

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE CIENCIAS PECUARIAS**

**ESCUELA DE INGENIERÍA ZOOTÉCNICA**



**“ESTUDIO DE LA CALIDAD DEL AGUA PARA USO  
ZOOTÉCNICO EN PORCINOS; EVALUACIÓN DEL IMPACTO  
AMBIENTAL Y BIOREMEDIACIÓN”**

**TESIS DE GRADO**

**Previa a la obtención del Título de:**

**Ingeniero Zootecnista**

**ANA LUCÍA ALDÁS VILLACRÉS**

**RIOBAMBA – ECUADOR**

**2004**

ESTA TESIS FUE APROBADA POR EL SIGUIENTE TRIBUNAL:

---

Ing. M. Sc.  
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

---

Ing. M. Sc. Byron Díaz.  
DIRECTOR DE TESIS

---

Ing. M. Sc. Vicente Oleas.  
BIOMETRISTA

---

Dr. Guido Brito.  
ASESOR

Riobamba, Enero del 2004



## DEDICATORIA

*A mis padres Sergio y Rafaela*

*A mis hermanos Janina, Marilyn, Gioconda y Alberto*

*A toda mi familia y*

*A mis amigos Javier, Andrés y Quino, Paulina, Diego,  
Rafael y César.*

*Ustedes son mi fuerza y mi inspiración gracias a ustedes lo logré por eso este  
trabajo se los dedico.*

*Ana Lucía*

*Que Dios los bendiga y los siga teniendo junto a mí.*

## AGRADECIMIENTO

*A la Granja Porcina Don Diego,*

*A los laboratorios de Microbiología y Análisis Técnicos de la Facultad de  
Ciencia,*

*A mi Tribunal de Tesis,*

*Y un especial agradecimiento a mi Padre que me apoyó y me apoya siempre.*

## RESUMEN

En la Granja Porcina Don Diego, ubicada en la provincia de Cotopaxi; se estudió durante 120 días la calidad del agua para uso zootécnico en porcinos; para lo cual, se utilizaron muestras de agua tomadas de distintas secciones de la granja tanto del agua de ingreso (pozos), como de los canales de distribución a los galpones para evaluar su calidad microbiológica y físico-química, determinándose apta para el consumo de los animales y de las personas que ahí laboran, pues presentan niveles aceptables de acuerdo a la Norma INEN 1108 y al Registro Sanitario N° 2144 del 5 de junio de 1989; que recomiendan para este tipo de aguas solo una desinfección.

También se evaluó el Impacto Ambiental (EIA) producto de las aguas de desecho emitidas por la granja; se tomaron muestras de las mismas para evaluar su composición microbiológica y físico-química, encontrándose altos niveles de materia biodegradable (relación  $DBO_5/DQO$  de 0.48) y un considerable cambio en el ambiente (-131 según la Matriz de Leopold) y en el río receptor; por tal motivo y atendiendo a la composición del agua residual y a su caudal diario se recomendó dos tratamientos biológicos; el primero basado en un digestor anaeróbico y dos lagunas de maduración con la que se ofrece bajar los niveles de  $DBO_5$  hasta en un 99.38% y de coliformes fecales hasta en un 99.87%; o el segundo comprendido por un sistema de 3 lagunas de maduración con las cuales se llegaría a bajar  $DBO_5$  hasta en un 98.44% y de coliformes fecales hasta en un 99.9%, mitigando así el impacto ecológico en esta zona.

## CONTENIDO

	Pág.
LISTA DE CUADROS .....	xii
LISTA DE GRÁFICOS .....	xv
LISTA DE ANEXOS .....	xvi
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA .....	4
A. EL AGUA.....	4
1. <u>Generalidades</u> .....	4
2. <u>División</u> .....	5
B. CALIDAD DEL AGUA.....	7
1. <u>Conceptos</u> .....	7
2. <u>Criterios de calidad del agua</u> .....	7
3. <u>Indicadores de la calidad del agua</u> .....	8
a. Pruebas físicas.....	9
b. Pruebas químicas .....	12
c.. Pruebas bacteriológicas .....	17
4. <u>Normas de calidad del agua potable</u> .....	22
C. SANITIZACIÓN DEL AGUA .....	23

1.	<u>Generalidades</u> .....	23
D.	AGUAS RESIDUALES.....	26
1.	<u>Generalidades</u> .....	26
2.	<u>Composición del agua residual</u> .....	28
E.	USOS DEL AGUA EN LA PRODUCCIÓN DE POCINOS.....	29
1.	<u>Generalidades</u> .....	29
2.	<u>Tratamiento de las aguas residuales</u> .....	31
F.	EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL.....	33
1.	<u>Generalidades</u> .....	33
a.	Matrices.....	35
b.	Matriz de Leopold.....	36
G.	NORMAS Y REFERENCIAS LEGALES QUE PUEDEN APLICARSE AL ESTUDIO DEL AGUA POTABLE Y DE AGUAS RESIDUALES	38
III.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	40
A.	LOCALIZACIÓN Y DURACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN .....	40
1.	<u>Granja Porcina Don Diego</u> .....	40
a.	Ubicación Geográfica de la Granja .....	40
b.	Vías de Acceso .....	40
c.	Extensión y Distribución.....	41
e.	Topografía y Recursos Hídricos.....	42



f.	Condiciones Metereológicas .....	42
g.	Organigrama Administrativo de la Granja .....	43
h.	Raza Porcinas Existentes en la Granja .....	43
i.	Composición de la Piara .....	44
j.	Uso del agua en la Granja .....	44
B.	UNIDADES EXPERIMENTALES .....	45
C.	MATERIALES, EQUIPOS E INSTALACIONES .....	46
1.	<u>De Campo</u> .....	46
2.	<u>De Laboratorio</u> .....	47
3.	<u>Instalaciones</u> .....	51
D.	TRATAMIENTO Y DISEÑO EXPERIMENTAL.....	51
E.	MEDICIONES EXPERIMENTALES .....	52
F.	ANÁLISIS ESTADÍSTICO .....	53
G.	PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL .....	53
1.	<u>De Campo</u> .....	53
2.	<u>De Laboratorio</u> .....	56
a.	Recuento de Microorganismos Aerobio Mesófilos Totales: MÉTODO DE LA PLACA POBRE .....	56
b.	Recuento de Coliformes Totales: MÉTODO DEL NUMERO MÁS PROBABLE (NMP) .....	58

c.	Recuento de Coliformes Fecales: MÉTODO DEL NUMERO MÁS PROBABLE (NMP) .....	60
d.	Determinación del pH.....	61
e.	DQO (Demanda Química de Oxígeno): MÉTODO DEL DICROMATO AL REFLUJO .....	61
f.	DBO <sub>5</sub> (Demanda Bioquímica de Oxígeno): MÉTODO ESTÁNDAR CON INCUBACIÓN DE 5 DÍAS A 20 °C EN LA OBSCURIDAD.....	62
g.	Turbiedad.....	64
h.	Sólidos en Suspensión.....	64
i.	Sólidos en Sedimentables.....	65
j.	Cloro Residual.....	65
3.	<u>Evaluación del impacto ambiental (EIA)</u> .....	65
4.	<u>Propuesta de tratamientos biotecnológicos para aguas residuales</u> .....	65
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	67
A.	DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD MICROBIOLÓGICA Y FÍSICO-QUÍMICA DEL AGUA DE INGRESO DE LA GRANJA (POZOS 1 Y 2).....	67
1.	<u>Calidad microbiológica del agua de ingreso de la granja: POZO 1 Y 2</u> .....	67
a.	Pozo 1 .....	67
b.	Pozo 2.....	68

2.	<u>Calidad físico-química del agua de ingreso de la granja: POZO 1 Y 2..</u>	72
B.	DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD MICROBIOLÓGICA DEL AGUA DE LAS SECCIONES DE LA GRANJA PORCINA DON DIEGO PARA COMPROBAR LA CONTAMINACIÓN DESDE LA CISTERNA HACIA LOS SITIOS DE CONSUMO DE LOS ANIMALES. ....	76
C.	CARACTERÍSTICAS MICROBIOLÓGICAS Y FÍSICO – QUÍMICAS DEL AGUA RESIDUAL PRODUCIDA POR LA GRANJA DON DIEGO .....	79
1.	<u>Composición Microbiológica</u> .....	79
2.	<u>Composición Físico-Química</u> .....	82
3.	<u>Relación DBO<sub>5</sub>/DQO de las aguas residuales emitidas por la Granja Porcina Don Diego</u> .....	84
D.	VOLÚMENES CONSUMO Y ENTREGA PROMEDIO DE AGUA A LOS CERDOS DE LA EXPLOTACIÓN.....	87
1.	<u>Volúmenes de consumo de agua de los animales de la Granja Porcina Don Diego</u> .....	87
2.	<u>Entrega promedio de agua a los cerdos de la explotación</u> .....	88
E.	IMPACTO AMBIENTAL.....	91
1.	<u>Longitud de contaminación en el río receptor</u> .....	91
2.	<u>Evaluación del Impacto Ambiental (EIA) provocado por la Granja Porcina Don Diego</u> .....	92
F.	PROPUESTA DE BIOREMEDIACIÓN PARA LAS AGUAS CONTAMINADAS .....	96

1.	<u>Tecnologías disponibles para el tratamiento de las aguas residuales</u>	96
2.	<u>Tipos de Tratamientos Biológicos</u> .....	98
	a. Lagunas de almacenaje y fermentación.....	98
	b. Digestores anaeróbios .....	102
	c. Filtro biológico de goteo .....	103
	d. Lodos activado .....	104
	e. Plantas acuáticas .....	104
3.	<u>Alternativas de implementación de tratamiento biológico para las aguas residuales de la Granja Porcina Don Diego</u> .....	106
	a. Digestor anaerobio y laguna de maduración.....	106
	b. Sistemas de lagunas de maduración .....	113
V.	CONCLUSIONES .....	121
VI.	RECOMENDACIONES.....	124
VII.	BIBLIOGRAFÍA .....	126
VIII.	ANEXOS.....	129

## LISTA DE CUADROS

Nº	Pág.
1. CRITERIOS DE CALIDAD PARA LAS AGUAS DE CONSUMO HUMANO Y DOMÉSTICO QUE PARA SU POTABILIZACIÓN REQUIEREN SOLO DESINFECCIÓN.....	8
2. RELACIÓN DBO <sub>5</sub> /DQO UTILIZADOS PARA CARACTERIZAR LAS AGUAS RESIDUALES .....	17
3. REQUISITOS QUE DEBE CUMPLIR EL AGUA POTABLE.....	23
4. COMPOSICIÓN TÍPICA DE AGUAS RESIDUALES NO TRATADAS (Cuadro referencial al estudio) .....	29
5. CONSUMO DE AGUA POR GANADO PORCINO DE PESOS PROMEDIOS EN CLIMA TEMPLADO FRÍO .....	30
6. CONDICIONES METEREOLÓGICAS DE LA GRANJA PORCINA DON DIEGO.	42
7. GRUPOS EN QUE FUE DIVIDIDA LA GRANJA DON DIEGO PARA EL ESTUDIO DE LA CALIDAD DEL AGUA DE USO ZOOTÉCNICO, Y PARA EVALUAR EL IMPACTO AMBIENTAL.....	53
8. RESULTADOS DE EXÁMENES MICROBIOLÓGICOS DEL AGUA DEL POZO 1 DE LA GRANJA PORCINA DON DIEGO.....	70
9. RESULTADOS DE EXÁMENES MICROBIOLÓGICOS DEL AGUA DEL POZO 2 DE LA GRANJA PORCINA DON DIEGO.....	70
10. RESULTADO PROMEDIO DE EXÁMENES FÍSICO-QUÍMICOS DEL AGUA DE LOS POZOS 1 Y 2 DE LA GRANJA PORCINA DON DIEGO .....	75
11. RESULTADO DE EXÁMENES MICROBIOLÓGICOS DE LA CISTERNA DE LA GRANJA PORCINA DON DIEGO .....	78

12. RESULTADO DE EXÁMENES MICROBIOLÓGICOS DE LOS GALPONES DE ENGORDE DE LA GRANJA PORCINA DON DIEGO .....	78
13. RESULTADOS DE EXÁMENES MICROBIOLÓGICOS DEL AGUA RESIDUAL EMITIDA POR LA GRANJA PORCINA DON DIEGO .....	81
14. COMPOSICIÓN FÍSICO – QUIMICO DEL AGUA RESIDUAL.....	83
15. RELACIÓN $DBO_5/DQO$ DEL LAS AGUAS RESIDUALES EMITIDAS POR LA GRANJA PORCINA .....	86
16. CONSUMO DE AGUA Y ALIMENTO PROMEDIO DÍA DE LOS CERDOS DE ACUERDO A SU ESTADO FISIOLÓGICO PORCINA DON DIEGO .....	89
17. PROMEDIO DE ENTREGA DE AGUA A LOS CERDOS .....	90
18. PRINCIPALES PARÁMETROS DEL AGUA DEL RÍO CUTUCHI ANTES Y DESPUÉS DE LA DESCARGA DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA GRANJA PORCINA DON DIEGO .....	94
19. MATRIZ DE LEOPOLD PARA LA EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL (EIA) ACTUAL PROVOCADO POR LA GRANJA PORCINA DON DIEGO .....	95
20. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE UN SISTEMA CON LAGUNAS.....	98
21. CARACTERÍSTICAS DE LAS LAGUNAS ANAERÓBIAS .....	98
22. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LAS LAGUNAS ANAERÓBIAS.....	99
23. CARACTERÍSTICAS DE LAS LAGUNAS AEROBIAS .....	100
24. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LAS LAGUNAS AEROBIAS.....	100
25. CARACTERÍSTICAS DE LAS LAGUNAS FACULTATIVAS .....	101
26. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LAS LAGUNAS FACULTATIVAS .....	101
27. CARACTERÍSTICAS DE LAS LAGUNAS DE MADURACIÓN .....	102

28. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LAS LAGUNAS DE MADURACIÓN.....	102
29. CARACTERÍSTICAS DE LOS DIGESTORES ANAEROBIOS .....	103
30. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS DIGESTORES ANAEROBIOS.....	103
31. MATRIZ DE LEOPOLD PARA LA EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL (EIA) FUTURO PROVOCADO POR LA GRANJA PORCINA DON DIEGO.....	119

## LISTA DE GRÁFICOS O FIGURAS

<b>Nº</b>	<b>Pág.</b>
1. Calidad microbiológica del agua del Pozo 1 de la Granja Porcina Don Diego .....	71
2. Calidad microbiológica del agua del Pozo 2 de la Granja Porcina Don Diego .....	72
3. Comparación de la calidad físico-química del agua de los pozos 1 y 2 de la granja porcina don diego.....	75
4. Eficiencia del tratamiento con cloro en la cisterna .....	78
5. Eficiencia del tratamiento con cloro en los galpones de engorde.....	78
6. Composición microbiológica del agua residual emitida por la Granja Porcina Don Diego .....	81
7. Relación $DBO_5/DQO$ del las aguas residuales emitidas por la Granja Porcina Don Diego .....	86
8. Relación % entre consumo de agua y alimento de los cerdos de acuerdo a su estado fisiológico.....	89



## LISTA DE ANEXOS

Nº	Pág.
1. FLUJOGRAMA DE PROCESOS DE LA EMPRESA Y ANÁLISIS DE LABORATORIO A REALIZARSE EN CADA PROCESO.....	130
2. GRUPOS EN QUE FUE DIVIDIDA LA GRANJA PORCINA DON DIEGO PARA EL ESTUDIO DE LA CALIDAD DEL AGUA DE USO ZOOTÉCNICO, Y PARA EVALUAR EL IMPACTO AMBIENTAL.....	131
3. TOMA DE MUESTRAS.....	132
4. RESUMEN DE LOS EXAMENESS FÍSICO QUÍMICOS REALIZADOS EN CADA SECCIÓN DE LA GRANJA PORCINA DON DIEGO .....	133
5. RESUMEN DE LOS EXAMENESS MICROBIOLÓGICOS REALIZADOS EN CADA SECCIÓN DE LA GRANJA PORCINA DON DIEGO .....	134
6. PROYECTO NORMA AMBIENTAL PARA ECUADOR VERSIÓN FINAL AGOSTO 2002: LÍMITES DE DESCARGA A UN CUERPO DE AGUA DULCE.....	135
7. CÁLCULOS MATEMÁTICOS PARA DETERMINAR LA CARGA QUE APORTA EL AGUA RESIDUAL DE LA GRANJA EN EL RÍO RECEPTOR.	137
8. CÁLCULO DEL CAUDAL DEL RIO RECEPTOR CUTUCHI.....	138
9. CROQUIS DE LA GRANJA PORCINA DON DIEGO.....	139
10. RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN DE LAS AGUAS SERVIDAS DE LA CIUDAD DE ALAUSÍ .....	140
11. NÚMERO MÁS PROBABLE (NMP) DE BACTERIAS, TRES TUBOS POR CADA DILUCIÓN. Número de tubos positivos en cada dilución.....	141

## I. INTRODUCCIÓN

Por la naturaleza propia de nuestra economía, y por las diferentes condiciones ecológicas que caracterizan a nuestro país, la ganadería constituye un valioso recurso, capaz de incrementar el desarrollo económico a niveles más elevados. Este recurso que es una actividad económica primaria, puede dar origen a un gran número de actividades tanto secundarias como terciarias, como son todas las industrias de transformación, comercio y de servicios, a través de los cuales es posible disponer en cualquier lugar y en todo tiempo, de los productos derivados de la producción agropecuaria a precios adecuados.

La Empresa de Elaborados Cárnicos ECARNI S.A., “Don Diego”; fue creada en 1982, iniciándose con la Fábrica de Embutidos; las exigencias del mercado determinaron el crecimiento de la empresa, creándose la necesidad de materia prima de excelente calidad, confiable y en forma permanente; es así que en 1990 nacen en conjunto la Fábrica de Balanceados y la Granja Porcina Don Diego y un camal adscrito a la Fábrica de Embutidos.

ECARNI S.A., basa su política de calidad en una estructura sistemática de procesos de todas sus áreas que permiten satisfacer de manera proactiva las necesidades y

expectativas de todos los clientes, mediante la utilización de tecnología de punta, tanto para la producción de materia prima como para la transformación de la misma.

Siendo el agua el recurso más importante para todo ser vivo este recurso en nuestro país no es tratado con la importancia que debiera, por lo que resulta importante realizar estudios sanitarios, que nos permita conocer las condiciones en que este vital elemento llega a las explotaciones pecuarias. Además el agua es el principal vehículo por el cual se transmiten las enfermedades, se evacuan elementos tóxicos, basuras, desechos de alcantarillado y otros; que al ser utilizadas por las explotaciones pecuarias se traduce en alteraciones en la salud animal y bajos niveles de producción; y generan algún nivel de impacto en el ambiente, deteriorándolo.

Por lo expuesto es necesario hacer un estudio de la calidad del agua que nos permita conocer las condiciones en que este vital elemento llega a las explotaciones pecuarias, basándonos principalmente en su calidad microbiológica y químico – física y en el impacto que generan los desechos vertidos en ella al medio ambiente.

Con estos antecedentes el presente trabajo responde a la necesidad de, mediante un proceso de investigación y de pruebas de laboratorio, llegar a establecer la calidad de agua que utiliza la Granja Don Diego para producir la materia prima que constituyen sus animales, y que se utilizarán en la industria de embutidos.

Se tomaron también bajo el mismo plan, muestras de los desechos producidos por la Granja Don Diego antes de que ingresen al río receptor para tener un parámetro de

comparación entre estas muestras y las muestras tomadas antes de que el río reciba estos desechos y después que el río ha recibido los mismos (después de que las aguas residuales crucen por un pantano); para conocer el grado de contaminación de los desechos sólidos y líquidos que produce la granja.

Para cumplir con lo anteriormente dicho, el trabajo consistió en la recolección de muestras de agua en diferentes días, diversas condiciones, diferentes fuentes de captación y almacenamiento; y además se plantearon los siguientes objetivos:

1. Determinar la calidad microbiológica y químico-físico del agua desde su origen (pozo), siguiendo su flujo en la granja.
2. Evaluar el impacto ambiental generado por la Granja Porcina Don Diego
3. Proponer tratamientos biotecnológicos para remediar la contaminación del agua a la salida de la granja.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### A. EL AGUA

#### 1. Generalidades

Patiencie et al., (1989), describe el agua como: "el nutriente simple más importante para el ganado; está involucrada directa e indirectamente en virtualmente cada proceso fisiológico. El agua es un medio de transporte de nutrientes, material de desecho, hormonas y otros mensajeros químicos, así como también para el alimento a través del tracto gastrointestinal. También juega un rol muy importante en la regulación de la temperatura corporal, actúa como lubricante en las coyunturas del esqueleto y es un componente de muchas reacciones químicas básicas."

"Los animales, así como los humanos, pueden vivir por largos períodos sin comida. Sin agua, sin embargo, puede ocurrir la muerte en cuestión de días. Desafortunadamente, tanto la calidad como la cantidad del agua provista al ganado son a menudo descuidadas."

Encarta (2004), la describe como "una sustancia cuyas moléculas están formadas por la combinación de un átomo de oxígeno y dos de hidrógeno, líquida, inodora, insípida e incolora. Es el componente más abundante de la superficie terrestre y, más o menos puro, forma la lluvia, las fuentes, los ríos y los mares; es parte constituyente de todos los organismos vivos y aparece en compuestos naturales. El agua es vital para los seres humanos, que la necesitan para cocinar, beber, lavarse y regar los cultivos. Además, en los procesos industriales se emplean cantidades inmensas. El agua es un recurso limitado que debe recogerse y distribuirse cada vez más cuidadosamente. La fuente de agua más importante es la lluvia, que puede recogerse directamente en cisternas y

embalses o indirectamente, a través de pozos o de la cuenca de captación, nombre que recibe la red de arroyos, riachuelos y ríos de una zona.”

“El agua de la capa freática es agua de lluvia que se ha filtrado a través de capas de roca y se ha acumulado a lo largo de los años. Si se encuentra bajo presión, el agua puede brotar a la superficie en forma de manantial. Los canales de riego, pantanos, pozos y depósitos son dispositivos artificiales, creados para recoger agua de dichas fuentes naturales. Debido a la posibilidad de contaminación, el agua se suele procesar en una planta de tratamiento antes de su distribución.”

## 2. División

Piatkin y Krivoshein (1986), manifiestan que: “el grado de contaminación del agua por los microorganismos se ha convenido denominarlo saprobio, entendiéndose con ello el conjunto de seres vivientes que habitan en las aguas que contienen grandes concentraciones de restos animales y vegetales.

Según esto el agua se divide en tres zonas:

1. Zona polisaprobiana, que representa la más intensamente contaminada, pobre en oxígeno y rica en compuestos orgánicos. El número de microorganismos por 1ml llega a 1 000 000 y más, predominando la *E. coli* y las bacterias anaerobias, que provocan procesos de putrefacción y de fermentación.

2. Zona mesosaprobiana (zona de contaminación moderada), tiene lugar la mineralización de las sustancias orgánicas acompañada de oxidación intensa y una manifiesta nitrificación. La cantidad de bacterias por 1ml constituye centenas de miles, aunque el contenido de *E. coli* está más disminuido.
3. Zona oligosaprobiana, es característica para aguas limpias. La cantidad de microorganismos es de poca consideración, encontrándose de varias decenas a centenas por ml. La *E. coli* está ausente en esta zona.

Según el grado de contaminación, en el agua se encuentran y conservan su viabilidad por un determinado tiempo las bacterias patógenas. El agua de pozos y otros depósitos abiertos no debe contener más de 1000 microorganismos por ml.”

## **B. CALIDAD DEL AGUA**

### **1. Conceptos**

Turk et al., (1981), expresa que: “la calidad es la propiedad del agua que le permite seguir siendo útil, da de beber al hombre y a los animales, sustenta toda la vida marina, sirve para irrigar la tierra y de recreación.”

Encarta (2004), define la calidad del agua como: “la condición general que permite que el agua se emplee para usos concretos. “

## 2. Criterios de calidad del agua

El Decreto Ministerial Colombiano 2105/Julio 26 de 1983, define como: “criterio de calidad del agua al valor establecido para algunas características presentes en el agua, con el fin de conceptuar sobre su calidad e iniciar investigación sanitaria cuando las circunstancias lo ameriten.”

En el Registro Oficial N° 204 del 5 de junio de 1989, Acuerdo 2144, Cáp. III, Art. 19, expresa que: “los criterios de calidad para las aguas de consumo humano y doméstico que para su potabilización requieren solo desinfección, son los siguientes:

### **CUADRO 1. CRITERIOS DE CALIDAD PARA LAS AGUAS DE CONSUMO HUMANO Y DOMÉSTICO QUE PARA SU POTABILIZACIÓN REQUIEREN SOLO DESINFECCIÓN**

<b>PARÁMETRO</b>	<b>EXPRESADO COMO</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>VALOR MÁXIMO PERMISIBLE</b>
Temperatura		°C	Condición Natural, $\pm 3$
Potencial de Hidrógeno	pH		6 – 9
Demanda Bioquímica de Oxígeno	DBO <sub>5</sub>	mg/L	10% DBO <sub>5</sub> admisible y máximo 2 mg/L
Bacterias Coliformes	NMP/100ml	Coli. Total Coli. Fecal	100 20
Sólidos Disueltos		mg/L	1000
Turbiedad		UTF	10
Nitratos	N-nitratos	mg/L	10

**FUENTE:** Adaptado de Registro Oficial del 5 de junio de 1989 en el Cáp. III, Art. 19”



### **3. Indicadores de calidad del agua**

Encarta (2004), expone que: “los parámetros más comúnmente utilizados para establecer la calidad de las aguas son los siguientes: oxígeno disuelto, pH, sólidos en suspensión, DBO<sub>5</sub>, DQO, fósforo, nitratos, nitritos, amonio, amoniaco, compuestos fenólicos, hidrocarburos derivados del petróleo, cloro residual, cinc total y cobre soluble.”

“También se pueden emplear bioindicadores para evaluar la calidad media que mantiene el agua en periodos más o menos largos. Para ello se usan diferentes grupos biológicos. Por ejemplo, son indicadores de buena calidad del agua la presencia de trucha común (*Salmo trutta*), que requiere aguas bien oxigenadas y frías; de ciertos grupos de macroinvertebrados bentónicos, como ciertas ninfas de efemerópteros, tricópteros y plecópteros; o la existencia de rodales de plantas acuáticas, como los nenúfares (géneros *Nuphar* y *Nymphaea*) y otras fanerógamas (como algunas plantas carnívoras del género *Utricularia*) y algunas criptógamas (como ciertas algas del género *Chara*).”

Los métodos analíticos recomendados para determinar los requerimientos de las normas vigentes, deben ser aquellos especificados en los Métodos Estándar para el análisis del agua de la AWWA o las normas INEN.

La composición de las aguas se analiza con diversas mediciones físicas (color, turbiedad, olor, sabor y temperatura); químicas (pH, sólidos disueltos, dureza,

minerales) y bacteriológicos (bacterias aerobias mesófilas, coliformes totales y coliformes fecales).

Las mediciones más comunes incluyen la determinación del contenido en sólidos, la demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>), la demanda química de oxígeno (DQO) y el pH.

**a. Pruebas físicas**

- **Turbiedad**, el Departamento de sanidad del estado de New York (1981), señala que: “es el efecto óptico causado por la dispersión e interferencia de los rayos luminosos que pasan a través del agua que contiene pequeñas partículas en suspensión. Puede ser causada por el cieno extraído del suelo, por escurrimientos superficiales que contienen materia suspendida, orgánica y mineral, por el carbonato de calcio precipitado en las aguas duras, por el hidróxido de aluminio de aguas tratadas, por el óxido de hierro precipitado en las aguas corrosivas, por organismos microscópicos y sustancias semejantes. La medición de turbiedad es importante por ser uno de los factores visuales que influye en la aceptación del agua por el consumidor. En el agua de pozo, puede indicar la entrada de escurrimientos superficiales y por ende una contaminación potencial. “

“El agua en estado puro es transparente, y es la presencia de sólidos suspendidos la que reduce la transmisión de la luz dispersándola o absorbiéndola. Aunque no es un parámetro con un valor indicador absoluto, es uno de los que habitualmente se

emplean para caracterizar la calidad del agua, ya que una alta turbidez suele estar asociada a una baja calidad para ciertos usos.”

Encarta (2004), indica que: “los instrumentos que se emplean para medir la turbidez se denominan turbidímetros o nefelómetros y miden en unas unidades de turbidez denominadas unidades nefelométricas o NTUs (del inglés nephelometer turbidity units). El nefelómetro mide la luz que es dispersada con un ángulo de 90°.”

- **Color**, Departamento de sanidad del estado de New York (1981), manifiesta que: “el color del agua es ocasionado generalmente por la extracción de materia colorante del humus de los bosques o de la materia vegetal de los pantanos y áreas de poca profundidad. El color en el agua es de dos tipos: el “color verdadero” es el que está presente en el agua después de haberse removido la materia suspendida, y el “color aparente” es el color verdadero más cualquier otro color que produzcan las sustancias en suspensión. “
- **Olor**, el mismo autor indica que: “los olores en el agua son debidos a pequeñísimas concentraciones de compuestos volátiles. Algunos de estos compuestos se producen cuando se descompone la materia orgánica y, de preferencia, se presentan en las aguas superficiales a causa de la presencia de materia orgánica proveniente de escurrimientos superficiales. La intensidad y lo ofensivo de los olores varía según el tipo algunos son a tierra y moho, otros son putrefactos. Mientras los organismos aumentan en concentración, los olores no son tan intensos como cuando disminuyen debido a su muerte y descomposición.”

- **Sabor**, “por lo general el sabor en el agua está íntimamente relacionado con el olor y es causado por las mismas condiciones. Sin embargo, la materia mineral disuelta puede impartir sabores, pero no olores, al agua. “
- **SS / Residuos sólidos**, Encarta (2004), se indica que: “comprenden los sólidos disueltos y en suspensión. Los sólidos disueltos son productos capaces de atravesar un papel de filtro, y los suspendidos los que no pueden hacerlo. Los sólidos en suspensión se dividen a su vez en depositables y no depositables, dependiendo del número de miligramos de sólido que se depositan a partir de 1 litro de agua residual en una hora. Todos estos sólidos pueden dividirse en volátiles y fijos, siendo los volátiles, por lo general, productos orgánicos y los fijos materia inorgánica o mineral. “

Ledoux (2001), dice que: “los **SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES SST** o **TDS** es la cantidad de sólidos que el agua conserva en suspensión después de 10 minutos de asentamiento. Se mide en ppm o mg/L. El Decreto 475 de 1998 del Ministerio de Salud establece que para agua potable los Sólidos Totales deberán ser inferiores a 500 ppm o mg/L, sin especificar si son solamente los Sólidos Suspendidos Totales o si incluyen los Sólidos Disueltos Totales.”

El mismo autor informa que: “los **SÓLIDOS SEDIMENTABLES** son aquellos sólidos que sedimentan cuando el agua se deja en reposo durante 1 hora. Se determinan volumétricamente mediante el uso del cono Imhoff.”

**b. Pruebas químicas**

- **Dureza**, Departamento de sanidad del estado de New York (1981), afirma que: “el agua es un solvente universal y disuelve cantidades variables de las diferentes sustancias minerales. Esto no afecta a la calidad sanitaria del agua, sino que es importante en su uso doméstico especialmente cuando se usa para el lavado. Las sales de calcio y magnesio, que son los principales constituyentes minerales, consumen jabón y lo precipitan en forma de compuestos insolubles o grumos de jabón. Mientras no se haya precipitado todas las sales de calcio y magnesio no se obtendrá espuma o acción lavadora.”
- **pH**, El mismo autor indica que: “el pH de una disolución es una medida de la concentración de iones hidrógeno. Una pequeña variación en el pH significa un importante cambio en la concentración de los iones hidrógeno. El agua que no contienen ácido ni álcali tiene un valor de pH igual a 7.0, al cual se lo llama valor neutro del pH; los valores de pH de 1.0 hasta 7.0 indican acidez y los valores desde 7.0 hasta 14.0 indican alcalinidad. La mayoría de las aguas naturales tiene valores del pH entre 5.5 y 8.6. “

“Mide la acidez de una muestra de aguas tratadas y no tratadas o residuales.”

La concentración de materia orgánica se mide con los análisis DBO<sub>5</sub> y DQO.

- **DBO<sub>5</sub> / Demanda bioquímica de oxígeno**, Encarta (2004), la define como: “un indicador de la capacidad de polución de un efluente expresada por el consumo de oxígeno disuelto por parte de los microorganismos que descomponen la materia orgánica presente en el propio efluente. Se parte, para ello, de la capacidad autodepurativa del agua, conferida por los propios microorganismos.”

“La DBO<sub>5</sub> se mide como la masa (en miligramos) de oxígeno utilizado por un litro de muestra del efluente incubado a 20 °C durante un periodo de cinco días. En la normativa de la Comunidad Europea (Directiva 78/659/CEE) se han establecido los límites en los valores de DBO<sub>5</sub> que no deben ser superados en las aguas habitadas por diferentes clases de peces en función de sus requerimientos de oxígeno disuelto: así, en aguas habitadas por peces de la familia de los Salmónidos (muy exigentes en cuanto a la calidad del agua) se recomienda que la DBO<sub>5</sub> no supere los 3 mg/l. En aguas habitadas por peces de la familia de los Ciprínidos (el otro gran grupo de peces de agua dulce), más tolerantes con respecto a la disponibilidad de oxígeno, no debe superarse el valor de 6 mg/l. En tal caso la DBO<sub>5</sub> debe ser inferior a 8 mg/l.”

“Los tipos de vertido más aptos para producir valores altos de DBO<sub>5</sub>, y en consecuencia producir anoxia, son todos aquellos que aporten grandes cantidades de materia orgánica y fertilizantes químicos, como las aguas residuales urbanas, los residuos ganaderos, los efluentes de mataderos e industrias alimentarias, los residuos agrícolas y los abonos, entre otros. Un bajo valor de DBO<sub>5</sub> no quiere decir necesariamente que la contaminación del agua sea baja o tolerable, ya que éste puede deberse a que la toxicidad afecte también a los microorganismos depuradores.

Además, la contaminación puede ser puramente química, y no biológica, como la producida por metales pesados.”

“La DBO<sub>5</sub> suele emplearse para comprobar la carga orgánica de las aguas residuales municipales e industriales biodegradables, sin tratar y tratadas. “

Ledoux (2001), informa que: “la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) es la cantidad de Oxígeno usado por la actividad respiratoria de los microorganismos que utilizan la materia orgánica del agua residual para crecer y para metabolizar a partir de ella y de otros microorganismos sus componentes celulares. Es necesario distinguir entre el ensayo del la DBO y otros ensayos que se le realizan a las aguas contaminadas como los ensayos del TOC (Carbón Orgánico Total) y de la DQO (Demanda Química de Oxígeno). Los resultados de estos ensayos guardan ciertas relaciones entre sí, pero tienen significados diferentes. La DBO<sub>5</sub> se mide como mg/L o ppm de O<sub>2</sub> consumidas durante un período de 5 días a 20 °C en la oscuridad. La DBO es la medida por excelencia utilizada por las agencias reguladoras en todo el mundo para medir el impacto de la contaminación causada por las aguas residuales.”

“A título indicativo se pueden dar los siguientes parámetros:

Estado.....	DBO <sub>5</sub> ; mg/L
Agua Pura.....	0 - 20 mg/L
Agua Levemente Contaminada.....	20 - 100 mg/L
Agua Medianamente Contaminada.....	100 - 500 mg/L

Agua Muy Contaminada.....500 - 3000 mg/L  
 Agua Extremadamente Contaminada....3000 - 15000 mg/L”

- **DQO / Demanda química de oxígeno**, el mismo autor; “es la cantidad de oxígeno necesario para oxidar la materia orgánica por medio de dicromato en una solución ácida y convertirla en dióxido de carbono y agua. El valor de la DQO es siempre superior al de la DBO<sub>5</sub> porque muchas sustancias orgánicas pueden oxidarse químicamente, pero no biológicamente. “

“La DQO se usa para comprobar la carga orgánica de aguas residuales que, o no son biodegradables o contienen compuestos que inhiben la actividad de los microorganismos. “

Stevens (1990), señala que: “los valores de la DQO han de estar en relación con los de la DBO<sub>5</sub>, si la DQO es mucho mayor que la DBO<sub>5</sub> una parte importante de la materia orgánica presente en el agua no será biodegradable. Para las aguas domesticas, la DQO es del orden de 250 a 1000 mg de O<sub>2</sub>/L, y la relación DBO/DQO oscila entre 0.4 y 0.8. Las aguas estabilizadas biológicamente tienen una relación DBO/DQO de 0.12.”

Ledoux (2001), manifiesta que: “es la cantidad de oxígeno necesario para oxidar la totalidad de la materia oxidable, tanto Orgánica como Mineral. Se mide en ppm o mg/L. Es el resultado de una oxidación química en húmedo por medio de mezcla Sulfo-Crómica en Caliente. Guarda cierta relación con la DBO<sub>5</sub>, siendo esta ultima una fracción de la primera que oscila entre el 2



y el 70 %. En desechos poco biodegradables como la gasolina y los Hidrocarburos, se dan las relaciones mas bajas. En Aguas poco contaminadas deberá ser inferior a 50 ppm.”

Crites y Tchobanoglous, (2000), señalan que: “los valores de la relación de la  $DBO_5/DQO$  en aguas residuales municipales no tratadas oscila entre 0.3 y 0.8. Si la relación  $DBO_5/DQO$  para aguas residuales no tratadas es mayor que 0.5, los residuos se consideran fácilmente tratables mediante procesos biológicos. Si la relación  $DBO_5/DQO$  es menor a 0.3, el residuo puede contener constituyentes tóxicos o se pueden requerir microorganismos aclimatados para su estabilización.”

**CUADRO 2. RELACIÓN  $DBO_5/DQO$  UTILIZADOS PARA CARACTERIZAR LAS AGUAS RESIDUALES**

<b>TIPO DE AGUA RESIDUAL</b>	<b><math>DBO_5/DQO</math></b>
No tratada	0.3 – 0.8
Después de sedimentación primaria	0.4 – 0.6
Efluente final	0.1 - 0.3

**Fuente: Crites y Tchobanoglous, (2000)**

**c. Pruebas bacteriológicas**

Según el Departamento de sanidad del estado de New York (1981), “el examen microbiológico rutinario del agua está basado en la determinación aproximada del número total de bacterias presentes y de la presencia o ausencia de organismos de

origen intestinal o de aguas negras. Los principales organismos indicadores de contaminación intestinal, son las bacterias del grupo coliforme. Hay diferentes variedades individuales de bacterias clasificadas dentro de este grupo, todas las cuales son huésped habitual de los intestinos de los animales de sangre caliente. La *Echericha coli* es quizá el miembro más representativo de este grupo. “

AWWA (1968), señala que: “la determinación de incidencia de los miembros del grupo coliforme constituye el indicio más delicado y fidedigno de polución, así como la eficacia de la purificación y de la potabilidad del agua. “

Cedex (1992), manifiesta que: “las coliformes son una familia de bacterias que se encuentran comúnmente en las plantas, el suelo y los animales, incluyendo a los humanos. La presencia de bacterias coliformes en el suministro de agua es un indicio de que el suministro de agua puede estar contaminado con aguas negras u otro tipo de desechos en descomposición. Generalmente, las bacterias coliformes se encuentran en mayor abundancia en la capa superficial del agua o en los sedimentos del fondo.”

La presencia de bacterias coliformes puede ser un indicador de un suministro de agua contaminada, pero sería necesario hacer más pruebas para identificar las bacterias específicas presentes y el nivel de contaminación.

- **Coliformes totales**, El mismo autor expresa que: “el grupo de microorganismos llamados coliformes totales pertenece a la familia Enterobacteriaceae. Se caracterizan porque son de forma bacilar, Gram negativos, aeróbicos y anaeróbicos

facultativos, no forman esporas y fermentan el azúcar lactosa con producción de ácido y gas a 35 °C dentro de 48 hrs. A este grupo pertenecen bacterias del género: *Escherichia*, *Enterobacter*; *Citrobacter* y *Klebsiella*.”

“En particular, la bacteria *Escherichia coli* constituye, aproximadamente, un 10% de los microorganismos intestinales del hombre y de animales de sangre caliente y debido a esto se ha utilizado como indicador biológico de contaminación fecal. De manera general, cuando esta bacteria entérica no se detecta en un volumen de 100 ml de agua, se puede considerar como un agua potable, es decir, apta para el consumo.”

Piatkin K., Krivoshein Y. (1986), señalan que: “el grado de contaminación biológica del agua se establece por el índice coli el número de bacterias *E. coli* que se descubra en 1 litro de agua. El agua de los pozos debe tener el índice coli mayor a 10 y el título coli no menor a 100.”

Departamento de sanidad del estado de New York (1981), afirma que: “la estimación de bacterias del grupo coliforme, presentes en un determinado volumen de agua, será un índice o identificación de la intensidad de una contaminación. El solo indicio de presencia de coliformes en el agua es indicio de una contaminación y no es apta para el consumo.”

Cedex (1992), expresa que: “la prueba del total de coliformes es más sencilla pero no da un resultado cuantitativo; la prueba solo indica la presencia o ausencia de bacterias coliformes (sí/no).”

- **Coliformes fecales**, el mismo autor señala que: “dado a que el grupo coliformes totales incluye un amplio rango de bacterias cuya fuente primaria no necesariamente es el tracto intestinal, se utilizan como indicadores de contaminación fecal, bacterias pertenecientes al grupo de los coliformes fecales. Estas bacterias se definen como bacilos Gram negativos, aeróbicos y anaeróbicos facultativos, que fermentan la lactosa formando ácido y gas a 44,5°C en 24 hrs. Estas bacterias se encuentran presentes en el intestino del hombre y de animales de sangre caliente e incluye bacterias pertenecientes, a lo menos, a los géneros *Escherichia* y *Klebsiella*.”

AWWA (1968), dice que: “la prueba para los coliformes fecales permite diferenciar entre los coliformes de origen fecal (Intestino de los animales de sangre caliente) y los procedentes de otras fuentes.”

Cedex (1992), afirma que: “la presencia de coliformes fecales en un suministro de agua es un buen indicador de que las aguas negras han contaminado el agua. Se pueden hacer pruebas específicamente para coliformes fecales o para el total de bacterias coliformes que incluye todos los tipos de bacterias coliformes y que puede indicar contaminación fecal.”

- **Aerobio mesófilos**, Gallegos (2003), manifiesta que: “la enumeración de los gérmenes aerobio mesófilos es el indicador microbiano más común de la calidad de los alimentos así como también del agua.

Esta determinación sirve para:

- Conocer el nivel de microorganismos presentes en un producto, sea este crudo, preparado, precocido, refrigerado o congelado.
- Conocer las fuentes de contaminación (aire, agua, materia prima, etc.) durante la elaboración de los alimentos
- Verificar la eficiencia de los sistemas de limpieza y desinfección.
- Conocer si se inicia la alteración de los alimentos y su probable vida útil.
- Conocer si han transcurrido fallos en el mantenimiento de las temperaturas de refrigeración en los alimentos refrigerados.”

La misma autora manifiesta que: los aerobios mesófilos son bacterias que crecen en presencia del oxígeno y a una temperatura media de 20°C”.

AWWA (1968), explica en sus métodos normalizados que: “el recuento heterótrofo de placa (RPH), anteriormente denominado recuento estándar de placa, es un procedimiento cuyo objeto consiste en calcular el número de bacterias vivas heterótrofas que existen en el agua y medir los cambios que se producen a raíz del tratamiento y distribución de las aguas o en las piscinas. Las colonias pueden surgir

en pares, cadenas, grupos o células únicas, todas ellas englobadas bajo el término de unidades formadoras de colonias (UFC)”

#### 4. Normas de calidad del agua potable

El Decreto Ministerial Colombiano 2105/Julio 26 de 1983, define como: “el valor admisible o deseable establecido para algunas características presentes en el agua con el fin de determinar la calidad y contribuir a preservar y mantener la salud humana”

“El agua potable es aquella que por reunir requisitos físicos, químicos y bacteriológicos, en las condiciones señaladas en el presente Decreto al ser consumidas por la población humana no produce efectos adversos en la salud.”

Según la Norma INEN 1108, el agua potable debe cumplir con los siguientes requisitos:

#### **CUADRO 3. REQUISITOS QUE DEBE CUMPLIR EL AGUA POTABLE**

<b>REQUISITOS</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>LÍMITE DESEABLE</b>	<b>LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE</b>
Color	Unidades Escala Pt-Co	5	30
Turbiedad	FTU turbiedad formalizada	5	20

Olor	-	Ausencia	Ausencia
Sabor	-	Inobjetable	Inobjetable
pH	-	7 – 8.5	6.5 – 9.5
Sólidos totales disueltos	ml/L	500	1000
Hierro, Fe	ml/L	0.2	0.8
Magnesio, Mg	mg/L	12	30
Nitratos	NO <sub>3</sub>	10	40
Dureza, CaCO <sub>3</sub>	mg/L	120	300
Cloro libre residual*	mg/L	0.5	0.3 – 1
Coliformes totales	NMP/100 cm <sup>3</sup>	Ausencia	Ausencia
Bacterias aerobias totales	colonias/cm <sup>3</sup>	Ausencia	30

**FUENTE:** Adaptado de la Norma INEN, 1108, 1983-12, Agua Potable Requisitos.

\* Cuando se utiliza cloro como desinfectante.

## C. SANITIZACIÓN DEL AGUA

### 1. Generalidades

El agua para el consumo debe reunir algunas condiciones de pureza para que no cause problemas en la salud del hombre y de los animales, y para que no afecte el medio ambiente y la calidad de vida en general.

La sanitización o potabilización del agua es el tratamiento que se realiza al agua para eliminar sustancias inadecuadas (causantes de enfermedades), presentes en ella, garantizando agua apta para consumo.

Stevens (1990), manifiesta que: “los procesos pueden darse de varias maneras, de acuerdo a las características físicas y químicas del agua a tratarse, entre los procesos de tratamiento podemos citar los siguientes:

- **Desinfección:** remoción o aniquilamiento de las bacterias por adición de cloro por tener una acción bacteriana que dura mucho tiempo.

La cloración es el nombre que se le da al procedimiento para desinfectar el agua utilizando el cloro o algunos de sus derivados, como los hipocloritos de calcio o de sodio.

Los compuestos que tienen cloro poseen gran poder destructivo sobre los microorganismos presentes en el agua, causantes de enfermedades.

El cloro se encuentra en varias presentaciones:

- **Hipoclorito de sodio:** Es un líquido transparente de color amarillo ámbar. Se suministra en garrafas plásticas hasta de 55 galones.
- **Hipoclorito de calcio:** Es un producto seco, granulado o en polvo, de color blanco. Se comercializa en tambores metálicos o bolsas plásticas con concentraciones entre el 30 y el 65% de cloro activo. Para su aplicación se prepara una solución.



- **Cloro gaseoso:** Es un gas amarillo verdoso utilizado generalmente en las plantas de tratamiento de los acueductos convencionales.

Para la desinfección doméstica del agua, la presentación más usada es el hipoclorito de calcio, por su fácil aplicación, su costo relativamente bajo, y su efectiva acción contra bacterias y virus presentes en el agua.

El hipoclorito de calcio se puede obtener en algunas farmacias o establecimientos distribuidores de productos químicos.

- **Filtración:** es un proceso físico de purificación que consiste en pasar el agua a tratar a través de unas capas de material poroso, con el fin de retener bacterias y partículas suspendidas en el líquido, con el fin de retener partículas sumamente pequeñas, se emplea para la remoción de turbiedad, color, Fe y Mn, para la disminución de la dureza del agua, bacterias, etc.
- **Flotación:** las fuerzas de transporte del agua son reducidas hasta lograr un agua casi quieta y obtener que las partículas livianas asciendan, se requiere de agentes químicos y físicos (aire), que ayude a la flotación.
- **Sedimentación:** las fuerzas de transporte de velocidad y flujo del agua se reducen en gran magnitud, permitiendo que las partículas pequeñas se sedimenten por acción de la gravedad (arena, limo), o flóculos de sulfato de aluminio luego de la aplicación de coagulantes.

- **Hervido del agua**, Es un método bastante efectivo para desinfectar pequeñas cantidades de agua clara, aun si presenta contenido de materia orgánica.”

## **D. AGUAS RESIDUALES**

### **1. Generalidades**

El Registro Oficial N° 204 del 5 Junio de 1989, Ministerio de Salud Pública, Acuerdo 2144, Cáp. II, Art. 3. Párrafo 6, las describe como “los líquidos de composición variada provenientes de usos municipal, industrial, comercial, agrícola, pecuario o de otra índole ya sea pública o privada y que por tal motivo vaya sufriendo degradación en su calidad original”

Encarta (2004), afirma que: “las principales fuentes de contaminación acuática pueden clasificarse como urbanas, industriales y agrícolas.”

“La contaminación es la eliminación de residuos sólidos, eliminación de los materiales sólidos o semisólidos sin utilidad que generan las actividades humanas y animales. Los residuos sólidos se separan en cuatro categorías: residuos agrícolas, industriales, comerciales y domésticos. Los residuos comerciales y domésticos suelen ser materiales orgánicos, ya sean combustibles, como papel, madera y tela, o no combustibles, como metales, vidrio y cerámica. Los residuos industriales pueden ser cenizas procedentes de combustibles sólidos, escombros de la demolición de edificios, productos químicos,

pinturas y escoria; los residuos agrícolas suelen ser estiércol de animales y restos de la cosecha.”

“Los trabajos agrícolas y ganaderos pueden producir una contaminación muy grave de las aguas de los ríos y los acuíferos, debida sobre todo a los vertidos de aguas cargadas de residuos orgánicos, procedentes de las labores de transformación de productos vegetales, o de los excrementos de los animales (purines principalmente).”

“La agricultura, la ganadería estabulada (vacuno y porcino principalmente) y las granjas avícolas, son la fuente de muchos contaminantes orgánicos e inorgánicos de las aguas superficiales y subterráneas. Estos contaminantes incluyen tanto sedimentos procedentes de la erosión de las tierras de cultivo como compuestos de fósforo y nitrógeno que, en parte, proceden de los residuos animales y los fertilizantes comerciales. Los residuos animales tienen un alto contenido en nitrógeno, fósforo y materia consumidora de oxígeno, y a menudo albergan organismos patógenos. Los residuos de los criaderos industriales se eliminan en tierra por contención, por lo que el principal peligro que representan es el de la filtración y las escorrentías. Las medidas de control pueden incluir el uso de depósitos de sedimentación para líquidos, el tratamiento biológico limitado en lagunas aeróbicas o anaeróbicas, y toda una serie de métodos adicionales.”

“En cualquier caso, la producción de cantidades enormes de residuos sólidos y líquidos plantea el problema de su eliminación. Son materiales que no tienen valor económico, o su aprovechamiento es muy caro, y por ello se acumulan en vertederos. En estos lugares

aparecen olores desagradables, se producen plagas de roedores o insectos y se contamina el agua del subsuelo, entre otros problemas. Una posible alternativa es la incineración, que permite obtener energía de su combustión, pero es necesario un control muy estricto de las sustancias que pueden originarse durante el proceso, porque algunas pueden ser muy tóxicas y perjudiciales para la salud.”

## 2. Composición del agua residual

Crites y Tchobanoglous, (2000) dicen que: “el término se refiere a las cantidades de constituyentes físicos, químicos y biológicos presentes en el agua residual.”

AWWA (1968), manifiesta que: “dependiendo de las concentraciones de esos constituyentes el agua residual se clasifica en cargada, media o débil. Tanto los constituyentes como las concentraciones varían con la hora del día, el día de la semana, el mes del año y otras condiciones locales.”

### **CUADRO 4. COMPOSICIÓN TÍPICA DE AGUAS RESIDUALES NO TRATADAS (Cuadro referencial al estudio)**

CONSTITUYENTE	CONCENTRACIÓN		
	FUERTE	MEDIA	DÉBIL
Sólidos en suspensión (mg/L)	350	220	100
Sólidos sedimentables (ml/L))	20	10	5
Demanda bioquímica de oxígeno, a 5 días y a 20°C (DBO <sub>5</sub> a 20 °C)	400	220	110

Demanda química de oxígeno (DQO)	1000	500	250
----------------------------------	------	-----	-----

**FUENTE: AWWA (1968),**

## **E. USOS DEL AGUA EN LA PRODUCCIÓN DE PORCINOS**

### **1. Generalidades**

Ensminger (1973), informa que: “en la ganadería estabulada especialmente en la cría de cerdos, el uso del agua es esencial tanto para la alimentación de los animales como para la limpieza de los galpones donde estos se alojan.”

Lesur (2003), expone que: “el consumo de agua en la alimentación de los cerdos es tan importante como la de los nutrientes sólidos, pues una parte considerable del peso de estos animales es líquido.”

En la tabla se muestra el consumo de agua apropiada para cada una de las etapas de los cerdos.

### **CUADRO 5. CONSUMO DE AGUA POR GANADO PORCINO DE PESOS PROMEDIOS EN CLIMA TEMPLADO FRÍO**

<b>TIPO DE ANIMAL</b>	<b>LITROS/DÍA</b>
Verracos	10 – 15
Marranas en gestación	10 – 17
Marranas en lactancia	20 - 30

Lechones destetados	2 – 4
Lechones en crecimiento	4 – 6
Cerdos en crecimiento	6 – 8
Cerdos en finalización	8 – 10

**FUENTE: Lesur, L. (2003)**

Ensminger (1973), manifiesta que: “los lechones recién destetados y las cerdas que amamantan tienen mayor necesidad de agua que otros porcinos. Además cuanto más alta es la temperatura mayor será el consumo. Los cerdos ingieren normalmente entre 2 – 2.5 litros de agua por cada kilogramo de alimento seco, pero puede elevarse hasta 4 – 4.5 litros cuando la temperatura ambiente es alta. Además es preferible que los porcinos tengan acceso a bebederos automáticos, en los que se halla agua disponible en todo momento.”

Ledoux, (2001), informa que la tasa de entrega de agua debe ser de 500 ml/min. para los cerdos lactantes y de 1000 a 1500 ml/min. para los cerdos adultos.

Como ya se dijo anteriormente, el agua también se usa en las explotaciones para el lavado de los diferentes galpones donde se encuentran estabulados estos animales, según Ensminger (1973), “los edificios o pisos tienen que limpiarse con agua a presión;

se requiere una presión mínima de 5.4 Kg. por centímetro cuadrado y 1900 litros de agua por hora.”

## 2. Tratamiento de la aguas residuales

Stevens (1990), expone que: “los procesos empleados en las plantas depuradoras municipales suelen clasificarse como parte del tratamiento primario, secundario o terciario.

- **Tratamiento primario:** Encarta (2004), indica que las aguas residuales que entran en una depuradora contienen materiales que podrían atascar o dañar las bombas y la maquinaria. Estos materiales se eliminan por medio de enrejados o barras verticales, y se queman o se entierran tras ser recogidos manual o mecánicamente. El agua residual pasa a continuación a través de una trituradora, donde las hojas y otros materiales orgánicos son triturados para facilitar su posterior procesamiento y eliminación.

Hay diversos procesos alternativos para el tratamiento primario, incluyendo la cámara de arena, sedimentación, flotación, digestión, desecación.

- **Tratamiento secundario:** el diccionario antes citado, también indica, que una vez eliminados de un 40 a un 60% de los sólidos en suspensión y reducida de un 20 a un 40% la DBO5 por medios físicos en el tratamiento primario, el tratamiento secundario reduce la cantidad de materia orgánica en el agua. Por lo general, los

procesos microbianos empleados son aeróbicos, es decir, los microorganismos actúan en presencia de oxígeno disuelto. El tratamiento secundario supone, de hecho, emplear y acelerar los procesos naturales de eliminación de los residuos. En presencia de oxígeno, las bacterias aeróbicas convierten la materia orgánica en formas estables, como dióxido de carbono, agua, nitratos y fosfatos, así como otros materiales orgánicos. La producción de materia orgánica nueva es un resultado indirecto de los procesos de tratamiento biológico, y debe eliminarse antes de descargar el agua en el cauce receptor.

Hay diversos procesos alternativos para el tratamiento secundario, incluyendo el filtro de goteo, el lodo activado y las lagunas.

- **Tratamiento avanzado de las aguas residuales:** Si el agua que ha de recibir el vertido requiere un grado de tratamiento mayor que el que puede aportar el proceso secundario, o si el efluente va a reutilizarse, es necesario un tratamiento avanzado de las aguas residuales.

A menudo se usa el término tratamiento terciario como sinónimo de tratamiento avanzado, pero no son exactamente lo mismo. El tratamiento terciario, o de tercera fase, suele emplearse para eliminar el fósforo, mientras que el tratamiento avanzado podría incluir pasos adicionales para mejorar la calidad del efluente eliminando los contaminantes recalcitrantes. Hay procesos que permiten eliminar más de un 99% de los sólidos en suspensión y reducir la DBO<sub>5</sub> en similar medida. Los sólidos



disueltos se reducen por medio de procesos como la ósmosis inversa y la electrodiálisis.

La eliminación del amoníaco, la desnitrificación y la precipitación de los fosfatos pueden reducir el contenido en nutrientes. Si se pretende la reutilización del agua residual, la desinfección por tratamiento con ozono es considerada el método más fiable, excepción hecha de la cloración extrema. Es probable que en el futuro se generalice el uso de estos y otros métodos de tratamiento de los residuos a la vista de los esfuerzos que se están haciendo para conservar el agua mediante su reutilización.”

## **F. EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL (EIA)**

### **1. Generalidades**

Según Fernández y Vítora (1997), manifiestan que: “Los **objetivos** fundamentales de cualquier EIA son:

- Describir y analizar el proyecto (tanto en sus contenidos como en su objetivo), dado que se trata de la perturbación que generará el impacto.
- Definir y valorar el medio sobre el que va a tener efectos el proyecto, dado que el objetivo de una Evaluación del Impacto Ambiental consiste en minimizar y/o anular las posibles consecuencias ambientales de los proyectos.
- Prever los efectos ambientales generados y evaluarlos para poder juzgar la idoneidad de la obra, así como permitir, o no, su realización en las mejores condiciones posibles de sostenibilidad ambiental.

- Determinar medidas minimizadoras, correctoras y compensatorias

Gómez, D. (1999), hace algunas consideraciones del EIA así:

- **Definición:** Examen ordenado y metódico de los problemas resultantes de las actividades, proyectos, programas, planes y políticas vigentes o propuestas.
- **Utilidad:** Los resultados se integran en las manifestaciones de impacto ambiental solicitadas por instituciones públicas o por realización voluntaria previendo una serie de conflictos sociales relacionados con un proyecto.
- **Principios:** Prevención las afectaciones sociales, económicas, ambientales y naturales resultado de diversas acciones. Información para la toma de decisiones que permitan evitar o reducir los impactos ambientales y ecológicos reales y potenciales y aumentar los beneficios.
- **Objetivo:** Identificar, medir, interpretar y comunicar los impactos reales y potenciales, benéficos y perjudiciales, producto de actividades, proyectos etcétera.
- **Ejecución:** Idealmente debe de realizarse en las etapas de diseño y planificación de los proyectos, antes de la ejecución de las obras y actividades que puedan ocasionar daños en el ambiente en general y en las áreas naturales en particular.
- Los métodos y técnicas utilizadas de identificación y evaluación de impactos son:
  - Diagramas de flujo
  - Matrices
  - Checklist
  - Otros

### a. Matrices

Gómez, D. (1999), manifiesta que: “la matriz es un arreglo bidireccional de datos que relaciona los impactos directos ocasionados por:

- a) Las acciones derivadas de las actividades turísticas y recreativas,
- b) Procesos productivos o de servicio o
- c) Proyectos en general.

Existen cuatro tipos de matrices de impacto:

- Normal: cruces en una tabla entre acciones de proyecto y elementos del medio.
- Interactivas: Tiene la ventaja de que muestra relaciones de dependencia entre diferentes impactos, pero tiene el problema de que precisa mayores conocimientos teóricos debido a su complejidad.
- Temporales: Tiene la ventaja de que refleja secuencias temporales para cada una de las subfases y fases. El inconveniente es la especificidad que no permite tener una visión global muy clara.
- Causa-efecto: Tiene la ventaja de que existen muy diversas versiones (flexibilidad metodológica) y que es muy simple de realizar (una vez que se conocen bien las relaciones causa-efecto). Tiene el inconveniente de que no es posible incorporar unas consideraciones dinámicas a la misma. La matriz causa-efecto más conocida es la de Leopold.”

## **b. Matriz de Leopold**

Fernández, C. y Vítora, V. (1997), manifiesta que: “es un método universalmente empleado para realizar la evaluación del impacto ambiental que puede producir un determinado proyecto, tomando en consideración las actuaciones que se tienen previstas para llevarlo a cabo y sus repercusiones ambientales en los distintos factores ambientales considerados. La matriz tiene representados en ordenadas los distintos factores ambientales que pueden ser afectados por el proyecto, como: las características físico-químicas (tierra, agua, atmósfera, procesos), las condiciones biológicas (fauna, flora), factores culturales (usos del territorio, valores recreativos, estéticos, culturales, infraestructura), las relaciones ecológicas y otros. En abscisas aparece una lista de acciones posibles que se contemplan en el proyecto que pueden causar efectos ambientales tales como modificaciones del régimen, transformaciones del territorio, extracción de recursos, alteración del terreno, accidentes, etc. El estudio de las causas y sus efectos ambientales en cada factor afectado se representa en la intersección de ambos en la matriz, por medio de dos números separados por una barra, de los cuales el de la izquierda indica la magnitud del impacto que se ha evaluado y el de la derecha la importancia que se ha determinado para tal impacto. Se realiza la valoración sobre 3, representando este valor la máxima magnitud y el máximo impacto.”

El mismo autor dice que esta matriz esta formada así:

- Compuesta en el eje horizontal por las acciones derivadas de las actividades, los procesos o los proyectos que ocasionan impactos ambientales y/o ecológicos.

- Compuesta en el eje vertical por las condiciones, los procesos, los factores naturales, sociales, culturales y económicos afectados por las acciones indicadas.

Los impactos relacionados con las acciones y las características afectadas se representan en las intersecciones de los ejes verticales y horizontales por medio de:

- Un signo - (perjudicial) ó + (benéfico).
- Un número que indica la Magnitud del impacto
- Un número que indica su Importancia

**Magnitud:** es la medida de la escala o la extensión del impacto (escala del 1 -3). La asignación es subjetiva por lo que requiere de una explicación complementaria.

**Importancia:** es la medida de la significancia comprendida esta como la generación de impactos relacionados (escala del 1 - 3). La asignación también es subjetiva por lo que requiere de una explicación complementaria.

La suma de las columnas y los renglones dan una idea del impacto global generado por una actividad o recibido por una característica (condición, proceso o factor).

- **Ventaja:** Es una herramienta muy útil para la descripción comparativa de los impactos.
- **Desventaja:** No es una herramienta útil para el análisis de los impactos.

## **G. NORMAS Y REFERENCIAS LEGALES QUE PUEDEN APLICARSE AL ESTUDIO DEL AGUA POTABLE Y DE AGUAS RESIDUALES.**

1. NORMA TÉCNICA ECUATORIANA: INEN 1108, (1983-12), Agua Potable Requisitos.

2. REPÚBLICA DEL ECUADOR. Registro Oficial No. 204, 5 de Junio de 1989. Reglamento de la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental en lo relativo al Recurso Agua.
3. REPÚBLICA DEL ECUADOR. Registro Oficial No. 74, 10 de Mayo del 2000. Anexo que contiene los Valores Máximos Permisibles de los Indicadores de Contaminación y Parámetros de Interés Sanitario para Agua Potable y Descargas Líquidas.
4. REPÚBLICA DEL ECUADOR. Reglamento de Aplicación de la Ordenanza No. 2910 del 27 de Enero de 1992. “Prevención y Control de la Contaminación producida por las descargas líquidas industriales y las Emisiones hacia la Atmósfera”.

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### A. LOCALIZACIÓN Y DURACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

**El trabajo de campo** se realizó en la Granja Porcina Don Diego y consistió en la recolección de muestras de agua y toma de datos (consumo de agua animal, caudal de agua tanto de entrada como de salida, etc.).

##### 1. Granja Porcina Don Diego

###### a. Ubicación Geográfica de la Granja

La Granja Porcina Don Diego está ubicada en la provincia de Cotopaxi, cantón Latacunga, parroquia Aláquez, caserío Laigua, a 10 min. de la ciudad de Latacunga vía Quito.

Geográficamente se encuentra ubicada al noroeste de la ciudad de Latacunga a 7.9 Km. Sus coordenadas geográficas indican 78° 35' 36" longitud Oeste, 00° 51' 44" latitud Sur.

###### b. Vías de Acceso

Tiene dos vías de acceso:

- A través de la Panamericana en la vía Latacunga – Quito, por un camino de segundo orden.

- Por la vía al aeropuerto por el sector denominado Bellavista.

La Granja Porcina Don Diego, cuenta con instalaciones para la producción intensiva de cerdos, con pisos de cemento, paredes de bloques, puertas de hierro, comederos, bebederos automáticos tipo chupón. Disponen de los servicios de energía eléctrica, agua de pozo entubada, vías de comunicación de 1er y 2do orden.

### **c. Extensión y Distribución**

La Granja Porcina Don Diego cuenta con una extensión de 10 ha., de las cuales 2.5 ha. están utilizadas en construcciones, las que son:

- Oficinas
- Planta de Balanceados
- Maternidades
- Gestación
- Reproducción
- Proceso de engorde
  - Recría
  - Preengorde
  - Engorde
- Descartes
- Embarque
- Laboratorio

También cuenta con una mecánica, vivienda y comedor.



### e. Topografía y Recursos Hídricos

La granja cuenta con una topografía ondulada, observándose que tiene buena pendiente para la evacuación de deyecciones y aguas negras, y tiene un suelo de textura franco arenoso, franco arcilloso que facilita este drenaje.

Además la granja está limitada por 2 ríos: río Aláquez y río Cutuchi tanto al este como al oeste de la misma.

Para todas las actividades de limpieza y consumo de la granja cuenta con dos fuentes de agua subterránea (pozos).

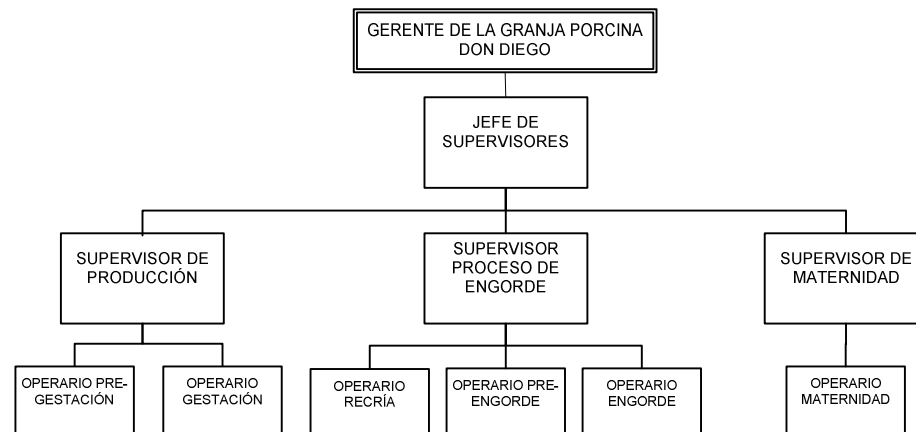
### f. Condiciones Meteorológicas

**CUADRO 6. CONDICIONES METEREOLÓGICAS DE LA GRANJA PORCINA DON DIEGO**

Clima	Templado Frío
Altitud	2980 msnm.
Temperatura Media	12.1 °C
Precipitación Media	500 mm.

**Fuente: Granja Porcina Don Diego, (2004)**

### g. Organigrama Administrativo de la Granja



### h. Razas Porcinas Existentes en la Granja

Las razas que manejan actualmente son: Large White, Landrace, Yorkshire, Pietrain, Duroc, Shigger y cruces de estas.

Como líneas maternas tienen abuelas importadas de EE.UU. Landrace 50% X Large White 50%; y Landrace 25% X Large White 75%.

Como líneas terminales o para cerdos al mercado utilizan como padres Pietrain x Duroc; también la nueva raza mejorada sintética importada de EE.UU. Shigger (Large White, Duroc, Pietrain).

La mayor parte de los cerdos que producen son utilizados como materia prima para la elaboración de embutidos en la Fábrica del mismo nombre, y otra parte es vendida a otras empresas.

**i. Composición de la Piara**

La composición de la piara es la siguiente:

<b>Animales</b>	<b>Número de animales</b>
Madres	1.205
Verracos	27
Lechones de 0 – 21 días	1.251
Engordes	8.018
Total de animales en el plantel	10.501

**Fuente: Granja Porcina Don Diego, (2004)**

**j. Uso del agua en la Granja.**

Como se dijo anteriormente la Granja cuenta con 2 vertientes de agua subterránea (pozos), esta agua es bombeada a 2 cisternas de 35.000 lts. de capacidad cada una, que son utilizadas para todas las actividades de la granja tanto para la limpieza de galpones así como para el consumo de los animales en todas las etapas fisiológicas el cual es a voluntad.

El único tipo de tratamiento que recibe el agua en las cisternas es la cloración. Se coloca 1 litro de hipoclorito de sodio por cada cisterna.

Como toda industria dentro del respectivo proceso se produce descargas de aguas residuales, las mismas que están compuestas básicamente de los excrementos de los

animales limpiadas a diario con agua, y de cascarilla de arroz que se usa como lecho en algunos corrales.

Inicialmente la granja contaba con un proceso para evitar la contaminación del río del sector. Este proceso se lo hacía con la conducción de las aguas mediante tubería hacia la primera piscina donde se separaban los sólidos gruesos por decantación. Luego por canales el agua se conducía a una segunda piscina de oxidación y por último se descargaban las aguas a una tercera piscina con una caída de aproximadamente de 1.5 metros para oxigenación.

En la actualidad este proceso ha colapsado y las descargas líquidas y sólidas son depositadas en una piscina o en el pantano y de ahí al río.

**El trabajo de laboratorio** donde se realizaron los análisis de aguas respectivos, tuvo lugar en el Laboratorio de Microbiología y en el Laboratorio de Análisis Técnicos de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH, ubicada en la ciudad de Riobamba, Panamericana Sur Km. 1½.

**La duración** de esta investigación fue de 120 días.

## **B. UNIDADES EXPERIMENTALES**

Se tuvo 10 unidades experimentales ubicadas en diferentes puntos de la granja de las cuales se tomaron las muestras de agua desde su origen hasta su evacuación. Anexo 1 y 2.

## C. MATERIALES, EQUIPOS E INSTALACIONES

### 1. De Campo

A nivel del campo se utilizaron los siguientes equipos y materiales:

- Computadora
- Material bibliográfico
- Cámara fotográfica
- Frascos plásticos estériles 150 ml.
- Galones
- Guantes
- Marcadores permanentes
- Libreta de apuntes
- Esferográfico
- Botas
- Overol
- Balde aforado
- Cinta adhesiva
- Recipientes para el transporte de muestras
- Transporte

## 2. De Laboratorio

En el laboratorio se utilizó lo siguiente:

- Muestras de agua

### **EQUIPO PARA DETERMINAR AEROBIOS MESÓFILOS**

- Lo necesario para la preparación, homogenización y dilución del agua (agua de peptona).
- Estufa de incubación a  $30\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$ .
- Baño de agua para fundir el agar.
- Baño de agua para mantener el agar fundido a  $45\text{ °C}$ .
- Placas Petri estériles
- Pipetas bacteriológicas de 10 ml y 1 ml estériles.
- Agar para el recuento en placa (Plate Count Agar P.C.A) fundido y templado a  $45 - 46\text{ °C}$
- Cuenta colonias

### **EQUIPO PARA DETERMINAR COLIFORMES TOTALES**

- Agua destilada

- Balanza granataria
- Autoclave de presión con quemador de flama intensa
- Incubador, equipo para mantener una temperatura constante de 34 a 36°C en la cámara de incubación
- Tubos de ensayo con capacidad de 10 ml
- Tubos de fermentación de Durham invertidos dentro de los tubos de ensayo
- Pipetas volumétricas de 10 ml y 1 ml.
- Canastas o gradillas para sostener los medios
- Caldo lactosado de concentración simple.

#### **EQUIPO PARA DETERMINAR COLIFORMES FECALES**

- Agua destilada
- Balanza granataria
- Autoclave de presión con quemador de flama intensa
- Incubador, equipo para mantener una temperatura constante de 34 a 36°C en la cámara de incubación
- Tubos de ensayo con capacidad de 10 ml
- Tubos de fermentación de Durham invertidos dentro de los tubos de ensayo
- Pipetas volumétricas de 10 ml y 1 ml
- Canastas o gradillas para sostener los medios

- Caldo lactosado o caldo de laurel triptosa sulfato, 5 tubos a concentración doble para 10 ml de muestra (primera serie) y 10 tubos a concentración simple para diluciones (segunda y tercera series)
- Caldo lactosado con bilis y verde brillante, al 2%.

#### **EQUIPO PARA DETERMINAR PH**

- Ph metro
- Envases
- Agua destilada

#### **EQUIPO PARA DETERMINAR DQO**

- Aparato de reflujo
- Solución valorada de bicromato de potasio
- Ácido sulfúrico concentrado
- Solución valorada de sulfato ferroso amoniacal (FAS)
- Indicador de ferroín
- Sulfato de plata
- Agua destilada
- Bureta
- Pipetas



**EQUIPO PARA DETERMINAR DBO<sub>5</sub>**

- Frascos de incubación de 250 a 300 ml de capacidad
- Agua destilada aireada
- Soluciones buffer, ph 7
- Solución de cloruro de magnesio
- Solución de cloruro de calcio
- Solución de cloruro férrico
- Soluciones sulfato manganoso
- Soluciones ácido sódica
- Solución de ácido sulfúrico concentrado
- Solución de tiosulfato de sodio
- Indicador de almidón

**EQUIPO PARA DETERMINAR TURBIEDAD**

- Turbidímetro
- Frascos que contengan las muestras de agua

**EQUIPO PARA DETERMINAR SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN**

- Crisoles Gooch, de 25ml

- Embudo
- Estufa
- Desecador
- Balanza
- Papel filtro

### **EQUIPO PARA DETERMINAR CLORO RESIDUAL**

- Unidad comparadora para determinar cloro con patrones permanentes de cristal.

### **3. Instalaciones**

Las instalaciones que se tuvieron a disposición para la toma de las muestras de agua para esta investigación fueron las de la Granja Porcina Don Diego (pozos profundos, cisterna, galpones de los animales en diferentes estados fisiológicos, canales de desfogue de las aguas servidas). También se dispuso de los laboratorios de Microbiología y de Análisis Técnicos de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH donde se realizaron los exámenes microbiológicos y físicos químicos de las aguas en estudio.

### **D. TRATAMIENTO Y DISEÑO EXPERIMENTAL**

Este estudio fue de tipo diagnóstico, usando un muestreo dirigido, sin diseño experimental estricto.

De cada una de las unidades experimentales se tomaron 5 muestras para efectuar el análisis físico químico y 4 para el análisis microbiológico. También se hizo una evaluación del río receptor, antes de que este reciba las aguas residuales de la granja.

Obteniéndose un total de 94 muestras para el análisis.

## **E. MEDICIONES EXPERIMENTALES**

Las mediciones que se realizaron fueron:

- Calidad microbiológica del agua de ingreso y a la salida de la granja.
- Calidad físico – química del agua al ingreso y a la salida de la granja.
- Características microbiológicas del agua residual.
- Características físico - químicas del agua residual.
- Demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>) y Demanda química de oxígeno (DQO) en el agua residual.
- Volúmenes de consumo de agua
- Caudales en el flujo de la explotación.
- Longitud de contaminación en el río receptor (Impacto Ambiental).

## **F. ANÁLISIS ESTADÍSTICO**

Para el análisis de datos se aplicó la estadística descriptiva, en donde se determinó:

- Medias
- Porcentajes.

## G. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

### 1. De Campo

Para obtener las muestras de agua se acudió a la Granja Porcina Don Diego cada semana, aquí se dividió a la misma en 4 grupos:

**CUADRO 7. GRUPOS EN QUE FUE DIVIDIDA LA GRANJA DON DIEGO PARA EL ESTUDIO DE LA CALIDAD DEL AGUA DE USO ZOOTÉCNICO, Y PARA EVALUAR EL IMPACTO AMBIENTAL.**

GRUPO	DESCRIPCIÓN
1	Pozo 1 Pozo 2
2	Cisterna
	Galpón de Reproductores <sup>1</sup>
	Galpones de Maternidad <sup>2</sup>
	Galpones de Recría <sup>3</sup>
	Galpones de Pre-engorde <sup>4</sup>

	Galpones de Gestación <sup>6</sup>
	Galpones de Engorde <sup>5</sup>
3	Agua Residual <sup>7</sup>
4	Río Receptor

**Fuente: Aldás, A. L. (2004). Trabajo de campo. Latacunga, Ecuador.**

<sup>1</sup> Machos adultos y jóvenes que se usan como: detectores de celos y para la obtención de semen

<sup>2</sup> Hembras próximas al parto y paridas

<sup>3</sup> Lechones destetados de 21 días hasta los 40 a 47 días de edad

<sup>4</sup> Cerdos de 40 a 47 días de edad hasta los 75 a 85 días de edad

<sup>5</sup> Cerdos de 75 a 85 días de edad hasta los 140 a 160 días de edad para el mercado

<sup>6</sup> Hembras gestantes hasta los 112 días de gestación, hembras reemplazos, cerdas destetadas y machos celadores.

<sup>7</sup> Agua que resulta del lavado de galpones especialmente.

### **Grupo 1**

Las muestras del agua de los pozos, se obtuvieron directamente del tubo, justo después de que el agua sea bombeada y antes de que caigan a la cisterna. Se tomaron muestras por duplicado de 150 ml para el análisis microbiológico, y de 2 Lts para el análisis físico – químico. Anexo 1 y 3.

### **Grupo 2**

Se tomaron muestras en pull, es decir de cada grupo de galpones dependiendo del estado fisiológico de los animales se obtuvieron muestras de cada sala de la rama principal de agua que se utiliza para distribuir a los chupones y para el lavado de las mismas. Previamente a la recogida se desinfectó con alcohol la llave, se flameó, se dejó correr el agua por unos 3 minutos y se procedió a recoger la muestra de 1 Ltr para luego ser mezclada con las muestras de las otras salas que corresponden al mismo estado fisiológico del animal y sacar por duplicado muestras de 150 ml para el análisis microbiológico y de 1 Ltr para el análisis físico – químico. Anexo 1, 2 y 3.

**Grupo 3**

Las muestras fueron tomadas justo después del desfogue de las aguas servidas. Se tomaron muestras por duplicado de 150 ml para el análisis microbiológico, y de 2 Lts para el análisis físico – químico. Anexo 1 y 2.

**Grupo 4**

Se obtuvo muestras del río unos metros antes de que el agua reciba o pase por la propiedad de la granja. Se tomaron muestras por duplicado de 150 ml para el análisis microbiológico, y de 2 Lts para el análisis físico – químico. Anexo 2.

Se logró un total de 51 muestras para el análisis físico – químico y 41 muestras para el examen microbiológico. Todos los frascos fueron identificados y llevados inmediatamente al laboratorio.

Se midió el consumo de litros promedio/día de agua de los animales de acuerdo a su estado fisiológico. Se les ofreció un recipiente plástico lleno de agua y alimento a voluntad por un tiempo de 6 horas, una vez obtenido el valor se proyectó el consumo para 24 horas.

Además de la toma de muestras se midió el caudal del agua residual que evacua la granja y del río receptor utilizando el método del flotador.

**2. De Laboratorio**

Una vez realizada la toma física de la muestra de agua, se llevaron a los laboratorios de Microbiología y de Análisis Técnicos de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH; donde, se realizaron los correspondientes análisis utilizando las técnicas de laboratorio que a continuación se describen:

### **Análisis Microbiológico**

#### **a. Recuento de Microorganismos Aerobio Mesófilos Totales: MÉTODO DE LA PLACA POBRE.**

- Preparar las diluciones de los homogenizadores y esterilizar todo el material.
- Marcar las cajas Petri estériles, con la fecha, número de muestra y dilución correspondiente.
- A partir del homogenizado preparar diluciones sucesivas del orden 10 según convenga el caso.
- Conforme se preparan las diluciones ir pipeteando por duplicado en placas Petri estériles, alícuotas de 1 ml de las diluciones escogidas para la siembra
- Verter inmediatamente en las cajas Petri, 10 a 15 ml del medio de cultivo (PCA) fundido y a 45 °C.
- Mezclar el inóculo con el medio fundido, con movimientos de vaivén mover las placas 5 veces en una dirección, luego repetir 5 veces el movimiento en dirección que forme un ángulo con la primera, girar 5 veces en sentido de las agujas del reloj, y 5 en sentido opuesto.

- Girar la placa 10 veces efectuando la figura del número 8.
- Se debe adoptar un sistema uniforme para todos los recuentos
- Para prueba de esterilidad, marcar una placa con CONTROL y adicionar 15 ml de medio de cultivo y 1 ml de diluyente sin inocular.
- Dejar reposar las placas en la mesa del laboratorio hasta la solidificación total del medio (15 min.)
- Luego de solidificado el agar, invertir las placas e incubarlas a  $30\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ , durante 48 horas  $\pm$  3 horas.
- Finalizado el periodo de incubación, contar todas las unidades formadoras de colonias (UFC) en las placas elegidas para el recuento, si es posible las placas que tengan entre 30 a 300 colonias.
- Cálculos:

$$C = n * f$$

Donde:

C = UFC de microorganismos aerobio mesófilos por gramo o mL de alimento.

n = Número de UFC contadas en la caja Petri

f = Factor de dilución: inverso de la dilución utilizada.

El resultado final se expresa en UFC/g ó UFC/mL de producto. Ej.: si en un recuento de microorganismos aerobio mesófilos la placa de la dilución 1/1000 presenta 60 colonias, el resultado será expresado así: Recuento de microorganismos aerobio mesófilos:  $60 * 10^3$  UFC/mL.

- b. Recuento de Coliformes Totales: MÉTODO DEL NÚMERO MÁS PROPABLE (NMP)**



## **PRUEBA PRESUNTIVA**

- De manera aséptica, inocule cada uno de 5 tubos grandes de fermentación que contengan caldo lactosado de doble concentración, con 10 ml de la muestra.
- Inocúlese con 1 ml de muestra 1 tubo chico de fermentación que contenga caldo lactosado
- Inocúlese con 1/10 ml de la muestra, un tubo chico de fermentación que contenga caldo lactosado
- Colóquese todos los tubos de fermentación en el incubador cuya temperatura se mantenga a 34 – 36°C
- Después de 24 horas, obsérvese si hay formación de gases en los tubos interiores de cada uno de los tubos de fermentación
- Llévense a cabo pruebas confirmativas en todos los tubos en los que se haya formado gases y regrésense los demás tubos al incubador
- Después de 48 horas, obsérvese si se han formado gases en el tubo interior de cada uno de los tubos que contienen lactosa
- Llévense a cabo pruebas confirmativas en todos los tubos en los que se hayan formado gases

## **PRUEBA CONFIRMATIVA**

La presencia de gases en el caldo lactosado no indica necesariamente la presencia de bacterias del grupo coliforme, porque puede haber otras bacterias presentes que fermenten la lactosa. Si el cultivo de estos tubos con caldo lactosado que muestren gases, es transferido al caldo con bilis y verde brillante, las bacterias que no sean coliformes son inhibidas por la bilis y el verde brillante y por lo tanto, cualquier gas que se produzca en este medio puede atribuirse a la presencia de organismos del grupo coliforme.

- Selecciónese los tubos de fermentación que mostraron gases a las 24 y 48 horas (paso 6 y 8 de la prueba presuntiva), y transfírase una asa llena de caldo a un tubo de fermentación que contenga caldo con bilis y verde brillante.
- Póngase en el incubador por 24 horas
- Examínese para ver si hay gases. Si se formaron gases, el tubo puede registrarse como positivo y desecharse; si no hay formación de gases, debe re-incubarse por otras 24 horas y volverse a examinar.
- Si hay gases las segundas 24 horas, el tubo puede considerarse como positivo; si no hay gases, entonces es negativo.
- Determinar el NMP, haciendo uso de la tabla correspondiente, tener presente la dilución por la que se inicia la siembra. Los resultados se expresan como NMP/g ó NMP/mL. (Ver Anexo 4)

**c. Recuento de Coliformes Fecales: MÉTODO DEL NÚMERO MÁS PROPABLE (NMP)**

La prueba para los coliformes fecales permite diferenciar entre los coliformes de origen fecal (Intestino de los animales de sangre caliente) y los procedentes de otras fuentes.

- Estúdiense todos los tubos de fermentación presuntivos que hayan mostrado alguna cantidad de gas durante las 48 horas de incubación de la prueba de confirmación.
- Agítense suavemente los tubos de fermentación que muestran gas, pásese el cultivo a tubos que contenga caldo lactosado con bilis y verde brillante, al 2%.
- Incúbense los tubos inoculados en la estufa a  $44,5 \pm 2$  °C durante  $24 \pm 2$  horas.
- Se considera como reacción positiva la aparición de gas a la aparición de gas en este medio a las 24 horas o menos de incubación. La falta de gas constituye un resultado negativo que indica que el origen de los microorganismos no es el aparato digestivo de los animales de sangre caliente.
- Determinar el NMP, haciendo uso de la tabla correspondiente, tener presente la dilución por la que se inicia la siembra. Los resultados se expresan como NMP/g ó NMP/mL. (Ver Anexo 4)

## **Análisis Físico-Químico**

### **a. Determinación del pH**

- Esta determinación se realizó con ayuda del aparato llamado pH-metro el cual es digital.
- Se coge un poco de la muestra a estudiarse en un envase, se lleva al pH-metro, primero se limpia el émbolo del mismo con agua destilada se lo introduce en el envase que contiene la muestra y se espera unos minutos hasta que se estabilice el marcador y se copia el resultado.

### **b. DQO (Demanda Química de Oxígeno): MÉTODO DEL DICROMATO AL REFLUJO.**

- Se vierte 25 ml de la muestra en un balón de destilación.
- Se coloca 10 ml de solución valorada de bicromato de potasio ( $K_2Cr_2O_7$ ), con ayuda de la bureta en cada balón.
- Colocar una pizca de sulfato de plata ( $AgSO_4$ ).
- Se agregan, con todo cuidado, 30 ml de  $H_2SO_4$ , mezclando bien después de cada adición.
- Se fija el balón al refrigerante y se somete a reflujo por 2 horas. Se deben agregar fragmentos de vidrio para prevenir la ebullición tumultosa. Se enfría y se lava el condensador con 100 ml de agua destilada.

- Después de enfriarse a la temperatura ambiente usando indicador de ferroín, generalmente se usan 2-3 *-gotas del* indicador se titula el exceso de bicromato, con sulfato ferroso amoniacal valorado ( $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2$ ). El cambio de color es preciso, variando del azul, verde al azul, rojizo; hasta obtener un color vino.
- Se somete a reflujó, en la misma forma, un testigo de 25 ml de agua destilada, en lugar de la muestra, junto con todos los reactivos.
- Cálculos:

$$\text{mg / l de DQO} = \frac{(a - b)c \times 8000}{\text{ml de Muestra}}$$

Siendo:

DQO = demanda química de oxígeno al bicromato

a = ml de  $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2$  usado para el testigo

b = ml de  $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2$  usado para la muestra

c = normalidad del  $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2$

**c. DBO<sub>5</sub> (Demanda Bioquímica de Oxígeno): MÉTODO ESTÁNDAR  
CON INCUBACIÓN DE 5 DÍAS A 20°C EN LA OBSCURIDAD.**

- Se debe analizar primeramente si la muestra necesita o no de una dilución.
- Si necesita dilución airear agua destilada por 45 minutos o una hora.

- En caso de que haga o no dilución, tomar 250 ml de la muestra y colocar en el balón de 1000 ml.
- Colocar 2 ml de buffer de pH entre 6.5 y 8.5
- Añadir 1 ml de cloruro de manganeso
- Añadir 1 ml de cloruro férrico
- Añadir 1 ml de cloruro de calcio
- Aforar a 1000 ml con agua aireada o burbujeada
- Colocar en los frascos de cuello y tapa esmerilada, no importa si rebasa la capacidad, tapar.
- Siempre se debe preparar dos análisis distintos de la muestra al mismo tiempo, el un frasco se titula al momento para dosificar el contenido de oxígeno al tiempo cero, según el método de Winkler. El otro frasco se debe incubar a 20 °C, y en oscuridad por el tiempo de 5 días, luego se determina el oxígeno existente.
- Antes de la titulación de las muestras anteriormente indicadas se debe añadir 1 ml de sulfato manganeso y 1 ml de ácido sódica después de éste; lo que provoca la precipitación del oxígeno presente en el momento en la muestra.
- Dejar que precipite por el espacio de 20 min.
- Disolver el precipitado con 1 ml de ácido sulfúrico concentrado.
- Titular con tiosulfato, hasta el viraje de color amarillo a paja pálida, donde se añade almidón y luego seguir con la titulando hasta transparente, que indica el punto final de la titulación.
- Cálculos:

$$DBO_5 \text{ ppm de } O_2 = \frac{(a - b) * N * 8000}{mL \text{ de muestra utilizada}}$$

Siendo:

DBO<sub>5</sub> = demanda bioquímica de oxígeno

a = ml de tiosulfato de sodio usado antes de la incubación

b = ml de tiosulfato de sodio usado después de la incubación

N = normalidad del tiosulfato de sodio

#### **d. Turbiedad**

- Con ayuda del turbidímetro que es un aparato digital se determina este valor, solo se coloca la muestra de agua en la botella que ingresa a este equipo y se toma como valor de turbiedad el valor más alto que señale este aparato.
- Como en los patrones se lee la turbiedad directamente en ppm o mg/L, el patrón que iguale la muestra registra la turbiedad de la misma. Si la muestra ha sido diluida, la lectura debe multiplicarse por la dilución.

#### **e. Sólidos en Suspensión**

- Poner un papel filtro a secar en la estufa por media hora, sacar dejar enfriar en el desecador y pesar.
- Luego tomar una alícuota de la muestra totalmente homogenizada y filtrar en un papel filtro, esperar que toda la muestra haya pasado.

- Secar el papel filtro en la estufa por el espacio de dos horas
- Sacar y colocar en el desecador
- Finalmente pesar el papel que contiene el residuo
  
- Cálculos:

$$ppm (S.S.) = \frac{(P_2 - P_1) * 10^6}{V}$$

Donde:

$P_2$  = Peso del papel filtro después de la prueba (gramos)

$P_1$  = Peso del papel filtro antes del análisis (gramos)

$V$  = Volumen de la muestra en mililitros

#### **f. Sólidos Sedimentables**

- Se llenó un cono de Imhoff hasta la marca del mismo (1 Ltr) con una muestra bien mezclada.
- Se deja sedimentar durante 30 minutos.
- Se registró el volumen de sólidos sedimentables del cono como mililitros por litro.

#### **g. Cloro Residual**

- Este valor se toma directamente en el campo porque el cloro es un elemento que se volatiliza rápidamente.



- Se utilizó una unidad comparadora para determinar cloro con patrones permanentes de cristal.

### 3. **Evaluación del impacto ambiental (EIA)**

Una vez obtenido los valores de la composición del agua residual se obtuvo las medias de cada uno de estos componentes y mediante estimaciones matemáticas se evaluó la cantidad con la que estos elementos son descargados en el río receptor, obteniendo así mediante porcentajes el impacto provocado por la granja.

Además se evaluó el impacto ambiental mediante la matriz de Leopold de causa-efecto para tener una idea de los daños ambientales que provocan estos desechos en términos de descripción física del medio.

### 4. **Propuesta de tratamientos biotecnológicos para aguas residuales**

Mediante consulta bibliográfica, se estudiaron los diferentes tratamientos biológicos que pueden ser aplicadas a las aguas residuales; poniendo énfasis en los valores de caudales del efluente de agua residual de la granja y de los valores de los elementos que la constituyen; para encontrar el mejor o los mejores tratamientos que se adapten a este tipo de descarga, con el propósito que se minimice la contaminación en el río receptor.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### A. DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD MICROBIOLÓGICA Y QUÍMICO-FÍSICO DEL AGUA DE INGRESO DE LA GRANJA (POZOS 1 y 2)

La granja Porcina Don Diego posee 2 fuentes naturales de agua provenientes de pozos, esta es bombeada hacia la superficie y es recogida en 2 cisternas de capacidad de 35000 litros cada una.

#### 1. Calidad microbiológica del agua de ingreso de la granja: POZO 1 y 2

El examen microbiológico constituye el análisis de: recuento heterótrofo de placa o aerobio mesófilos, coliformes totales y coliformes fecales; estos 3 elementos nos indican la calidad del agua y su aptitud para el consumo.

##### a. Pozo 1

De las cuatro muestras tomadas y analizadas para este pozo, se encontraron rangos entre 10 a 16 UFC/mL. de agua para el recuento heterótrofo de placa; las pruebas no arrojaron datos para coliformes totales y fecales.

Comparando estos resultados con los valores de referencia que nos da la norma INEN 1108, el límite máximo permisible para aguas potables en cuanto a estos 3 aspectos estudiados nos dice que debe haber como límite máximo

permisible hasta 30 UFC/mL de recuento heterótrofo de placa y una total ausencia de coliformes totales y fecales.

Lo anteriormente expuesto nos indica que este pozo brinda un agua excelente con respecto a la calidad microbiológica de la misma; y que, de acuerdo al Registro Sanitario del Ministerio de Salud Pública N° 204 expedido en Junio 5 de 1989 en el Art. 19, para su potabilización requieren solo una desinfección.

Cuadro 8. Gráfico1.

#### **b. Pozo 2**

De igual manera se analizaron 4 muestras para este pozo, se encontraron rangos entre 10 a 55 UFC/mL. de agua para el recuento heterótrofo de placa; las pruebas para coliformes totales nos dieron rangos de 0 a 40 NMP/100mL de agua, no se encontró presencia de coliformes fecales.

Comparando estos resultados con los valores de referencia que nos da la norma INEN 1108, el límite máximo permisible para aguas potables en cuanto a estos 3 aspectos estudiados nos dice que debe haber hasta 30 UFC/mL de recuento heterótrofo de placa y una total ausencia de coliformes totales y fecales.

Posiblemente la presencia de mayor número microorganismos en este pozo se deba a que tiene menor profundidad, mayor antigüedad o debido a alguna infiltración de la superficie.

Lo anteriormente expuesto nos indica que este pozo brinda agua de calidad sanitaria aceptable con respecto a la calidad microbiológica de la misma; y que, de acuerdo al Registro Sanitario del Ministerio de Salud Publica expedido en Junio 5 de 1989 en el Art., 19, para su potabilización requieren solo una desinfección. Ver Cuadro 9. Gráfico 2.

**CUADRO 8. RESULTADOS DE EXÁMENES MICROBIOLÓGICOS DEL AGUA DEL POZO 1 DE LA GRANJA PORCINA DON DIEGO**

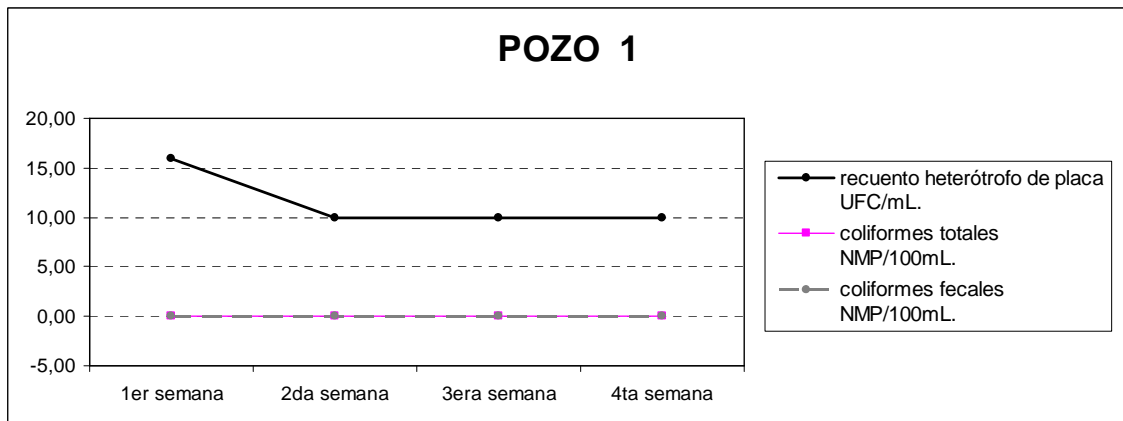
	<b>exámenes microbiológicos</b>		
	<b>recuento heterótrofo de placa UFC/mL.</b>	<b>coliformes totales NMP/100mL.</b>	<b>coliformes fecales NMP/100mL.</b>
<b>1er semana</b>	16,00	0,00	0,00
<b>2da semana</b>	10,00	0,00	0,00
<b>3era semana</b>	10,00	0,00	0,00
<b>4ta semana</b>	10,00	0,00	0,00
<b>INEN 1108 AGUA POTABLE</b>	<b>30,00</b>	<b>ausencia</b>	<b>Ausencia</b>
<b>REGISTRO OFICIAL N° 204 SOLO DESINFECCIÓN</b>	<b>-</b>	<b>100</b>	<b>20</b>

**CUADRO 9. RESULTADOS DE EXÁMENES MICROBIOLÓGICOS DEL AGUA DEL POZO 2 DE LA GRANJA PORCINA DON DIEGO**

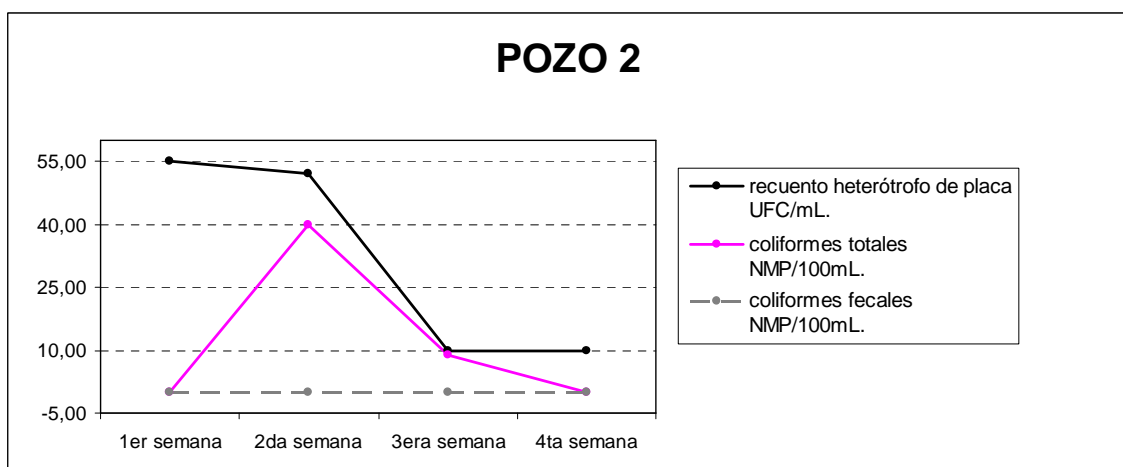
<b>exámenes microbiológicos</b>
---------------------------------

	<b>recuento heterótrofo de placa UFC/mL.</b>	<b>coliformes totales NMP/100mL.</b>	<b>coliformes fecales NMP/100mL.</b>
<b>1er semana</b>	55,00	0,00	0,00
<b>2da semana</b>	52,00	40,00	0,00
<b>3era semana</b>	10,00	9,00	0,00
<b>4ta semana</b>	10,00	0,00	0,00
<b>INEN 1108 AGUA POTABLE</b>	<b>30,00</b>	<b>ausencia</b>	<b>ausencia</b>
<b>REGISTRO OFICIAL N° 204 SOLO DESINFECCIÓN</b>	<b>-</b>	<b>100</b>	<b>20</b>

**GRAFICO 1. Calidad microbiológica del agua del Pozo 1 de la Granja Porcina Don Diego**



**GRAFICO 2. Calidad microbiológica del agua del Pozo 2 de la Granja Porcina Don Diego**



## 2. Calidad físico – químico del agua de ingreso de la granja: POZO 1 y 2

El examen físico-químico constituyó en pruebas de: pH, DBO<sub>5</sub>, DQO, turbiedad y sólidos en suspensión; cuyos resultados sirvieron para conocer la calidad físico-químico del agua y su aptitud para el consumo. Se tomaron 5 muestras, una cada semana.

Además de estos parámetros se midió dureza total, hierro, magnesio y nitratos.

Analizando cada parámetro, y comparándolo con la norma INEN 1108/1983-12, se obtuvo lo siguiente. Cuadro 3:

- La media del nivel de pH es de 6.99 y 7.03 respectivamente para el pozo 1 y 2, observándose que se encuentra dentro de los rangos de límite deseable de la norma INEN 1108 los cuales son de 7 – 8.5.
- En cuanto a la DBO<sub>5</sub>, los valores medios encontrados fueron de: 4.78 y 5.54 mg/L para el pozo 1 y 2 respectivamente, que comparándolo con datos bibliográficos consultados esta dentro de los rangos de 0 – 20 mg/L los cuales corresponden a un agua pura. Pág. 15.
- El examen de DQO según la literatura en aguas no contaminadas deberá ser inferior a 50 mg/L. Este parámetro se usa especialmente para aguas residuales, sin embargo como guarda cierta relación con la DBO<sub>5</sub>, siendo esta última una fracción de la primera que oscila entre el 2% para aguas poco biodegradables y el 70 % para aguas muy biodegradables, vale la



pena integrarlo para tener un valor de referencia. Por lo expuesto puedo decir que los valores medios encontrados para el pozo 1 y 2 fueron de 29.94 y 39.18 mg/L respectivamente lo que corresponde a un agua poco contaminada.

- La relación DBO/DQO según la literatura un agua que no tiene presencia de materia orgánica está dentro de los rangos de 0 - 3. Los valores encontrados para esta relación fueron de 0.18 y 0.14 respectivamente para el pozo 1 y 2.
- Se mide en NTU. El Decreto 475 de 1998 del Ministerio de Salud establece que para agua potable la Turbidez deberá ser inferior a 5 NTU. La turbiedad de estas aguas se encuentra dentro de los rangos de este decreto ya que son de 0.26 y 0.32 NTU respectivamente para el pozo 1 y 2.
- Para los sólidos en suspensión se encontraron rangos medios para el pozo 1 y 2 de 75.2 y 76.8 mg/L respectivamente, la norma INEN establece que para agua potable el límite deseable de los Sólidos deberá ser de a 500 mg/L, por lo que esta agua cumple con la norma.
- La dureza total es alta para los dos tipos de aguas pues rebasan lo que establece la norma INEN 1108 que dice que el agua potable debe tener un límite deseable de 120 mg/L y un límite máximo permisible de 300 mg/L. Los valores encontrados para el pozo 1 y 2 son de 260 y 356 mg/L respectivamente.
- El magnesio se encuentra dentro de los rangos tolerables de la norma para un agua potable que es de 75 mg/L.

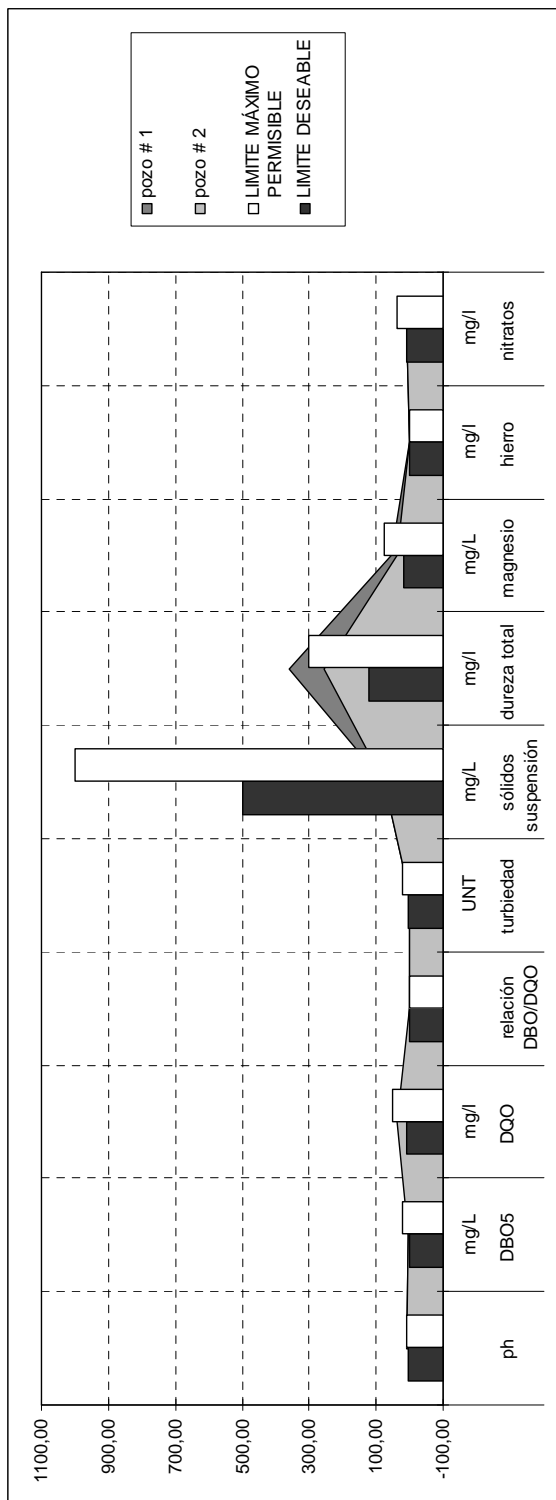
- El hierro se encuentra dentro de los límites máximos permisibles de la norma que son de 0.8 mg/L.
- Los nitratos están dentro del límite deseable de la norma que es de 10 mg/L.

Los resultados de todos los análisis antes mencionados se presentan en el cuadro de resumen en anexos. Anexo 4.

Se trata de una agua que se encuentra en buenas condiciones excepto por los niveles de dureza presente. A pesar de que la dureza no tiene efecto en la seguridad del agua, puede resultar en la acumulación de sarro (mayormente carbonatos de Magnesio, Manganeso, Hierro y Calcio) en el equipo de distribución de agua. Las obstrucciones de caños y bebederos pueden llevar a reducir el consumo de agua y sus problemas asociados. También es importante en su uso doméstico especialmente cuando se usa para el lavado. Las sales de calcio y magnesio, que son los principales constituyentes minerales, consumen jabón y lo precipitan en forma de compuestos insolubles o grumos de jabón. Mientras no se haya precipitado todas las sales de calcio y magnesio no se obtendrá espuma o acción lavadora. El agua con más de 121 mg/L de  $\text{CaCO}_3$  es considerada dura

Los dos pozos presentan agua en igualdad de condiciones sin variaciones evidentes. Cuadro 10. Grafico 3

hierro	nitratos
mg/l	mg/l
0,05	10
0,05	10
0.2 - 0.8	10-40



**B. DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD MICROBIOLÓGICA DEL AGUA DE LAS SECCIONES DE LA GRANJA PORCINA DON DIEGO PARA COMPROBAR LA CONTAMINACIÓN DESDE LA CISTERNA HACIA LOS SITIOS DE CONSUMO DE LOS ANIMALES.**

La granja Porcina Don Diego posee 6 secciones donde se alojan los animales dependiendo de su estado fisiológico, los cuales constituyen la materia prima de la Planta de Embutidos Don Diego; estas secciones se distribuyen de la siguiente forma: galpones de maternidad, galpones de reproductores, galpones de gestación, galpones de recría, galpones de pre-engorde, y galpones de engorde.

Estas secciones se benefician del agua que se recoge de los pozos a la cisterna. Una vez bombeada el agua a las 2 cisternas de capacidad de 35000 litros cada una, se realiza la cloración diaria con un litro de hipoclorito de sodio. Hecho esto el agua es bombeada y a la vez unida con ayuda de 2 bombas con el fin de distribuir el líquido a las diferentes secciones antes mencionadas.

Con el objetivo de verificar el estado del agua con que llega desde la cisterna hacia los diferentes galpones se tomaron muestras de agua en cuatro semanas, las dos primeras semanas antes de realizar la cloración del agua y las dos segundas después de haber realizado la cloración del agua para determinar si este tratamiento resulta eficaz para controlar la proliferación de microorganismos en el agua.

**Para visualizar** los resultados en el presente informe hemos tomado como muestra los resultados microbiológicos de la cisterna que se encuentra ubicada al inicio de la planta y recibe directamente el agua de los pozos y de la sección de engorde que está ubicada al final de la granja, por lo que para llegar al sitio de consumo recorre las instalaciones de conducción total de la granja. Anexo 2.

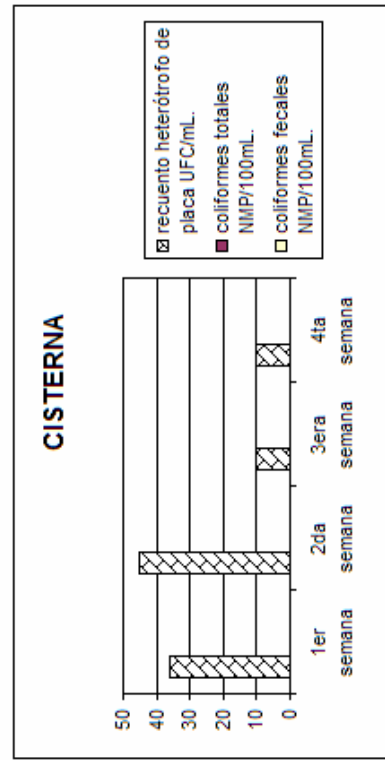
Se comprobó que en las 2 primeras semanas que no se aplicó ningún tratamiento para mejorar la calidad del agua los resultados del laboratorio demuestran que existe un nivel alto de recuento heterótrofo de placa y coliformes totales lo que indica que en el recorrido entre la cisterna y los lugares de consumo el agua se contamina.

En las dos semanas posteriores en que se procede a clorar el agua en la cisterna, las muestras tomadas en esta y en el sitio de consumo; de acuerdo a las pruebas y resultados del laboratorio podemos decir que desaparece la contaminación y que este tratamiento resulta eficaz para potabilizar el agua de la granja. Cuados 11 y 12, Gráficos 4 y 5.

Los exámenes de laboratorio y comprobación de las tomas de las otras secciones constan como anexos. Anexo 5.

**CUADRO 11 RESULTADOS DE EXÁMENES MICROBIOLÓGICOS DE LA CISTERNA DE LA GRANJA PORCINA DON DIEGO**

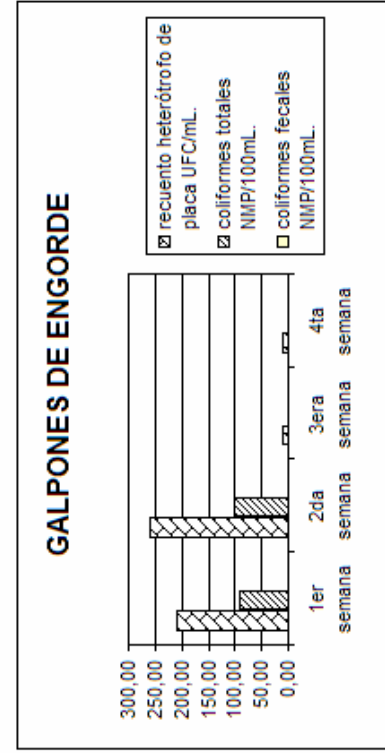
CISTERNA			
recuento heterótrofo de placa UFC/mL.	coliformes totales NMP/100mL	coliformes fecales NMP/100mL	
1er semana	36	0	0
2da semana	45	0	0
3era semana	10	0	0
4ta semana	10	0	0
valores de referencia INEN 1108			
	30,00	ausencia	ausencia



**GRÁFICO 4 Eficacia del tratamiento con cloro en la cisterna**

**CUADRO 12 RESULTADOS DE EXÁMENES MICROBIOLÓGICOS DE LOS GAPONES DE ENGORDE DE LA GRANJA PORCINA**

GALPONES DE ENGORDE			
recuento heterótrofo de placa UFC/mL.	coliformes totales NMP/100mL	coliformes fecales NMP/100mL	
1er semana	210,00	90,00	0,00
2da semana	260,00	100,00	0,00
3era semana	10,00	0,00	0,00
4ta semana	10,00	0,00	0,00
valores de referencia INEN 1108			
	30,00	ausencia	ausencia



**GRÁFICO 5 Eficacia del tratamiento con cloro en los galpones de engorde**

## **C. CARACTERÍSTICAS MICROBIOLÓGICAS Y FÍSICO – QUÍMICAS DEL AGUA RESIDUAL PRODUCIDA POR LA GRANJA DON DIEGO.**

### **1. Composición Microbiológica**

Con respecto los exámenes microbiológico realizado para las aguas residuales sin tratar de la granja, puedo decir que el agua no reúne las condiciones microbiológicas necesarias para ser desfogada en un río receptor, ya que de acuerdo al Ministerio de Sanidad de la República de Italia, su recuento heterótrofo de placa, de coliformes totales y coliformes fecales exceden ampliamente los rangos permitidos para este tipo de descargas. Cuadro 13. Gráfico 6.

Se ha tomado como referencia los datos emitidos por el Ministerio de Sanidad de la República de Italia, por cuanto en nuestro país no existe un rango microbiológico de referencia para este tipo de aguas.

Si se compara con los parámetros establecidos en el Decreto N° 883 de la República de Venezuela para las normas de descarga con respecto a los coliformes totales establece que el NMP no debe ser mayor a de 1.000 por cada 100 ml, en el 90% de una serie de muestras consecutivas y en ningún caso será superior a 5.000 por cada 100 ml. lo que para los resultados obtenidos es superado notablemente. Cuadro 13. Gráfico 6.

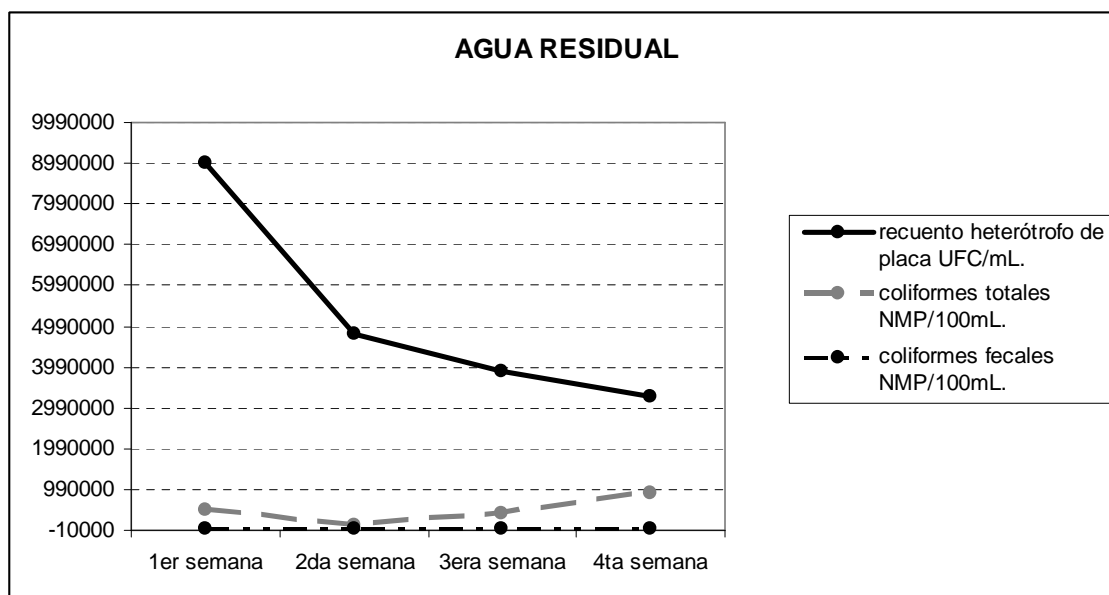
Esto principalmente se debe a la cantidad de materia fecal, que expulsa la granja durante el lavado de los galpones, ya que mucha de esta materia es depositada en los canales de desfogue de la misma.



**CUADRO 13. RESULTADOS DE EXÁMENES MICROBIOLÓGICOS DEL AGUA RESIDUAL EMITIDA POR LA GRANJA PORCINA DON DIEGO**

	exámenes microbiológicos		
	recuento heterótrofo de placa UFC/mL.	coliformes totales NMP/100mL.	coliformes fecales NMP/100mL.
<b>1er semana</b>	$3,7 * 10^6$	$5 * 10^5$	$3,9 * 10^4$
<b>2da semana</b>	$2,2 * 10^6$	$1,1 * 10^5$	$3,28 * 10^4$
<b>3era semana</b>	$1,85 * 10^6$	$4,1 * 10^5$	$4,1 * 10^4$
<b>4ta semana</b>	$9,4 * 10^6$	$9 * 10^5$	$4,72 * 10^4$
<b>Ministerio de Sanidad Republica Italiana</b>	no se indica	< 20000	< 12000
<b>Caracterización de las aguas servidas de la ciudad de Alausí</b>	no se indica	$2,45 * 10^6$	10 500

**GRAFICO 6. Composición microbiológica del agua residual emitida por la Granja Porcina Don Diego**



## 2. Composición Físico – Química

De acuerdo al análisis físico-químicos del agua residual y valiéndome de escritos de la composición de agua residual no tratada puedo decir, que esta agua se clasifica dentro de un agua residual muy cargada, ya que los valores de concentración de cada uno de sus componentes corresponden a cantidades demasiado altas de acuerdo a lo indicado en el cuadro referencial de: composición típica de las aguas residuales doméstica no tratadas. Cuadro 4. Anexo 10.

Refiriéndome a las normas de descargas establecidas por el Registro Oficial N° 204 del Ministerio de Salud Pública, Acuerdo 2144 del 5 de Junio del 1989, capítulo II; esta agua cumple uno de los parámetros, el pH cuyo valor medio obtenido es de 7.86 y en registro oficial establece que debe estar entre los 6 – 9. En cuanto a los otros parámetros como son la DBO<sub>5</sub> y sólidos en suspensión presentan concentraciones muy altas con promedios de 6010 mg/L y 729 mg/L respectivamente, siendo establecida en este registro una remoción de ambos parámetros. Cuadro 14. Pág. 15.

La DBO<sub>5</sub> de 6010 mg/L corresponde a un agua extremadamente contaminada con materia biodegradable ya que se encuentra dentro de los rangos de 3000 - 15000 mg/L que anteriormente citamos en la literatura.

Según el Proyecto de la Norma Ambiental para el Ecuador, Versión Final agosto del 2003; para las normas de descarga de efluentes (Anexo 6), son más específicos para la mayoría de los parámetros medidos, es así que:

<p>Proyecto Norma Ambiental para Límites de Descarga a un Cuerpo de Agua Dulce Versión Agosto 2002</p>	<p>5 - 9</p>	<p>50 mg/L</p>	<p>100 mg/L</p>	<p>100 mg/l</p>	<p>10 mg/L</p>	<p>Remoción &gt; al 99,9%</p>
--------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------	----------------	-----------------	-----------------	----------------	-------------------------------

**CUADRO 14. COMPOSICIÓN FÍSICO – QUÍMICO DEL AGUA RESIDUAL**

### **3. Relación DBO<sub>5</sub>/DQO del las aguas residuales emitidas por la Granja Porcina**

#### **Don Diego**

Los resultados arrojados luego de haber obtenido la relación oscilan entre 0.33 a 0.57 dándonos una media de  $0.48 \approx 0.50$ . Cuadro 15. Gráfico 7.

Estos valores nos dan una idea de la clase de tratamiento que se podría aplicar a este tipo de aguas residuales.

Stevens (1990), señaló que: “los valores de la DQO han de estar en relación con los de la DBO<sub>5</sub>, si la DQO es mucho mayor que la DBO<sub>5</sub> una parte importante de la materia orgánica presente en el agua no será biodegradable. Para las aguas domesticas, la DQO es del orden de 250 a 1000 mg de O<sub>2</sub>/L, la DBO<sub>5</sub> es de orden de 218 a 400 mg/L y la relación DBO<sub>5</sub>/DQO oscila entre 0.4 y 0.8.”

Crites y Tchobanoglous, (2000), expresaron que: “los valores de la relación de la DBO<sub>5</sub>/DQO en aguas residuales no tratadas oscila entre 0.3 y 0.8. Si la relación DBO<sub>5</sub>/DQO para aguas residuales no tratadas es mayor que 0.5, los residuos se consideran fácilmente tratables mediante procesos biológicos. Si la relación DBO<sub>5</sub>/DQO es menor a 0.3, el residuo puede contener constituyentes tóxicos o se pueden requerir microorganismos aclimatados para su estabilización.”

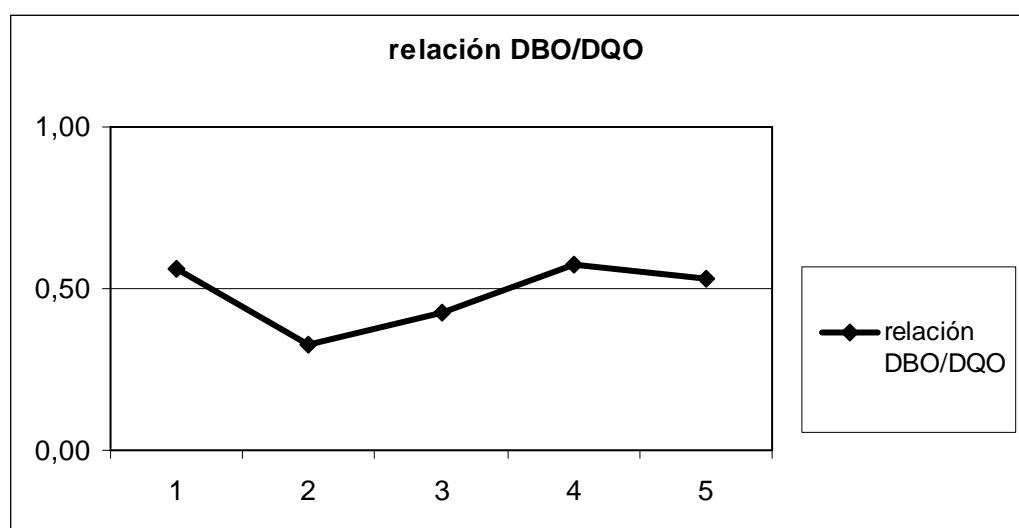
Los resultados antes mencionados nos dan una clara idea de que esta agua residual poseen una gran cantidad de materia orgánica, por lo que es posible aplicar un

tratamiento biológico que nos ayude a disminuir esta materia orgánica antes de desfugarla a un río receptor. Cuadro 15. Gráfico 7.

**CUADRO 15. RELACIÓN DBO<sub>5</sub>/DQO DEL LAS AGUAS RESIDUALES EMITIDAS POR LA GRANJA PORCINA DON DIEGO**

	VALORES		
	DBO mg/L	DQO mg/L	DBO/DQO
1er semana	1800	3200	0,56
2da semana	5700	17400	0,33
3era semana	6970	16320	0,43
4ta semana	7800	13600	0,57
5ta semana	7780	14650	0,53
<b>PROMEDIO</b>	<b>6010</b>	<b>13034</b>	<b>0,48</b>

**GRÁFICO 7. Relación DBO<sub>5</sub>/DQO del las aguas residuales emitidas por la Granja Porcina Don Diego**



## **D. VOLÚMENES CONSUMO Y ENTREGA PROMEDIO DE AGUA A LOS CERDOS DE LA EXPLOTACIÓN**

### **1. Volúmenes de consumo de agua de los animales de la Granja Porcina Don Diego.**

El agua es el nutriente simple más importante para el ganado dentro de la nutrición en general, por lo que es uno de los parámetros que influyen sobre el índice de consumo y conversión tanto cuantitativamente como cualitativamente.

La importancia de una buena agua de bebida a menudo es subestimada, y hay que tomar en cuenta que los cerdos beben una cantidad equivalente a dos veces lo que comen; por lo que es necesario que esta sea potable y estar disponible en la cantidad suficiente para que los cerdos beban lo que necesitan según su fase fisiológica.

En la Granja Porcina Don Diego, el alimento así como el agua son proporcionados a voluntad.

Para establecer la discusión de este punto se utilizaron datos promedios de consumo de alimento que maneja la granja y por otra parte se midió el consumo de cada fase fisiológica de los animales con ayuda de baldes llenos de agua con un volumen conocido ofreciéndolos por 6 horas, luego este valor fue extrapolado a 24 horas.

Según los datos medidos se estableció que los lechones recién destetados y las cerdas que amamantan tienen mayor necesidad de agua que los otros porcinos mayores a

cuatro veces lo que comen de alimento seco. La literatura dice que el ratio de agua/comida cuando son lechones es de 4/1. Además cuanto más alta es la temperatura mayor será el consumo.

Los cerdos ingieren normalmente entre 2 – 3 litros de agua por cada kilogramo de alimento seco, pero puede elevarse hasta 4 – 4.5 litros cuando la temperatura ambiente es alta; por lo que es preferible que los porcinos tengan acceso a bebederos automáticos, en los que se halla agua disponible en todo momento. Cuadro 16. Gráfico 8.

## **2. Entrega promedio de agua a los cerdos de la explotación**

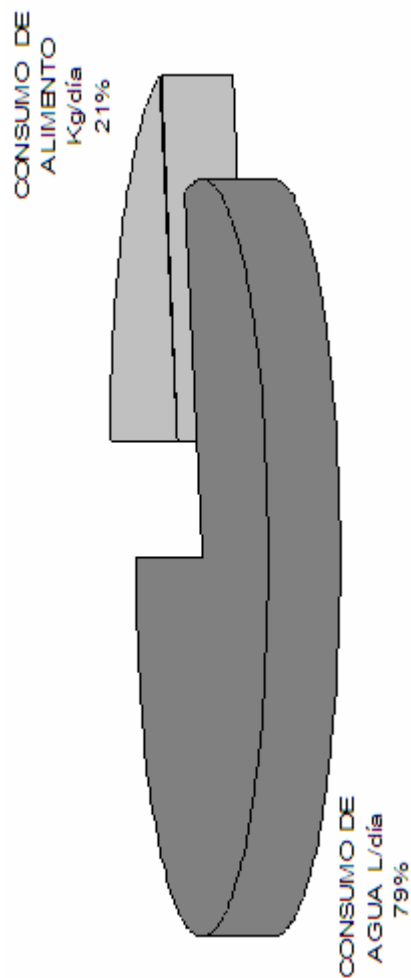
La rata promedio de entrega de agua a los cerdos es de 1212.8 ml/min. y en forma permanente, esto según se citó en la literatura debe ser de 1000 a 1500 ml/min. por lo que considera para el caso de la Granja Porcina Don Diego suficiente para que los cerdos abastezcan las necesidades de consumo diario de agua. Cuadro 17.



**CUADRO 16. CONSUMO DE AGUA Y ALIMENTO PROMEDIO DÍA DE LOS CERDOS DE ACUERDO A SU ESTADO FISIOLÓGICO PORCINA DON DIEGO**

ESTADO FISIOLÓGICO	% DE CONSUMO DE ALIMENTO DIARIO	% DE CONSUMO DE AGUA DIARIO	CONSUMO PROMEDIO DE ALIMENTO Kg/día	LTS. DIARIOS
CERDAS LACTANTES	19,2	80,8	6,90	29,08
CERDAS GESTANTES	21,6	78,4	3,00	10,90
MACHOS REPRODUCTORES	22,5	77,5	2,80	9,65
ENGORDE	23,3	76,7	2,51	8,25
PRE-ENGORDE	21,7	78,3	1,87	6,75
RECRÍA	18,1	81,9	0,63	2,85
<b>PROMEDIO</b>			<b>2,95</b>	<b>11,25</b>
<b>PORCENTAJE %</b>			<b>21</b>	<b>79</b>

**GRAFICO 8. Relación % entre consumo de agua y alimento de los cerdos de acuerdo a su estado fisiológico**



**CUADRO 17. PROMEDIO DE ENTREGA DE AGUA A LOS CERDOS.**

<b>LUGAR</b>	<b>VALOR MEDIO ml/min.</b>
<b>Galpones de Recría</b>	<b>1090</b>
<b>Galpones de Pre- engorde</b>	<b>1200</b>
<b>Galpones de Engorde</b>	<b>1333</b>
<b>Galpones de Maternidad</b>	<b>1153</b>
<b>Galpones de Gestación</b>	<b>1277</b>
<b>Galpón de Reproductores</b>	<b>1224</b>
<b>PROMEDIO</b>	<b>1212.8</b>
<b>LITERATURA LEDOUX 2001 ENTREGA AGUA CERDOS ADULTOS</b>	<b>1000 - 1500</b>

<b>CONSUMO TOTAL DE AGUA EN LA GRANJA PORCINA DON DIEGO</b>	<b>118136.25 litros/día</b>
---------------------------------------------------------------------	-----------------------------

## **E. IMPACTO AMBIENTAL**

### **1. Longitud de contaminación en el río receptor**

Para medir la longitud de contaminación en el río receptor causada por los desechos sin tratar de la Granja Porcina Don Diego se recogió muestras del agua del río receptor río Cutuchi, 20 metros antes de que este pase por la explotación. Anexo 2.

Cabe señalar que la granja tenía un sistema de tratamiento que por condiciones del medio (lluvias) y por la cantidad del efluente de desecho ha colapsado formándose una especie de pantano con vegetación muy densa al final de la esta, donde se alojan los desechos sin tratar que en la actualidad emite la granja porcina, el cual ya está en estado de saturación y los desechos de la explotación se están evacuando directamente en el río receptor. Anexo 2.

Debido a que es difícil determinar el lugar de la descarga ya que esta se produce a lo largo del pantano, mediante estimaciones matemáticas se determinó la posible carga que aporta el agua residual de la granja en el río receptor. Anexo 7.

Según lo anteriormente dicho se obtuvo que los parámetros, principales indicadores de la contaminación de las aguas del río Cutuchi se han incrementado significativamente debido al impacto provocado por la descarga de las aguas residuales no tratadas de la granja porcina bajo estudio así:

- La turbiedad en un 81 %.
- La Demanda Química de Oxígeno en un 37 %.
- La Demanda Bioquímica de Oxígeno en un 34 %.
- Los Sólidos Suspendidos Totales en un 42 %
- Los Coliformes Totales en más del 2200 %.
- Los Coliformes Fecales en un 76 %.

Es decir, que la calidad ambiental del río se perjudica significativamente. Cuadro 18.

Todos los cálculos y resultados de pruebas de laboratorio se encuentran en anexos. Anexos 2 y 7.

## **2. Evaluación del Impacto Ambiental (EIA) provocado por la Granja Porcina Don Diego**

La Evaluación del Impacto Ambiental, se midió según la matriz de Leopold el cual rindió un valor negativo de 131, lo que quiere decir que, la granja porcina bajo estudio es detrimental para la calidad ambiental de la localidad.

Las acciones que más afectan al ambiente local son:

- Los efluentes líquidos industriales (- 56).
- Los olores que se generan en el proceso de producción (- 31).
- Los desechos sólidos que se generan en el proceso de producción.

Los factores ambientales más afectados son:

- La calidad del aire (- 31).
- La salud (- 19).
- Las aguas superficiales (- 15).
- Las áreas de recreación (- 15).
- El paisaje (- 14).

Empleando la matriz causa – efecto de Leopold, la Evaluación del Impacto Ambiental (EIA) actual es como se presenta en el Cuadro 19.

**CUADRO 18. PRINCIPALES PARÁMETROS DEL AGUA DEL RÍO CUTUCHI ANTES Y DESPUÉS DE LA DESCARGA DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA GRANJA PORCINA DON DIEGO SON:**

<b>PARÁMETRO</b>	<b>ANTES</b>	<b>DESPUÉS</b>	<b>% de INCREMENTO</b>
Caudal (m <sup>3</sup> /s)	1,910	1,920	0,52
Ph	8,22	8,35	1,58
Turbiedad (UNT)	2,69	4,86	80,67
Demanda Química de Oxígeno (mg/l)	175	239	36,57
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/l)	91	122	34,06
Sólidos Suspendidos Totales (mg/l)	12	17	41,67
Coliformes Totales (NMP/100 ml)	111	2610	2251
Coliformes Fecales (NMP/100 ml)	67	118	76,11

**CUADRO 19. MATRIZ DE LEOPOLD PARA LA EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL (EIA) ACTUAL PROVOCADO POR LA GRANJA PORCINA DON DIEGO**

ACCIONES	Transformación del suelo	Procesos de producción							Utilización transporte	Afectaciones positivas	Afectaciones negativas	AGREGACIÓN DE IMPACTOS	
		Urbanización	Emplazamiento industrial	Demanda agua	Efluentes líquidos indust.	Olores	Lubrificantes usados	Resechos sólidos					Carreteras
		a	b	c	d	e	f	g					h
<b>FACTORES AMBIENTALES</b>													
1	Calidad del aire		-1	-2	-3	-3		-2	-1	-1	0	13	-31
2	Aguas subterráneas			-1	-1						0	2	-6
	Aguas superficiales				-3			-2			0	5	-15
3	Calidad del suelo				-1			-1		-1	0	3	-9
4	Flora		-2		-1			-1			0	4	-8
5	Suelos agrícolas		-1		-1			-1		-1	0	4	-6
	Estuarios				-1						0	1	-1
6	Paisaje		-1		-1	-2		-1		-1	0	6	-14
7	Salud				-3	-1		-2		-1	0	7	-19
	Condición de vida		2	-1	-2	-2				1	3	5	-7
	Empleo		2								2	0	6
	Migración		1	-1	-1	-2				-1	1	5	-4
	Aspectos culturales		-1			-1					0	2	-2
	Áreas recreación		-1		-3	-2					0	6	-15
<b>Afectaciones positivas</b>			5	0	0	0		0	0	1	6		
<b>Afectaciones negativas</b>			7	5	21	13		9	1	6		62	
<b>AGREGACIÓN DE IMPACTOS</b>			2	-11	-56	-31		-24	-2	-9			-131

## **F. PROPUESTA DE BIOREMEDIACIÓN PARA LAS AGUAS CONTAMINADAS.**

La biotecnología ambiental hace referencia a la aplicación de los procesos biológicos modernos en la protección y restauración de la calidad del medio ambiente.

Mediante consulta bibliográfica, se estudiaron los diferentes tratamientos biológicos que pueden ser aplicadas a las aguas residuales; poniendo énfasis en los valores de caudales del efluente de agua residual de la granja y de los valores de los elementos que la constituyen; para encontrar el mejor o los mejores tratamientos que se adapten a este tipo de descarga, con el propósito que se minimice la contaminación en el río receptor.

El acuerdo del Ministerio de Salud Pública N° 204, Acuerdo 2144 en su título 3ero, Cáp. 1, Art. 8 indica que: “Las aguas residuales previamente a su descarga, deberán ser tratadas sea cual fuere su origen: público o privada por los usos determinados en este reglamento y el Plan Nacional Hidráulico elaborado por INERHI”

### **1. Tecnologías disponibles para el tratamiento de las aguas residuales.**

Crites y Tchobanoglous, (2000), señalan que: “los constituyentes del agua residual se remueven por mecanismos de tipo físico, químico y biológico. Los métodos se clasifican por lo general en:

- Operaciones físicas unitarias: son los métodos de tratamiento en los cuales predomina la aplicación de fuerzas físicas. Se encuentran como



ejemplos la floculación, la sedimentación, la flotación, filtración, tamizado, mezcla y transferencia de gases.

- Procesos químicos unitarios: son los métodos de tratamiento en los cuales la remoción o la transformación de contaminantes se produce por adición de insumos químicos o por reacciones químicas. Los procesos de precipitación, adsorción y desinfección se catalogan como procesos químicos unitarios.
- Procesos biológicos unitarios: la actividad biológica que se produce en estos procesos se denomina así. La principal aplicación de los procesos biológicos unitarios es la remoción de los constituyentes orgánicos biodegradables de las aguas residuales. Estas sustancias se transforman en gases que escapan a la atmósfera, y en tejido celular biológico que puede ser removido por sedimentación.”

Rolim (2000), manifiesta que: “los procesos biológicos de tratamiento de aguas negras se fundamentan en las interrelaciones de los microorganismos entre sí (mutualismo, comensalismo, competición, depredación, etc.) y con el ambiente (condiciones de pH, conductividad eléctrica, temperatura, humedad, etc.).”

## 2. **Tipos de Tratamientos Biológicos**

### a. **Lagunas de estabilización.**

Son el sistema más simple de tratamiento de aguas residuales que existe. Están constituidas por excavaciones poco profundas cercadas por taludes de tierra. Generalmente tienen forma rectangular o cuadrada.

Estos sistemas pueden funcionar en forma independiente o en combinación con otros sistemas de tratamientos de aguas residuales, se utilizan generalmente en comunidades pequeñas.

#### **CUADRO 20. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE UN SISTEMA CON LAGUNAS**

<b>VENTAJAS</b>	<b>DESVENTAJAS</b>
Bajo costo.	Requiere grandes extensiones de terreno.
Requiere mínima capacitación del personal encargado de su operación.	En el efluente se da una concentración elevada de algas que puede ocasionar problemas en fuentes receptoras superficiales.
La evacuación y disposición de lodos se realiza sólo en intervalos de 10 a 20 años.	Las lagunas sin aireación a menudo no cumplen las normas exigentes de vertimiento.
Es compatible con sistemas de tratamiento acuáticos o sobre el suelo.	Las lagunas pueden causar impactos negativos sobre las aguas subterránea si no se impermeabilizan, o si el recubrimiento se daña.
Nulo consumo energético	Un diseño inapropiado o una incorrecta operación pueden generar malos olores.
Necesitan poco o ningún componente importado	
Simples de construir y operar	
Fácil adaptación de variaciones estacionales.	
Posibilidad de tratar vertimientos industriales fácilmente biodegradables. (mataderos, lecherías, etc.)	

**Fuente: Varios Autores. Elaborado por Aldás, A. L. (2004)**

Las lagunas de estabilización se clasifican respecto a los procesos que intervienen en ellas en cuatro tipos:

- Anaerobias.- En este proceso la descomposición de las excretas se lleva a cabo sin la presencia de oxígeno. Las bacterias involucradas son de dos categorías, las que forman ácido o las que sintetizan metano. Las lagunas anaerobias se diseñan para el tratamiento de residuos líquidos con alto contenido de materia orgánica, generalmente aguas residuales de industrias ubicadas en zonas rurales apartadas. Su área de nivel medio no debe exceder de 5 hectáreas.

### CUADRO 21. CARACTERÍSTICAS DE LAS LAGUNAS ANAERÓBIAS

CARACTERÍSTICA	MEDIDA
Profundidad	2.5 – 5 mts
Tiempo de retención hidráulico	2 - 5 días
Remoción de la DBO <sub>5</sub>	60 - 70 %

Fuente: Rolim, (2000)

### CUADRO 22. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LAS LAGUNAS ANAERÓBIAS

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Baja producción de lodos biológicos residuales	Requiere temperaturas relativamente elevadas(30 y 60 °C)
No requiere oxígeno	Generación potencial de malos olores (compuestos sulfurosos)
Requieren áreas bastante reducidas	
Produce metano	

Fuente: Varios Autores. Elaborado por Aldás, A. L. (2004)

- Aerobias.- En este proceso intervienen bacterias aerobias que degradan la celulosa y la lignina muy lentamente. Estos sistemas son aireados naturalmente (fotosíntesis) o mecánicamente. Estas lagunas no son tan profundas para permitir

la penetración de la luz del sol en toda la columna del agua; como resultado, este tipo de lagunas tiene una gran actividad fotosintética durante las horas luz en toda la columna de agua. Se diseñan para el tratamiento de aguas residuales decantadas.

### CUADRO 23. CARACTERÍSTICAS DE LAS LAGUNAS AEROBIAS

CARACTERÍSTICA	MEDIDA
Profundidad	0.8 – 1.2 mts
Tiempo de retención hidráulico	5 días
Remoción de la DBO <sub>5</sub>	65 – 75%

Fuente: Crites y Tchobanoglous, (2000)

### CUADRO 24. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LAS LAGUNAS AEROBIAS

VENTAJAS	DESVENTAJAS
No produce malos olores	Se pierde el valor fertilizante de los desechos
Fuente de nutrimentos para el crecimiento de algas y peces	Su aplicación se limita a climas cálidos y soleados
La economía en equipos y personal	Gran cantidad de terreno
	Gran producción de algas

Fuente: Varios Autores. Elaborado por Aldás, A. L. (2004)

- Facultativas.- Dentro de una misma unidad se llevan a cabo tanto el proceso anaerobio como aerobio, en el fondo de la laguna se lleva a cabo el primero y en la superficie el segundo. Son las más usadas y versátiles entre las diferentes clases de lagunas; se conocen también como lagunas de estabilización. El tratamiento se desarrolla por acción de bacterias aerobias en la capa superior y de bacterias anaerobias o anóxicas en la capa inferior, dependiendo de la mezcla que se induce

por acción del viento. Requiere una extensión de terreno considerable y, por tanto, suelen construirse en zonas rurales.

#### CUADRO 25. CARACTERÍSTICAS DE LAS LAGUNAS FACULTATIVAS

CARACTERÍSTICA	MEDIDA
Profundidad	1.5 – 2 mts.
Tiempo de retención hidráulico	7 -110 días
Remoción de la DBO	60 a 85 %

Fuente: Varios Autores. Elaborado por Aldás, A. L. (2004)

#### CUADRO 26. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LAS LAGUNAS FACULTATIVAS

VENTAJAS	DESVENTAJAS
No emite malos olores	Extensión de terreno considerable
Economía y reducción en el personal	

Fuente: Varios Autores. Elaborado por Aldás, A. L. (2004)

- Maduración.- Tienen la principal finalidad de reducir los coniformes fecales (CF) contenidos en los desechos de las aguas residuales. Con adecuado dimensionamiento pueden conseguirse remociones de coliformes fecales mayores al 99,99%. El área máxima de su nivel medio no debe sobrepasar de 2 hectáreas.

#### CUADRO 27. CARACTERÍSTICAS DE LAS LAGUNAS DE MADURACIÓN.

CARACTERÍSTICA	MEDIDA
Profundidad	0.6 -1.5 mts.
Tiempo de retención hidráulico	3 - 10 días

Remoción de la DBO	70 - 80 %
--------------------	-----------

Fuente: Varios Autores. Elaborado por Aldás, A. L. (2004)

### CUADRO 28. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LAS LAGUNAS DE MADURACIÓN.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
No emite malos olores	Extensión de terreno considerable
Economía y reducción en el personal	
Remoción de coliformes fecales mayor al 99.9%	

Fuente: Varios Autores. Elaborado por Aldás, A. L. (2004)

#### b. Digestores anaeróbicos

La digestión es un proceso microbiológico que convierte el lodo, orgánicamente complejo, en metano, dióxido de carbono y un material inofensivo similar al humus. Las reacciones se producen en un tanque cerrado o digestor, y son anaerobias, esto es, se producen en ausencia de oxígeno. La conversión se produce mediante una serie de reacciones. En primer lugar, la materia sólida se hace soluble por la acción de enzimas. La sustancia resultante fermenta por la acción de un grupo de bacterias productoras de ácidos, que la reducen a ácidos orgánicos sencillos, como el ácido acético. Entonces los ácidos orgánicos son convertidos en metano y dióxido de carbono por bacterias. Se añade lodo espesado y calentado al digestor tan frecuentemente como sea posible.

Por medio de éstos se obtiene energía. Las excretas al ser digeridas de manera anaerobia forman biogás, el que puede ser recuperado, filtrado, comprimido e introducido a

dispositivos de gas y ser empleado como combustible para calentamiento, enfriamiento.

El proceso se desarrolla dentro de un reactor libre de oxígeno.

#### CUADRO 29. CARACTERÍSTICAS DE LOS DIGESTORES ANAEROBIOS

CARACTERÍSTICA	MEDIDA
Dimensión	Depende del caudal de entrada del afluente
Tiempo de retención hidráulico	10 – 30 días
Remoción de la DBO	90%

Fuente: Crites y Tchobanoglous, (2000)

#### CUADRO 30. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS DIGESTORES ANAEROBIOS

VENTAJAS	DESVENTAJAS
El lodo del reactor se retira en forma continua o intermitente	Alto costo
Residuo con contenido orgánico reducido	Remoción del grupo coliformes despreciable
Producción de gas metano (CH <sub>4</sub> ) y dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> ), o biogás	
Emisión de olores es baja	

Fuente: Varios Autores. Elaborado por Aldás, A. L. (2004)

#### c. Filtro biológico de goteo

En este proceso, una corriente de aguas residuales se distribuye intermitentemente sobre un lecho o columna de algún medio poroso revestido con una película gelatinosa de microorganismos que actúan como agentes destructores. La materia orgánica de la corriente de agua residual es absorbida por la película microbiana y transformada en dióxido de carbono y agua. El proceso de goteo, cuando va precedido de sedimentación, puede reducir cerca

de un 85% la DBO<sub>5</sub>. Utilizan equipos de bombeo muy costosos y consumen grandes cantidades de energía. Tienden a sobrecargarse.

#### **d. Lodos activados**

Se trata de un proceso aeróbico en el que partículas gelatinosas de lodo quedan suspendidas en un tanque de aireación y reciben oxígeno. Las partículas de lodo activado, llamadas floc, están compuestas por millones de bacterias en crecimiento activo aglutinadas por una sustancia gelatinosa. El floc absorbe la materia orgánica y la convierte en productos aeróbicos. La reducción de la DBO<sub>5</sub> fluctúa entre el 60 y el 85 por ciento. Un importante acompañante en toda planta que use lodo activado o un filtro de goteo es el clarificador secundario, que elimina las bacterias del agua antes de su descarga. Utilizan equipos de bombeo muy costosos y consumen grandes cantidades de energía. Tienden a sobrecargarse.

#### **e. Plantas acuáticas**

Las plantas acuáticas han sido utilizadas para el tratamiento de aguas residuales en pantanos naturales o artificiales, donde dichas plantas proliferan considerablemente. El fundamento de este tipo de tratamiento consiste en que los compuestos presentes en el agua son absorbidos e incorporados dentro de la estructura de las plantas acuáticas, logrando eliminar la contaminación del agua y favoreciendo la restauración de la calidad de la misma.

Este tipo de tratamiento biológico ha adquirido importancia y se ha considerado como una de las opciones más adecuadas para las ciudades medianas y pequeñas que dispongan de tierras marginales. Además, con base en los



estudios de remoción de compuestos tóxicos por plantas acuáticas, se pueden considerar a los sistemas de tratamiento con plantas acuáticas como una alternativa ecológica y económicamente viable no sólo para el tratamiento de los efluentes municipales sino también para efluentes industriales.

Sin embargo estas plantas, han sido consideradas por varios autores como una plaga debido a su rápido crecimiento, ya que en ocasiones llegan a invadir lagunas y generan varios problemas como la proliferación de insectos; además la presencia de insectos y de larvas de estos atrae a las ranas, que a su vez atraen a roedores, y estos a las serpientes. Si las plantas acuáticas no se cosechan periódicamente pueden incluso comprometer la seguridad de la laguna, ya que los roedores excavan túneles por los que se producen infiltraciones. Por lo que, si las plantas acuáticas se manejan adecuadamente, su poder de proliferación, su capacidad de absorción de nutrientes y bioacumulación de otros compuestos del agua, las convierten en una herramienta útil en el tratamiento de aguas residuales.

### **3. Alternativas de implementación de tratamiento biológico para las aguas residuales de la Granja Porcina Don Diego.**

#### **a. Digestor anaerobio y lagunas de maduración.**

Teniendo en cuenta el bajo nivel de sólidos sedimentables, los relativamente altos coeficientes de biodegradabilidad, así como la poca disponibilidad de terreno, se

propone la digestión anaerobia con digester de alta carga, con 15 d de tiempo de retención, poseen eficiencias de remoción de la DBO soluble de entrada de hasta 92 %<sup>1</sup>.

El cálculo del digester es como sigue<sup>2</sup>:

- $Q = 870 \text{ m}^3/\text{d}$
- $S_0 = 6010 \text{ mg/l}$  (DBO<sub>5</sub> a 20°C) (valor medio)
- $t = 15 \text{ d}$
- Reactor de forma cilíndrica circular recta

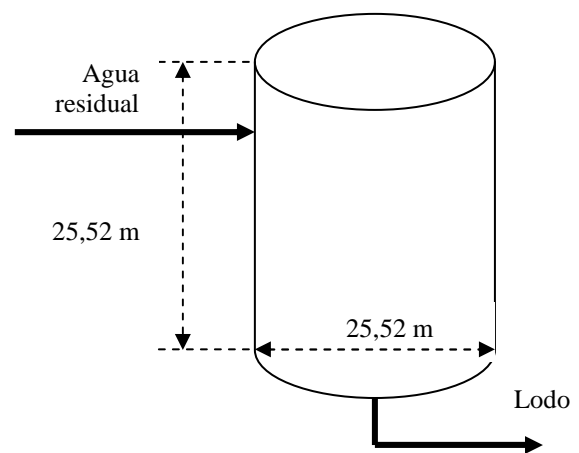
$$t = \frac{V}{Q}$$

$$V = Qxt$$

$$V = 870 \text{ m}^3 / \text{d} \times 15 \text{ d}$$

$$V = 13050 \text{ m}^3$$

$$V = \pi r^2 h \text{ con } h = d = 2r$$



$$13050 = \pi r^2 (2r) \Rightarrow r = \sqrt[3]{\frac{13050}{2\pi}} \Rightarrow r = 12,76 \text{ m} \Rightarrow h = 25,52 \text{ m}$$

La DBO<sub>5</sub> se reducirá en un 90 %, por lo que la correspondiente al efluente del digester será de:

$$S_e = 6010(1 - 0,90)$$

<sup>1</sup> MONTALVO, S.J. y GUERRERO L. (2004). Tratamiento Anaerobio de Residuos. Producción de Biogás. Basada en Talleres Latinoamericanos de Digestión Anaerobia. Universidad Técnica Federico Santamaría. Valparaíso, Chile.

<sup>2</sup> LEIVA, A. (2003). Tratamiento de Aguas Residuales Industriales. Universidad del Valle, Cali, Colombia.

$$S_e = 601 \text{ mg/l}$$

Este valor de DBO sigue siendo alto para ser evacuado en el río receptor, por lo que se recomienda unirlo a otra forma de tratamiento como son las lagunas de maduración que nos permiten remover la DBO hasta en un 70 - 80% y coliformes fecales hasta en un 99.99%. Cuadro 25.

El cálculo de la laguna de maduración es como sigue:

### Lagunas de maduración<sup>3</sup>

a) Cantidad probable de lagunas de maduración necesarias en el sistema

$$N = \frac{\log N_i / N_e}{\log(1 + K_b T_{MAD})} = \frac{\log(4,0 \times 10^4 / 400)}{\log(1 + 1,651 \times 6)}$$

$$N = 1,92 \approx 2 \text{ lagunas}$$

$N_i$  = NMP/100 ml de Coliformes Fecales del influente =  $4,0 \times 10^4$

$N_e$  = NMP/100 ml de Coliformes Fecales del efluente = 400

$K_b$  = Coeficiente de velocidad de remoción de Coliformes Fecales =  $1,651 \text{ d}^{-1}$

$T_{MAD}$  = Tiempo de retención de la laguna de maduración = 6 d

b) Área de la laguna de maduración

$$A = \frac{Q_{\acute{a}x} T_{MAD}}{h}$$

$h$  = Profundidad de la laguna de maduración = 1,5 m

<sup>3</sup> ROLIM, S. (2000). Sistemas de Lagunas de Estabilización. Ed. Nomos S.A., Bogotá, Colombia.

$$A = \frac{870 \times 6}{1,5}$$

$$A = 3480 \text{ m}^2 = 0,348 \text{ ha} \times 2 = 0.70 \text{ ha} < 2 \text{ ha} \text{ (Se acepta)}$$

c) Concentración de  $\text{DBO}_5$  en el efluente de las lagunas de maduración

$$S_e = S_0 (1 - E)$$

- $S_e$  = Concentración de  $\text{DBO}_5$  en el efluente
- $S_0 = 601 \text{ mg/l}$  ( $\text{DBO}_5$  a  $20^\circ\text{C}$ )
- $E$  = Eficiencia de la laguna de maduración = 75 %

$$S_{e1} = 601(1 - 0,75) = 150,00 \text{ mg/l}$$

$$S_{e2} = 150(1 - 0,75) = 37,50 \text{ mg/l} < 100 \text{ mg/l} \text{ (Se acepta)}$$

d) Porcentaje de reducción de  $\text{DBO}_5$  en el sistema del digester anaerobio y las lagunas de maduración

$$E_{\text{DBO}_5} = \frac{S_0 - S_e}{S_0} \times 100 = \frac{6010 - 37.5}{6010} \times 100$$

$$E_{\text{DBO}_5} = 99,38 \%$$

h) Número de dispersión<sup>4</sup>

$L/W$  = Relación largo / ancho de la laguna de maduración = 3

$$d = \frac{\frac{L}{W}}{-0,26118 + 0,25392 \left(\frac{L}{W}\right) + 1,01368 \left(\frac{L}{W}\right)^2} = \text{número de dispersión}$$

$$d = \frac{3}{-0,26118 + 0,25392 (3) + 1,01368 (3)^2}$$

$$d = 0,31173$$

i) Coeficiente  $a$

$$a = \sqrt{1 + 4 K_b T_{MAD} d} = \sqrt{1 + 4 \times 1,651 \times 6 \times 0,31173}$$

$K_b$  = Coeficiente de remoción de CF en  $d^{-1} = 1.651$

$$a = 3,654$$

j) Concentración de CF en el efluente de las lagunas de maduración

$$\frac{N_e}{N_i} = \frac{4 a e^{(1-a)/2d}}{(1+a)^2} = \frac{4 \times 1,749 e^{(1-3,654)/2 \times 0,31173}}{(1+3,654)^2}$$

- $N_e$  = Concentración de Coliformes Fecales en el efluente
- $N_i$  =  $4 \times 10^4$  NMP/100ml de Coliformes fecales

<sup>4</sup> YÁNEZ, F. y PESCOD, M. B. (1988). Wastewater Treatment and Reuse in Jordan, UNDP/World Bank Integrated Resource Recovery Project, Joint Misión Report.

$$N_{e1} = 1459.25 \text{ células} / 100 \text{ ml}$$

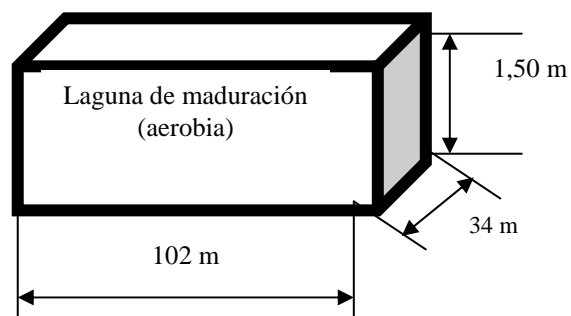
$$N_{e2} = 53.19 \text{ células} / 100 \text{ ml} < 400 \text{ (Se acepta)}$$

k) Porcentaje de reducción de  $CF/100 \text{ ml}$  en el sistema

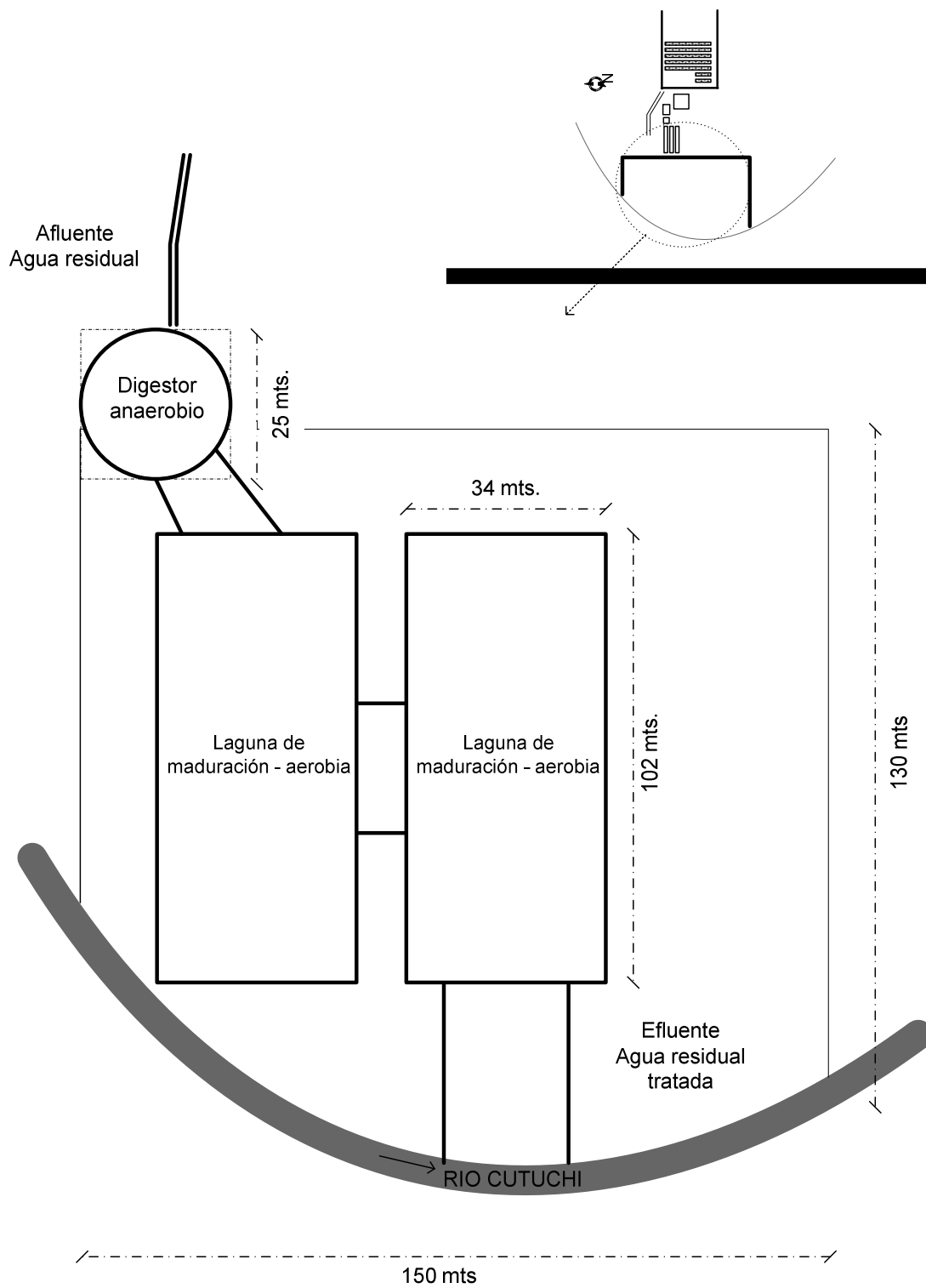
$$E_{CF} = \frac{N_i - N_e}{N_i} \times 100 = \frac{40000 - 53.19}{40000} \times 100$$

$$E_{CF} = 99.87 \%$$

Un diagrama dimensionado de la laguna de maduración sería:



## Diseño de construcción



**Presupuesto del digester de tanque circular y de la laguna de maduración.**

**Biodigester de Tanque Circular: Capacidad = 13 050 m<sup>3</sup>**

<b>RUBRO</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>PRECIO UNITARIO</b>	<b>PRECIO TOTAL</b>
Relleno compactado	m <sup>3</sup>	64	10,20	652,80
Cimentación	m <sup>3</sup>	24	81,00	1 944,00
Acero estructural	Kg.	50 000	1,00	50 000,00
Hormigón simple en muros	m <sup>3</sup>	410	120,00	49 200,00
<b>TOTAL</b>				<b>101 796,80</b>

**Lagunas de Maduración: Capacidad = 5 202 m<sup>3</sup> cada una**

<b>RUBRO</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>PRECIO UNITARIO</b>	<b>PRECIO TOTAL</b>
Movimiento de tierra	m <sup>3</sup>	10 404,40	1	10 404,40
Geomembrana	m <sup>2</sup>	7 752	4,95	38 372,40
<b>TOTAL</b>				<b>48 776,60</b>

<b>TOTAL</b>	<b>140 169,40</b>
--------------	-------------------

**b. Sistemas de lagunas de maduración.**



Otra alternativa de tratamiento biológico sería la construcción de un sistema de lagunas las mismas que tienen un gran potencial de remoción de coliformes fecales en hasta un 99.9% y de DBO de hasta un 70 - 80%. Cuadro 25.

El cálculo de la laguna de maduración es como sigue:

### Laguna de maduración<sup>5</sup>

a) Cantidad probable de lagunas de maduración necesarias en el sistema

$$N = \frac{\log \frac{N_i}{N_e}}{\log(1 + K_b T_{MAD})} = \frac{\log \left( \frac{4,72 \times 10^4}{40} \right)}{\log(1 + 1,651 \times 6)}$$

$N_i$  = NMP/100 ml de Coliformes Fecales del afluyente =  $4,72 \times 10^4$

$N_e$  = NMP/100 ml de Coliformes Fecales del efluente = 40

$K_b$  = Coeficiente de velocidad de remoción de Coliformes Fecales =  $1,651 \text{ d}^{-1}$

$T_{MAD}$  = Tiempo de retención de la laguna de maduración = 6 d

$$N = 2,96 \approx 3 \text{ lagunas}$$

b) Área de la laguna de maduración

$$A = \frac{Q_{axd} T_{MAD}}{h}$$

$h$  = Profundidad de la laguna de maduración = 1,5 m

<sup>5</sup> ROLIM, S. (2000). Sistemas de Lagunas de Estabilización. Ed. Nomos S.A., Bogotá, Colombia.

$$A = \frac{983 \times 6}{1,5}$$

$$A = 3932 \text{ m}^2 = 0,393 \text{ ha} \times 3 \text{ lagunas} = 1.18 \text{ ha} < 2,5 \text{ ha (Se acepta)}$$

d) Concentración de DBO<sub>5</sub> en el efluente de las lagunas de maduración

$$S_e = S_0 (1 - E)$$

- $S_e$  = Concentración de DBO<sub>5</sub> en el efluente
- $S_0 = 7\,800 \text{ mg/l}$  (DBO<sub>5 a 20°C</sub>) (valor máximo)
- $E$  = Eficiencia de la laguna de maduración = 75 %

$$S_{e1} = 7800(1 - 0,75) = 1\,950,00 \text{ mg/l}$$

$$S_{e2} = 1950(1 - 0,75) = 487,50 \text{ mg/l}$$

$$S_{e3} = 487.5(1 - 0,75) = 121.88 \text{ mg/l}$$

e) Concentración de CF en el efluente de la laguna de maduración

- Número de dispersión<sup>6</sup>

$L/W$  = Relación largo / ancho de la laguna de maduración = 3

$$d = \frac{L/W}{-0,26118 + 0,25392 \left(\frac{L}{W}\right) + 1,01368 \left(\frac{L}{W}\right)^2} = \text{número de dispersión}$$

$$d = \frac{3}{-0,26118 + 0,25392 (3) + 1,01368 (3)^2}$$

<sup>6</sup> YÁNEZ, F. y PESCOD, M. B. (1988). Wastewater Treatment and Reuse in Jordan, UNDP/World Bank Integrated Resource Recovery Project, Joint Misión Report.

$$d = 0,31173$$

- Coeficiente  $a$

$$a = \sqrt{1 + 4K_b T_{MAD} d} = \sqrt{1 + 4 \times 1,651 \times 6 \times 0,31173}$$

$K_b$  = Coeficiente de remoción de CF en  $d^{-1} = 1.651$

$$a = 3,654$$

- Concentración de coliformes fecales en las lagunas:

$$\frac{N_e}{N_i} = \frac{4a e^{(1-a)/2d}}{(1+a)^2} = \frac{4 \times 1,749 e^{(1-3,654)/2 \times 0,31173}}{(1+3,654)^2}$$

- $N_e$  = Concentración de Coliformes Fecales en el efluente
- $N_i$  = 4,72 NMP/100ml de Coliformes fecales (valor máximo)

$$N_{e1} = 1397,36 \text{ células} / 100 \text{ ml}$$

$$N_{e2} = 41,37 \text{ células} / 100 \text{ ml}$$

$$N_{e3} = 1,22 \text{ células} / 100 \text{ ml} < 40 \text{ células} / 100 \text{ ml (Se acepta)}$$

d) Porcentaje de reducción de  $DBO_5$  en el sistema de lagunas de maduración

$$E_{DBO_5} = \frac{S_0 - S_e}{S_0} \times 100 = \frac{7800 - 121,88}{7800} \times 100$$

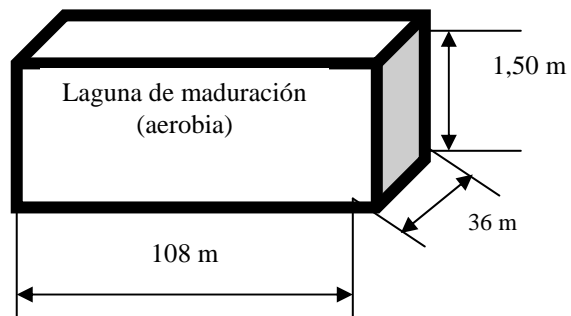
$$E_{DBO_5} = 98,44 \%$$

k) Porcentaje de reducción de CF/100 ml en el sistema

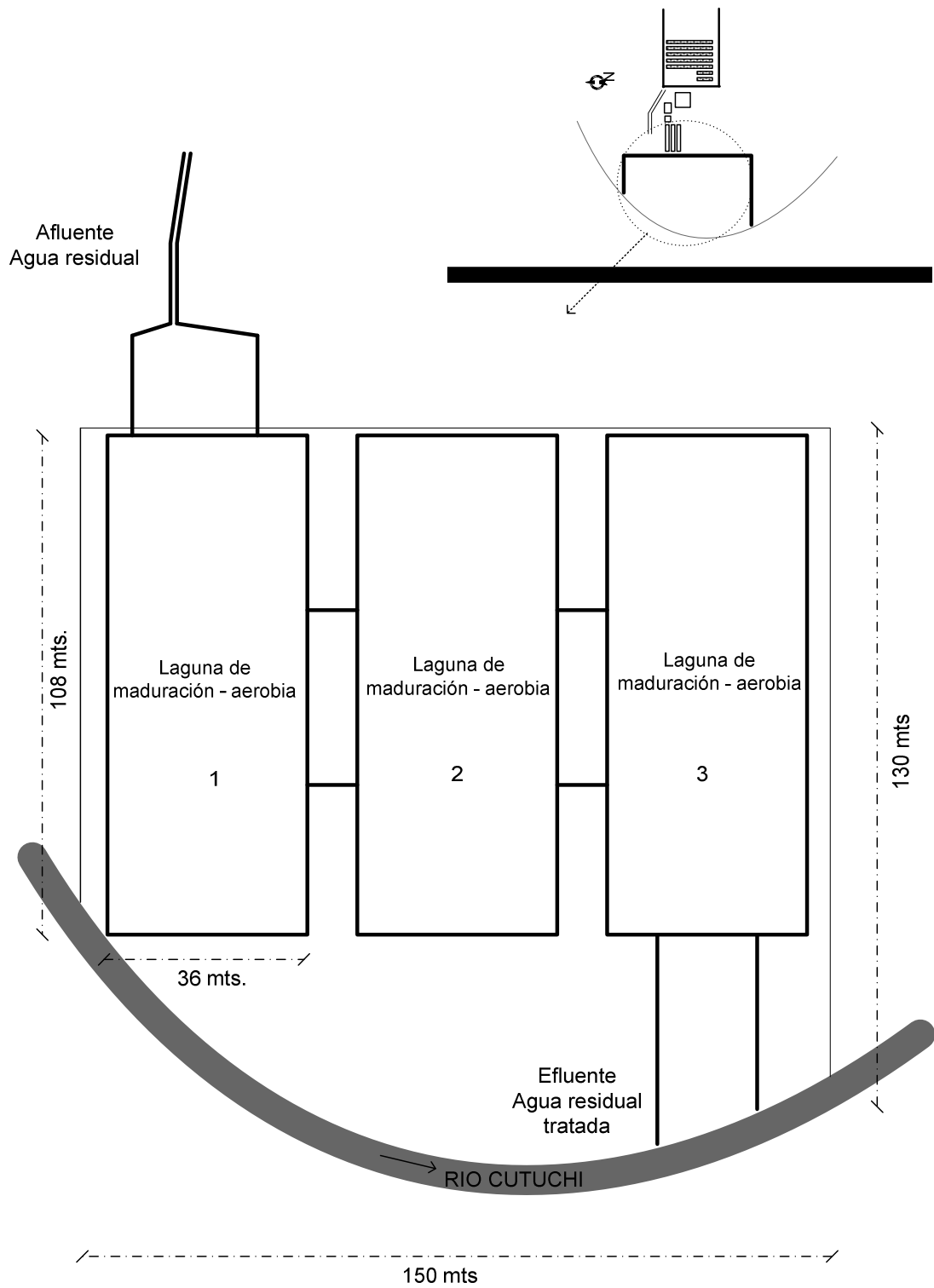
$$E_{CF} = \frac{N_i - N_e}{N_i} \times 100 = \frac{42700 - 1,22}{42700} \times 100$$

$$E_{CF} = 99,9 \%$$

Un diagrama dimensionado de las lagunas de maduración sería:



## Diseño de construcción



**Presupuesto las lagunas de maduración.**

**Lagunas de Maduración: Capacidad = 5 832 m<sup>3</sup> cada una**

<b>RUBRO</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>PRECIO UNITARIO</b>	<b>PRECIO TOTAL</b>
Movimiento de tierra	m <sup>3</sup>	17 496,00	1	17 496,00
Geomembrana	m <sup>2</sup>	12 906,00	4,95	63 884,70
<b>TOTAL</b>				<b>81 380,70</b>

<b>TOTAL</b>	<b>81 380,70</b>
--------------	------------------

Empleando la matriz causa – efecto de Leopold, la Evaluación del Impacto Ambiental (EIA) futura, es decir, una vez implementada cualquiera de las propuestas de la investigación, es como sigue en el Cuadro 29:

**CUADRO 31. MATRIZ DE LEOPOLD PARA LA EVALUACIÓN DEL  
IMPACTO AMBIENTAL (EIA) FUTURO PROVOCADO POR  
LA GRANJA PORCINA DON DIEGO**

ACCIONES		Transformación del suelo		Procesos de producción					Utilización transporte	AGREGACIÓN DE IMPACTOS					
		Urbanización	Emplazamiento industrial	Demanda agua	Efluentes líquidos indust.	Olores	Lubricantes usados	Desechos sólidos	Carteretas				Disposit. desech. Sólid.	Afectaciones positivas	Afectaciones negativas
		a	b	c	d	e	f	g	h				i		
<b>FACTORES AMBIENTALES</b>															
1	Calidad del aire		-1	-2		-1		-2	-1	-1	0	8	-16		
2	Aguas subterráneas			-1							0	1	-3		
	Aguas superficiales							-2			0	2	-6		
3	Calidad del suelo							-1		-1	0	2	-6		
4	Flora		-2					-1			0	3	-6		
5	Suelos agrícolas		-1					-1		-1	0	3	-4		
	Estuarios				-1						0	1	-1		
6	Paisaje		-1			-1		-1		-1	0	4	-9		
7	Salud				-1	-1		-2		-1	0	5	-13		
	Condición de vida		2	-1	-1	-1				1	3	3	-1		
	Empleo		2								2	0	6		
	Migración		1	-1		-1				-1	1	3	-2		
	Aspectos culturales		-1			-1					0	2	-2		
	Áreas recreación		-1		-1	-1					0	7	-7		
<b>Afectaciones positivas</b>			5	0	0	0		0	0	1	6				
<b>Afectaciones negativas</b>			7	5	4	7		10	1	6		40			
<b>AGREGACIÓN DE IMPACTOS</b>			2	-11	-10	-16		-24	-2	-9			-70		

Es decir, que la calidad ambiental mejora según el siguiente cálculo, en un 47 %, lo cual es significativo:

$$\% \text{ Mejoría de la Calidad Ambiental} = \frac{131 - 70}{131} \times 100 = 47\%$$

De manejarse de manera ambientalmente apropiada los desechos sólidos del proceso de producción, el porcentaje de mejoría obtenido podría aumentar hasta 62 – 63 %.



## V. CONCLUSIONES

Los análisis realizados nos permiten llegar a las siguientes conclusiones:

1. En lo referente a la calidad microbiológica de agua de ingreso de la granja (pozos 1 y 2), podemos concluir que brindan agua de calidad sanitaria, especialmente el pozo 1. Del pozo 2 obtuvimos de coliformes totales lo que indica que hay una fuente de contaminación mismo o tal vez se deba a su menor profundidad con respecto al pozo 2; sin embargo esta agua pueden ser potabilizadas solo con una desinfección de acuerdo al Registro Oficial Ecuatoriano del 5 de junio de 1989, N° 2144.
2. La calidad físico-química del agua de ingreso a la granja (pozos 1 y 2), de acuerdo a los análisis y comparándolos con las normas, se encuentra en buenas condiciones para ser utilizada como agua de bebida; excepto por los niveles de dureza presentes (360 y 256 mg/L respectivamente para el pozo 1 y 2 ), pero que según las investigaciones consultadas no tienen efecto en la seguridad de la misma para bebida; no obstante puede causar obstrucciones en cañerías de distribución y bebederos reduciendo así el consumo de agua por parte de los animales.
3. Los análisis microbiológicos de las secciones de la granja para las dos primeras semanas de pruebas se concluye que en el recorrido entre la cisterna y los lugares de consumo el agua se contamina por los niveles de aerobio mesófilos y coliformes encontrados en las últimas secciones de la misma; por el contrario en

los análisis microbiológicos de las dos semanas posteriores en las que se aplicó cloro al sistema se pudo observar que esta contaminación se controló por lo que este tratamiento resulta eficaz para potabilizar el agua de la granja en estudio.

4. Con respecto a las aguas residuales emitidas por la granja, concluimos que tanto sus constituyentes físico-químicos como microbiológicos indican que son aguas muy cargadas de materia orgánica contaminante por lo que no son aptas para ser evacuadas en ninguna fuente receptora.
5. La relación  $DBO_5/DQO$  para las aguas residuales de la Granja Porcina Don Diego señala que tienen un alto coeficiente de biodegradabilidad (0.48), por lo que se debe considerar utilizar un tratamiento biológico para reducir su carga orgánica causante de contaminación.
6. Las aguas residuales emitidas en la actualidad por la Granja Porcina Don Diego no tienen sitio de desfogue por lo que sus aguas negras han formado una especie de pantano que desfoga en el río receptor (Río Cutuchi), por lo tanto contribuyen a la contaminación del mismo y del medio ambiente causando un impacto ambiental en esta zona especialmente en los aspectos del efluente con abundante carga orgánica y de microorganismos patógenos y además las acciones que más afectan al ambiente son olores, desechos sólidos, paisaje, áreas de recreación, salud, etc.
7. Con respecto a los valores encontrados en la agregación de impactos actual (-131) y futuro (-70) en la Matriz de Leopold, se observa que si se

llegara a implementar por lo menos uno de los sistemas de tratamiento biológico que aquí se recomienda se lograría mitigar en aproximadamente un 47% el impacto ambiental provocado por este tipo de vertidos de aguas residuales al ambiente. De manejarse de manera ambientalmente apropiada los desechos sólidos del proceso de producción, el porcentaje de mejoría obtenido podría aumentar hasta 62–63 %.

8. El mejor tratamiento es el sistema del digestor con las dos lagunas de maduración con el que se lograría bajar los niveles de  $\text{DBO}_5$  hasta en un 99.38% y de coliformes fecales hasta en un 99.87.

## VI. RECOMENDACIONES

En base a las conclusiones podemos formular las siguientes recomendaciones:

1. Seguir con la desinfección diaria del agua de bebida con hipoclorito de calcio pues resulta efectivo para tratarla, no amerita un tratamiento convencional, de este modo se está evitando la contaminación en el proceso de distribución de la misma en la granja. Es necesario que la cloración se responsabilice a una persona con conocimientos suficientes para garantizar cantidades, medidas y tiempo exacto para su eficiencia.
2. Se necesita tratar la dureza de las aguas de ingreso de la granja para evitar posibles obstrucciones que podrían ocurrir en los canales de distribución y en los bebederos, además se podría bajar el gasto de detergentes. Es posible el tratamiento con cal débil o deshidratada o por un proceso de intercambio iónico utilizando ceolita como ablandador.
3. Tanto los pozos como las cisternas deben ser complementados con un sistema de protección (caseta o tapas), para evitar contaminaciones fortuitas que incidirían en la calidad del agua.
4. Se recomienda la revisión periódica del sistema de conducción desde la cisterna hasta las diferentes secciones donde se produce el consumo ya que el tiempo o la

calidad de la tubería e implementos de conducción y expendio tienen una vida útil determinada.

5. Es necesario implementar de forma urgente un sistema de tratamiento biológico de las aguas residuales de la Granja Porcina Don Diego, atendiendo a la composición de la misma y de su caudal diario para evitar posibles colapsos. Aquí se aconseja dos sistemas: 1) digestor anaerobio con dos lagunas de maduración o 2) un sistema de tres lagunas de maduración; cualquiera de estos sistemas ayudan a bajar la concentración de  $DBO_5$  y de microorganismos patógenos que están presentes en este tipo de aguas para que cumplan con los requisitos establecidos de la descarga en un cuerpo de agua; así, estaríamos logrando reducir la contaminación que se produce en el medio lo que contribuiría a mitigar el impacto ecológico en esta zona.
  
6. Con respecto a los presupuestos de implementación resultaría más económico construir el sistema de tres lagunas de maduración que representa el 58,06% del costo del sistema de digestor anaeróbico con dos lagunas.

## VII. BIBLIOGRAFÍA

1. AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION (AWWA), (1968), Agua su calidad y Tratamiento, Traducido del inglés por Jack Verrey, Editorial Hispano Americana. México.
2. BRITO G., (2003), "Sistemas de Tratamiento de las Aguas Residuales de la Ciudad de Alausí", Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Escuela de Postgrado de la Facultad de Ciencias, Tesis, Riobamba – Ecuador.
3. CONESA V., (1997), "Guía Metodológica para la Evaluación del Impacto Ambiental", Ed. Mundi-Prensa. Madrid, 3ª edición.
4. CRITES R. y TCHOBANNOGLOUS G., (2000), Tratamiento de Aguas Residuales en Pequeñas Poblaciones, Editorial McGraw Hill, Traducción y Revisión Técnica Guillermo Mejía, Santafé de Bogotá – Colombia.
5. DECRETO MINISTERIO DE SALUD 475, (1998), Normas técnicas de calidad del agua potable, Colombia.
6. DECRETO MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE 2105/Julio 26 de (1983), Sobre usos del agua y residuos líquidos, Colombia.
7. DECRETO VENEZOLANO N° 883/11 de Octubre, (1995), Rafael Caldera. Venezuela.
8. DEPARTAMENTO DE SANIDAD DE ESTADO DE NEW YORK, (1991), Manual de Tratamiento de Aguas, Traducido del inglés por Raúl Guerreiro Torres, Editorial Limusa, México.
9. ENCARTA, (2004), Diccionario de Microsoft Corporation.
10. ENSMINGER M. E., (1973), Zootecnia General, Editorial El Ateneo, 6ta edición, Buenos Aires-Argentina.

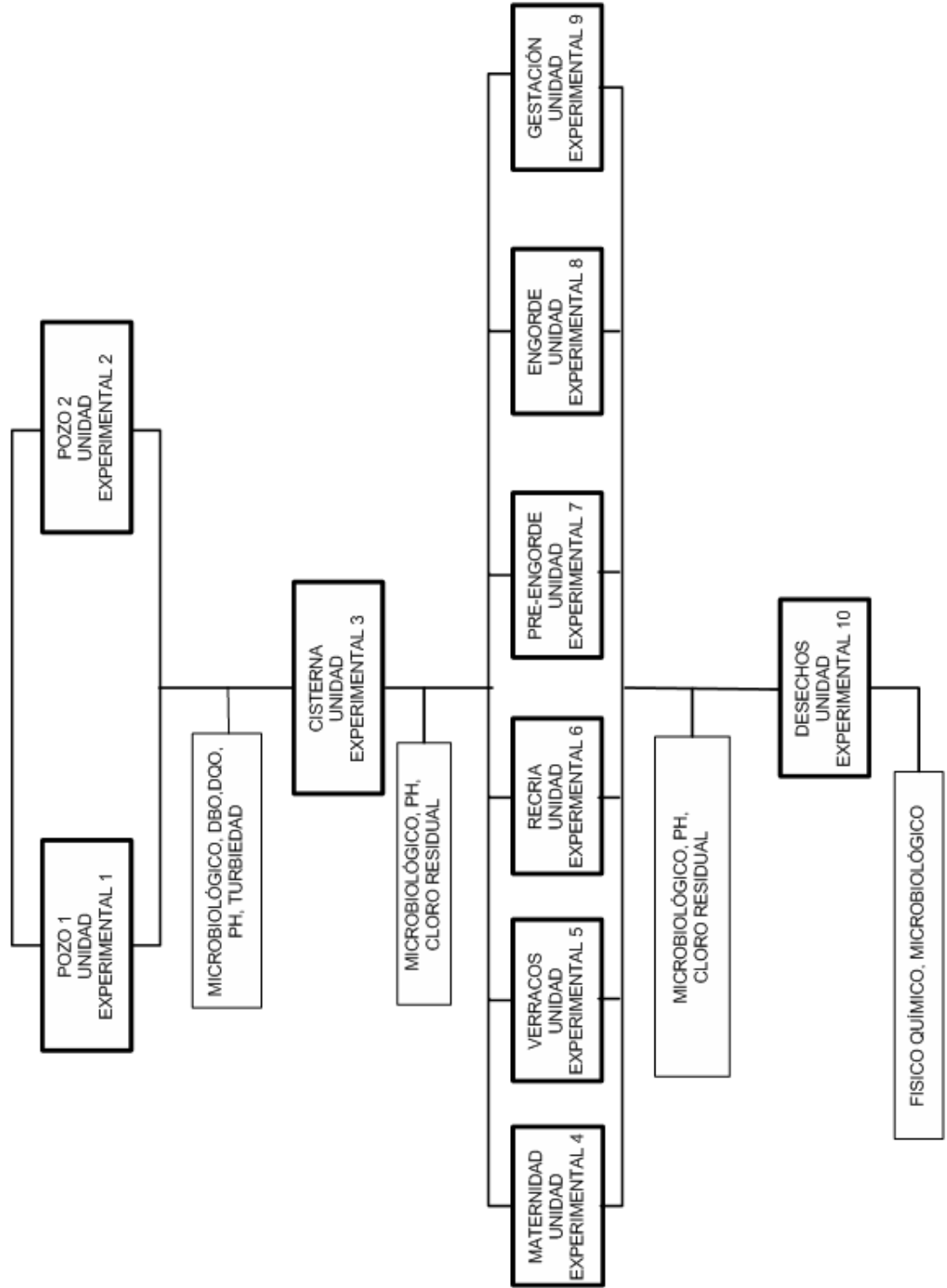
11. GALLEGOS J., (2003), Manual de Prácticas de Microbiología de los Alimentos, Riobamba Ecuador.
12. GÓMEZ D., (1999), "Evaluación del Impacto Ambiental", Ed. Mundi-Prensa y Editorial Agrícola Española S.A., 1ª edición, Madrid.
13. [http://www.ins.gov.co/pdf\\_admon/juridica/et/et\\_1998\\_dec\\_0475.pdf](http://www.ins.gov.co/pdf_admon/juridica/et/et_1998_dec_0475.pdf).
14. <http://hispagua.cedex.es>
15. INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN (INEN) 1108, (1983-12), Agua Potable Requisitos.
16. LEDOOUX L., (2001), Tratamiento del agua de bebida: una oportunidad para tener mejores resultados en la producción de cerdos, CID LINES, Bélgica, 5pp.
17. LEIVA A., (2003), Tratamiento de Aguas Residuales Industriales. Universidad del Valle, Cali, Colombia.
18. LESUR L., (2003), Manual de Porcicultura: una guía paso a paso, Editorial Trillas, México, 64pp.
19. LICEAGA M., (1994), Manejo de excretas en granjas porcinas: Estudio recapitulativo, Tesis de Licenciatura, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Nacional Autónoma de México.
20. MONTALVO S. y GUERRERO L., (2004), Tratamiento Anaerobio de Residuos, Producción de Biogás. Basada en Talleres Latinoamericanos de Digestión Anaerobia Universidad Técnica Federico Santamaría. Valparaíso, Chile.
21. PATIENCE J., MCLEESE J. and TREMBLAY M., (1989), Water Quality - Implications for Pork Production (Proceedings of the Tenth Western Nutrition Conference, Saskatoon, Saskatchewan.)

22. PIATKIN K., KRIVSHEIN Y, (1986), Microbiología. Con Virología e Inmunología, Traducido del ruso por L. P. Rudianok. 2da edición. Editorial “Mir” Moscú. Moscú-Rusia.
23. REGISTRO OFICIAL N° 204, 5 de junio, (1989), Ministerio de Salud Pública, Acuerdo 2144, Ecuador.
24. ROLIM S., (2000), Sistemas de Lagunas de Estabilización, Como utilizar aguas tratadas en sistemas de regadío, Editorial Mc Graw Hill, Bogotá-Colombia.
25. STEVENS M., (1990), Principios y Microbiología del Tratamiento de las Aguas Residuales.
26. TURK A., TURK J., WITTES J., WITTES R., (1981), Tratado de Ecología, Traducido del ingles por José Manuel Rubio, Editorial Interamericana, 2da edición, México.
27. YÁNEZ F., y PESCOD M. B., (1988), Wastewater Treatment and Reuse in Jordan, UNDP/World Bank Integrated Resource Recovery Project, Joint Misión Report.



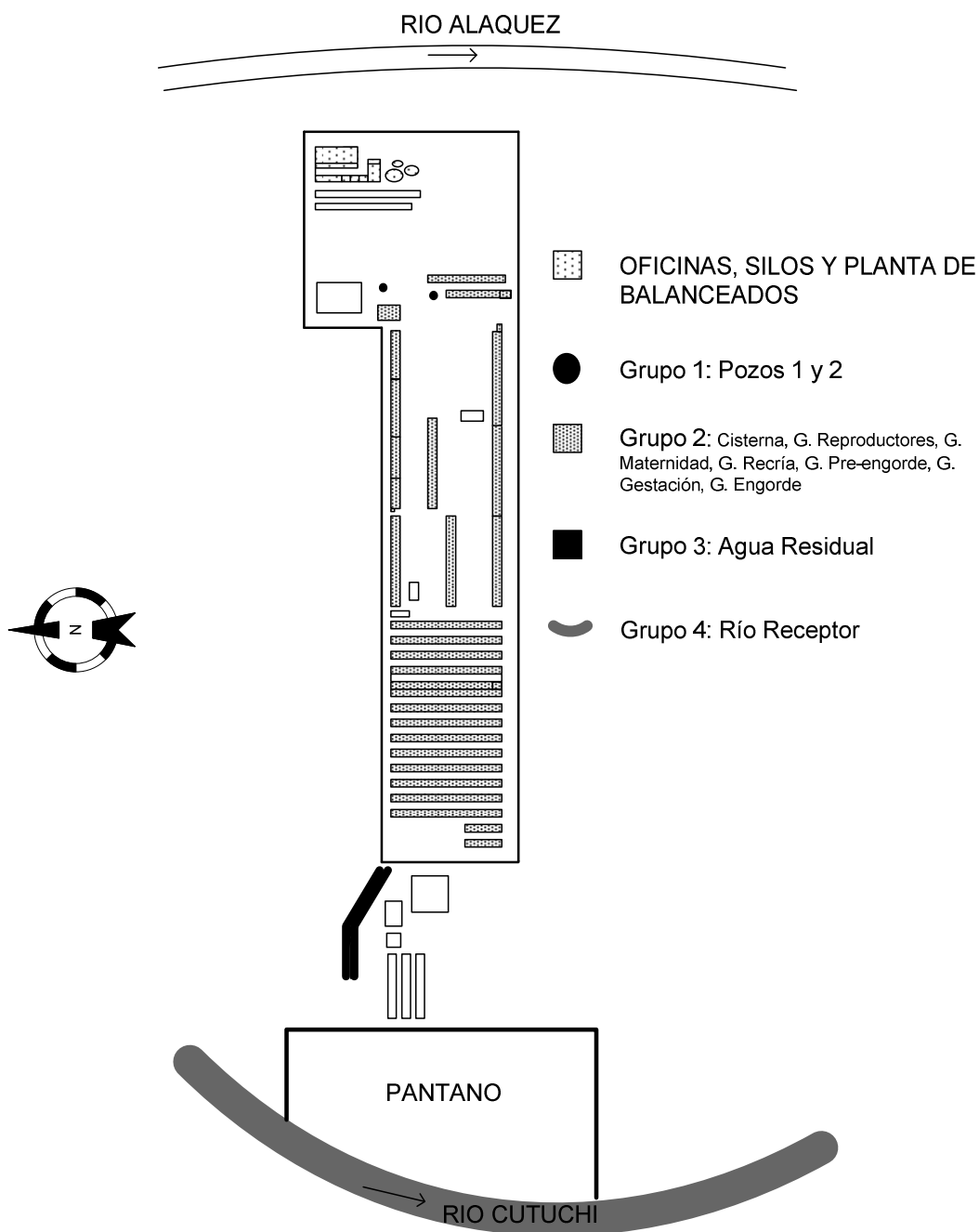
## VIII. ANEXOS

**ANEXO 1. FLUJOGRAMA DE PROCESOS DE LA EMPRESA Y ANÁLISIS DE LABORATORIO A REALIZARSE EN CADA PROCESO**



**ANEXO 2. GRUPOS EN QUE FUE DIVIDIDA LA GRANJA PORCINA DON DIEGO PARA EL ESTUDIO DE LA CALIDAD DEL AGUA DE USO ZOOTÉCNICO, Y PARA EVALUAR EL IMPACTO AMBIENTAL.**

**CROQUIS DE LA GRANJA PORCINA “DON DIEGO”**





**ANEXO 5. RESUMEN DE LOS EXAMES MICROBIOLÓGICOS REALIZADOS EN CADA SECCIÓN DE LA  
GRANJA PORCINA DON DIEGO**

UNIDAD EXPERIMENTAL	RECuento HETERÓTROFO DE PLACA		COLIFORMES TOTALES		COLIFORMES FECALES				
	UFC/mL. Método PEE/LAT/IM/02 48h. 35°C PCA		NMP/100mL. Método PEE/LAT/IM/01		NMP/100mL. Método PEE/LAT/IM/03				
		PROMEDIO		PROMEDIO		PROMEDIO			
Pozo 1	16,00	10,00	10,00	11,50	0,00	0,00	0,00	0,00	
Pozo 2	55,00	52,00	10,00	31,75	0,00	40,00	9,00	0,00	12,25
Cisterna	36,00	45,00	10,00	25,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Galpón de Reproductores <sup>1</sup>	27000,00	32000,00	10,00	14755,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Galpónes de Maternidad <sup>2</sup>	100,00	185,00	10,00	76,25	250,00	280,00	0,00	0,00	0,00
Galpónes de Recría <sup>3</sup>	470,00	510,00	10,00	250,00	210,00	190,00	0,00	0,00	100,00
Galpónes de Pre-engorde <sup>4</sup>	200,00	290,00	10,00	127,50	90,00	86,00	0,00	0,00	44,00
Galpónes de Gestación <sup>6</sup>	240,00	350,00	10,00	152,50	500,00	430,00	0,00	0,00	232,50
Galpónes de Engorde <sup>5</sup>	210,00	260,00	10,00	122,50	90,00	100,00	0,00	0,00	47,50
Agua Residual <sup>7</sup>	3,7 * 10 <sup>6</sup>	2,2 * 10 <sup>6</sup>	1,85 * 10 <sup>6</sup>	4,29 * 10 <sup>6</sup>	5 * 10 <sup>5</sup>	1,1 * 10 <sup>5</sup>	4,1 * 10 <sup>5</sup>	9 * 10 <sup>5</sup>	4,8 * 10 <sup>5</sup>
Río Receptor antes	ND	ND	276,00	276,00	ND	ND	ND	111,00	111,00
Río Receptor después	ND	ND	294,00	294,00	ND	ND	ND	2610,00	2610,00
VALORES DE REFERENCIA IMENI 1108. Límite máximo permisible para aguas potables		30,00						AUSENCIA	AUSENCIA
VALORES DE REFERENCIA. Para aguas negras. Ministerio de Sanidad. República de Italia. Aviso #22 del 21 de febrero de 1983		NO SE INDICA						NO SUPERIOR A 20000	NO SUPERIOR A 12000

<sup>1</sup> Machos adultos y jóvenes que se usan como: detectores de celos y para la obtención de semen

<sup>2</sup> Hembras próximas al parto y paridas

<sup>3</sup> Lechones destetados de 21 días hasta los 40 a 47 días de edad

<sup>4</sup> Cerdos de 40 a 47 días de edad hasta los 75 a 85 días de edad

<sup>5</sup> Cerdos de 75 a 85 días de edad hasta los 140 a 160 días de edad para el mercado

<sup>6</sup> Hembras gestantes hasta los 112 días de gestación, hembras reemplazos, cerdas dest

<sup>7</sup> Agua que resulta del lavado de galpones especialmente.

## ANEXO 6. PROYECTO NORMA AMBIENTAL PARA ECUADOR VERSIÓN

### FINAL AGOSTO 2002: LÍMITES DE DESCARGA A UN CUERPO DE AGUA

#### DULCE.

4.2.3.7 Toda descarga a un cuerpo de **agua dulce**, deberá cumplir con los valores establecidos a continuación:

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Aceites y Grasas.	Sustancias solubles en hexano	mg/l	0,3
Alkil mercurio		mg/l	<i>NO DETECTABLE</i>
Aldehídos		mg/l	2,0
Aluminio	Al	mg/l	5,0
Arsénico total	As	mg/l	0,1
Bario	Ba	mg/l	2,0
Boro total	B	mg/l	2,0
Cadmio	Cd	mg/l	0,02
Cianuro total	CN <sup>-</sup>	mg/l	0,1
Cloro Activo	Cl	mg/l	0,5
Cloroformo	Extracto carbón cloroformo ECC	mg/l	0,1
Cloruros	Cl <sup>-</sup>	mg/l	1 000
Cobre	Cu	mg/l	1,0
Cobalto	Co	mg/l	0,5
Coliformes Fecales	Nmp/100 ml		<sup>7</sup> Remoción > al 99,9 %
Color real	Color real	unidades de color	* Inapreciable en dilución: 1/20
Compuestos fenólicos	Fenol	mg/l	0,2
Cromo hexavalente	Cr <sup>+6</sup>	mg/l	0,5
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	D.B.O <sub>5</sub> .	mg/l	100
Demanda Química de Oxígeno	D.Q.O.	mg/l	250
Dicloroetileno	Dicloroetileno	mg/l	1,0
Estaño	Sn	mg/l	5,0
Fluoruros	F	mg/l	5,0
Fósforo Total	P	mg/l	10
Hierro total	Fe	mg/l	10,0
Hidrocarburos Totales de Petróleo	TPH	mg/l	20,0
Manganeso total	Mn	mg/l	2,0
Materia flotante	<b>Visibles</b>		<b>Ausencia</b>

<sup>7</sup> Aquellos regulados con descargas de coliformes fecales menores o iguales a 3 000, quedan exentos de tratamiento.

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Mercurio total	Hg	mg/l	0,005
Níquel	Ni	mg/l	2,0
Nitratos + Nitritos	Expresado como Nitrógeno (N)	mg/l	10,0
Nitrógeno Total Kjeldahl	N	mg/l	15
Organoclorados totales	Concentración de organoclorados totales	mg/l	0,05
Organofosforados totales	Concentración de organofosforados totales.	mg/l	0,1
Plata	Ag	mg/l	0,1
Plomo	Pb	mg/l	0,2
Potencial de hidrógeno	pH		5-9
Selenio	Se	mg/l	0,1
Sólidos Sedimentables		ml/l	1,0
Sólidos Suspendidos Totales		mg/l	100
Sólidos totales		mg/l	1 600
Sulfatos	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	mg/l	1000
Sulfitos	SO <sub>3</sub>	mg/l	2,0
Sulfuros	S	mg/l	0,5
Temperatura	°C		< 35
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	mg/l	0,5
Tetracloruro de carbono	Tetracloruro de carbono	mg/l	1,0
Tricloroetileno	Tricloroetileno	mg/l	1,0
Vanadio		mg/l	5,0
Zinc	Zn	mg/l	5,0

\* La apreciación del color se estima sobre 10 cm de muestra diluida.



**ANEXO 7. CÁLCULOS MATEMÁTICOS PARA DETERMINAR LA CARGA QUE APORTA EL AGUA RESIDUAL DE LA GRANJA EN EL RÍO RECEPTOR.**

Se trabajó con los valores medios y máximos de las características de las aguas residuales de la Granja Porcina Don Diego, como medida de seguridad en todos los cálculos.

**CÁLCULOS Ejemplo para obtener el aporte de la DQO al río receptor:**

$$C_p = \frac{(Q_r)(P_r) + (Q_a)(P_a)}{Q_r + Q_a}$$

$$C_{DQO} = \frac{(19.1 m^3/seg)(91 mg/L) + (0.01 m^3/seg)(6010 mg/L)}{19.2 m^3/seg} = 122 mg/L$$

$C_p$  = concentración del parámetro aportado

$Q_r$  = caudal del río receptor  $m^3/seg$ .

$P_r$  = parámetro del río receptor

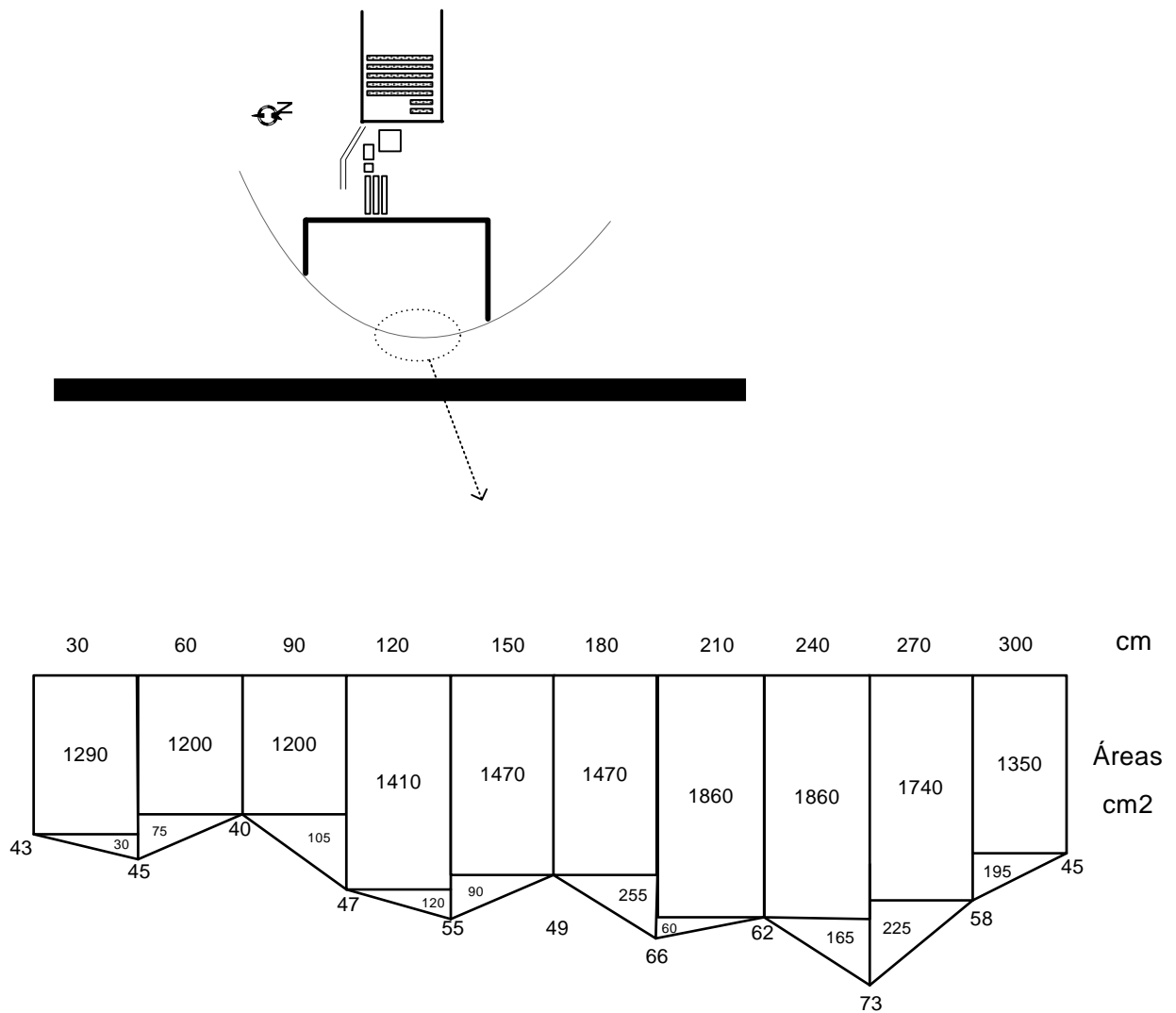
$Q_a$  = caudal del agua residual  $m^3/seg$ .

$P_a$  = parámetro del agua residual

## ANEXO 8. CÁLCULO DEL CAUDAL DEL RIO RECEPTOR CUTUCHI

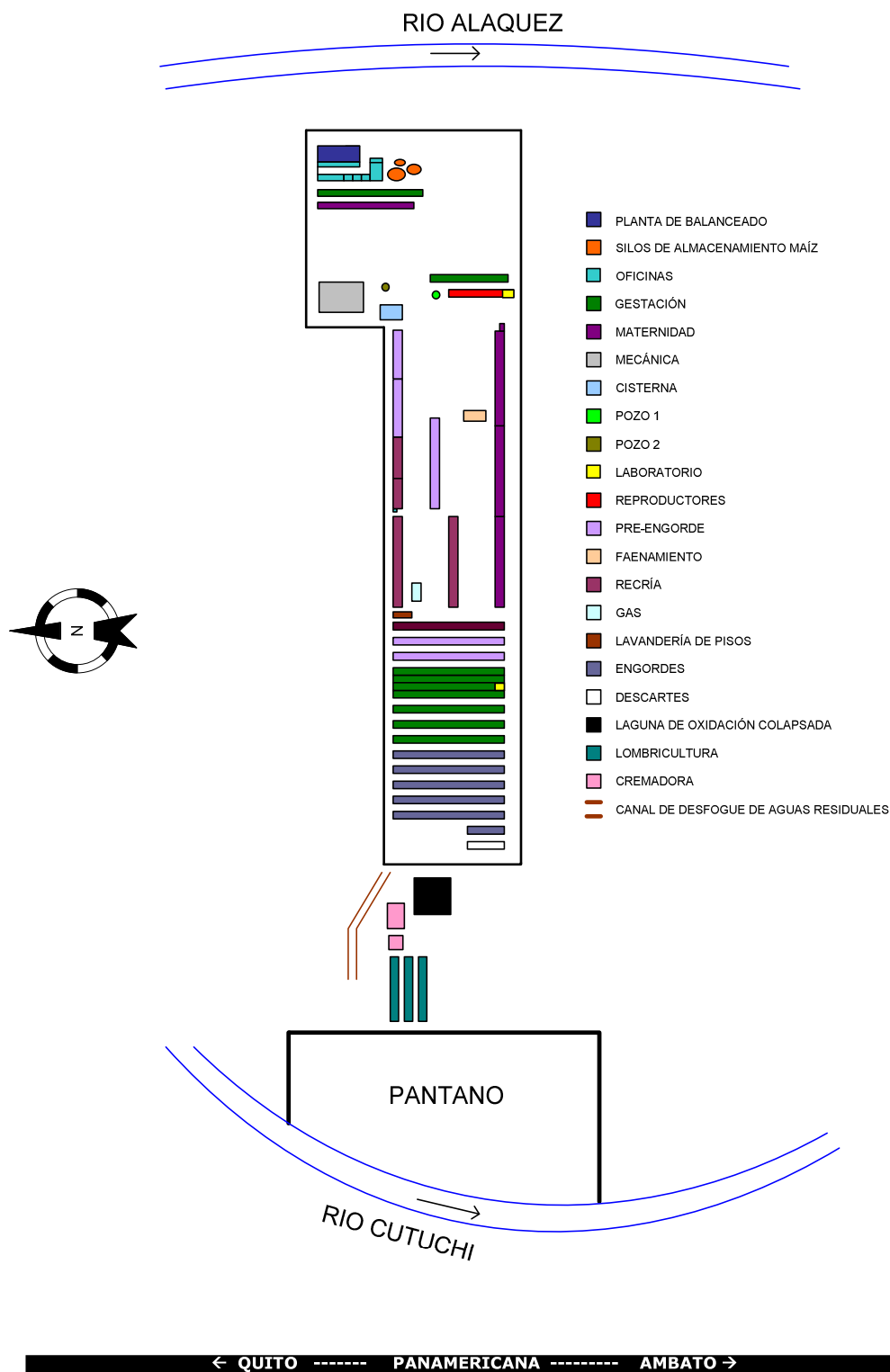
2. Ancho promedio = 3 m.
3. Área promedio = 1.62 m<sup>2</sup>
4. Velocidad promedio = 1.18 m/seg.
5. Caudal del Río Cutuchi = 1.91 m<sup>3</sup>/seg.

### Corte transversal del Río Cutuchi



**ANEXO 9. CROQUIS DE LA GRANJA PORCINA DON DIEGO.**

**CROQUIS DE LA GRANJA PORCINA “DON DIEGO”**



**ANEXO 10. RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN DE LAS AGUAS  
SERVIDAS DE LA CIUDAD DE ALAUSÍ.**

	<b>FORTALEZA MEDIA</b>
<b>CONTAMINANTE</b>	<b>CONCENTRACIÓN PROMEDIO (mg/L)</b>
Sólidos Totales (ST)	788
Sólidos Suspendedos Totales (SST)	252
Sólidos Disueltos Totales (SDT)	536
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> ) a 20°C	202
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	483
Nitrógeno Total	32
Nitrógeno Orgánico	12
Coliformes Totales NMP/100 ml	2,45 x 10 <sup>6</sup>
Coliformes Fecales células/100 ml	10 500

**Fuente: Brito, G. (2003), Investigación de campo y laboratorio. ESPOCH. Riobamba.**

**ANEXO 11. NÚMERO MÁS PROBABLE (NMP) DE BACTERIAS, TRES TUBOS POR CADA DILUCIÓN.** Número de tubos positivos en cada dilución.

<b>DILUCIÓN 10<sup>-1</sup></b>	<b>DILUCIÓN 10<sup>-2</sup></b>	<b>DILUCIÓN 10<sup>-3</sup></b>	<b>NMP Por gramo ó mL</b>
0	1	0	3
1	0	0	4
1	0	1	7
1	1	0	7
1	2	0	11
2	0	0	9
2	0	1	14
2	1	0	15
2	1	1	20
2	2	0	21
3	0	0	23
3	0	1	40
3	1	0	40
3	1	1	70
3	2	0	90
3	2	1	150
3	2	2	210
3	3	0	200
3	3	1	500
3	3	2	1100

**FUENTE: Gallegos, J. (2003)**

De cada dilución se inoculan 3 tubos de medio, cada uno con 1 mL. Para calcular el número más probable de las diluciones mayores de las que figuran en la tabla, multiplicar el NMP por el factor adecuado: 10, 100, 1000, etc. Por ej. Si los tubos seleccionados corresponden a las diluciones 10<sup>-2</sup>, 10<sup>-3</sup>, 10<sup>-4</sup>, multiplicar por 10, si las diluciones son 10<sup>-3</sup>, 10<sup>-4</sup> y 10<sup>-5</sup> multiplicar por 100.