



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE  
GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
ESCUELA REGIONAL DE INGENIERÍA  
SANITARIA Y RECURSOS HIDRAÚLICOS

**EVALUACIÓN DE LOS EXÁMENES DE LABORATORIO FLUOROCULT,  
LMX-FLUOROCULT Y COLILERT Y SU COMPARACIÓN CON LOS  
EXÁMENES TRADICIONALES DE TUBOS DE FERMENTACIÓN POR  
DILUCIONES MÚLTIPLES y MEMBRANAS DE FILTRACIÓN**

ESTUDIO ESPECIAL

Presentado por

**FRANCES ANNETTE RECARI FERNÁNDEZ**

Como requisito para optar al grado académico de

**MAESTRA EN INGENIERÍA SANITARIA  
(MAGÍSTER SCIENTIFICAE)**

Guatemala, 27 de noviembre de 2003

## HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR



Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de tesis titulado:

### **EVALUACIÓN DE LOS EXÁMENES DE LABORATORIO FLUOROCULT, LMX-FLUOROCULT Y COLILERT Y SU COMPARACIÓN CON LOS EXÁMENES TRADICIONALES DE TUBOS DE FERMENTACIÓN POR DILUCIONES MÚLTIPLES y MEMBRANAS DE FILTRACIÓN**

Tema que fue autorizado por la Comisión de Admisión y Otorgamiento de Grado de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos con fecha marzo de 2003.

Ing. Frances Recari Fernández

Guatemala, noviembre de 2003

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
VOCAL I	Ing. Murphey Olimpo Paiz
VOCAL II	Lic Amahan Sánchez Álvarez
VOCAL III	Ing. Julio David Galicia Celada
VOCAL IV	Br. Kenneth Issur Estrada Ruíz
VOCAL V	Br. Elisa Yazminda Vides Leiva
SECRETARIO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

**DIRECTOR ERIS**

M Sc Ing. Pedro Saravia Celis

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN DE ESTUDIO ESPECIAL**

EXAMINADOR	M Sc Ing Zenón Much
EXAMINADOR	M Sc Ing. Joram Gil
EXAMINADOR	M Sc Ing. Guillermo García

**ASESOR DE ESTUDIO ESPECIAL**

M Sc Ing. Zenón Much

## **AGRADECIMIENTOS**

A mis padres: Juan Recari Arrieta y Maritza Fernández, por apoyarme en cada una de las decisiones que he tomado en mi vida, y en especial, por enseñarme que el límite de los sueños está en el cielo, y que cada quién decide hasta dónde quiere llegar.

A Oscar: Por estar a mi lado siempre, sin ningún reparo.

A mis queridos amigos: Francelita por tu ayuda, apoyo y comprensión y Javier por su apoyo y comprensión.

Al ingeniero Zenón Much, por su ayuda y apoyo.

A la doctora Alba Tabarinni, por su valiosa ayuda.

A mis queridos amigos del laboratorio de Química y Microbiología Sanitaria: don Moisés, Moisés, Mijangos y licenciado Samayoa, por toda la ayuda que siempre me brindaron, acompañada de una amable sonrisa.

A la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y a todos sus catedráticos.

A Alejandrina, Frida y Jeaneth por toda su ayuda y paciencia.

## DEDICATORIA

A las personas que me han enseñado los valores de la vida, me han enseñado a luchar, me han transmitido todos sus conocimientos sin reparo, han creído en mí, me han apoyado y formaron mi educación desde niña.

Juan y Maritza Recari, esto es para ustedes.

Tita, sé que me ves desde el cielo.

Walter Maul, siempre presente en mi mente.

Ingeniero Ruíz, mi apoyo e inspiración.

Ph D Bressani, una gran admiración y agradecimiento.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	ii
ABREVIATURAS	v
RESUMEN	vi
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	ix
HIPÓTESIS	xi
OBJETIVOS	xii
LIMITACIONES	xiii
INTRODUCCIÓN	xiv
1. ANTECEDENTES	1
2. MARCO TEÓRICO	5
2.1. Pruebas bacteriológicas de contaminación del agua	5
2.2. Grupo coliforme	6
2.3. Técnicas bacteriológicas	7
2.4. Métodos tradicionales	8
2.5. Métodos modernos	11
3. METODOLOGÍA	14
3.1. Universo de trabajo	14
3.2. Localización	14
3.3. Recursos humanos	17
3.4. Recursos físicos	17
3.5. Procedimiento de laboratorio	17
3.6. Método de recolección	20
4. RESULTADOS	21
5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	67
6. CONCLUSIONES	73
7. RECOMENDACIONES	75
8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	76
9. ANEXO A. Planos de plantas potabilizadoras y Desviación	78

# ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

## FIGURAS

1	Figura 1. Mapa aéreo Planta Santa Luisa	15
2	Figura 2. Mapa aéreo Planta La Brigada	15
3	Figura 3. Mapa aéreo Planta El Cambray	16
4	Figura 4. Mapa aéreo Planta Lo de Coy	16
5	Figura 5. Lo de Coy Fluorocult	33
6	Figura 6. Lo de Coy LMX	33
7	Figura 7. Lo de Coy Tubos	33
8	Figura 8. Lo de Coy Colilert	34
9	Figura 9. Lo de Coy Comparación	34
10	Figura 10. El Cambray Fluorocult	35
11	Figura 11. El Cambray LMX	35
12	Figura 12. El Cambray Tubos	35
13	Figura 13. El Cambray Colilert	36
14	Figura 14. El Cambray Comparación	36
15	Figura 15. Santa Luisa Fluorocult	37
16	Figura 16. Santa Luisa LMX	37
17	Figura 17. Santa Luisa Tubos	37
18	Figura 18. Santa Luisa Colilert	38
19	Figura 19. Santa Luisa Comparación	38
20	Figura 20. Fuentes Sta. Luisa Fluorocult	39
21	Figura 21. Fuentes Sta. Luisa LMX	39
22	Figura 22. Fuentes Sta. Luisa Tubos	39
23	Figura 23. Fuentes Sta. Luisa Colilert	40
24	Figura 24. Fuentes Sta. Luisa Comparación	40

25	Figura 25. El Cambray Fluorocult	41
26	Figura 26. El Cambray LMX	41
27	Figura 27. El Cambray Tubos	41
28	Figura 28. El Cambray Colilert	42
29	Figura 29. El Cambray Comparación	42
30	Figura 30. El Cambray Fluorocult	43
31	Figura 31. El Cambray LMX	43
32	Figura 32. El Cambray Tubos	43
33	Figura 33. El Cambray Colilert	44
34	Figura 34. El Cambray Comparación	44
35	Figura 35. Lo de Coy Fluorocult	45
36	Figura 36. Lo de Coy LMX	45
37	Figura 37. Lo de Coy Tubos	45
38	Figura 38. Lo de Coy Colilert	46
39	Figura 39. Lo de Coy Comparación	46
40	Figura 40. Lo de Coy Fluorocult	46
41	Figura 41. Lo de Coy LMX	47
42	Figura 42. Lo de Coy Tubos	47
43	Figura 43. Lo de Coy Colilert	48
44	Figura 44. Lo de Coy Comparación	48
45	Figura 45. La Brigada Fluorocult	48
46	Figura 46. La Brigada LMX	49
47	Figura 47. La Brigada Tubos	49
48	Figura 48. La Brigada Colilert	50
49	Figura 49. La Brigada Comparación	50
50	Figura 50. La Brigada Fluorocult	51
51	Figura 51. La Brigada LMX	51
52	Figura 52. La Brigada Tubos	51
53	Figura 53. La Brigada Colilert	52
54	Figura 54. La Brigada Comparación	52

55	Figura 55. El Cambray Fluorocult	53
56	Figura 56. El Cambray LMX	53
57	Figura 57. El Cambray Tubos	53
58	Figura 58. El Cambray Colilert	54
59	Figura 59. El Cambray Comparación	54
60	Figura 60. Fuentes Cambray Fluorocult	55
61	Figura 65. Fuentes Cambray Fluorocult	55
62	Figura 66. Fuentes Cambray Fluorocult	55
63	Figura 67. Fuentes Cambray Fluorocult	56
64	Figura 68. Fuentes Cambray Fluorocult	56

## TABLAS

I	Planta Lo de Coy, 10 de marzo de 2003	21
II	Planta El Cambray, 17 de marzo de 2003	22
III	Planta Santa Luisa, 31 de marzo de 2003	23
IV	Entrada Santa Luisa, 7 de abril de 2003	24
V	Planta El Cambray, 21 de julio de 2003	25
VI	Planta El Cambray, 21 de julio de 2003	26
VII	Planta Lo de Coy, 28 de julio de 2003	27
VIII	Planta Lo de Coy, 28 de julio de 2003	28
IX	Planta La Brigada, 04 de agosto de 2003	29
X	Planta La Brigada, 04 de agosto de 2003	19
XI	El Cambray, 01 de septiembre de 2003	30
XII	Fuentes El Cambray, 01 de septiembre 2003	31
XIII	Análisis económico Fluorocult	57
XIV	Análisis económico Coliert	59
XV	Análisis económico LMX	61
XVI	Análisis económico Tubos	63
XVII	Análisis económico Membranas	65

## ABREVIATURAS

<b>cm<sup>3</sup></b>	Según norma COGUANOR 4010, indica medida de volumen para el sistema métrico internacional, Guatemala. Centímetro cúbico.
<b>NMP</b>	Número más probable
<b>FF</b>	Coliformes fecales fluorocult
<b>FL</b>	Coliformes fecales LMX
<b>FT</b>	Coliformes fecales. Tubos de fermentación
<b>FC</b>	Coliformes fecales Colilert
<b>TF</b>	Coliformes totales fluorocult
<b>TL</b>	Coliformes totales LMX
<b>TT</b>	Coliformes totales. Tubos de fermentación
<b>TC</b>	Coniformes totales Colilert

## RESUMEN

Con el crecimiento acelerado de la población mundial, el recurso hídrico destinado al consumo humano, está siendo contaminado y, por consiguiente, también ha comenzado a ser escaso. Este es el caso también de los países del tercer mundo como Guatemala, dónde por falta de un tratamiento para aguas residuales, éstas son descargadas a los cuerpos de agua, contaminándolo de manera irremediable.

De esta forma, las descargas de las viviendas e industrias, llevan productos contaminantes, orgánicos e inorgánicos, a los cuerpos receptores que, a su vez, pueden ser utilizados por la población para abastecerse de agua; convirtiéndose en un foco de enfermedades de diferentes tipos, como por ejemplo: cólera, en el caso de descargas de origen fecal y hasta cáncer, sí las descargas contienen altas concentraciones de arsénico y biocidas, etc.<sup>1</sup>

Para poder decidir si determinada calidad de agua es adecuada para consumo humano, es necesario hacer análisis de laboratorio con parámetros indicadores de contaminación, uno de los más importantes es la cantidad de coliformes fecales y totales, expresada en NMP/100 cm<sup>3</sup>, que determina la calidad bacteriológica del agua.

El presente estudio tiene su importancia, en la necesidad que existe en verificar sí el agua destinada para el consumo humano es bacteriológicamente aceptable, brindando resultados rápidos y altamente confiables.

Para poder llegar a evaluar qué métodos son los más indicados para hacer esta determinación se realizó una comparación de cinco métodos de análisis bacteriológico – Fluorocult, LMX, Colilert, tubos de fermentación por diluciones múltiples<sup>1</sup> y membranas de filtración-, dos de los cuales –tubos de fermentación y membranas de filtración- han sido ampliamente utilizados durante el siglo XX y XXI y los tres restantes han aparecido recientemente.

Los parámetros medidos para cuatro de los métodos- se excluye membranas de filtración- son NMP de coliformes totales y fecales por 100 cm<sup>3</sup> de muestra de agua. En total se analizaron 175 muestras, las cuales fueron recolectadas en las plantas de Santa Luisa, El Cambray, Lo De Coy y La Brigada, en diferentes etapas del proceso de potabilización (entrada de agua, filtros antes y después de clorar, sedimentadotes y tanques de distribución, ver anexo A). Las 175 muestras fueron captadas en frascos bacteriológicos estériles, como lo indica la norma COGUANOR NGO 29:001.

Del análisis e interpretación de resultados se obtiene que los cinco exámenes de análisis bacteriológico pueden ser utilizados para la determinación de coliformes totales y fecales en el agua, pero no puede haber una comparación estadística entre cada uno de ellos, ya que el método para determinar presencia de coliformes no es el mismo, ni tampoco lo es la interpretación estadística de las tablas que cada uno utiliza.

---

• 1 Manual I. El agua calidad y tratamiento para consumo humano. CEPIS 1992

También se indica que los exámenes de Colilert y membranas de filtración pueden ser una buena alternativa en casos de emergencia, en donde el tiempo que se tarde en dar los resultados de contaminación fecal pueden hacer la diferencia en vidas humanas o en casos de monitoreo de una planta de agua potable, en donde los análisis son realizados más por operarios que por técnicos. Por otra parte, la mejor opción para brindar resultados confiables para una evaluación de agua es el examen de tubos de fermentación por diluciones múltiples.

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### Definición del problema

La norma COGUANOR 20:001, establece que el agua para consumo humano, debe estar libre de patógenos como: bacterias coliformes totales, fecales, parásitos y virus. Para poder determinar la presencia, específica de bacterias coliformes totales y fecales, existen exámenes clásicos de determinación, como Tubos de fermentación por diluciones múltiples y Membranas de filtración. Recientemente, se han desarrollado exámenes “ modernos ” de análisis bacteriológico –LMX, Fluorocult y Colilert- que reducen el tiempo de obtención de resultados. Estos; pueden ser económicamente aceptables, reducir tiempo de análisis, conllevar a una optimación de recurso humano y técnico, y permitir que se obtenga resultado altamente confiable?

Es importante reducir el tiempo para la obtención de los resultados, sin sacrificar su calidad. En el campo de los análisis bacteriológicos es básico encontrar métodos más modernos y que, a la vez, se puedan seguir investigaciones relacionadas con el tema. Algo sumamente importante, que debe buscarse dentro de los exámenes alternativos que puedan existir, es hacer desaparecer o disminuir las desventajas que los exámenes utilizados tengan actualmente.

## **Delimitación del problema**

Para hacer la evaluación de los exámenes de análisis bacteriológico, se obtuvieron muestras de agua de diferentes partes del proceso de potabilización de las plantas Santa Luisa, El Cambray, Lo De Coy y La Brigada, para así tener una variedad de calidades de agua. El universo muestral fue de 175 muestras en total, analizadas desde el mes de marzo de 2003 a septiembre del mismo año, para abarcar, tanto la época lluviosa como la seca.

## **HIPÓTESIS**

Los métodos de Colilert, Fluorocult y LMX-Fluorocult pueden ser utilizados como métodos alternativos a los métodos de Membranas de filtración y Tubos de fermentación por dilución múltiple en el análisis bacteriológico del agua, con ellos se obtiene la misma calidad, disminuye el tiempo de obtención de resultados, sin aumentar el costo del análisis.

# **OBJETIVOS**

## **Objetivo general**

1. Desarrollar un estudio comparativo entre los exámenes bacteriológicos Colilert, Fluorocult y LMX-Fluorocult y los métodos clásicos de membranas de filtración y tubos de fermentación por diluciones múltiples utilizados actualmente por el laboratorio de microbiología de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, para determinar cuál de ellos puede ser una alternativa confiable y adecuada.

## **Objetivos específicos**

1. Determinar qué examen bacteriológico del agua puede optimizar el tiempo de análisis y los recursos económicos, además de satisfacer la exactitud y precisión de los resultados.
2. Hacer una comparación entre los exámenes bacteriológicos utilizados actualmente de tubos de fermentación por diluciones múltiples y membranas de filtración con los exámenes bacteriológicos modernos de Colilert, Fluorocult y LMX-Fluorocult y determinar si existe relación entre ellos.
3. Dentro de los tres métodos modernos estudiados, proponer alguno que pueda ser utilizado, en base a los factores de confiabilidad de resultados, optimización de tiempo y costos.

## LIMITACIONES

1. La cantidad de muestras aleatorias tomadas para realizar la totalidad del estudio se reduce a 175 muestras de agua de 100 cm<sup>3</sup> . No hay duplicado de cada muestra. Sin embargo, se analizaron los mismos puntos de captación de muestras en diferentes épocas del año. “A menos que se estudien numerosas porciones de la muestra, la precisión de la prueba de Tubos de fermentación por diluciones múltiples, es muy baja. Incluso si la muestra contiene sólo un coliforme por cm<sup>3</sup>, casi un 37% de los tubos de 1 cm<sup>3</sup> pueden producir resultados negativos, debido a la distribución aleatoria de las bacterias en la muestra”<sup>1</sup>
2. Se trabajó, tanto con agua clara y potable como de agua de alta turbiedad por lo que los resultados obtenidos con el examen de membranas de filtración no fue tomado como parte de la comparación, ya que este método necesita quintuplicado y solamente trabaja con aguas claras, sin existir la posibilidad de hacer diluciones, ya que la norma no lo permite.
3. El trabajo de investigación fue realizado a partir del mes de marzo, hasta septiembre de 2003 para hacer el muestreo y realizar los análisis a las muestras de agua captada, por lo que el universo de trabajo se resume en 175 muestras de agua, cada una de 100 cm<sup>3</sup> .

## INTRODUCCIÓN

Las enfermedades diarreicas pueden ser transmitidas a través del agua contaminada y causar la muerte de tres millones de personas anualmente, de los cuales la mayoría son niños menores de 5 años.<sup>1</sup> Estas enfermedades son producidas por microorganismos patógenos como las bacterias, virus y protozoos; y organismos más desarrollados como los helmintos ; infectando a la persona de diferente manera y produciéndole diferentes enfermedades gastrointestinales; como por ejemplo: la *Shigella* produce disentería bacilar; la *Escherichia coli* patógena, gastroenteritis; el Rotavirus, diarreas infantiles al igual que el Reovirus; de los protozoos la *Entamoeba histolytica* produce la amebiasis y los helmintos causan la *Taeniasis*.<sup>2</sup>

Para determinar la calidad bacteriológica del agua, se toma como referencia las bacterias del grupo coliforme, ya que éstas son las más representativas de la presencia de contaminación fecal de los animales de sangre caliente- incluso al hombre- y, a su vez, el grupo coliforme posee exámenes de detección relativamente conocidos, muy estudiados y sencillos. Dentro del grupo coliforme se puede incluir: *Escherichia coli*, *E.auresens*, *E.freunii*, *E.intermedia*. *Aerobacter aerogenes*, *A. Cloacae*. Otras bacterias como: *Streptococcus*, *Lactobacillus*, *Staphylococcus*, *Proteus*, *Pseudomonas* y otras formas esporuladas que se catalogan solamente como patógenas y no entran en ninguna característica del grupo coliforme.<sup>3</sup>

Existe la necesidad de aclarar que hay una subdivisión entre las bacterias coliformes totales –todas las mencionadas anteriormente- y las coliformes fecales, por ejemplo, la *Escherichia coli* es una coliforme fecal, mientras que *A.aerogenes* son coliformes totales.

\*

Para poder hacer esta diferenciación también existen exámenes bacteriológicos que utilizan un sustrato y temperatura específica del grupo coliforme fecal, del cual la más representativa es la *E.coli*, por encontrarse en mayores cantidades.

Los cinco exámenes utilizados en este estudio, poseen las características de sustrato específico, pero para selección de temperatura el único que la utiliza como diferenciador es el examen de tubos de fermentación por diluciones múltiples.

También cabe decir, que los exámenes bacteriológicos más antiguos, tanto en su desarrollo como utilización, son los de membranas de filtración (1855) y tubos de fermentación por diluciones múltiples, que tuvo sus primeros pasos en 1885 con el descubrimiento de la *E.coli*.<sup>4</sup> Los otros exámenes –Fluorocult, LMX y Colilert- han sido recientemente desarrollados, aproximadamente en el año 2000, utilizando la luminometría, o sea, el determinar la fluorescencia producida por la metabolización enzimática de dos nutrientes, el ONPG y MUG.

- 
- 1 Reporte de la Visión 21 preparado por el capítulo Regional de América Latina 1999.
  - 2 Manual I El agua calidad y tratamiento para consumo humano CEPIS 1992.
  - 3,4 Current practices in water Microbiology. US DEPARTMENTE OF INTERIOR 1967.

En general, los cinco exámenes brindan sus resultados en base a tablas estadísticas, desarrolladas para determinar el NMP (número más probable), que indica el número de *E.coli* más probable de encontrar, que no es un número exacto, sino una aproximación estadística.

# 1. ANTECEDENTES

Desde que se comenzó a observar el fenómeno de degradación de la calidad del agua, se han propuesto diferentes definiciones de contaminación. Una definición formal acertada es: “Polución es sinónimo de contaminación, u otra alteración de las propiedades físicas, químicas o biológicas de cualquier agua, o bien, cualquier descarga líquida, gaseosa o sustancias sólidas que se haga dentro del agua, que sea dañina a la salud pública o que altere cualquier otra actividad humana, como la agricultura, uso doméstico, recreacional. Industrial, o bien sea perjudicial para animales y plantas.”<sup>1</sup>

## Indicadores bacterianos de contaminación

Es cualquier organismo que, al estar presente, demuestre que la contaminación ha ocurrido, y posiblemente indique la naturaleza de la misma. Para ser más restrictivos, los indicadores bacterianos de contaminación están asociados primariamente con la demostración de contaminación de agua, originaria de las excretas de animales de sangre caliente (seres humanos, animales domésticos o salvajes y aves), con o sin identificación de la ruta de entrada de contaminación dentro del agua.<sup>2</sup>

Los desechos intestinales de los animales de sangre caliente regularmente incluyen una amplia variedad de géneros y especies de bacterias. Entre éstas, puede ser incluido el grupo coliforme y especies del género *Streptococcus*, *Lactobacillus*, *Staphylococcus*, *Proteus*, *Pseudomonas*, esporas y otras.

Además, muchas clases de bacterias patógenas y otros microorganismos pueden ser liberados en los desechos, variando según la geografía del área, comunidad, naturaleza de la descarga, etc. Dentro de este grupo patógeno se encuentran: bacterias de especies de: *Salmonella*, *Shigella*, *Leptospira*, *Brucella*, *Mycobacterium* y *Vibrio comma*, Virus: incluso el de la hepatitis, *Poliovirus*, virus *Coxsackie*, ECHO virus, otros no específicos y protozoos: *Endamoeba histolytica*.<sup>3</sup>

Los indicadores de contaminación ideales poseen sus propias propiedades, como:

1. Aparecer en todo tipo de agua.
2. Siempre estar presente en el agua cuando constituyentes de bacterias patógenas lo están.
3. Tener un gran tiempo de sobrevivencia en el agua .
4. Desaparecer rápidamente del agua, debido a los procesos de purificación del hombre.
5. Estar siempre ausente en agua purificada.

**Obviamente, el indicador “ideal” no existe.**

Los orígenes del grupo coliforme comenzaron en 1885, Escherich, un bacteriólogo pionero, recuperó bacterias de las heces humanas, y encontró un gran número y rango de muestras que lo guiaron al término del “organismo característico de las heces humanas”. Nombró a este organismo *Bacillus coli*. En 1895, otro bacteriólogo, Migula, llamó al organismo *Escherichia coli*, el cual hasta hoy es el nombre oficial para este tipo de especie. Más tarde, Escherich, descubrió que lo que había encontrado como una simple especie bacteriana era, de hecho, un complejo heterogéneo de especies bacterianas y sus especies variantes.<sup>1</sup>

A partir de esto se comienza con la descripción de la composición del grupo coliforme. Como lo define el *Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater*, el grupo coliforme incluye todas las bacterias aeróbicas, anaerobias facultativas, Gram-negativas, no esporuladas que fermentan la lactosa con formación de gas en un término de 48 horas a 35 °C. El término coliforme o grupo coliforme es exclusivo, incluyendo las siguientes bacterias: *Escherichia coli*, *E. aureescens*, *E. freundii*, *E. intermedia*, *Aerobacter aerogenes*, y *A. cloacae*.<sup>2</sup>

Existe una división entre las coliformes fecales y no fecales, esta diferenciación se hace en base a que la *E. coli* está más íntimamente ligada a orígenes fecales, mientras que *A. erogenes* no solamente puede provenir de excretas. Para verificar lo dicho anteriormente, existen diferentes pruebas de diferenciación como: la prueba del rojo de metilo, Indole, la prueba de Voges-Proskauer y algunas otras más.

Existen hasta hoy dos exámenes de análisis bacteriológico que se han utilizado desde finales del siglo XIX; en el caso de Tubos de fermentación por diluciones múltiples, éste se desarrolló en 1925, pero Membranas de filtración comenzó a aparecer en aplicaciones de investigación biológica en 1855, hechas por Fick. Luego en 1891, Sanarelli informó de otro avance en membranas impermeables a las bacterias, pero permeables a sus toxinas. Bechhold, en 1900 comenzó un estudio sistemático de las propiedades fisicoquímicas de las membranas. Zsigmondy y Bachmann, en 1916-1918, desarrollaron métodos aplicables a escala comercial, filtros de membrana habían sido producidos por mucho años por Sartorius Werke en Alemania, y en 1919 Zsigmondy aplicó una patente americana para su fabricación, aprobada en 1922.<sup>1</sup>

En 1930, W.J Elford en Inglaterra y P. Graber en Francia, hicieron nuevas contribuciones en el desarrollo de los métodos para fabricar membranas con tamaño de poro controlado. Antes de la Segunda Guerra Mundial los procedimientos de filtración usando las membranas Zsigmondy eran utilizados para la determinación de conteo de bacterias, determinaciones de coliformes y aislamiento de bacterias patógenas de agua u otros fluidos. Pero, durante la Segunda Guerra Mundial, Alemania y Rusia demostraron mucho interés en mejorar estos métodos. El Dr. G. Mueller aplicó las técnicas de membrana a exámenes bacteriológicos de agua, después de la destrucción de los laboratorios formales.<sup>2</sup>

De los métodos modernos hay muy poco que decir, ya que fueron desarrollados aproximadamente en el año 2000. Este es un factor muy importante, por lo que los métodos tradicionales aún son utilizados y recomendados por todo el mundo.

Por último, se puede agregar que estudios adicionales de comparación y evaluación de los cinco exámenes de análisis bacteriológico propuestos en el presente estudio, no fueron encontrados.

---

1,2 Current Practices of Water Microbiology

## 2. MARCO TEÓRICO Y PRÁCTICO

### 2.1. Pruebas Bacteriológicas de contaminación en el agua

Se presupone que el objetivo de los análisis rutinarios son para determinar la existencia de microorganismos patógenos en el agua. Sin embargo, esto no es verdad por las siguientes razones:

1. Los organismos patógenos llegan al agua en forma esporádica y no sobreviven mucho tiempo; por lo tanto, pueden no estar en una muestra que se envíe al laboratorio.
2. Sí se encuentran en pequeñas cantidades, pueden pasar desapercibidos a los procedimientos empleados.
3. Se necesitan 24 horas o más para obtener resultados de los exámenes y si se encuentran microorganismos patógenos, muchas personas pueden haber tomado agua antes de que se conozcan los resultados, y así haberse expuesto a la infección. <sup>1</sup>

Se sabe que los microorganismos patógenos que llegan a los depósitos de agua, proceden de las descargas intestinales de hombres y animales. Además, ciertas especies de bacterias, particularmente la *Escherichia coli*, y varios microorganismos similares, denominados coliformes, *Streptococcus faecalis*, *Clostridium perfringens*, son habitantes normales del intestino grueso de hombres y animales y en consecuencia siempre están en las materias fecales. Así pues, la presencia de cualquiera de estas especies en el agua es evidencia de contaminación fecal y el camino está abierto a los patógenos ya que se encuentran en las materias fecales.<sup>2</sup>

Puesto que los exámenes de laboratorio para encontrar microorganismos patógenos en el agua tienen las desventajas enumeradas, se han desarrollado técnicas para detectarlos en las excretas, particularmente los del grupo coliforme. Este propósito ha probado ser satisfactorio en la práctica.

## 2.2. Grupo Coliforme

Este grupo de bacterias comprende todos los bacilos aerobios y anaerobios facultativos, gram negativos, no esporulados que producen ácido y gas al fermentar la lactosa. Las especies clásicas de este grupo son *E. coli* y *Ent. aerógenes*.

*E. coli*, como ya ha sido señalado, es un habitante normal del intestino humano y de los animales. *Ent. aerógenes* es más frecuente en granos y plantas pero también en las materias fecales. Como estas especies tienen gran semejanza en su aspecto morfológico y características de cultivo, es necesario recurrir a pruebas bioquímicas para diferenciarlas. Reacciones que tengan las siguientes cuatro características son muy importantes para lograr este propósito:

1. Capacidad para producir indol. *E. coli* lo produce, y *Ent. aerógenes* no.
2. Cantidad de ácido producida en un medio especial de caldo glucosado adicionado del indicador rojo de metilo. Los dos microorganismos producen ácido de la glucosa. Sin embargo, *E. coli* produce pH más bajo, lo que hace que vire al rojo de metilo, mientras que *Ent. aerógenes* no cambia de color.

3. Capacidad para producir acetil-metil-carbinol en un medio de peptona glucosado. Este compuesto químico se detecta por la reacción de Voges-Proskauer. *E.coli* no produce acetil-metil-carbinol mientras que *Ent.aerógenes* sí lo hace.
4. Utilización de citrato de sodio. *Ent.aerógenes* es capaz de utilizar el citrato de sodio como su única fuente de carbono, esto es, se desarrollará en un medio de cultivo químicamente definido en el cual el citrato de sodio es el único compuesto de carbono. *E.coli* no se desarrolla en estas circunstancias.<sup>1</sup>

### 2.3. Técnicas bacteriológicas

Los métodos en general poseen detalles establecidos que deben seguirse al pie de la letra si se quiere que los resultados tengan significado oficial. Es necesario cuidar los siguientes detalles cuando se sometan muestras de agua a análisis bacteriológico:

1. La muestra se tomará en frasco estéril.
2. La muestra ha de ser representativa de la fuente original.
3. Se evitará la contaminación de la muestra durante y después de obtenerla.
4. La muestra se analizará lo más pronto posible.
5. Sí no es posible examinar la muestra, en seguida deberá guardarse en refrigeración entre 0 y 10 °C.

---

<sup>1</sup> PELCZAR. Microbiología

La EPA (*Environmental Protection Agency*) recomienda métodos que se han venido utilizando en Salud Pública y abastecimiento de agua desde hace algunos años, más específicamente desde mayo del 2000 según la norma EPA-600-R-00-013, como lo son el método de Membranas de filtración y las técnicas de Tubos de fermentación por diluciones múltiples. Ahora existen métodos alternos, más modernos y más rápidos que pudieran dar resultados satisfactorios. Por esto, es necesario hacer una descripción de cada uno de ellos para determinar si pueden ser reemplazados unos por otros.<sup>1</sup>

## **2.4. Métodos Tradicionales**

### **Método de membranas de filtración:**

Este método sirve para analizar grandes volúmenes de agua con baja turbiedad, es el método escogido para aguas de bajo conteo de colonias (menor 1-10 CFU/mL; colonias contadas/volumen actual de la muestra).<sup>2</sup>

La técnica de filtración por membrana para el examen bacteriológico del agua consiste en los siguientes pasos:

1. Un disco filtrante estéril se pone en la unidad de filtración.
2. Se hace pasar un volumen de agua por el disco filtrante, las bacterias serán detenidas en la superficie de la membrana.
3. Se quita el disco filtrante y se pone sobre una almohadilla absorbente que previamente se ha saturado con el medio de cultivo apropiado. Las almohadillas absorbentes con los discos filtrantes se acomodan en cajas de Petri de tamaño especial, las cuales se incuban.

---

1 ESTÁNDAR METHODS. 19 Edición

2 PELCZAR. Microbiología

4. Después de la incubación, se desarrollarán colonias sobre el disco filtrante en cualquier lugar donde hayan quedado bacterias atrapadas durante el proceso de filtración.

Esta técnica tiene muchas aplicaciones útiles, entre las cuales se pueden mencionar:

1. Se pueden examinar grandes volúmenes de agua; teóricamente casi cualquier volumen de agua se puede filtrar a través del disco y los microorganismos de cualquier volumen quedarán en el disco.
2. La membrana se puede pasar de un medio a otro, con el propósito de seleccionar y diferenciar los microorganismos.
3. Se obtienen resultados previos en 24 horas.
4. Se logran estimaciones cuantitativas de ciertos tipos de bacterias, como coliformes, cuando se usan medios apropiados.
5. Este método no produce choque térmico.<sup>1</sup>

Entre las desventajas de la utilización de esta técnica se pueden enumerar:

1. El costo relativamente alto de la membrana de filtración.
2. La pequeña área de contacto.
3. La necesidad de contar colonias con el reflejo de la luz contra un fondo blanco, sí los filtros son coloreados y el contraste de las manchas no son usados.
4. Posible daño de células por excesiva presión de filtración.
5. Posibles variaciones en la calidad de los filtros de membrana.<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> PELCZAR. Microbiología

## **Técnicas de tubos de fermentación por diluciones múltiples:**

El grupo coliforme está conformado por varios géneros de bacterias pertenecientes a las familias *Enterobacteriaceae*. La definición histórica de este grupo está dada por las bacterias facultativas anaeróbicas, gram negativas, no formadoras de esporas y bacterias que fermentan lactosa con formación de gas y ácido dentro del período de 48 horas a 35°C. Brindar resultados válidos requiere un estricto ajuste de los procedimientos de control de calidad.

Cuando los tubos de fermentación múltiple son usados en la técnica de fermentación, los resultados de los exámenes de tubos replicados y diluciones son reportados en términos de número más probable de bacterias presentes (NMP). Este número, basado en algunas fórmulas de probabilidad, es un estimado de la densidad de coliformes en la muestra. La densidad coniforme, junto con otra información obtenida de medios de ingeniería o sanitarios, provee el mejor ensayo de efectividad del tratamiento de agua y de la calidad sanitaria de una fuente de agua.

La precisión de cada prueba depende del número de tubos utilizado. La información más satisfactoria puede ser obtenida cuando la mayoría de muestras inoculadas examinadas, muestran gas en todos o en la mayoría de tubos. La densidad bacterial puede ser estimada por una fórmula dada o por la tabla, usando el número de tubos positivos en las diluciones múltiples.<sup>2</sup>

---

1,2 PELCZAR. Microbiología

## 2.5. Métodos Modernos

### Colilert:

Este método utiliza tecnología de sustrato definido para detectar simultáneamente coliformes totales y *E.coli*. Dos nutrientes indicadores, ONPG y MUG, son los nutrientes principales en colilert y pueden ser metabolizados por la enzima coliforme  $\beta$ -galactosidasa y  $\beta$ -glucoronidasa de *E.coli*, respectivamente.

A medida que las coliformes utilizan la  $\beta$ -galactosidasa para metabolizar ONPG de Colilert, éste se torna amarillo. La  $\beta$ -glucoronidasa es utilizada por *E.coli* para metabolizar MUG, creando así fluorescencia. Al no contener estas enzimas, los microorganismos no objetivos, no pueden crecer e interferir en este proceso. La matriz formulada específicamente suprime otros microorganismos no coliformes que pudieran producir la enzima.<sup>1</sup>

### Fluorocult-LMX:

Es un método patentado por Merck en Alemania, el cual presenta un nuevo medio que permite la rápida detección de *E.coli* y coliformes, usando el compuesto cromogénico 5-bromo-4-cloro-3-indolil- $\beta$ -D-galactopiranosida (Xgal) y el compuesto fluorogénico 4-metilumbeliferil- $\beta$ -D-glucoronida (MUG).

El caldo está diseñado para permitir un buen crecimiento de coliformes y es usado en la examinación de quesos suaves y agua. Una modificación mejorada del caldo original es ahora disponible comercialmente.

La alta calidad nutricional del caldo y el buffer fosfato incorporado garantizan un alto porcentaje de crecimiento de los coliformes presentes, donde el lauril sulfato contenido inhibe el crecimiento de una amplia flora gram positiva.<sup>2</sup>

Se encuentra una detección simultánea de coliformes totales y *E.coli* por la adición del sustrato cromogénico Xgal el cual es adherido por coliformes, produce un color azul verdoso en el caldo. La coloración azul verdosa indica la presencia de bacterias coliformes totales.

La enzima  $\beta$ -D-glucuronidasa divide el sustrato fluorogénico 4-metilumbeliferil- $\beta$ -D-glucoronida (MUG). Esta enzima es muy específica para el *E.coli* al utilizarse produce una fluorescencia con la luz UV por la formación de 4-metilumbeliferona. Dicha fluorescencia indica la presencia del *E.coli*.

El triptófano contenido como sustrato, permite la conformación adicional de *E.coli* con el reactivo del indol, el cual da mayor seguridad en el diagnóstico.

La detección de coliformes totales y *E.coli* con este método se reduce a un día comparado con los 4 a 6 días por los métodos tradicionales. La eficiencia y rapidez de las reacciones de detección hace que este medio sea muy útil en la microbiología del agua.<sup>1</sup>

### **Fluorocult con tubo Durham:**

La forma de actuar de este método es igual al de Fluorocult-LMX, la diferencia radica en que en éste se utiliza un tubo extra llamado tubo Durham, en el que puede o no aparecer formación de gas, así indica la presencia de bacterias, no por esto coliformes. En este método, al encontrar un cambio a azul, se hace una prueba confirmativa con caldo verde brillante fluorocult, para coliformes y el indol para la confirmativa de *E.coli*. Este método lleva 24 horas para prueba presuntiva y otras 24 horas para confirmativa.<sup>2</sup>

---

1,2 MERCK Folletos Informativos

### **3. METODOLOGÍA**

#### **3.1. Universo de trabajo**

El universo de trabajo está conformado por las plantas de tratamiento de agua potable, El Cambray zona 14, Lo de Coy Mixco, La Brigada, Mixco, Santa Luisa, zona 16. (Ver mapa aéreo 1,2,3 y 4)

Se eligieron estas plantas de tratamiento de agua potable para obtener una variedad de calidades de agua en el momento de coleccionar las muestras, y así poder observar la sensibilidad que poseen los exámenes de análisis bacteriológico a estos cambios, específicamente a la variación de coliformes totales y fecales que el agua más o menos contaminada pueda tener.

Del universo de trabajo se escogieron determinados puntos de recolección de muestras de agua; para Santa Luisa fueron las tres entradas de agua: Canalitos, Teocinte y Acatán, sedimentador, filtro antes de cloración y tanque de distribución. Para El Cambray, Lo de Coy y la Brigada, se eligieron: el sedimentador, filtro y tanque de sedimentación. (Anexo A)

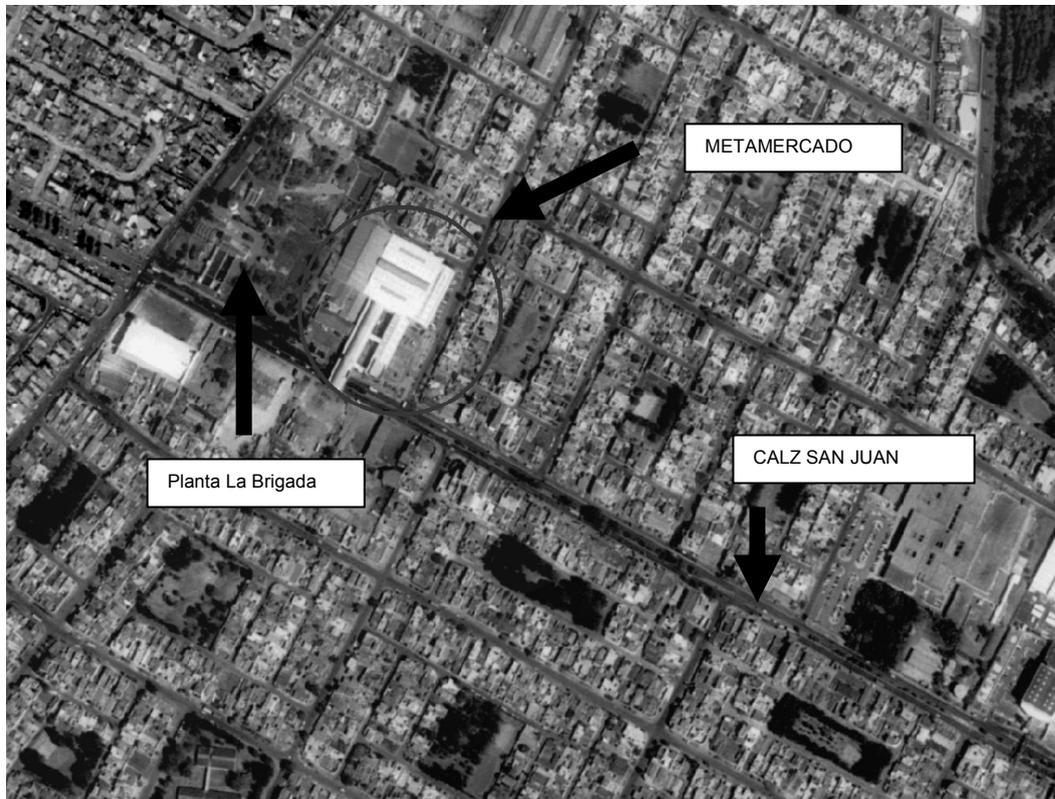
#### **3.2. Localización**

Las plantas de tratamiento de agua potable, de donde fueron coleccionadas las muestras, se encuentran localizadas dentro de la ciudad capital y el perímetro de Mixco. A continuación, se muestran mapas aéreos que indican su ubicación.

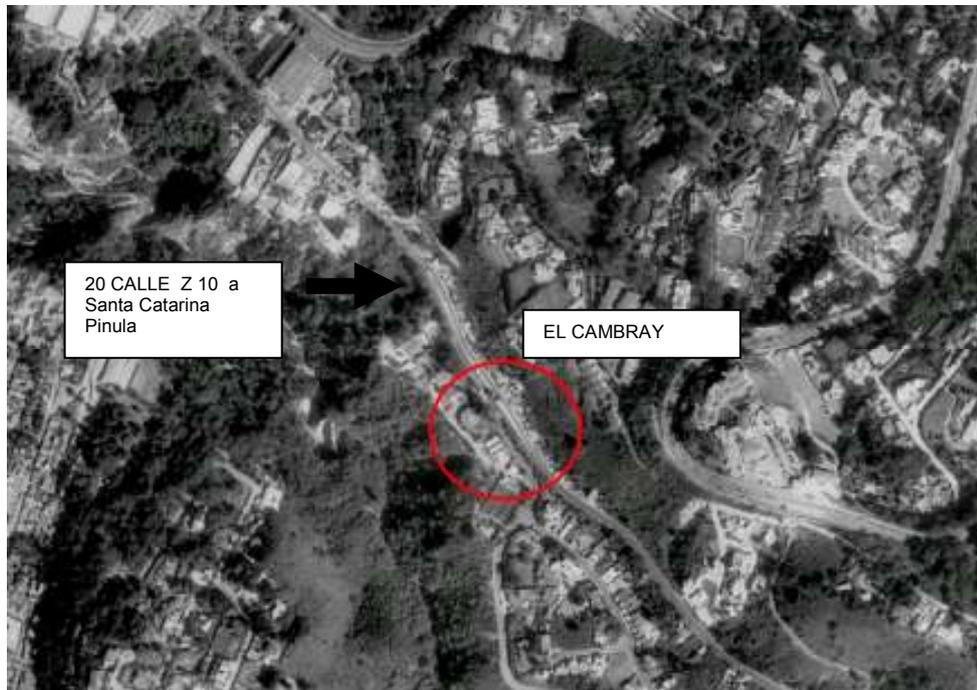
**Figura 1. Planta Santa Luisa, Mapa Aéreo**



**Figura 2. Planta La Brigada, Mapa Aéreo**



**Figura 3. Planta El Cambray, Mapa aéreo**



**Figura 4. Planta Lo de Coy. Mapa Aéreo**



### **3.3. Recursos humanos**

Investigador principal: Frances Recari

Laboratorista: David Mijangos

### **3.4. Recursos físicos**

Incubadora de 44 °C

Incubadora de 35 °C

Refrigeradora a 10 °C

Sellador al calor

Cristalería en general:

Pipetas de 10 cc

Frascos bacteriológicos

Cajas Petri

Tubos de ensayo

Reactivos:

Medios de cultivo para incubación

Autoclave 120 °C

### **3.5. Procedimiento de laboratorio**

#### **Fluorocult**

1. Se prepara el medio de cultivo como se indica en el frasco de medio.
2. Para análisis de agua de tanque de distribución se siembran 10 tubos, en cada tubo se agregan 10 cm<sup>3</sup> de agua de muestra y se incuban a 35 °C por 24 horas.

3. Para agua de sedimentador se siembran 15 tubos:
  - 3.1 En los primeros cinco tubos se agrega 1 cm<sup>3</sup> de agua contaminada.
  - 3.2 En los siguientes cinco tubos se agrega 1 cm<sup>3</sup> de agua contaminada en dilución de 0,1
  - 3.3 En los últimos cinco tubos se agrega 1 cm<sup>3</sup> de agua contaminada en dilución de 0,01.
  - 3.4 Se coloca en la incubadora por 24 horas.
4. Para agua de filtros antes de clorar, se siembran 15 tubos:
  - 4.1 Cinco tubos llevan 10 cm<sup>3</sup> de agua contaminada.
  - 4.2 Cinco tubos llevan 1 cm<sup>3</sup> de agua contaminada.
  - 4.3 Cinco tubos llevan 1 cm<sup>3</sup> de agua contaminada con dilución 0,1
  - 4.4 Se incuban por 24 horas
5. Para lectura: poseen prueba presuntiva todos los tubos con formación de gas y cambio de color azul. Estos se siembran de nuevo en caldo verde brillante por 24 horas más a 35 °C.
6. Los que posean color azul y fluorescencia (utilizando una lámpara UV) tienen *E.coli* y su prueba confirmativa es el cambio de color a rojo, agregando tres gotas de indol.
7. La lectura se hace con tablas. (Ver referencias bibliográficas)

### **Fluorocult-LMX**

1. El procedimiento de este método para la preparación del medio y para la siembra de muestras es el mismo, del paso 1 al 4.4.
2. Este método no lleva tubo Durham, o sea no hay formación de gas.
3. Se incuba solamente 24 horas a 35 °C.
4. No hay prueba presuntiva, solamente confirmativa.
5. La lectura se hace igual que la de Fluorocult.
6. La lectura se hace con tablas. (Ver referencias bibliográficas)

## **Caldo Lactosado**

1. Lleva el mismo procedimiento que Fluorocult, desde el paso 1 al 4.4.
2. Se incuba 48 horas para prueba presuntiva y cuando hay formación de gas se hace la prueba confirmativa en medio E.C para *E.coli* y en verde brillante para coliformes totales.
3. A las 24 horas después se observa la formación de gas para E.C en prueba confirmativa. Esto se incuba a 44 °C, en baño maría.
4. A las 48 horas se observa formación de gas para verde brillante en prueba confirmativa. Esto se incuba a 35 °C en incubadora.
5. No aparece fluorescencia ni cambios de color.
6. La lectura se hace con tablas. (Ver referencias bibliográficas)

## **Colilert**

1. Se agregan 100 cm<sup>3</sup> de la muestra, previamente mezclada con un *sachet* de colilert, a cada bandeja.
2. Se sella la bandeja con calor utilizando un equipo especial.
3. Se incuba de 18 a 24 horas a 35 °C.
4. Para la lectura: Cada bandeja posee 49 espacios grandes y 48 espacios pequeños en donde se retiene el agua. Cuando los espacios con agua se tornan de color amarillo hay coliformes totales.
  - 4.1. Para la lectura de *E.coli* se utiliza una lámpara UV y los que poseen fluorescencia tiene *E.coli*.
  - 4.2. La lectura se hace con tablas. (Ver referencias bibliográficas)

## **Membranas de filtración**

1. Se prepara el medio ENDO así como se indica en el frasco.
2. Se prepara el equipo de filtración y vacío:
  - 2.1. Se esteriliza el anillo de asbesto con alcohol y fuego.
  - 2.2. El beaker receptor también se esteriliza y luego se coloca en la parte de abajo del anillo de asbesto.
3. Para la caja Petri que se incubaba:
  - 3.1. Se agregan 2,2 cm<sup>3</sup> de m-ENDO a cada caja con almohadilla.
  - 3.2. Con pinzas estériles se toma una cuadrícula y se coloca en el equipo de vacío esterilizado.
  - 3.3. Para tanque de distribución se filtran a vacío en la cuadrícula 100 cm<sup>3</sup> de agua de muestra.
  - 3.4. Para sedimentador se filtran a vacío en la cuadrícula 25 cm<sup>3</sup> de agua de muestra.
  - 3.5. Para filtro se filtran 50 cm<sup>3</sup> a vacío en la cuadrícula de agua de muestra.
4. Se coloca cada cuadrícula en una caja Petri.
5. Se incubaba a 35°C por 24 horas.
6. Para la lectura se hace conteo de colonias sólo las que tengan un brillo verde metálico.

## **3.6. Método de recolección de muestras de agua**

1. Se eligieron muestras de fuentes de agua cruda y de agua tratada de la planta Santa Luisa, muestras de agua pretratada y tratada de las plantas Lo de Coy, El Cambray y La Brigada.
2. Se aplicaron los procedimientos correspondientes, de cada examen de análisis bacteriológico para cada una de las 35 muestras captadas.

## 4. RESULTADOS

**TABLA I. RESULTADOS DE ANÁLISIS BACTERIOLÓGICO  
PLANTALO DE COY**

Fecha muestreo: 10 de marzo de 2003

	Fluorocult		LMX		Tubos de fermentación		Membranas (totales/100cm <sup>3</sup> )	Collert (NMP/100cm <sup>3</sup> )
	1cm <sup>3</sup>	0.1cm <sup>3</sup>	1cm <sup>3</sup>	0.1cm <sup>3</sup>	1cm <sup>3</sup>	0.1cm <sup>3</sup>		
SED	++	+	+	+	+++	+	0	186
	+	+	+	+	+	+		< 1
Tot								
Fec								

	Fluorocult		LMX		Tubos de fermentación		Membranas (totales/100cm <sup>3</sup> )	Collert (NMP/100cm <sup>3</sup> )
	10cm <sup>3</sup>	1cm <sup>3</sup>	10cm <sup>3</sup>	1cm <sup>3</sup>	10cm <sup>3</sup>	1cm <sup>3</sup>		
F	++++	+	++++	+	++++	+	0	225
	+	+	+	+	+	+		2
Tot								
Fec								

	Fluorocult		LMX		Tubos de fermentación	Membranas (totales/100cm <sup>3</sup> )	Collert (NMP/100cm <sup>3</sup> )
	10cm <sup>3</sup>	10cm <sup>3</sup>	10cm <sup>3</sup>	10cm <sup>3</sup>			
TD	+	+	+	+	10cm <sup>3</sup>	0	< 1
	+	+	+	+			< 1
Tot							
Fec							

## Interpretación de datos

	Fluorocult		LMX		Tubos de fermentación		Membranas (totales/100cm <sup>3</sup> )	Collert (NMP/100cm <sup>3</sup> )
	NMP/100cm <sup>3</sup>	40	NMP/100cm <sup>3</sup>	40	NMP/100cm <sup>3</sup>	140		
SED	40	40	40	40	NMP/100cm <sup>3</sup>	0	186	
	40	40	< 2	< 2	< 2	< 2	< 1	
Tot								
Fec								

	Fluorocult		LMX		Tubos de fermentación		Membranas (totales/100cm <sup>3</sup> )	Collert (NMP/100cm <sup>3</sup> )
	NMP/100cm <sup>3</sup>	240	NMP/100cm <sup>3</sup>	240	NMP/100cm <sup>3</sup>	240		
F	240	240	240	240	NMP/100cm <sup>3</sup>	0	225	
	4	23	< 2	< 2	< 2	< 2	2	
Tot								
Fec								

	Fluorocult		LMX		Tubos de fermentación		Membranas (totales/100cm <sup>3</sup> )	Collert (NMP/100cm <sup>3</sup> )
	NMP/100cm <sup>3</sup>	1	NMP/100cm <sup>3</sup>	2	NMP/100cm <sup>3</sup>	100cm <sup>3</sup>		
TD	1	2	1	2	NMP/100cm <sup>3</sup>	0	< 1	
	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	
Tot								
Fec								





**TABLA IV. RESULTADOS DE ANÁLISIS BACTERIOLÓGICO  
PLANTA SANTA LUISA - ENTRADA DE AGUA**

Fecha muestreo: 7 de abril de 2003

	Fluorocult		LMX		Tubos de fermentación			Membranas (totales/100cm <sup>3</sup> )	Coliart (NMP/100cm <sup>3</sup> )
	0.1cm <sup>3</sup>	0.01cm <sup>3</sup>	0.1cm <sup>3</sup>	0.01cm <sup>3</sup>	0.1cm <sup>3</sup>	0.01cm <sup>3</sup>	0.001cm <sup>3</sup>		
Acatán	+	+	+	+	+	+	+	5cm <sup>3</sup>	100cm <sup>3</sup>
Tot	+	+	+	+	+	+	+	incontable	> 2420
Fec	+	+	+	+	+	+	+	incontable	595

	Fluorocult		LMX		Tubos de fermentación			Membranas (totales/100cm <sup>3</sup> )	Coliart (NMP/100cm <sup>3</sup> )
	10cm <sup>3</sup>	1cm <sup>3</sup>	10cm <sup>3</sup>	1cm <sup>3</sup>	10cm <sup>3</sup>	1cm <sup>3</sup>	0.1cm <sup>3</sup>		
Canalitos	+	+	+	+	+	+	+	50cm <sup>3</sup>	100cm <sup>3</sup>
Tot	+	+	+	+	+	+	+	incontable	> 2420
Fec	+	+	+	+	+	+	+	incontable	155

	Fluorocult		LMX		Tubos de fermentación			Membranas (totales/100cm <sup>3</sup> )	Coliart (NMP/100cm <sup>3</sup> )
	1cm <sup>3</sup>	0.1cm <sup>3</sup>	1cm <sup>3</sup>	0.1cm <sup>3</sup>	1cm <sup>3</sup>	0.1cm <sup>3</sup>	0.01cm <sup>3</sup>		
Teocinte	+	+	+	+	+	+	+	25cm <sup>3</sup>	100cm <sup>3</sup>
Tot	+	+	+	+	+	+	+	incontable	> 2420
Fec	+	+	+	+	+	+	+	incontable	613

### Interpretación de datos

	Fluorocult		LMX		Tubos de fermentación			Membranas (totales/100cm <sup>3</sup> )	Coliart (NMP/100cm <sup>3</sup> )
	NMP/100cm <sup>3</sup>	1100	NMP/100cm <sup>3</sup>	5000	NMP/100cm <sup>3</sup>	16000	16000		
Acatán	+	+	+	+	+	+	+	5cm <sup>3</sup>	100cm <sup>3</sup>
Tot	+	+	+	+	+	+	+	incontable	> 2420
Fec	+	+	+	+	+	+	+	incontable	595

	Fluorocult		LMX		Tubos de fermentación			Membranas (totales/100cm <sup>3</sup> )	Coliart (NMP/100cm <sup>3</sup> )
	NMP/100cm <sup>3</sup>	7	NMP/100cm <sup>3</sup>	12	NMP/100cm <sup>3</sup>	350	17		
Canalitos	+	+	+	+	+	+	+	50cm <sup>3</sup>	100cm <sup>3</sup>
Tot	+	+	+	+	+	+	+	incontable	> 2420
Fec	+	+	+	+	+	+	+	incontable	155

	Fluorocult		LMX		Tubos de fermentación			Membranas (totales/100cm <sup>3</sup> )	Coliart (NMP/100cm <sup>3</sup> )
	NMP/100cm <sup>3</sup>	1700	NMP/100cm <sup>3</sup>	800	NMP/100cm <sup>3</sup>	> 16000	> 16000		
Teocinte	+	+	+	+	+	+	+	25cm <sup>3</sup>	100cm <sup>3</sup>
Tot	+	+	+	+	+	+	+	incontable	> 2420
Fec	+	+	+	+	+	+	+	incontable	613

**TABLA V. RESULTADOS DE ANÁLISIS BACTERIOLÓGICO  
PLANTA EL CAMBRAY**

Fecha muestreo: 21 de julio de 2003

SED1	Fluorocult		LMX		Tubos de fermentación		Membranas (totales/100cm³)	Colliert (NMP/100cm³)
	1cm³	0.1cm³	1cm³	0.1cm³	1cm³	0.1cm³	25cm³	100cm³
Tot	++++	-----	++++	-----	++++	-----	3	191
Fec	-----	-----	-----	-----	-----	-----		56

F	Fluorocult		LMX		Tubos de fermentación		Membranas (totales/100cm³)	Colliert (NMP/100cm³)
	10cm³	0.1cm³	10cm³	0.1cm³	10cm³	0.1cm³	50cm³	100cm³
Tot	-----	-----	++++	-----	++++	-----	0	61
Fec	-----	-----	++++	-----	++++	-----		2

TD1	Fluorocult	LMX	Tubos de fermentación	Membranas (totales/100cm³)	Colliert (NMP/100cm³)
	Tot	10cm³	10cm³	10cm³	100cm³
Fec	-----	-----	-----	0	< 1
	-----	-----	-----		< 1

**Interpretación de datos**

SED1	Fluorocult		LMX		Tubos de fermentación		Membranas (totales/100cm³)	Colliert (NMP/100cm³)
	NMP/100cm³		NMP/100cm³		NMP/100cm³		25cm³	100cm³
Tot	90		260		500		3	191
Fec	< 20		90		20			56

F	Fluorocult		LMX		Tubos de fermentación		Membranas (totales/100cm³)	Colliert (NMP/100cm³)
	NMP/100cm³		NMP/100cm³		NMP/100cm³		50cm³	100cm³
Tot	4		30		220		0	61
Fec	< 2		8		9			2

TD1	Fluorocult		LMX		Tubos de fermentación		Membranas (totales/100cm³)	Colliert (NMP/100cm³)
	NMP/100cm³		NMP/100cm³		NMP/100cm³		100cm³	100cm³
Tot	< 1.1		< 1.1		2.2		0	< 1
Fec	< 1.1		< 1.1		< 1.1			< 1

**TABLA VI. RESULTADOS DE ANÁLISIS BACTERIOLÓGICO  
PLANTA EL CAMBRAY**

Fecha muestreo: 21 de julio de 2003

	Fluorocult		LMX		Tubos de fermentación		Membranas (totales/100cm <sup>3</sup> )	Colliert (NMP/100cm <sup>3</sup> )
	1cm <sup>3</sup>	0.1cm <sup>3</sup>	1cm <sup>3</sup>	0.1cm <sup>3</sup>	1cm <sup>3</sup>	0.1cm <sup>3</sup>		
SED2							25cm <sup>3</sup>	100cm <sup>3</sup>
Tot	+	+	+	+	+	+	0	<1
Fec	+	+	+	+	+	+		<1

	Fluorocult		LMX		Tubos de fermentación		Membranas (totales/100cm <sup>3</sup> )	Colliert (NMP/100cm <sup>3</sup> )
	1cm <sup>3</sup>	0.1cm <sup>3</sup>	1cm <sup>3</sup>	0.1cm <sup>3</sup>	1cm <sup>3</sup>	0.1cm <sup>3</sup>		
SED3							25cm <sup>3</sup>	100cm <sup>3</sup>
Tot	+	+	+	+	+	+	0	<1
Fec	+	+	+	+	+	+		<1

	Fluorocult		LMX		Tubos de fermentación		Membranas (totales/100cm <sup>3</sup> )	Colliert (NMP/100cm <sup>3</sup> )
	10cm <sup>3</sup>	10cm <sup>3</sup>						
TD2							100cm <sup>3</sup>	100cm <sup>3</sup>
Tot							0	<1
Fec								<1

### Interpretación de datos

	Fluorocult		LMX		Tubos de fermentación		Membranas (totales/100cm <sup>3</sup> )	Colliert (NMP/100cm <sup>3</sup> )
	NMP/100cm <sup>3</sup>							
SED2	20	20	20	20	90	40	0	57
Fec	<20	<20	<20	<20	<40	<40		27

	Fluorocult		LMX		Tubos de fermentación		Membranas (totales/100cm <sup>3</sup> )	Colliert (NMP/100cm <sup>3</sup> )
	NMP/100cm <sup>3</sup>							
SED3	40	300	300	300	800	<20	0	102
Fec	<20	<20	<20	<20	<20	<20		9

	Fluorocult		LMX		Tubos de fermentación		Membranas (totales/100cm <sup>3</sup> )	Colliert (NMP/100cm <sup>3</sup> )
	NMP/100cm <sup>3</sup>							
TD2	<1.1	<1.1	<1.1	<1.1	1.1	<1.1	0	100cm <sup>3</sup>
Fec	<1.1	<1.1	<1.1	<1.1	<1.1	<1.1		<1

**TABLA VII. RESULTADOS DE ANÁLISIS BACTERIOLÓGICO  
PLANTA LO DE COY**

Fecha muestreo: 28 de julio de 2003

	Fluorocult		LMX		Tubos de fermentación		Membranas (totales/100cm <sup>3</sup> )	Colliert (NMP/100cm <sup>3</sup> )
	1cm <sup>3</sup>	0.1cm <sup>3</sup>	1cm <sup>3</sup>	0.1cm <sup>3</sup>	1cm <sup>3</sup>	0.1cm <sup>3</sup>		
SED1	+++	+++	+++	+++	+++	+++	25cm <sup>3</sup>	100cm <sup>3</sup>
Tot	+++	+++	+++	+++	+++	+++	incontables	2500
Fec	+++	+++	+++	+++	+++	+++	incontables	2500

	Fluorocult		LMX		Tubos de fermentación		Membranas (totales/100cm <sup>3</sup> )	Colliert (NMP/100cm <sup>3</sup> )
	1cm <sup>3</sup>	0.1cm <sup>3</sup>	1cm <sup>3</sup>	0.1cm <sup>3</sup>	1cm <sup>3</sup>	0.1cm <sup>3</sup>		
SED2	+++	+++	+++	+++	+++	+++	25cm <sup>3</sup>	100cm <sup>3</sup>
Tot	+++	+++	+++	+++	+++	+++	incontables	2500
Fec	+++	+++	+++	+++	+++	+++	incontables	2500

	Fluorocult		LMX		Tubos de fermentación		Membranas (totales/100cm <sup>3</sup> )	Colliert (NMP/100cm <sup>3</sup> )
	1cm <sup>3</sup>	0.1cm <sup>3</sup>	1cm <sup>3</sup>	0.1cm <sup>3</sup>	1cm <sup>3</sup>	0.1cm <sup>3</sup>		
SED T	+++	+++	+++	+++	+++	+++	25cm <sup>3</sup>	100cm <sup>3</sup>
Tot	+++	+++	+++	+++	+++	+++	incontables	2500
Fec	+++	+++	+++	+++	+++	+++	incontables	2500

### Interpretación de datos

	Fluorocult		LMX		Tubos de fermentación		Membranas (totales/100cm <sup>3</sup> )	Colliert (NMP/100cm <sup>3</sup> )
	NMP/100cm <sup>3</sup>		NMP/100cm <sup>3</sup>		NMP/100cm <sup>3</sup>			
SED1	11000		2400		9000		2500	2500
Tot	11000		2400		9000		incontables	2500
Fec	11000		2400		9000		incontables	2500

	Fluorocult		LMX		Tubos de fermentación		Membranas (totales/100cm <sup>3</sup> )	Colliert (NMP/100cm <sup>3</sup> )
	NMP/100cm <sup>3</sup>		NMP/100cm <sup>3</sup>		NMP/100cm <sup>3</sup>			
SED2	24000		4600		16000		2500	2500
Tot	24000		4600		16000		incontables	2500
Fec	4600		2400		16000		incontables	2500

	Fluorocult		LMX		Tubos de fermentación		Membranas (totales/100cm <sup>3</sup> )	Colliert (NMP/100cm <sup>3</sup> )
	NMP/100cm <sup>3</sup>		NMP/100cm <sup>3</sup>		NMP/100cm <sup>3</sup>			
SED T	4600		4600		16000		2500	2500
Tot	4600		4600		16000		incontables	2500
Fec	4600		4600		16000		incontables	2500

**TABLA VIII. RESULTADOS DE ANÁLISIS BACTERIOLÓGICO  
PLANTA LO DE COY**

Fecha muestreo: 28 de julio de 2003

	Fluorocult			LMX			Tubos de fermentación			Membranas (totales/100cm <sup>3</sup> )	Colliert (NMP/100cm <sup>3</sup> )
	10cm <sup>3</sup>	1cm <sup>3</sup>	0.1cm <sup>3</sup>	10cm <sup>3</sup>	1cm <sup>3</sup>	0.1cm <sup>3</sup>	10cm <sup>3</sup>	1cm <sup>3</sup>	0.1cm <sup>3</sup>		
F1	+++	+++	+++	+++	+++	+++	++++	++++	++++	50cm <sup>3</sup>	100cm <sup>3</sup>
Fec	+++	+++	+++	+++	+++	+++	++++	++++	++++	incontables	2500

	Fluorocult			LMX			Tubos de fermentación			Membranas (totales/100cm <sup>3</sup> )	Colliert (NMP/100cm <sup>3</sup> )
	10cm <sup>3</sup>	1cm <sup>3</sup>	0.1cm <sup>3</sup>	10cm <sup>3</sup>	1cm <sup>3</sup>	0.1cm <sup>3</sup>	10cm <sup>3</sup>	1cm <sup>3</sup>	0.1cm <sup>3</sup>		
F2	+++	+++	+++	+++	+++	+++	++++	++++	++++	50cm <sup>3</sup>	100cm <sup>3</sup>
Fec	+++	+++	+++	+++	+++	+++	++++	++++	++++	incontables	2500

	Fluorocult			LMX			Tubos de fermentación			Membranas (totales/100cm <sup>3</sup> )	Colliert (NMP/100cm <sup>3</sup> )
	10cm <sup>3</sup>	1cm <sup>3</sup>	0.1cm <sup>3</sup>	10cm <sup>3</sup>	1cm <sup>3</sup>	0.1cm <sup>3</sup>	10cm <sup>3</sup>	1cm <sup>3</sup>	0.1cm <sup>3</sup>		
FCI	---	---	---	---	---	---	+	+	+	50cm <sup>3</sup>	100cm <sup>3</sup>
Fec	---	---	---	---	---	---	+	+	+	incontables	1

**Interpretación de datos**

	Fluorocult			LMX			Tubos de fermentación			Membranas (totales/100cm <sup>3</sup> )	Colliert (NMP/100cm <sup>3</sup> )
	NMP/100cm <sup>3</sup>	2400	2400	NMP/100cm <sup>3</sup>	2400	2400	NMP/100cm <sup>3</sup>	1700	1700		
F1	2400	2400	2400	2400	2400	2400	1700	1700	1700	50cm <sup>3</sup>	100cm <sup>3</sup>
Fec	2400	2400	2400	2400	2400	2400	1700	1700	1700	incontables	2500

	Fluorocult			LMX			Tubos de fermentación			Membranas (totales/100cm <sup>3</sup> )	Colliert (NMP/100cm <sup>3</sup> )
	NMP/100cm <sup>3</sup>	2400	2400	NMP/100cm <sup>3</sup>	2400	1100	NMP/100cm <sup>3</sup>	1700	1700		
F2	2400	2400	2400	2400	2400	1100	1700	1700	1700	50cm <sup>3</sup>	100cm <sup>3</sup>
Fec	2400	2400	2400	2400	2400	1100	1700	1700	1700	incontables	2500

	Fluorocult			LMX			Tubos de fermentación			Membranas (totales/100cm <sup>3</sup> )	Colliert (NMP/100cm <sup>3</sup> )
	NMP/100cm <sup>3</sup>	3	3	NMP/100cm <sup>3</sup>	3	3	NMP/100cm <sup>3</sup>	4	4		
FCI	3	3	3	3	3	3	4	4	4	50cm <sup>3</sup>	100cm <sup>3</sup>
Fec	3	3	3	3	3	3	4	4	4	0	1



**TABLA X. RESULTADOS DE ANALISIS BACTERIOLOGICO  
PLANTA LA BRIGADA**

Fecha muestreo: 04 de Agosto de 2003

	Fluorocult		LMX		Tubos de Fermentación		Membranas (totales/100cm³)		Colilert (NMP/100cm³)	
	1cm³	0.1cm³	1cm³	0.1cm³	1cm³	0.1cm³	25cm³	100cm³	100cm³	100cm³
SED2	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Tot	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Fec	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

	Fluorocult		LMX		Tubos de Fermentación		Membranas (totales/100cm³)		Colilert (NMP/100cm³)	
	10cm³	0.1cm³	10cm³	0.1cm³	10cm³	0.1cm³	50cm³	100cm³	100cm³	100cm³
F2	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Tot	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Fec	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

	Fluorocult		LMX		Tubos de Fermentación		Membranas (totales/100cm³)		Colilert (NMP/100cm³)	
	10cm³	10cm³	10cm³	10cm³	10cm³	10cm³	100cm³	100cm³	100cm³	100cm³
TD2	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Tot	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Fec	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Interpretación de datos

	Fluorocult		LMX		Tubos de Fermentación		Membranas (totales/100cm³)		Colilert (NMP/100cm³)	
	NMP/100cm³	< 20	NMP/100cm³	< 20	NMP/100cm³	40	25cm³	100cm³	100cm³	100cm³
SED2	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	40	6	1	< 1	< 1
Tot	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	40	6	1	< 1	< 1
Fec	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20	40	6	1	< 1	< 1

	Fluorocult		LMX		Tubos de Fermentación		Membranas (totales/100cm³)		Colilert (NMP/100cm³)	
	NMP/100cm³	< 2	NMP/100cm³	< 2	NMP/100cm³	2	50cm³	100cm³	100cm³	100cm³
F2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	2	0	1	< 1	< 1
Tot	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	2	0	1	< 1	< 1
Fec	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	2	0	1	< 1	< 1

	Fluorocult		LMX		Tubos de Fermentación		Membranas (totales/100cm³)		Colilert (NMP/100cm³)	
	NMP/100cm³	< 1.1	NMP/100cm³	< 1.1	NMP/100cm³	< 1.1	100cm³	100cm³	100cm³	100cm³
TD2	< 1.1	< 1.1	< 1.1	< 1.1	< 1.1	< 1.1	2	< 1	< 1	< 1
Tot	< 1.1	< 1.1	< 1.1	< 1.1	< 1.1	< 1.1	2	< 1	< 1	< 1
Fec	< 1.1	< 1.1	< 1.1	< 1.1	< 1.1	< 1.1	2	< 1	< 1	< 1

**TABLA XI. RESULTADOS DE ANÁLISIS BACTERIOLÓGICO  
PLANTA EL CAMBRAY (FUENTES DE AGUA)**

Fecha muestreo: 01 de septiembre de 2003

SED 1	Fluorocult			LMX			Tubos de fermentación			Membranas (totales/100cm <sup>3</sup> )		Colliert (NMP/100cm <sup>3</sup> )	
	1cm <sup>3</sup>	0.1cm <sup>3</sup>	0.01cm <sup>3</sup>	1cm <sup>3</sup>	0.1cm <sup>3</sup>	0.01cm <sup>3</sup>	1cm <sup>3</sup>	0.1cm <sup>3</sup>	0.01cm <sup>3</sup>	25cm <sup>3</sup>	100cm <sup>3</sup>	25cm <sup>3</sup>	100cm <sup>3</sup>
Tot	+++++	+++	+	+++++	+++	+	+++++	+++	+	4	313		
Fec	+++++	-----	-----	+++++	-----	-----	+++++	-----	-----		102		

SED 2	Fluorocult			LMX			Tubos de fermentación			Membranas (totales/100cm <sup>3</sup> )		Colliert (NMP/100cm <sup>3</sup> )	
	1cm <sup>3</sup>	0.1cm <sup>3</sup>	0.01cm <sup>3</sup>	1cm <sup>3</sup>	0.1cm <sup>3</sup>	0.01cm <sup>3</sup>	1cm <sup>3</sup>	0.1cm <sup>3</sup>	0.01cm <sup>3</sup>	25cm <sup>3</sup>	100cm <sup>3</sup>	25cm <sup>3</sup>	100cm <sup>3</sup>
Tot	+++++	-----	-----	+++++	-----	-----	+++++	-----	-----	5	285		
Fec	+++++	-----	-----	+++++	-----	-----	+++++	-----	-----		57		

F	Fluorocult			LMX			Tubos de fermentación			Membranas (totales/100cm <sup>3</sup> )		Colliert (NMP/100cm <sup>3</sup> )	
	10cm <sup>3</sup>	1cm <sup>3</sup>	0.1cm <sup>3</sup>	10cm <sup>3</sup>	1cm <sup>3</sup>	0.1cm <sup>3</sup>	10cm <sup>3</sup>	1cm <sup>3</sup>	0.1cm <sup>3</sup>	50cm <sup>3</sup>	100cm <sup>3</sup>	50cm <sup>3</sup>	100cm <sup>3</sup>
Tot	+++++	-----	-----	+++++	-----	-----	+++++	-----	-----	3	91		
Fec	+++++	-----	-----	+++++	-----	-----	+++++	-----	-----		7		

### Interpretación de datos

SED 1	Fluorocult			LMX			Tubos de fermentación			Membranas (totales/100cm <sup>3</sup> )		Colliert (NMP/100cm <sup>3</sup> )	
	NMP/100cm <sup>3</sup>	2200	300	NMP/100cm <sup>3</sup>	230	230	NMP/100cm <sup>3</sup>	500	500	25cm <sup>3</sup>	100cm <sup>3</sup>	25cm <sup>3</sup>	100cm <sup>3</sup>
Tot										4	313		
Fec											102		

SED 2	Fluorocult			LMX			Tubos de fermentación			Membranas (totales/100cm <sup>3</sup> )		Colliert (NMP/100cm <sup>3</sup> )	
	NMP/100cm <sup>3</sup>	170	140	NMP/100cm <sup>3</sup>	500	500	NMP/100cm <sup>3</sup>	1100	1100	25cm <sup>3</sup>	100cm <sup>3</sup>	25cm <sup>3</sup>	100cm <sup>3</sup>
Tot										5	285		
Fec											57		

F	Fluorocult			LMX			Tubos de fermentación			Membranas (totales/100cm <sup>3</sup> )		Colliert (NMP/100cm <sup>3</sup> )	
	NMP/100cm <sup>3</sup>	500	300	NMP/100cm <sup>3</sup>	220	110	NMP/100cm <sup>3</sup>	3000	3000	50cm <sup>3</sup>	100cm <sup>3</sup>	50cm <sup>3</sup>	100cm <sup>3</sup>
Tot										3	91		
Fec											7		

**TABLA XII. RESULTADOS DE ANÁLISIS BACTERIOLÓGICO  
PLANTA EL CAMBRAY**

Fecha muestreo: 01 de septiembre de 2003

	Fluorocult			LMX			Tubos de fermentación			Membranas (totales/100cm <sup>3</sup> )	Colliert (NMP/100cm <sup>3</sup> )
	1cm <sup>3</sup>	0.1cm <sup>3</sup>	0.01cm <sup>3</sup>	1cm <sup>3</sup>	0.1cm <sup>3</sup>	0.01cm <sup>3</sup>	1cm <sup>3</sup>	0.1cm <sup>3</sup>	0.01cm <sup>3</sup>		
HINCAPIE Tot	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	25cm <sup>3</sup>	100cm <sup>3</sup>
HINCAPIE Fec	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	incontables	2500

	Fluorocult			LMX			Tubos de fermentación			Membranas (totales/100cm <sup>3</sup> )	Colliert (NMP/100cm <sup>3</sup> )
	1cm <sup>3</sup>	0.1cm <sup>3</sup>	0.01cm <sup>3</sup>	1cm <sup>3</sup>	0.1cm <sup>3</sup>	0.01cm <sup>3</sup>	1cm <sup>3</sup>	0.1cm <sup>3</sup>	0.01cm <sup>3</sup>		
PRESA Z13 Tot	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	25cm <sup>3</sup>	100cm <sup>3</sup>
PRESA Z13 Fec	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	3	2500

**Interpretación de datos**

	Fluorocult			LMX			Tubos de fermentación			Membranas (totales/100cm <sup>3</sup> )	Colliert (NMP/100cm <sup>3</sup> )
	NMP/100cm <sup>3</sup>	16000	2800	NMP/100cm <sup>3</sup>	16000	9000	NMP/100cm <sup>3</sup>	16000	16000		
HINCAPIE Tot										25cm <sup>3</sup>	100cm <sup>3</sup>
HINCAPIE Fec										incontables	2500

	Fluorocult			LMX			Tubos de fermentación			Membranas (totales/100cm <sup>3</sup> )	Colliert (NMP/100cm <sup>3</sup> )
	NMP/100cm <sup>3</sup>	16000	1700	NMP/100cm <sup>3</sup>	16000	5000	NMP/100cm <sup>3</sup>	16000	16000		
PRESA Z13 Tot										25cm <sup>3</sup>	100cm <sup>3</sup>
PRESA Z13 Fec										3	2500

Figura 5

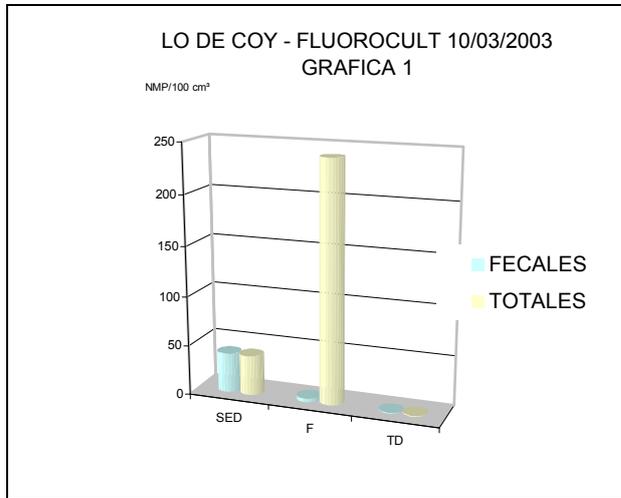


Figura 6

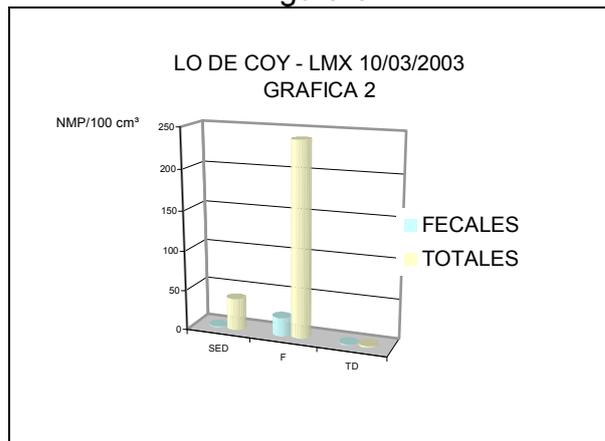


Figura 7

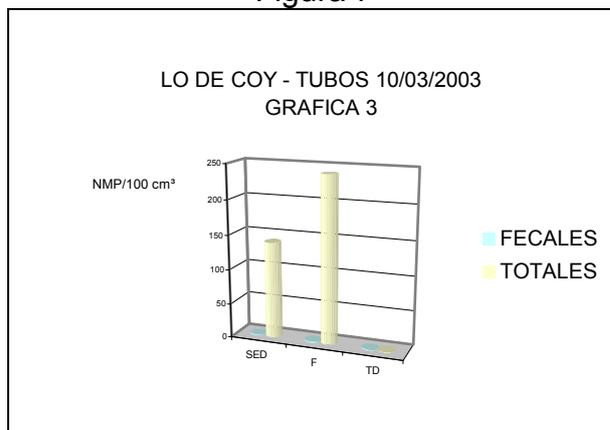


Figura 8

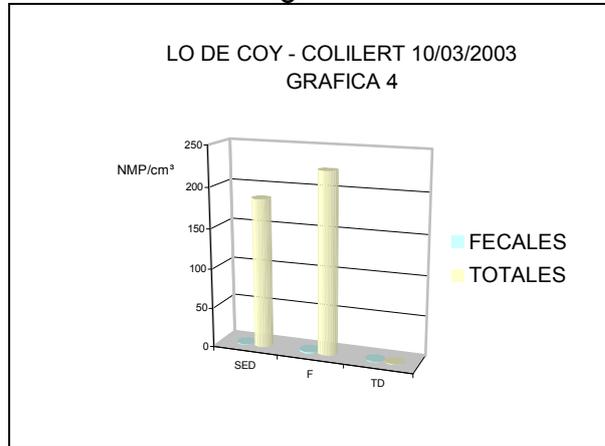


Figura 9

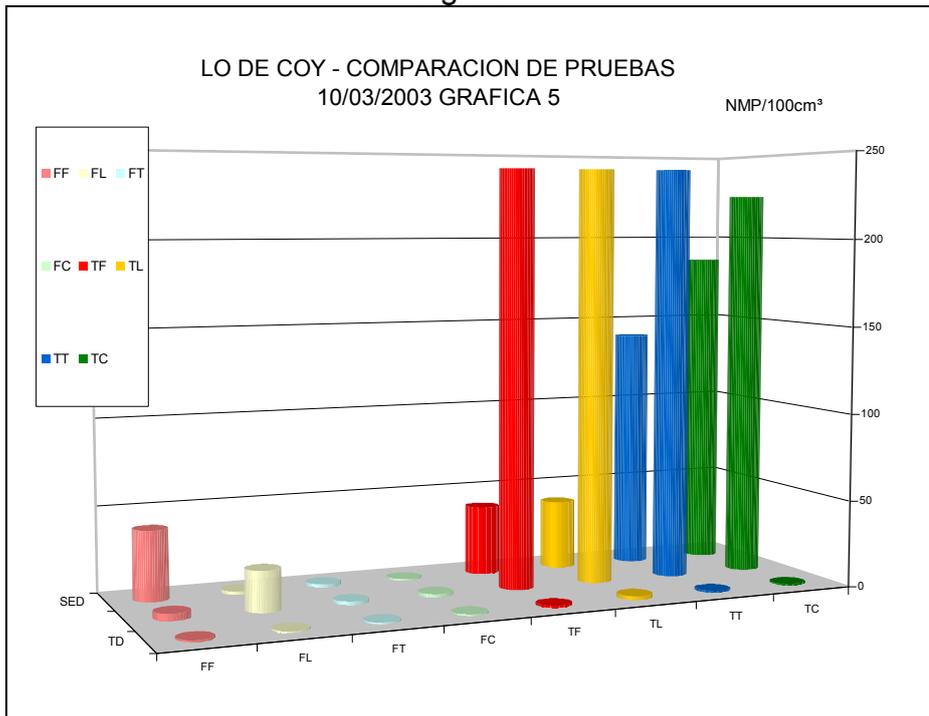


Figura 10

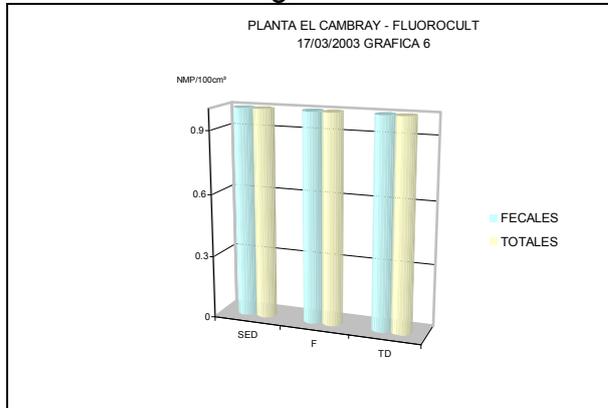


Figura 11

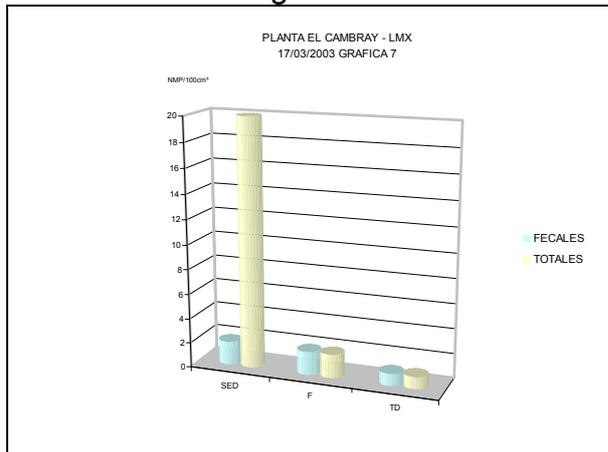


Figura 12

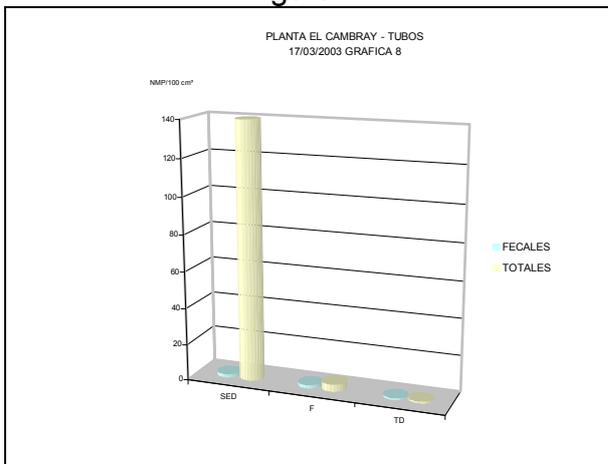


Figura 13

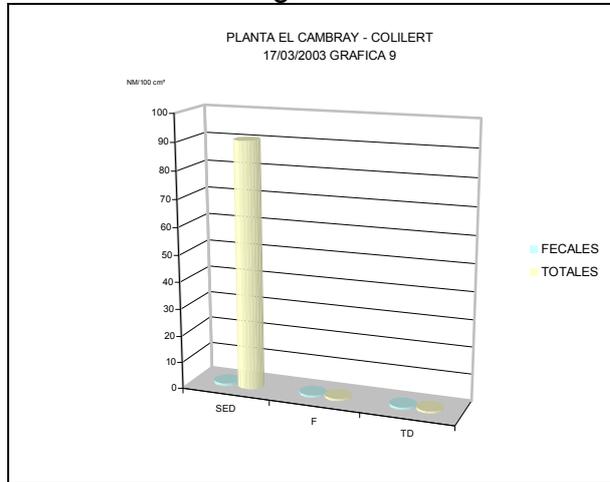


Figura 14

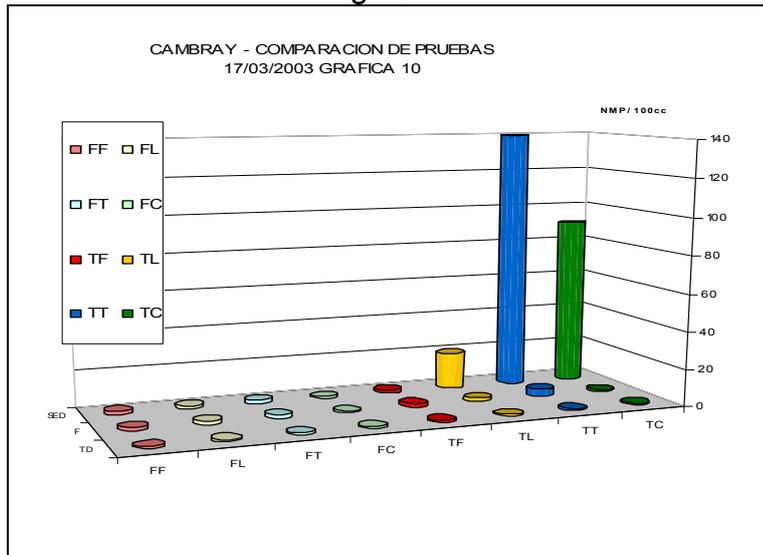


Figura 15

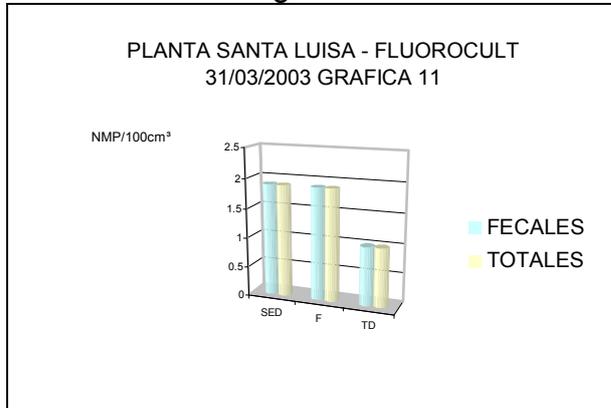


Figura 16

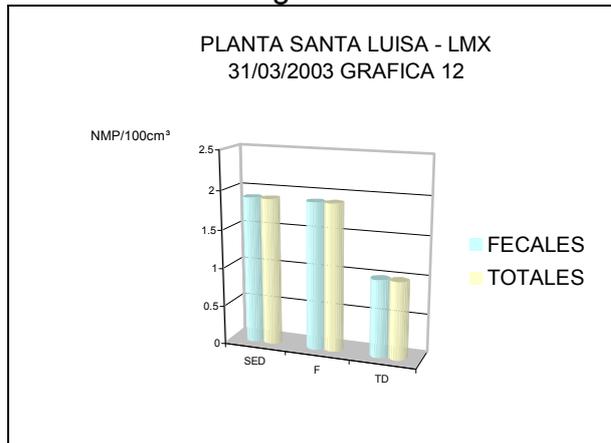


Figura 17

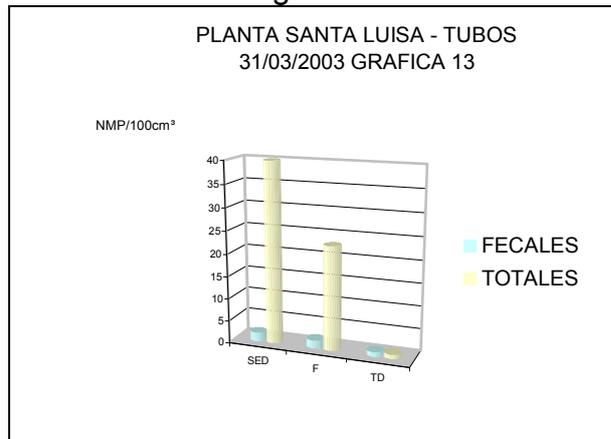


Figura 18

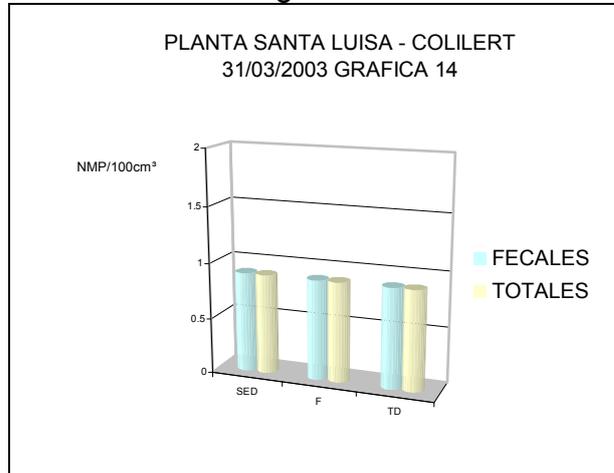


Figura 19

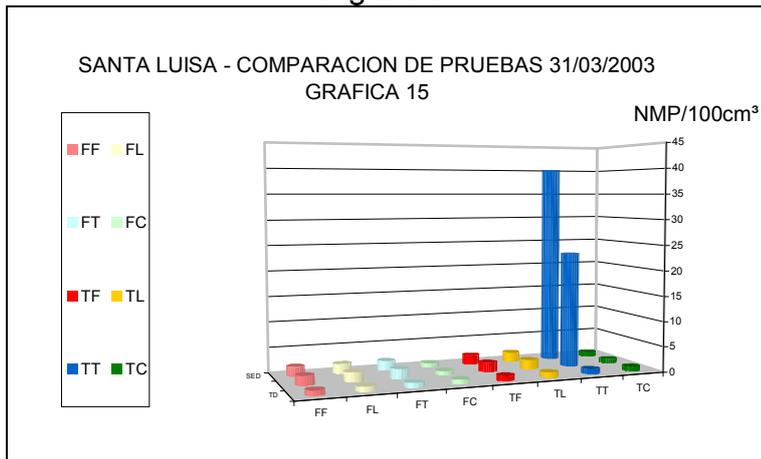


Figura 20

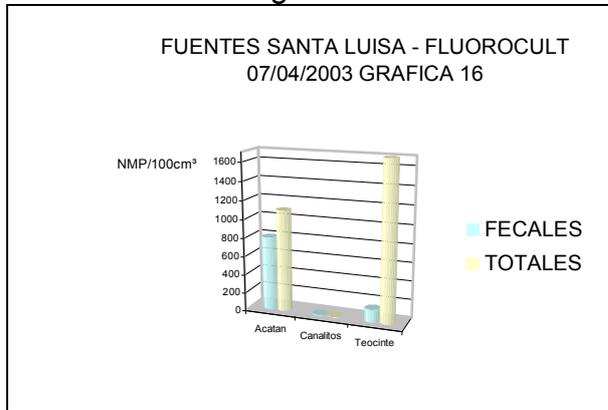


Figura 21

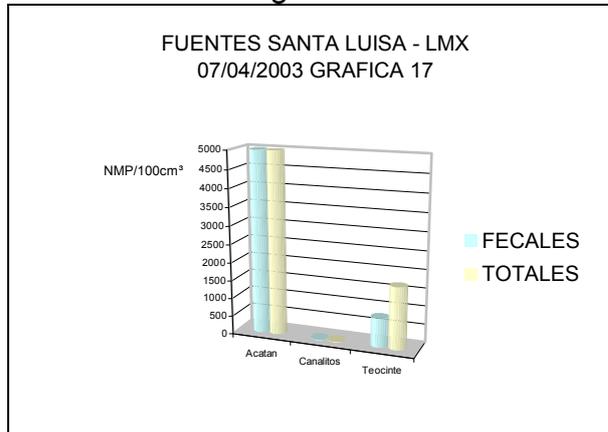


Figura 22

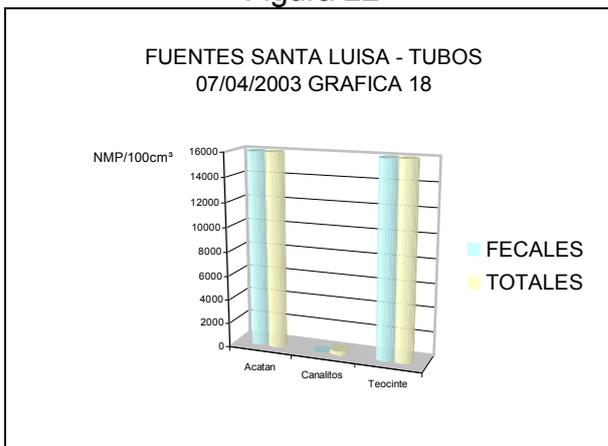


Figura 23



Figura 24

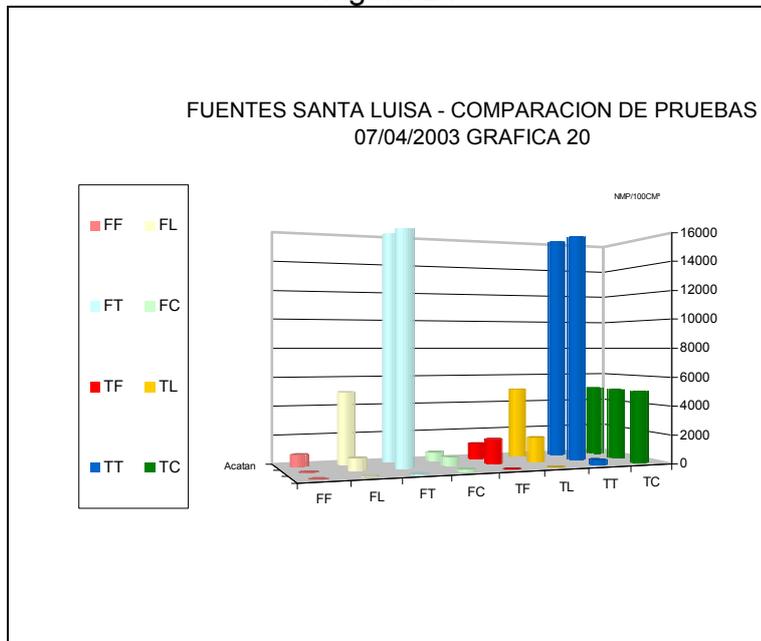


Figura 25

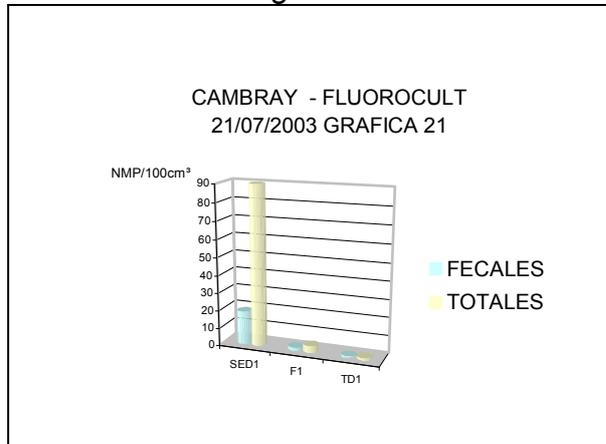


Figura 26

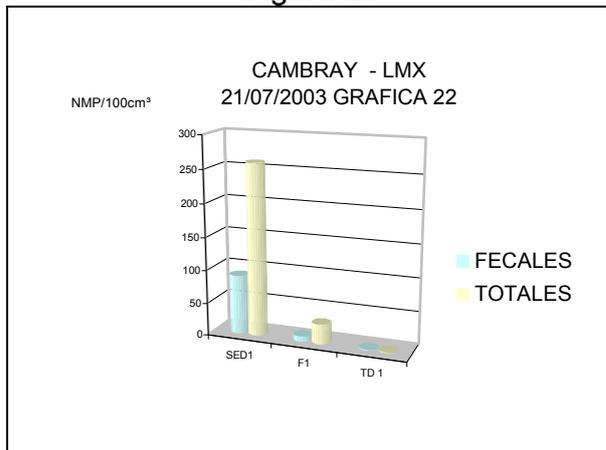


Figura 27

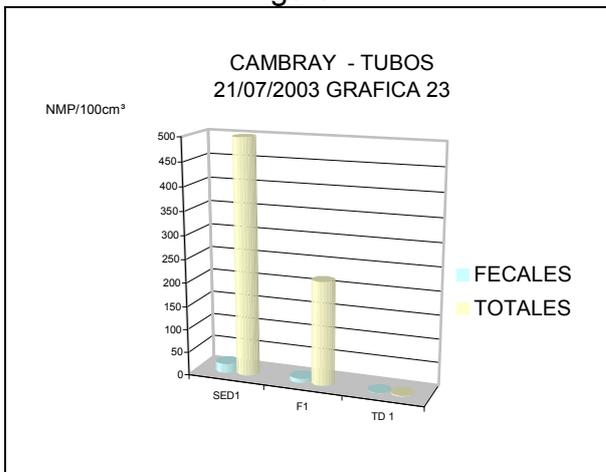


Figura 28

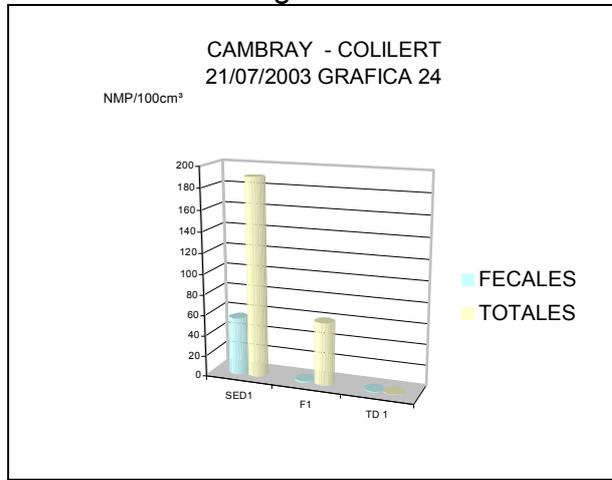


Figura 29

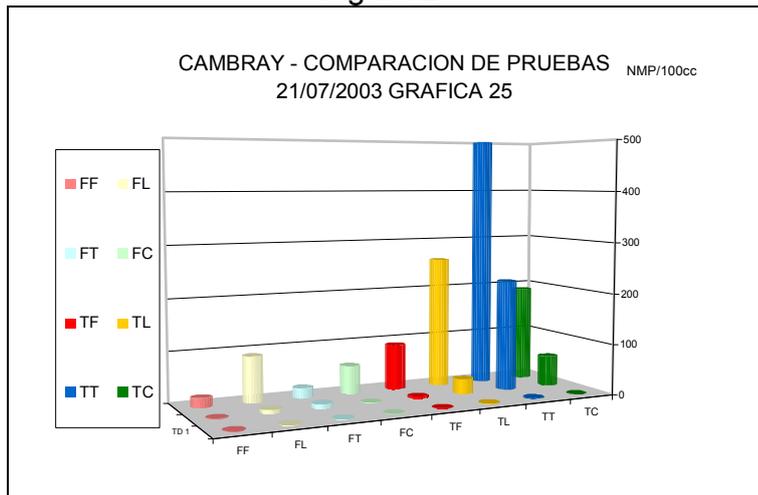


Figura 30

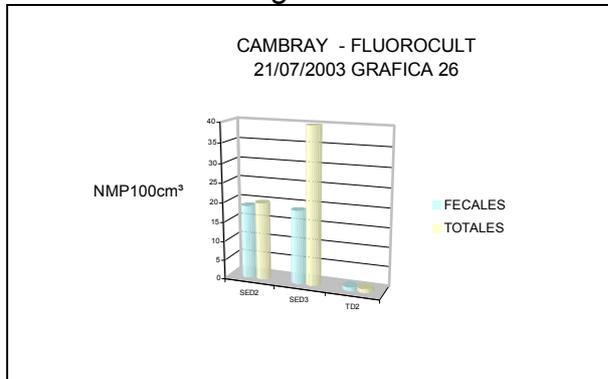


Figura 31

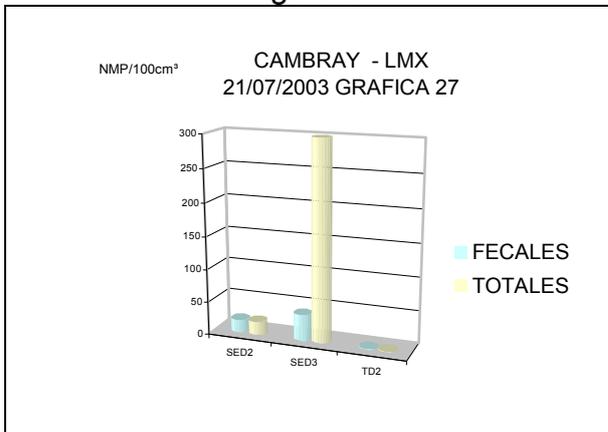


Figura 32

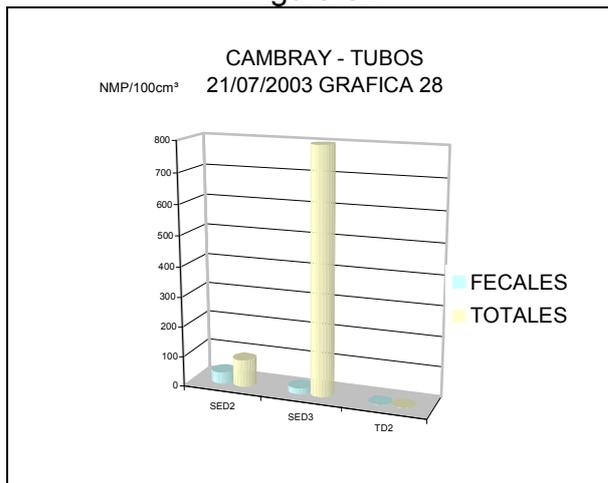


Figura 33

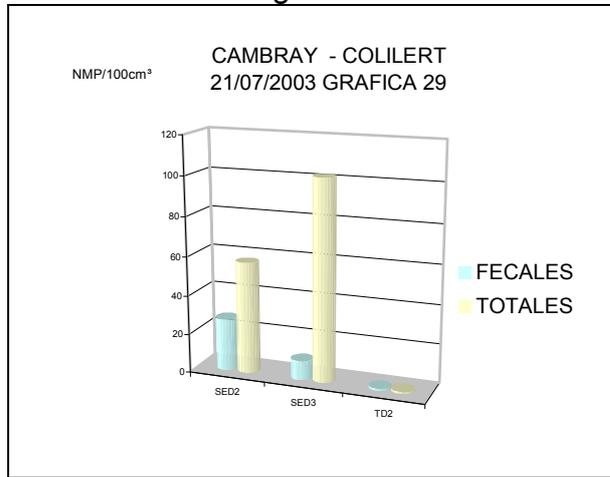


Figura 34

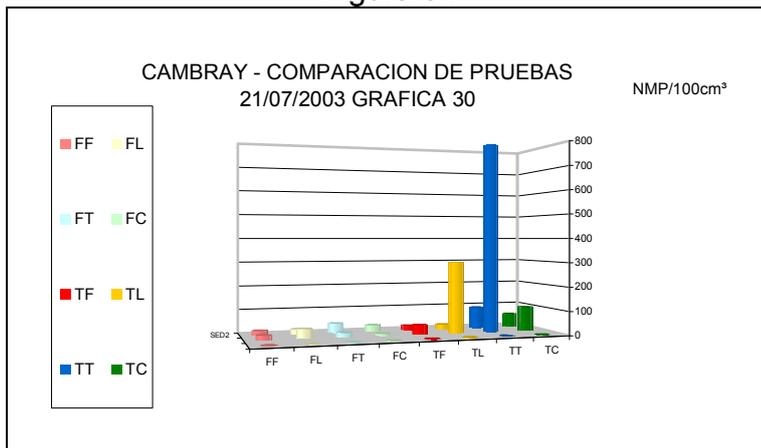


Figura 35

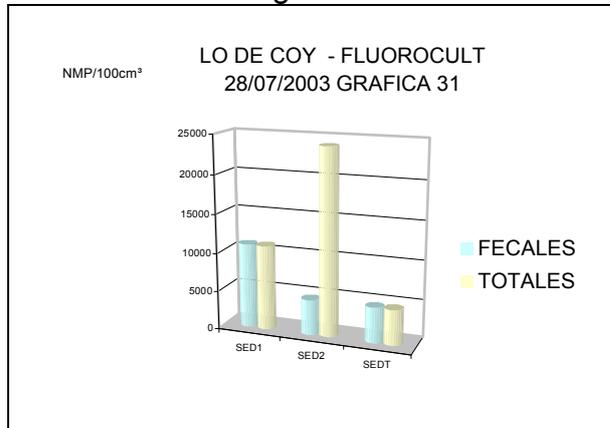


Figura 36

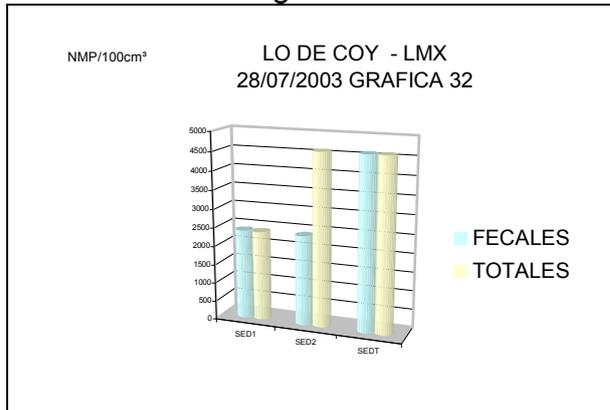


Figura 37

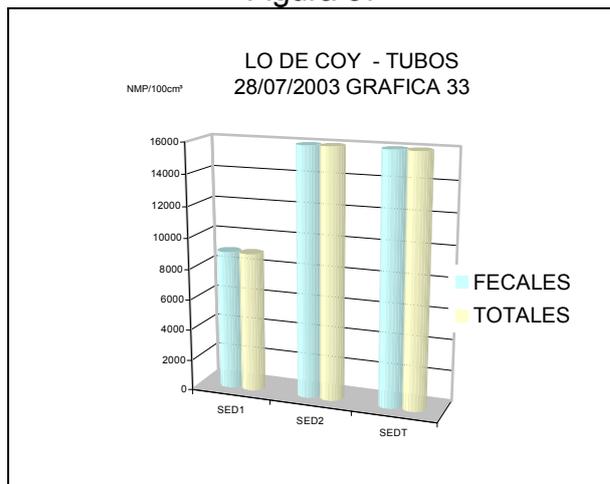


Figura 38

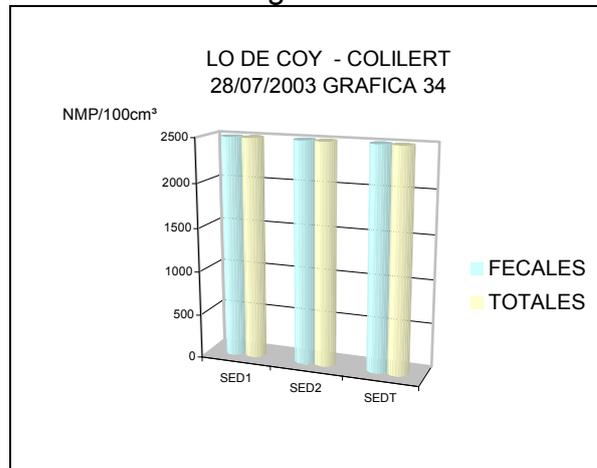


Figura 39

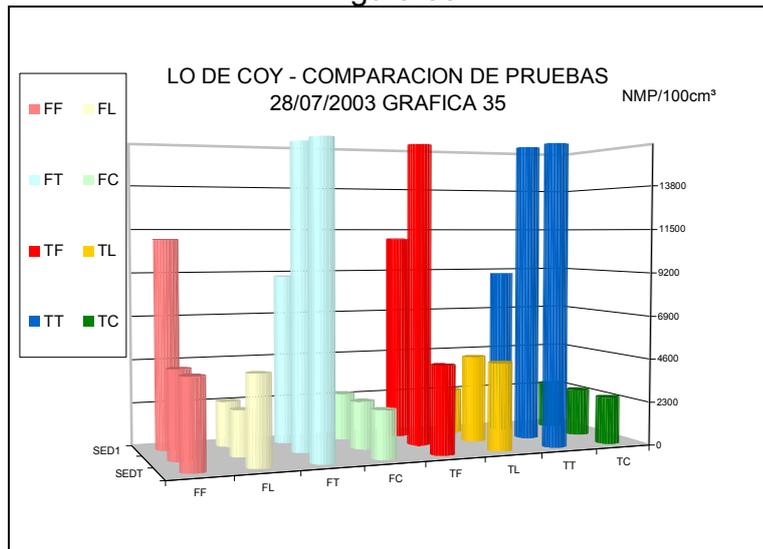


Figura 40

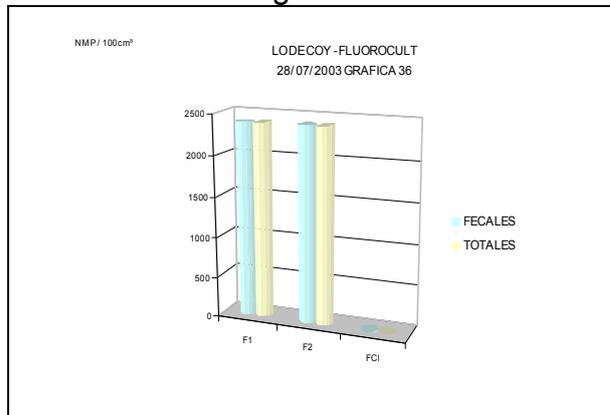


Figura 41

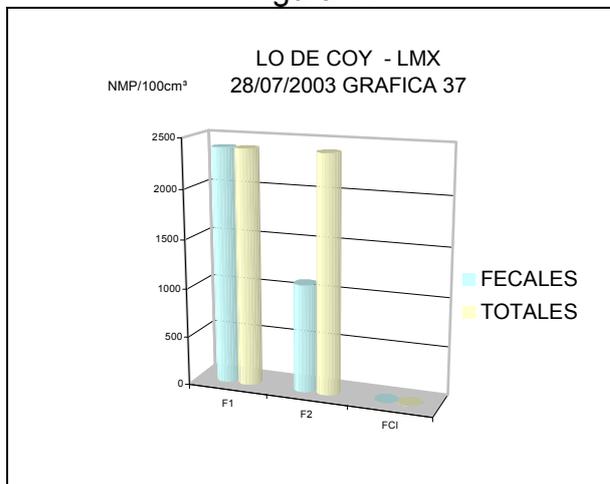


Figura 42

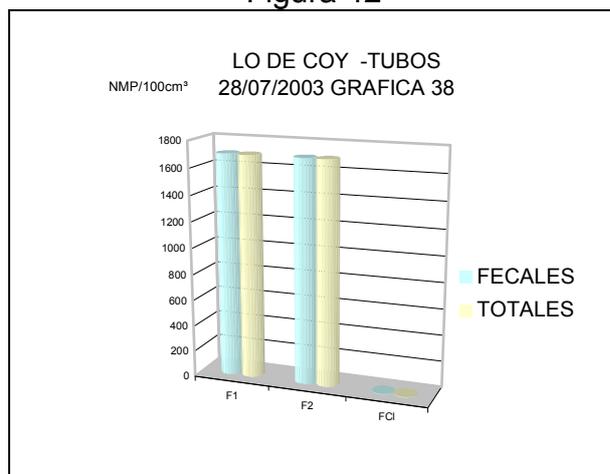


Figura 43

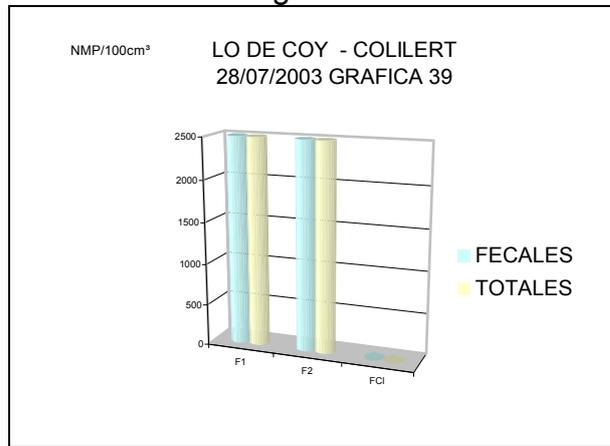


Figura 44

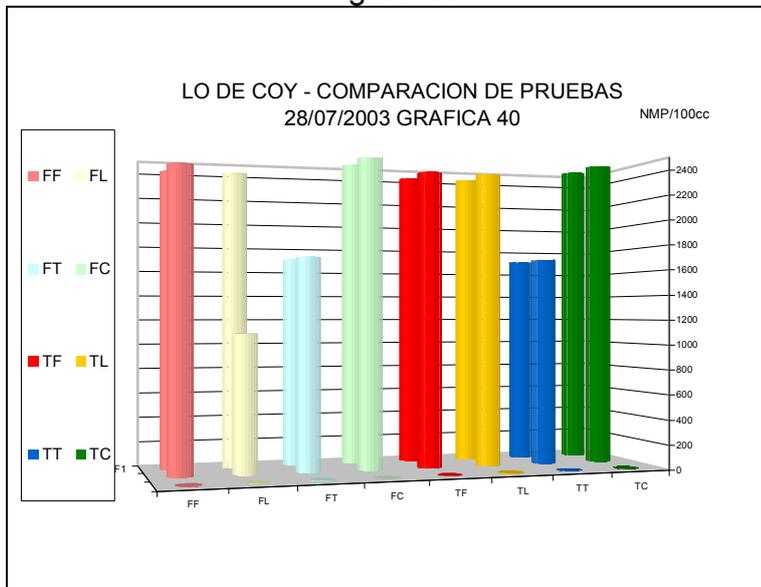


Figura 45

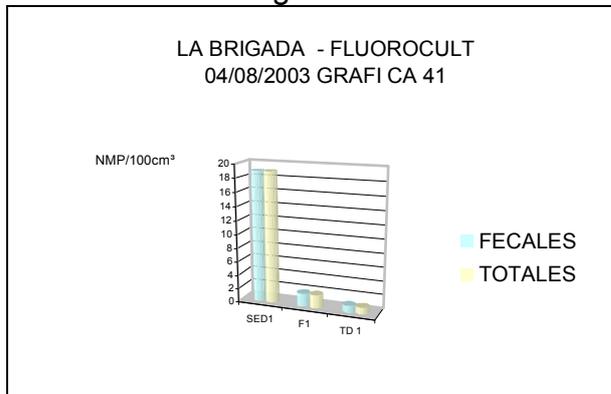


Figura 46



Figura 47

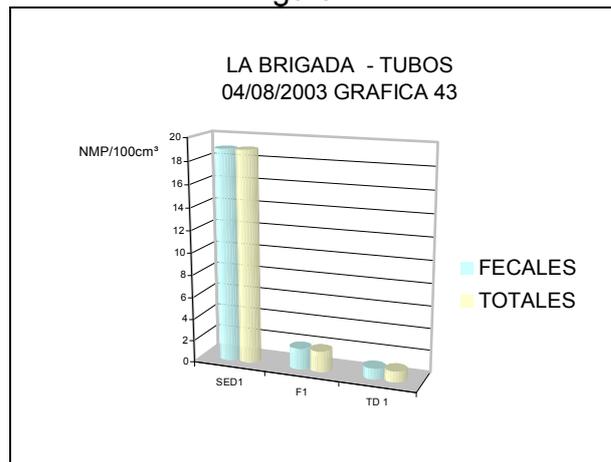


Figura 48

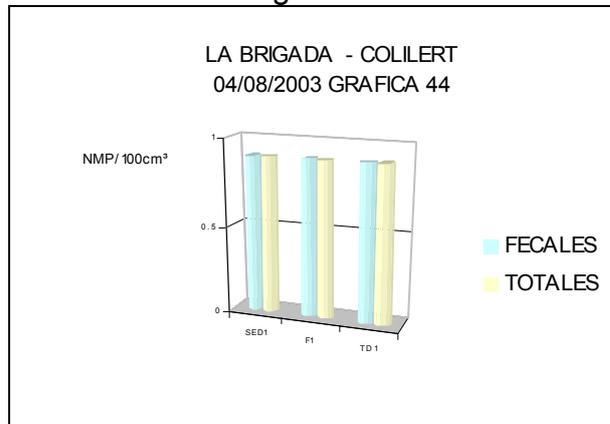


Figura 49

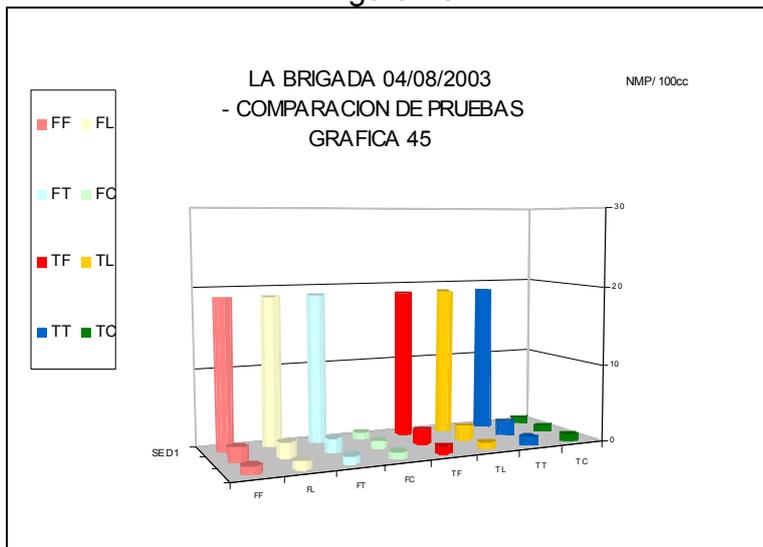


Figura 50

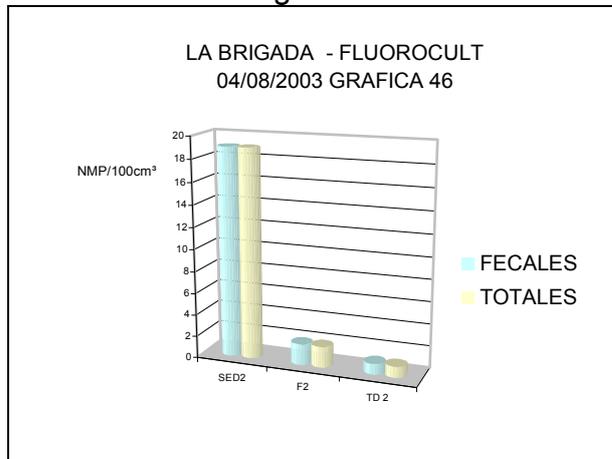


Figura 51

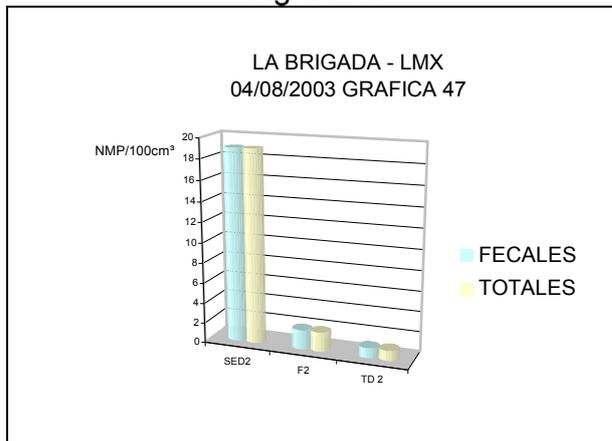


Figura 52

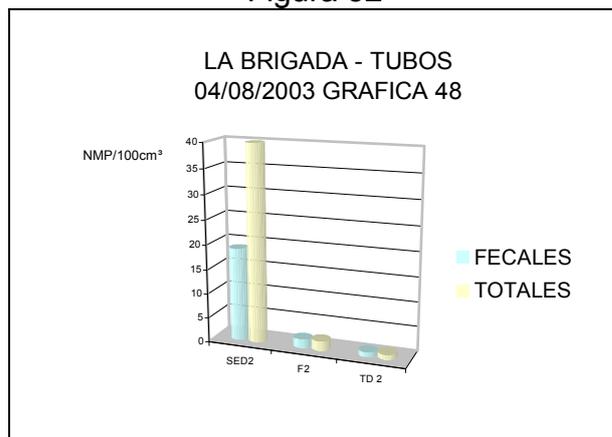


Figura 53

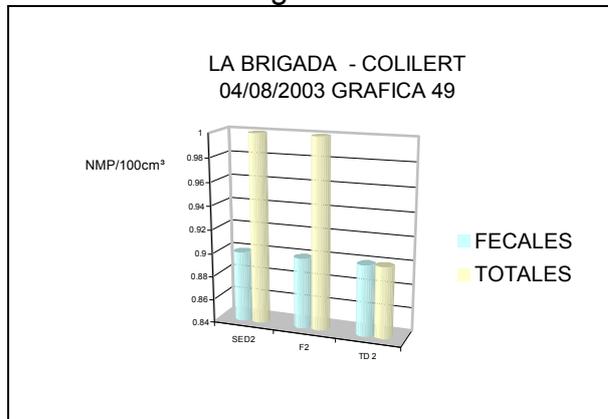


Figura 54

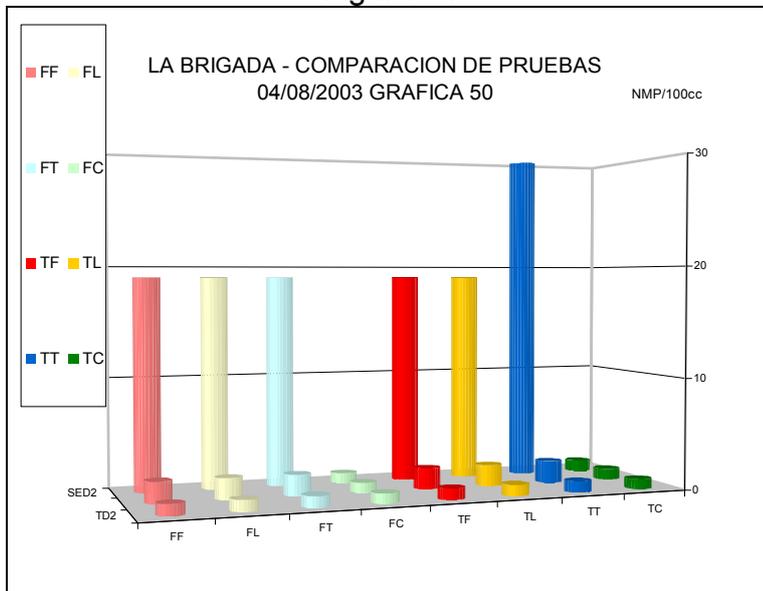


Figura 55

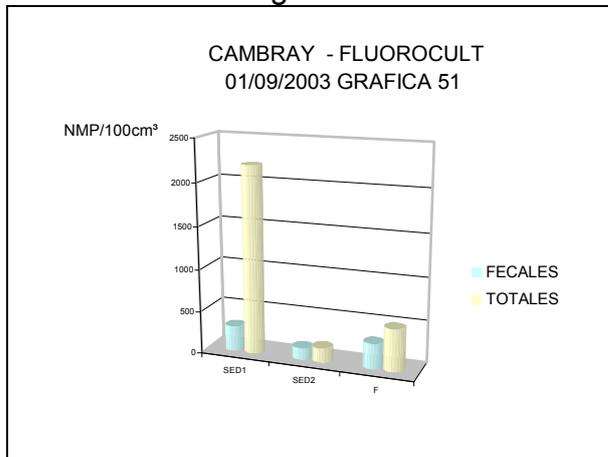


Figura 56

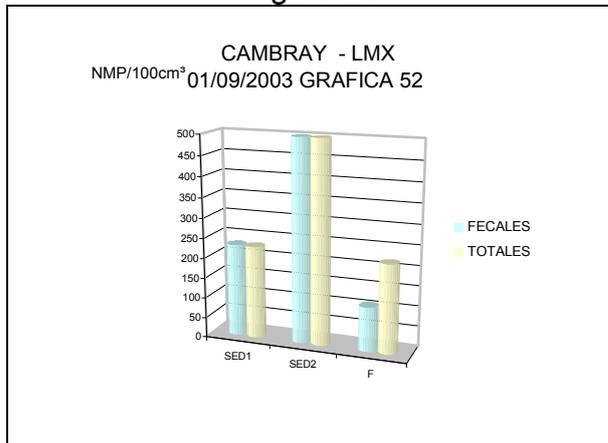


Figura 57

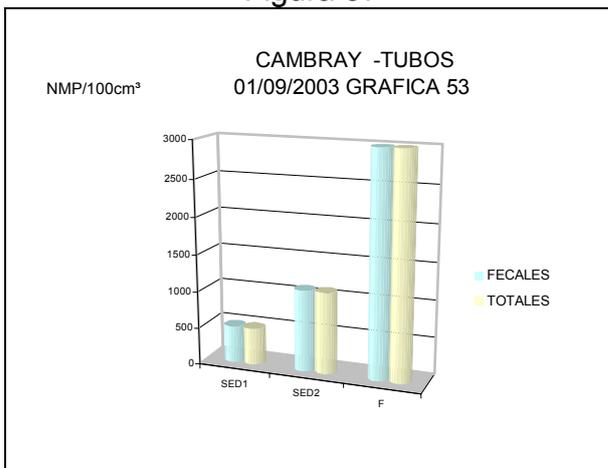


Figura 58

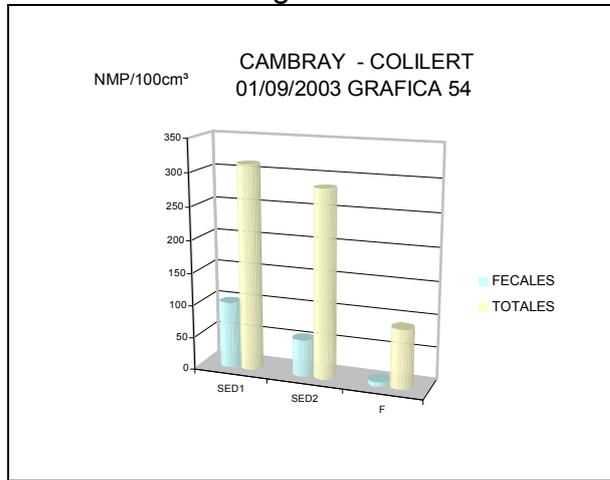


Figura 59

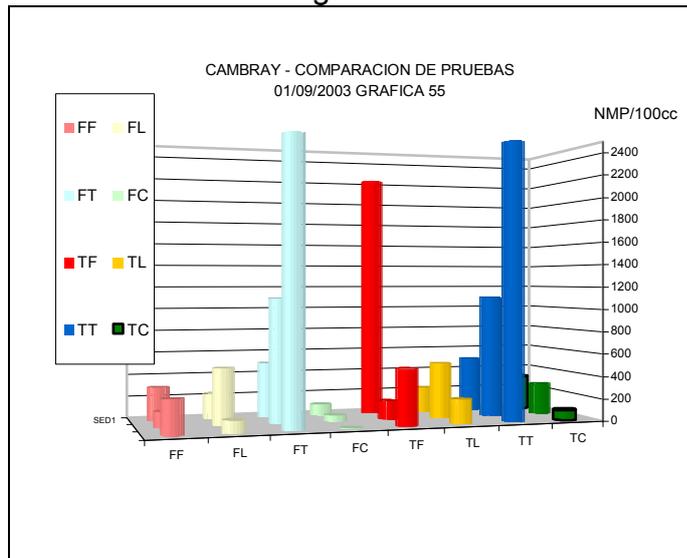


Figura 60

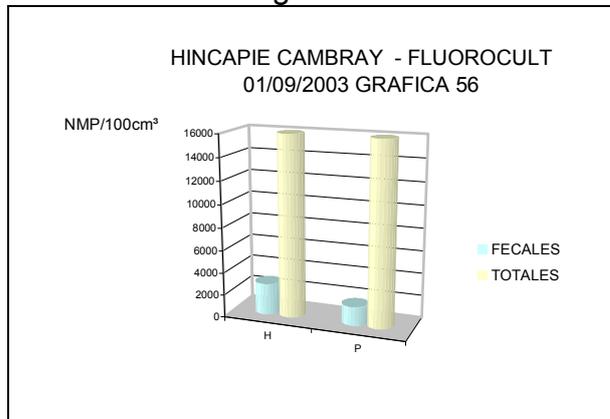


Figura 61

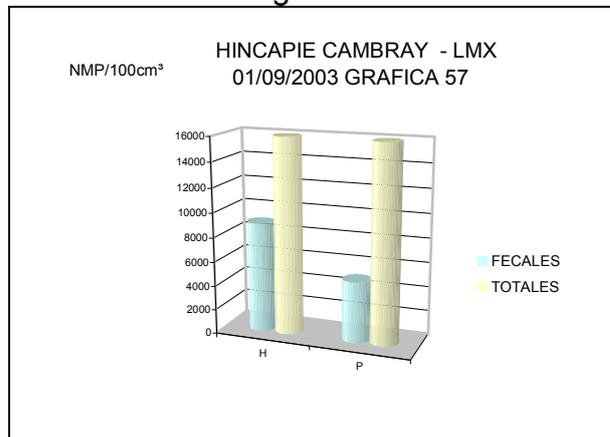


Figura 62

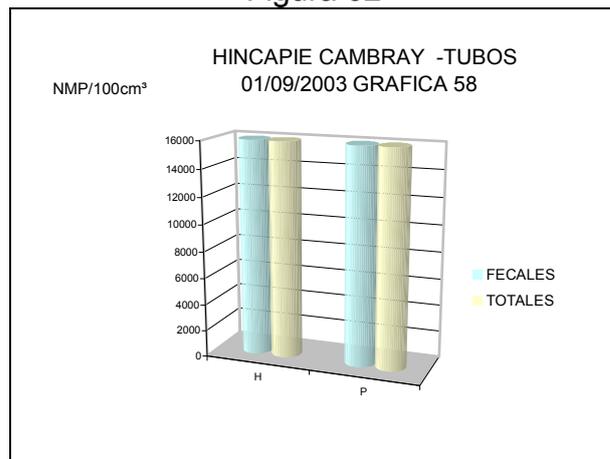


Figura 63

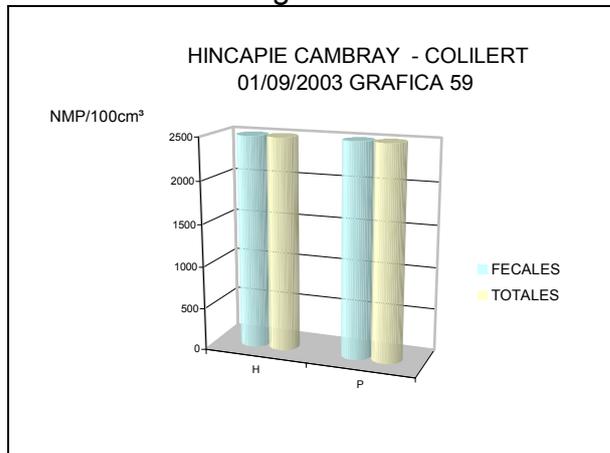
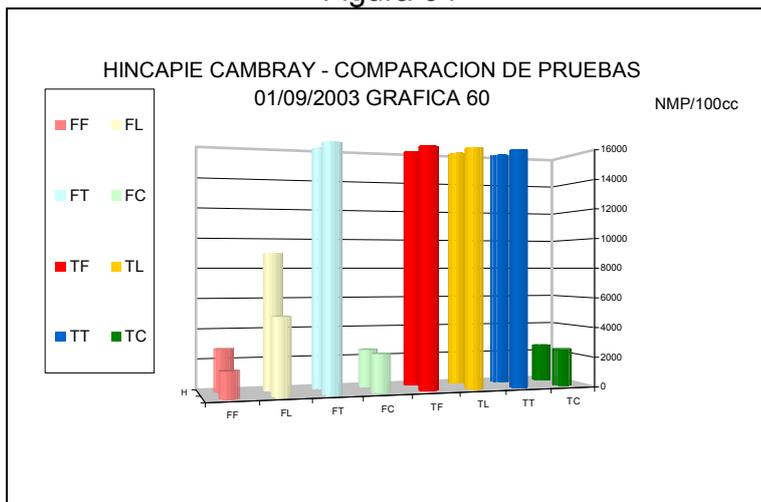


Figura 64



**TABLA XIII. ANALISIS ECONÓMICO FLUOROCULT. DATOS DE COSTOS**

FLUOROCULT	PRECIO Q/UNIDAD	UNID/ MUESTRA	TOTAL Q
INVERSIÓN INICIAL VIDA ÚTIL 10 ÑOS			
Autoclave	Q44,100.00	1	Q44,100.00
Destilador	Q30,000.00	1	Q30,000.00
Lámpara UV	Q1,373.84	1	Q1,373.84
Horno	Q12,000.00	1	Q12,000.00
Enfriadora	Q12,000.00	1	Q12,000.00
Incubadora	Q3,339.84	1	Q3,339.84
<b>TOTAL</b>			<b>Q102,813.68</b>

INVERSIÓN INICIAL VIDA ÚTIL	PRECIO Q/UNIDAD
Impresora vida útil 3 años	Q4,000.00
Computadora vida útil 8 años	Q6,800.00

COSTOS VARIABLES	PRECIO Q/UNIDAD	UNID/ MUESTRA	TOTAL Q	TOTAL Q mil muestras/año
Tubos de ensayo sin borde 22X175 mm	Q12.15	5	Q60.75	Q1,215.00
Tubos de ensayo sin borde 18X150 mm	Q11.75	5	Q58.75	Q1,175.00
Tubos Durham 12X75 mm	Q2.00	5	Q10.00	Q200.00
Indol 100 cc	Q176.88	1cc	Q1.77	Q1,770.00
Caldo Laurisulfato PMB 500 gramos	Q1,002.57	aprox 4 gramos	Q8.02	Q8,020.00
Caldo Verde Brillante PMB 500 gramos	Q849.73	aprox 4 gramos	Q6.80	Q6,800.00
Pipeta 10 cc	Q10.00	20	Q200.00	Q4,000.00
<b>TOTAL</b>			<b>Q346.09</b>	<b>Q23,180.00</b>

**PARA COSTOS VARIABLES DE CRISTALERÍA SE ASUMIERON 20 MUESTRAS POR DÍA**

OTROS COSTOS	PRECIO Q/UNIDAD	Costos anuales
Costo de alquiler	Q12,500.00	Q150,000.00
Agua/mes	Q670.00	Q8,040.00
Energia electrica teléfono	Q2,000.00 Q200.00	Q24,000.00 Q2,400.00
Salarios: Técnico	Q3,500.00	Q49,000.00
Secretaria	Q3,500.00	Q49,000.00
Jefe	Q8,000.00	Q112,000.00
Costo de papelería: Hojas	Q60.00	Q720.00
Toner	Q150.00	Q1,800.00
<b>TOTAL</b>		<b>Q396,960.00</b>

#### ANÁLISIS ECONÓMICO

Para este análisis se tomaran como base para analizar 1000 muestras en un año además de calcular la anualidad de la inversión inicial, obteniendo así, un valor promedio de costo por muestra

#### ANUALIDAD PARA INVERSIÓN INICIAL CON 10 AÑOS DE VIDA ÚTIL

$$A = (A/P, 10\text{años}, 12\%)$$

$$A = P (A/P, 10\text{años}, 12\%)$$

$$A = 102813.68 * 0.17698$$

$$A = Q 18195.97$$

$$A \text{ TOTAL} = A \text{ inv inicial} + A \text{ gastos variables} + A \text{ gastos fijos} + A \text{ compu}$$

$$A \text{ TOTAL} = Q18195.97 + Q23180 + Q396960 + Q1665.4 + Q1368.84$$

$$A \text{ TOTAL} = Q 441,370.21$$

$$A \text{ TOTAL POR MUESTRA} = Q 441.37/\text{muestra}$$

#### ANUALIDAD PARA INVERSIÓN INICIAL CON 3 AÑOS DE VIDA ÚTIL

$$A = P (A/P, 3\text{ años}, 12\%)$$

$$A = 4000 * 0.41635$$

$$A = Q 1665.40$$

#### ANUALIDAD PARA INVERSIÓN INICIAL CON 8 AÑOS DE VIDA ÚTIL

$$A = P (A/P, 8\text{ años}, 12\%)$$

$$A = 6800 * 0.2013$$

$$A = Q 1368.84$$

**TABLA XIV. ANALISIS ECONÓMICO COLILERT. DATOS DE COSTOS**

COLILERT	PRECIO Q/UNID	UNIDAD/ MUES	TOTAL Q
<b>INVERSION INICIAL VIDA ÚTIL 10 AÑOS</b>			
Sellador	Q28,000.00	1	Q28,000.00
Incubadora	Q3,339.84	1	Q3,339.84
Lámpara UV	Q1,373.84	1	Q1,373.84
Destilador	Q30,000.00	1	Q30,000.00
		<b>TOTAL</b>	<b>Q62,713.68</b>

<b>INVERSION INICIAL VIDA ÚTIL NO DE 10 AÑOS</b>	
Impresora vida útil 3 años	Q4,000.00
Computadora vida útil 8 años	Q6,800.00

COSTOS VARIABLES	PRECIO Q/UNID	UNIDAD/ MUES	TOTAL Q	TOTAL Q mil/año
Kit completo para prueba de coliformes	Q52.00	1	Q52.00	Q52,000.00
<b>TOTAL</b>			<b>TOTAL</b>	<b>Q52,000.00</b>

OTROS COSTOS	PRECIO Q/UNIDAD	Costos anuales
Costo de alquiler	Q12,500.00	Q150,000.00
Agua/mes	Q670.00	Q8,040.00
Energía eléctrica	Q2,000.00	Q24,000.00
teléfono	Q200.00	Q2,400.00
Salarios:		
Técnico	Q3,500.00	Q49,000.00
Secretaria	Q3,500.00	Q49,000.00
Jefe	Q8,000.00	Q112,000.00
Costo de papelería:		
Hojas	Q60.00	Q720.00
Toner	Q150.00	Q1,800.00
		<b>Q396,960.00</b>

## ANÁLISIS ECONÓMICO

### ANUALIDAD PARA INVERSIÓN INICIAL CON 10 AÑOS DE VIDA ÚTIL

$$A = P (A/P, 10 \text{ años}, 12\%)$$

$$A = P (A/P, 10 \text{ años}, 12\%)$$

$$A = 62713.68 * 0.17698$$

$$A = Q 11099.07$$

### ANUALIDAD PARA INVERSIÓN INICIAL 3 AÑOS DE VIDA ÚTIL

$$A = P (A/P, 3 \text{ años}, 12\%)$$

$$A = 4000 * 0.41635$$

$$A = Q 1665.40$$

### ANUALIDAD PARA INVERSIÓN INICIAL CON 8 AÑOS DE VIDA ÚTIL

$$A = P (A/P, 8 \text{ años}, 12\%)$$

$$A = 6800 * 0.2013$$

$$A = Q 1368.84$$

A TOTAL = A Inv inicial + A gastos variables + A gastos fijos + A compu
A TOTAL = Q 11099.07 + Q 52000 + Q 396960 + Q 1665.4 + Q 1368.84
A TOTAL = Q 463.093.31
A TOTAL POR MUEST Q463.09

**TABLA XV. ANÁLISIS ECONÓMICO LMX. DATOS DE COSTOS**

LMX	PRECIO Q/UNID	UNIDAD/ MUES	TOTAL Q
<b>INVERSIÓN INICIAL VIDA ÚTIL 10 AÑOS</b>			
Autoclave	Q44,100.00	1	Q44,100.00
Destilador	Q30,000.00	1	Q30,000.00
Horno	Q12,000.00	1	Q12,000.00
Enfriadora	Q12,000.00	1	Q12,000.00
Incubadora 35	Q3,339.84	1	Q3,339.84
<b>TOTAL</b>			<b>Q101,439.84</b>

<b>INVERSIÓN INICIAL VIDA ÚTIL NO DE 10 AÑOS</b>	
Impresora vida útil 3 años	Q4,000.00
Computadora vida útil 8 años	Q6,800.00

COSTOS VARIABLES	PRECIO Q/UNID	UNIDAD/ MUES	TOTAL Q	TOTAL Q por millaño
Tubos de ensayo sin borde 22X175 mm	Q12.15	5	Q60.75	Q1,215.00
Pipeta 10 cc	Q12.00	20	Q240.00	Q4,800.00
Frasco Bacteriológico	Q125.00	1	Q125.00	Q2,500.00
Medio 500 gramos LMX modificado	Q1,875.10	aprox 4 gramos	Q15.00	Q15,000.00
<b>TOTAL</b>				<b>Q23,515.00</b>

**PARA COSTOS VARIABLES DE CRISTALERIA SE ASUMIERON 20 MUJESTRAS POR DIA**

OTROS COSTOS	PRECIO Q/UNID	Costos anuales
Costo de alquiler	Q12,500.00	Q150,000.00
Agua/mes	Q670.00	Q8,040.00
Energia electrica	Q2,000.00	Q24,000.00
telefono	Q200.00	Q2,400.00
Salarios:		
Técnico	Q3,500.00	Q49,000.00
Secretaria	Q3,500.00	Q49,000.00
Jefe	Q8,000.00	Q112,000.00
Costo de papelería:		
Hojas	Q60.00	Q720.00
Toner	Q150.00	Q1,800.00
<b>TOTAL</b>		<b>Q396,960.00</b>

### ANÁLISIS ECONÓMICO

Para este análisis se tomaran como base para analizar 1000 muestras en un año además de calcular la anualidad de la inversión inicial, obteniendo así, un valor promedio de costo por muestra

#### ANUALIDAD PARA INVERSIÓN INICIAL 10 AÑOS DE VIDA ÚTIL

A = (AP, 10 años, 12%)

A = P (AP, 10 años, 12%)

A =  $101439.84 * 0.17698$

A = Q 17952.82

#### ANUALIDAD PARA INVERSIÓN INICIAL 3 AÑOS DE VIDA ÚTIL

A = P (AP, 3 años, 12%)

A =  $4000 * 0.41635$

A = Q 1665.40

#### ANUALIDAD PARA INVERSIÓN INICIAL 8 AÑOS DE VIDA ÚTIL

A = P (AP, 8 años, 12%)

A =  $6800 * 0.2013$

A = Q 1368.84

A TOTAL = A inv inicial + A gastos variables + A gastos fijos + A compu

A TOTAL = Q 17952.82 + Q 23515 + Q 396960 + Q 1665.4 + Q 1368.84

A TOTAL = Q 441,462.06

COSTO POR MUES Q 441.46/muestra

**TABLA XVI. ANÁLISIS ECONÓMICO TUBOS DE FERMENTACIÓN. DATOS DE COSTOS**

TUBOS DE FERMENTACIÓN			
INVERSIÓN INICIAL VIDA ÚTIL 10 AÑOS	PRECIO Q/UNID	UNIDAD/ MUES	TOTAL Q
Autoclave	Q44,100.00	1	Q44,100.00
Horno	Q12,000.00	1	Q12,000.00
Destilador	Q30,000.00	1	Q30,000.00
Incubadora 35 Celsius	Q3,339.84	1	Q3,339.84
Enfriadora	Q12,000.00	1	Q12,000.00
Incubadora 44.5 Celsius	Q12,000.00	1	Q12,000.00
<b>TOTAL</b>			<b>Q113,439.84</b>

INVERSIÓN INICIAL VIDA ÚTIL NO DE 10 AÑOS	
Impresora vida útil 3 años	Q4,000.00
Computadora vida útil 8 años	Q6,800.00

COSTOS VARIABLES	PRECIO Q/UNID	UNIDAD/ MUES	TOTAL Q	TOTAL Q mil/año
<b>MATERIALES Y EQUIPO</b>				
Tubos de ensayo sin borde 22X175 mm	Q12.15	5	Q60.75	Q1,215.00
Tubos de ensayo sin borde 18X150 mm	Q11.75	5	Q58.75	Q1,175.00
Tubos de ensayo sin borde 12X75 mm (tubo Durham)	Q2.00	5	Q10.00	Q200.00
Caldo Lauril sulfato 500 gramos	Q320.00	aprox 4 gramos	Q2.56	Q2,560.00
Verde Brillante 500 gramos	Q410.00	aprox 4 gramos	Q3.28	Q3,280.00
EC 500 gramos	Q416.00	aprox 4 gramos	Q3.32	Q3,320.00
Pipetas 10 cc	Q12.00	20	Q240.00	Q4,800.00
Frascos bacteriológicos	Q125.00	1	Q125.00	Q2,500.00
<b>TOTAL</b>				<b>Q19,050.00</b>

**PARA COSTOS VARIABLES DE CRISTALERIA SE ASUMIERON 20 MUESTRAS POR DIA**

OTROS COSTOS	PRECIO Q/UNID	Costos anuales
Costo de alquiler	Q12,500.00	Q150,000.00
Agua/mes	Q670.00	Q8,040.00
Energía eléctrica	Q2,000.00	Q24,000.00
teléfono	Q200.00	Q2,400.00
Salarios:		
Técnico	Q3,500.00	Q42,000.00
Secretaria	Q3,500.00	Q42,000.00
Jefe	Q8,000.00	Q96,000.00
Costo de papelería:		
Hojas	Q60.00	Q720.00
Toner	Q150.00	Q1,800.00
		<b>Q366,960.00</b>

### ANÁLISIS ECONÓMICO

Para este análisis se tomaran como base para analizar 1000 muestras en un año además de calcular la anualidad de la inversión inicial, obteniendo así, un valor promedio de costo por muestra

#### ANUALIDAD PARA INVERSIÓN INICIAL 10 AÑOS DE VIDA ÚTIL

$$A = (A/P, 10 \text{ años}, 12\%)$$

$$A = P (A/P, 10 \text{ años}, 12\%)$$

$$A = 113439.84 * 0.17698$$

$$A = Q 20046.58$$

$$A \text{ TOTAL} = A \text{ inv inicial} + A \text{ gastos variables} + A \text{ gastos fijos} + A \text{ compu}$$

$$A \text{ TOTAL} = Q 20046.58 + 19050 + 366960 + 1665.4 + 1368.84$$

$$A \text{ TOTAL} = Q 409,090.82$$

**COSTO POR MUESTRA= Q409.09/muestra**

#### ANUALIDAD PARA INVERSIÓN INICIAL 3 AÑOS DE VIDA ÚTIL

$$A = P (A/P, 3 \text{ años}, 12\%)$$

$$A = 4000 * 0.41635$$

$$A = Q 1665.40$$

#### ANUALIDAD PARA INVERSIÓN INICIAL 8 AÑOS DE VIDA ÚTIL

$$A = P (A/P, 8 \text{ años}, 12\%)$$

$$A = 6800 * 0.2013$$

$$A = Q 1368.84$$

**TABLA XVII. ANÁLISIS ECONÓMICO MEMBRANAS DE FILTRACIÓN . DATOS DE COSTOS**

<b>MEMBRANAS DE FILTRACIÓN</b>			
INVERSIÓN INICIAL VIDA ÚTIL 10 AÑOS	PRECIO Q/JUNID	UNIDAD/ MUES	TOTAL Q
Unidad de Filtración	Q3,339.84	1	Q3,339.84
Kitazato	Q208.00	1	Q208.00
Estufa	Q6,000.00	1	Q6,000.00
Incubadora	Q3,339.84	1	Q3,339.84
Autoclave	Q44,100.00	1	Q44,100.00
<b>TOTAL</b>			<b>Q56,987.68</b>

<b>INVERSIÓN INICIAL VIDA ÚTIL NO DE 10 AÑOS</b>	
Impresora vida útil 3 años	Q4,000.00
Computadora vida útil 8 años	Q6,800.00

<b>COSTOS VARIABLES</b>			
MATERIAL Y EQUIPO	PRECIO Q/JUNID	UNIDAD/ MUES	TOTAL Q
Caldo Endo 500 gramos	Q710.00	aprox 2.3 gramos	Q3.27
Pipeta 10 cc	Q12.00	3	Q36.00
Membranas de filtración caja 100 u Sartorius	Q319.00	1	Q3.19
<b>TOTAL</b>			<b>Q7,190.00</b>

**PARA COSTOS VARIABLES DE CRISTALERIA SE ASUMIERON 20 MUESTRAS POR DIA**

<b>OTROS COSTOS FIJOS</b>	
	PRECIO Q/JUNID
Costo de alquiler	Q12,500.00
Agua/mes	Q670.00
Energía eléctrica	Q2,000.00
teléfono	Q200.00
Salarios:	
Técnico	Q3,500.00
Secretaria	Q3,500.00
Jefe	Q8,000.00
Costo de papelería:	
Hojas	Q60.00
Toner	Q150.00
<b>Costos anuales</b>	
	Q150,000.00
	Q8,040.00
	Q24,000.00
	Q2,400.00
	Q42,000.00
	Q42,000.00
	Q96,000.00
	Q720.00
	Q1,800.00
	<b>Q366,960.00</b>

### ANÁLISIS ECONÓMICO

Para este análisis se tomaran como base para analizar 1000 muestras en un año además de calcular la anualidad de la inversión inicial, obteniendo así, un valor promedio de costo por muestra

#### ANUALIDAD PARA INVERSIÓN INICIAL 10 AÑOS DE VIDA ÚTIL

A = (A/P, 10 años, 12%)

A = P (A/P, 10 años, 12%)

A = 56987.68\* 0.17698

A = Q 10085.68

A TOTAL = A inv inicial + A gastos variables + A gastos fijos + A compu

A TOTAL = Q10085.68+ Q7180+ Q 366960+ Q1665.4 + Q1368.84

A TOTAL = Q 387,260.00

**COSTO POR MUES Q 387.26/muestra**

#### ANUALIDAD PARA INVERSIÓN INICIAL 3 AÑOS DE VIDA ÚTIL

A = P (A/P, 3 años, 12%)

A = 4000\*0.41635

A = Q 1665.40

#### ANUALIDAD PARA INVERSIÓN INICIAL 8 AÑOS DE VIDA ÚTIL

A = P (A/P, 8 años, 12%)

A = 6800\*0.2013

A = Q 1368.84

## 5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Para trabajar aspectos puramente cualitativos de evaluación de organismos indicadores de contaminación, es conveniente considerar los análisis aplicados a una porción de muestra, inoculada en tubos que contengan medio de cultivo, y la consiguiente verificación de los resultados de la inoculación original. Esto se consigue por medio de tablas de NMP/100 cm<sup>3</sup>, que interpretan los resultados del análisis.

Por otra parte, también existe un examen moderno que no utiliza tubos con medio de cultivo, sino placas que incluyen no medio de cultivo, por el contrario, contiene nutrientes indicadores para la detección de contaminación fecal, su interpretación está dada, también, por tablas estadísticas; pero con un método diferente de obtención.

De las tablas de resultados se puede observar la aparición de indicadores positivos (signos +) e indicadores negativos (signos -) y, a su vez, la interpretación respectiva a cada una de ellas. Estas interpretaciones fueron obtenidas, a partir de las tablas de NMP/cm<sup>3</sup>. (Referencias bibliográficas)

Además de las tablas de resultados, también aparecen gráficas que muestran la interpretación de los datos de cada una de las plantas de agua potable muestreadas, para cada una además, aparecen gráficas individuales por examen bacteriológico y una última gráfica comparativa de los resultados de cuatro de los cinco exámenes evaluados.

El examen bacteriológico de membranas de filtración, no aparece indicado por gráficas, debido a que no se puede hacer una comparación de resultados entre este examen y los otros cuatro (tubos de fermentación,

LMX, Fluorocult, Colilert); esto es debido a que los resultados obtenidos a partir del examen de Membranas de filtración está dado en una unidad totalmente diferente (No. colonias/volumen de muestra) a los otros (NMP/100 cm<sup>3</sup>). No existen tablas de análisis probabilístico para este examen y por último, lo más importante, es que el examen de Membranas de filtración está condicionado a su uso exclusivo para aguas claras (agua de tanque de distribución) y en quintuplicado sin diluciones, para evitar resultados no confiables y alterados; ya que las aguas turbias cierran los poros de la membrana, no dejando pasar el agua de muestra, así se dan resultados no confiables que, a su vez, no pueden ser graficados, porque el número de colonias es incontable; esto según la norma COGUANOR 29002.

Las gráficas, entonces están restringidas a la comparación de los resultados de los otros cuatro exámenes ya mencionados. Al analizar todas las gráficas comparativas de pruebas de todos los muestreos realizados, se puede observar que para aguas tratadas (desinfección con cloro) los resultados son similares, esto debido a que el cloro elimina casi la totalidad de bacterias coliformes totales y fecales de una muestra. Por otro lado, se puede decir, que para aguas con alta contaminación, como lo es el agua de entrada a las plantas potabilizadores (Santa Luisa y El Cambray) muestreadas, los resultados de NMP de coliformes totales son bastante similares, debido a que el NMP alcanza su valor más alto de 1600, sin incluir ninguna dilución.

Por otra parte el agua muestreada de etapas intermedias de contaminación, como sedimentadores y filtros antes de cloración, muestra datos muy diferentes para cada examen y, en algunos casos, bastante similares. Esta variación en resultados, es debida a que cada uno de los

exámenes bacteriológicos poseen sus propias características en funcionamiento e interpretación estadística de resultados. Un ejemplo claro de ello, es que los exámenes de LMX y Fluorocult obtienen en más de un 50% de los casos, valores de NPM iguales o muy cercanos.

Los exámenes de Fluorocult y LMX, funcionan prácticamente de la misma forma; ambos poseen un sustrato cromogénico (5-bromo-4-cloro-3-indolil- $\beta$ -D-galactopiranosida) el cual, es adherido por los coliformes, y produce un color azul verdoso en el caldo, lo cual indica presencia de coliformes totales; y una enzima  $\beta$ -D-glucuronidasa - es muy específica para *E.coli*- que divide el sustrato MUG, produce fluorescencia con luz UV, e indica presencia de *E.coli*. La única diferencia entre ambos exámenes, y posiblemente la causa de la pequeña variación en los resultados que ambos presentan, es que Fluorocult posee una prueba confirmativa con verde brillante Fluorocult y LMX no.

El examen de Colilert, a su vez, tampoco puede ser comparado con los otros tres (tubos de fermentación, LMX y Fluorocult), debido a que su forma de medición de coliformes totales y fecales es totalmente diferente, además de que las tablas de NMP que utiliza el método, no posee el mismo desarrollo estadístico de las tablas de NMP para tubos de fermentación que, a su vez, son utilizadas para los exámenes de LMX y Fluorocult.

Para aclarar lo anterior, se describe la forma de acción del examen. Este examen, utiliza dos nutrientes indicadores, ONPG y MUG que son metabolizados por la enzima coliforme  $\beta$ -galactosidasa y  $\beta$ -glucuronidasa; a medida que los coliformes utilizan la  $\beta$ -galactosidasa para metabolizar ONPG éste se torna amarillo. La  $\beta$ -glucuronidasa utilizada por la *E.coli* para metaboliza MUG, crea fluorescencia.

Por otro lado, el examen bacteriológico de tubos de fermentación, basa su método de determinación de NMP, no en fluorescencia causada por un proceso enzimático, sino más bien, en la formación de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) producido por la fermentación de la lactosa (o glucosa) del medio

lactosado en donde se hace la “siembra” por las bacterias coliformes totales. Se dice, que si una sola célula del organismo está presente en la muestra, ésta será capaz de crecer cuando sea introducida dentro de medio primario de inoculación.

El crecimiento del organismo (de interés) en el medio de cultivo, producirá resultados que indiquen su presencia y aunque existiesen organismos que no son de interés para el estudio, éstos no interferirán por ninguna circunstancia en el crecimiento del organismo de interés.

Con lo anterior, se desea indicar que, el examen de tubos de fermentación, es específico para el crecimiento de coliformes totales pero, a su vez, posee una prueba confirmativa que divide el resultado en NMP de coliformes totales y NMP de coliformes fecales, más específicamente *E.coli*, esto debido a los medios de cultivo que son utilizados en esta prueba de confirmación. Lo más importante del método y por lo que es exclusivo para determinación de *E.coli*, es que sigue la curva de crecimiento exponencial de los microorganismos en cualquier fase de ésta, debido a la conservación de la temperatura de crecimiento de la *E.coli*.

La *E.coli*, es una bacteria coliforme total, tanto mesófila como termófila, o sea, que puede crecer tanto a 35 °C (mesófila) como las coliformes totales y como a 44.5 °C, y entrar así dentro del rango termófilo, en el cual ninguna otra bacteria coliforme puede estar. Es decir, la *E.coli* es una bacteria coliforme muy resistente.

La separación por temperatura, sólo ocurre en este método. También es importante recalcar, que tubos de fermentación, por el tiempo que lleva el procedimiento, le da tiempo a las coliformes totales y fecales de crecer y desarrollarse en su totalidad, mientras que los otros reducen el tiempo y, probablemente, los resultados sean menores.

El examen de tubos de fermentación utiliza tablas estadísticas para la obtención de los NMP, estas tablas son el resultado de un análisis estadístico de distribución de frecuencias, (método de organización de datos), curvas de frecuencia (dispersión de datos) y finalmente probabilidad. La probabilidad de un evento se define como, la razón entre el total de números de eventos favorables y el número total de eventos posibles. A su vez, utiliza las leyes de probabilidad de adición y multiplicación. Para corroborar la carencia de correlación, entre los métodos de Fluorocult y tubos de fermentación por diluciones múltiples, se realizó un análisis de desviaciones estándar de los datos de Canalitos, Teocinte y Acatán; obteniendo resultados elevados, que afirman lo anteriormente expuesto. (Ver ANEXO A)

La teoría estadística subraya que NMP asume que se está tratando de estimar, por ejemplo, la verdadera densidad real de bacterias por  $\text{cm}^3$  en un gran volumen de agua.

Cabe mencionar que existe una clasificación de agua para la selección de la fuente de abastecimiento que desarrolló CEPIS, que divide el agua, según la calidad bacteriológica de la misma en cinco grupos:

Grupo	NMP coliformes totales/100 cm <sup>3</sup>	NMP coliformes fecales/100 cm <sup>3</sup>	Observaciones
I	100	20	Proceso de desinfección
II	3,000	600	Tratamiento primario y desinfección
III	20,000	4,000	Tratamiento primario y desinfección
IV	Mayor 20,000	Mayor 4,000	No es recomendable utilizar
V	Mayor 20,000	Mayor 4,000	No es recomendable utilizar

Para finalizar, a partir del análisis económico realizado se puede observar que la diferencia de costos para los cinco exámenes bacteriológicos analizados es mínima, con la excepción de membranas de filtración, para el cual la diferencia se hace un poco mayor. La única ventaja que se tendría, es que si ya se tiene cristalería de laboratorio, este costo se ahorraría siendo significativa la disminución en el caso de tubos de fermentación por diluciones múltiples.

## CONCLUSIONES

### Conclusiones Generales

1. Después de realizar las evaluaciones de los resultados, se obtiene que la hipótesis planteada en el estudio, no fue comprobada; ya que ninguno de los métodos propuestos cumple con los requerimientos sugeridos por la misma.
2. El examen bacteriológico de tubos de fermentación por diluciones múltiples, es el más recomendado en base a resultados, no así, en disminución de tiempo y costos.
3. Los análisis bacteriológicos evaluados no pueden ser comparados con los mismos parámetros, ya que el procedimiento, el método de determinación y el análisis estadístico de cada uno es totalmente diferente a los otros.
4. Los exámenes de Fluorocult y LMX son los más fácilmente comparables entre sí, ya que se basan en la misma teoría enzimática, lo que no quiere decir que sean exactamente iguales y que, por lo tanto, sus resultados también lo sean.
5. La densidad de distribución de las bacterias en un medio (en este caso agua), no es desde ningún punto de vista uniforme, por lo tanto, dos muestras obtenidas de un mismo punto (a la misma hora y bajo las mismas condiciones de captación), dará siempre y con seguridad resultados diferentes en cada caso.

6. Debido a que en casos de emergencia el tiempo es un factor que puede hacer la diferencia entre salvar muchas vidas o tener muchas muertes, los exámenes de membranas de filtración y Colilert son los más recomendables a utilizar, para indicar la presencia de contaminación fecal en agua, debido al corto tiempo en que se obtienen resultados.
7. Los cinco exámenes de análisis bacteriológico, pueden ser utilizados para clasificar una fuente de agua, o bien para indicar si existe contaminación fecal o no, o sea, que pueden compararse cualitativamente, pero no cuantitativamente.
8. En Guatemala, el único método aprobado por las normas COGUANOR, para dar dictámenes legales es el de tubos de fermentación por diluciones múltiples.
9. El análisis económico muestra que membranas de filtración, es el examen bacteriológico más económico, y que los otros cuatro poseen una diferencia en los costos poco significativa.
10. La comprobación estadística del presente estudio, fue realizada en base al método gráfico, debido a que no se encontró ninguna correlación entre los datos (según desviación estándar ANEXO A).

## RECOMENDACIONES

1. Para bajar el porcentaje de error en los resultados, se recomienda captar las muestras para realizar los exámenes bacteriológicos en las mismas condiciones, a la misma hora y con personal técnico.
2. Sí se realizan ensayos con membranas de filtración debe hacerse sólo y exclusivamente en aguas claras. Porque no es permitido hacer diluciones para este examen (COGUANOR 29009 H20).
3. Para casos de emergencia, en donde el factor tiempo sea crucial y el agua a analizar sea clara, se recomienda utilizar el examen de membranas de filtración o Colilert.
4. Las evaluaciones bacteriológicas de cualquier proyecto o ensayo, debe hacerse con un mismo método de análisis, para no obtener datos cruzados al final del mismo.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ARTÍCULO MANAFI, Instituto de Higiene de la Universidad de Viena. Nuevos métodos para la detección simultánea de coliformes totales y E.coli en agua. 1995.
2. CEPIS. Manual I. El agua, calidad y tratamiento para consumo humano. 1992
3. LELAND BLANK, TARQUIN ANTHONY. 1990. INGENIERÍA ECONÓMICA. Segunda Edición. Impreso en Colombia. Editorial Mc Graw Hill. Tablas de factores de interés compuesto discreto. Apéndice A.
4. MERCK. Folletos informativos Fluorocult, LMX.
5. PELCZAR, M. REID, R. CHAN, E. 1995. MICROBIOLOGÍA. Segunda edición. Impreso en México. Editorial Mc Graw Hill. Capítulo 37.
6. STÁNDAR METHODS. 19 Edición. 1995
7. US DEPARTMENT OF INTERIOR. Current Practices in Water Microbiology. 1967.
8. VISIÓN 21. Reporte preparado por el Capítulo Regional de América Latina. 1999.
9. Tablas de interpretación de resultados de NMP/100 cm<sup>3</sup> para Colilert, Tubos de fermentación por diluciones múltiples, LMX y Fluorocult, para 15 tubos, 9 tubos y 10 tubos.

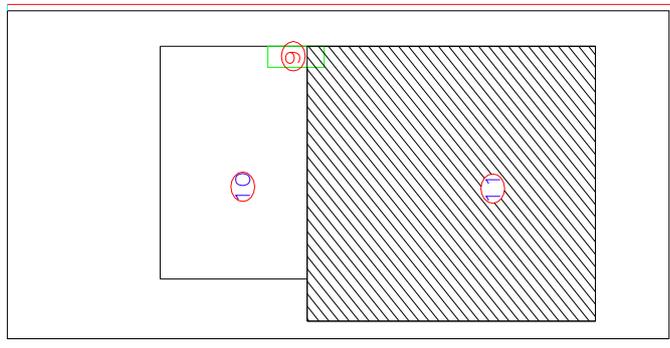
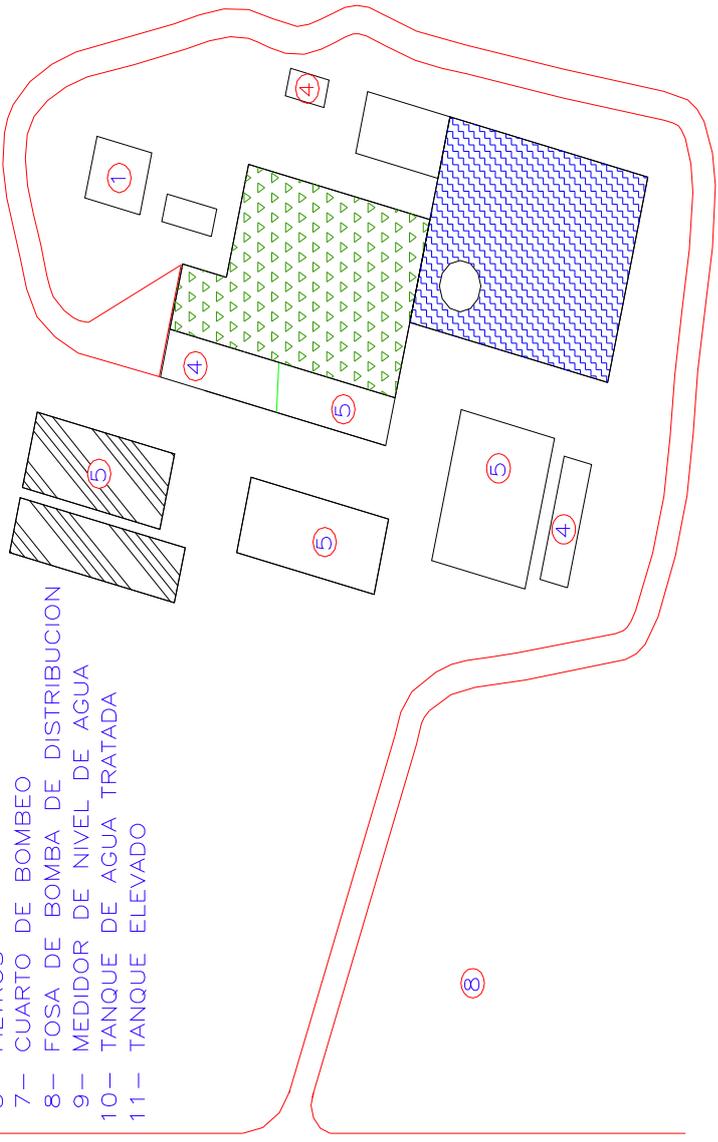
### **Entrevistas con superintendentes de planta**

1. Ingeniero Gustavo Flores. Planta Santa Luisa. Zona 16
2. Ingeniera Evelyn Oliva. Planta El Cambray. Carretera a Santa Catarina Pinula
3. Ingeniero Víctor Paz. Planta Lo de Coy. Zona 10 Mixco.
4. Ingeniero Manuel Díaz . Planta La Brigada. Calzada San Juan

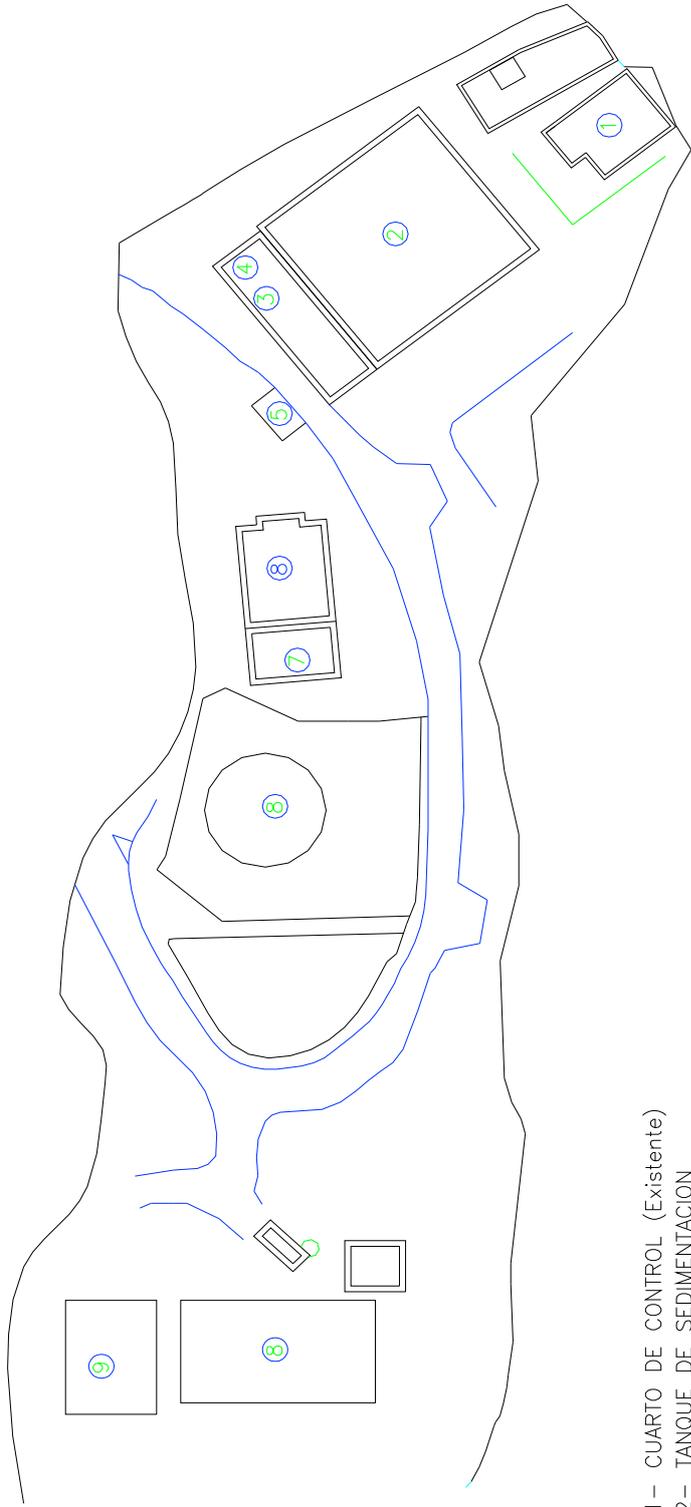
## **ANEXO A**

- **Planos de las plantas de tratamiento de agua potable Santa Luisa, El Cambray, La Brigada y Lo de Coy.**
- **Desviación Estándar**

- 1- CUARTO DE CONTROL
- 2- TANQUE DE SEDIMENTACION
- 3- ALMACENAMIENTO DE QUIMICOS
- 4- DOSIFICADORES
- 6- TANQUE DE RECUPERACION DE RETROLAVADO
- 5- FILTROS
- 7- CUARTO DE BOMBEO
- 8- FOSA DE BOMBA DE DISTRIBUCION
- 9- MEDIDOR DE NIVEL DE AGUA
- 10- TANQUE DE AGUA TRATADA
- 11- TANQUE ELEVADO

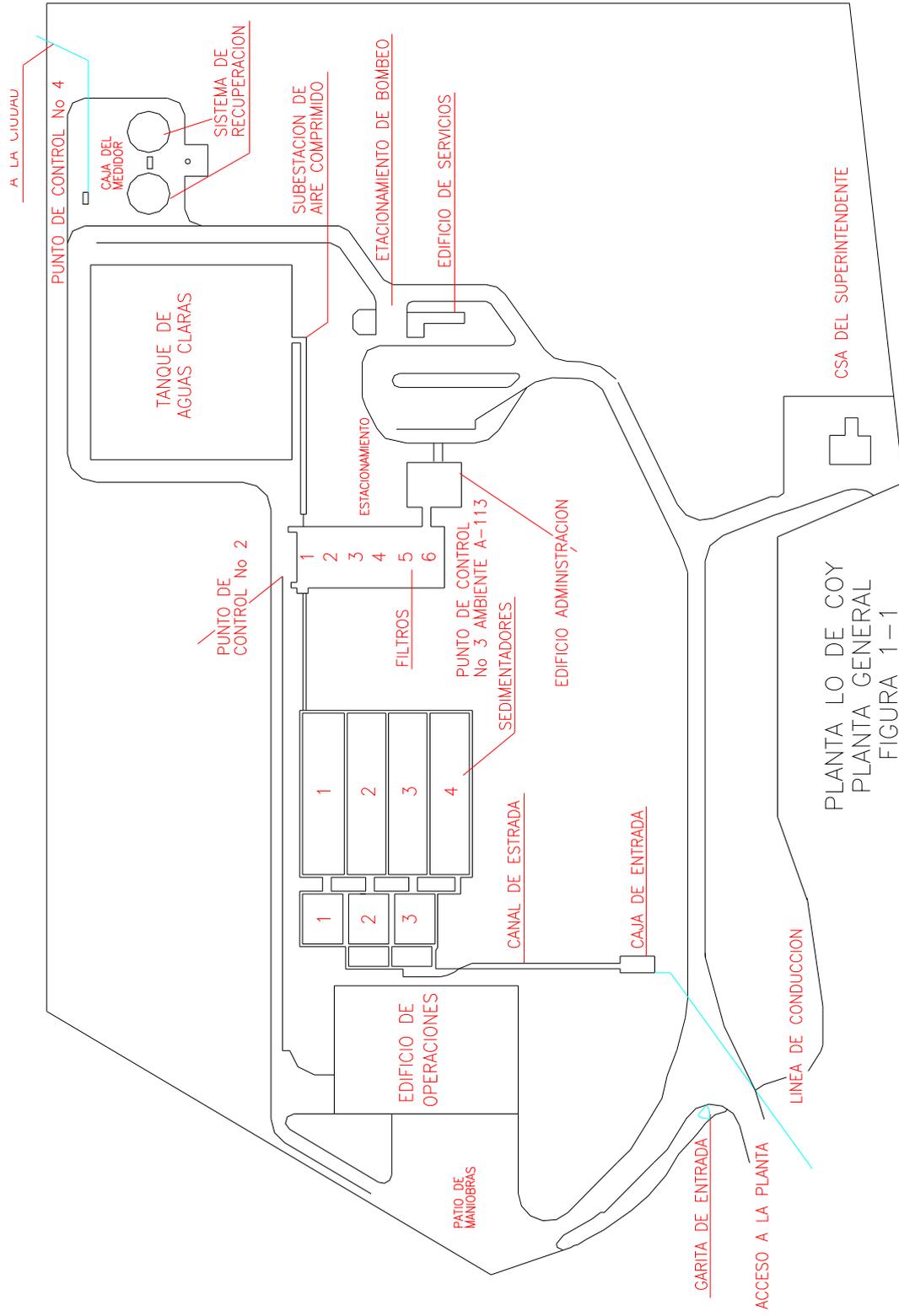


PLANTA SANTA LUISA

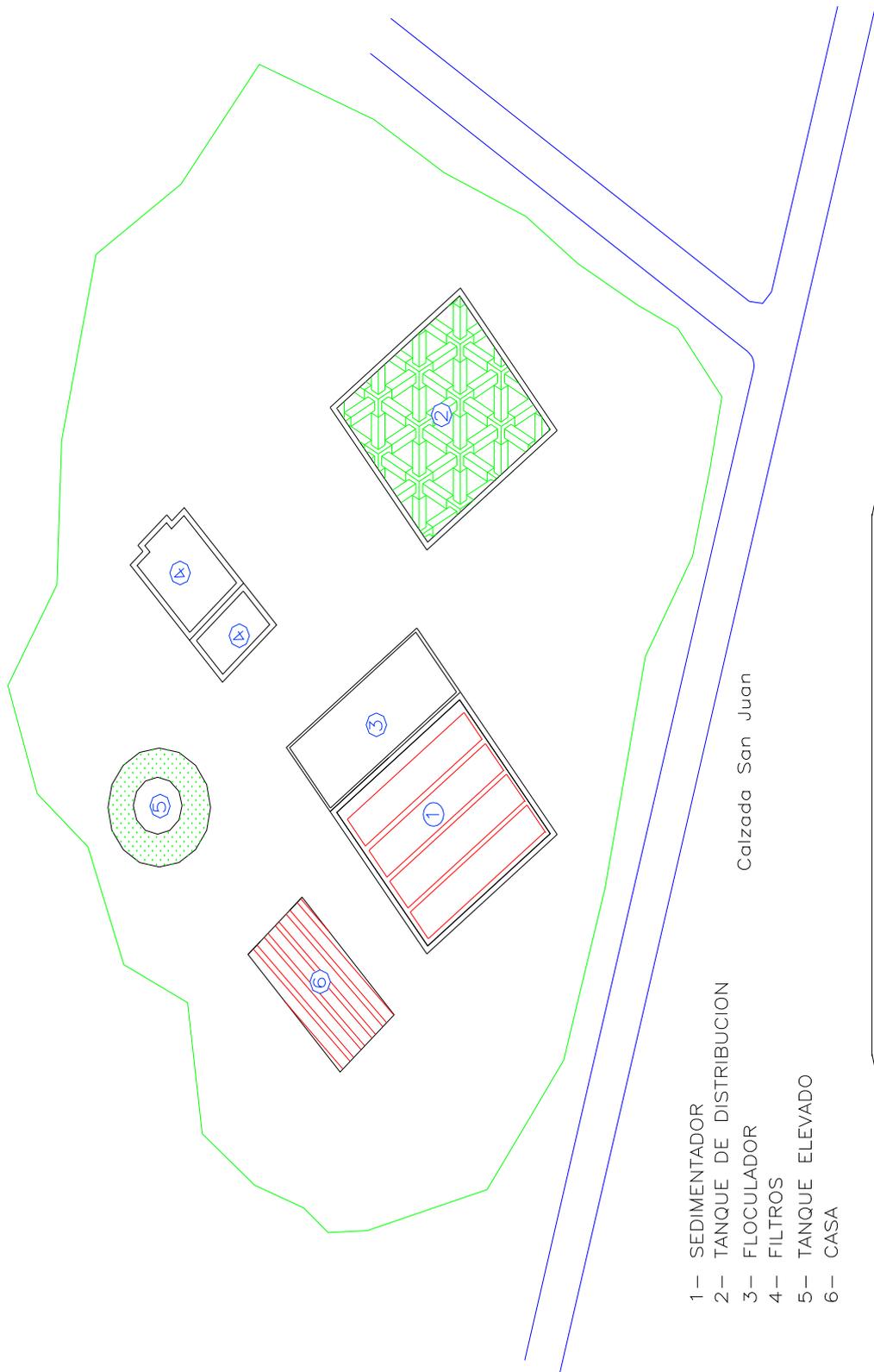


- 1- CUARTO DE CONTROL (Existente)
- 2- TANQUE DE SEDIMENTACION
- 3- ALMACENAMIENTO DE QUIMICOS
- 4- DOSIFICADORES
- 5- CUARTO ELECTRICO (Nuevo)
- 6- FILTROS (Nuevos)
- 7- CUARTO DE BOMBEO
- 8- TANQUE DE AGUA TRATADA
- 9- TANQUE DE RECUPERACION DE RETROLAVADO

PLANTA EL CAMBRAY



PLANTA LO DE COY  
 PLANTA GENERAL  
 FIGURA 1-1



- 1- SEDIMENTADOR
- 2- TANQUE DE DISTRIBUCION
- 3- FLOCULADOR
- 4- FILTROS
- 5- TANQUE ELEVADO
- 6- CASA

PLANTA LA BRIGADA

## DESVIACIÓN ESTÁNDAR

### Determinación de Desviación estándar y promedio

Fuentes	métodos	totales	fecales	Desvest totales	Desvest fecales
Acatán	Fluorocult	1100	800	10535.8910	10748.0231
	Tubos	16000	16000		
Canalitos	Fluorocult	7	7	242.5376	7.0711
	Tubos	350	17		
Teocinte	Fluorocult	1700	140	10818.7338	11921.8203
	Tubos	17000	17000		

Fuentes	métodos	totales	fecales	Prom totales	Prom fecales
Acatán	Fluorocult	1100	800	9100.00	8800.00
	Tubos	16000	16000		
Canalitos	Fluorocult	7	7	182.00	15.50
	Tubos	350	17		
Teocinte	Fluorocult	1700	140	10200.00	990.00
	Tubos	17000	17000		









