARAGÓN.



4. RESULTADOS Y SU EVALUACIÓN

4.1. RESULTADOS DE CAMPO.

Tabla 4.1. Valores obtenidos en campo

| Hora | Punto | | | Altitud msnm | Temp °C | Oxígeno mg/L | Salinidad | Conductividad | pH | Sólidos | Observaciones. |
|-------|-------|------------|-------------|-----------------|------------|-----------------|-----------|---------------|------|-----------|---|
| | | N | O | | | | | | | Disueltos | |
| 12:10 | 1 | 19°27'44 N | 099°04'30 O | 2239 | 22.9 | 12.9 | 0 | 1700 | 10.2 | 734 | En tierra, donde están las lanchas |
| 12:33 | 2 | 19°27'44 N | 099°04'29 O | 2241 | 21.8 | 7.8 | 0 | 1700 | 9.2 | 665 | Entrada, no hay asolvamiento. |
| 12:45 | 3 | 19°23'56 N | 099°32'23 O | 2241 | 23.6 | 15.1 | 0 | 1600 | 9.3 | 625 | Debajo del puente del tren. |
| 12:50 | 4 | 19°27'40 N | 099°04'25 O | 2239 | 24.2 | 16.5 | 0.0135 | 1800 | 9.4 | 665 | A la mitad del canal hacia el cuerpo mayor. |
| 13:00 | 5 | 19°27'40 N | 099°32'23 O | 2239 | 21.8 | 13.7 | 0.0132 | 1800 | 9.4 | 616 | Cerca del kiosco frente al doble puente. |
| 13:08 | 6 | 19°24'56 N | 099°32'23 O | 2239 | 23.4 | 12.6 | 0.0119 | 1600 | 9.5 | 600 | Pasando el doble puente en el cuerpo menor. |
| 13:20 | 7 | 19°25'46 N | 099°32'23 O | 2240 | 20.5 | 6.5 | 0.011 | 1420 | 9.8 | 583 | A la mitad del cuerpo menor frente al kiosco. |
| 13:35 | 8 | 19°23'56 N | 099°42'33 O | 2240 | 22.5 | 14.1 | 0.014 | 1900 | 9.8 | 612 | Al fondo del cuerpo menor, cerca de la planta de bombeo. |
| 14:20 | 9 | 19°27'56 N | 099°34'22 O | 2240 | 25 | 16.8 | 0.014 | 1950 | 9.6 | 598 | Salida del lago, en el cuerpo mayor. |
| 14:25 | 10 | 19°27'43 N | 099°04'15 O | 2240 | 20.4 | 14.5 | 0.013 | 1900 | 9.5 | 600 | Entre las dos islas de aves. |
| 14:40 | 11 | 19°27'33 N | 099°04'14 O | 2239 | 27.2 | 15.4 | 0.015 | 2000 | 9.6 | 650 | Palma, cerca de los sanitarios |
| 14:50 | 12 | 19°27'44 N | 099°04'18 O | 2239 | 16.7 | 15.5 | 0.015 | 2000 | 9.8 | 673 | Frente a la tienda o kiosco con graffiti y la palma. |
| 15:00 | 13 | 19°27'42 N | 099°04'20 O | 2239 | 25.2 | 15.6 | 0.014 | 1900 | 9.8 | 674 | |
| 15:05 | 14 | 19°27'39 N | 099°04'21 O | 2241 | 25.6 | 14.3 | 0.0145 | 2000 | 9.8 | 689 | Junto al doble puente, entre la caseta blanca y la palmera. |
| 15:15 | 15 | 19°27'38 N | 099°04'23 O | 2241 | 24.7 | 12.6 | 0.014 | 1950 | 9.8 | 700 | Entre los dos puentes. |
| 15:25 | 16 | 19°27'41 N | 099°04'26 O | 2241 | 23.2 | 9.4 | 0.014 | 1900 | 9.5 | 695 | Frente al punto 4. |
| 15:30 | 17 | 19°27'41 N | 099°04'29 O | 2240 | 27.8 | 12.5 | 0.014 | 1900 | 9.6 | 686 | En la esquina del embarcadero |



4.1.1. TEMPERATURA

La temperatura se mantuvo en un rango de 16.7 a 27.8 °C, indicando que no hay mucha variación dentro del cuerpo. Estas concentraciones se tomaron en época de estiaje y puede ser que exista mucha influencia del sol. El valor menor se encontró en el punto 12 que está en la parte norte del lago. La concentración mayor la obtuvo el punto 17, localizado a la derecha del muelle de las lanchas. Estos valores registrados cumplen con valor máximo de la NOM-001-SEMARNAT-1996 que es de 40°C, por lo tanto está dentro del límite de la Norma.

4.1.2. OXIGENO DISUELTO

El oxígeno disuelto no es parámetro que especifiquen la NOM-001-SEMARNAT-1996, sin embargo, fue medido para determinar posteriormente la Demanda Bioquímica de Oxígeno; el oxígeno medido en campo es muy alto, superior al de saturación, esto se debe a la agitación y por lo mismo la reoxigenación, ocasionada por los remos al momento de llegar a muestrear en la lancha.

El oxígeno disuelto se encontró muy similar dentro del cuerpo de agua, siendo la concentración mínima 6.5 mg/L correspondiente al punto 7 y la mayor 16.8 mg/L que corresponde al punto 9. El punto 7 se encuentra en la zona sur del lago pasando los puentes, esto se debe a que existe menos movimiento, provocando una oxigenación menor. Por lo contrario el punto 9 se encuentra en la parte norte del lago, cerca de la obra de excedencia; esto se puede explicar ya que por ser un claro más grande, existe mayor movimiento del agua, por el viento, las lanchas y los patos, produciendo más movimiento generando una oxigenación mayor.

Para los puntos 1, 6, 15 y 17 se obtuvieron valores en un rango de 12.5 mg/L y 12.9 mg/L. Los puntos 6 y 15 se localizan en canal que conectan las dos zonas debajo del puente donde pasa el tren. Los puntos 1 y 17 se encuentran rumbo al embarcadero. Los datos reflejan que hay un comportamiento similar de las corrientes, ya que están dentro del claro mayor del cuerpo de agua, y el canal por ser el conecte entre ambos claros tiene velocidades mayores.

Los puntos 5, 8, 10 y 14 tiene valores entre 13.7 mg/L y 14.5 mg/L, siguiendo la misma tendencia de crecimiento que los punto anteriores. De estos tres puntos el 8 se encuentra en la zona sur, en el centro de ese claro. Esta acción debe ser producto del movimiento ocasionado por las lanchas de los visitantes, patos y del ocasionado por los remos de la lancha donde se realizó en muestreo, además de que el centro del cuerpo de agua tiene mayor influencia de los vientos reinantes.

El punto 16 tiene una concentración de 9.4 mg/L, ubicando en el canal que comunica a ambos claros del cuerpo de agua, a las orillas del canal y fue al iniciar el día, habiendo menor tránsito de lanchas en el sitio. Finalmente el punto 4 tuvo una concentración de 16.5 mg/L, el cual se encuentra pasando el puente de las vías, siendo la misma área que el 16. La diferencia puede ser la ubicación de los puntos, ya que el punto 4 se encuentra en el centro de esta área (Ver Figura 4.5).

En lo que respecta a los puntos 3, 11, 12 y 13 tienen valores de 15.1 mg/L a 15.6 mg/L, ubicándose en la zona norte del cuerpo, donde existe mayor influencia del viento y las actividades recreativas que se desarrollan.

4.1.3. SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES (SDT)

Finalmente las concentraciones de los sólidos disueltos totales que se encontraron al realizar las mediciones en campo del cuerpo de agua se distribuyen en un rango que va de 583 a 700 mg/L. El valor menor pertenece al punto 7, y esta lectura coincide con la determinación de conductividad y salinidad, ya que en dichos parámetros el punto 7 tuvo las más pequeñas.

En el punto 1 se leyó una concentración de SDT de 734 mg/L, debido a que éste se encuentra en las orillas del muelle, donde a simple vista se puede ver que hay gran cantidad de partículas suspendidas. Este parámetro no es considerado en la NOM-001-SEMARNAT-1996.



4.1.4. SALINIDAD

En lo que respecta a la salinidad se encontraron valores dentro del rango de 1.11% a 1.50%, y solo los puntos 1, 2 y 3 que son los más cercanos al embarcadero tuvieron una salinidad nula, el resto de los puntos estuvieron uniformes con respecto a este parámetro (Ver Figura 4.1). Este parámetro no está considerado en la NOM-001-SEMARNAT-1996, sin embargo fue medido para compararlo con las mediciones de conductividad y con los sólidos.

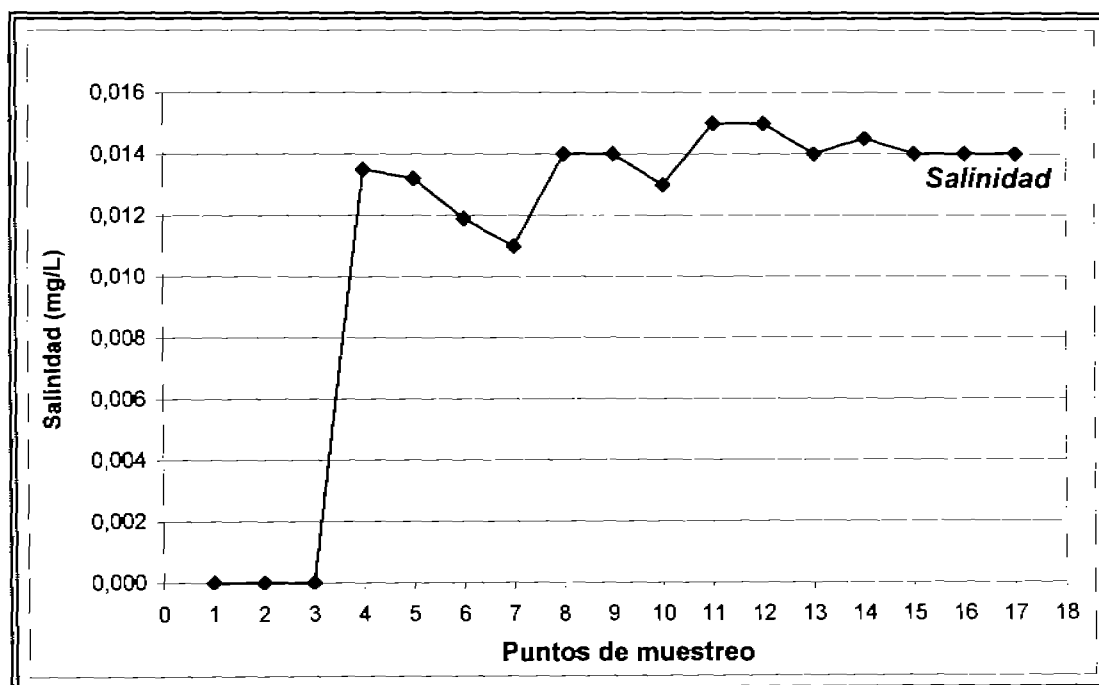


Figura 4.1. Salinidad en cada punto de muestreo.

4.1.5. CONDUCTIVIDAD

Con respecto a la conductividad los valores que se presentaron fueron entre 1420 mS y 2000 mS; el comportamiento de dicho parámetro fue uniforme en todos los puntos, el rango que se encontró fue de 1400 a 2000 mS, teniendo un valor de 2000 mS los puntos 11, 12 y 14 los cuales se ubican en la zona norte del lago, junto al perímetro del cuerpo de agua. Cabe mencionar que pudo haber influencia de la reacción que se genera por el CaCO_3 y el concreto que reviste las paredes del cuerpo.

La NOM-001-SEMARNAT-1996 no exige que la Conductividad sea medida, más se mide para saber si existen muchas o pocas sales y metales pesados. Los puntos 9 y 15 tuvieron un valor de 1950 mS, siguiendo el mismo comportamiento de los puntos mencionados en el párrafo anterior. Esto es posible porque estos puntos se encuentran ubicados en la misma zona del cuerpo de agua, siendo afectados por las reacciones químicas entre el concreto y el CaCO_3 .

El punto 7 tuvo la medición más baja, obteniéndose una lectura de 1420 mS, resultado influenciado por la ubicación del punto (zona sur) en el centro, además de que posiblemente no existan corrientes y velocidades considerables en el sitio.

Los demás puntos tuvieron lecturas entre los 1600 y 1900 mS, siguiendo la misma tendencia descrita anteriormente, así como influenciados directamente por la ubicación de dichos puntos. (Ver Figura 4.2).

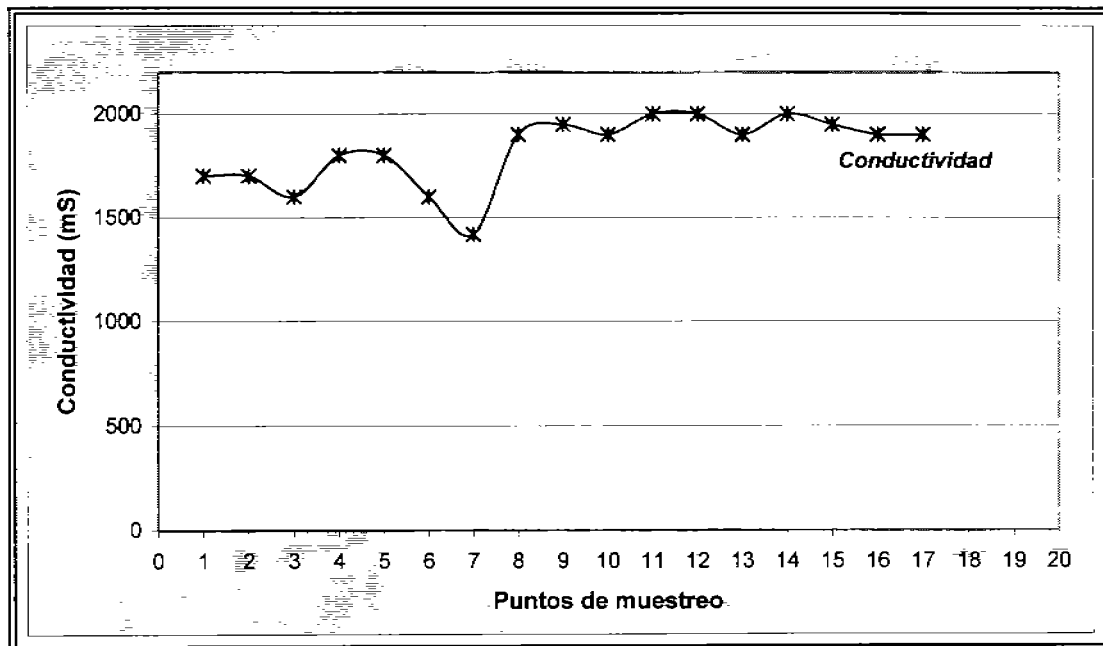


Figura 4.2. Conductividad en cada punto de muestreo.

4.1.6. POTENCIAL DE HIDRÓGENO (pH)

Las mediciones de pH fueron muy similares, encontrándose en un rango que va de 9.2 a 10.2 unidades de pH. El valor máximo se obtuvo en el punto 1, ubicado a las orillas del muelle de las lanchas. En lo que respecta para la medición mínima, ésta pertenece al punto 2, ubicado en la orilla del lago, junto al muelle; este valor puede ser consecuencia de las reacciones químico-biológicas que se llevan a cabo en el fondo. (Ver Figura 4.3).

Los puntos restantes siguieron una tendencia similar, es decir no hubo cambios considerables en las lecturas de este parámetro. Sin embargo se considera necesario corroborar dichas lecturas para ver su comportamiento realizando otros muestreos.

Según la NOM-001-SEMARNAT-1996, el rango permisible del potencial de hidrogeno (pH) es de 5 a 10 unidades, por lo tanto si se cumple con la Norma. Puede decirse que en el lago existe un medio básico arriba de 8 unidades, y aunque éste no causa afectaciones a los seres vivos, no permite las reacciones del cloro, de ahí la importancia de esta medición.

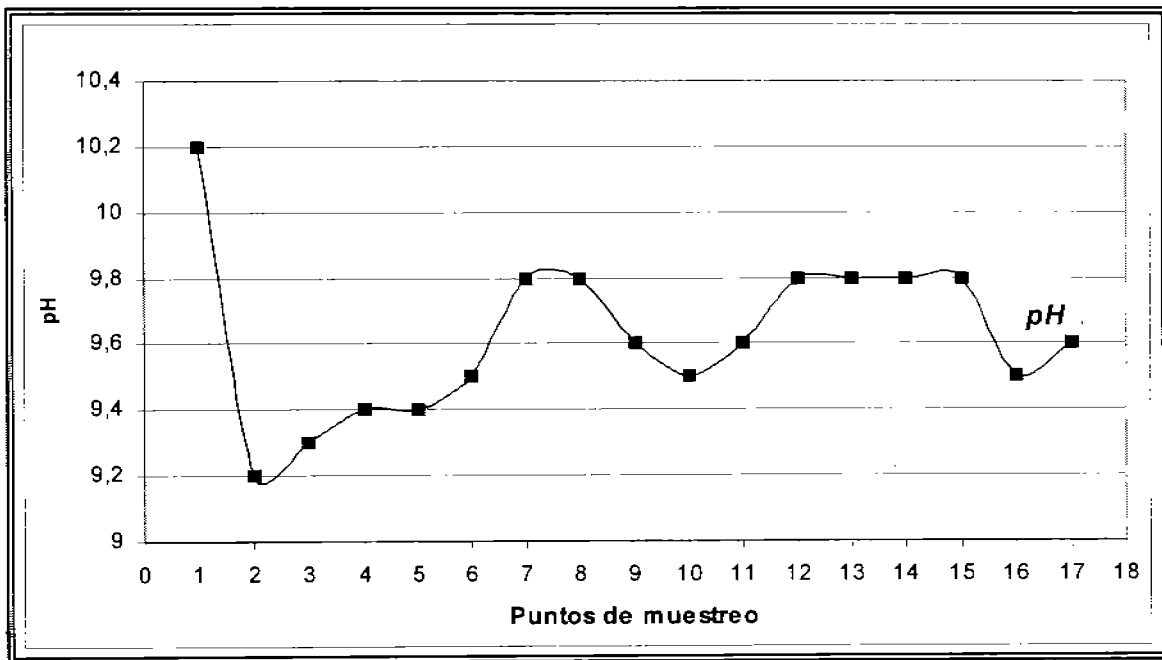


Figura 4.3. pH en cada punto de muestreo.



SIMULACIÓN DE LOS CONTAMINANTES EN EL LAGO DEL BOSQUE DE SAN JUAN DE ARAGÓN.



4.2. RESULTADOS DE LABORATORIO.

Tabla 4.2. Resumen de Resultados de Laboratorio.

| Muestra | Turbiedad | Color | DQO | Prom SST | Prom ST | Sólidos Dis. | Coli. Totales | Coli. Fecales | DBO 5,20 | OD Inicial | Temp | Conductividad | pH | Nitritos | Nitratos | Amoniacal |
|---------|-----------|-------|--------|----------|---------|--------------|---------------|---------------|----------|------------|------|---------------|------|----------|----------|-----------|
| | UTN | | Mg/L | mg/l | mg/l | | NMP | NMP | mg/L | mg/L | °C | | | mg N/L | mg N/L | mg N/L |
| 1 | 800 | 150 | 473,00 | 405 | 1575 | 734 | 140 | 30 | 105 | 12,9 | 22,9 | 1700 | 10,2 | 13,5 | 61,25 | 191,25 |
| 2 | 1000 | 100 | 138,50 | 210 | 1323 | 665 | Incont. | Incont. | 53 | 7,8 | 21,8 | 1700 | 9,2 | 7,5 | 25 | 106,25 |
| 3 | 750 | 75 | 175,67 | 210 | 1337 | 625 | 450 | Incont. | 126 | 15,1 | 23,6 | 1600 | 9,3 | 36 | 25 | 125 |
| 4 | 750 | 100 | 141,00 | 135 | 1260 | 665 | 0 | 20 | 138 | 16,5 | 24,2 | 1800 | 9,4 | 37,5 | 82,5 | 93,75 |
| 5 | 750 | 100 | 142,00 | 140 | 1340 | 616 | 30 | 20 | 111 | 13,7 | 21,8 | 1800 | 9,4 | 27 | 82,5 | 77,5 |
| 6 | 750 | 100 | 146,67 | 155 | 1308 | 600 | 70 | 0 | 101 | 12,6 | 23,4 | 1600 | 9,5 | 30 | 82,5 | 182,5 |
| 7 | 725 | 100 | 181,50 | 145 | 1157 | 583 | 160 | 10 | 41 | 6,5 | 20,5 | 1420 | 9,8 | 2,5 | 87,5 | 200 |
| 8 | 750 | 100 | 203,00 | 205 | 1393 | 612 | 70 | 0 | 117 | 14,1 | 22,5 | 1900 | 9,8 | 3,75 | 93,75 | 180,25 |
| 9 | 550 | 100 | 135,00 | 120 | 1258 | 598 | 150 | 80 | 141 | 16,8 | 25,0 | 1950 | 9,6 | 19 | 82,5 | 112,5 |
| 10 | 600 | 100 | 149,33 | 155 | 1288 | 600 | 300 | 30 | 118 | 14,5 | 20,4 | 1900 | 9,5 | 20 | 82,5 | 115,5 |
| 11 | 550 | 100 | 140,67 | 385 | 1300 | 650 | 80 | 30 | 128 | 15,4 | 27,2 | 2000 | 9,6 | 19 | 82,5 | 103,75 |
| 12 | 500 | 100 | 188,50 | 170 | 1265 | 673 | 0 | 20 | 130 | 15,5 | 16,7 | 2000 | 9,8 | 4,25 | 75 | 194,75 |
| 13 | 350 | 100 | 149,67 | 130 | 1305 | 674 | 20 | 0 | 130 | 15,6 | 25,2 | 1900 | 9,8 | 16 | 75 | 194,75 |
| 14 | 500 | 100 | 161,00 | 255 | 1297 | 689 | 70 | 0 | 117 | 14,3 | 25,6 | 2000 | 9,8 | 13,5 | 18,75 | 196 |
| 15 | 500 | 150 | 142,67 | 240 | 1403 | 700 | 280 | 10 | 101 | 12,6 | 24,7 | 1950 | 9,8 | 11,4 | 38,75 | 196 |
| 16 | 625 | 100 | 155,00 | 270 | 1300 | 695 | 50 | 10 | 70 | 9,4 | 23,2 | 1900 | 9,5 | 33 | 38,75 | 100 |
| 17 | 850 | 100 | 153,33 | 145 | 1323 | 686 | 170 | 0 | 102 | 12,5 | 27,8 | 1900 | 9,6 | 39,5 | 25 | 192,75 |

4.2.1. TURBIEDAD

La turbiedad se encontró entre el rango que va de 350 a 1000 UTN, que son las lecturas que corresponden a los puntos 13 y 2 respectivamente. Ambos puntos se encuentran ubicados en la zona norte del lago, aunque el punto 2 está en el muelle, donde a simple vista se observa que existe gran cantidad de partículas suspendidas, a causa de la falta de corrientes dentro del cuerpo de agua. En lo que respecta al punto 13 se ubica hacia las orillas del cuerpo de agua, del lado donde están las isletas, ahí también se encuentra gran cantidad de partículas en suspensión.

Los demás puntos tuvieron lecturas que van de los 500 a 800 UTN resultando una gran diferencia entre las concentraciones de partículas que se encuentran en suspensión (Ver Figura 4.4). Cabe mencionar que parte de este problema lo ocasiona la falta de circulación interna del cuerpo de agua. Además de que el gran azolvamiento no permite que dichas partículas sedimenten, y el movimiento, por más mínimo que sea, hace que se vuelvan a levantar.

Este parámetro no es considerado en la NOM-001-SEMARNAT-1996, pero ayuda a justificar el resultado de los sólidos, ya que a mayor turbidez, mayor cantidad de sólidos suspendidos.

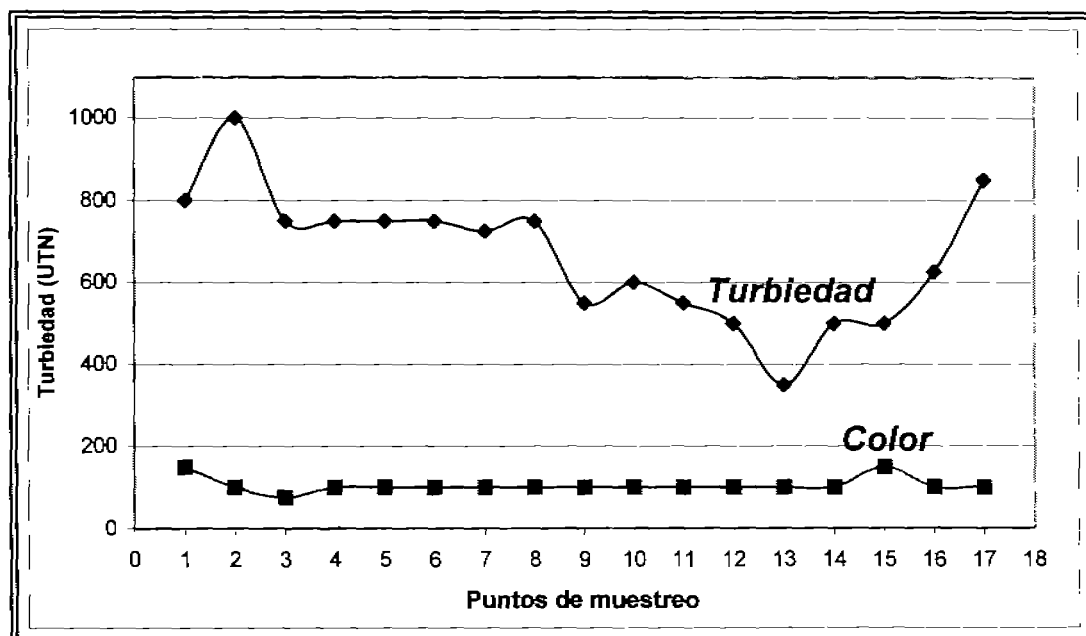


Figura 4.4. Turbiedad y color en cada punto de muestreo.



4.2.2. COLOR

Este parámetro tiene gran relación con la turbiedad, ya que el color de un cuerpo de agua, dependerá del tipo y cantidad de partículas que en él existan en suspensión, entre las cuales se encuentran: micro algas, sedimentos, arcillas, limos y contaminantes como metales, materia orgánica, etc.; por ello aunque la NOM-001-SEMARNAT-1996 no lo contempla, es importante su medición.

Las mediciones que se obtuvieron cuando se realizó el trabajo de campo se encuentran dentro del rango 75 y 150 unidades de color, encontrándose el valor más pequeño en el punto 3 y el mayor en los puntos 1 y 15. (Ver Figura 4.4).

4.2.3. DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO

Es fundamental comentar que este parámetro no se encuentra entre los que la NOM-001-SEMARNAT-1996 indica para evaluar el grado de contaminación de un cuerpo de agua, sin embargo, se consideró fundamental determinarlo porque permitirá sustentar con mayor solidez los resultados del oxígeno disuelto, y de la materia orgánica medida como DQO.

El rango en que se encontraron las mediciones realizadas en el laboratorio 78.50 y 473 mg/L, las cuales corresponden a los puntos del influente que alimenta al lago y el punto 1, ubicado en el muelle de las lanchas. El valor mayor corresponde al resultado del gran azolvamiento que existe en esa zona del lago, además que a simple vista se observa gran cantidad de materia orgánica que depositan los visitantes, los patos y gansos y finalmente los trabajadores al darles de comer a dichas aves. En lo que respecta al influente es obvio encontrar valores muy pequeños, ya que el agua proviene de una planta de tratamiento.

Los puntos 9, 2, 11, 4, 5, 15 y 6 tuvieron las concentraciones de 135, 138.5, 140.67, 142.0, 142.67 y 146.67 mg/L respectivamente. En estos datos se puede observar la tendencia del cuerpo de agua a transformar su proceso aerobio en un anaeróbico, a causa del gran azolvamiento que a reducido considerablemente su profundidad natural, falta de recirculación interna del cuerpo y la gran cantidad de

materia orgánica que se encuentra en el agua. Este problema se explica con mayor detalle en la evaluación de la simulación de los SST:

Los puntos restantes, tienen concentraciones que se encuentran entre los 149.33 y 203 mg/L de demanda química de oxígeno siguiendo la misma tendencia que los puntos anteriores (Ver figura 4.5).

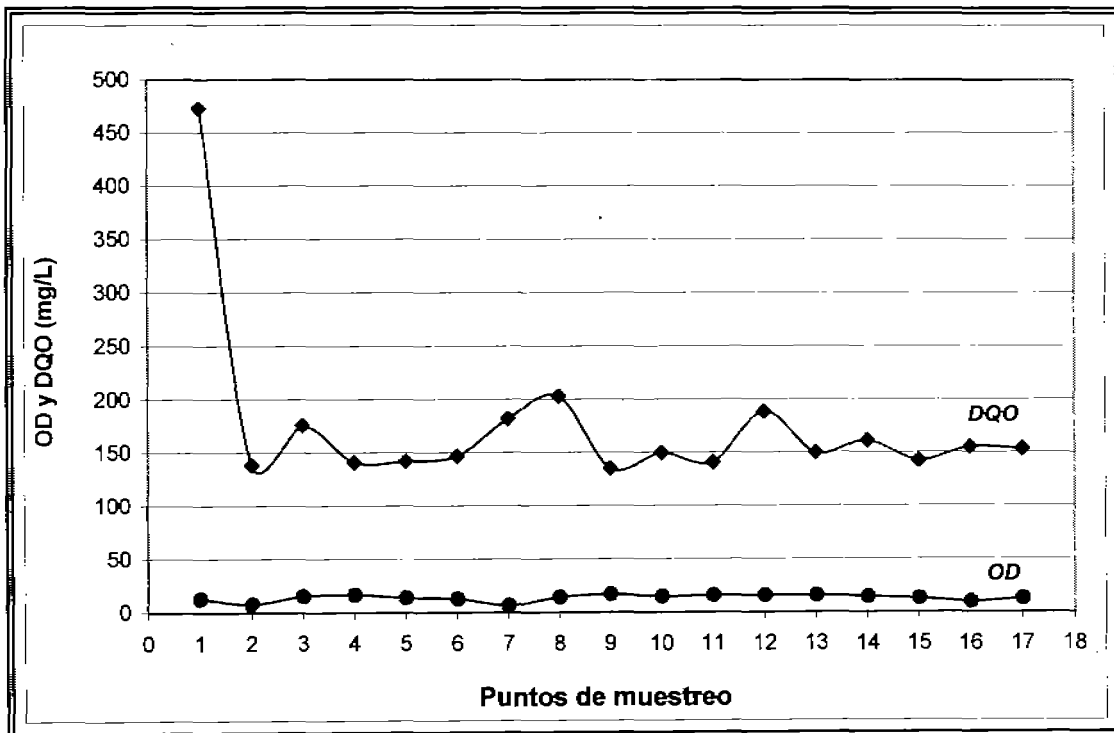


Figura 4.5. DQO y OD en cada punto de muestreo.



4.2.4. SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (SST).

Esta prueba fue de suma importancia para el estudio, pues es el parámetro usado en la simulación, además de que es un claro indicador de la contaminación en cuerpos de agua. El rango de valores medidos de este parámetro se encuentra entre 405 mg/l y 120 mg/l; esto quiere decir que las concentraciones varían entre débiles y fuertes, muestra de la discontinua distribución de las velocidades al interior del cuerpo de agua. El valor máximo permisible que indica la NOM-001-SEMARNAT-1996 es de 125 mg/l para cuerpos de aguas recreativas, por lo tanto este parámetro no cumple con la Norma.

El valor menor corresponde al punto 9 con una concentración 120 mg/l este punto se encuentra en la zona norte del lago ya que en esta zona se presenta una mayor aireación y circulación del agua y por ello una menor concentración de sólidos, el punto 1 tuvo la mayor concentración de 405 mg/l este punto se ubica en el embarcadero de la zona norte, en éste, a pesar de que hay mucho movimiento se observa una gran contaminación debido a la gran cantidad de aves y visitantes.

Los puntos 4, 5, 10, 13, 17 presentan las siguientes concentraciones respectivamente 135, 140, 155, 130, 145 mg/l; todos estos puntos se encuentran distribuidos en la zona norte dichos valores son similares debido a que es la zona más transitada y profunda lo que permite la sedimentación de las partículas y disminuye la concentración de éstas en la superficie. Los puntos 6 y 7 presentan 155 y 145 mg/l respectivamente estos puntos localizados en la parte más profunda de la zona sur no presentan concentraciones altas ya que además se encuentran muy cerca del canal de conexión entre ambos cuerpos. Los puntos 2, 3, 11, 12, 14, 15 y 16 también localizados en la zona norte presentan las concentraciones más altas que van de 210, 210, 385, 170, 255, 240, 270, 145 mg/l respectivamente con estos resultados se puede decir que en estas zonas el azolve es mayor y con el movimiento de las lanchas se produce una mayor turbiedad. Finalmente en el punto 8 la concentración es de 205 mg/l este punto localizado en la zona sur tiene gran cantidad de azolve y una muy deficiente velocidad de la corriente.

4.2.5. SÓLIDOS TOTALES (ST).

Esta determinación muestra que en el lago hay gran cantidad de sólidos, pues los resultados se encuentran en un rango entre 1157 mg/l y 1575 mg/l , en el punto 1 se encuentra el valor más alto 1575 mg/l de acuerdo a lo observado en otros parámetros éste es un punto con gran contaminación debido a que hay muchas aves y muchos visitantes, pues es la entrada al lago. El punto con la menor cantidad de sólidos totales es el punto 7 con 1157 mg/l, el cual se encuentra en el centro del cuerpo sur, y al tener este una profundidad suficiente hay menos sólidos ahí, además de que es una zona menos frecuentada por los visitantes y por lo tanto el agua está menos agitada. En los puntos 4, 9, 10, 12 y 14 todos los valores se encuentran por arriba de los 1250 mg/l y debajo de los 1299 mg/l, todos estos puntos se localizan en el cuerpo norte, donde se concentran más los visitantes y las aves y por lo mismo la cantidad de sólidos va en aumento. Finalmente en un rango de concentración de 1300 mg/l hasta los 1400 mg/l se encuentran los puntos 2,3,5,11, 13,15, 16 y 17, todos ellos en el cuerpo norte del lago que, como ya se mencionó, es la zona con mayor actividad; y los puntos 6 y 8 en el cuerpo sur, el punto 6 está justo al pasar los dos puentes, por lo que es un punto con más agitación y en el punto 8 hay mucho azolvamiento y por ello más sólidos.

Aunque este parámetro no lo requiere la NOM-001-SEMARNAT-1996, según los estándares ambientales es muy alto.



4.2.6. COLIFORMES TOTALES Y FECALES

Este parámetro microbiológico se determinó con la finalidad de ser un indicador de la contaminación antrópica y geogénica del sitio de estudio y de la presencia de gran cantidad de materia orgánica. Además la existencia de dichos microorganismos permite corroborar con más exactitud que si hay una gran demanda de oxígeno disuelto.

Los valores de los coliformes totales se encontraron entre 0 a 470 como NMP. Siendo 0 en los puntos 3 y 12, ubicados en el centro de la entrada de la alimentación al lago y en el centro de otro de los brazos del cuerpo de agua. Esto es justificable ya que en el centro del cuerpo de agua, se encuentra la mayor circulación de partículas, evitando gran cantidad de sedimentación de material orgánico así como la presencia de velocidades de las corrientes (Ver Figura 4.6).

El valor mayor pertenece al punto influente, esto puede ser causa principalmente residuos de comida que se arrojan al sitio, y provocan una mayor concentración de aves.

En los puntos 13, 5, 16, 6, 8, 14 y 11, los cuales tienen los valores de 20, 30, 50, 70 y 80 respectivamente, hubo gran influencia de su ubicación ya que casi todos estos se encuentran ubicados en la zona norte del cuerpo de agua, donde existe un mayor movimiento de las corrientes internas, es decir, hay mayor dispersión de las partículas en suspensión entre los que se encuentran la materia orgánica y dichos microorganismos. Los únicos puntos que se ubican en la zona sur son el 6 y 8, pero como se encuentran saliendo del canal que conecta ambos claros, existe gran movimiento y las velocidades, aunque son pequeñas, no permiten una sedimentación de todas las partículas (Ver Figura 4.6).

Los puntos 1, 9, 7, 16, 15, 10 y 3 tuvieron las siguientes mediciones 140, 150, 160, 170, 280, 300 y 450 como NMP de coliformes totales. Los puntos 1, 3, 9, 10, 15 y 17 se encuentran en el claro norte del lago, teniendo gran influencia de las corrientes que se producen en el cuerpo de agua, aunque es importante mencionar que en el punto 3 (que está en el centro de la entrada del lago, existe gran influencia del arrastre de las partículas de toda esa zona, siendo posible que dichos

organismos sean arrastrados con otras partículas que se encuentran en ese lugar (Ver figura.). El punto 10, que tiene un valor de 300 como NMP, se ubica a un costado de las isletas de los patos y gansos, sustentando que las heces fecales de dichas aves contienen a estos microorganismos. Finalmente el punto 15 con un valor de 280 como NMP se ubica en el canal que conecta ambos claros del lago, sitio donde hay mucho transporte de partículas, es decir existen corrientes que transportan a los contaminantes y seguramente también a los coliformes totales.

Para los coliformes fecales los valores encontrados están en el rango de 0 a valores imposiblemente contables. Los puntos 2 y 3 son aquellos que tienen valores incontables, esto puede ser justificado por su ubicación, se encuentran en la zona norte del lago; el 2 está a la orilla del muelle, donde se encuentran las casetas de los trabajadores que se encargan de mantener las lanchas y dar el servicio de paseo en el lago. Cabe mencionar que en este sitio se ingieren alimentos y que puede existir la posibilidad de que las aguas que resultan de lavar los utensilios de cocina y residuos de alimentos que ellos dejan, pueden ser descargados hacia el lago, además en esa zona existe gran azolvamiento, causado por la falta de corrientes internas dentro del cuerpo. En lo que respecta al punto 3, se sustenta la gran cantidad de estos microorganismos porque se ubica en el centro del lago, evidentemente donde hay mayor velocidad y por tanto, mayor transporte de contaminantes por esa zona.

Los puntos 6, 8, 13, 14 y 17 tuvieron valores de 0 de coliformes fecales, sin embargo todos obtuvieron valores en la determinación de los coliformes totales.

Finalmente los puntos restantes tuvieron valores entre 20 y 30 como NMP de coliformes fecales, la presencia de éstos contaminantes muestra la urgencia de des-azolvar el cuerpo para evitar riesgos a la salud.



SIMULACIÓN DE LOS CONTAMINANTES EN EL LAGO DEL BOSQUE DE SAN JUAN DE ARAGÓN.

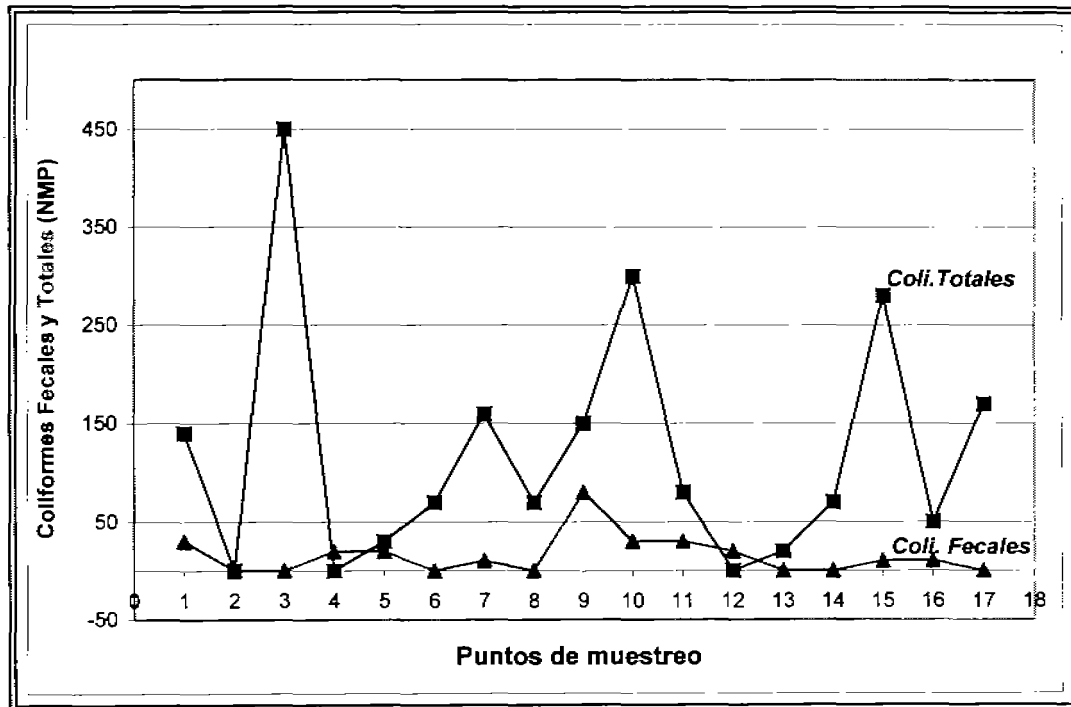


Figura 4.6. Coliformes en cada punto de muestreo.

La NOM-001-SEMARNAT-1996 establece los límites máximos permisibles de coliformes fecales en aguas residuales sin tratamiento, dado que en el BSJA se recibe agua tratada y es un cuerpo recreativo, las concentraciones de dicho contaminante deberían ser mínimas.

4.2.7. DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO

Este parámetro se encuentra en el rango que va de 41 A 141 mg/L. La NOM-001-SEMARNAT-1996 establece un máximo de 150 mg/L, por lo tanto si cumple con los límites máximos permisibles. El valor menor corresponde al punto 7, ubicado en el claro sur del lago, sitio donde existe un gran azolvamiento y la concentración de oxígeno disuelto es muy pequeña. Además este valor corrobora la existencia de coliformes fecales y totales en ese lugar a falta de circulación interna del cuerpo de agua. El valor mayor corresponde al punto 9, ubicado en el claro norte del cuerpo de agua a un costado del efluente del mismo. El oxígeno disuelto en ese punto fue el mayor también por lo que existe una similitud en los valores obtenidos para estos parámetros (Ver Figura 4.7).

El punto 2 tuvo una concentración de 53 mg/L, y puede ser consecuencia de su ubicación ya que está en el muelle de las lanchas a un costado, es decir, en las orillas existe menos velocidad de la corriente interna del lago, y esto no permite una mejor aireación.

El punto 16 tuvo una concentración de 70 mg/L, y se considera viable esta medición ya que se ubica en la orilla del cuerpo de agua, donde hay menores velocidades y por lo tanto la aireación es mínima. Este valor concuerda con la concentración de oxígeno disuelto que existe en ese sitio.

Los puntos 6, 15, 17 y 1 tuvieron valores entre 101 y 105 mg/L, observándose que no existe gran diferencia en estas mediciones, pudiendo ser causa de la ubicación de dichos puntos, ya que se encuentran en el centro de los dos claros que conforman al lago. Teniendo mayor movimiento de corrientes el lago (Ver Figura 4.7).

Los puntos 5, 8, 14 y 10 tuvieron las concentraciones de 111, 117 y 118 mg/L respectivamente. Esto concuerda con los valores que se encontraron de oxígeno disuelto, siguiendo la misma tendencia de su comportamiento de ambos parámetros (Ver Figura 4.7). Aquí se observa una fuerte influencia de las pocas corrientes que existen en el cuerpo de agua, ya que la ubicación de estos puntos son sitios donde existe mayor movimiento y el azolve es menor.



SIMULACIÓN DE LOS CONTAMINANTES EN EL LAGO DEL BOSQUE DE SAN JUAN DE ARAGÓN.



Los puntos restantes tuvieron concentraciones entre 126 y 130 mg/L y el comportamiento de dichas concentraciones es similar a las del oxígeno disuelto (Ver Figura 4.7).

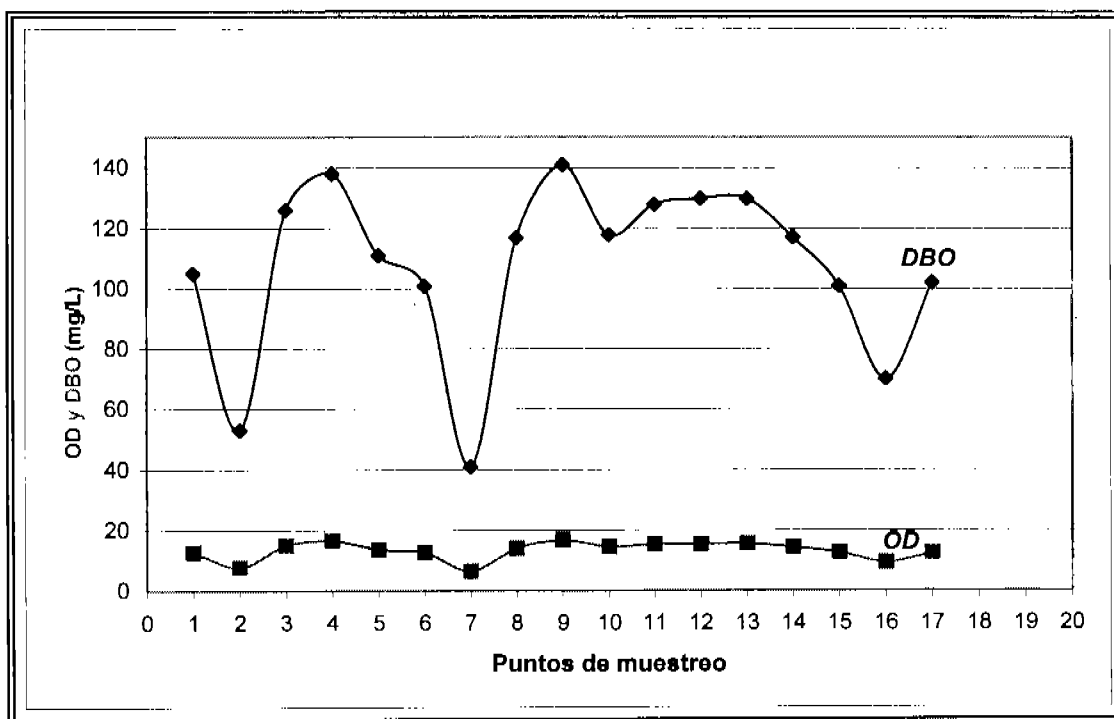


Figura 4.7. DBO y OD en cada punto de muestreo.

4.2.8. NITRÓGENO EN SUS FORMAS DE NITRITOS, NITRATOS Y AMONIACAL

El Nitrógeno Total es la suma de los nitritos, los nitratos y el nitrógeno amoniacal. En la NOM-001-SEMARNAT-1996 no es aplicable, sin embargo su determinación fue de suma importancia porque es un claro indicador del proceso de eutroficación.

Estos parámetros se graficaron en una sola figura (Ver Figura 4.8), con el fin de ver el comportamiento del nitrógeno total en el cuerpo de agua.

Nitritos:

En lo que se refiere a nitritos el rango de las concentraciones está en 2.5 hasta 39.5 mg/L, correspondiendo a los puntos 7 y 17 respectivamente. El punto 7 se ubica en el claro sur del lago donde existe mayor oxigenación del cuerpo, y menor azolvamiento. El punto 17 se ubica en el claro norte, donde se encuentra el muelle en una orilla del lago, y se considera que en esa zona existe un mayor proceso anaerobio, lo cual justifica la existencia de nitritos.

Los puntos 8, 12, 7 y el influente, tuvieron valores de 3.75, 4.25, 7.5 y 9 mg/L respectivamente. El punto 8 se encuentra en el centro del claro sur y por lo tanto existe mayor movimiento de corrientes; el 12 está en un lugar estratégico en donde existe mayor movimiento por las lanchas y esto produce que exista mayor aireación en ese lugar; el 7 se encuentra en el claro sur en el centro de claro casi frente al canal que conecta ambos claros y esto le permite que haya una fuerte influencia de movimiento ocasionado por las lanchas y las corrientes internas y finalmente el influente se ubica a un costado del muelle, y por ser la toma que alimenta al lago tiene cierta oxigenación por el mismo recorrido que realiza el agua (Ver Figura 4.8).

La tendencia de estas concentraciones aumenta conforme los puntos se ubican en la orillas del cuerpo de agua y son mayores en el claro sur de éste, esto se expresa en los valores que se obtuvieron en los puntos 15, 1, 14 y 13, con valores de 11.40, 13.50 y 16 mg/L respectivamente (Ver Figura 4.8).



SIMULACIÓN DE LOS CONTAMINANTES EN EL LAGO DEL BOSQUE DE SAN JUAN DE ARAGÓN.



Finalmente los puntos restantes tuvieron valores mayores a 19 mg/L siendo un indicio del proceso anaeróbico que se está generando en el cuerpo de agua causado por la falta de aireación que existe en el sitio de estudio, principalmente en el claro sur y algunas orillas del cuerpo de agua.

Nitratos:

Los nitratos se encontraron en un rango de 18.75 a 93.75 mg/L, los cuales corresponden a los puntos influente, 14 y 8 respectivamente. La concentración del punto 8 es la mayor y en nitritos tuvo la menor concentración, existiendo una similitud en el comportamiento de los dos parámetros. Además el oxígeno disuelto y la DBO₅ se encontraron altos en ese sitio. El punto 14 se ubica a un costado del canal que conecta ambos claros, dentro el área que corresponde al norte y se observa un comportamiento lineal con respecto a las concentraciones del oxígeno disuelto y la DBO₅. (Ver Figura 4.8).

Los puntos 2, 3, 17, 15 y 16 tuvieron concentraciones de 25 mg/L para los 3 primeros y 38.75 mg/L para los 2 últimos. El comportamiento de estas concentraciones concuerda con las concentraciones de los nitritos, observándose una disminución de estos últimos, ya que donde hay mayor concentración de nitratos, el nitrito es menor.

Nitrógeno Amoniacal:

La tendencia del nitrógeno amoniacal es similar a la de los nitritos, teniendo sus valores un rango que va de 30 y 200 mg/L que corresponden a los puntos del influente y 7 respectivamente. Para los puntos 5, 4 y 16, se encontraron las concentraciones 77.50, 93.75 y 100 mg/L respectivamente. Cabe mencionar que los tres puntos se encuentran en la zona norte del lago, muy cerca al muelle, y tal vez se deba al gran azolvamiento que existe en ese sitio.

En los puntos 11, 2, 9 y 10 se encontraron las concentraciones 103.75, 106.25, 112.50 y 115.50 mg/L respectivamente; estos puntos se encuentran en el claro norte del cuerpo de agua, siendo el 11, 10 y 9 por donde están las islas de los patos, lógicamente existe gran cantidad de materia orgánica, coliformes y el nitrito es alto, por lo que

la tendencia del nitrógeno amoniacal es igual y tiende a crecer en esos lugares (Ver Figura 4.8).

El punto 3 presentó una concentración de 125 mg/L, y se encuentra a un costado del muelle, siendo justificable su concentración.

Los puntos restantes tuvieron valores de 182.5 a 196 mg/L siguiendo una tendencia normal en sus concentraciones, a causa de que se está generando un medio anaeróbico en el fondo del lago (Ver Figura 4.8).

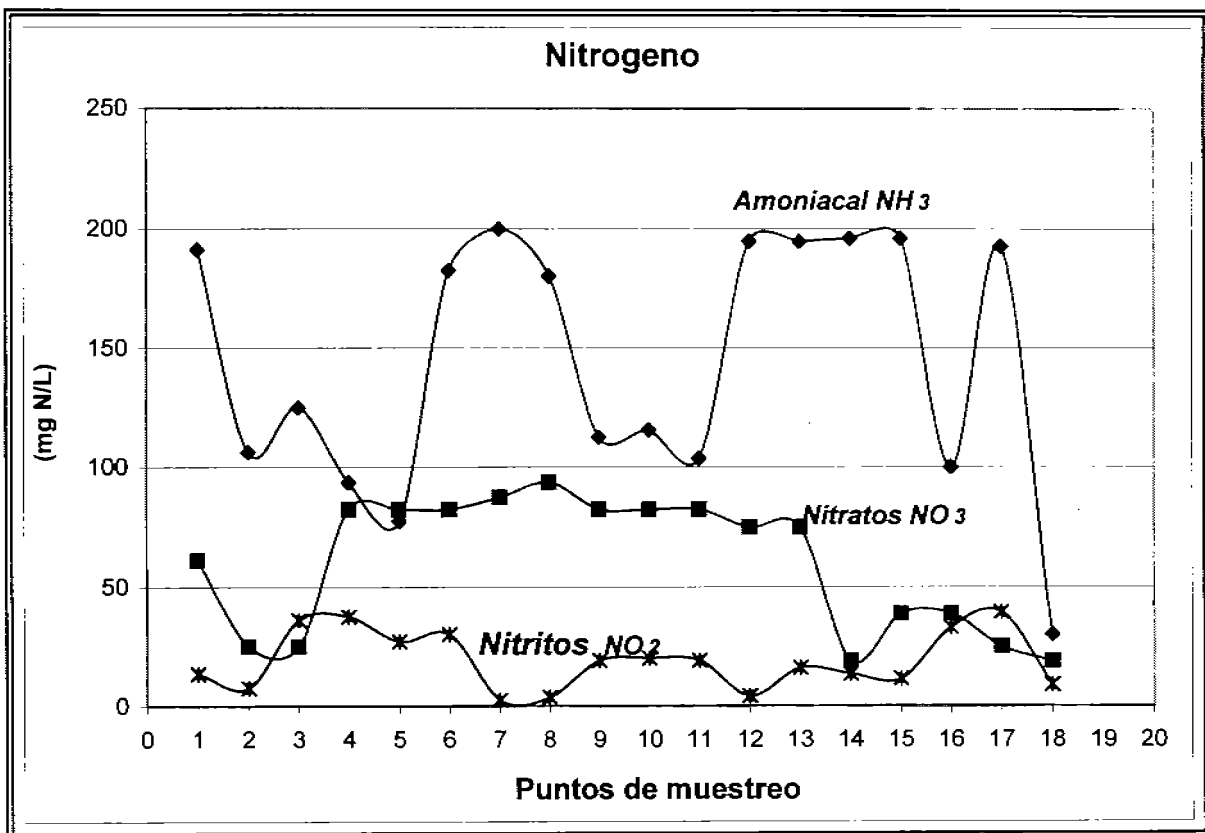


Figura 4.8. Nitrógeno en cada punto de muestreo.



4.3. RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN

Condiciones hidrodinámicas:

La simulación permitió obtener datos de velocidades y niveles de la superficie libre del agua en todos los nodos de la malla. Como primera observación, es importante decir que las curvas de gastos son casi idénticas a las curvas de velocidades.

Es sabido que en un canal tanto el gasto, la velocidad y el área de la sección transversal, son funciones del tiempo y dependen de la variación temporal de la elevación de la superficie libre del agua o del gasto.

Por lo tanto las fluctuaciones verticales de la corriente no afecta significativamente el área y por lo tanto la relación entre gasto y velocidad es casi lineal. Así mismo, y dado que se prescribieron en cada simulación gastos constantes durante todo el intervalo de modelación (el gasto no varía desde el principio hasta el fin de la simulación), las áreas de las secciones transversales de la alimentación del lago tampoco variaron significativamente.

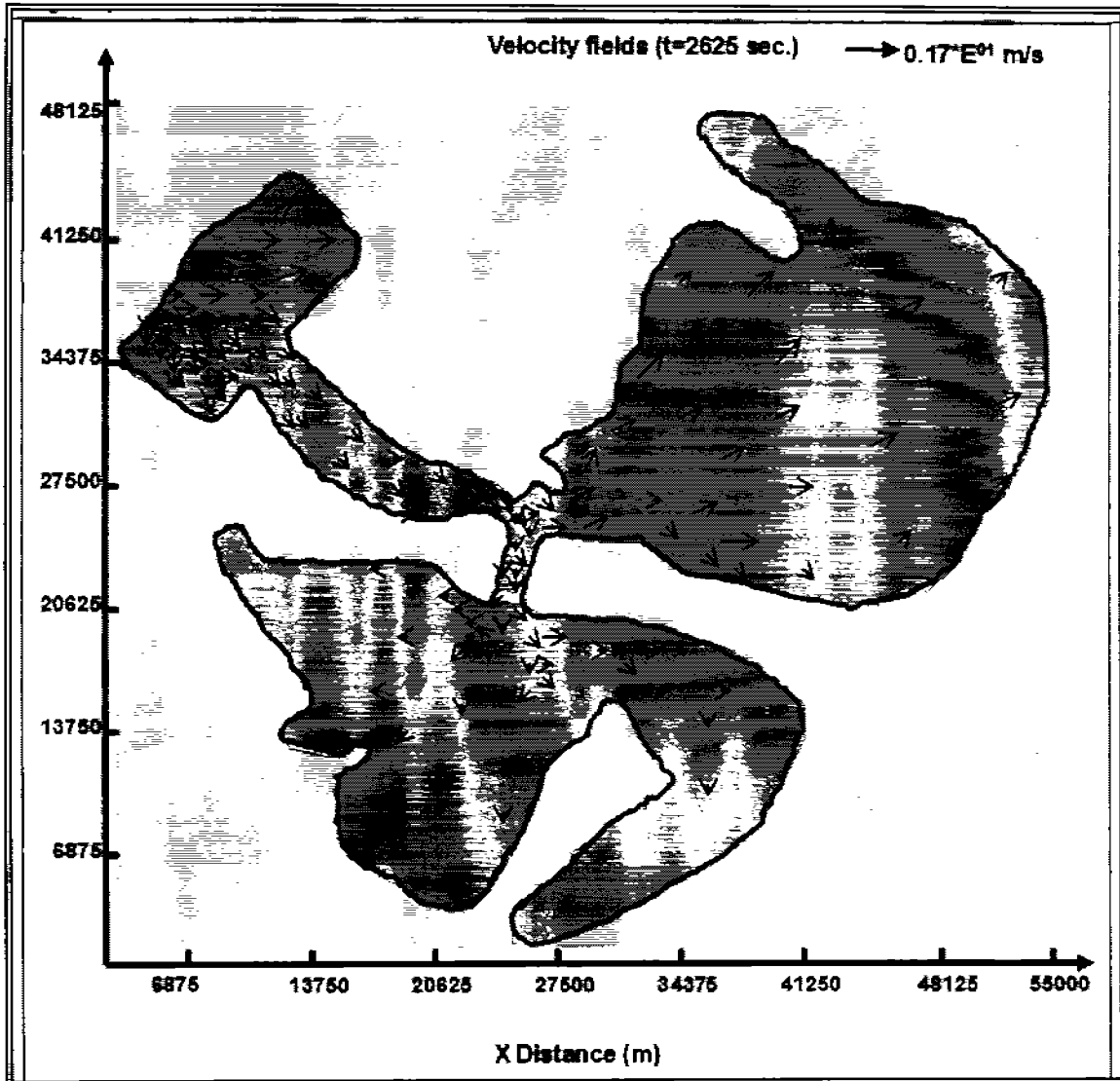


Figura 4.9. Magnitud y dirección de los vectores velocidad.

Transporte de partículas:

Las partículas suspendidas que una corriente levanta a través de su cauce, o que es aportada por el deslave de una ladera, por sus tributarios o por el movimiento de masa, se mueve corriente abajo hacia su eventual meta, el océano o cuerpos de agua que se encuentran en sitios bajos.



SIMULACIÓN DE LOS CONTAMINANTES EN EL LAGO DEL BOSQUE DE SAN JUAN DE ARAGÓN.



Cuando cae el agua y se filtra en el terreno, disuelve algunos de los componentes naturales del suelo y contaminantes que se encuentran en él. Después el agua se filtra a través de las aberturas, poros y grietas de la roca basal y disuelve materia adicional a medida que se mueve. La cantidad de materia disuelta contenida en el agua varía con la época climática, la estación y la ubicación geológica. Los compuestos que frecuentemente se encuentran en solución en el agua, sobre todo en regiones áridas, son los carbonatos de calcio y de magnesio. Además llevan pequeñas cantidades de cloruros, nitratos, sulfatos y sílice con quizás trazas de potasio.

Se presentan los resultados que suponen las velocidades de las corrientes generadas por el influente del lago, así como sus componentes de dirección, todo esto a lo largo de la zona más angosta del cuerpo de agua (Figura 4.9), donde se observa la ubicación de los puntos de control con los cuales se evaluó el transporte de partículas (SST) (Figuras 4.10,4.11 y 4.12) que pasaron a través de la mínima sección del cuerpo de agua (Salles, 2002; De Lorenz, 2004).

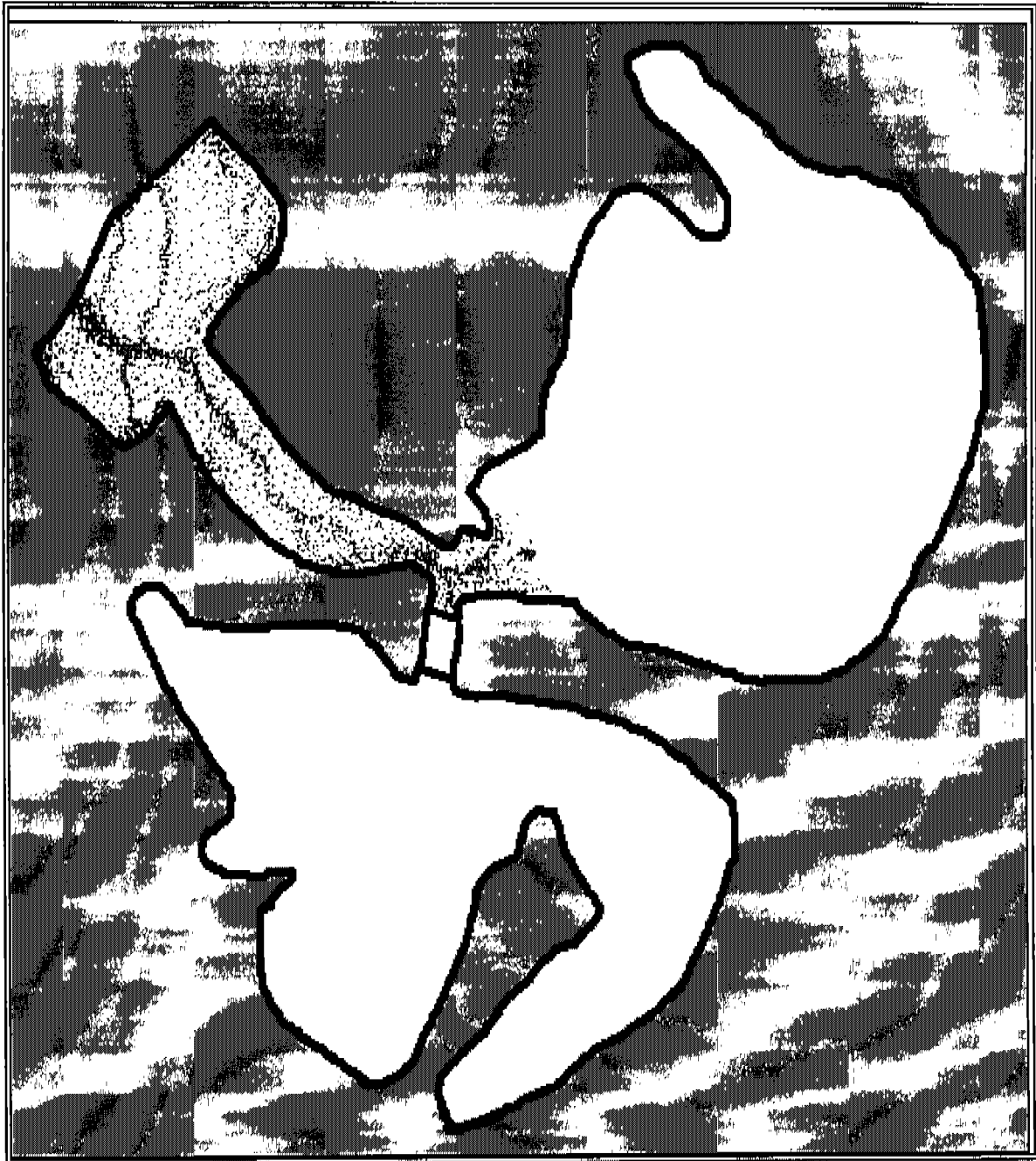


Figura 4.10. Transporte de partículas en la sección menor del claro norte.

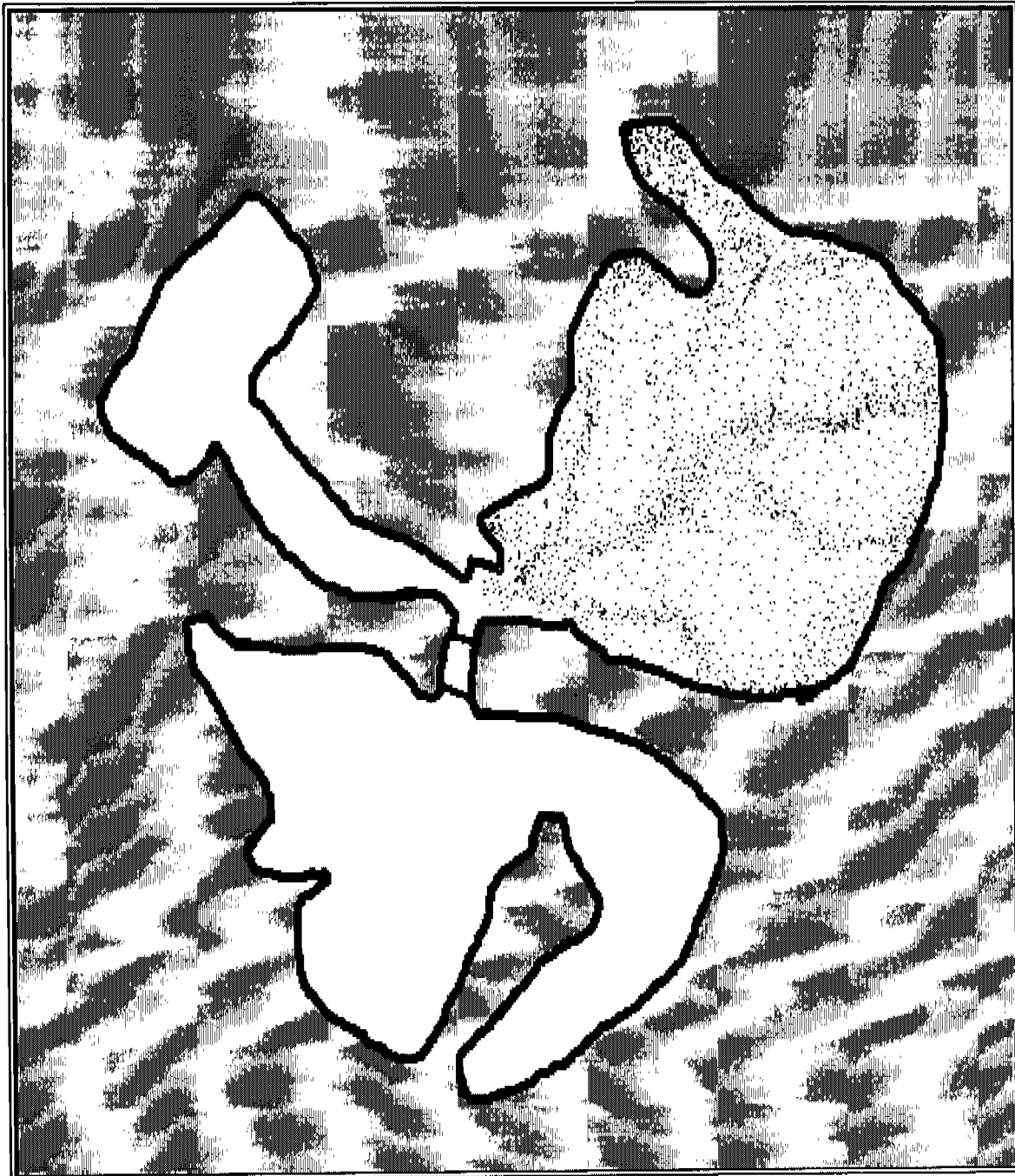


Figura 4.11. Transporte de partículas en la sección mayor del claro norte.

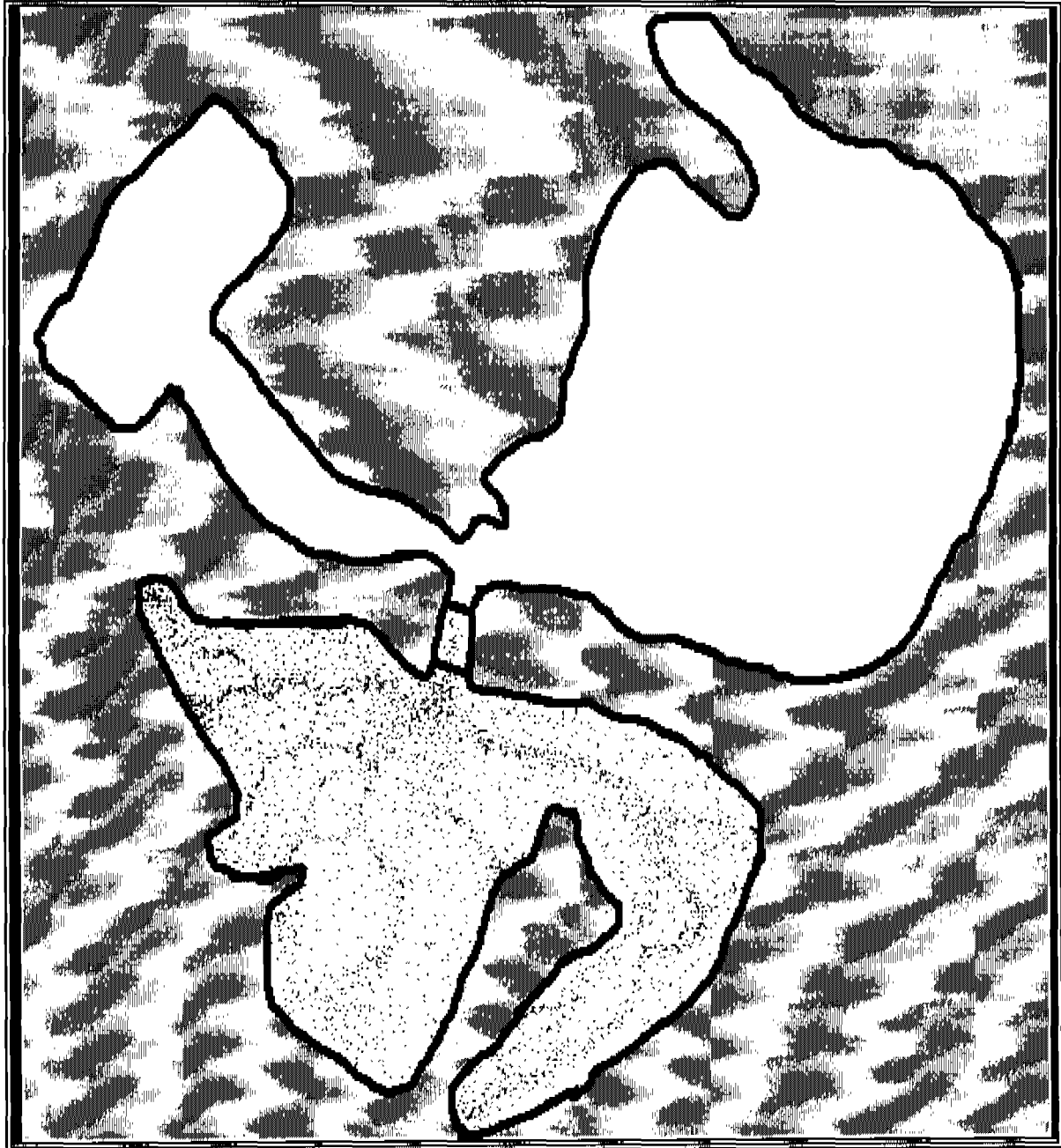


Figura 4.12. Transporte de partículas en el claro sur.



CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES



5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

5.1 CONCLUSIONES.

- a. Partiendo del muestreo se obtuvo que físicamente el cuerpo de agua tiene un problema de dispersión de partículas (como son los contaminantes y los SST) a través de sus claros.
- b. Con la determinación de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos se observó que las condiciones del lago del Bosque de San Juan de Aragón son las siguientes:
 - i. Gran azolvamiento por tener corrientes discontinuas lo cual se observó en la determinación de la turbiedad, color, y sólidos suspendidos totales.
 - ii. Una gran cantidad de sólidos suspendidos totales (SST) los cuales corroboran su presencia en la determinación de los mismos en el laboratorio. Estas partículas pueden ser de tipo orgánico e inorgánico considerando que existe fauna y una gran influencia de los visitantes.
 - iii. Cantidades importantes de nitritos y nitrógeno amoniacal, factores característicos de un medio anaeróbico, resultado del gran azolvamiento que existe en el cuerpo de agua así como la falta de un mantenimiento preventivo y correctivo en las instalaciones hidráulicas existentes en el mismo. La gran cantidad de nitritos y nitrógeno amoniacal son indicativos del principio del envejecimiento del cuerpo de agua que, a mediano plazo puede provocar focos de contaminación, y un deterioro estético del lugar.
 - iv. Gran cantidad de coliformes (T y F), indicando contaminación orgánica y actividades anaeróbicas, es decir que el oxígeno en el cuerpo de agua es insuficiente, provocando malos olores y la presencia de microorganismos (coliformes T y F) nocivos para los seres vivos. Esto es causa de la falta de circulación dentro del cuerpo de agua y del gran azolvamiento que existe en él. Este parámetro se considero como indicador de la contaminación del agua.

- v. Falta de aireación de las aguas del lago que es producto la decadente alimentación del influente al lago y del diseño discontinuo del cuerpo de agua evitando que haya el movimiento suficiente del agua para su reaeración. También se concluye que esto es resultado del azolvamiento presente en el cuerpo de agua y de la falta de un buen funcionamiento hidráulico e hidrodinámico.

- c. Con base a la simulación se concluye que el cuerpo de agua tiene velocidades internas discontinuas dentro de sus claros así como un decaimiento en las mismas causado por la gran cantidad de partículas sedimentadas, las cuales han cambiado la distribución de éstas. También permitió conocer que el transporte de dichas partículas y contaminantes es discontinuo identificando con esto los sitios más azolvados y posibles focos de contaminación.

- d. Finalmente se concluye que la falta de un plan de trabajo, donde se prevea un mantenimiento preventivo y correctivo del cuerpo de agua y sus instalaciones hidráulicas han generado la problemática actual que existe en el lago del Bosque de San Juan de Aragón.



5.2 RECOMENDACIONES.

- a) Realizar un seguimiento del cuerpo de agua determinando parámetros fisicoquímicos y microbiológicos con la finalidad de tener un control de dichas condiciones en el cuerpo de agua.
- b) Desarrollar un programa de desazolve del cuerpo de agua para que se evite que pierda profundidad y exista una mejor distribución de las velocidades en él y se reduzcan los focos de contaminación, llevándolo a cabo una vez al año.
- c) Realizar obras civiles que permitan una reaeración artificial en los sitios con mayor problema de azolvamiento y eutrofización.
- d) Generar un programa de actividades que permita la reactivación del funcionamiento hidráulico del lago, con base en un plan de trabajo que contenga el mantenimiento preventivo y correctivo mínimo requerido.
- e) Capacitar al personal administrativo y técnico del Bosque de San Juan de Aragón a fin de que den solución a los problemas preventivos y correctivos que se presenten.



REFERENCIAS.

- APHA, Métodos Normalizados. New York, Am Publichealth Assoc. 1989.

- Contaminación del agua. Regeneración. Purificación. Aguas contaminantes. Mares. Eutroficación. Biomagnificación.
http://html.rincondelvago.com/contaminacion-del-agua_5.html, France Telecom España, S.A.
C.I.F. A-82009812. Domicilio social en Madrid, en el Parque Empresarial La Finca, Paseo del Club Deportivo nº1, Edificio 8, 28223 Pozuelo de Alarcón.
R.M. de Madrid, T. 13.183, F. 129, H. M-213468, Insc. 1ª
Actividad: Operador de telecomunicaciones, con Licencia Tipo B1: para la prestación del Servicio telefónico fijo disponible al público, y, entre otras, Autorización General C: como Proveedor de acceso a Internet, todas ellas otorgadas por la Comisión del Mercado de las Telecomunicaciones (CMT).

- Delgadillo H. A., Ramírez O. Agua Purificada Bonatura. En línea . [Ultima actualización el 5 de Enero del 2004].
http://www.bonatura.com/2.01.11.16r_1r.html

- De Lorenz S. F., 2004. Dinámica de las partículas suspendidas en la zona oriente de la Laguna de Términos, tesis de maestría. Posgrado en Ingeniería, Facultad de Ingeniería UNAM. Abril del 2004.

- De Vitorica A. J. L., Romero L. F. y Vázquez G. F. (1983). Modelo hidrológico para el estudio de la Calidad del Agua en embalses. Instituto de Ingeniería, UNAM. Proy:3320.

- Diario Oficial de la Federación.
Norma Oficial Mexicana NOM- 001-SEMARNAT-1996

- Diario Oficial de la Federación.
Norma Oficial Mexicana NOM-003-SEMARNAT-1980.

- Encarta ® 2005. Biblioteca de Consulta Microsoft ® © 1993-2004 Microsoft Corporation. Reservados todos los derechos.



- Fernández V.G. Manual de laboratorio de química de agua. Facultad de Ingeniería, DEPMI, 2ª Reimpresión, México, 1990.

- Gallegos, A., La Recuperación del histórico Lago de Texcoco, una epopeya ambiental. [en línea]
http://www.mexicodesconocido.com.mx/espanol/naturaleza/otras_areas_naturales_prot/detalle.cfm?idpag=3546&idsec=9&idsub=0, mexico desconocido on line. Editorial México desconocido s.a. de c.v. 2004.

- García-Martínez y Rodríguez-Molina (1997). Hydro Track, User's Manual. Printed in Great Britain by Hobbs. The printers Ltd, Southampton. Computational Mechanics Publications. Southampton, Boston.

- García-Maya S. G. Saneamiento del Lago del Bosque de San Juan de Aragón (Estudio Preliminar). Tesis. México. 1998

- Gobierno del Distrito Federal.
www.sanjuandearagon.df.gob.mx/media/qtvt/aragon

- Hubbard D. Millipore. Catálogo en línea.
www.millipore.com/publications.nsf/docs/ Millipore Corporation, 290 Concord Road, Billerica, MA 01821. [Última actualización 25 de abril del 2005]

- Kjerve B., Magill K. E. y Sneed J. E. ; 1988. Modeling of circulation and dispersion in Terminos Lagoon, cap 6: 11-130. In: Yañez-Arancibia A. y J. W. Day, Jr (eds). Ecología de los ecosistemas costeros en el sur del Golfo de México: la región de la Laguna de Términos. Inst. Cienc. del Mar y Limnol. UNAM, Coast. Ecol. Inst. Lsu. editorial universitaria, México D.F. p: 518.

- Mantilla M., Salles A. de A. P., Espinal G. J. y Silva R., (2002). Interacción oleaje-corriente en la Boca de Puerto Real de la Laguna de Términos, Campeche. XVII Congreso Nacional de Hidráulica, Monterrey N. L., México. Grupo de Ingeniería de Costas y Puertos del Instituto de Ingeniería, UNAM.



SIMULACIÓN DE LOS CONTAMINANTES EN EL LAGO
DEL BOSQUE DE SAN JUAN DE ARAGÓN.



- Programa Universitario de Estudios de la Ciudad, UNAM, 2000.
- PUC. Pontificia Universidad Católica de Chile. 2004.
Almeda Bernardo O'Higgins #340- Mesa central. Santiago- Chile
http://www.puc.cl/quimica/agua/a_lagos.htm
- Ruiz O., <http://homepage.mac.com/helipilot/PhotoAlbum20.html> ,
piloto aviador, fotógrafo, computer geek, México. 2000
- Sánchez-Briebesca J. L. Y Fuentes Mariles O. A. (1992). Problemas
de Ingeniería Hidráulica y Ambiental. Instituto de Ingeniería, UNAM.
Nº- 33.
- Secretaría del Medio Ambiente. Historia del Bosque de San Juan de
Aragón. Tópico: Bosques Urbanos. [Citado 13 de Agosto de 2003.]
www.sma.df.gob.mx/sma/modules.php
- Secretaria del Medio Ambiente. Preguntas más frecuentes.
www.sma.df.gob.mx/bibliov/modules.phpname=news&file=article&sid=43swf