

**UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK**  
**Facultad de Ingeniería Ambiental**

**TESIS DE GRADO**

**CARACTERIZACIÓN FÍSICO QUÍMICA Y RECOMENDACIÓN  
DE SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE LAS AGUAS  
DEL CANAL DE RIEGO DE TUMBACO**

**PRESENTADO POR:  
ALEXANDRA GARCÍA ROSALES**

**DIRECTOR DE TESIS:  
ING. KATTY CORAL**

**QUITO, SEPTIEMBRE DEL 2002**

**A DIOS, A MI MADRE,  
A NICOLE, A EMILIA,  
A MELISSA, A ANTONIA  
Y A DANIEL.**

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios por darme la fortaleza y sabiduría para culminar mi carrera; a mi madre por su comprensión, amistad, amor y apoyo incondicional; a mis hermanos por su cariño, enseñanzas y ejemplo; a Nicole, Emilia, Melissa, Antonia y Daniel por llenar mi vida de cariño, ternura, inocencia y amor.

A la Ing. Katty Coral, al Ing. Kléber Machado y al Dr. Carlos Ordóñez por su guía y colaboración en esta investigación y a lo largo de la carrera.

A Daniela Rosero y Giancarlo Rivera por apoyarme y ser mis amigos incondicionales.

## RESUMEN

La presente investigación tiene por objetivo caracterizar las aguas del canal de riego de Tumbaco y determinar la presencia de elementos, que en altas concentraciones, perjudican a los cultivos y posteriormente a las personas que consumen estos alimentos.

A lo largo del canal se determinaron seis puntos de control en los que se realizaron siete muestreos periódicos. Se analizaron los siguientes parámetros: cloruros, nitritos, nitratos, fosfatos y sulfatos; así como metales pesados, detergentes y coliformes.

En las aguas de riego se encontró alta presencia de coliformes totales, los mismos que deberán ser tratados a través de un proceso de cloración.

Posteriormente se determinó el índice de calidad de agua tomando como referencia la Ley de Aguas del país. Y debido a que se trata de aguas de riego, en las que se encontraron cloruros, nitratos y sulfatos, es necesario establecer máximos permisibles para estos parámetros dentro de los criterios de aguas para uso agrícola de dicha ley.

**PALABRAS CLAVES:** Ley de Aguas, Tumbaco, cloración, índice de calidad de agua, máximos permisibles, agua de riego.

## **ABSTRACT**

The main objective of this investigation is to determine the elements that characterize the water of the Tumbaco's watering duct, which in highest concentration may damage the cultivation, and finally to the people who eat this food.

Along the irrigation duct was determine six control places where were realize seven periodic samples. There had been analyze the following parameters: chlorides, nitrites, nitrates, phosphates and sulfates. In the other hand, there was analyzing heavy metals, detergents and microbiological bacteria.

In this irrigation water was found high concentration of microbiological bacteria, which have to be treated by a chlorine process.

Finally was determining the water quality index taking as reference the Water Law of our country. Due to the matter that chlorides, nitrates and sulfates were found in this water and that it is used to irrigation, must be necessary to establish the maximum permissible levels for this parameters under the water criteria's for agriculture use, established in this law.

**KEY WORDS:** Water Law, Tumbaco, chlorine process, water quality index, maximum permissible levels, irrigation water.

**CARACTERIZACIÓN FÍSICO QUÍMICA Y RECOMENDACIÓN  
DE SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE LAS AGUAS  
DEL CANAL DE RIEGO DE TUMBACO**

<b>1 ANTECEDENTES.....</b>	<b>1</b>
<b>2 FUNDAMENTO TEÓRICO .....</b>	<b>4</b>
2.1 MUESTREO DE AGUAS.....	4
2.2 MÉTODOS DE MUESTREO .....	5
2.2.1 <i>Muestra simple o puntual</i> .....	5
2.2.2 <i>Muestras compuestas</i> .....	6
2.3 UBICACIÓN GEOGRÁFICA .....	6
2.4 ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO .....	8
2.5 ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO.....	8
2.6 SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS.....	8
2.6.1 <i>Tratamiento primario</i> .....	9
<b>3 PARTE EXPERIMENTAL.....</b>	<b>10</b>
3.1 UBICACIÓN DE PUNTOS DE MUESTREO.....	10
3.2 TOMA DE MUESTRAS SIMPLES Y COMPUESTAS EN EL CANAL.....	12
3.3 ANÁLISIS EN LABORATORIO DE LAS MUESTRAS TOMADAS.....	12
<b>4 TABLAS DE RESULTADOS.....</b>	<b>13</b>
4.1 DATOS EXPERIMENTALES .....	13
4.2 TRATAMIENTO ESTADÍSTICO DE LOS RESULTADOS .....	16
4.3 RESULTADOS .....	20
4.4 GRÁFICOS.....	26
<b>5 ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUA .....</b>	<b>47</b>
<b>6 RECOMENDACIÓN DE PARÁMETROS PARA AGUAS DE RIEGO... 49</b>	<b>49</b>
<b>7 SISTEMAS DE TRATAMIENTO RECOMENDADOS .....</b>	<b>50</b>
<b>8 CONCLUSIONES .....</b>	<b>51</b>
<b>9 RECOMENDACIONES.....</b>	<b>53</b>
<b>10 BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>54</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>56</b>

## 1 Antecedentes

El canal de riego de Tumbaco recibe afluentes que causan el deterioro de la calidad de sus aguas, por lo que es necesario determinar parámetros que caractericen estas aguas. Se debe señalar la necesidad de mantener estas aguas en buen estado, debido a la importancia que tiene el recurso no solo para el riego sino como elemento vital y recurso agotable.

El objetivo principal de esta investigación es caracterizar las aguas del canal de riego de Tumbaco mediante el análisis físico – químico y microbiológico de las mismas para posteriormente recomendar sistemas de tratamiento que eliminen sustancias que afecten a los cultivos y a la población. Otros objetivos del presente estudio son: determinar las principales fuentes de contaminantes que afectan a la calidad del agua, concienciar a la gente en evitar contaminar el agua y proponer un tratamiento que ubique los parámetros dentro de los límites permisibles para uso en riego, sea éste técnico o tradicional.

El agua de riego varía su calidad según la procedencia, por lo que para su estudio se deben considerar efectos sobre suelos, cultivos y plantas, animales y personas que consumen estas plantas y frutos. Es muy importante considerar aspectos como los niveles de patógenos y metales pesados y la aportación de nutrientes.<sup>1</sup>

Las aguas residuales, procedentes de toda actividad humana, al ser vertidas al suelo y/o cuerpos de agua, generan un impacto negativo al ambiente, el uso de esta agua en la agricultura puede ocasionar la acumulación de metales pesados en los suelos, afectando de esta manera a los cultivos en su rendimiento y crecimiento<sup>2</sup>, y al actuar sobre las cadenas tróficas puede perjudicar a la salud humana, debido a la ingestión de alimentos regados

---

<sup>1</sup> <http://www.upf.es/occ/aiguariu/cast/lliures/rece.htm>

<sup>2</sup> Sánchez, N. Acumulación de lavado de sales y metales pesados en un suelo cultivado con caña de azúcar regado con agua servida en el Sistema de Riego. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía. Venezuela. 1993.

con este tipo de agua<sup>3</sup>. De la misma manera, puede causar daño a la salud humana por la presencia de productos químicos orgánicos e inorgánicos y otros compuestos tóxicos que ingresan a la cadena alimenticia a través de alimentos para el hombre o para animales<sup>4</sup>.

Las aguas de riego en su mayoría tendrán excesos de nitritos y nitratos debido a la utilización de abonos inorgánicos y orgánicos. Al utilizar cantidades excesivas de abonos, estos no son asimilados en su totalidad por los cultivos, siendo arrastrados a acuíferos y llegando así a las aguas de riego y a cultivos posteriores. El gran uso de pesticidas aumenta la predisposición para contraer plagas y provoca acumulación en las plantas, las mismas que eliminan estos excesos a través de los frutos<sup>5</sup>.

Los nitratos tienen un alto poder de infiltración y al ser estos parte de los fertilizantes, se pueden encontrar fuentes de agua contaminadas, que en altas concentraciones producen trastornos sanguíneos. Además, los altos niveles de nitratos y fosfatos en el agua estimulan el crecimiento de algas verde-azules, que llevan a la desoxigenación, perjudicando el metabolismo de los organismos que sirven de depuradores, al descomponer materia orgánica<sup>6</sup>.

Los metales pesados en pequeñas cantidades son considerados micronutrientes, pero pasado el límite tolerable se consideran elementos perjudiciales para la salud; así el uso de fertilizantes produce contaminación por fosfatos y nitratos, además de contener metales pesados; éstos producen contaminación del suelo<sup>7</sup>.

---

<sup>3</sup> Castro, L. Evaluación de riesgos para la salud por el uso de las aguas residuales en agricultura. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. Lima - Perú. 1993.

<sup>4</sup> Saénz, R. Forero Asesor de la División de Salud y Ambiente OPS/OMS. Federación Panamericana de Asociaciones de Facultades de Medicina. Bogotá – Colombia. 1999.

<sup>5</sup> <http://www.eapv.org/agriculturaecologica.htm>

<sup>6</sup> Population Information Program. Center for Communication Programs. Enfermedades transmitidas por el agua.. The Johns Hopkins School of Public Health. Baltimore – Maryland - USA. 1999.

<sup>7</sup> García, I. Dorronsoro, C. Contaminación del Suelo. Departamento de Edafología y Química Agrícola. Unidad Docente e Investigadora de la Facultad de Ciencias. Universidad de Granada. España. 1995.

El plomo y el cadmio se consideran metales pesados potencialmente tóxicos para el ser humano, principalmente por el cuadro clínico que producen y por su alta acumulación. El plomo podrá estar presente en alimentos como residuo de plaguicidas, su consumo aún en bajas concentraciones durante largos periodos de tiempo provoca acumulación, la misma que manifiesta sus efectos tóxicos.

El cadmio es rápidamente absorbido por las plantas y no es fitotóxico, sin embargo es muy tóxico para el hombre y se acumula en el hígado y riñones; de igual manera como elemento traza en aguas de riego puede ser tóxico para personas y animales.

Las sales insolubles de cromo pueden afectar el organismo si son inhaladas o ingeridas; sin embargo el cromo como microelemento esencial es necesario para el metabolismo de los ácidos grasos que intervienen en diferentes sistemas enzimáticos por lo que debe ser ingerido. El cromo tiene una pobre absorción gastrointestinal y es eliminado a través de la orina y heces<sup>8</sup>. En lugares que carecen de instalaciones sanitarias, las enfermedades transmitidas por el agua se propagan con mayor rapidez, debido a que excrementos portadores de organismos infecciosos son arrastrados por el agua o se lixivian hacia el agua y los alimentos. El agua contaminada con excrementos humanos, animales o químicos y la falta de instalaciones sanitarias como sistemas de alcantarillado y letrinas pueden producir enfermedades tales como: cólera, tifoidea, shigella, poliomielitis, meningitis y hepatitis A y E.

Las aguas negras que se evacuan en letrinas abiertas, canales de agua o que se esparcen en tierras cultivadas producen enfermedades diarreicas; además que el uso de aguas servidas como fertilizante puede provocar epidemias como el cólera o hepatitis<sup>9</sup>.

---

<sup>8</sup> <http://www.fepafem.org/investigaciones/metalespesados/2.htm>

<sup>9</sup> IBIDEM 6

El consumo de alimentos contaminados, ocasiona la acumulación de toxinas en el cuerpo, las que producen debilidad y mayor disposición a enfermedades. Las practicas tradicionales agrícolas perjudican el campo y a los productos, no así la agricultura biológica, esta actividad requiere agua de riego libre de residuos tóxicos. Los productores de alimentos biológicos se preocupan por la calidad de agua con que riegan, ya que los productos no deben tener restos de pesticidas, microorganismos, metales pesados u otros elementos perjudiciales para la salud humana.

El abusivo uso de productos químicos para la agricultura, fertilizantes, plaguicidas y desechos industriales provoca que estos se encuentren cada vez en mayor proporción en las aguas; pudiendo estar en bajas concentraciones, sin embargo tienden a acumularse, lo que ocasiona, en ciertos casos, enfermedades crónicas como el cáncer<sup>6</sup>. Además en el país los productos contaminantes son comercializados libremente y al no existir ninguna restricción en la compra de estos, su utilización y efectos pueden aumentar; también es importante mencionar que el forraje sirve de alimento para ganado vacuno u otros animales que se contaminan y luego se comercializan, llegando así al hombre.

## **2 Fundamento Teórico**

### **2.1 Muestreo de aguas**

Para determinar las características del agua, será necesario obtener el caudal en los puntos de muestreo, recolectar muestras representativas y analizar las muestras obtenidas. El muestreo de agua se realiza para obtener muestras que sean representativas, es decir que por su composición caracterizaran el agua del canal de riego. Se deberá definir también la ubicación de los puntos de muestreo, el número de muestras, el tipo de muestreo, las características del muestreo y la periodicidad del mismo<sup>10</sup>.

---

<sup>10</sup> Kemmer, F. McCallion, J. Manual del Agua. Su naturaleza, tratamiento y aplicaciones. Nalco Chemical Company. McGraw-Hill. México. 1989.

En aguas superficiales en movimiento, como ríos, arroyos y canales, la toma de muestra se debe realizar en un lugar en donde la corriente sea normal, se debe evitar recoger material flotante y se deberá sumergir el recipiente con la boca en contra de la corriente<sup>11</sup>.

Para el análisis físico - químico el muestreo en aguas de riego deberá ser en envase con tapa rosca de vidrio o plástico con un volumen mínimo de 1.5 litros y el envase se deberá llenar completamente. El envase deberá ser enjuagado varias veces con el agua a muestrear y la muestra deberá ser guardada inmediatamente a 4°C<sup>12</sup>.

## **2.2 Métodos de muestreo**

### **2.2.1 Muestra simple o puntual**

Son tomadas cuando un cuerpo de agua mantiene sus características o cuando recibe afluentes que desean ser caracterizados a intervalos de tiempo; en el segundo caso estas muestras simples son analizadas por separado para registrar la frecuencia y duración de las variaciones en el cuerpo de agua.

Una muestra simple o puntual representa la composición del agua original para el lugar, tiempo y circunstancias que se realizó el muestreo<sup>13</sup>.

Es necesario tomar muestras simples en envases estériles para analizar parámetros microbiológicos como: coliformes totales.

Así también, es necesario determinar en muestras simples e instantáneas parámetros in-situ, el pH, debido a que si se mezclan dos o más muestras de agua simples pueden ocurrir reacciones que alterarían el valor real del pH<sup>14</sup>.

---

<sup>11</sup>Normas de toma de muestras. Sociedad Rural Argentina. Laboratorio de análisis agropecuarios. Buenos Aires – Argentina. 1997.

<sup>12</sup>[http://www.mgap.gub.uy/Renare/SuelosyAguas/ServiciosyControles/Suelos\\_y\\_Aguas\\_Calidad\\_Agua\\_Riego.htm](http://www.mgap.gub.uy/Renare/SuelosyAguas/ServiciosyControles/Suelos_y_Aguas_Calidad_Agua_Riego.htm)

<sup>13</sup>[http://www.drcalderonlabs.com/Metodos/Lista\\_de\\_Metodos.htm](http://www.drcalderonlabs.com/Metodos/Lista_de_Metodos.htm)

### **2.2.2 Muestras compuestas**

Son muestras obtenidas de la combinación de muestras simples y son tomadas en un mismo lugar con intervalos de tiempo determinados e iguales para obtener una muestra uniforme; son utilizadas para determinar concentraciones promedio de componentes que no sufren alteraciones al momento de tomar la muestra y de ser almacenado<sup>15</sup>.

### **2.3 Ubicación geográfica**

El canal de riego en estudio esta ubicado en el sector de Tumbaco, la ubicación geográfica ha sido determinada mediante GPS y las coordenadas de los puntos de muestreo son las siguientes:

Punto 1 → 17792428 E

9974439 N

Punto 2 → 17791449 E

9974809 N

Punto 3 → 17790632 E

9974763 N

Punto 4 → 17789707 E

9974956 N

Punto 5 → 17788537 E

9974928 N

Punto 6 → 17788359 E

9975829 N

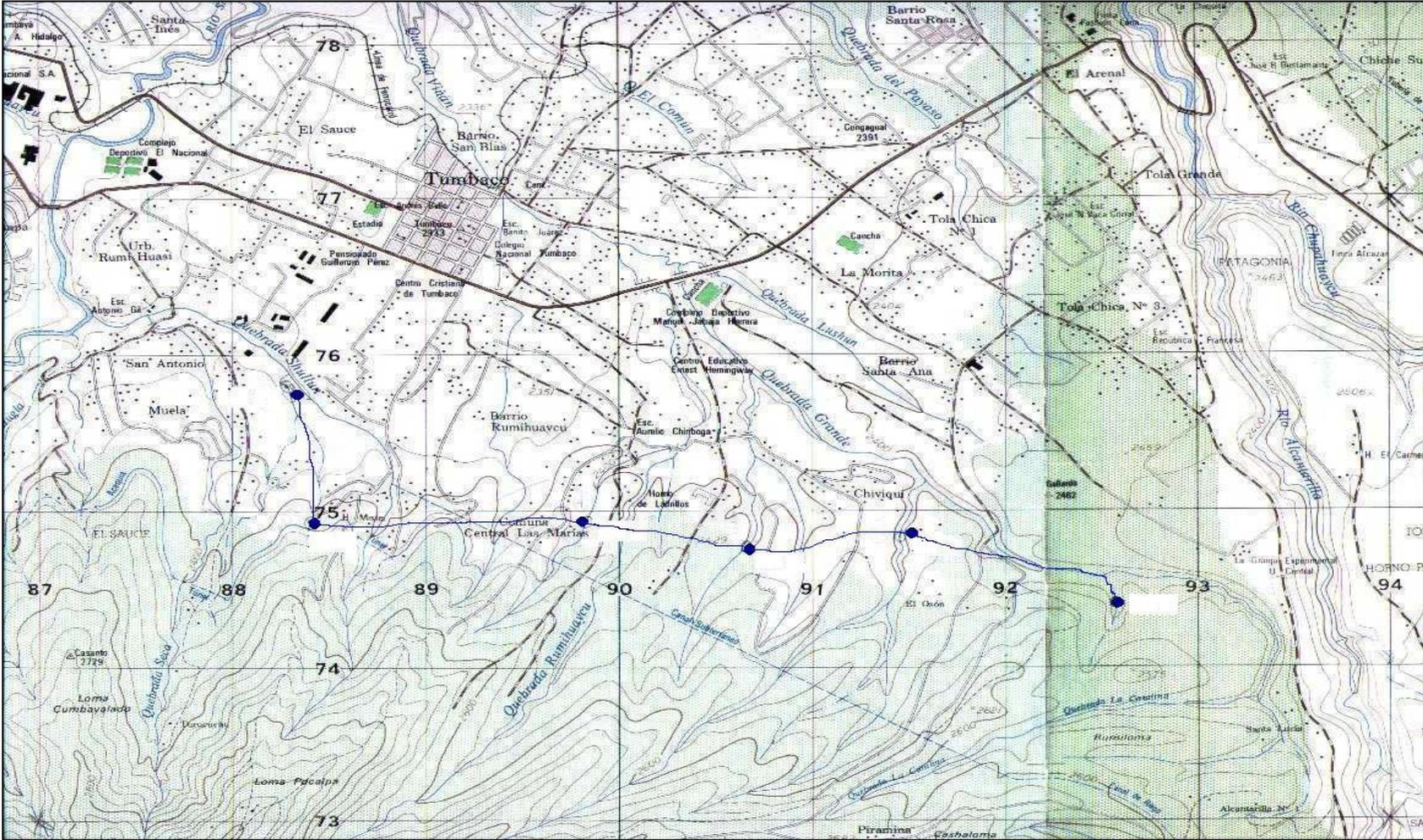
En el Figura 1 se indica la ubicación del canal de riego.

---

<sup>14</sup> Falcón, C. Manual de Tratamiento de Aguas Negras. Editorial Limusa. Departamento de Sanidad del Estado de Nueva York. México. 1990.

<sup>15</sup> IBIDEM 14

FIGURA 1



## **2.4 Análisis físico químico**

Para valorar la calidad de las aguas para riego se emplean los mismos criterios que para las aguas superficiales o subterráneas, es decir, su contenido en elementos potencialmente fitotóxicos como los cloruros y la concentración de metales pesados, nutrientes y compuestos orgánicos<sup>16</sup>.

En este estudio únicamente se han estudiado parámetros como: cadmio, cromo total, plomo, potencial de hidrogeno, conductividad eléctrica, sólidos disueltos totales, temperatura, detergentes, cloruros, nitritos, nitratos, fosfatos y sulfatos.

Los parámetros obtenidos en los análisis realizados serán comparados con la Ley de Aguas del país, actualizada en septiembre de 1999; los criterios para aguas de uso agrícola están detallados en el anexo 1.

## **2.5 Análisis microbiológico**

Las aguas deben estar libres de organismos patógenos, los coliformes se usan como indicadores, a pesar de no ser patógenos están presentes en el tracto intestinal de personas y animales de sangre caliente<sup>17</sup>.

## **2.6 Sistema de tratamiento de aguas**

Los sistemas de tratamiento permiten eliminar los contaminantes presentes en las aguas, mediante diferentes procesos de los cuales se obtendrá un residuo que deberá así mismo recibir el tratamiento adecuado.

Los tratamientos primarios son todos los tratamientos físicos, así como: filtración, sedimentación, flotación, cribado.

---

<sup>16</sup> Ramos, C. El uso de aguas residuales en riegos localizados y en cultivos hidropónicos. Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias. España. 1990.

<sup>17</sup> IBIDEM 10

Para los tratamientos secundarios intervienen reacciones químicas y/o biológicas; y constituyen tratamientos como: coagulación, floculación, aireación, carbón activado, lodos activados.

### **2.6.1 Tratamiento primario**

Constituyen tratamientos para la remoción de sólidos suspendidos en el agua, los sólidos coloidales o disueltos no serán retenidos y para estos se utilizará tratamientos secundarios.

#### **2.6.1.1 Cribado**

Los sólidos o materia en suspensión que desea ser eliminada de las aguas es retenida en mallas de diferentes diámetros, para de esta manera eliminar material suspendido que interferiría en los procesos subsiguientes.

#### **2.6.1.2 Sedimentación**

Es un proceso que utiliza la fuerza gravitatoria sobre los sólidos en suspensión, estos sedimentarán al disminuir la velocidad del agua y al proporcionar un tiempo de residencia o retención<sup>18</sup>.

#### **2.6.1.3 Filtración**

La filtración en un medio granular puede tratar sólidos suspendidos de hasta 1000 mg/l y tendrá una eficiencia del 90%. El filtro estará formado por arenas de diferentes diámetros, en la parte superior estarán colocadas las partículas de menor diámetro; un filtro también puede estar constituido por un solo medio filtrante el que de igual manera deberá ser colocado, en la parte superior, las partículas más pequeñas o de menor diámetro. El filtro tendrá que ser lavado mediante un retrolavado o lavado en contra corriente con agua, si el filtro opera de la manera descrita, es decir que el agua fluye desde las partículas finas a las gruesas no se afectará la estructura del filtro;

---

<sup>18</sup> IBIDEM 10

en el caso que la arena de menor diámetro esté ubicada en la parte inferior del filtro, al momento del retrolavado, la arena enjuagada llegará a la parte superior del filtro<sup>19</sup>.

#### **2.6.1.4 Flotación**

Para este proceso se utiliza la diferencia de densidades, por lo que los sólidos o líquidos de menor densidad con respecto al agua flotarán. Se puede realizar flotación por aire dispersado o por aire disuelto. En la flotación por aire disuelto se inyecta aire a presión que forma pequeñas burbujas de 10 a 100 micras de diámetro que atrapan a los sólidos y aumentan la flotabilidad de las partículas, siendo este un proceso de clarificación. Y por aire dispersado las burbujas son mayores de 100 micras de diámetro y impulsan hacia arriba a los sólidos<sup>20</sup>.

### **3 Parte experimental**

#### **3.1 Ubicación de puntos de muestreo**

Los puntos de muestreo fueron ubicados tomando en cuenta principalmente las entradas de corrientes de agua al canal de riego; en su mayoría constituyen desagües de lavanderías, aguas negras y escorrentías de agua lluvia. También se ubicaron puntos de muestreo al inicio y al final del canal; en el Figura 2 se indica la ubicación de los puntos de muestreo.

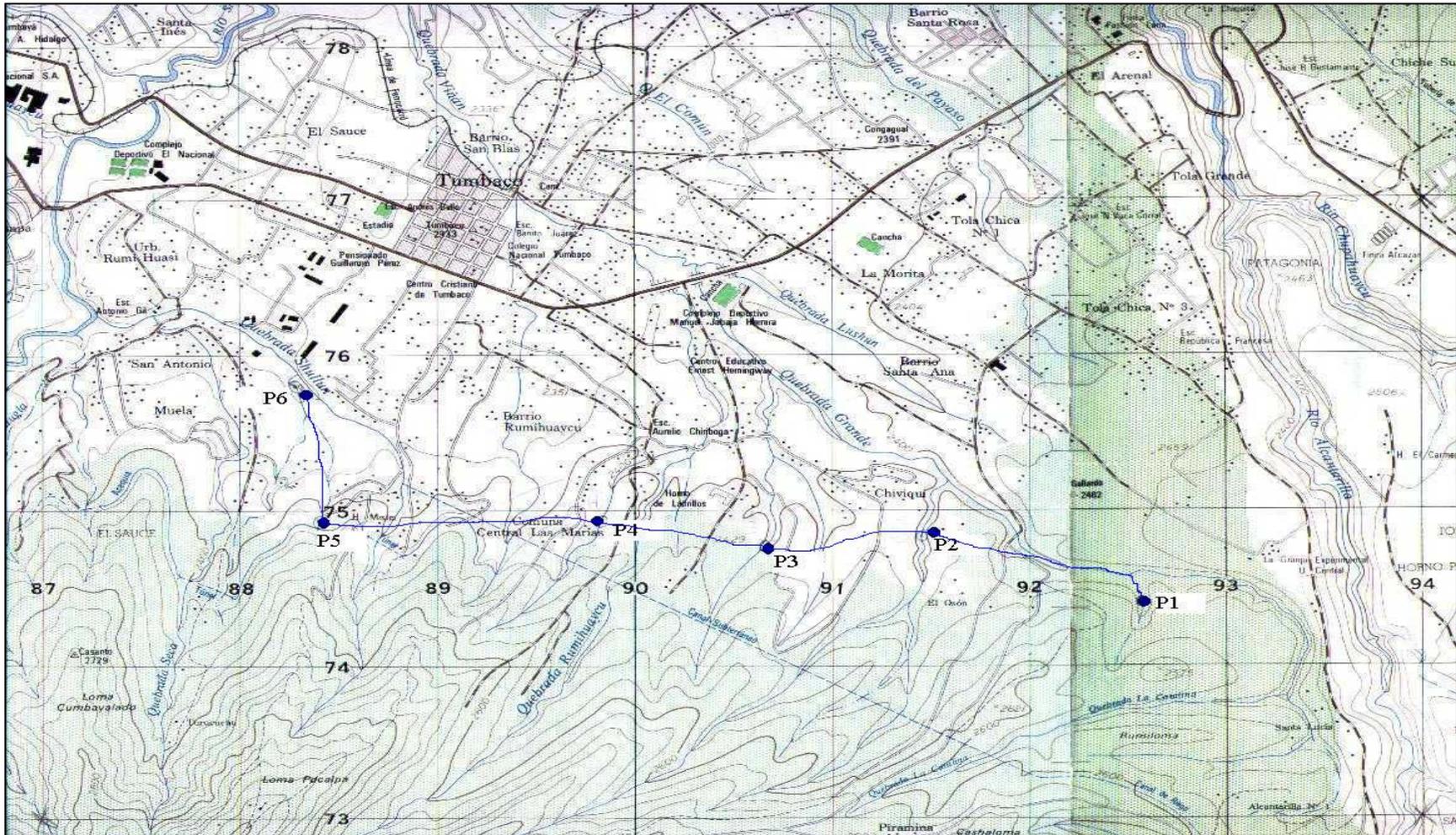
Se ubicaron seis puntos de muestreo a lo largo del canal, el primero al inicio del canal en las instalaciones de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad Central del Ecuador; el segundo, aguas abajo de una lavandería; el tercer punto fue ubicado principalmente por encontrarse cerca a un asilo de ancianos que elimina las aguas negras a este canal; el cuarto punto, después de un pequeño grupo de casas, el quinto, pasando la Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado (EMAAP) y el sexto frente a una invasión de terrenos del IESS.

---

<sup>19</sup> IBIDEM 10



FIGURA 2



Inicialmente se tomo un punto más de muestreo, ubicado antes del asilo de ancianos, para así asegurar que la presencia de coliformes no se deba únicamente a la descarga que este sitio realiza al canal.

### 3.2 Toma de muestras simples y compuestas en el canal

Luego de ubicar los puntos de muestreo a lo largo del canal, se tomó muestras compuestas de 2 litros en cada punto y muestras simples para análisis de coliformes, los dos tipos de muestras se tomo con 1 semana de intervalo.

### 3.3 Análisis en laboratorio de las muestras tomadas

Los parámetros para la caracterización física química han sido determinados siguiendo el procedimiento indicado en el manual del Espectrofotometro DR/4000 marca HACH y normas EPA.

La Tabla 1 indica el programa y método utilizado para la determinación de los parámetros, así como el rango de lectura y si la aplicación del programa es aprobada por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA).

PARAMETRO	PROGRAMA	METODO	RANGO DE LECTURA	USEPA
Nitritos	2610	8507	0 - 0,3000 mg/l	Aprobado para análisis de aguas residuales
Nitratos	2515	8192	0 - 0,50 mg/l	
Fosfatos	3025	8048	0 - 2,500 mg/l	Aceptado para análisis de aguas residuales
Sulfatos	3450	8051	0 - 70,0 mg/l	Aceptado para análisis de aguas residuales
Cloruros	1400	8113	0 - 25,00 mg/l	
Cadmio	1350	8017	0 - 80,0 g/l	
Cromo total	1580	8024	0 - 0,700 mg/l	
Plomo	2200	8033	0 - 300 g/l	Aceptado para análisis de aguas residuales
Detergentes	1850	8028	0 - 0,275 mg/l	

El análisis microbiológico ha sido realizado considerando el número más probable de coliformes presentes por 100 ml de agua; se utilizó el caldo FLUOROCULT (Merck), el mismo que al cambiar de color bajo la lámpara de luz ultravioleta indica presencia de coliformes, sin embargo para tubos dudosos se usó el reactivo del INDOL para microbiología. A partir de la prueba múltiple de tubos, se obtuvo el NMP/100 ml (Anexo 2).

## 4 Tablas de resultados

### 4.1 Datos experimentales

#### PUNTO 1

pH	Temperatura	Conductividad	TDS
8,5	12,1	0,26	0,13
7,5	13	0,23	0,14
8,7	14,2	0,31	0,16
8,8	12,1	0,28	0,14
8,8	13,8	0,3	0,15
8,9	12,7	0,27	0,14
8,4	13,1	0,32	0,16

Cloruros	Nitritos	Nitratos	Fosfatos	Sulfatos
8,43	0,0041	0,12	0,459	18
6,13	0,0093	0,12	0,697	20,2
10,67	0,0015	0,18	0,792	23,7
7,31	0,0069	0,13	0,63	21,4
6,47	0,0023	0,15	0,679	19,6
9,32	0,0036	0,11	0,536	20,7
7,15	0,0143	0,07	0,753	6,6

Cadmio	Cromo	Plomo	Detergentes	NMP
17,1	0,037	62	0,007	2400
5,2	0,451	25	0,025	2400
1,9	0,026	18	0,02	1110
1,9	0,1	8	0,011	1110
1,4	0,001	12	0,009	2400
1,3	0,01	8	0,015	1110
3	0,012	15	0,004	2400

#### PUNTO 2

pH	Temperatura	Conductividad	TDS
8,2	13,2	0,27	0,13
7,7	14,9	0,31	0,16
8,7	14,7	0,25	0,13
8,5	13,1	0,26	0,13
8,3	14,1	0,28	0,14
8,5	13,4	0,25	0,12
8,2	13,5	0,3	0,15

Cloruros	Nitritos	Nitratos	Fosfatos	Sulfatos
7,84	0,0046	0,11	0,468	24,4
7,64	0,0074	0,08	0,686	22,4
10,97	0,0038	0,17	0,887	22
7,15	0,0022	0,11	0,622	22,1
7,37	0,0034	0,13	0,54	22,3
8,23	0,0016	0,09	0,513	21,9
7,56	0,0099	0,06	0,566	3,5

Cadmio	Cromo	Plomo	Detergentes	NMP
45	0,003	28	0,007	2400
5,7	0,653	46	0,012	1110
9,8	0,036	34	0,007	1110
2,4	0,009	12	0,004	2400
3,3	0,009	4	0,013	2400
1	0,005	10	0,009	1110
2,1	0,007	10	0,004	2400

### PUNTO 3

pH	Temperatura	Conductividad	TDS
8,1	13,8	0,26	0,12
7,7	16,7	0,31	0,16
8,5	15,2	0,28	0,15
8,6	15,2	0,27	0,13
8,3	14,9	0,29	0,14
8,7	15,1	0,26	0,13
8,2	15,2	0,3	0,15

Cloruros	Nitritos	Nitratos	Fosfatos	Sulfatos
4,93	0,0073	0,08	0,631	23,6
7,45	0,011	0,05	0,772	24,3
13,21	0,0017	0,15	0,588	19,9
8,21	0,0042	0,08	0,614	21,5
7,56	0,0016	0,09	0,551	21,7
11,65	0,0051	0,07	0,532	22,6
7,91	0,0001	0,01	0,687	4,6

Cadmio	Cromo	Plomo	Detergentes	NMP
12,5	0,002	15	0,008	2400
4	0,079	25	0,028	2400
3,2	0,033	7	0,016	2400
2,1	0,035	35	0,004	1110
0,6	0,008	19	0,011	1110
1	0,005	6	0,009	2400
2,6	0,001	29	0,005	2400

#### PUNTO 4

pH	Temperatura	Conductividad	TDS
8,2	14,1	0,25	0,14
7,8	17,6	0,31	0,16
8,5	15,6	0,25	0,14
8,5	15,3	0,29	0,14
8,2	15,1	0,28	0,14
8,2	15,3	0,27	0,13
8,1	15,5	0,29	0,14

Cloruros	Nitritos	Nitratos	Fosfatos	Sulfatos
8,01	0,0031	0,09	0,634	28,2
8,06	0,0038	0,03	0,645	24,7
15,96	0,0001	0,16	0,704	20,2
7,12	0,0056	0,09	0,808	22,6
8,03	0,0064	0,11	0,579	22,3
9,65	0,0039	0,05	0,552	23,5
8,37	0,0015	0,04	0,465	2,9

Cadmio	Cromo	Plomo	Detergentes	NMP
10,1	0,002	17	0,008	1110
4,9	0,094	32	0,011	2400
3,3	0,023	18	0,023	2400
1,9	0,005	8	0,037	1110
1,7	0,008	5	0,025	1110
2,1	0,034	35	0,017	2400
4,7	0,031	32	0,003	2400

#### PUNTO 5

pH	Temperatura	Conductividad	TDS
8,3	15,1	0,28	0,14
7,6	17,8	0,33	0,17
8,5	16,2	0,3	0,15
8,3	16,7	0,29	0,14
8,3	15,7	0,28	0,14
8,5	16,1	0,29	0,14
8	16,3	0,31	0,15

Cloruros	Nitritos	Nitratos	Fosfatos	Sulfatos
10,31	0,0017	0,1	0,622	27,1
8,52	0,0036	0,05	0,754	23,6
14,75	0,0001	0,13	0,779	17,1
7,63	0,0078	0,01	0,647	22,8
8,14	0,0057	0,12	0,596	21,9
9,47	0,0021	0,03	0,573	22,7
9,16	0,0029	0,04	0,792	3,3

Cadmio	Cromo	Plomo	Detergentes	NMP
14,9	0,018	14	0,002	2400
4,6	0,069	31	0,004	2400
3,1	0,032	14	0,004	1110
1,9	0,011	4	0,011	2400
1,8	0,008	4	0,013	2400
2,2	0,011	21	0,007	2400
2,6	0,019	19	0,002	2400

## PUNTO 6

pH	Temperatura	Conductividad	TDS
8,2	16,8	0,3	0,15
7,5	20,8	0,31	0,16
8,2	18,3	0,33	0,18
8,2	16,9	0,3	0,15
8,3	17,4	0,31	0,15
8,5	16,8	0,3	0,15
8,2	17,1	0,31	0,16

Cloruros	Nitritos	Nitratos	Fosfatos	Sulfatos
7,8	0,004	0,08	0,698	31,5
10,7	0,0044	0,01	0,876	24,3
14,5	0,002	0,12	0,78	16,5
7,3	0,0034	0,05	0,643	23,5
8,3	0,0307	0,11	2,337	2,4
9,7	0,005	0,09	0,735	22,1
8,1	0,0031	0,04	0,57	3,1

Cadmio	Cromo	Plomo	Detergentes	NMP
6,6	0,014	21	0,009	2400
4,1	0,091	25	0,02	1110
4	0,033	11	0,016	1110
2,3	0,014	4	0,008	2400
2	0,001	25	0,014	2400
1,1	0,019	8	0,008	2400
3,6	0,015	18	0,002	2400

## 4.2 Tratamiento estadístico de los resultados

El análisis de los datos obtenidos se realizará mediante Hanssen, éste análisis permite predecir las concentraciones de los diversos parámetros a diferentes probabilidades de ocurrencia; así como el valor máximo, mínimo y promedio, los mismos que son valores notables.

Para el análisis estadístico se siguió el siguiente procedimiento, a continuación se demuestra la aplicación del método utilizando los valores de pH obtenidos en el primer punto de muestreo:

1. Ordenar en una tabla los valores obtenidos experimentalmente en laboratorio o en el campo.

<b>pH</b>
8,5
7,5
8,7
8,8
8,8
8,9
8,4

2. Ordenar de forma descendente los datos experimentales

<b>pH</b>
8,9
8,8
8,8
8,7
8,5
8,4
7,5

3. Establecer la frecuencia (F) mediante la siguiente fórmula:

$$F = n / (N+1)$$

En donde:        n = número de muestra

                      N = número total de datos experimentales

<b>Nº</b>	<b>Frecuencia</b>
1	0,125
2	0,25
3	0,375
4	0,5
5	0,625
6	0,75
7	0,875

4. Establecer la probabilidad de ocurrencia (P)

$$P = F * 100$$

Nº	Frecuencia	Probabilidad
1	0,125	12,5
2	0,25	25
3	0,375	37,5
4	0,5	50
5	0,625	62,5
6	0,75	75
7	0,875	87,5

5. Antes de obtener los datos calculados es necesario ajustar mediante una regresión lineal

$$Y = mx + b$$

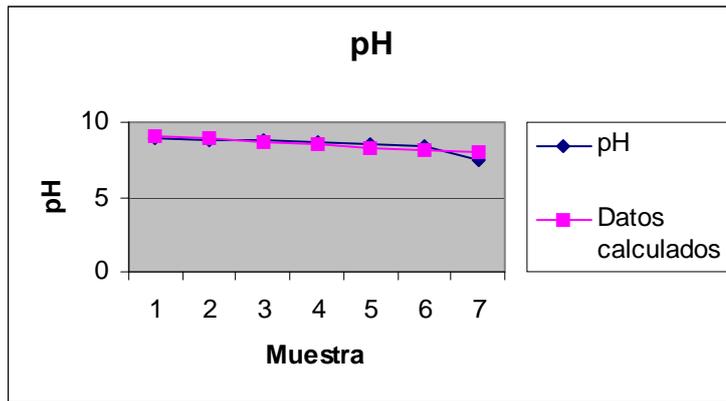
$$Y = b - mP$$

En donde:        m = pendiente de la recta (fx (estadística – estimación lineal))  
                      b = intersección a las ordenadas (fx (estadística – intersección eje))  
                      P = probabilidad de ocurrencia  
                      Y = dato calculado

m =	-0,015142857
b =	9,271428571

6. Con estos datos se obtiene el dato calculado y se realiza un gráfico con los datos calculados VS los datos experimentales de cada parámetro.

Nº	Frecuencia	Probabilidad	pH	Datos calculados
1	0,125	12,5	8,9	9,1
2	0,25	25	8,8	8,9
3	0,375	37,5	8,8	8,7
4	0,5	50	8,7	8,5
5	0,625	62,5	8,5	8,3
6	0,75	75	8,4	8,1
7	0,875	87,5	7,5	7,9



7. Luego se trabaja con probabilidades de 10, 25, 50 y 90.

P	Y
10	9,1
25	8,9
50	8,5
90	7,9

8. Finalmente se obtiene los valores notables de máximo, mínimo y promedio.

Máximo	8,9
Mínimo	7,5
Promedio	8,5

## 4.3 Resultados

### PUNTO 1

Nº	Frecuencia	Probabilidad	pH	Temperatura	Conductividad	TDS	Cloruros	Nitritos	Nitratos	Fosfatos	Sulfatos	Cadmio	Cromo	Plomo	Detergentes	Coliformes
1	0,125	12,5	8,9	14,2	0,32	0,16	10,67	0,0143	0,18	0,792	23,7	17,1	0,451	62	0,025	2400
2	0,25	25	8,8	13,8	0,31	0,16	9,32	0,0093	0,15	0,753	21,4	5,2	0,100	25	0,020	2400
3	0,375	37,5	8,8	13,1	0,30	0,15	8,43	0,0069	0,13	0,697	20,7	3,0	0,037	18	0,015	2400
4	0,5	50	8,7	13,0	0,28	0,14	7,31	0,0041	0,12	0,679	20,2	1,9	0,026	15	0,011	2400
5	0,625	62,5	8,5	12,7	0,27	0,14	7,15	0,0036	0,12	0,630	19,6	1,9	0,012	12	0,009	1110
6	0,75	75	8,4	12,1	0,26	0,14	6,47	0,0023	0,11	0,536	18,0	1,4	0,010	8	0,007	1110
7	0,875	87,5	7,5	12,1	0,23	0,13	6,13	0,0015	0,07	0,459	6,6	1,3	0,001	8	0,004	1110
		m	-0,0151	-0,0289	-0,0011	-0,0004	-0,0589	-0,0002	-0,0012	-0,0043	-0,1691	-0,1603	-0,0044	-0,5771	-0,0003	-22,1143
		b	9,2714	14,4429	0,3386	0,1657	10,8686	0,0140	0,1857	0,8637	27,0571	12,5571	0,3131	50,0000	0,0266	2952,8571
	<b>Probabilidad</b>	10	9,1	14,2	0,33	0,16	10,28	0,0124	0,17	0,821	25,4	11,0	0,269	44	0,024	2732
		25	8,9	13,7	0,31	0,16	9,40	0,0100	0,16	0,757	22,8	8,6	0,202	36	0,020	2400
		50	8,5	13,0	0,28	0,15	7,93	0,0060	0,13	0,649	18,6	4,5	0,091	21	0,013	1847
		90	7,9	11,8	0,24	0,13	5,57	-0,0004	0,08	0,478	11,8	-1,9	-0,087	-2	0,002	963
	<b>Notables</b>	Máximo	8,9	14,2	0,32	0,16	10,67	0,0143	0,18	0,792	23,7	17,1	0,451	62	0,025	2400
		Mínimo	7,5	12,1	0,23	0,13	6,13	0,0015	0,07	0,459	6,6	1,3	0,001	8	0,004	1110
		Promedio	8,5	13,0	0,28	0,15	7,93	0,0060	0,13	0,649	18,6	4,5	0,091	21	0,013	1847

**PUNTO 2**

Nº	Frecuencia	Probabilidad	pH	Temperatura	Conductividad	TDS	Cloruros	Nitritos	Nitratos	Fosfatos	Sulfatos	Cadmio	Cromo	Plomo	Detergentes	Coliformes
1	0,125	12,5	8,7	14,9	0,31	0,16	10,97	0,0099	0,17	0,887	24,4	45	0,653	46	0,013	2400
2	0,25	25	8,5	14,7	0,30	0,15	8,23	0,0074	0,13	0,686	22,4	9,8	0,036	34	0,012	2400
3	0,375	37,5	8,5	14,1	0,28	0,14	7,84	0,0046	0,11	0,622	22,3	5,7	0,009	28	0,009	2400
4	0,5	50	8,3	13,5	0,27	0,13	7,64	0,0038	0,11	0,566	22,1	3,3	0,009	12	0,007	2400
5	0,625	62,5	8,2	13,4	0,26	0,13	7,56	0,0034	0,09	0,540	22,0	2,4	0,007	10	0,007	1110
6	0,75	75	8,2	13,2	0,25	0,13	7,37	0,0022	0,08	0,513	21,9	2,1	0,005	10	0,004	1110
7	0,875	87,5	7,7	13,1	0,25	0,12	7,15	0,0016	0,06	0,468	3,5	1	0,003	4	0,004	1110
		m	-0,0111	-0,0260	-0,0009	-0,0005	-0,0385	-0,0001	-0,0013	-0,0048	-0,1829	-0,4306	-0,0058	-0,5486	-0,0001	-22,1143
		b	8,8571	15,1429	0,3171	0,1614	10,0314	0,0099	0,1714	0,8524	28,9429	31,4286	0,3909	48,0000	0,0144	2952,8571
<b>Probabilidad</b>		10	8,7	14,9	0,31	0,16	9,65	0,0089	0,16	0,804	27,1	27,1	0,333	43	0,013	2732
		25	8,6	14,5	0,30	0,15	9,07	0,0073	0,14	0,732	24,4	20,7	0,247	34	0,011	2400
		50	8,3	13,8	0,27	0,14	8,11	0,0047	0,11	0,612	19,8	9,9	0,103	21	0,008	1847
		90	7,9	12,8	0,24	0,12	6,57	0,0005	0,06	0,419	12,5	-7,3	-0,127	-1	0,003	963
<b>Notables</b>		Máximo	8,7	14,9	0,31	0,16	10,97	0,0099	0,17	0,887	24,4	45,0	0,653	46	0,013	2400
		Mínimo	7,7	13,1	0,25	0,12	7,15	0,0016	0,06	0,468	3,5	1,0	0,003	4	0,004	1110
		Promedio	8,3	13,8	0,27	0,14	8,11	0,0047	0,11	0,612	19,8	9,9	0,103	21	0,008	1847

**PUNTO 3**

Nº	Frecuencia	Probabilidad	pH	Temperatura	Conductividad	TDS	Cloruros	Nitritos	Nitratos	Fosfatos	Sulfatos	Cadmio	Cromo	Plomo	Detergentes	Coliformes
1	0,125	12,5	8,7	16,7	0,31	0,16	13,21	0,0073	0,15	0,772	24,3	12,5	0,079	35	0,028	2400
2	0,25	25	8,6	15,2	0,3	0,15	11,65	0,0051	0,09	0,687	23,6	4,0	0,035	29	0,016	2400
3	0,375	37,5	8,5	15,2	0,29	0,15	8,21	0,0042	0,08	0,631	22,6	3,2	0,033	25	0,011	2400
4	0,5	50	8,3	15,2	0,28	0,14	7,91	0,0017	0,08	0,614	21,7	2,6	0,008	19	0,009	2400
5	0,625	62,5	8,2	15,1	0,27	0,13	7,56	0,0016	0,07	0,588	21,5	2,1	0,005	15	0,008	2400
6	0,75	75	8,1	14,9	0,26	0,13	7,45	0,011	0,05	0,551	19,9	1,0	0,002	7	0,005	1110
7	0,875	87,5	7,7	13,8	0,26	0,12	4,93	0,0001	0,01	0,532	4,6	0,6	0,001	6	0,004	1110
		m	-0,0123	-0,0269	-0,0007	-0,0005	-0,0968	0,0000	-0,0015	-0,0030	-0,1931	-0,1223	-0,0009	-0,4029	-0,0003	-18,4286
		b	8,9143	16,5000	0,3171	0,1657	13,5443	0,0062	0,1486	0,7729	29,4000	9,8286	0,0701	39,5714	0,0254	2952,8571
<b>Probabilidad</b>		10	8,8	16,2	0,31	0,16	12,58	0,0058	0,13	0,743	27,5	8,6	0,061	36	0,023	2769
		25	8,6	15,8	0,30	0,15	11,12	0,0053	0,11	0,699	24,6	6,8	0,047	30	0,019	2492
		50	8,3	15,2	0,28	0,14	8,70	0,0044	0,08	0,625	19,7	3,7	0,023	19	0,012	2031
		90	7,8	14,1	0,25	0,12	4,83	0,0030	0,02	0,507	12,0	-1,2	-0,014	3	0,000	1294
<b>Notables</b>		Máximo	8,7	16,7	0,31	0,16	13,21	0,0110	0,15	0,772	24,3	12,5	0,079	35	0,028	2400
		Mínimo	7,7	13,8	0,26	0,12	4,93	0,0001	0,01	0,532	4,6	0,6	0,001	6	0,004	1110
		Promedio	8,3	15,2	0,28	0,14	8,70	0,0044	0,08	0,625	19,7	3,7	0,023	19	0,012	2031

**PUNTO 4**

Nº	Frecuencia	Probabilidad	pH	Temperatura	Conductividad	TDS	Cloruros	Nitritos	Nitratos	Fosfatos	Sulfatos	Cadmio	Cromo	Plomo	Detergentes	Coliformes
1	0,125	12,5	8,5	17,6	0,31	0,16	15,96	0,0064	0,16	0,808	28,2	10,1	0,094	35	0,037	2400
2	0,25	25	8,5	15,6	0,29	0,14	9,65	0,0056	0,11	0,704	24,7	4,9	0,034	32	0,025	2400
3	0,375	37,5	8,2	15,5	0,29	0,14	8,37	0,0039	0,09	0,645	20,2	4,7	0,031	32	0,023	2400
4	0,5	50	8,2	15,3	0,28	0,14	8,06	0,0038	0,09	0,634	22,6	3,3	0,023	18	0,017	2400
5	0,625	62,5	8,2	15,3	0,27	0,14	8,03	0,0031	0,05	0,579	22,3	2,1	0,008	17	0,011	1110
6	0,75	75	8,1	15,1	0,25	0,14	8,01	0,0015	0,04	0,552	23,5	1,9	0,005	8	0,008	1110
7	0,875	87,5	7,8	14,1	0,25	0,13	7,12	0,0001	0,03	0,465	2,9	1,7	0,002	5	0,003	1110
		m	-0,0083	-0,0334	-0,0008	-0,0003	-0,0861	-0,0001	-0,0016	-0,0040	-0,2177	-0,0966	-0,0010	-0,4371	-0,0004	-22,1143
		b	8,6286	17,1714	0,3171	0,1543	13,6200	0,0075	0,1629	0,8266	31,5143	8,9286	0,0791	42,8571	0,0389	2952,8571
<b>Probabilidad</b>		10	8,5	16,8	0,31	0,15	12,76	0,0067	0,15	0,787	29,3	8,0	0,069	38	0,035	2732
		25	8,4	16,3	0,30	0,15	11,47	0,0055	0,12	0,727	26,1	6,5	0,054	32	0,028	2400
		50	8,2	15,5	0,28	0,14	9,31	0,0035	0,08	0,627	20,6	4,1	0,028	21	0,018	1847
		90	7,9	14,2	0,25	0,13	5,87	0,0003	0,02	0,467	11,9	0,2	-0,013	4	0,001	963
<b>Notables</b>		Máximo	8,5	17,6	0,31	0,16	15,96	0,0064	0,16	0,808	28,2	10,1	0,094	35	0,037	2400
		Mínimo	7,8	14,1	0,25	0,13	7,12	0,0001	0,03	0,465	2,9	1,7	0,002	5	0,003	1110
		Promedio	8,2	15,5	0,28	0,14	9,31	0,0035	0,08	0,627	20,6	4,1	0,028	21	0,018	1847

**PUNTO 5**

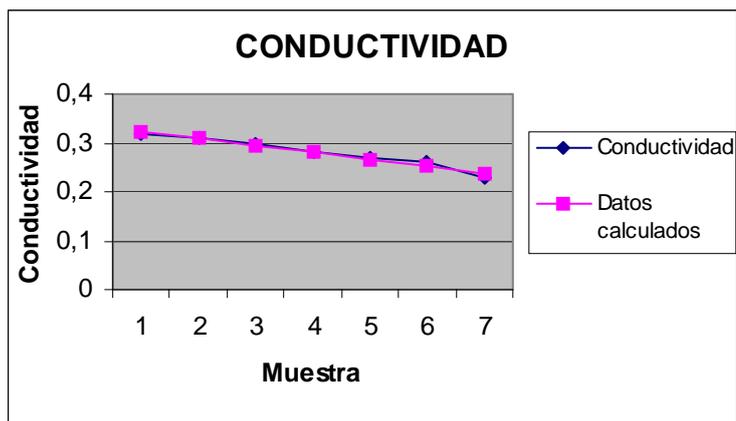
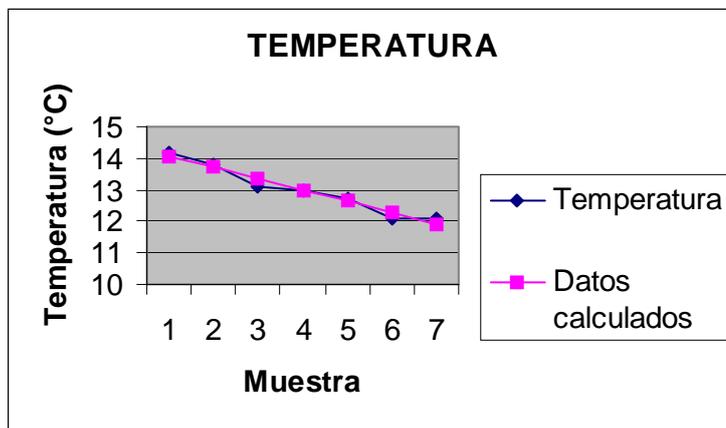
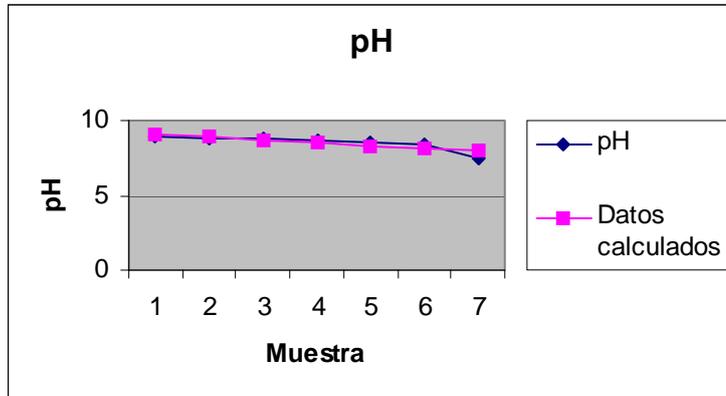
Nº	Frecuencia	Probabilidad	pH	Temperatura	Conductividad	TDS	Cloruros	Nitritos	Nitratos	Fosfatos	Sulfatos	Cadmio	Cromo	Plomo	Detergentes	Coliformes
1	0,125	12,5	8,5	17,8	0,33	0,17	14,75	0,0078	0,13	0,792	27,1	14,9	0,069	31	0,013	2400
2	0,25	25	8,5	16,7	0,31	0,15	10,31	0,0057	0,12	0,779	23,6	4,6	0,032	21	0,011	2400
3	0,375	37,5	8,3	16,3	0,30	0,15	9,47	0,0036	0,10	0,754	22,8	3,1	0,019	19	0,007	2400
4	0,5	50	8,3	16,2	0,29	0,14	9,16	0,0029	0,05	0,647	22,7	2,6	0,018	14	0,004	2400
5	0,625	62,5	8,3	16,1	0,29	0,14	8,52	0,0021	0,04	0,622	21,9	2,2	0,011	14	0,004	2400
6	0,75	75	8	15,7	0,28	0,14	8,14	0,0017	0,03	0,596	17,1	1,9	0,011	4	0,002	2400
7	0,875	87,5	7,6	15,1	0,28	0,14	7,63	0,0001	0,01	0,573	3,3	1,8	0,008	4	0,002	1110
		m	-0,0106	-0,0294	-0,0006	-0,0003	-0,0761	-0,0001	-0,0017	-0,0033	-0,2437	-0,1303	-0,0007	-0,3429	-0,0002	-11,0571
		b	8,7429	17,7429	0,3286	0,1643	13,5186	0,0081	0,1543	0,8454	31,9714	10,9571	0,0573	32,4286	0,0139	2768,5714
<b>Probabilidad</b>		10	8,6	17,4	0,32	0,16	12,76	0,0071	0,14	0,812	29,5	9,7	0,051	29	0,012	2658
		25	8,5	17,0	0,31	0,16	11,62	0,0057	0,11	0,763	25,9	7,7	0,041	24	0,010	2492
		50	8,2	16,3	0,30	0,15	9,71	0,0034	0,07	0,680	19,8	4,4	0,024	15	0,006	2216
		90	7,8	15,1	0,27	0,13	6,67	-0,0003	0,00	0,548	10,0	-0,8	-0,003	2	0,000	1773
<b>Notables</b>		Máximo	8,5	17,8	0,33	0,17	14,75	0,0078	0,13	0,792	27,1	14,9	0,069	31	0,013	2400
		Mínimo	7,6	15,1	0,28	0,14	7,63	0,0001	0,01	0,573	3,3	1,8	0,008	4	0,002	1110
		Promedio	8,2	16,3	0,30	0,15	9,71	0,0034	0,07	0,680	19,8	4,4	0,024	15	0,006	2216

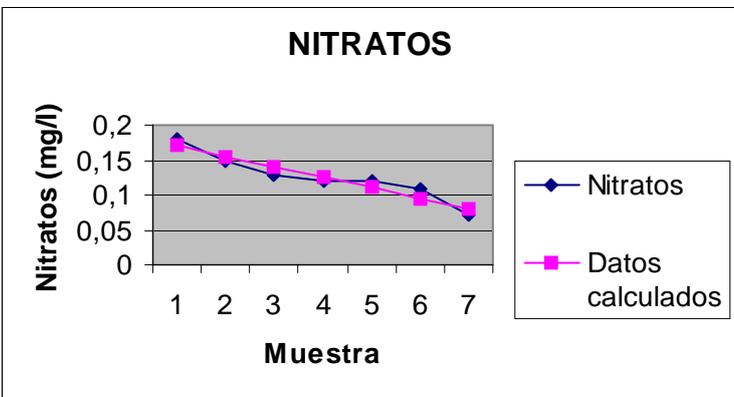
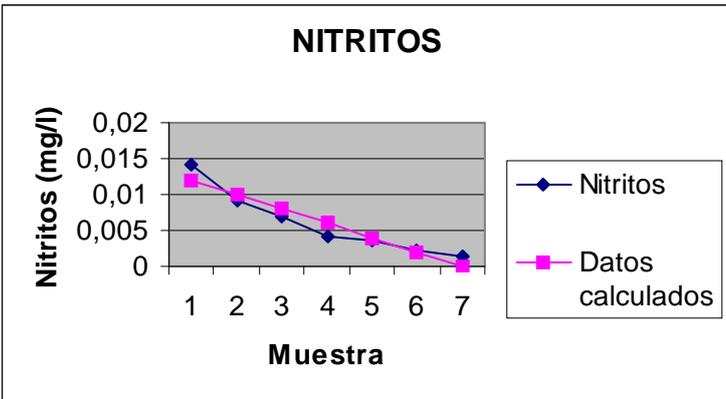
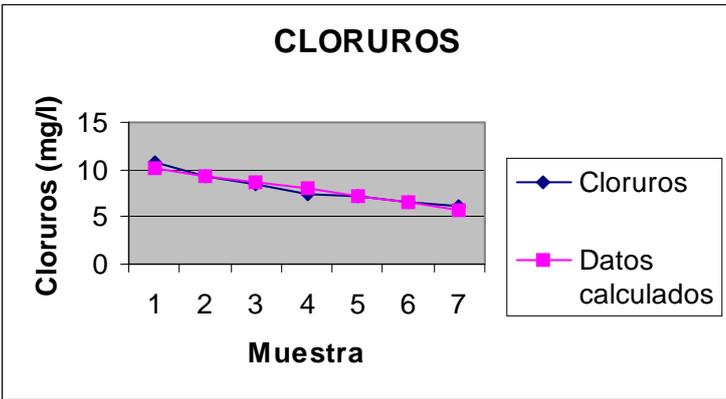
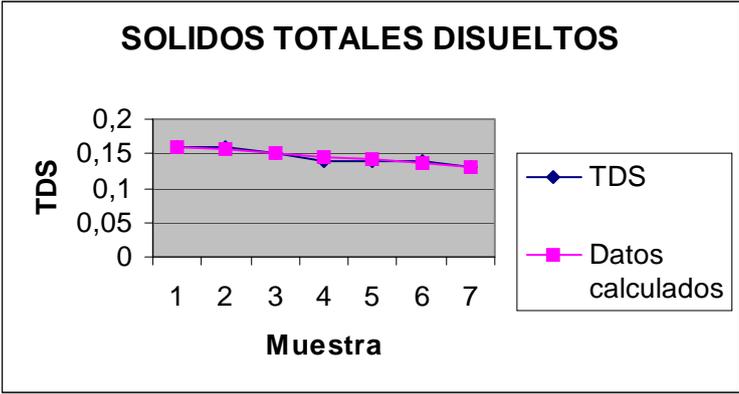
**PUNTO 6**

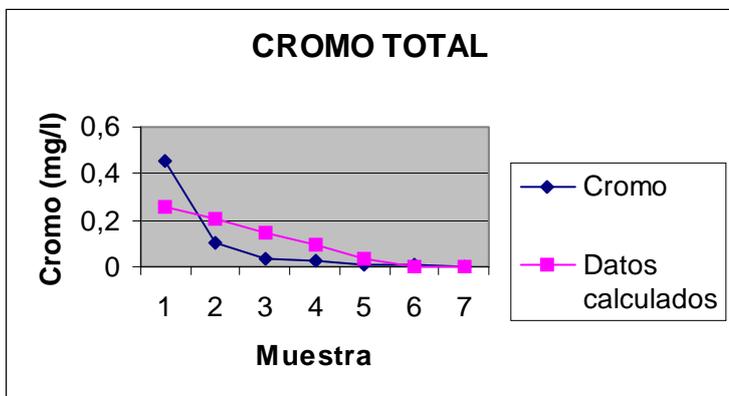
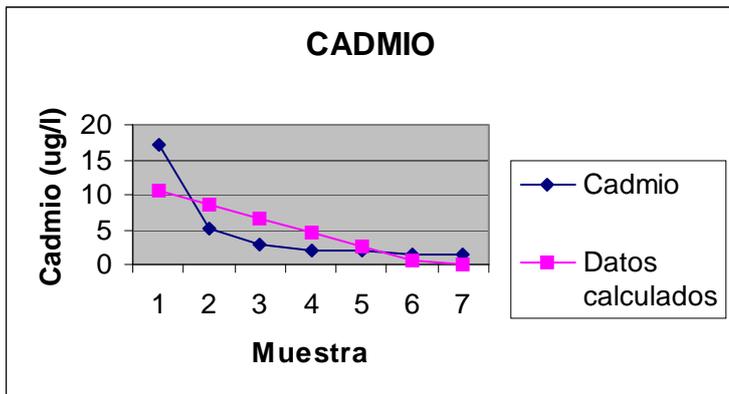
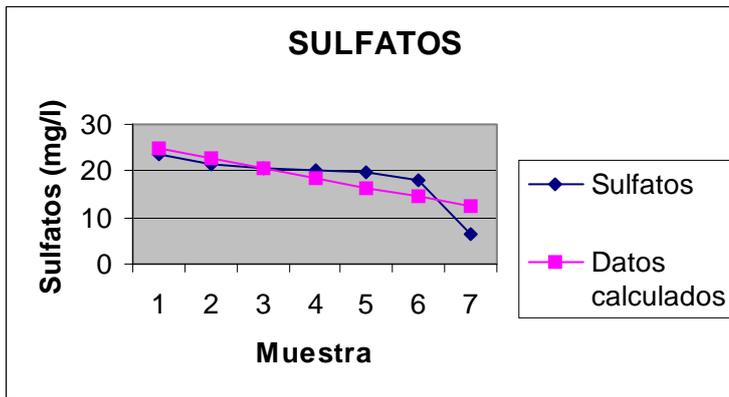
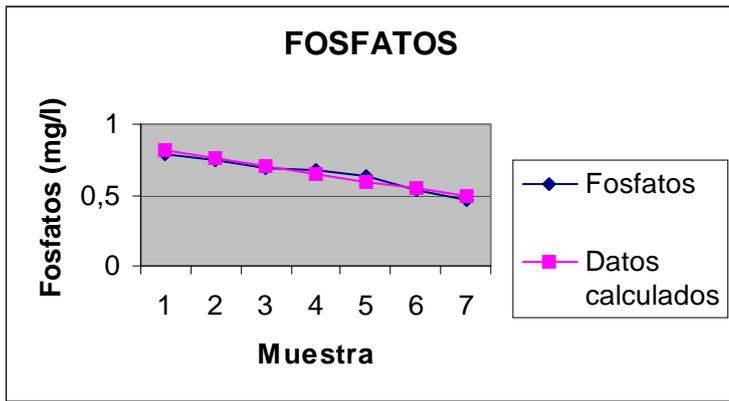
Nº	Frecuencia	Probabilidad	pH	Temperatura	Conductividad	TDS	Cloruros	Nitritos	Nitratos	Fosfatos	Sulfatos	Cadmio	Cromo	Plomo	Detergentes	Coliformes
1	0,125	12,5	8,5	20,8	0,33	0,18	14,5	0,0307	0,12	2,337	31,5	6,6	0,091	25	0,020	2400
2	0,25	25	8,3	18,3	0,31	0,16	10,7	0,0050	0,11	0,876	24,3	4,1	0,033	25	0,016	2400
3	0,375	37,5	8,2	17,4	0,31	0,16	9,7	0,0044	0,09	0,780	23,5	4,0	0,019	21	0,014	2400
4	0,5	50	8,2	17,1	0,31	0,15	8,3	0,0040	0,08	0,735	22,1	3,6	0,015	18	0,009	2400
5	0,625	62,5	8,2	16,9	0,30	0,15	8,1	0,0034	0,05	0,698	16,5	2,3	0,014	11	0,008	2400
6	0,75	75	8,2	16,8	0,30	0,15	7,8	0,0031	0,04	0,643	3,1	2,0	0,014	8	0,008	1110
7	0,875	87,5	7,5	16,8	0,30	0,15	7,3	0,0020	0,01	0,570	2,4	1,1	0,001	4	0,002	1110
		m	-0,0091	-0,0443	-0,0003	-0,0003	-0,0829	-0,0003	-0,0015	-0,0167	-0,3906	-0,0640	-0,0009	-0,3057	-0,0002	-18,4286
		b	8,6143	19,9429	0,3257	0,1743	13,6343	0,0205	0,1443	1,7840	37,1571	6,5857	0,0714	31,2857	0,0219	2952,8571
<b>Probabilidad</b>		10	8,5	19,5	0,32	0,17	12,80	0,0179	0,13	1,617	33,3	5,9	0,062	28	0,020	2769
		25	8,4	18,8	0,32	0,17	11,56	0,0140	0,11	1,366	27,4	5,0	0,049	24	0,016	2492
		50	8,2	17,7	0,31	0,16	9,49	0,0075	0,07	0,948	17,6	3,4	0,027	16	0,011	2031
		90	7,8	16,0	0,29	0,14	6,17	-0,0029	0,01	0,280	2,0	0,8	-0,009	4	0,002	1294
<b>Notables</b>		Máximo	8,5	20,8	0,33	0,18	14,51	0,0307	0,12	2,337	31,5	6,6	0,091	25	0,020	2400
		Mínimo	7,5	16,8	0,30	0,15	7,30	0,0020	0,01	0,570	2,4	1,1	0,001	4	0,002	1110
		Promedio	8,2	17,7	0,31	0,16	9,49	0,0075	0,07	0,948	17,6	3,4	0,027	16	0,011	2031

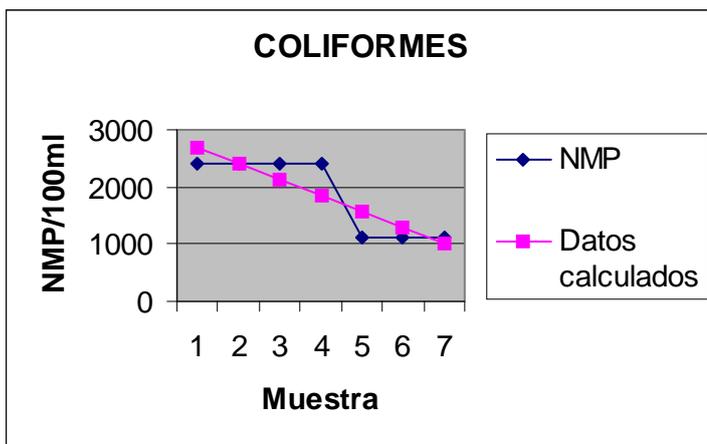
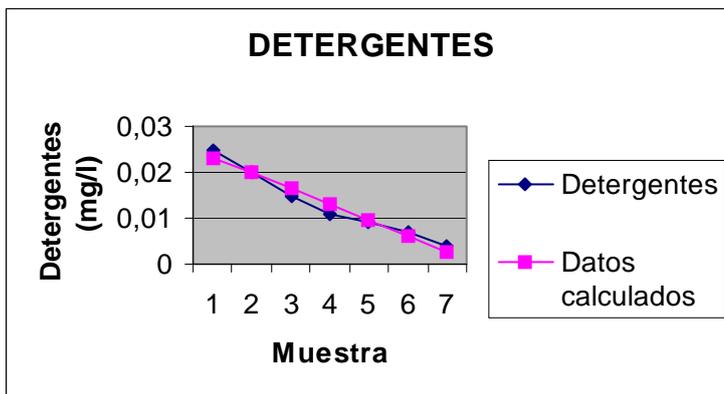
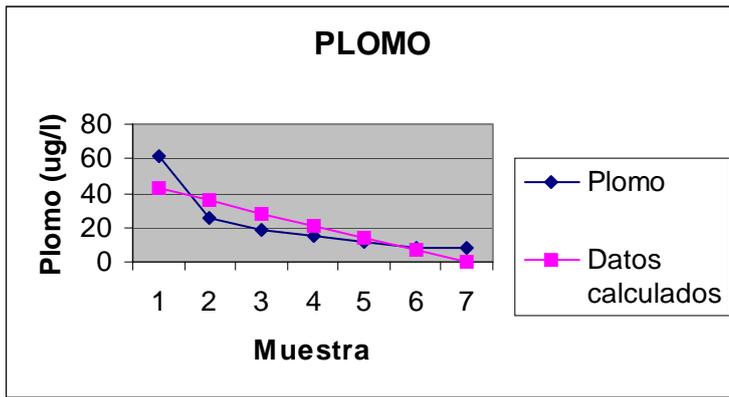
## 4.4 Gráficos

### PUNTO 1

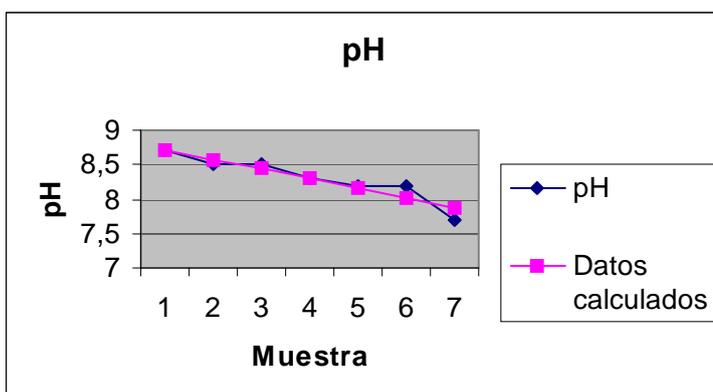


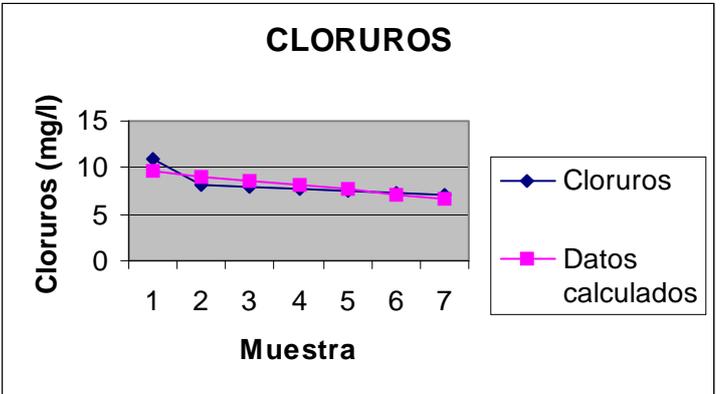
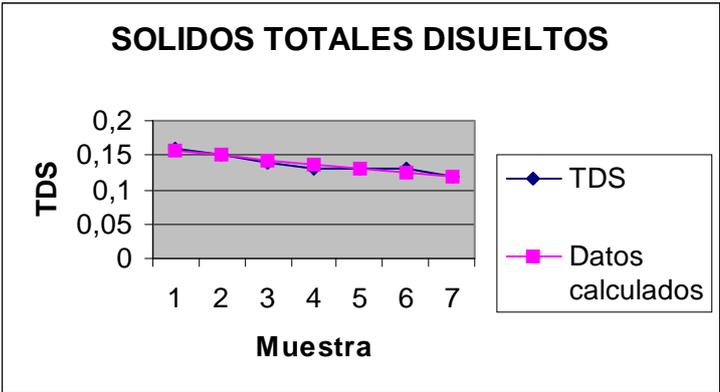
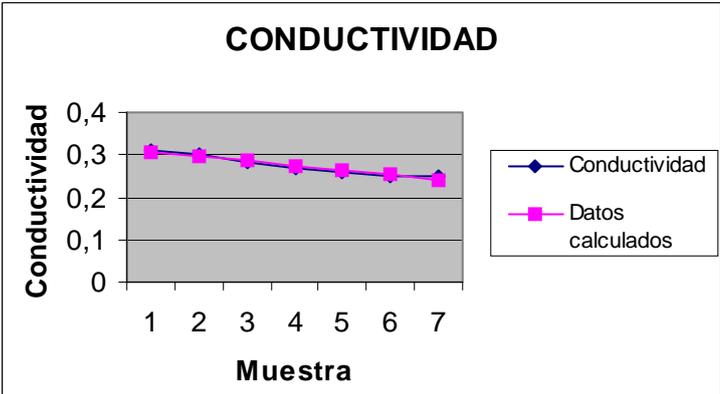
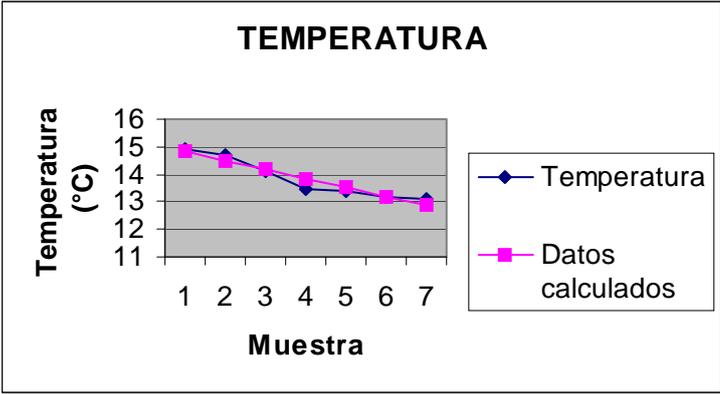


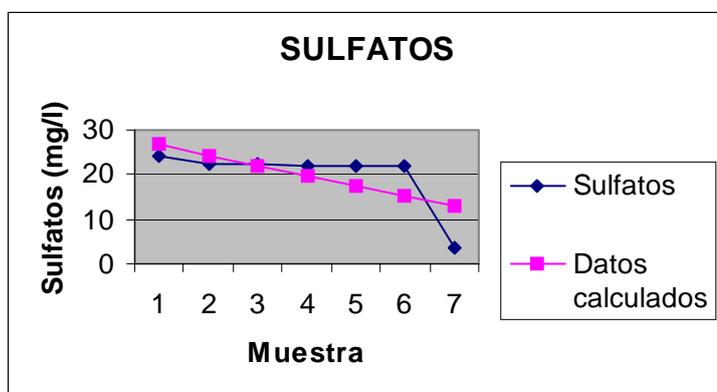
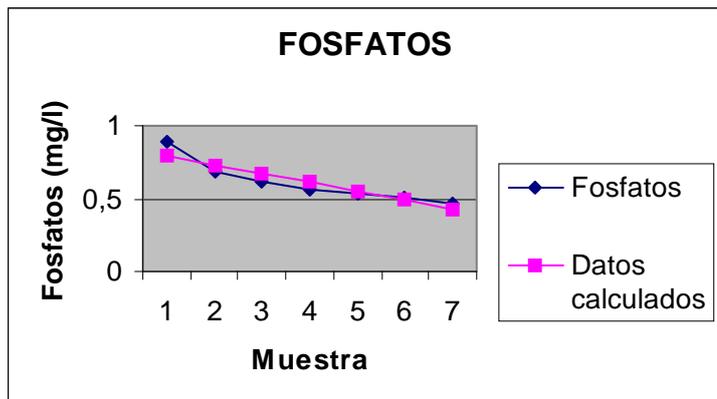
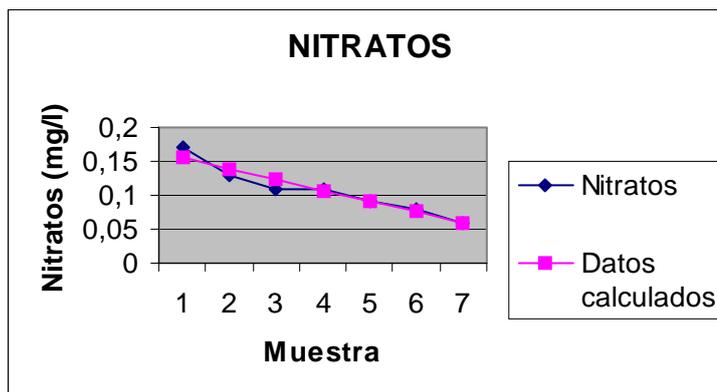
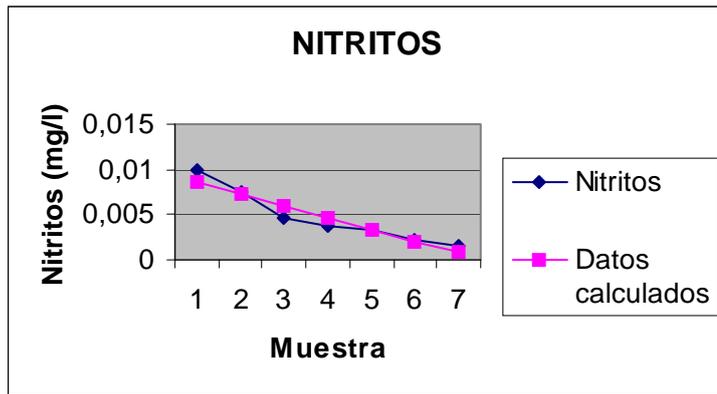


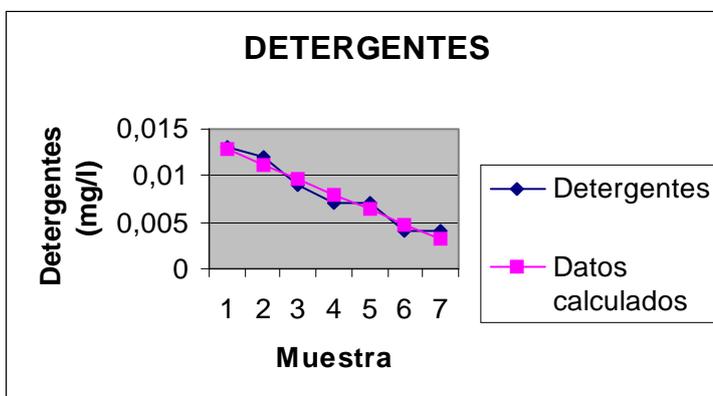
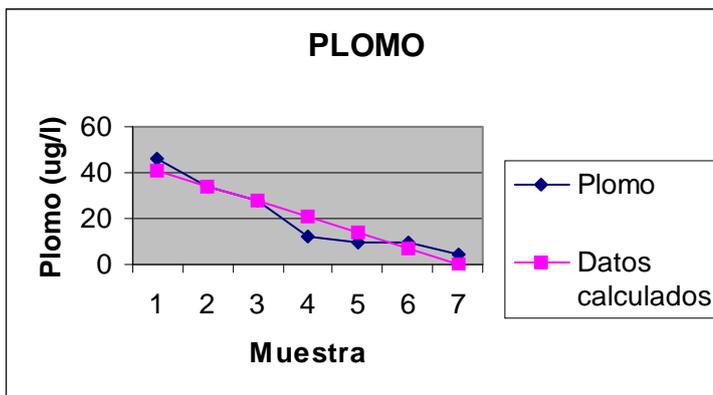
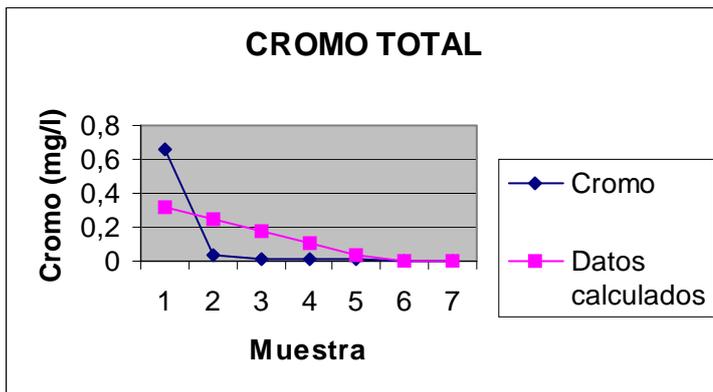
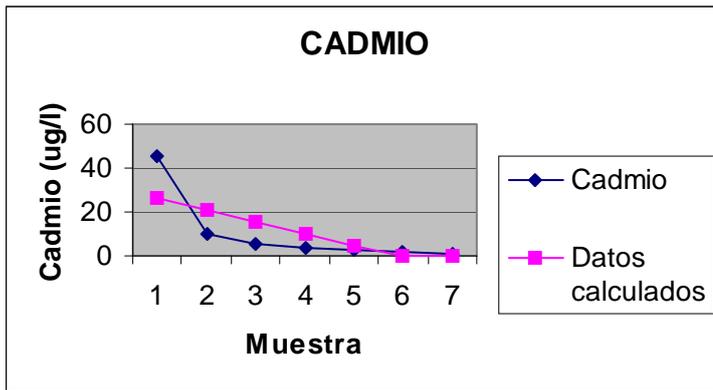


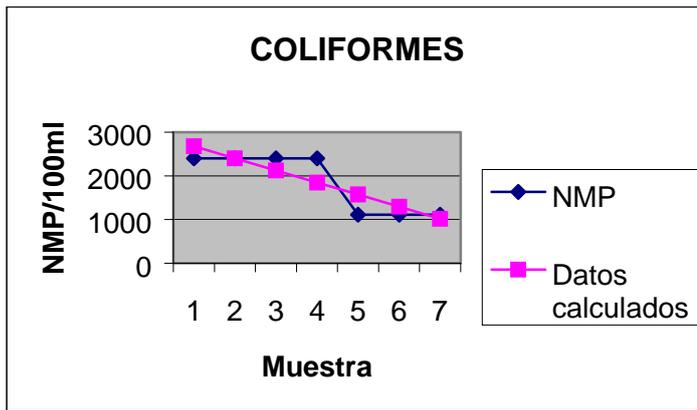
## PUNTO 2



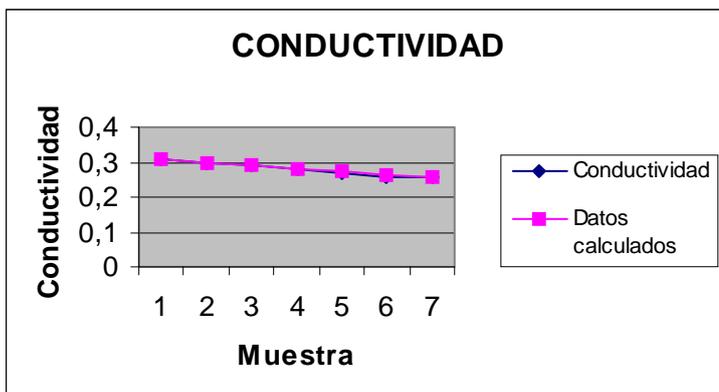
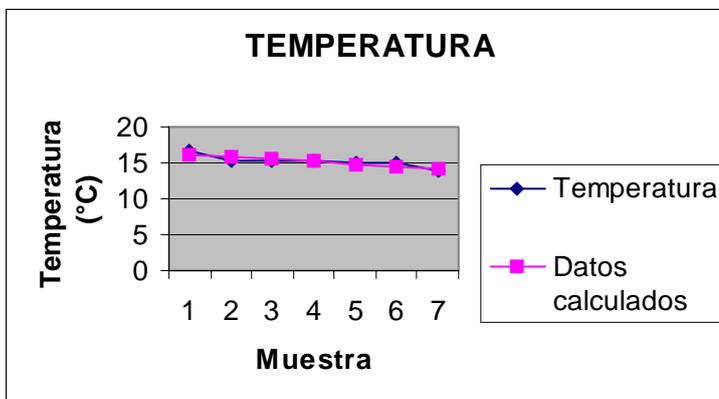
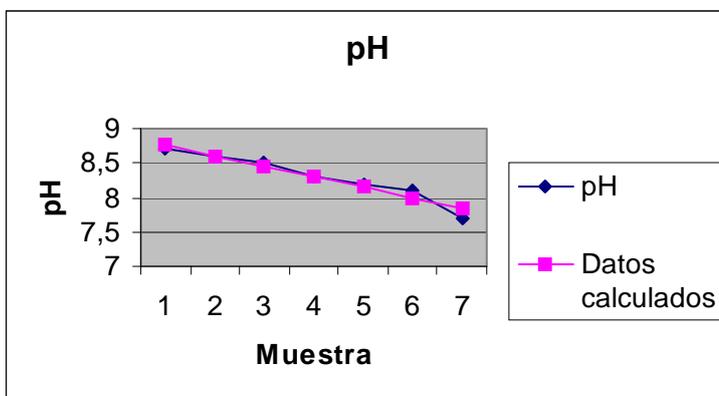


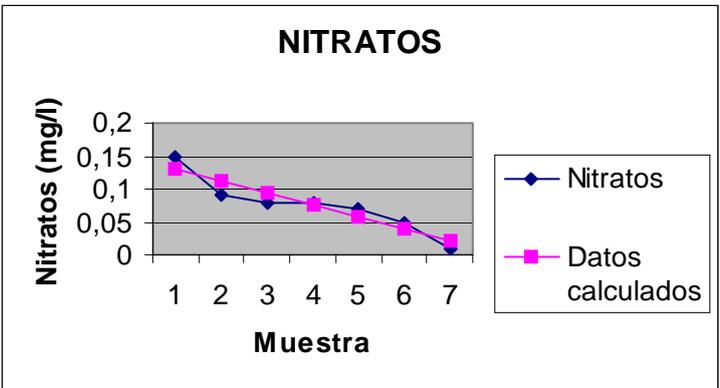
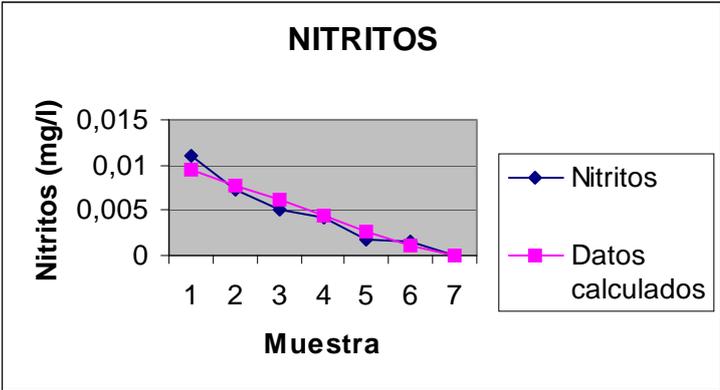
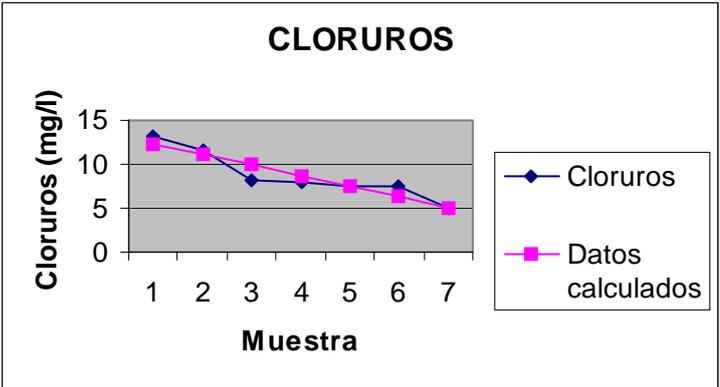
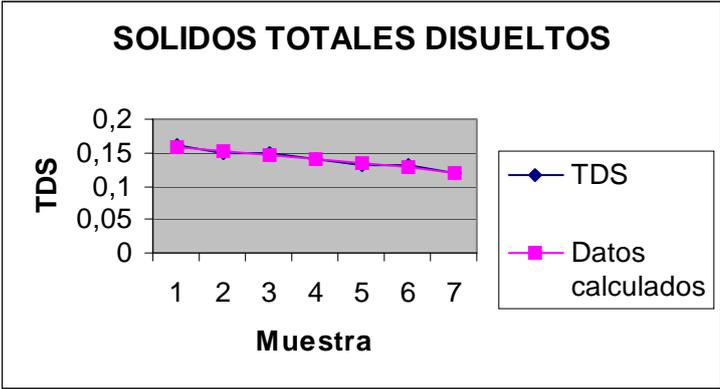


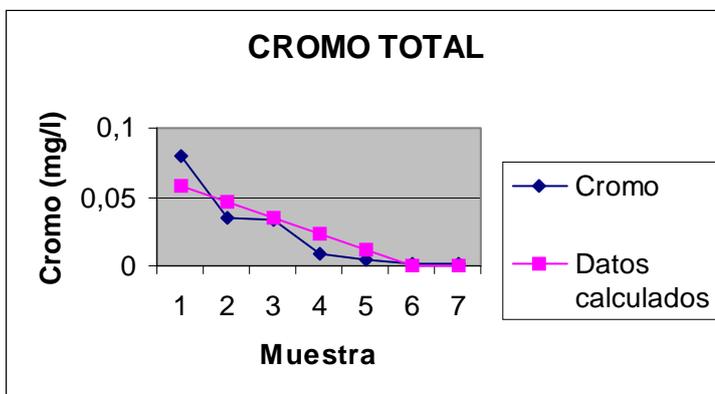
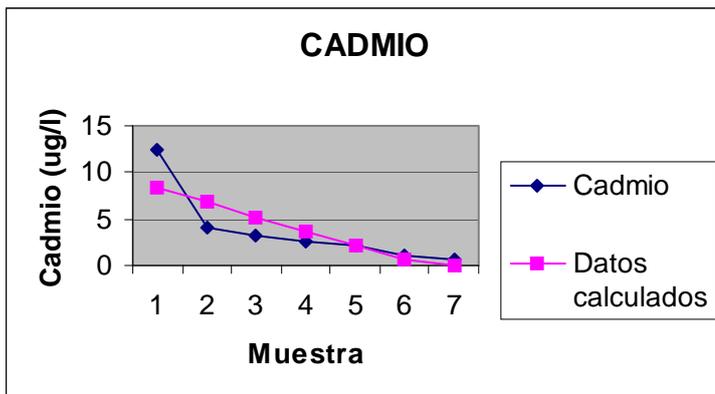
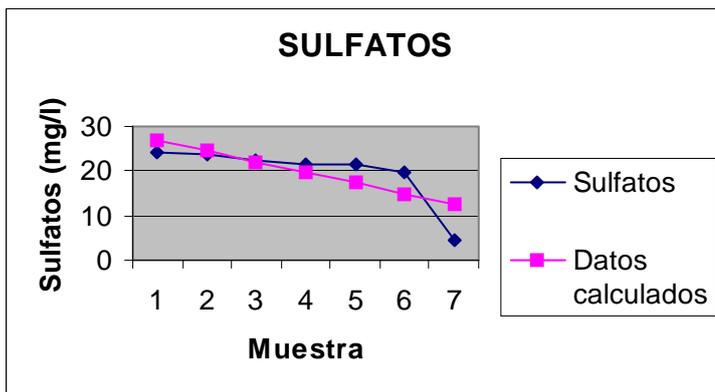
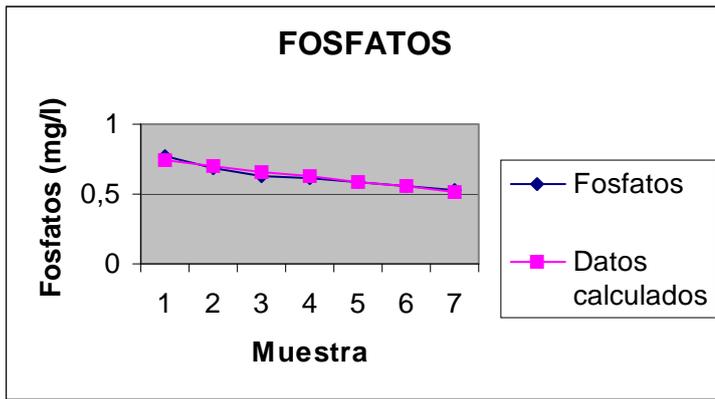


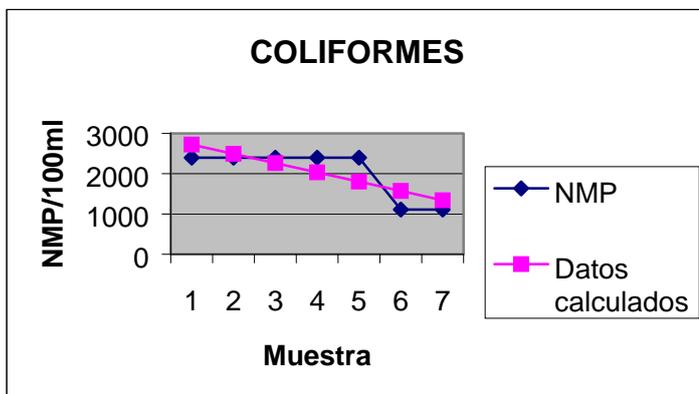
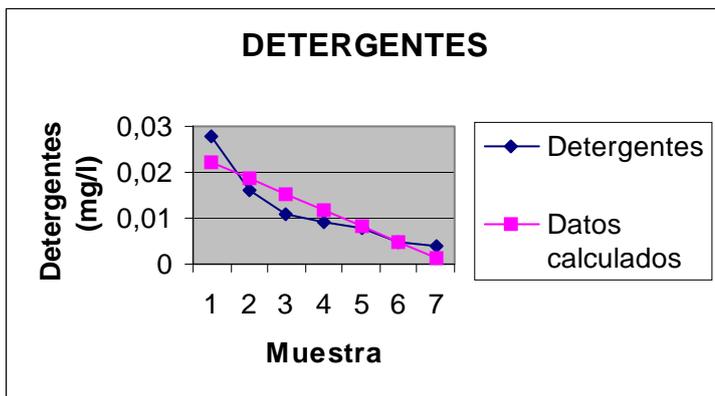
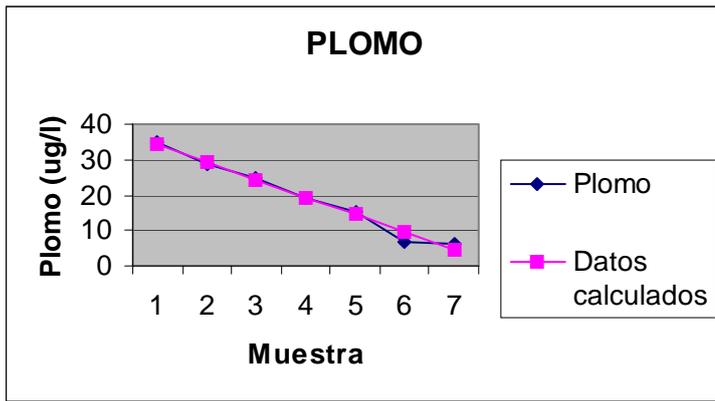


### PUNTO 3

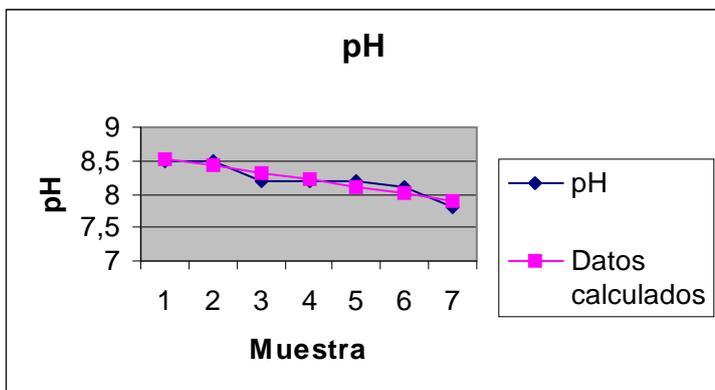


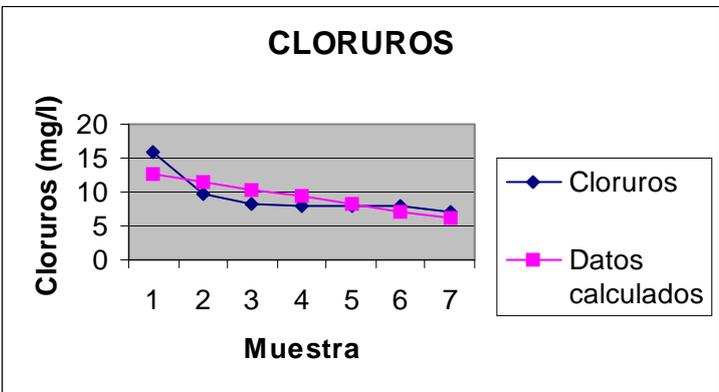
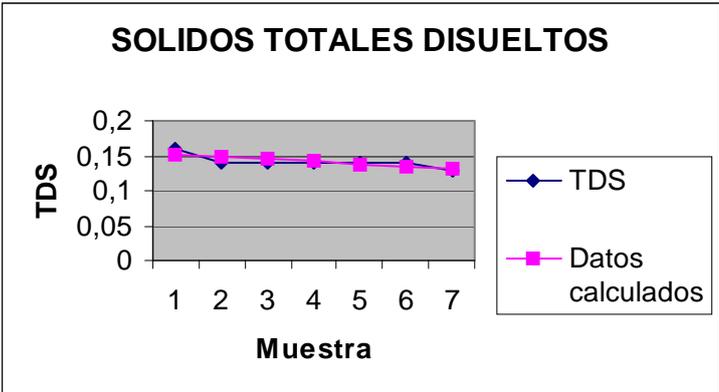
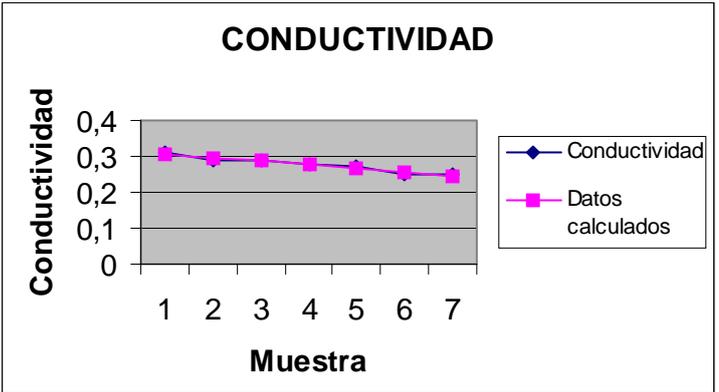
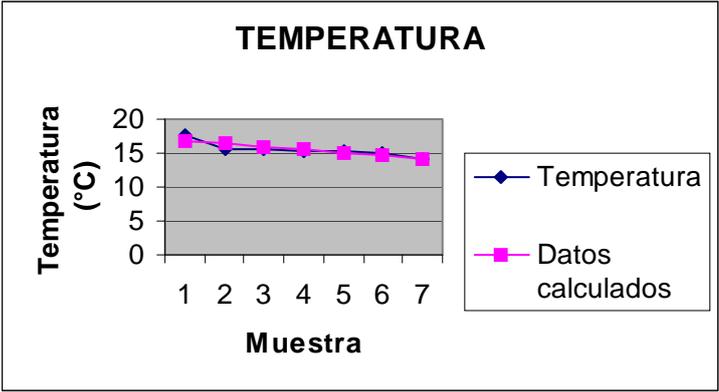


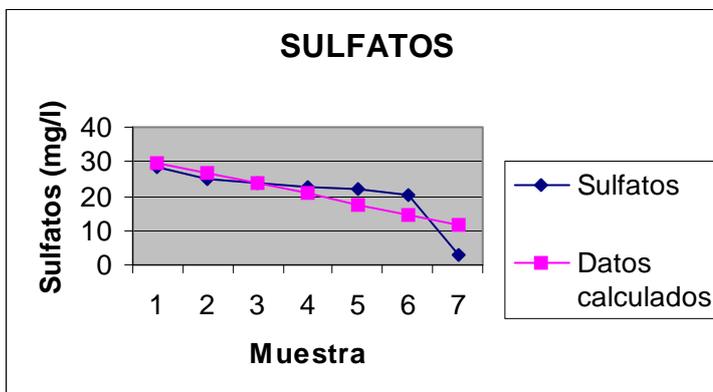
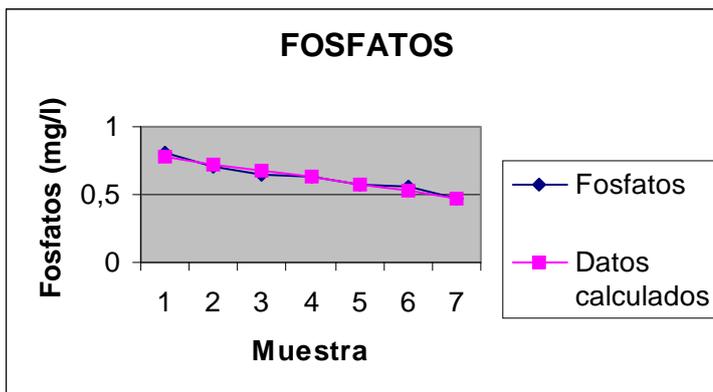
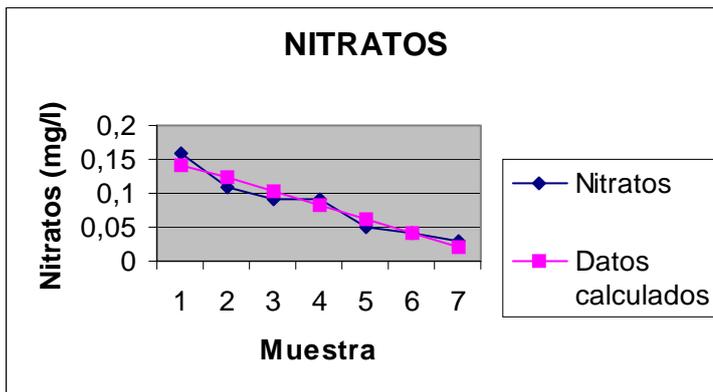
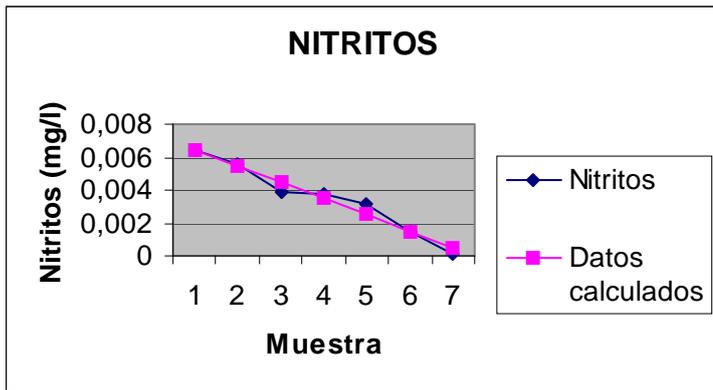


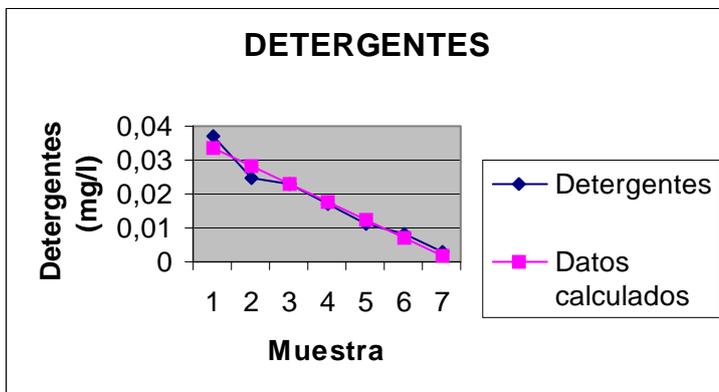
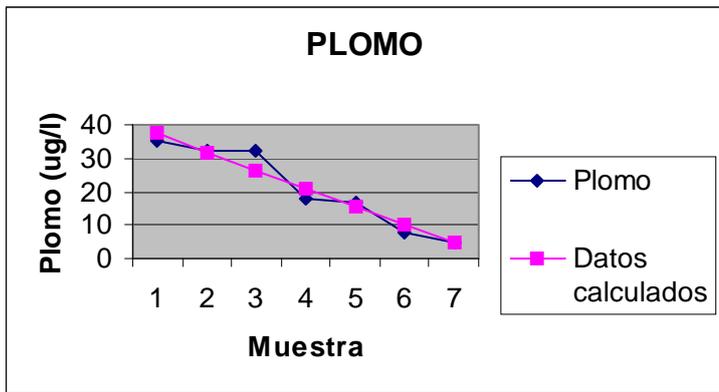
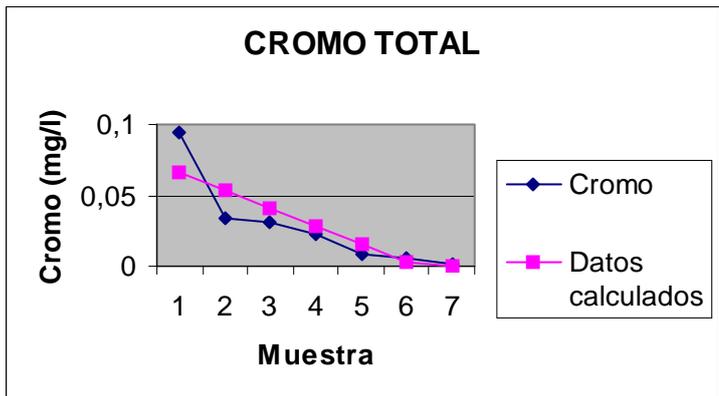
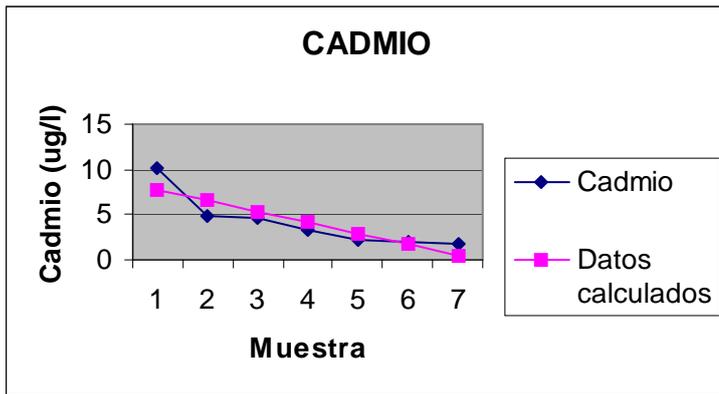


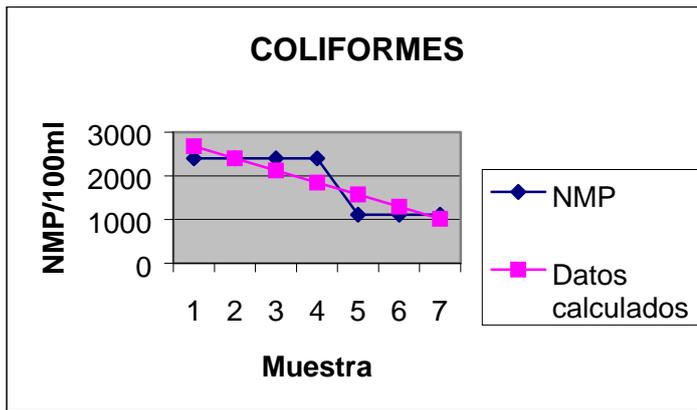
#### PUNTO 4



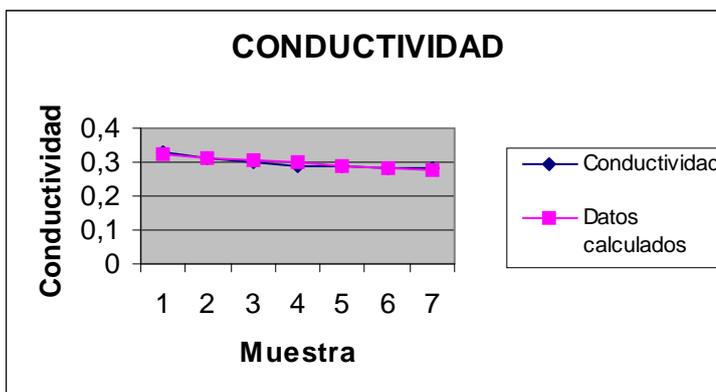
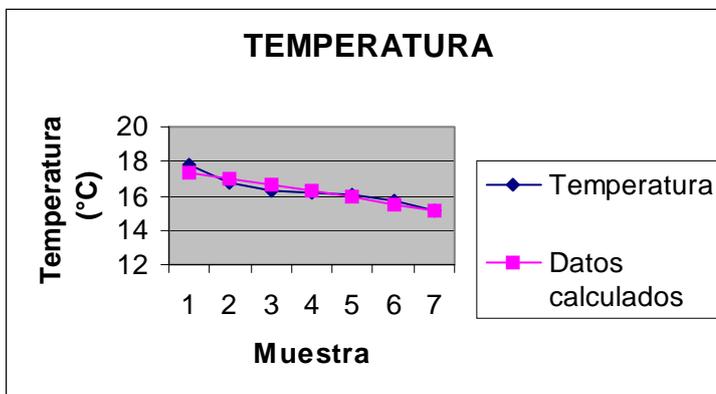
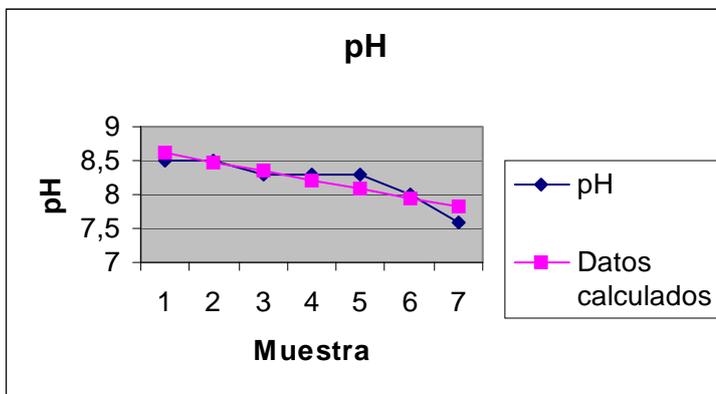


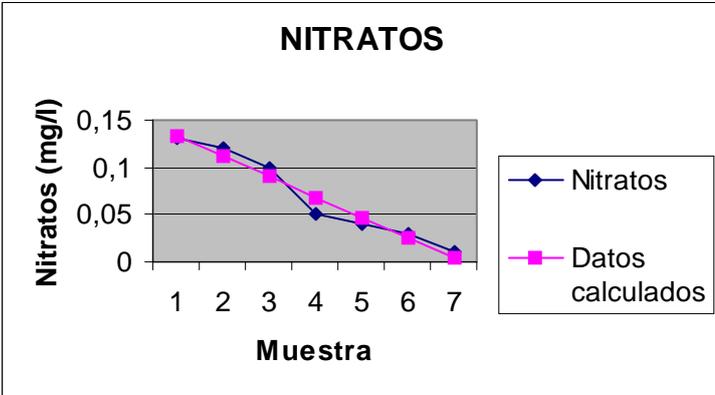
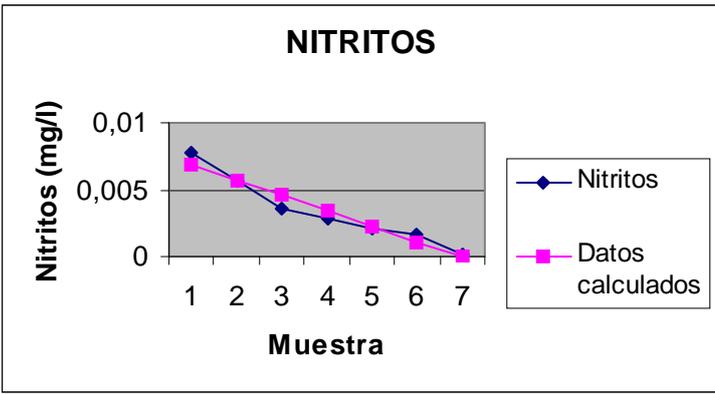
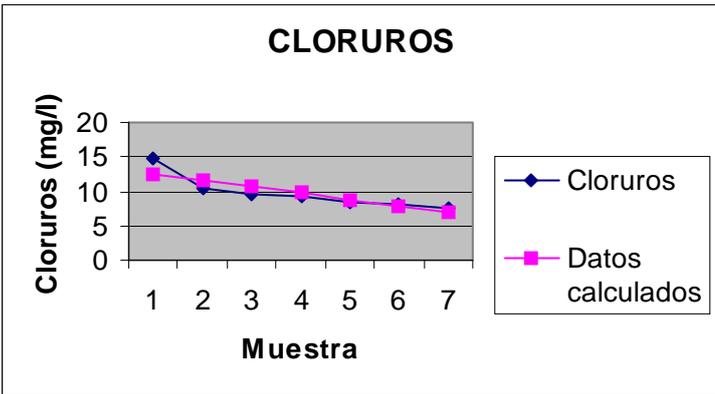
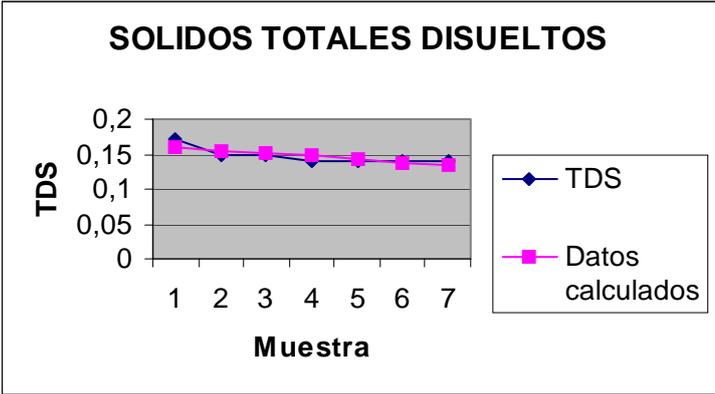


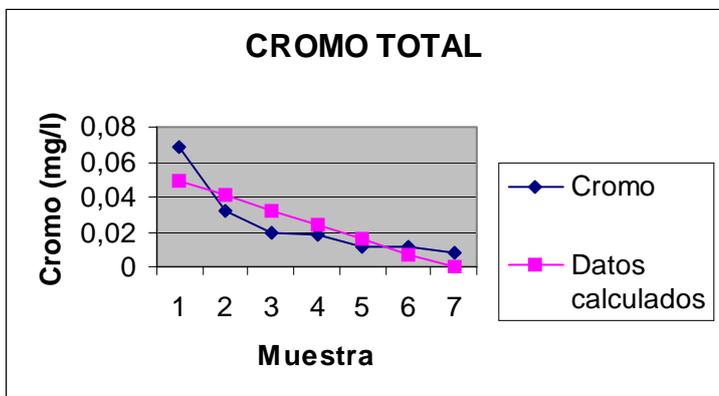
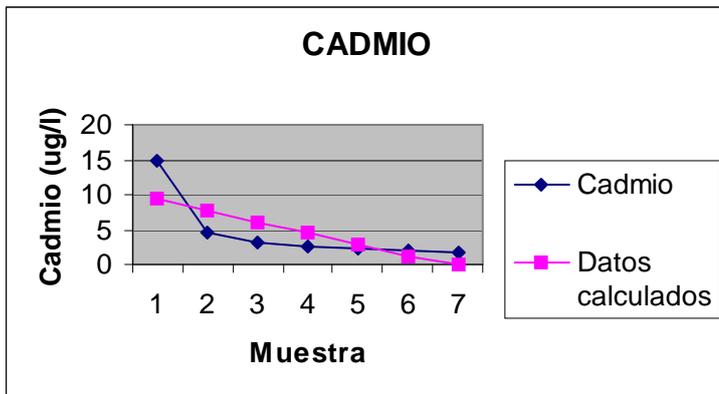
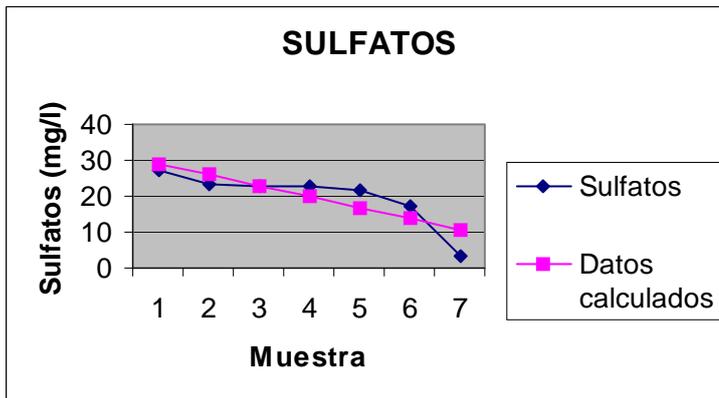
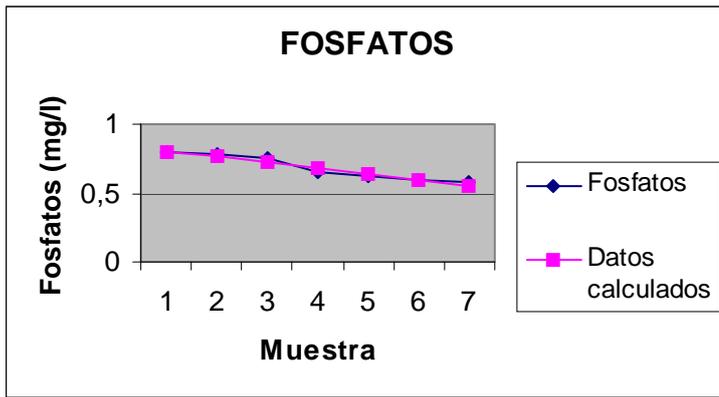


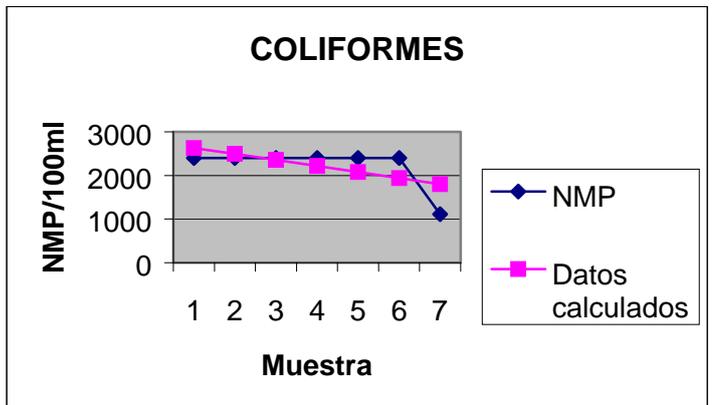
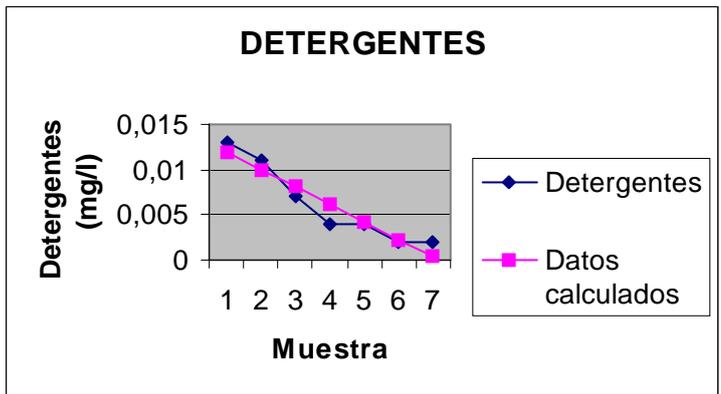
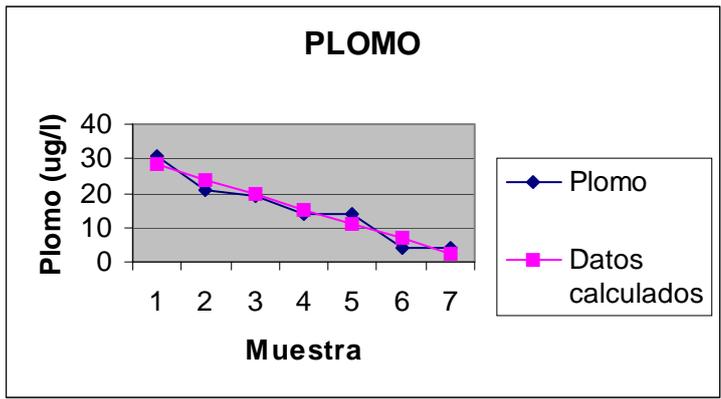


## PUNTO 5

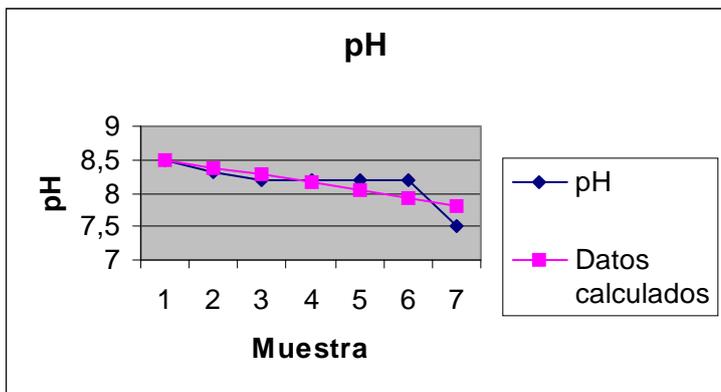


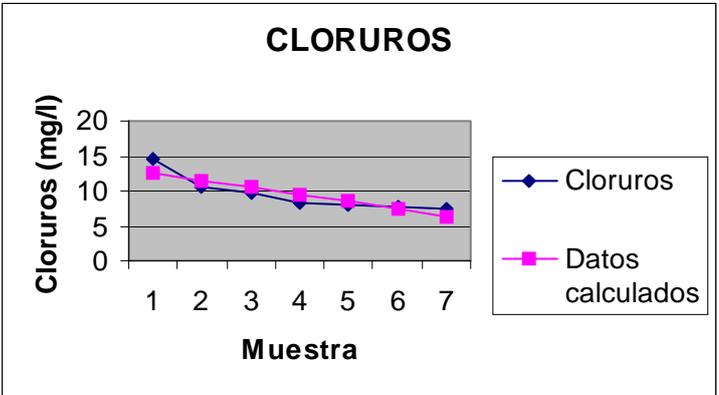
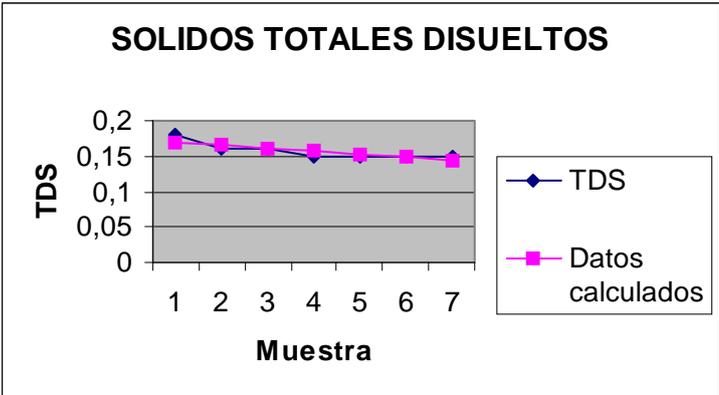
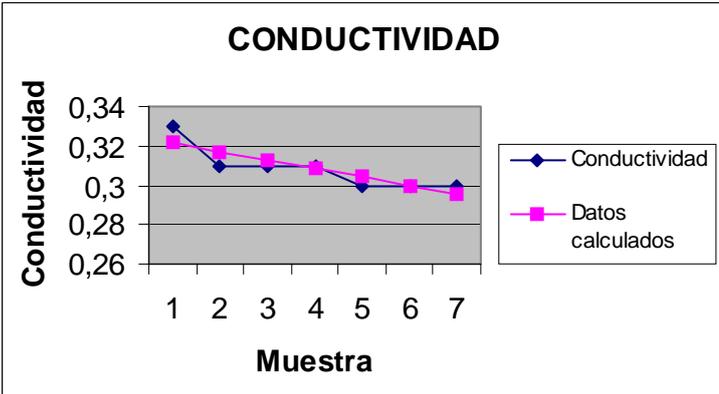
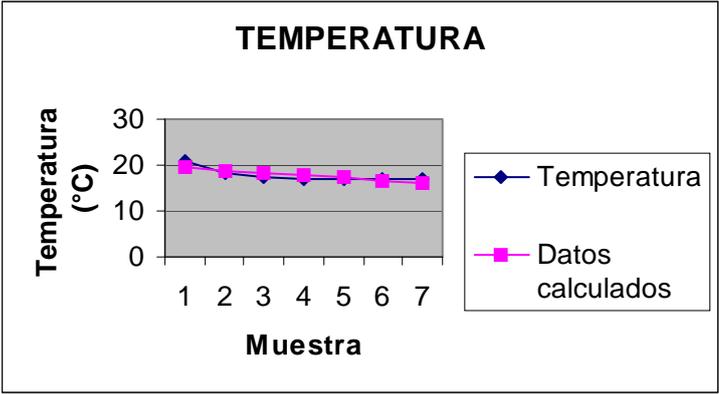


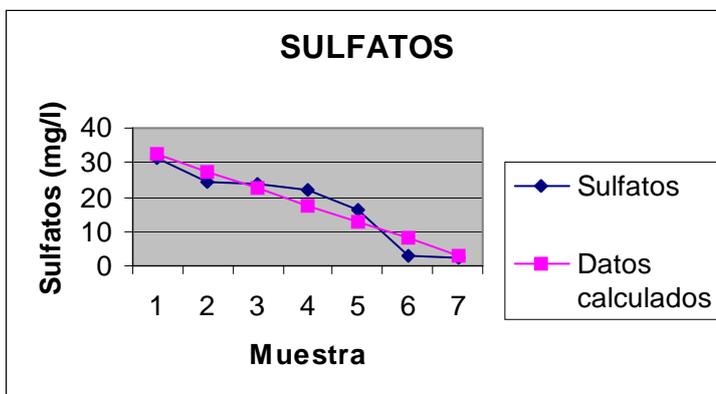
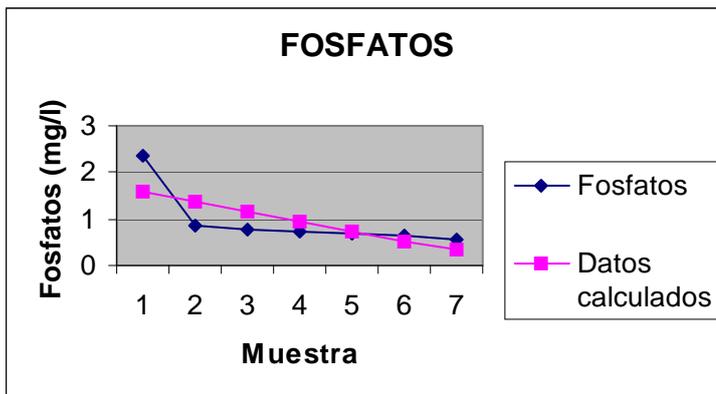
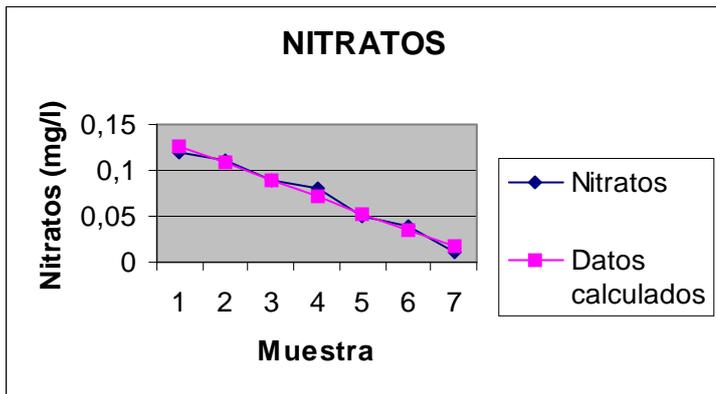
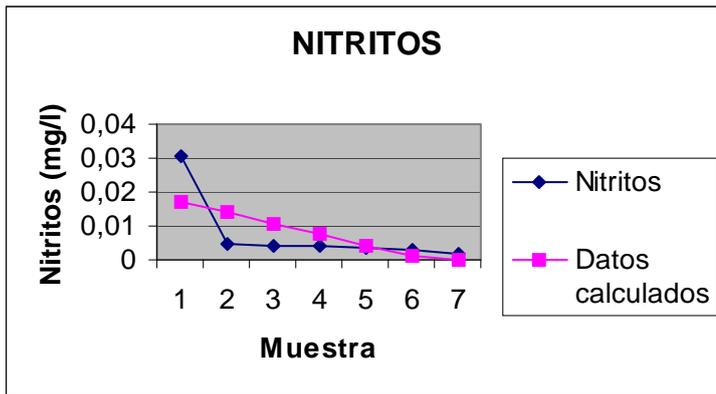


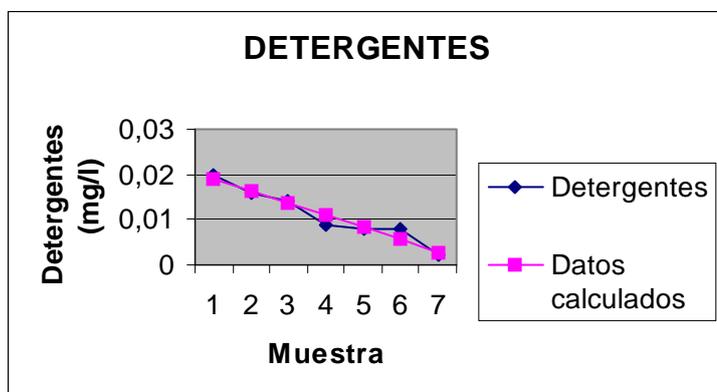
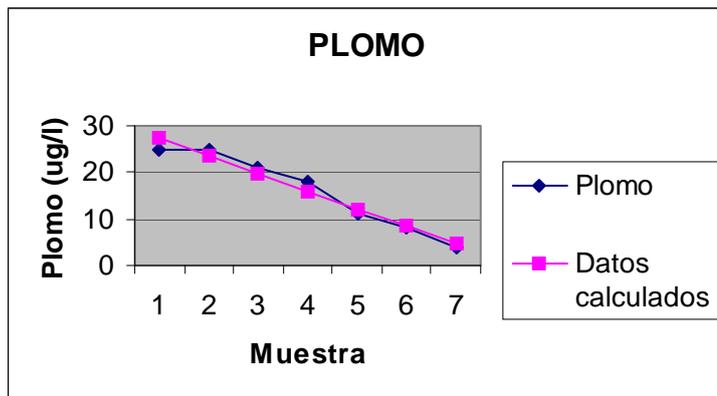
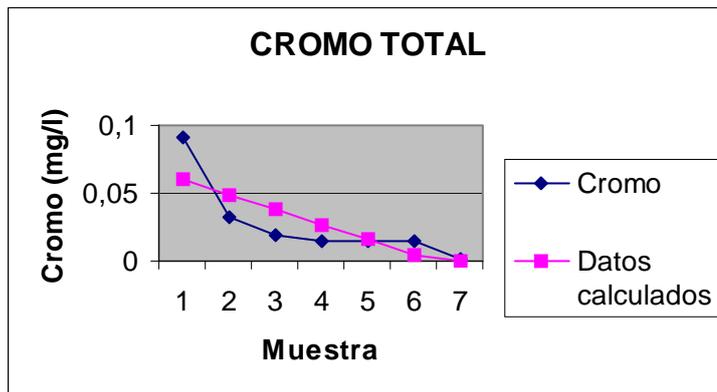
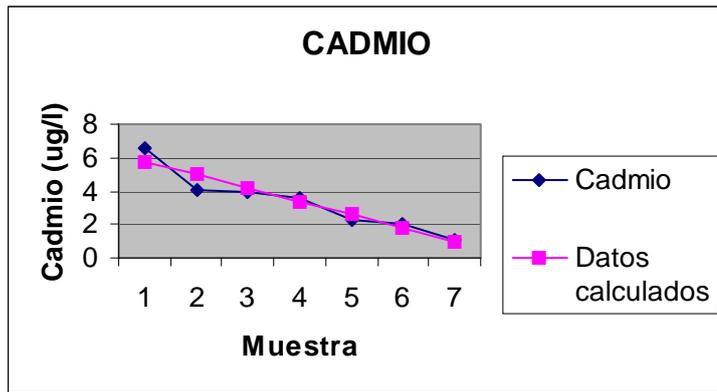


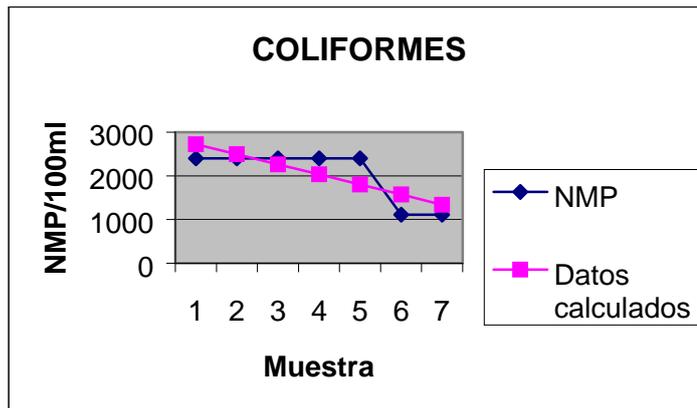
## PUNTO 6











## 5 Índice de Calidad de Agua

Constituye un valor numérico adimensional que representa la contaminación del agua y/o las características contaminantes, ya que engloba las condiciones existentes en el agua.

Para obtener este índice, se compara la calidad del agua en diferentes lugares y momentos; también se debe valorar los efectos de los contaminantes vertidos y estudiar procesos de autpurificación que se producen. El índice de calidad se determina en aguas sin tratamiento, como es el caso del canal de riego en análisis

Este índice se obtiene de la relación entre la concentración de los contaminantes existentes en la muestra y la concentración máxima de la ley vigente, dividido para el número de contaminantes considerados; como lo demuestra la siguiente expresión:

$$IC = ((C_{Pa} / C_{Max Pa}) + (C_{Pb} / C_{Max Pb}) + (C_{Pn} / C_{Max Pn})) / \# P$$

En donde: IC = Índice de calidad

C<sub>Pa</sub> = concentración parámetro a

C<sub>Max Pa</sub> = concentración máxima de Pa permitida por la ley

C<sub>Pb</sub> = concentración parámetro b

C<sub>Max Pb</sub> = concentración máxima de Pb permitida por la ley

C<sub>Pn</sub> = concentración parámetro n

CMax Pn = concentración máxima de Pn permitida por la ley

# P = número de parámetros

Los valores obtenidos no deberán sobrepasar la unidad, ya que esto significa que no cumple con la norma establecida; sin embargo, valores iguales a 1 demuestran que la calidad de agua está en el límite de la norma y valores inferiores a 1 indican que cumple con amplio rango.

Para demostrar el cálculo del índice de calidad se ha tomado como ejemplo el primer muestreo realizado en el punto 1.

1. Datos obtenidos experimentalmente en el primer muestreo

CADMIO	CROMO	PLOMO	COLIFORMES
0,0171	0,037	0,062	2400

2. Valores máximos establecidos por la norma

CADMIO	CROMO	PLOMO	COLIFORMES
0,01	0,3	0,05	1000

3. Cálculo del índice de calidad de agua

$$IC1 = ((0,0171/0,01)+(0,037/0,3)+(0,062/0,05)+(2400/1000))/4$$

$$IC1 = 1,4$$

En la siguiente tabla se indican los índices de calidad de agua obtenidos en los diferentes puntos de muestreo; únicamente se trabajó con datos de cadmio, cromo, plomo y coliformes totales, ya que estos parámetros son los que fueron analizados y constan en la Ley de Aguas.

	P1	P2	P3	P4	P5	P6
IC1	1,4	1,9	1,0	0,6	1,1	0,9
IC2	1,2	1,2	0,9	1,0	0,9	0,6
IC3	0,4	0,7	0,7	0,8	0,5	0,5
IC4	0,4	0,7	0,5	0,4	0,7	0,7
IC5	0,7	0,7	0,4	0,4	0,7	0,8
IC6	0,4	0,4	0,7	0,9	0,8	0,7
IC7	0,8	0,7	0,8	0,9	0,8	0,8
IC p	0,8	0,9	0,7	0,7	0,8	0,7

Luego de determinar el índice para cada punto y en cada muestreo, se determinó el índice de calidad promedio (IC p). Tomando el valor promedio, se determina que el índice de calidad de agua del canal de riego de Tumbaco, es inferior a la unidad, es decir que se cumplen con amplio rango los parámetros establecidos en la ley.

## 6 Recomendación de parámetros para aguas de riego

La FAO, la Organización Mundial de la Salud y la Organización de Estados Americanos han publicado parámetros de calidad para aguas de riego, los mismos que fueron analizados y comparados con los criterios para aguas de uso agrícola de la Ley de Aguas del país, para luego establecer valores mínimos y máximos de parámetros que se deben considerar.

En la siguiente tabla se analiza parámetros como nitritos, cloruros y sulfatos los mismos que no constan dentro de los parámetros permisibles en aguas de riego. De igual manera metales como el cromo y el plomo, ya que los parámetros estipulados deben ser reconsiderados.

FUENTE	PARAMETRO	UNIDAD	MINIMO	MAXIMO	LEY DE AGUAS
FAO (1985)	Nitratos	mg/l	5	30	
OMS/OEA (1987)	Cloruros	mg/l	200	600	
OMS/OEA (1987)	Sulfatos	mg/l	200	400	
OMS/OEA (1987)	Cromo +6	mg/l	0,05		0,2
OMS/OEA (1987)	Plomo	mg/l	0,05	0,1	0,05

Es necesario establecer dentro de la Ley de Aguas del país parámetros como los sulfatos y nitratos, además éstos últimos en altas concentraciones producen trastornos sanguíneos.

Debido a la fitotoxicidad de los cloruros éstos deben ser añadidos a la Ley de Aguas del Ecuador; ya que concentraciones elevadas de cloruros en aguas producen toxicidad a los cultivos. Los cloruros en concentraciones de 140 a 350ppm ya presentan problemas de toxicidad y sobre estos valores pueden ocasionar problemas de toxicidad graves.

De igual manera, para el cromo 6<sup>+</sup> se deberá reducir los límites permisibles establecidos en el país, ya que estos sobrepasan los límites internacionales.

El valor máximo permisible de plomo está dentro del rango establecido por la OEA en 1987; se recomienda mantener este valor ya que el plomo puede ingresar al organismo a través de alimentos y ésta exposición prolongada ocasiona acumulación y manifiesta los efectos tóxicos.

## **7 Sistemas de tratamiento recomendados**

Durante el período en que se realizó los muestreos, el agua del canal de riego presentó concentraciones de coliformes sobre la norma; así el número más probable se mantuvo sobre los 1100 por 100ml de agua.

Los coliformes totales presentes en el agua de riego deben estar acarreando organismos patógenos para la salud, los mismos que contaminan los alimentos y producen enfermedades.

El cloro en sus diversas combinaciones químicas es considerado uno de los desinfectantes de uso común; por lo que se deberá dosificar periódicamente con el cloro residual.

Para el procedimiento de cloración del agua de riego se ha ubicado luego del quinto punto de muestreo una pequeña plantación de lechugas orgánicas, dentro de la cual existe un reservorio de aproximadamente 6 m<sup>3</sup>.

Ravina *et al.* (1992 y 1995) encontraron que se debe realizar una cloración diaria durante una hora, o cada 3 días, con 1 mg/l de cloro residual; además en aguas se debe tener como concentración máxima de cloro residual 2ppm.

Además se debe considerar que concentraciones de cloro residual entre 0,5 y 1 mg/l no suponen riesgo para los cultivos regados y se debe tomar en

cuenta que del lugar de cloración hasta la utilización del agua la concentración de cloro residual puede disminuir considerablemente.

## **8 Conclusiones**

Tomando como base las tablas de resultados, podemos concluir que:

- El potencial de hidrógeno a lo largo del canal presenta valores dentro de la norma, así mismo, el valor medio para los diferentes puntos de muestreo está dentro del rango de 8,2 y 8,5.
- De acuerdo a parámetros permisibles internacionales, los valores de cloruros obtenidos se encuentran muy por debajo del valor mínimo establecido.
- De la misma manera, la concentración de cloruros en el agua de riego no generará problemas de toxicidad.
- Los nitratos al igual que los cloruros se encuentran bajo los límites permisibles recomendados; por lo que éstos no generarán trastornos en la salud.
- La OMS conjuntamente con la OEA establecen en 1987 que la concentración de sulfatos deberá estar entre los 200 y 400ppm; el agua del canal presenta valores inferiores a estos.
- Los valores medios de cadmio obtenidos si cumplen con la Ley de Aguas, únicamente en el primer muestreo se obtienen valores superiores a la norma en los cinco primeros puntos.
- El valor de cromo total obtenido en el canal de riego se encuentra dentro del valor máximo permisible por la ley del país; sin embargo como se indicó anteriormente el límite de cromo 6+ establecido deberá reducirse a la cuarta parte, conforme lo indican la OMS y la OEA.

- Los niveles de plomo obtenidos cumplen tanto con la Ley de Aguas como con el valor mínimo establecido por la OMS y la OEA.
- Como se menciona en recomendación de sistemas de tratamiento, los coliformes totales no cumplen con la ley, por lo que las aguas deberán recibir tratamiento para eliminar a los mismos.

Los gráficos obtenidos del análisis estadístico demuestran que:

- Parámetros físicos como la temperatura y los sólidos totales disueltos tienen un comportamiento similar a lo largo del canal.
- En los diferentes puntos de control el pH presenta valores dentro de la norma y además genera una tendencia lineal.
- Parámetros como los cloruros, nitritos, nitratos, fosfatos y sulfatos presentan un comportamiento variado, ya que estos al igual que los metales pesados sufren alteraciones en su concentración por el variado uso de fertilizantes y pesticidas.
- El alto y diverso número de coliformes totales obtenidos en los diferentes muestreos, así como la concentración de detergentes en las aguas, varían indistintamente debido a las descargas que el canal recibe en forma irregular.

También se concluye que:

- El índice de calidad promedio obtenido demuestra que las aguas del canal de riego cumplen con la ley; sin embargo únicamente se elaboró este índice con parámetros de cadmio, cromo, plomo y coliformes totales.

- Inicialmente se creía que el agua del canal de riego era libre de coliformes, por lo que se pensaba recomendar a la gente del sector no contaminarla; sin embargo el agua del río Pita proviene del valle de Sangolqui de donde posiblemente viene ya contaminada.

## **9 Recomendaciones**

- Luego de incorporar nuevos parámetros y de revisar otros, se recomienda obtener nuevamente el índice de calidad de agua; de igual manera se podría determinar el índice para aguas con tratamiento luego de realizar la cloración.
- El JGUSIRTUM deberá informar a los usuarios del canal de riego de Tumbaco, el alto nivel de coliformes presentes en el agua de riego.
- Las personas que utilicen el agua del canal deberán clorar el agua antes de regar sus cultivos; con lo que se evitará la transmisión de posibles enfermedades generadas a partir de microorganismos.
- Se deberá aconsejar a la gente ubicada en las cercanías del canal de riego no usar el agua para preparar alimentos.
- Continuar con la investigación para la caracterización de las aguas de canal de riego de Tumbaco, esto permitirá aumentar la confiabilidad de los datos obtenidos y obtener un mejor índice de calidad a través del tiempo y el espacio.
- Incentivar la investigación y caracterización de los recursos hídricos del país, con miras a valorar la calidad y optimizar el uso mediante la clasificación de los recursos según su aplicación.

## 10 Bibliografía

- Castro L. 1993. Evaluación de riesgos para la salud por el uso de las aguas residuales en agricultura. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. Lima – Perú.
- Falcón, C. 1990. Manual de Tratamiento de Aguas Negras. Editorial Limusa. Departamento de Sanidad del Estado de Nueva York. México.
- García I., Dorronsoro C. Contaminación del Suelo. 1995. Departamento de Edafología y Química Agrícola. Unidad Docente e Investigadora de la Facultad de Ciencias. Universidad de Granada. España.
- Kemmer, F.; McCallion, J. 1989. Manual del agua. Su naturaleza, tratamiento y aplicaciones. Nalco Chemical Company. McGraw-Hill. México.
- Normas de toma de muestras. 1997. Sociedad Rural Argentina. Laboratorio de análisis agropecuarios. Buenos Aires – Argentina.
- Page, A.L.; Chang, A. C.; Sposito G.; Mattigod, S. 1981. Trace elements in wastewater: Their effects on plant growth and composition and their behavior in soils.
- Pelczar, M.; Reid, R.; Chan, E. 1982. Microbiología. McGraw-Hill. Cuarta edición. México.
- Population Information Program. Center for Communication Programs. Enfermedades transmitidas por el agua. 1999. The Johns Hopkins School of Public Health. Baltimore – Maryland – USA.
- Ramos C. 1998. El uso de aguas residuales en riegos localizados y en cultivos hidropónicos. Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias. España.

- Ravina, I.; Paz, E.; Sagi, G.; Schischa, A.; Marcu, A.; Yechiely, Z.; Sofer, Z.; Lev, Y. 1995. Performance evaluation of filters and emitters with secondary effluent. Microirrigation for a changing world: Conserving resources/Preserving the Environment. Microirrigation Congress. Orlando, Florida.
- Ravina, I.; Paz, E.; Sofer, Z.; Schischa, A.; Sagi, G. 1992. Control of emitter clogging in drip irrigation with reclaimed wastewater.
- Saénz, R. 1999. Forero Asesor de la División de Salud y Ambiente OPS/OMS. Federación Panamericana de Asociaciones de Facultades de Medicina. Bogotá – Colombia.
- Sánchez, N. 1993. Acumulación de lavado de sales y metales pesados en un suelo cultivado con caña de azúcar regado con agua servida en el Sistema de Riego. Universidad Central de Venezuela.
- <http://www.eapv.org/agriculturaecologica.htm>
- <http://www.lagranja.com.uy/Agua.htm>
- <http://edafologia.ugr.es/conta/tema11/agentes.htm>
- <http://www.fepafem.org/investigaciones/metalespesados/2.htm>
- <http://www.upf.es/occ/aiguariu/cast/lliures/rece.htm>
- <http://165.158.1.117/eswww/fulltext/repind53/rea/rea.html>
- [http://www.jhuccp.org/prs/sm14/sm14chap5\\_1.stm](http://www.jhuccp.org/prs/sm14/sm14chap5_1.stm)
- <http://www.fundacite.arg.gov.ve/proyectos/proyecto.shtml?codigo=849>

- <http://www.conacyt.mx/dadcytr/tematicas/naturales/t3.htm>
- [http://www.ruralarg.org.ar/laboratorio/Lab\\_tomaM\\_agua.htm](http://www.ruralarg.org.ar/laboratorio/Lab_tomaM_agua.htm)
- [http://www.crv.es/fu/fu\\_fo.htm](http://www.crv.es/fu/fu_fo.htm)
- [http://www.mgap.gub.uy/Renare/SuelosyAguas/ServiciosyControles/Suelos\\_y\\_Aguas\\_Calidad\\_Agua\\_Riego.htm](http://www.mgap.gub.uy/Renare/SuelosyAguas/ServiciosyControles/Suelos_y_Aguas_Calidad_Agua_Riego.htm)
- [http://www.drcalderonlabs.com/Metodos/Lista\\_de\\_Metodos.htm](http://www.drcalderonlabs.com/Metodos/Lista_de_Metodos.htm)

## Anexos

### Anexo 1.

Parámetro	Expresado como	Unidad	Valor máximo permisible
Aluminio	Al	mg/l	5.0
Arsénico	As	mg/l	0.1
Berilio	Be	mg/l	0.1
Boro	B	mg/l	1.0
Cadmio	Cd	mg/l	0.01
Cinc	Zn	mg/l	2.0
Cobalto	Co	mg/l	0.05
Cobre	Cu	mg/l	2.0
Cromo	Cr <sup>+6</sup>	mg/l	0.2
	Cr		0.1
Flúor	F	mg/l	1.0
Hierro	Fe	mg/l	5.0
Litio	Li	mg/l	2.5
Manganeso	Mn	mg/l	0.2
Molibdeno	Mo	mg/l	0.01
Níquel	Ni	mg/l	0.2
Potencial de hidrogeno	pH		6-9
Plomo	Pb	mg/l	0.05
Selenio	Se	mg/l	0.02
Vanadio	V	mg/l	0.1
Bacterias coliformes	NMP/100cm <sup>3</sup>	Coli total	1000
Huevos de parásitos			Ausencia
Aceites, grasas	Película visible		Ausencia
Materia flotante			Ausencia

Copiado de: Ley de Aguas, Reglamento, Legislación Conexa. Actualizada a septiembre de 1999. Corporación de Estudios y Publicaciones.

Anexo 2.

**Determinación del número más probable**

Número de tubos con reacción positiva			Índice
3 de 10ml c/u	3 de 1ml c/u	3 de 0,1ml c/u	NMP/100ml
0	0	0	< 3
0	0	1	3
0	1	0	3
1	0	0	4
1	0	1	7
1	1	0	7
1	1	1	11
1	2	0	11
2	0	0	9
2	0	1	14
2	1	0	15
2	1	1	20
2	2	0	21
2	2	1	28
3	0	0	23
3	0	1	39
3	0	2	64
3	1	0	43
3	1	1	75
3	1	2	120
3	2	0	93
3	2	1	150
3	2	2	210
3	3	0	240
3	3	1	460
3	3	2	1110
3	3	3	≥2400