

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA**



**CARACTERIZACION DE LA SUBCUENCA DEL RIO  
SUCIO A TRAVES DE LA EVALUACION DE LA  
CALIDAD DEL AGUA Y EL PATRON DE DISPERSION  
DE CONTAMINANTES.**

PRESENTADO POR:

**SARA MARÍA BARBÓN MENJÍVAR  
ANA YASMÍN HANDAL JIMÉNEZ  
SILVIA MORENA TURISH GUARDADO**

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

**INGENIERA QUÍMICO**

CIUDAD UNIVERSITARIA, SEPTIEMBRE 2009.

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**

RECTOR :

**MSc. RUFINO ANTONIO QUEZADA SÁNCHEZ**

SECRETARIO GENERAL :

**LIC. DOUGLAS VLADIMIR ALFARO CHÁVEZ**

**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**

DECANO :

**ING. MARIO ROBERTO NIETO LOVO**

SECRETARIO :

**ING. OSCAR EDUARDO MARROQUÍN HERNÁNDEZ**

**ESCUELA DE INGENIERIA QUÍMICA**

DIRECTOR :

**ING. FERNANDO TEODORO RAMÍREZ ZELAYA**

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA

**Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:  
INGENIERA QUÍMICO**

Título :

**CARACTERIZACION DE LA SUBCUENCA DEL RIO  
SUCIO A TRAVES DE LA EVALUACION DE LA  
CALIDAD DEL AGUA Y EL PATRON DE DISPERSION  
DE CONTAMINANTES.**

Presentado por :

**SARA MARÍA BARBÓN MENJÍVAR  
ANA YASMÍN HANDAL JIMÉNEZ  
SILVIA MORENA TURISH GUARDADO**

Trabajo de Graduación Aprobado por :

Docente Directora :

**ING. EUGENIA SALVADORA GAMERO DE AYALA**

Docente Director externo :

**ING. ÁLVARO JOSUÉ AMAYA ARÉVALO**

San Salvador, Septiembre 2009.

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Directora :

**ING. EUGENIA SALVADORA GAMERO DE AYALA**

Docente Director externo :

**ING. ÁLVARO JOSUÉ AMAYA ARÉVALO**

Agradezco a Dios, por ser mi guía y mi Señor, gracias por darme discernimiento y por responder a cada oración y petición que te hice. Gracias, porque me ayudaste a escoger una carrera que me permitirá desarrollarme plenamente, porque me distes una familia capaz de amarme como lo hace, porque me pusiste en el equipo indicado, por darme todos los recursos que me ayudaron a lograrlo: amor, constancia, disposición, amigos, maestros, familia y hermanos. Gracias porque siempre has estado ahí, gracias porque Tu me distes la fuerza de llegar hasta acá. Para ti, Mi Señor, este logró.

A mi Familia, Barbón Menjívar, porque sin ustedes esto no hubiera sido posible. Gracias por ser mi modelo y mi inspiración, gracias porque siempre estuvieron ahí para mi, dándome amor, apoyo y consejos. Desde pequeña me inculcaron a luchar por lo que quería, a tomar decisiones en base a mis sueños, a trabajar por lograr mis objetivos, y gracias a todo eso, hoy, culmina uno de mis sueños e inicia una nueva etapa de mi vida. Me siento orgullosa de ser su hija y su hermana, y esto es para ustedes.

A mis profesores y asesores que fueron capaces de transmitirme un poco de su gran conocimiento, ustedes han sido los principales protagonistas en este capítulo de mi vida, gracias por todo su esfuerzo, exigencia y consejos. Gracias por darme una de las herramientas que me permitirá desarrollarme como profesional.

A “la familia”... mis amores... mi vida en la universidad no hubiera sido lo mismo sin ustedes. La felicidad existe para compartirla, yo comparto esto con ustedes. Su amistad hizo que disfrutara cada día de este camino, marcaron mi vida y mi corazón.

A mis compañeras de tesis... niñas sin ustedes esto no hubiera sido posible, Dios dispone de todo, y Él dispuso formar el equipo que formó. Me siento orgullosa de haber logrado esto con ustedes, y lo mejor de todo es que compartí esfuerzos, angustias y emociones inexplicables con personas como ustedes.

Gracias a mis amigos y a todas esas personas que creyeron en mi, a las que aportaron en mi formación profesional y desarrollo personal, porque gracias a ustedes, hoy termina uno de los primeros capítulos en mi vida. Su trabajo está hecho, ahora depende de mí, utilizar todo lo que he aprendido para ayudar y mejorar en el lugar que Dios disponga.

*“Me mostraste el camino de la vida y me llenarás de alegría con tu presencia”*

*Hechos 2, 28*

**Sara María Barbón Menjívar**

Quiero agradecer especialmente a Dios, mi Padre Celestial, que me ha guiado, aconsejado, y que ha permitido a través de su Espíritu Santo la culminación de esta meta que un día me trace, agradecida con su asistencia divina, pues gracias a ella he terminado mi carrera así como también haberme permitido desarrollar este estudio y poder brindarlo al servicio del país.

A mi papá Rizek Handal y mi mamá Regina de Handal, Gracias a ustedes por todo lo que me han enseñado, por escucharme, por sus consejos, sus llamados de atención, por haberme enseñado que es lo realmente importante en esta vida; porque gracias a su ustedes lo he logrado, gracias por creer en mi; los amo mucho. A mis hermanos Carmen Regina y Jaime, por que siempre estuvieron cuando los necesite y me ayudaron a alcanzar esta meta, gracias hermanos; mis niñas, mis tres princesas, gracias Señor por esta bendición que me regalas, por ser mi soporte emocional.

A las personas que oraron por mis intensiones y que las apoyaron, me escucharon y comprendieron, mi Comunidad # 11 de La Sagrada Familia; mi gran familia que Dios me ha dado; no puedo dejar de agradecer a Mario Gámez y Oscar Carreros, mis amigos y hermanos de comunidad, saben que están en un lugar muy especial en mi corazón, gracias por el apoyo incondicional que me brindaron en su momento.

Esta travesía que hoy llega a su fin, también me permitió conocer a mis compañeros, amigos, gracias Brother porque a pesar que teníamos la misma angustia en el corazón, siempre había una palabra que ayudaba a seguir adelante a ya no mirar atrás, Gracias Amigos.

Glenda, amiga, gracias por estar en los momentos que te he necesitado, por escucharme, por tenerme paciencia, por darme las palabras de animo que necesitaba, por multiplicar conmigo esta alegría, por esto y muchas cosa mas, eres mi amiga especial a quien quiero mucho.

Compañero, amigo y asesor de tesis; gracias por haberme ayudado a cumplir uno de mis sueños, trabajar y aplicar todos mis conocimiento en un cuerpo de agua, gracias por este tema, fue lo máximo y me siento muy contenta del trabajo en equipo que hemos realizado, por el profesional en que te has convertido, te deseo muchos éxitos profesionales; pero sobre todo espirituales; que Dios que un día te creo de manera especial, sea el centro de tu vida.

A la primera persona que conocí en la U, Sofía Helena con quien compartí muchas alegrías, angustias, estrés, "errores", en fin innumerables cosas, hija sos lo máximo! A todos mis amigos que el Señor me permitió conocerlos, y compartir esta etapa de mi vida a Geovanni, esas filosofadas amigo mío, y los que no los he mencionado pero que han dejado un recuerdo súper especial en mi corazón.

A mis profesores, sin ustedes definitivamente esto no hubiera sido posible, gracias por su tiempo y dedicación. A todo el personal del SNET y del MAG que nos brindaron su ayuda, que Dios les bendiga.

Chicas, que puedo decir, un GRAN EQUIPO, gracias por permitirme haber formado parte de este equipo de tesis; un trabajo lleno de aventura, de alegrías, de vivencias que serán inolvidables para mi LO LOGRAMOS, eso que parecía difícil, Dios nos ayudo a lograrlo, que Él sea su refugio, su amigo, un gran abrazo, las quiero mucho.

*"Espera en Dios que volverás a alabarle" Salmo 43,5*  
**Ana Yasmín Handal Jiménez**

Agradezco, infinitamente a Dios Todopoderoso, que me permitió llegar hasta esta etapa de mi vida, y culminar uno de mis más grandes sueños, Gracias señor por darme salud, fortaleza, paciencia y sobre todo por protegerme de todo mal, por ser mi guía, y permitirme mantenerme firme en mi posición de alcanzar esta meta, sin ti no lo hubiera logrado, que este triunfo sea para tu gloria. A ti virgencita querida, gracias por estar a mi lado, intercediendo por mí, y siendo mi protección.

A mi familia, por darme la estabilidad emocional, económica, y sentimental; para poder llegar hasta este logro, que no hubiese podido ser realidad sin ustedes. Mami, serás siempre mi inspiración para alcanzar mis metas, por enseñarme que todo esfuerzo tiene su recompensa. Tu esfuerzo, se convirtió en tu triunfo y el mío, TE AMO. Papi, gracias por tu amistad y por enseñarme tanto de la vida, y demostrarme, a tu manera, todo tu amor. Papi Nelson, Gracias por estar a nuestro lado, por ser nuestro apoyo, y sobretodo por alentarme a elegir esta carrera. Ana gracias por ser mi hermana y amiga, Oscar gracias por ser una ayuda y compañía siempre que lo necesito, gracias hermanitos porque son parte importante en mi vida. A mis abuelitos, en especial a mama Zoila por ser un pilar importante, en mi vida y en mis estudios, a mis tíos, primos y demás familia, gracias por confiar en mí.

A Javier por ser un gran apoyo en mi vida, por estar conmigo siempre, como mi novio, pero sobre todo como un gran amigo, gracias por escucharme, por comprenderme y por ayudarme, con todo su amor, a ser cada día una mejor persona.

A todos mis amigos, pasados y presentes, mis amigas del colegio, mis amigos de la u, mi comu, por ayudarme a crecer y madurar como persona, por apoyarme en todo las circunstancias posibles, también son parte de esta alegría.

A mi gran equipo de tesis, Sarita y Yas, por soportar juntas los enojos, llantos, angustias, noches de desvelo, y días de cansancio, gracias por formar parte de este último escalón para poder alcanzar este sueño, nuestro sueño, ¡niñas lo logramos!

A nuestros asesores Ing. Gamero y Álvaro, por sus consejos, por su paciencia y sobre todo por su comprensión y por formar parte importante en este triunfo.

A todos mis profesores y a todos aquellos, que han quedado en mi memoria, que fueron participes en formar a esta **Silvia Turish**, GRACIAS.

*“Pon tu alegría en el señor, El te dará lo que ansía tu corazón” Salmo 37, 4.*

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación, tiene por finalidad, evaluar la calidad del agua de la subcuenca del Río Sucio, el uso actual que pueda disponerse para sus aguas, y determinar el patrón de dispersión de contaminantes.

Se exponen a lo largo del contenido, la metodología utilizada para el muestreo de calidad de aguas en tres puntos específicos de recolección de muestras, El Jocote, El Llano, y Rancho Quemado, realizando dos muestreos en época seca y uno en época de transición de época seca a época lluviosa; así como también se establece el desarrollo del método de trazadores, para el cual fueron realizados tres estudios de dispersión, cada uno de ellos, con un punto de inyección del trazador y dos puntos de medición para cada caso, obteniendo datos de concentración de trazador (Rodamina WT), respecto al tiempo.

Además del estudio de dispersión, para la determinación del coeficiente de dispersión, se realizó, una etapa de recolección de muestras, para la evaluación de la calidad del agua a través del Índice de Calidad de Agua de Brown, el cual involucra 9 parámetros entre físicos, químicos y microbiológicos, obteniéndose un calificativo sobre la Calidad Ambiental del afluente en estudio, de MALA; siendo los coliformes fecales, sólidos disueltos totales y turbidez los que reportan una mayor contribución negativa al índice de calidad de agua.

En cuanto a los valores de los parámetros obtenidos, se realizó una comparación de los valores obtenidos con los límites establecidos por la normativa nacional del Decreto N° 51 para aptitud del agua cruda para potabilizar y aptitud de agua para Riego; y la Norma de la OMS de aptitud del agua para contacto humano, a partir de esto se determinó que el agua del Río Sucio, únicamente es apta para riego.

En el caso de los estudios de dispersión, los datos fueron analizados siguiendo el procedimiento sugerido por Scott. H. Fogler, y validados mediante la ecuación empírica de Fischer. Concluyendo que la técnica de trazadores es útil

para el cálculo del coeficiente de dispersión longitudinal por el método propuesto, ya que el valor de este en la mayoría de los puntos de estudio se encuentra dentro del rango de error del valor proporcionado por la ecuación empírica y se recomienda desarrollar un estudio de la modelación de transporte de un determinado parámetro o contaminante en particular, tomando como base el presente estudio; con la finalidad de obtener un patrón del comportamiento de este en el Río Sucio y poder generar un plan de descontaminación.

# INDICE

<b>INTRODUCCION .....</b>	<b>20</b>
<b>CAPITULO I. GENERALIDADES .....</b>	<b>22</b>
<b>I.1 GENERALIDADES DE CUENCAS, SUB-CUENCAS Y RÍOS .....</b>	<b>22</b>
I.1.1 CUENCAS .....	22
I.1.1.1 Elementos de la Cuenca .....	22
I.1.1.2 Partes de una cuenca .....	23
I.1.1.3 Tipos de cuencas .....	24
I.1.2 SUBCUENCA .....	24
I.1.3 RÍOS Y CORRIENTES SUPERFICIALES DE AGUA .....	25
I.1.3.1 Clasificación de ríos según periodo de actividad .....	27
I.1.3.2 Clasificación de ríos según geomorfología .....	27
I.1.4 GENERALIDADES DE RÍOS EN EL SALVADOR .....	28
I.1.4.1 Contaminación de los recursos hídricos .....	31
I.1.4.2 Autodepuración de las aguas superficiales .....	32
I.1.5 SUBCUENCA DEL RÍO SUCIO .....	34
I.1.5.1 Disponibilidad Hídrica .....	37
I.1.5.2 Demanda Hídrica .....	38
I.1.5.3 Río Sucio y Agricultura .....	39
<b>I.2 CALIDAD DEL AGUA .....</b>	<b>40</b>
I.2.1 PRINCIPALES CONSIDERACIONES.....	40
I.2.2 ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA .....	40
I.2.2.1 Generalidades.....	41
I.2.2.2 Parámetros utilizados para determinar el índice de calidad del agua .....	42
I.2.2.3 Metodología de cálculo del ICA (Índice de Calidad del Agua) .....	44
I.2.3 EVALUACIÓN DE LAS APTITUDES DE USO .....	53
I.2.3.1 Agua cruda para potabilizar .....	53
I.2.3.2 Agua para riego .....	54
I.2.3.3 Agua apta para el contacto humano .....	55
<b>I.3 TECNICA DE TRAZADORES.....</b>	<b>56</b>
I.3.1 GENERALIDADES .....	56
I.3.1.1 Generalidades de trazadores .....	56
I.3.1.2 Categorías y tipos de trazadores .....	56
I.3.2 RODAMINA WT.....	57
I.3.2.1 Generalidades de Rodaminas. ....	57
I.3.2.2 Definición de Rodamina WT .....	60
I.3.2.3 Tarjetas Internacionales de Seguridad Química .....	61
I.3.2.4 Aplicaciones de Rodamina WT.....	62
I.3.3 METODOLOGIA DE TÉCNICA DE TRAZADORES .....	63
I.3.4 OTRAS APLICACIONES DE LOS TRAZADORES.....	74
<b>I.4 FLUORIMETRÍA.....</b>	<b>76</b>
I.4.1 FACTORES QUE AFECTAN LA FLUORESCENCIA .....	77
I.4.2 INSTRUMENTACIÓN PARA FLUORESCENCIA .....	78
<b>I.5 FENÓMENOS DE TRANSPORTE .....</b>	<b>79</b>
I.5.1 ADVECCIÓN .....	80
I.5.2 DISPERSIÓN (MEZCLA) .....	83
I.5.3 ECUACIÓN DE ADVECCIÓN – DISPERSIÓN.....	86
I.5.4 RELACIÓN ENTRE COMPORTAMIENTO DE REACTORES Y FENÓMENOS DE TRANSPORTE .....	87
I.5.4.1 Definición de reactores ideales.....	87
I.5.4.2 Modelo de dispersión .....	88
I.5.4.3 Condiciones de frontera .....	89

<b>CAPITULO II. PROTOCOLO DE MUESTREO</b> .....	<b>93</b>
<b>II.1 METODOLOGIA DE CAMPO</b> .....	<b>93</b>
<b>II.2 DETERMINACION DEL CAUDAL</b> .....	<b>94</b>
<b>II.3 MUESTREO DE TRAZADOR</b> .....	<b>98</b>
<b>II.4 MUESTREO DE CALIDAD DE AGUA Y APTITUDES DE USO</b> .....	<b>100</b>
<b>CAPÍTULO III. CÁLCULOS ANALÍTICOS</b> .....	<b>103</b>
<b>III.1 PARÁMETROS A EVALUAR</b> .....	<b>103</b>
III.1.1 MÉTODOS DE MEDICIÓN .....	103
<b>III.2 CÁLCULOS RODAMINA WT</b> .....	<b>105</b>
III.2.1 CANTIDAD DE RODAMINA WT A SER INYECTADA.....	105
III.2.2 CALIBRACION DEL EQUIPO .....	106
<b>CAPITULO IV. TABULACION DE DATOS</b> .....	<b>112</b>
<b>IV.1 MUESTREOS DE ANALISIS DE AGUA</b> .....	<b>116</b>
IV.1.1 MUESTREO 1 .....	116
IV.1.2 MUESTREO 2 .....	120
IV.1.3 MUESTREO 3 .....	125
<b>IV.2 ESTUDIO DE DISPERSION UTILIZANDO EL TRAZADOR RODAMINA WT</b> <b>130</b>	
IV.2.1 ESTUDIO PRE-EXPERIMENTAL .....	130
IV.2.2 ESTUDIO EXPERIMENTAL .....	132
IV.2.3 ESTUDIO DE DISPERSION #1 .....	135
IV.2.4 ESTUDIO DE DISPERSIÓN #2 .....	139
<b>CAPITULO V. RESULTADO Y ANALISIS DE DATOS</b> .....	<b>147</b>
<b>V.1 PARAMETROS FISICOQUIMICOS Y BACTERIOLOGICOS</b> .....	<b>147</b>
<b>V.2 INDICE DE CALIDAD DEL AGUA “ICA”</b> .....	<b>158</b>
<b>V.3 APTITUDES DE USO</b> .....	<b>167</b>
V.3.1 APTITUD DE USO DE AGUA PARA RIEGO .....	167
V.3.2 APTITUD DE USO DE AGUA CRUDA PARA POTABILIZAR.....	168
V.3.3 APTITUD DE USO DE AGUA PARA CONTACTO HUMANO.....	172
<b>V.4. RESULTADOS DE ANALISIS DEL COEFICIENTE DE DISPERSION</b>	
<b>LONGITUDINAL</b> .....	<b>175</b>
V.4.1 PROCEDIMIENTO PARA EL CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE DISPERSIÓN	
LONGITUDINAL .....	176
V.4.2 RESULTADOS DE COEFICIENTE DE DISPERSIÓN LONGITUDINAL .....	177
V.4.3 CONSOLIDADO DE PARÁMETROS OBTENIDOS EN ESTUDIOS DE	
DISPERSION.....	211
<b>OBSERVACIONES</b> .....	<b>215</b>
<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>216</b>
<b>RECOMENDACIONES</b> .....	<b>219</b>
<b>BIBLIOGRAFIA</b> .....	<b>221</b>
<b>ANEXOS</b> .....	<b>225</b>

## INDICE DE FIGURAS

### CAPÍTULO I

Figura 1 - 1 Esquematación de una cuenca.....	22
Figura 1 - 2 Tipificación de una cuenca .....	24
Figura 1 - 3 Esquema de una subcuenca .....	25
Figura 1 - 4 Esquema general de las partes de un río.....	26
Figura 1 - 5 Distribución de las aguas superficiales en El Salvador.....	29
Figura 1 - 6 Regiones hidrográficas en El Salvador.....	30
Figura 1 - 7 Factores involucrados en la autodepuración de las aguas.....	33
Figura 1 - 8 Subcuenca del Río Sucio .....	35
Figura 1 - 9 Composición de fuentes contaminantes que descargan directamente al Río Sucio .....	36
Figura 1 - 10 Principales cargas contaminantes del sistema del Río Sucio.....	37
Figura 1 - 11 Principales estudios del índice de calidad de agua .....	41
Figura 1 - 12 Tipos de agrupaciones de los parámetros.....	42
Figura 1 - 13 Valoración de la calidad de agua en función de Coliformes fecales.....	45
Figura 1 - 14 Valoración de la calidad de agua en función del pH.....	46
Figura 1 - 15 Valoración de la calidad de agua en función de la DBO5.....	47
Figura 1 - 16 Valoración de la calidad de agua en función del Nitrógeno .....	47
Figura 1 - 17 Valoración de la calidad de agua en función del Fósforo .....	48
Figura 1 - 18 Valoración de la calidad de agua en función de la Temperatura.....	49
Figura 1 - 19 Valoración de la calidad de agua en función de la Turbidez.....	49
Figura 1 - 20 Valoración de la calidad de agua en función del Residuo Total .....	50
Figura 1 - 21 Valoración de la calidad de agua en función del % de Saturación de OD.....	51
Figura 1 - 22 Esquema de la metodología de los trazadores.....	64
Figura 1 - 23 Pulso de entrada ideal del trazador. ....	69
Figura 1 - 24 Curva de distribución de tiempo de residencia (DTR) .....	72
Figura 1 - 25 Componentes de un fluorímetro o un espectrofluorímetro.....	79
Figura 1 - 26 Esquema del movimiento de advección .....	80
Figura 1 - 27 Volumen de control para el movimiento de advección.....	82
Figura 1 - 28 Esquema del movimiento de difusión turbulenta .....	84
Figura 1 - 29 Esquema del movimiento de dispersión .....	85
Figura 1 - 30 Reactor de flujo en pistón.....	87
Figura 1 - 31 Reactor de mezcla completa .....	88
Figura 1 - 32 Tipos de condiciones de frontera.....	90

### CAPÍTULO II

Figura 2-1 Técnica para medir el ancho de una sección transversal.....	97
Figura 2 - 2 Esquema de la forma de estimar el ángulo .....	97

### **CAPÍTULO III**

<i>Figura 3- 1 Procedimiento de preparación de solución de Rodamina WT a 2X106 ppb.....</i>	108
<i>Figura 3- 2 Preparación de solución patrón a una concentración de 2X104 ppb.....</i>	109
<i>Figura 3- 3 Preparación de solución 100 ppb de Rodamina WT; a) Tomando los 5 ml de la solución de 2X104 ppb de Rodamina WT; b) Realizando el aforo.....</i>	109
<i>Figura 3- 4 Solución madre, de la cual se obtuvieron los cuatro estándares.....</i>	110
<i>Figura 3- 5 Curva de calibración del equipo. ....</i>	111

### **CAPÍTULO IV**

<i>Figura 4- 1 Esquema general de puntos de muestreo.....</i>	115
<i>Figura 4- 2 Esquema general de puntos de muestreo.....</i>	115

### **CAPÍTULO V**

<i>Figura 5 - 1 Grafica para coeficiente de variación para punto de muestreo 01JOCOT.....</i>	157
<i>Figura 5 - 2 Grafica para coeficiente de variación para punto de muestreo 02 LLANO.....</i>	157
<i>Figura 5 - 3 Grafica para coeficiente de variación para punto de muestreo 03 RANCH.....</i>	158
<i>Figura 5 - 4 Mapa de resultado de evolución del ICA en los tres sitios de muestreo del tramo en estudio. ...</i>	161
<i>Figura 5 - 5 Grafico de control para parámetro Coliformes fecales para aptitud de uso para agua cruda para potabilizar. ....</i>	169
<i>Figura 5 - 6 Grafico de control para parámetro Color aparente para aptitud de uso para agua cruda para potabilizar. ....</i>	170
<i>Figura 5 - 7 Grafico de control para parámetro fenoles para aptitud de uso para agua cruda para potabilizar. ....</i>	171
<i>Figura 5 - 8 Grafico de control para parámetro Coliformes fecales para aptitud de uso del agua para contacto humano. ....</i>	173
<i>Figura 5 - 9 Grafico de control para parámetro Oxígeno Disuelto para aptitud de uso del agua para contacto humano. ....</i>	173
<i>Figura 5 - 10 Grafico de control para parámetro Turbidez para aptitud de uso del agua para contacto humano.....</i>	174
<i>Figura 5 - 11 Grafica de datos y regresión para punto 1 estudio experimental.....</i>	181
<i>Figura 5 - 12 Grafica de normalización de residuos de las variables de regresión para el punto 1, estudio experimental.....</i>	183
<i>Figura 5 - 13 Grafica de datos y regresión para punto 2, estudio experimental.....</i>	185
<i>Figura 5 - 14 Grafica de normalización de residuos de las variables de regresión para el punto 2, estudio experimental.....</i>	188
<i>Figura 5 - 15 Grafica de datos y regresión para punto 1 estudio de dispersión #1.....</i>	192
<i>Figura 5 - 16 Grafica de normalización de residuos de las variables de regresión para el punto 1, estudio de dispersión #1.....</i>	194
<i>Figura 5 - 17 Grafica de datos y regresión para punto 2 estudio de dispersión #1.....</i>	196
<i>Figura 5 - 18 Grafica de normalización de residuos de las variables de regresión para el punto 2, estudio de dispersión #1.....</i>	198
<i>Figura 5 - 19 Grafica de datos y regresión para punto 1 estudio de dispersión #2.....</i>	202

<i>Figura 5 - 20 Gráfica de normalización de residuos de las variables de regresión para el punto 1, estudio de dispersión #2.....</i>	<i>204</i>
<i>Figura 5 - 21 Grafica de datos y regresión para punto 2, estudio de dispersión #2.....</i>	<i>207</i>
<i>Figura 5 - 22 Grafica de normalización de resultados de las variables de regresión para el punto 2, estudio de dispersión #2.....</i>	<i>209</i>

## INDICE DE TABLAS

### CAPÍTULO I

<i>Tabla 1. 1 Definiciones de los parámetros involucrados en la autodepuración de las aguas</i> .....	34
<i>Tabla 1. 2 División de la subcuenca del Río Sucio</i> .....	27
<i>Tabla 1. 3 Resumen de oferta de recursos hídricos de subcuenca del Río Sucio</i> .....	38
<i>Tabla 1. 4 Demanda de agua para diferentes usos en la subcuenca del Río Sucio</i> .....	39
<i>Tabla 1. 5 Definición de los parámetros utilizados para determinar el índice de calidad del agua</i> .....	42
<i>Tabla 1. 6 Definición de los parámetros utilizados para determinar el índice de calidad del agua (Continuación)</i> .....	43
<i>Tabla 1. 7 Definición de los parámetros utilizados para determinar el índice de calidad del agua (Continuación)</i> .....	44
<i>Tabla 1. 8 Pesos relativos para cada parámetro del ICA</i> .....	44
<i>Tabla 1. 9 Pesos relativos para cada parámetro del ICA (Continuación)</i> .....	45
<i>Tabla 1. 10 Solubilidad del Oxígeno en Agua Dulce</i> .....	50
<i>Tabla 1. 11 Solubilidad del Oxígeno en Agua Dulce (Continuación)</i> .....	51
<i>Tabla 1. 12 Hoja para el cálculo del ICA</i> .....	52
<i>Tabla 1. 13 Interpretación de valores de ICA</i> .....	52
<i>Tabla 1. 14 Rangos para parámetros de calidad de agua cruda para potabilizar</i> .....	53
<i>Tabla 1. 15 Rangos para parámetros de calidad de agua para riego</i> .....	54
<i>Tabla 1. 16 Límites permisibles de Calidad de Agua para Contacto Humano</i> .....	55
<i>Tabla 1. 17 Categorías y tipos de trazadores</i> .....	57
<i>Tabla 1. 18 Medidas de adsorción sobre bentonita. (Según Repogley otros (1966))</i> .....	59
<i>Tabla 1. 19 Ficha técnica de Rodamina WT</i> .....	61
<i>Tabla 1. 20 Propiedades físicas y datos importantes de Rodamina WT</i> .....	62

### CAPÍTULO II

<i>Tabla 2. 1 Resumen de material, equipo de protección personal y equipo de medición de campo para determinación del caudal</i> .....	95
<i>Tabla 2.2 Procedimiento seguido para determinación del caudal</i> .....	95
<i>Tabla 2.3 Resumen de material, equipo de protección personal y equipo de medición de campo para muestreo de RODAMINA WT</i> .....	98
<i>Tabla 2.4 Procedimiento seguido para muestreo de RODAMINA WT</i> .....	99
<i>Tabla 2.5 Resumen de material, equipo de protección personal y equipo de medición de campo para muestreo de calidad de agua y aptitudes de uso</i> .....	100
<i>Tabla 2.6 Procedimiento seguido para muestreo de calidad de agua</i> .....	100
<i>Tabla 2.7 Tabla de recipientes y preservantes para muestras de aguas superficiales</i> .....	102

### CAPÍTULO III

Tabla 3. 1 Especificación de métodos de análisis, para cada parámetro analítico a evaluar .....	103
Tabla 3. 2 Concentración a las cuales se prepararon los estándares.....	110
Tabla 3. 3 Lecturas de concentración obtenidas del equipo sujeto de calibración. ....	111

### CAPÍTULO IV

Tabla 4. 1 Muestréos realizados de análisis de aguas en el tramo en estudio.....	112
Tabla 4. 2 Estudios realizados según técnica de Trazadores.....	113
Tabla 4. 3 Distancias entre puntos de muestreo.....	114
Tabla 4. 4 Resultados de primer análisis bacteriológico por punto de muestreo .....	116
Tabla 4. 5 Resultados de Primer análisis fisicoquímico de aguas.El JOCOTE .....	117
Tabla 4. 6 Resultados de Primer análisis fisicoquímico de aguas Punto de muestreo: El LLANO .....	118
Tabla 4. 7 Resultados de Primer análisis fisicoquímico de agua.RANCHO QUEMADO .....	119
Tabla 4. 8 Parámetros de campo muestreo 1, punto de muestreo: EL JOCOTE .....	120
Tabla 4. 9 Parámetros de campo muestreo 1, punto de muestreo: EL LLANO .....	120
Tabla 4. 10 Parámetros de campo muestreo 1, Punto de muestreo: RANCHO QUEMADO.....	120
Tabla 4. 11 Resultados de segundo análisis bacteriológico Por punto de muestreo .....	121
Tabla 4. 12 Resultados de segundo análisis fisicoquímico de aguas.EL JOCOTE .....	121
Tabla 4. 13 Resultados de segundo análisis fisicoquímico de aguas.EL JOCOTE (Continuación) .....	122
Tabla 4. 14 Resultados de segundo análisis fisicoquímico de aguas.EL LLANO .....	122
Tabla 4. 15 Resultados de segundo análisis fisicoquímico de aguas.EL LLANO (Continuación) .....	123
Tabla 4. 16 Resultados de segundo análisis fisicoquímico de aguas.RANCHO QUEMADO .....	123
Tabla 4. 17 Resultados de segundo análisis fisicoquímico de aguas.RANCHO QUEMADO (Continuación) ..	124
Tabla 4. 18 Parámetros de campo muestreo 2, Punto de muestreo: EL JOCOTE.....	124
Tabla 4. 19 Parámetros de campo muestreo 2, Punto de muestreo: EL LLANO.....	125
Tabla 4. 20 Parámetros de campo muestreo 2, Punto de muestreo: RANCHO QUEMADO.....	125
Tabla 4. 21 Resultados de tercer análisis bacteriológico por Punto de muestreo.....	126
Tabla 4. 22 Resultados de tercer análisis fisicoquímico de aguas. El JOCOTE .....	126
Tabla 4. 23 Resultados de tercer análisis fisicoquímico de aguas. El JOCOTE (Continuación).....	127
Tabla 4. 24 Resultados de tercer análisis fisicoquímico de aguas Punto de muestreo: El LLANO.....	127
Tabla 4. 25 Resultados de tercer análisis fisicoquímico de agua. RANCHO QUEMADO.....	128
Tabla 4. 26 Parámetros de campo muestreo 3, Punto de muestreo: EL JOCOTE.....	129
Tabla 4. 27 Parámetros de campo muestreo 3, Punto de muestreo: EL LLANO.....	129
Tabla 4. 28 Parámetros de campo muestreo 3, Punto de muestreo: RANCHO QUEMADO.....	129
Tabla 4. 29 Datos del punto de inyección, estudio pre-experimental.....	130
Tabla 4. 30 Datos de concentración, 100m aguas abajo del punto de inyección, estudio pre-experimental ..	130
Tabla 4. 31 Datos de concentración, 100m aguas abajo del punto de inyección, estudio pre-experimental (Continuación).....	131
Tabla 4. 32 Datos del punto de inyección estudio experimental.....	132
Tabla 4. 33 Datos de concentración, primer punto de recolección, estudio experimental .....	132
Tabla 4. 34 Datos de concentración, primer punto de recolección, estudio experimental (Continuación) .....	133
Tabla 4. 35 Datos de concentración, segundo punto de recolección, estudio experimental.....	134
Tabla 4. 36 Datos de concentración, segundo punto de recolección, estudio experimental (Continuación)...	135
Tabla 4. 37 Datos del punto de inyección, estudio de dispersión # 1 .....	135

Tabla 4. 38 Datos de concentración, punto de recolección 1, estudio de dispersión # 1.....	136
Tabla 4. 39 Datos de concentración, punto de recolección 1, estudio de dispersión # 1 (Continuación).....	137
Tabla 4. 40 Datos de concentración, punto de recolección 2, estudio de dispersión # 1.....	137
Tabla 4. 41 Datos de concentración, punto de recolección 2, estudio de dispersión # 1 (Continuación).....	138
Tabla 4. 42 Datos del punto de inyección, estudio de dispersión #2 .....	139
Tabla 4. 43 Datos de concentración, punto de recolección 1, estudio de dispersión # 2.....	139
Tabla 4. 44 Datos de concentración, punto de recolección 1, estudio de dispersión # 2 (Continuación).....	140
Tabla 4. 45 Datos de concentración, punto de recolección 1, estudio de dispersión # 2 (Continuación).....	141
Tabla 4. 46 Datos de concentración, punto de recolección 1, estudio de dispersión # 2 (Continuación).....	142
Tabla 4. 47 Datos de concentración, punto de recolección 2, estudio de dispersión # 2.....	142
Tabla 4. 48 Datos de concentración, punto de recolección 2, estudio de dispersión # 2 (Continuación).....	143
Tabla 4. 49 Datos de concentración, punto de recolección 2, estudio de dispersión # 2 (Continuación).....	144
Tabla 4. 50 Datos de concentración, punto de recolección 2, estudio de dispersión # 2 (Continuación).....	145
Tabla 4. 51 Datos de concentración, punto de recolección 2, estudio de dispersión # 2 (Continuación).....	146

## **CAPÍTULO V**

Tabla 5. 1 Resultados estadísticos de parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos evaluados para el muestreo 01.....	147
Tabla 5. 2 Resultados estadísticos de parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos evaluados para el muestreo 02.....	148
Tabla 5. 3 Resultados estadísticos de parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos evaluados para el muestreo 03.....	150
Tabla 5. 4 Resultados estadísticos de parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos evaluados para el sitio de muestreo 01 JOCOT.....	151
Tabla 5. 5 Resultados estadísticos de parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos evaluados para el sitio de muestreo 02 LLANO .....	152
Tabla 5. 6 Resultados estadísticos de parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos evaluados para el sitio de muestreo 03 RANCH .....	153
Tabla 5. 7 Coeficiente de variación para cada sitio de muestreo.....	155
Tabla 5. 8 Resumen de los valores de Subi para el Muestreo 01.....	159
Tabla 5. 9 Resumen de los valores de Subi para el Muestreo 02.....	159
Tabla 5. 10 Resumen de los valores de Subi para el Muestreo 03.....	160
Tabla 5. 11 Valores del ICA de los 9 muestreos.....	161
Tabla 5. 12 Aporte de cada parámetro al valor del ICA. ....	162
Tabla 5. 13 Variación del valor de cada Subiwi y comportamiento del multiplicatorio del valor del ICA para el Muestreo 01. ....	164
Tabla 5. 14 Variación del valor de cada Subiwi y comportamiento del multiplicatorio del valor del ICA para el Muestreo 02. ....	165
Tabla 5. 15 Variación del valor de cada Subiwi y comportamiento del multiplicatorio del valor del ICA para el Muestreo 03. ....	166
Tabla 5. 16 Resultado de parámetros de aptitud de uso de agua para riego .....	167
Tabla 5. 17 Resultados aptitud agua cruda para potabilización .....	168
Tabla 5. 18 Resultado aptitud agua para contacto humano .....	172
Tabla 5. 19 Procedimiento general del cálculo del coeficiente de dispersión longitudinal según ecuación empírica de Fischer2 .....	176

<i>Tabla 5. 20 Procedimiento general del cálculo del coeficiente de dispersión longitudinal según método propuesto por H.Scott Fogler.</i> .....	177
<i>Tabla 5. 21 Datos obtenidos en los aforos realizados para el estudio de dispersión experimental</i> .....	178
<i>Tabla 5. 22 Resultados a partir de la ecuación empírica, estudio experimental, punto 1.</i> .....	178
<i>Tabla 5. 23 Resultados a partir del método de H.Scott Fogler, estudio experimental, punto 1.</i> .....	179
<i>Tabla 5. 24 Resultados de las variables de regresión para el punto1, estudio experimental.</i> .....	182
<i>Tabla 5. 25 Análisis de varianza para el punto1, estudio experimental.</i> .....	182
<i>Tabla 5. 26 Resultados a partir de la ecuación empírica, estudio experimental, punto 2.</i> .....	183
<i>Tabla 5. 27 Resultados a partir del método de Fogler, estudio experimental, punto 2</i> .....	184
<i>Tabla 5. 28 Resultados de las variables de regresión para el punto 2, estudio experimental.</i> .....	186
<i>Tabla 5. 29 Análisis de varianza para el punto2, estudio experimental.</i> .....	187
<i>Tabla 5. 30 Resultados obtenidos para el punto 1 y 2, en el estudio experimental</i> .....	188
<i>Tabla 5. 31 Datos obtenidos en los aforos realizados para el estudio de dispersión #1</i> .....	189
<i>Tabla 5. 32 Resultados a partir de la ecuación empírica, estudio de dispersión #1, punto 1.</i> .....	190
<i>Tabla 5. 33 Resultados a partir del método de Fogler, estudio de dispersión #1, punto 1.</i> .....	190
<i>Tabla 5. 34 Resultados de las variables de regresión para el punto 1, estudio dispersión #1</i> .....	193
<i>Tabla 5. 35 Análisis de varianza para el punto 1, estudio dispersión #1</i> .....	193
<i>Tabla 5. 36 Resultados a partir de la ecuación empírica, estudio de dispersión #1, punto 2.</i> .....	194
<i>Tabla 5. 37 Resultados a partir del método de Fogler, estudio de dispersión #1, punto 2.</i> .....	195
<i>Tabla 5. 38 Resultados de las variables de regresión para el punto 2, estudio de dispersión #1</i> .....	197
<i>Tabla 5. 39 Análisis de varianza para el punto 2, estudio de dispersión #1</i> .....	197
<i>Tabla 5. 40 Resultados obtenidos para el punto 1 y 2, en el estudio de dispersión #1.</i> .....	198
<i>Tabla 5. 41 Datos obtenidos en los aforos realizados para el estudio de dispersión #2</i> .....	199
<i>Tabla 5. 42 Resultados a partir de la ecuación empírica, estudio de dispersión #2, punto 1.</i> .....	200
<i>Tabla 5. 43 Resultados a partir del método de Fogler, estudio de dispersión #2, punto 1.</i> .....	200
<i>Tabla 5. 44 Resultados de las variables de regresión para el punto 1, estudio de dispersión #2</i> .....	203
<i>Tabla 5. 45 Análisis de varianza para el punto 1, estudio de dispersión #2</i> .....	203
<i>Tabla 5. 46 Resultados a partir de la ecuación empírica, estudio de dispersión #2, punto 2.</i> .....	204
<i>Tabla 5. 47 Resultados a partir del método de Fogler, estudio de dispersión #2, punto 2.</i> .....	205
<i>Tabla 5. 48 Resultados de las variables de regresión para el punto 2, estudio de dispersión #2</i> .....	208
<i>Tabla 5. 49 Análisis de varianza para el punto 2, estudio de dispersión #2</i> .....	208
<i>Tabla 5. 50 Resultados obtenidos para el punto 1 y 2, en el estudio de dispersión #2.</i> .....	209
<i>Tabla 5. 51 consolidado de los valores obtenidos para cada parámetro de los estudios de dispersión realizados.</i> .....	211

## INDICE DE ANEXOS

<i>Anexo 1. Fragmento del Decreto N° 51 Norma nacional publicada en el diario oficial el 16 de noviembre de 1987.....</i>	<i>225</i>
<i>Anexo 2. Ficha de datos de seguridad de RODAMINA WT.....</i>	<i>227</i>
<i>Anexo 3. Aforo de corrientes por molinete.....</i>	<i>233</i>
<i>Anexo 4. Manual del Usuario del Aquafluor.....</i>	<i>234</i>
<i>Anexo 5. Fichas de puntos de Muestreo.....</i>	<i>240</i>
<i>Anexo 6. Análisis Bacteriológicos ESMI S.A DE C.V. Primer muestreo, 01-JOCOT.....</i>	<i>246</i>
<i>Anexo 7. Análisis Bacteriológicos ESMI S.A DE C.V. Primer muestreo, 02-LLANO.....</i>	<i>247</i>
<i>Anexo 8. Análisis Bacteriológicos ESMI S.A DE C.V. Primer muestreo, 03-RANCH.....</i>	<i>248</i>
<i>Anexo 9. Análisis Bacteriológicos ESMI S.A DE C.V. segundo muestreo, 01-JOCOT.....</i>	<i>249</i>
<i>Anexo 10. Análisis Bacteriológicos ESMI S.A DE C.V. Segundo muestreo, 02-LLANO.....</i>	<i>250</i>
<i>Anexo 11. Análisis Bacteriológicos ESMI S.A DE C.V. Segundo muestreo, 03-RANCH.....</i>	<i>251</i>
<i>Anexo 12. Análisis Bacteriológicos ESMI S.A DE C.V. Tercer muestreo, 01-JOCOT.....</i>	<i>252</i>
<i>Anexo 13. Análisis Bacteriológicos ESMI S.A DE C.V. Tercer muestreo, 02-LLANO.....</i>	<i>253</i>
<i>Anexo 14. Análisis Bacteriológicos ESMI S.A DE C.V. Tercer muestreo, 03-RANCH.....</i>	<i>254</i>
<i>Anexo 15. Análisis Físicoquímico de aguas SNET/MARN Primer muestreo, 01-JOCOT.....</i>	<i>255</i>
<i>Anexo 16. Análisis Físicoquímico de aguas SNET/MARN Primer muestreo, 02-LLANO.....</i>	<i>256</i>
<i>Anexo 17. Análisis Físicoquímico de aguas SNET/MARN Primer muestreo, 03-RANCH.....</i>	<i>257</i>
<i>Anexo 18. Análisis Físicoquímico de aguas SNET/MARN Segundo muestreo, 01-JOCOT.....</i>	<i>258</i>
<i>Anexo 19. Análisis Físicoquímico de aguas SNET/MARN Segundo muestreo, 2-LLANO.....</i>	<i>259</i>
<i>Anexo 20. Análisis Físicoquímico de aguas SNET/MARN Segundo muestreo, 03-RANCH.....</i>	<i>260</i>
<i>Anexo 21. Análisis Físicoquímico de aguas SNET/MARN tercer muestreo, 01-JOCOT.....</i>	<i>261</i>
<i>Anexo 22. Análisis Físicoquímico de aguas SNET/MARN tercer muestreo, 02-LLANO.....</i>	<i>262</i>
<i>Anexo 23. Análisis Físicoquímico de aguas SNET/MARN tercer muestreo, 03-RANCH.....</i>	<i>263</i>
<i>Anexo 24. Ecuación empírica de Fischer, et al., 1979. ....</i>	<i>264</i>
<i>Anexo 26. Aforos estudio de dispersión experimental. PUNTO 2 (PTO DE RECOLECCIÓN 2).....</i>	<i>266</i>
<i>Anexo 27. Aforos estudio de dispersión #1. PUNTO 1(LLANO).....</i>	<i>267</i>
<i>Anexo 28. Aforos estudio de dispersión #1. PUNTO 2 (RANCHO QUEMADO).....</i>	<i>268</i>
<i>Anexo 28. Aforos estudio de dispersión #1. PUNTO 2 (RANCHO QUEMADO).....</i>	<i>268</i>
<i>Anexo 29. Aforos estudio de dispersión #2. PUNTO 1(LLANO).....</i>	<i>269</i>
<i>Anexo 30. Aforos estudio de dispersión #2. PUNTO 2 (RANCHO QUEMADO).....</i>	<i>270</i>
<i>Anexo 31. Graficas de control para parámetros de aptitudes de uso del agua.....</i>	<i>271</i>

## INTRODUCCION

Actualmente el problema de la contaminación del agua en El Salvador, se encuentra en un nivel crítico, y sin duda, el desarrollo del país se ve limitado por ello debido a varios factores: primero el deterioro mismo de los recursos, ya que genera un riesgo ambiental y limita la vida acuática, segundo la contaminación del agua superficial limita sus usos tanto para potabilización a través de tratamientos convencionales, riego y actividades recreativas o de contacto humano, tercero agua contaminada genera en la salud de los pobladores un impacto negativo para el país en la medida en que la productividad disminuye y la inversión en salud pública aumenta.

Según el “Levantamiento de Fuentes Contaminantes” realizado en el año 2002 por el SNET, el Río Sucio, se ve contaminado por una serie de vertidos provenientes de diferentes fuentes, entre los que se pueden mencionar: Industrial, Textil, Alimenticia, Tenería y Agroindustrial; teniendo un total de 48 vertidos.

El Río Sucio tiene una superficie de contaminación del 88%, con una composición de fuentes contaminantes de 38% de origen industrial, 31% de origen agroindustrial, 15% proveniente de industria textil, 10% proveniente de industria alimenticia, 6% proveniente de tenerías. Esta contaminación es producida, principalmente, por las descargas de aguas negras de la ciudad de Santa Tecla, Colón y Lourdes, vertidos de las industrias mencionadas, así como, descargas no puntuales de la actividad agropecuaria de la zona.

Este recurso es de gran importancia para el desarrollo de la población residente en aspectos relacionados a la agricultura, ganadería, pesca y piscicultura. Es esta necesidad la que hace que las personas utilicen este recurso en los aspectos antes mencionados, sin tomar en cuenta el peligro al que se está expuesto al utilizar aguas contaminadas.

El presente estudio tiene como objetivo el Caracterizar la calidad de las aguas superficiales en el tramo de interés, el cual esta ubicado aproximadamente 10 Km aguas arriba de la bocatoma del Distrito de Riego de Atiocoyo Sur, comprendiendo tres puntos de muestreo: el jocote, el llano, y rancho quemado; a través del cálculo del índice de calidad del agua (ICA), y la evaluación de las aptitudes de uso para riego, contacto humano y agua cruda para potabilización; así como también el desarrollo de un estudio del comportamiento de la dispersión de los contaminantes en la subcuenca del Río Sucio, en el tramo en mención; a partir del monitoreo del trazador Rodamina WT.

## CAPITULO I. GENERALIDADES

### I.1 GENERALIDADES DE CUENCAS, SUB-CUENCAS Y RÍOS (9)

#### I.1.1 CUENCAS

Se entiende por *cuenca hidrográfica* o *cuenca de drenaje* el territorio drenado por un único sistema de drenaje natural, es decir, que drena sus aguas al mar a través de un único río, o que vierte sus aguas a un único lago endorreico. Una cuenca hidrográfica es delimitada por la línea de las cumbres, también llamada divisoria de aguas.

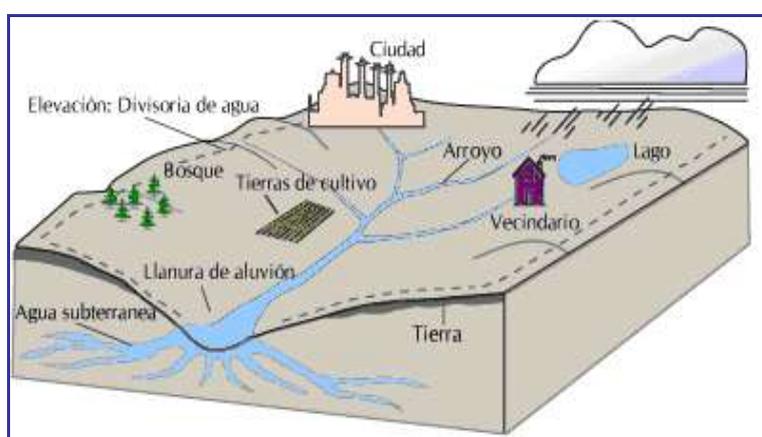


Figura 1 - 1 Esquematización de una cuenca

Fuente: [www.marc.org](http://www.marc.org)

##### I.1.1.1 Elementos de la Cuenca

En una cuenca identificamos los siguientes elementos:

- ✓ **El río principal:** actúa como el único colector de las aguas. A menudo la elección del río principal es arbitraria, pues se pueden seguir distintos criterios para su elección (el curso fluvial más largo, el de mayor caudal medio, el de mayor caudal máximo, el de mayor superficie de cuenca, etc.). El curso del río principal es la distancia entre su nacimiento y su desembocadura (Ver Figura 1-1).

- ✓ **Los afluentes:** Son los ríos secundarios que desaguan en el río principal. Cada afluente tiene su respectiva cuenca, denominada sub-cuenca. (Ver figura 1-1)
- ✓ **El Divortium aquarum:** El *divortium aquarum* o línea divisoria de vertientes, es la línea que separa a dos o más cuencas vecinas. Es la divisoria de aguas, utilizada como límite entre dos espacios geográficos o cuencas hidrográficas. (Ver figura 1-1)
- ✓ **El relieve de la cuenca:** consta de los valles principales y secundarios, con las formas de relieve mayores y menores y la red fluvial que conforma una cuenca. Está formado por las montañas y sus flancos; por las quebradas o torrentes, valles y mesetas.
- ✓ **Las obras humanas:** Las obras construidas por el ser humano, también denominadas intervenciones antropogénicas, suelen ser: viviendas, ciudades, campos de cultivo, obras para riego y energía, y vías de comunicación.

#### **I.1.1.2 Partes de una cuenca (Ver figura 1–2)**

- ✓ **Cuenca alta:** es la parte de la cuenca en la cual predomina el fenómeno de la socavación. Es decir que existe aportación de material terreo hacia las partes bajas de la cuenca.
- ✓ **Cuenca media:** es la parte de la cuenca en la cual en la parte media hay un equilibrio entre el material sólido que llega traído por la corriente y el material que sale. Visiblemente no hay erosión
- ✓ **Cuenca baja:** es la parte de la cuenca en la cual el material extraído de la parte alta se deposita en lo que se llama cono de deyección.



Figura 1 - 2 Tipificación de una cuenca

Fuente: elearning.semarnat.gob.mx/cte

### I.1.1.3 Tipos de cuencas

Existen tres tipos de cuencas:

- ✓ **Exorreicas:** drenan sus aguas al mar o al océano.
- ✓ **Endorreicas:** desembocan en lagos, lagunas o salares que no tienen comunicación salida fluvial al mar.
- ✓ **Arreicas:** las aguas se evaporan o se filtran en el terreno antes de encauzarse en una red de drenaje.

### I.1.2 SUBCUENCA

Área considerada como una subdivisión de la cuenca hidrológica que presenta características particulares de escurrimiento y extensión.

Generalmente su escorrentía superficial fluye en su totalidad a través de una serie de corrientes, ríos y, eventualmente, lagos hacia un determinado punto de un curso de agua (generalmente un lago o una confluencia de ríos). (Ver figura 1-3)



Figura 1 - 3 Esquema de una subcuenca

Fuente: [www.cuencaamanalcovalle.org/imagenes/general](http://www.cuencaamanalcovalle.org/imagenes/general)

### I.1.3 RÍOS Y CORRIENTES SUPERFICIALES DE AGUA

Un río es una corriente natural de agua que fluye con continuidad. Posee un caudal determinado, rara vez constante a lo largo del año, y desemboca en el mar, en un lago o en otro río, en cuyo caso se denomina afluente. La parte final de un río es su desembocadura. Algunas veces desembocan en zonas desérticas donde sus aguas se pierden por infiltración y evaporación: es el caso de los ríos alóctonos (llamados así porque sus aguas proceden de otros lugares con clima más húmedo).

Un río está compuesto por varias partes básicas. Por lo general, los ríos, especialmente los más grandes, se dividen en tres partes principales, de acuerdo con su capacidad erosiva y de transporte de sedimentos: curso superior, curso medio y curso inferior.

- ✓ **Curso superior:** generalmente, esta parte de los ríos coincide con las áreas montañosas de una cuenca determinada. En esta parte del curso el potencial erosivo es mucho mayor y los ríos suelen formar valles en V al encajarse en el relieve. Algunas veces, cuando esta parte de un río se encuentra en regiones de montaña de clima seco pueden denominarse barrancos, ramblas o torrentes. (Ver Figura 1-4)

- ✓ **Curso medio:** generalmente, en el curso medio de un río suelen alternarse las áreas o zonas donde el río erosiona y donde deposita parte de sus sedimentos, lo cual se debe, principalmente, a las fluctuaciones de la pendiente y a la influencia que reciben con respecto al caudal y sedimentos de sus afluentes. A lo largo del curso medio, la sección transversal del río habitualmente se suaviza, y el cauce se prolonga más recto. (Ver figura 1- 4).
- ✓ **Curso inferior:** en las partes en donde el río fluye en áreas relativamente planas, se suelen formar meandros o lagos en herradura. Al fluir el río, acarrea grandes cantidades de sedimentos, los que pueden dar origen a islas sedimentarias, llamadas deltas y también puede ocasionar la elevación del cauce por encima del nivel de la llanura, por lo que muchos ríos suelen discurrir paralelos al mismo, por no poder desembocar por la mayor elevación del río principal. (Ver figura 1-4)

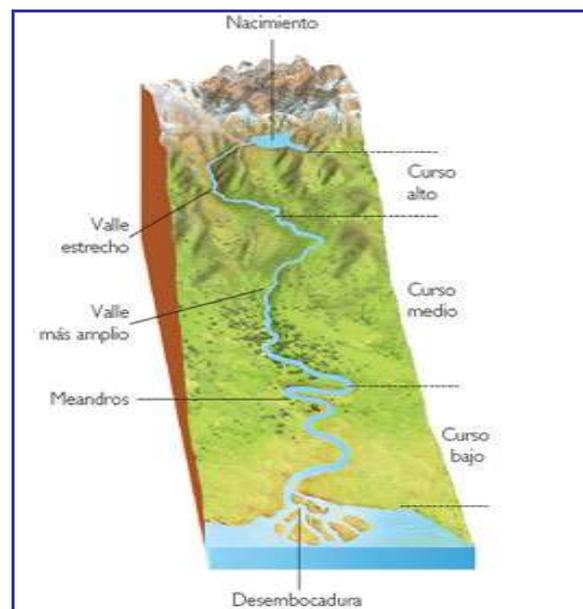


Figura 1 - 4 Esquema general de las partes de un río

Fuente: [www.kalipedia.com](http://www.kalipedia.com)

### I.1.3.1 Clasificación de ríos según período de actividad

Según el periodo de actividad los ríos se pueden clasificar en:

- ✓ **Perennes:** estos ríos están formados por cursos de agua localizados en regiones de lluvias abundantes con escasas fluctuaciones a lo largo del año. Sin embargo, incluso en las áreas donde llueve muy poco pueden existir ríos con caudal permanente si existe una alimentación freática (es decir, de aguas subterráneas) suficiente.
- ✓ **Estacionales:** estos ríos y ramblas son de zonas con clima tipo mediterráneo, en donde hay estaciones muy diferenciadas, con inviernos húmedos y veranos secos o viceversa. Suelen darse más en zonas de montaña que en las zonas de llanura.
- ✓ **Transitorios:** son los ríos de zonas con clima desértico o seco, de caudal esporádico. Esto es debido a la poca frecuencia de las tormentas en zonas de clima de desierto. Pero cuando existen descargas de tormenta, que muchas veces son torrenciales, los ríos surgen rápidamente y a gran velocidad.
- ✓ **Alóctonos:** son ríos, generalmente de zonas áridas, cuyas aguas proceden de otras regiones más lluviosas.

### I.1.3.2 Clasificación de ríos según geomorfología

Según la geomorfología en planta que adopta la corriente, se pueden clasificar los ríos en tres tipos básicos: rectilíneo, meándrico, y anastomosado. Los parámetros utilizados para esta clasificación son la sinuosidad y multiplicidad. Esta última depende del número de barras que divide la corriente en varios brazos.

- ✓ **Rectilíneo:** estas corrientes se caracterizan por una sinuosidad baja (menor a 1,5) y multiplicidad 1, es decir, un único canal. Son muy inestables, tendiendo a evolucionar a otros tipos de río. Tienen caudal de alta energía y gran capacidad erosiva.

- ✓ **Anastomosado:** estas corrientes presentan canales múltiples. Tienen gran capacidad de transporte y sedimentación. Tienen menor energía que las corrientes rectilíneas, por lo que, al encontrarse con obstáculos, tienden a modificar su trayectoria adecuándose al relieve y a los sedimentos en el fondo del cauce, siendo la deposición en el fondo de sedimentos de granulometría heterogénea.
  
- ✓ **Meándrico:** este tipo de río tiene sinuosidad alta (mayor a 1,5) y canal único. Su característica principal es la unidad geométrica llamada meandro, curva completa sobre el canal, compuesto por dos arcos sucesivos.

#### I.1.4 GENERALIDADES DE RÍOS EN EL SALVADOR

El Salvador posee 360 ríos que drenan el territorio nacional; el más importante de estos, es el Río Lempa, que produce el 72 % de la disponibilidad del recurso agua en El Salvador, siendo sus principales tributarios el Río Acelhuate, Río Sucio, Río Torola y Río Sumpul. El segundo en importancia es el Río Grande de San Miguel, el cual se origina en el departamento de Morazán, atravesando los departamentos de San Miguel y Usulután; produciendo una escorrentía total por año de 6.54 %, y con un caudal promedio anual de 36.8 m<sup>3</sup>/s.

Si se estudia a El Salvador por zonas, el mayor porcentaje de aguas superficiales le corresponde a la zona Central con un 69 %; seguido de la zona Occidental con 18 % y a la zona Oriental el 13%.(3) (Ver figura 1-5)



**Figura 1 - 5 Distribución de las aguas superficiales en El Salvador**

Las regiones hidrográficas de El Salvador, se determinan por medio de la delimitación de las cuencas de los principales ríos del país. Existen 11 regiones delimitadas y se identifican por el nombre de los principales ríos. Las cuencas hidrográficas son el escenario natural de regulación de los recursos hídricos cuyo manejo se considera clave para asegurar la conservación del agua y mejorar la calidad de vida de la población rural. Las cuencas también son un espacio socio-natural constantemente transformado e intervenido por la acción de diversos actores y procesos. El territorio de El Salvador se distribuye, entre 6 cuencas hidrográficas y 5 zonas con ríos de pequeño recorrido. Las cuencas hidrográficas (Ver Figura 1-6) son las siguientes:

- A. Cuenca del Río Lempa, compartida con Honduras y Guatemala.
- B. Cuenca del Río Paz, compartida con Guatemala.
- D. Sonsonate, cuenca conformada por los Ríos: San Pedro y Sensunapán.
- F. Cuenca del Río Jiboa, en parte alimentada por el Desagüe del Lago de Ilopango.
- I. Cuenca del Río Grande de San Miguel.
- K. Cuenca del Río Goascorán, compartida con Honduras.



#### **I.1.4.1 Contaminación de los recursos hídricos (4)**

Muchos tipos de proyectos, planes o programas producen impactos en las aguas superficiales, los impactos pueden ser representados por cambios en la calidad y cantidad de las aguas, produciendo alteraciones en los ecosistemas acuáticos. Ejemplo de proyectos que ocasionan impactos relacionados con las aguas superficiales son: industrias o centrales hidroeléctricas que extraen aguas superficiales para utilizarlas como aguas de refrigeración; industrias que vierten aguas residuales de procesos de operación rutinarias; construcción de presas para abastecimiento de agua; deforestación y desarrollo agrícola, que dan como resultado una contaminación por exceso de nutrientes y pesticidas que retornan al caudal junto al agua de riego; residuos tóxicos; residuos sólidos urbanos; aguas residuales urbanas, etc.

A continuación se detalla los tipos de contaminación más usuales de los recursos hídricos:

##### **A. Contaminación agrícola**

La contaminación agrícola es una fuente de contaminación no localizada, o no puntual, por lo que resulta más difícil controlarla y darle seguimiento para su tratamiento. En general los contaminantes agrícolas más significativos son tres:

- ✓ Los sedimentos producidos por la erosión, que acarrearán las diversas sustancias químicas que se han absorbido.
- ✓ La pesada carga de nutrientes, sobre todo en nitrógeno y en fósforo procedente de la fertilización de cultivos o de áreas de crianza de animales.
- ✓ Los pesticidas, aunado a estos está el alto nivel de agentes patógenos en las masas de aguas superficiales.

Los sedimentos producen turbiedad obstruyendo la penetración de luz solar, inhiben el crecimiento de algas y plantas acuáticas con raíces. Los depósitos en los lechos de grava en los ríos pueden afectar el desove de los peces, conducir a inundaciones desmedidas o a la obstrucción de canales. Las partículas más pequeñas acarrearán fósforo, metales y agentes contaminadores orgánicos persistentes, que afectan sobre todo a organismos bentónicos y se

acumulan en la cadena alimenticia, llegando a concentrarse eventualmente en los depredadores superiores.

### **B. Contaminación de origen doméstico**

Las aguas servidas domésticas son una mezcla de residuos que incluyen, sustancias presentes en el excremento humano, es decir, una mezcla de compuestos orgánicos y minerales no disueltos en solución acuosa. Los compuestos orgánicos son las grasas, jabones, proteínas, glúcidos y los compuestos provenientes de la descomposición, detergentes, aceites minerales y otros desperdicios de origen animal y vegetal.

### **C. Contaminación de origen industrial**

Los contaminantes contenidos en aguas de origen industrial son innumerables dependiendo del tipo de producción. En general, la contaminación puede ser debida a materia inorgánica que se encuentra en suspensión y en solución, y también, a sustancias orgánicas como los desechos químicos fenólicos, orgánicos fermentables y desechos tóxicos. Los detergentes contenidos en las aguas naturales provienen en su mayoría de descargas industriales.

#### **I.1.4.2 Autodepuración de las aguas superficiales (4)**

Las corrientes superficiales poseen mecanismos que les permiten recuperar algunas condiciones fisicoquímicas luego de haber sido alteradas en los ríos, los materiales incorporados se diluyen, ya que se dispersan progresivamente en el agua, sobre todo al aumento del caudal a medida que el río recibe nuevos afluentes. Este proceso es importante, ya que reduce la concentración de compuestos tóxicos que no están sujetos a descomposición y a la alteración en su naturaleza química.

La autodepuración debe entenderse como la sucesión de etapas ecológicas que van desde la incorporación de los desechos hasta la recuperación de las características originales del ambiente acuático.

En la figura 1-7 se muestran los factores involucrados en la autodepuración de las aguas.



Figura 1 - 7 Factores involucrados en la autodepuración de las aguas

Cada uno de ellos se define de la siguiente manera:

**Tabla 1. 1 Definiciones de los parámetros involucrados en la autodepuración de las aguas**

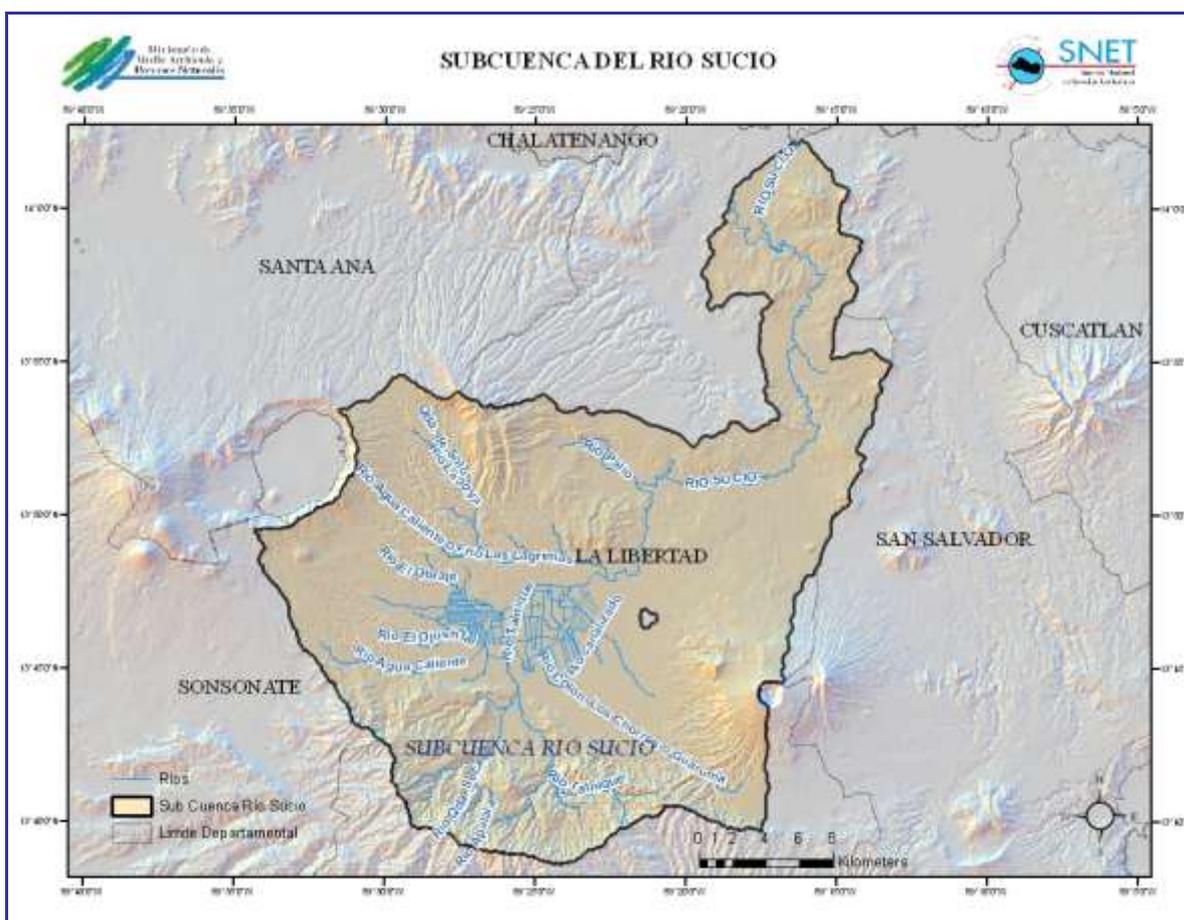
Factor	Definición
Dilución	Dispersa y reduce la concentración de los compuestos nocivos y disminuye la demanda biológica del oxígeno; baja probabilidad de incorporación a las cadenas tróficas.
Gravedad	La sedimentación de partículas orgánicas e inorgánicas en una masa de agua contaminada representa un factor significativo en la reducción de la contaminación. El aumento de transparencia que provoca la sedimentación hace posible la remoción de una importante proporción de la DBO de la masa del agua y permite la biodegradación por microorganismos anaerobios.
Turbulencia	El grado de agitación del agua debido a su velocidad y a la acción del viento, constituye un importante factor de oxigenación del medio, los ríos que presentan caídas y resaltos suelen ser más oxigenados y tienden a depurarse con más rapidez debida a la transferencia de oxígeno del aire hacia el medio acuático, sin embargo la turbulencia puede provocar la elevación y mezcla de los sedimentos orgánicos, elevando la demanda de oxígeno.
Luz	La acción de los rayos solares, ejerce una acción bactericida importante, actúan de forma directa sobre la capacidad fotosintética y, la consiguiente producción de oxígeno por el fitoplancton y malezas acuáticas, lo que contribuye a compensar la DBO, saturando de oxígeno el medio acuático degradado, aunado a la foto distribución de los microorganismos.
Variación de Temperatura	Al elevarse dentro del rango óptimo aumenta las reacciones metabólicas, acelerando la eliminación de los contaminantes orgánicos por heterótrofos.
Acciones químicas y bioquímicas	Interviene en procesos como la oxidación de compuestos y elementos, especialmente por los quimiotrófos.
Depredación	Las actividades de depredación pueden ser relevantes en el proceso de declinación bacteriana que constituye uno de los aspectos claves de la autodepuración desde el punto de vista sanitario.

### **I.1.5 SUBCUENCA DEL RÍO SUCIO (10)**

La subcuenca del Río Sucio comprende los siguientes municipios: Armenia, Ciudad Arce, Colón, El Congo, Jayaque, Sacacoyo, San Juan Opico, Talnique, Tepecoyo, Nueva San Salvador y Coatepeque. (Ver Figura 1-8).

La extensión de la subcuenca es de 1,445.96 km<sup>2</sup> que constituye el 6.9% del área total del país, cuenta con 399,555 habitantes, que corresponde al 7.8% de la población total, según censo de 1992.

El Río Sucio nace en la Laguna del valle de Zapotitán, Departamento de la Libertad, después de un recorrido de unos 60 Km. en dirección E-NE y desemboca en el Río Lempa a unos 10 Km. aguas arriba del embalse del Cerrón Grande. Con una superficie de 843 km<sup>2</sup> representa un 8.2 % de la cuenca del río Lempa perteneciente a El Salvador y un 4 % de la superficie total del país.



**Figura 1 - 8 Subcuenca del Río Sucio**

**Fuente: DGSNET/MARN**

El Río Sucio es uno de los recursos hídricos de mayor explotación, por sus características que propician su utilización para obras actuales y futuras.

Sin embargo este recurso es uno de los más contaminados en El Salvador. La importancia de la contaminación en la subcuenca del Río Sucio, radica en la intensa actividad agrícola de la zona, en donde el agua tanto superficial como subterránea es utilizada para el riego.

A continuación, se muestran las fuentes contaminantes más representativas que descargan directamente en el Río Sucio (Figura 1-9), y las principales cargas contaminantes del sistema de este (Figura 1-10).

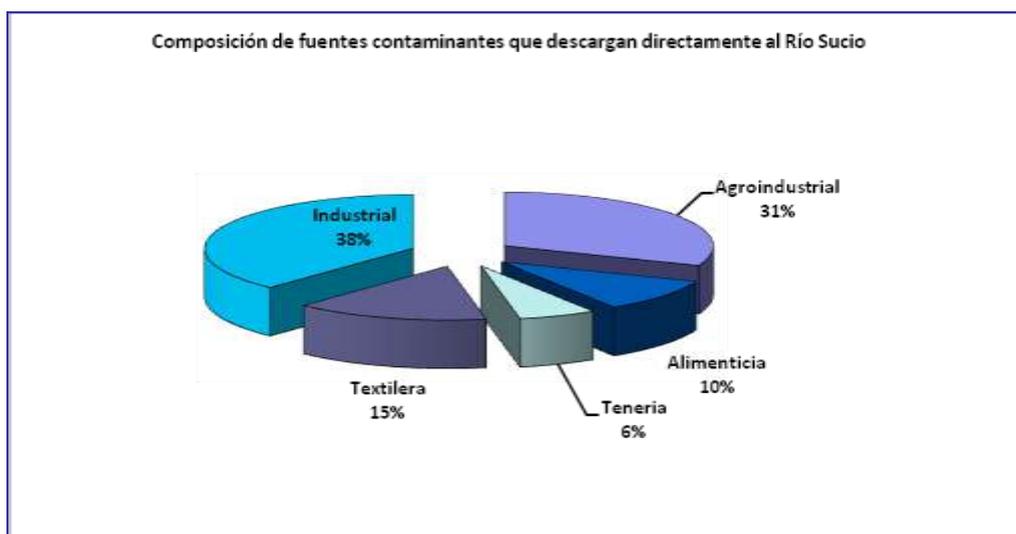
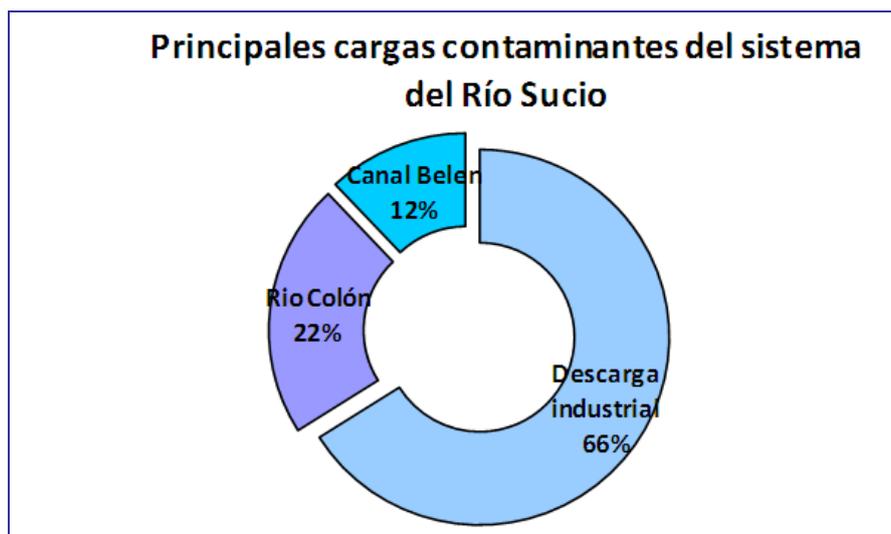


Figura 1 - 9 Composición de fuentes contaminantes que descargan directamente al Río Sucio

Fuente: Estrategia de Descontaminación de los Ríos Acelhuate, Sucio y Suquiapa DGSNET/MARN



Carga total: 4,317.50 KG/día

**Figura 1 - 10 Principales cargas contaminantes del sistema del Río Sucio**

Fuente: “Estrategia de Descontaminación de los Ríos Acelhuate, Sucio y Suquiapa”  
DGSNET/MARN

### I.1.5.1 Disponibilidad Hídrica

La subcuenca del Río Sucio puede dividirse en zonas según regiones topográficamente bien definidas, dichas regiones se muestran en la Tabla 1.2

**Tabla 1. 2 División de la subcuenca del Río Sucio**

ZONA No	DENOMINACION	AREA (km <sup>2</sup> )
1	Santa Ana – Coatepeque	163.7
2	Zona del Bálsamo	116.8
3	Zona de San Salvador	130.6
4	Zona de Zapotitán	176.2
5	Zona Norte Sucio	96.4
6	Sucio Desembocadura	159.3
<b>TOTAL</b>		843.0

Fuente: Monitoreo de la calidad de los recursos hídricos en las cuencas Sucio y Acelhuate y protección de márgenes del Río Sucio

La evaluación de los recursos hídricos disponibles en una subcuenca, se basa en la comparación entre las entradas y las salidas al sistema hidrológico de la cuenca cuyos componentes principales son la precipitación, evapotranspiración, escorrentía superficial y escorrentía subterránea.

En la Tabla 1.3, se presenta un resumen de los componentes del ciclo hidrológico para la subcuenca del Río Sucio en Millones de metros cúbicos.

**Tabla 1. 3 Resumen de oferta de recursos hídricos de subcuenca del Río Sucio**

ZONA	Denominación	Esup (m <sup>3</sup> x10 <sup>6</sup> )	Esub (m <sup>3</sup> x10 <sup>6</sup> )	TOTAL
1	Santa Ana – Coatepeque	77.3	46.13	123.43
2	Zona del Bálsamo	55.15	44.49	99.64
3	Zona de San Salvador	61.66	36.39	98.05
4	Zona de Zapotitán	83.2	28.34	111.54
5	Zona Norte Sucio	45.52	11.51	57.03
6	Sucio Desembocadura	75.22	28.85	104.07
<b>TOTAL</b>		398.05	195.71	

**Fuente: Monitoreo de la calidad de los recursos hídricos en las cuencas Sucio y Acelhuate y protección de márgenes del Río Sucio**

Donde:

*Esub*: Escorrentía Subterránea

*Esup*: Escorrentía Superficial

### **I.1.5.2 Demanda Hídrica**

El recurso hídrico de la subcuenca del Río Sucio, es utilizado para diferentes fines: abastecimiento del 26% de la demanda del Área Metropolitana de San Salvador a través del Proyecto Zona Norte y la estación de bombeo localizada en Los Chorros, Departamento de La Libertad, autoabastecimiento, irrigación en los distritos de Zapotitán y Atiococho, así como uso industrial.

En la Tabla 1.4, se presenta el resumen de las demandas anuales por zonas y por sector.(10)

**Tabla 1. 4 Demanda de agua para diferentes usos en la subcuenca del Río Sucio**

ZONA	DENOMINACIÓN	ABAS AMSS	ABAST PROP	RIEG	INDUS	TOTAL
		(m <sup>3</sup> x10 <sup>6</sup> )				
1	Santa Ana – Coatepeque		10.12	12.21	0.00	22.33
2	Zona del Bálsamo		3.41		3.77	7.18
3	Zona de San Salvador	49.77	3.70	4.07	0.65	58.19
4	Zona de Zapotitán	3.64	4.29	43.81	5.63	57.37
5	Zona Norte Sucio		7.25	12.22	1.04	20.51
6	Sucio Desembocadura		2.04	41.34	0.26	43.64

**Fuente: Monitoreo de la calidad de los recursos hídricos en las cuencas Sucio y Acelhuate y protección de márgenes del Río Sucio**

Donde:

ABAS AMSS=Abastecimiento del área metropolitana de San Salvador

ABAS PROP=Abastecimiento propio

RIEG=uso para riego

INDUS= Uso industrial

### **I.1.5.3 Río Sucio y Agricultura**

En las riberas del Río Sucio se desarrollan los dos más grandes Distritos de Riego del país (Atiocoyo y Zapotitán), así también una gran cantidad de industrias.

En la subcuenca del Río Sucio se pueden distinguir cinco grandes paisajes agropecuarios:

- 1- Tierras altas de café
- 2- Planicie central con caña de azúcar y el Distrito de Riego de Zapotitán.
- 3- Terrenos quebrados de producción cerealera.
- 4- Planicie de la zona baja, en el Distrito de Riego de Atiocoyo.

## ***I.2 CALIDAD DEL AGUA (11)***

La calidad del agua se refiere a las características físicas, químicas y biológicas de los cuerpos de agua superficiales y subterráneos. Estas características afectan la capacidad del agua para sustentar tanto a las comunidades humanas como la vida vegetal y animal.

### **I.2.1 PRINCIPALES CONSIDERACIONES**

Los productos residuales de las actividades humanas (aguas residuales, escorrentías, emisiones industriales urbanas y contaminación atmosférica) afectan la calidad del agua. De igual modo, las modificaciones al paisaje pueden desmejorar los procesos naturales de purificación del vital líquido a través de humedales e infiltración a los mantos freáticos. Al alterar las características biológicas, químicas y físicas del cuerpo de agua afectan su capacidad para sustentar la vida y su idoneidad para consumo y uso humanos.

Una forma de comunicar y evaluar la calidad de los cuerpos de agua es el Índice de Calidad del Agua (ICA), definido como una forma de agrupación simplificada de algunos parámetros que son indicadores de un deterioro en calidad del agua. Si el cálculo del ICA es adecuado, el valor arrojado puede ser representativo e indicativo del nivel de contaminación y comparable con otros para enmarcar rangos y detectar tendencias.

### **I.2.2 ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA (12)**

El Índice de Calidad del Agua (ICA) indica el grado de contaminación del agua a la fecha del muestreo y expresa una calificación promedio entre un rango de 0 a 100; de tal forma que, agua altamente contaminada tendrá un ICA cercano o igual a cero, en tanto que en el agua en excelentes condiciones el valor del índice será cercano a 100.

### I.2.2.1 Generalidades

El monitoreo de un cuerpo de agua para detectar su grado de contaminación, conduce a obtener una inmensa cantidad de datos de varios parámetros, incluso dimensionalmente distintos, que hace difícil detectar patrones de contaminación. Horton y Liebman son los pioneros en el intento de generar una metodología unificada para el cálculo del ICA. Posteriormente con trabajos de mayor envergadura, la Fundación Nacional de Saneamiento (NSF), realizó un estudio para evaluar el ICA con base en nueve parámetros. Pratti presenta un trabajo con trece parámetros y Dinius realiza otro similar con once parámetros. Esta historia de la creación de la metodología unificada para el cálculo del ICA se muestra en la Figura 1-11.



**Figura 1 - 11 Principales estudios del índice de calidad de agua**

Para la agrupación de los parámetros existen dos técnicas básicas; las que se denominan aritméticas y las multiplicativas (Brown). A su vez pueden o no ponderarse con pesos específicos para cada parámetro. Landwehr y Denninger, demostraron la superioridad del cálculo a través de técnicas multiplicativas, que son mucho más sensibles que los aritméticos a la variación de los parámetros, por lo que reflejan con mayor precisión un cambio de calidad. (Ver Figura 1-12).



Figura 1 - 12 Tipos de agrupaciones de los parámetros

### I.2.2.2 Parámetros utilizados para determinar el índice de calidad del agua (13)

El índice de calidad de agua se calcula en base a la ponderación de los siguientes parámetros: Coliformes fecales, pH, DBO<sub>5</sub>, Nitratos, Fosfatos, Cambio de temperatura, Turbidez, Sólidos disueltos totales y Oxígeno disuelto. En la tabla 1.5 se define cada parámetro utilizado para determinar el índice de calidad del agua.

Tabla 1. 5 Definición de los parámetros utilizados para determinar el índice de calidad del agua

No.	PARÁMETRO	DEFINICIÓN
1	<b>Coliformes fecales</b>	Se encuentran en los intestinos de los humanos y otros animales de sangre caliente, son un tipo de bacterias coliformes. 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. Se miden en UFC, Unidades Formadoras de Colonias es un valor que indica el grado de contaminación microbiológica de un ambiente. Expresa el número relativo de microorganismos de un taxón determinado en un volumen de un metro cúbico de agua, es decir UFC/100ml.

**Tabla 1. 6 Definición de los parámetros utilizados para determinar el índice de calidad del agua (Continuación)**

No.	PARÁMETRO	DEFINICIÓN
2	<b>pH</b>	Indica la reacción ácida y básica de la misma es una propiedad de carácter químico de vital importancia para el desarrollo de la vida acuática (tiene influencia sobre determinados procesos químicos y biológicos).
3	<b>DBO<sub>5</sub></b>	La Demanda Biológica de Oxígeno (DBO) es una medida del oxígeno que usan los microorganismos para decomponer el agua. Si hay una gran cantidad de desechos orgánicos en el suministro de agua, también habrá muchas bacterias presentes trabajando para descomponer este desecho. Se mide en mg/l o ppm.
4	<b>Nitratos</b>	El nitrógeno es un elemento necesario para que todas las plantas y los animales vivientes produzcan proteínas. En los ecosistemas acuáticos, el nitrógeno está presente en muchas formas, puede combinarse con el oxígeno para formar un compuesto llamado nitrato. Los nitratos pueden provenir de fertilizantes, aguas negras y desechos industriales; y causan la eutrofización de lagos o pozas. Se mide en mg/l o ppm.
5	<b>Fosfatos</b>	El fósforo generalmente está presente en las aguas naturales en forma de fosfatos. Estos se encuentran en los fertilizantes y los detergentes y pueden llegar al agua con el escurrimiento agrícola, los desechos industriales y las descargas de aguas negras. Los fosfatos, al igual que los nitratos, son nutrientes para las plantas. Cuando entra demasiado fosfato al agua, florece el crecimiento de las plantas. Se mide en mg/l o ppm.
6	<b>Cambio de Temperatura</b>	La temperatura es una variable física que influye notablemente en la calidad de un agua. Afecta a parámetros o características tales como la solubilidad de gases y sales, la cinética de las reacciones químicas y bioquímicas, desplazamientos de los equilibrios, tensión superficial, desarrollo de organismos presentes en el agua. Se mide en °C o °F.
7	<b>Turbidez</b>	La turbidez de un agua es provocada por la materia insoluble, en suspensión o dispersión coloidal. Es un fenómeno óptico que consiste esencialmente en una absorción de luz combinado con un proceso de difusión. La turbidez se mide en unidades nefelométricas de turbidez (NTU o UNF9 por medida de la intensidad de la luz dispersada o en mg de SiO <sub>2</sub> /l).
8	<b>Sólidos disueltos totales</b>	Los sólidos disueltos totales pueden afectar adversamente la calidad de un cuerpo de agua o un efluente de varias formas. Aguas para el consumo humano, con un alto contenido de sólidos disueltos, son por lo general de mal agrado para el paladar y pueden inducir una reacción fisiológica adversa en el consumidor. Los análisis de sólidos disueltos son importantes como indicadores de la efectividad de procesos de tratamiento biológico y físico de aguas usadas. Se mide en mg/l o ppm.

**Tabla 1. 7 Definición de los parámetros utilizados para determinar el índice de calidad del agua (Continuación)**

No.	PARÁMETRO	DEFINICIÓN
9	<b>Oxígeno Disuelto</b>	El Oxígeno Disuelto (OD) es la cantidad de oxígeno que está disuelta en el agua y es esencial para los ríos y lagos saludables. El nivel de oxígeno disuelto puede ser un indicador de cuán contaminada está el agua y cuán bien puede dar soporte esta agua a la vida vegetal y animal. Generalmente, un nivel más alto de oxígeno disuelto indica agua de mejor calidad. Si los niveles de oxígeno disuelto son demasiado bajos, algunos peces y otros organismos no pueden sobrevivir. Se expresa en % de saturación.

### 1.2.2.3 Metodología de cálculo del ICA (Índice de Calidad del Agua) (14)

Para calcular el Índice de Brown se utiliza un productorio exponencialmente ponderado de los subíndices (ICA), según la ecuación 1.1:

$$ICA = \prod_{i=1}^9 Sub_i^{w_i} \quad \text{Ecuación 1. 1}$$

Donde:

- $w_i$ : Pesos relativos asignados a cada parámetro ( $Sub_i$ )
- $Sub_i$ : Subíndice del parámetro  $i$ .

En la Tabla 1.6 se expresan los pesos de los diversos parámetros para determinar el valor del Índice de Calidad de Agua.

**Tabla 1. 8 Pesos relativos para cada parámetro del ICA**

SUB	$Sub_i$	$w_i$
1	Coliformes Fecales	0.15
2	pH	0.12
3	DBO <sub>5</sub>	0.10
4	Nitratos	0.10
5	Fosfatos	0.10
6	Temperatura	0.10

Tabla 1. 9 Pesos relativos para cada parámetro del ICA (Continuación)

SUB	Subi	wi
7	Turbidez	0.08
8	Sólidos disueltos Totales	0.08
9	Oxígeno Disuelto	0.17

Fuente: Índice Calidad del agua general "ICA". DGSNET / MARN

Los pasos a seguir para calcular los (Subi) del Índice de Calidad de Agua son:

### SUB 1:

Si los Coliformes fecales son mayores de 100,000 Bact/100 mL el (Sub<sub>1</sub>) es igual a 3. Si el valor de Coliformes fecales es menor de 100,000 Bact/100 mL, buscar el valor en el eje de (X) en la Figura 1-13 se procede a interpolar al valor en el eje de las (Y). El valor encontrado es el (Sub<sub>1</sub>) de Coliformes fecales, se procede a elevarlo al peso w<sub>1</sub>.

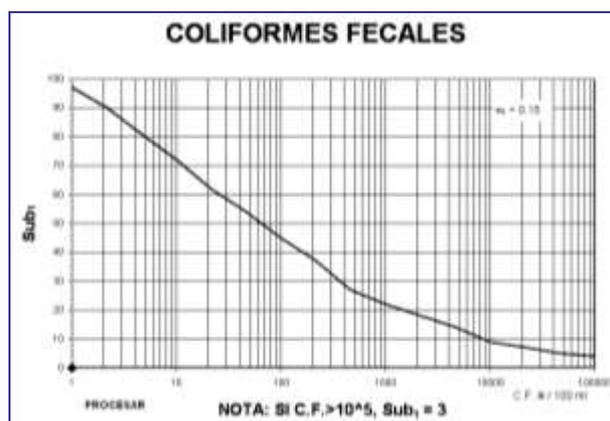


Figura 1 - 13 Valoración de la calidad de agua en función de Coliformes fecales

Fuente: Índice Calidad del agua general "ICA". DGSNET / MARN

**SUB 2:**

Si el valor de pH es menor o igual a 2 unidades el ( $Sub_2$ ) es igual a 2, sí el valor de pH es mayor o igual a 10 unidades el ( $Sub_2$ ) es igual a 3. Si el valor de pH esta entre 2 y 10 buscar el valor en el eje de (X) en la Figura 1-14 se procede a interpolar al valor en el eje de las (Y). El valor encontrado es el ( $Sub_2$ ) de pH y se procede a elevarlo al peso  $w_2$ .

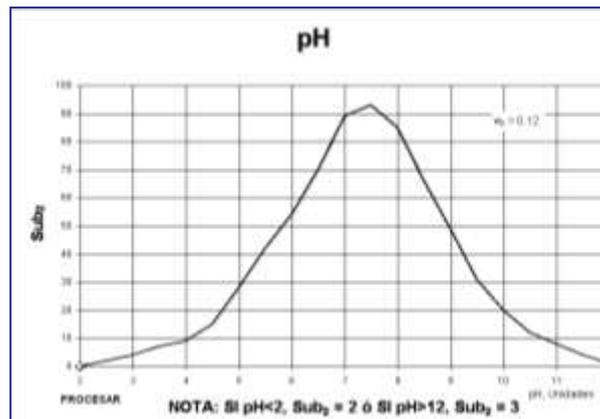


Figura 1 - 14 Valoración de la calidad de agua en función del pH

Fuente: Índice Calidad del agua general "ICA". DGSNET / MARN

**SUB 3:**

Si la  $DBO_5$  es mayor de 30 mg/L el ( $Sub_3$ ) es igual a 2. Si la  $DBO_5$  es menor de 30 mg/L buscar el valor en el eje de (X) en la Figura 1-15 se procede a interpolar al valor en el eje de las (Y). El valor encontrado es el ( $Sub_3$ ) de  $DBO_5$  y se procede a elevarlo al peso  $w_3$ .

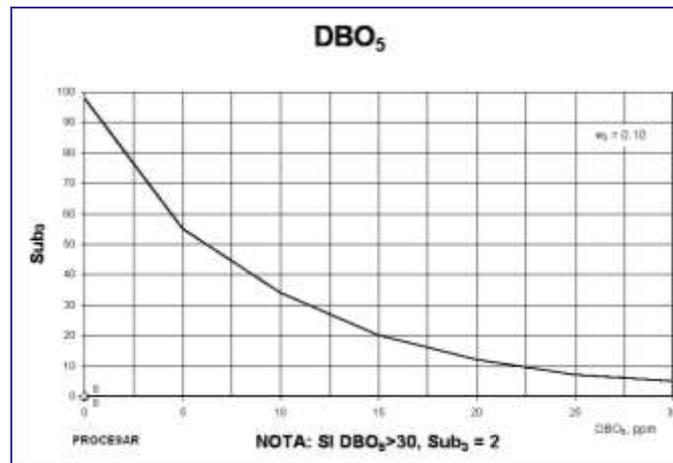


Figura 1 - 15 Valoración de la calidad de agua en función de la DBO<sub>5</sub>

Fuente: Índice Calidad del agua general "ICA". DGSNET / MARN

#### SUB 4:

Si Nitrógeno de Nitratos es mayor de 100 mg/L el (Sub<sub>4</sub>) es igual a 2. Si Nitrógeno de Nitratos es menor de 100 mg/L buscar el valor en el eje de (X) en la Figura 1-16 se procede a interpolar al valor en el eje de las (Y). El valor encontrado es el (Sub<sub>4</sub>) de Nitratos y se procede a elevarlo al peso  $w_4$ .

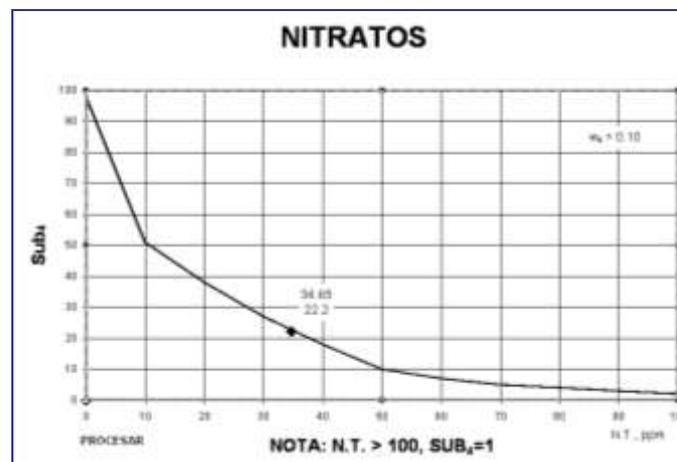


Figura 1 - 16 Valoración de la calidad de agua en función del Nitrógeno

Fuente: Índice Calidad del agua general "ICA". DGSNET / MARN

**SUB 5:**

Si el Fosfatos es mayor de 10 mg/L el (Sub<sub>5</sub>) es igual a 5. Si el Fosfatos es menor de 10 mg/L buscar el valor en el eje de (X) en la Figura 1-17 se procede a interpolar al valor en el eje de las (Y). El valor encontrado es el (Sub<sub>5</sub>) y se procede a elevarlo al peso  $w_5$ .

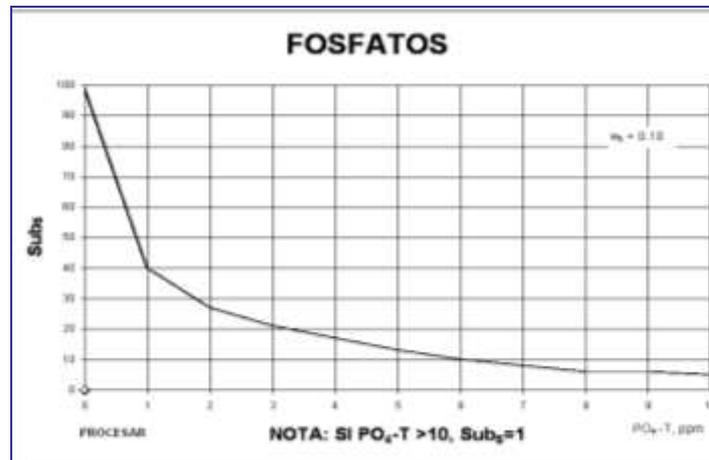


Figura 1 - 17 Valoración de la calidad de agua en función del Fósforo

Fuente: Índice Calidad del agua general "ICA". DGSNET / MARN

**SUB 6:**

Para el parámetro de Temperatura (Sub<sub>6</sub>) primero hay que calcular la diferencia entre la  $T^{\circ}_{\text{ambiente}}$  y la  $T^{\circ}_{\text{Muestra}}$  y con el valor obtenido proceder. Si el valor de esa diferencia es mayor de 15°C el (Sub<sub>6</sub>) es igual a 9. Si el valor obtenido es menor de 15°C, buscar el valor en el eje de (X) en la Figura 1-18 se procede a interpolar al valor en el eje de las (Y). El valor encontrado es el (Sub<sub>6</sub>) de Temperatura y se procede a elevarlo al peso  $w_6$ .

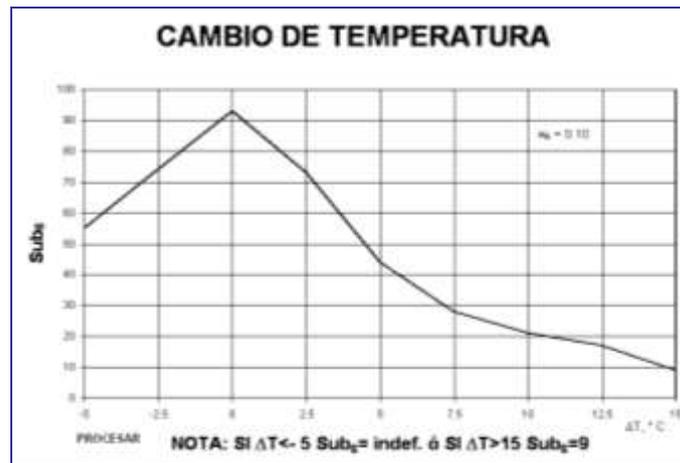


Figura 1 - 18 Valoración de la calidad de agua en función de la Temperatura

Fuente: Índice Calidad del agua general "ICA". DGSNET / MARN

### SUB 7:

Si la Turbidez es mayor de 100 FAU el (Sub<sub>7</sub>) es igual a 5. Si la Turbidez es menor de 100 FAU, buscar el valor en el eje de (X) en la en la Figura 1-19 se procede a interpolar al valor en el eje de las (Y). El valor encontrado es el (Sub<sub>7</sub>) de Turbidez y se procede a elevarlo al peso  $w_7$ .

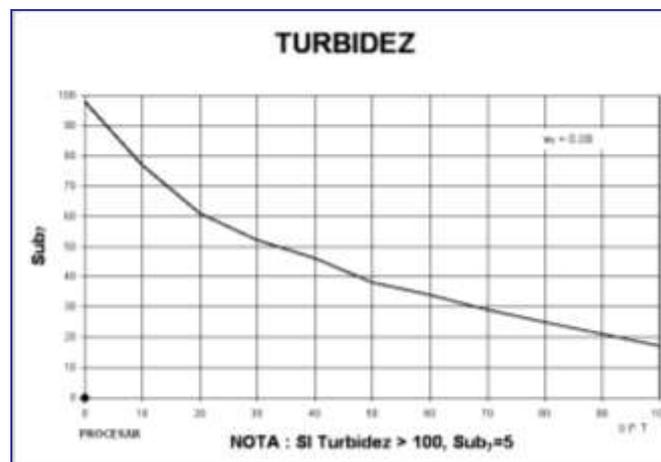


Figura 1 - 19 Valoración de la calidad de agua en función de la Turbidez

Fuente: Índice Calidad del agua general "ICA". Servicio Nacional de Estudios Territoriales.

**SUB 8:**

Si los Sólidos Disueltos Totales son mayores de 500 mg/L el ( $Sub_8$ ) es igual a 3, si es menor de 500 mg/L, buscar el valor en el eje de (X) en la Figura 1-20 se procede a interpolar al valor en el eje de las (Y). El valor encontrado es el ( $Sub_8$ ) de Residuo Total y se procede a elevarlo al peso  $w_8$ .

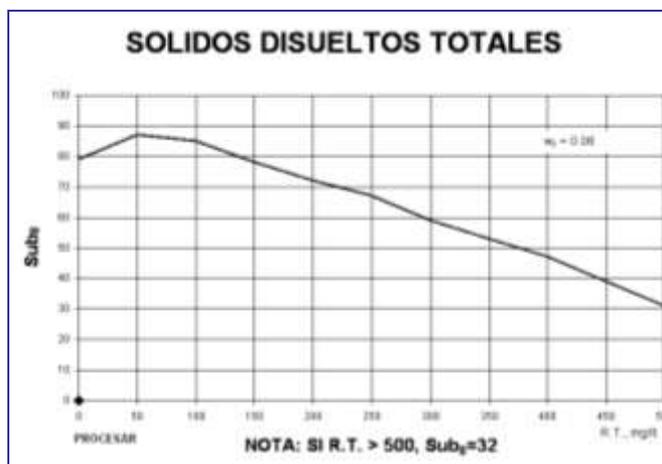


Figura 1 - 20 Valoración de la calidad de agua en función del Residuo Total

Fuente: Índice Calidad del agua general "ICA". DGSNET / MARN

**SUB 9:**

Para el parámetro de Oxígeno Disuelto (OD) primero se debe calcular el porcentaje de saturación del OD en el agua. Para esto se identifica el valor de saturación de OD según la temperatura del agua (Tabla 1.7).

Tabla 1. 10 Solubilidad del Oxígeno en Agua Dulce

Temp. °C	OD mg/L						
1	14.19	12	10.76	23	8.56	34	7.05
2	13.81	13	10.52	24	8.4	35	6.93
3	13.44	14	10.29	25	8.24	36	6.82
4	13.09	15	10.07	26	8.09	37	6.71
5	12.75	16	9.85	27	7.95	38	6.61

Tabla 1. 11 Solubilidad del Oxígeno en Agua Dulce (Continuación)

Temp. °C	OD mg/L						
6	12.43	17	9.65	28	7.81	39	6.51
7	12.12	18	9.45	29	7.67	40	6.41
8	11.83	19	9.26	30	7.54	41	6.31
9	11.55	20	9.07	31	7.41	42	6.22
10	11.27	21	8.9	32	7.28	43	6.13
11	11.01	22	8.72	33	7.16	44	6.04

Fuente: Índice Calidad del agua general "ICA". DGSNET / MARN

Si el % de Saturación de OD es mayor de 140% el ( $Sub_9$ ) es igual a 47. Si el valor obtenido es menor del 140% de Saturación de OD buscar el valor en el eje de (X) en la Figura 1-21 se procede a interpolar al valor en el eje de las (Y). El valor encontrado es el ( $Sub_9$ ) de Oxígeno Disuelto y se procede a elevarlo al peso  $w_9$ .

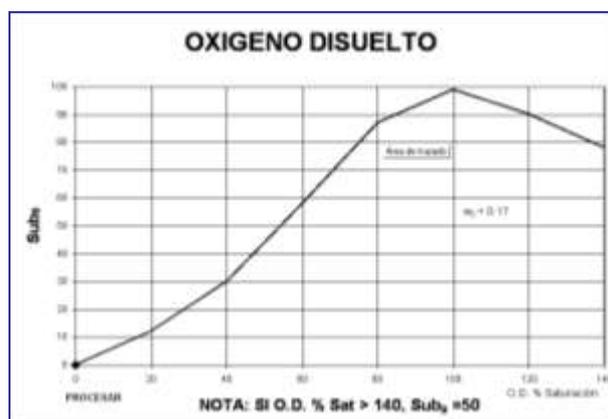


Figura 1 - 21 Valoración de la calidad de agua en función del % de Saturación del Oxígeno disuelto

Fuente: Índice Calidad del agua general "ICA". DGSNET / MARN

Los datos obtenidos se incorporan en la Tabla 1.8 con su respectivo peso para obtener el valor del ICA en el punto de muestreo evaluado.

**Tabla 1. 12 Hoja para el cálculo del ICA**

	Parámetro	Valor	Unidades	Sub <sub>i</sub>	w <sub>i</sub>	Total
1	Coliformes fecales		NMP/100 mL		0.15	
2	pH		unidades de pH		0.12	
3	DBO <sub>5</sub>		mg/ L		0.10	
4	Nitratos		mg/ L		0.10	
5	Fosfatos		mg/ L		0.10	
6	Cambio de la Temperatura		°C		0.10	
7	Turbidez		FAU		0.08	
8	Sólidos disueltos Totales		mg/ L		0.08	
9	Oxígeno Disuelto		% saturación		0.17	
Valor del "ICA"					Σ	

Fuente: Índice Calidad del agua general "ICA". DGSNET / MARN

En la Tabla 1.9 se presenta el resumen de los diferentes valores de ICA y su respectiva interpretación.

**Tabla 1. 13 Interpretación de valores de ICA**

CLASIFICACIÓN	VALOR	INTERPRETACIÓN
EXCELENTE	91-100	Permite desarrollo de vida acuática
BUENA	70-90	
REGULAR	51-70	Limita el desarrollo de vida acuática
MALA	26-50	Dificulta el desarrollo de vida acuática
PESIMA	0-25	No permite el desarrollo de vida acuática

Fuente: Índice Calidad del agua general "ICA". DGSNET / MARN

### I.2.3 EVALUACIÓN DE LAS APTITUDES DE USO (5)

La evaluación de las aptitudes de uso del cuerpo de agua se realiza en base a las siguientes aptitudes:

- a. Agua cruda para potabilizar
- b. Agua para riego
- c. Agua apta para el contacto humano

#### I.2.3.1 Agua cruda para potabilizar

Según el Decreto No. 51 (Norma Nacional publicada en el Diario Oficial el 16 de noviembre de 1987) (ver Anexo 1) los rangos para parámetros de calidad de agua deseable para agua cruda para potabilizar por métodos convencionales se muestran en la Tabla 1.10.

**Tabla 1. 14 Rangos para parámetros de calidad de agua cruda para potabilizar**

PARÁMETRO	UNIDADES	RANGO
DBO <sub>5</sub>	mg/L	De 3 a 4
Coliformes fecales	NMP/100 ml	<5,000
Oxígeno Disuelto	mg/L	4 - 6.5
pH	U de pH	6.5 a 9.2
Cloruros	mg/L	50 a 250
Color aparente	unidades de Co-Pt	20 a 150
Turbidez	FAU	10 a 250
Fenoles	mg/L	<0.005

Fuente: Diagnóstico Nacional de la calidad de aguas superficiales del DGSNET / MARN

Los rangos para parámetros de calidad de agua deseables para agua cruda para potabilizar por métodos convencionales (cloración, ebullición, filtración o sedimentación). La mayor limitante para la potabilización del agua por estos métodos, es la presencia de fenoles, los cuales no pueden ser removidos por dichos procesos convencionales.

### I.2.3.2 Agua para riego

La agricultura es uno de los usuarios de los recursos de agua y al mismo tiempo una de las fuentes de contaminación de los mismos, la descarga de contaminantes y sedimentos, es lo que en general, reduce la disponibilidad de agua de calidad aceptable para la actividad agrícola en base a las normativas dispuestas.

La calidad de agua usada para riego es determinante para la producción y calidad en la agricultura, mantenimiento de la productividad del suelo de manera sostenible y protección del medio ambiente. Por otro lado, es importante hacer notar que el alto uso de fertilizantes y plaguicidas para aumentar o mantener el rendimiento de los productos agrícolas, incide directamente en la calidad de los recursos hídricos.

Según el Decreto No. 51 (Norma Nacional publicada en el Diario Oficial el 16 de noviembre de 1987) (ver Anexo 1) los rangos para parámetros de calidad de agua deseables para agua para riego se muestran en la Tabla 1.11.

**Tabla 1. 15 Rangos para parámetros de calidad de agua para riego**

PARÁMETRO	UNIDADES	RANGO
Conductividad	$\mu$ Siemens/cm	250 a 750
RAS*	Adim	0-10
Sodio	meq/L	0 a 138
Boro	mg/L	0.5 a 2.0
Cloruros	mg/L	<195
Sulfatos	mg/L	<200
pH	U de pH	6.5 a 8.4

Fuente: Diagnóstico Nacional de la calidad de aguas superficiales del DGSNET / MARN

**\*Cálculo del RAS (Relación de Adsorción de Sodio):** Da una idea de la cantidad de sodio presente en el agua de riego en relación con otros cationes y se calcula mediante la siguiente ecuación. A partir de ese dato se puede estimar la reducción de la infiltración en el sistema.

$$RAS = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{+2} + Mg^{2+}}{2}}} \quad \text{Ecuación 1. 2}$$

### I.2.3.3 Agua apta para el contacto humano

Según el Diagnóstico Nacional de la calidad de aguas superficiales del SNET, los rangos de parámetros de calidad de agua deseables para agua apta para el contacto humano se muestran en la Tabla 1.12

**Tabla 1. 16 Límites permisibles de Calidad de Agua para Contacto Humano**

PARAMETRO	RANGO DE VALOR
Coliformes fecales	Menor o Igual a 1000 UFC por 100ml
Oxígeno Disuelto	Mayor o Igual a 7 mg/L
Turbidez	Menor o Igual a 10 FAU

Fuente: Diagnóstico Nacional de la calidad de aguas superficiales del DGSNET / MARN

Dentro de la aptitud para el contacto humano, se encuentran diferentes usos del agua, entre los que se pueden mencionar: Recreación; Desarrollo de numerosas actividades deportivas; Navegación a vela, remo o motor; También los lugares para acampar cerca de la cuenca de los ríos, entre otros.

## **I.3 TECNICA DE TRAZADORES**

### **I.3.1 GENERALIDADES**

#### **I.3.1.1 Generalidades de trazadores (6)**

El trazador es una sustancia específica que sirve para “marcar” o hacer más fácilmente identificable una fase específica o parte de un sistema denominado material marcado.

Entre las características más importantes que un trazador debe poseer se encuentran:

- ✓ Comportarse similar o de la misma forma que el material sujeto a investigación.
- ✓ Tener por lo menos una propiedad que lo “distinga” del material marcado, de forma tal, que sea fácilmente detectable en presencia de otros materiales.
- ✓ Ser fácilmente detectable en bajas concentraciones.
- ✓ La detección debe ser inequívoca.
- ✓ La inyección, detección y muestreo debe realizarse sin introducir perturbaciones en el sistema.

Entre los trazadores que satisfacen estos requisitos se encuentran:

- ✓ Trazadores estables (colorantes, sales ó isótopos estables).
- ✓ Trazadores activables (obtenidos por irradiación posterior).
- ✓ Trazadores radiactivos (variedad de isótopo de un elemento que se desintegra emitiendo radiaciones ionizantes).

#### **I.3.1.2 Categorías y tipos de trazadores (7)**

En la Tabla 1.13 se presenta las categorías y los tipos en los que los trazadores pueden ser clasificados, así como también una breve explicación de cada uno de ellos.

Tabla 1. 17 Categorías y tipos de trazadores.

CATEGORÍAS Y TIPOS DE TRAZADORES	DESCRIPCIÓN
Pasivos o conservativos	El trazador debe seguir pasivamente la fase (gas, líquido, sólido) o la fracción de fase en la cual ha sido inyectado (o introducido) sin un comportamiento químico o físico diferente del componente marcado como tal.
Activos o reactivos	El trazador toma parte activa en el proceso en forma cualitativamente predecible y es utilizado para medir una propiedad del sistema en el cual ha sido introducido. También se conocen como trazadores químicos.
Intrínsecos	Son moléculas que contienen un isótopo (radiactivo o estable) de uno de los elementos naturales de la molécula, lo cual hace que la molécula marcada sea particularmente detectable por métodos nucleares o de espectrometría de masa.
Extrínsecos	Están constituidos de átomos o moléculas que supuestamente deben compartir las mismas características dinámicas y en general, el mismo comportamiento de flujo de masa como el medio investigado.
Artificiales	Trazadores que son producidos artificialmente y que deliberadamente son introducidos en el sistema bajo estudio. La mayoría de los trazadores empleados en las aplicaciones industriales son artificiales. Ellos son además clasificados como trazadores artificiales radiactivos y no radiactivos.
Naturales	Trazadores que existen en la naturaleza generados por la propia naturaleza. Tales trazadores son por ejemplo el gas noble Radón que puede ser usado para seguir el flujo de masa en sistemas abiertos extendido.

### I.3.2 RODAMINA WT

#### I.3.2.1 Generalidades de Rodaminas.

Las Rodaminas es un grupo de colorantes, de estructura molecular compleja constituida por anillos heterocíclicos (15). Esta sustancia química se derivada del trifenilmetano y es utilizada como colorante. (16)

Dentro del grupo de las Rodaminas, existen diferentes tipos, los cuales se detallan a continuación:

✓ **Rodamina B**

Este fue el primer colorante naranja (o rojo) utilizado en el primer seguimiento de agua. Su alto grado de pérdidas por adsorción lo hacen menos adecuado para su uso en aguas subterráneas que la Rodamina WT o la Sulfo – Rodamina B; sin embargo ha sido el más frecuentemente utilizado, su fluorescencia varía con los cambios de salinidad grandes. Según Knuttson (1968) este colorante no es afectado por el pH dentro del rango de la mayoría de las aguas naturales (5 – 10), sin embargo, es sensible a la temperatura (Omoti, 1977) y varía sus propiedades ópticas en función del contenido en sólidos en suspensión.

Un estudio comparativo de Rodamina B y Rodamina WT, realizados por Hubbard (1982), mostraron alto grado de adsorción de Rodamina B sobre plantas acuáticas, arcillas en suspensión y los envases de muestras, tanto plásticas como de vidrio; como se muestra en la Tabla 1-11 La Rodamina WT se mostro mas económica (a pesar de su alto costo unitario) y de mas fácil manejo que la Rodamina B.

✓ **Sulfo-rodamina B**

Esta es también denominada *Pontacyl Brilliant pink*, no ha tenido mucho uso como trazador de agua subterránea. Su fluorescencia disminuye ligeramente en salinidades y tiene baja adsorción sobre los sedimentos en suspensión, como se puede ver en la Tabla 1-11. Este colorante es mas caro que el resto de las rodaminas y tiene una toxicidad ligeramente superior a la Rodamina WT, pudiendo ser mutagenético.

✓ **Rodamina WT**

Sus buenas características de detectabilidad mínima y grado de degradación fotoquímica y biológica, han hecho de este colorante uno de los trazadores más adecuados para estudios cuantitativos.

Hubbard (1982) lo describe como el colorante más duradero para seguimientos en corrientes y medios kárcticos.

Según la tabla 1.14 la Rodamina WT sufre, por lo general, menos adsorción que la Rodamina B y la Sulfo-rodamina B. Sin embargo, estudios de campo han demostrado que la Rodamina WT también tiene algunas tendencias a ser adsorbida.

La Rodamina WT es considerada ligeramente menos toxica que la Rodamina B y el Sulfo-rodamina B (Smart y Laidlaw, 1977). Sin embargo, Aley y Fletcher (1976) mostraron que la Rodamina WT no es tan segura biológicamente como la fluoresceína.

**Tabla 1. 18 Medidas de adsorción sobre bentonita. (Según Repogley otros (1966)).**

COLORANTES	PERDIDAS POR ADSORCION SOBRE LA ARCILLA (%)
Rodamina WT	28
Rodamina B	96
Sufo-rodamina B	65

**Fuente: Aplicación de técnicas especiales al estudio hidrológico de zonas de baja permeabilidad: isótopos y trazadores**

Entre sus usos destacan proyectos realizados por Burden (1981), Aulenbach (1978). Burden empleó este colorante en estudios de contaminación de un acuífero aluvial en Nueva Zelanda. Aulenbach y Clesceri destacaron la gran aplicación de la Rodamina WT en medios arenosos.

Gann (1975) utilizo Rodamina WT como trazador en un sistema kárctico desarrollado en calizas y dolomías en Missouri. Realizo toma de muestras normales y mediante paquetes de carbón activado a lo largo de una distancia de 14 Km. Brown y Ford (1971) emplearon tres colorantes fluorescentes (Rodamina B, Rodamian WT y Fluoresceína) en medio kárctico de la Maligne Basi del Canadá. La máxima recuperación de colorante (98%) se obtuvo para la Rodamina WT, mientras que la recuperación de Fluoresceína fue nula. El

ensayo cubrió una distancia aproximadamente de 2 Km, muestreada con un fluorímetro Turner III.

Aulenbach y otros (1978) compararon el comportamiento como trazador sobre arenas detríticas de la Rodamina B, Rodamina WT y Tritio. En el ensayo se realizó el seguimiento de efluentes procedentes de una planta depuradora de aguas negras, durante el cual se observó que la Rodamina B era fuertemente adsorbida, mientras que la Rodamina WT y el Tritio produjeron resultados similares. (17)

### **I.3.2.2 Definición de Rodamina WT (18)**

Rodamina WT es un colorante rojo sintético que posee cualidades fluorescentes, su fórmula molecular  $C_{29}H_{29}N_2O_5ClNa_2$  y Número CAS: 37299-86-8. Es también conocida como ácido roja # 388.

Entre sus características más importantes están:

- ✓ A menudo se utiliza como marcador en el agua para determinar el ritmo y la dirección del flujo y el transporte.
- ✓ La Rodamina WT, puede medirse fácilmente y a bajo costo con instrumentos llamados fluorímetros. Los cuales poseen un rango de detección de lecturas de concentraciones de 10 ppb (partes por billón) en condiciones ideales y en el 0,1 ppb (partes por billón) en aguas contaminadas. También puede ser detectada por el ojo en concentraciones más altas.
- ✓ La Rodamina es considerada un compuesto no tóxica (ver Anexo 2),
- ✓ Es soluble en agua, metanol y etanol
- ✓ Como colorante de agua de localización Rodamina WT tiene la capacidad de tinción de los materiales orgánicos de plantas, sedimentos y la suciedad.
- ✓ La concentración a la cual está disponible generalmente la Rodamina WT líquido es al 20% de contenido en colorante.

### I.3.2.3 Tarjetas Internacionales de Seguridad Química (19)

En la tabla 1.15 y tabla 1.16 se resumen las características más importantes del trazador Rodamina WT.

**Tabla 1. 19 Ficha técnica de Rodamina WT.**

TIPOS DE PELIGRO / EXPOSICION	PELIGRO GRAVE / SINTOMAS	PREVENCION	PRIMEROS AUXILIOS / LUCHA CONTRA INCENDIOS
FUEGO			En caso de incendio en los alrededores: todos los agentes de extinción son permitidos.
EXPLOSION			
EXPOSICION		Prevenir la dispersión del polvo	
INHALACION		Escape local o protección respiratoria.	Aire fresco, descanso
PIEL		Guantes de protección	Quítese la ropa. Enjuáguese la piel con agua abundante o ducharse.
OJOS	Enrojecimiento	Gafas de seguridad	Primero enjuagar con abundante agua durante varios minutos (quitar lentes de contacto si es posible); luego visitar a un medico.
INGESTION		No comer, beber o fumar durante el trabajo. Lávese las manos antes de comer.	Enjuagar la boca.
VERTIDO DE ELIMINACION		ALMACENAMIENTO	ENVASADO O ETIQUETADO
Barrer la sustancia derramada en contenedores. Resto lavar con abundante agua (Protección personal adicional: respirador de filtro P1 para partículas inertes).			
CAPI: 0325	Preparado en el contexto de la cooperación entre el Programa Internacional sobre Seguridad Química y la Comisión de las Comunidades Europeas © CCE IPCS 1993		

Fuente: International Chemical Safety Cards.

Tabla 1. 20 Propiedades físicas y datos importantes de Rodamina WT

<b>IMPORTANTE</b>	<b>Estado físico, Aspecto:</b> Oscuro, polvo.	<b>Rutas de exposición:</b> La sustancia se puede absorber en el cuerpo por inhalación de aerosoles.
	<b>Peligros físicos:</b>	<b>Riesgo de inhalación:</b> Evaporación a 20°C es despreciable; una molestia que causa la concentración de partículas en el aire, sin embargo, puede llegar rápidamente al dispersarse.
	<b>Peligros químicos:</b>	Efectos de la exposición a corto plazo
	Los límites de exposición profesionales (LEP): TLV no establecido.	Efectos de largo plazo o repetida exposición
<b>PROPIEDADES FÍSICAS</b>	Solubilidad en agua: buena	
<b>DATOS MEDIO AMBIENTE</b>		
<b>NOTAS</b>		
Temperatura de descomposición desconocida en la literatura		
<b>INFORMACION ADICIONAL</b>		
CAPI: 0325		
<b>AVISO JURIDICO IMPORTANTE:</b>	Ni la CCE ni el IPCS ninguna persona que actúe en nombre de la CCA o el IPCS es responsable del uso que pueda hacerse de esta información. Esta tarjeta contiene la opinión colectiva del IPCS y el Comité de Evaluación inter pares pueden no reflejar en todos los casos todos los requisitos incluidos en la legislación nacional sobre el tema. El usuario debe verificar el cumplimiento de las tarjetas con la legislación vigente en el país de uso.	

Fuente: International Chemical Safety Cards

### I.3.2.4 Aplicaciones de Rodamina WT

Rodamina WT o Agua de localización fue originalmente desarrollado para aplicaciones de localización de agua; y ha sido utilizado en los refrigerantes de automóviles para colorear (anti-congelante) y en las tintas. (18)

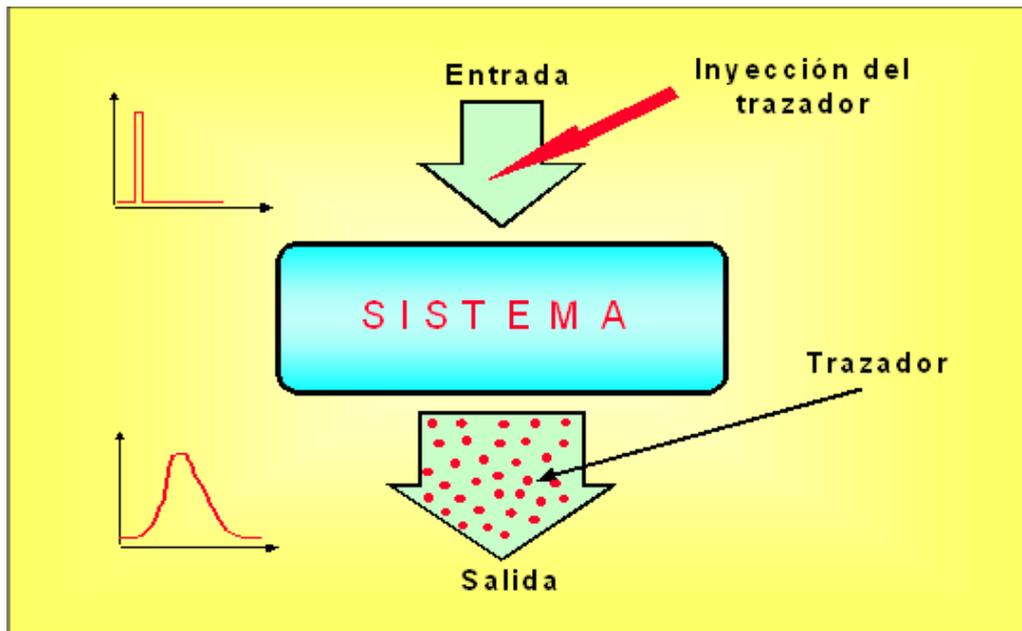
Este compuesto se utiliza con frecuencia en los estudios para determinar la fuente de agua contaminada, seguir el flujo de agua, la ubicación de marcado de rescate y las tasas de los patrones. A diferencia de otros productos similares, se demuestra que dicho colorante es seguro para los seres humanos y la vida acuática. (20)

### I.3.3 METODOLOGIA DE TÉCNICA DE TRAZADORES

El uso de los trazadores tiene una larga historia. Específicamente, cualquier elemento o compuesto incorporado a una sustancia es un trazador si permite seguir el comportamiento de ésta en un determinado proceso. Los más sencillos, como hojas de árboles y fragmentos de madera y paja, se han utilizado para observar la dirección y velocidad de aguas; posteriormente se utilizaron colorantes, algunos de los cuales aún son usados. El descubrimiento de la colorimetría y la conductimetría hicieron posible cuantificar el contenido de colorantes y sales en las aguas, con lo cual se alcanzó un gran desarrollo en las técnicas de trazadores. (21)

El método de los trazadores es una técnica para obtener información sobre un sistema o sobre alguna parte de un sistema, mediante la observación del comportamiento de una sustancia específica, el trazador, que ha sido añadido al sistema. (6)

La metodología de trazadores en forma general es como se detalla a continuación, Si se introduce una cierta cantidad de trazador a la entrada de un sistema, éste se mezcla con la sustancia del proceso en estudio y de acuerdo al propio movimiento de las moléculas, éstas salen a diferente tiempo del sistema; en consecuencia, si se mide a la salida la concentración del trazador en función del tiempo, se obtienen valores que permiten componer una curva denominada Distribución de Tiempos de Residencia (DTR) que permite a su vez determinar el tiempo medio de residencia de las "moléculas marcadas" (trazador); como se observa en la Figura 1-22.



**Figura 1 - 22 Esquema de la metodología de los trazadores**

Fuente: Metodología de los Trazadores Venezuela, Diciembre, 2007 Dr. José Griffith Cuba

Si se ha asegurado que el trazador se comporta igual al fluido en estudio es posible obtener información única sobre los procesos ya que de esta forma se puede conocer la eficiencia o diagnosticar el comportamiento de equipos de proceso; es así como es factible determinar en éstos la existencia de zona de agregación muertas. (8)

La metodología de trazadores que se ha descrito anteriormente, está formada por las siguientes etapas:

- A. Selección del trazador
- B. Inyección del trazador
- C. Detección y medición de la concentración del trazador
- D. Tratamiento de datos y formulación de la DTR
- E. Análisis de los datos, interpretación y modelación.

Las cuales se detallan a continuación:

### **A. Selección del trazador (22)**

En los estudios de trazador se emplea un compuesto de fácil detección, conservativo e inerte, denominado trazador, como se detalló ya anteriormente; el cual se comporta de la misma manera que las partículas que atraviesan el cuerpo de agua. Una medida del movimiento del trazador, será una medida del movimiento de un elemento del fluido y de sus características difusivas y dispersivas.

Una de las mayores dificultades presentes en estos estudios, es la escogencia del trazador, ya que pocos compuestos cumplen con estas características mencionadas con anterioridad. Uno de los aspectos más negativos es la pérdida de trazador por procesos fisicoquímicos de interacción entre el elemento traza y la matriz constituyente del Río, tales como adsorción, absorción y recirculación, ya que introducen errores en la determinación de las distribuciones debido a que es importante tener en cuenta que los porcentajes de recuperación del trazador deben ser del orden del 90 por ciento, o mayores, para generar datos hidrodinámicos confiables.

Otra característica que debe de cumplir el trazador es que debe de poseer por lo menos una propiedad que lo “distinga” del material marcado, de forma tal, que sea fácilmente detectable en presencia de otros materiales; a demás de poseer un equipo adecuado para realizar la detección en el rango de concentraciones en las que se llevara a cabo el estudio.

### **B. Inyección del trazador**

Para la inyección de una sustancia detectable, colorante que es medida aguas abajo del punto de inyección; existen 2 métodos:

### ✓ **Método de inyección continua (23)**

En este método, se inyecta en la corriente una solución de trazador de elevada concentración a un caudal constante, durante un cierto periodo de tiempo. Se supone que la corriente tiene un régimen permanente y estacionario. En estas condiciones, en un punto situado aguas abajo, a una distancia del punto de inyección suficientemente grande para que se produzca una mezcla uniforme del trazador, su concentración variara en función del tiempo; se alcanza un valor constante de la concentración, cuya longitud depende del tiempo que dura la inyección y de la distancia entre las estaciones de inyección y detección.

La inyección continua puede considerarse también, formada por una serie de inyecciones instantáneas de igual masa o actividad de trazador, distribuidas regularmente en el tiempo.

Las precauciones que es preciso adoptar son:

- a) El trazador no debe de ser destruido ni retenido entre las dos secciones.
- b) La concentración de trazador en el punto de detección debe ser uniforme y estable.
- c) La distancia entre las dos secciones debe ser suficiente para que se uniformice el trazador y no muy larga para ahorrar trazadores.

El principal problema con este método es la gran cantidad de trazador necesario para estabilizar la concentración del trazador en el punto de detección.

### ✓ **Método de inyección puntual (24)**

En el que todo el trazador se inyecta de una vez, es decir, en un corto periodo de tiempo. En este caso, se inyecta en la corriente una masa conocida  $M$  de trazador de una forma instantánea (en realidad, la duración de la inyección no es determinante). En un punto de la corriente situado aguas abajo a una cierta distancia del punto de inyección, la concentración del trazador  $C$  variara en función del tiempo.

Este método tiene la ventaja de ahorrar trazador pero exige la medida continua de la concentración de trazador en el punto de detección.

Las características que los trazadores deben cumplir son:

- ✓ Ser inalterables durante el período de medidas.
- ✓ No ser ni tóxicos ni contaminantes para las personas y el medio ambiente.
- ✓ Ser solubles o miscibles en agua.
- ✓ Fáciles de medir en cuanto a su concentración.
- ✓ Ser baratos.

### **C. Detección y medición de la concentración del trazador (25)**

La detección y medición de la concentración del trazador se realiza mediante un equipo llamado Fluorímetro; dicho equipo consta de sistemas ópticos y células de flujo intercambiables que permiten las medidas de la emisión de fluorescencia, tanto «in situ» como en extractos celulares en disolventes orgánicos, en modo discreto y en modo continuo.

Básicamente el equipo está compuesto de un sistema luminoso de excitación, con una lámpara de vapor de mercurio de baja presión y dos kits de filtros de excitación (uno para la clorofila y otro para la fluoresceína), y un sistema de filtros de emisión que conducen la fluorescencia hacia un detector. Las señales son registradas por un data logger interno.

✓ **Utilidad**

El fluorímetro de campo es un instrumento portátil que permite medir la fluorescencia de sustancias y partículas inmersas en un fluido.

✓ **Aplicaciones**

- a) Medidas de los contenidos pigmentarios de vegetales (Clorofila y sus derivados de degradación). Estas medidas se pueden realizar tanto en vivo como en extractos de disolventes orgánicos.
- b) Seguimiento de procesos de flujo y dispersión en sistemas acuáticos mediante el empleo de trazadores fluorescentes (Fluoresceína)
- c) Todas las medidas se pueden realizar tanto en modo continuo como discretos, pudiendo ser almacenadas en el sistema de registro automático (datalogger) del que consta el equipo.

**D. Tratamiento de datos y formulación de la DTR**

Si se tuviera conocimiento exacto de lo que sucede en el interior del reactor, es decir, si se dispusiera de una representación completa de la distribución de velocidades del fluido, se podría predecir el comportamiento del reactor. Aunque esta técnica sería magnífica, la complejidad que implicaría sería tal que resultaría impracticable.

Como se prescinde de un conocimiento completo sobre el flujo que permita disponer de información suficiente para el análisis; en realidad en muchos casos no se necesita conocer muchas cosas; simplemente cuanto tiempo permanece cada una de las moléculas en el recipiente, o más exactamente la distribución de tiempos de residencia de la corriente del fluido (1).

En un reactor de flujo en tapón ideal, todos los átomos de material que salen del reactor han estado en su interior exactamente el mismo tiempo. De forma similar, en un reactor por lotes ideal, todos átomos de materiales dentro del reactor han estado dentro del un lapso de tiempo idéntico. El tiempo que los átomos han pasado en el reactor es el *tiempo de residencia* de los átomos en el reactor.

En todos los demás tipos de reactores, los diversos átomos de la alimentación pasan tiempos variables dentro del reactor; es decir, existe una distribución de tiempos de residencia del material dentro del reactor.

En cualquier reactor, la distribución de tiempos de residencia puede afectar considerablemente su desempeño.

#### ✓ **Medición de la DTR**

La DTR se determina experimentalmente inyectando una sustancia inerte, llamada *trazador*, en el reactor en algún instante  $t=0$  y midiendo después la concentración del trazador,  $C$ , en la corriente del efluente en función del tiempo.

En una entrada por pulso, cierta cantidad de trazador  $N_0$  se inyecta repentinamente y en una sola ocasión en la corriente de alimentación que ingresa en el reactor, tardando lo menos posible en hacerlo. Luego se mide la concentración a la salida en función del tiempo. La curva de concentración en el efluente contra tiempo se conoce como curva  $C$  en el análisis de la DTR.



**Figura 1 - 23 Pulso de entrada ideal del trazador.**

Fuente: Metodología de los Trazadores Venezuela, Diciembre, 2007 Dr. José Griffith Cuba

$$C = 0 \quad \text{para } t < 0$$

$$C = C_{\text{máx}} \quad \text{para } 0 < t < \Delta t$$

$$C = 0 \quad \text{para } t > t + \Delta t$$

Se analiza a continuación la inyección de un pulso de trazador en un sistema de una sola entrada y una sola salida en el que únicamente el flujo (es decir, no la dispersión) transporta el material trazador a través de las fronteras del sistema. Primero se escoge un incremento de tiempo  $\Delta t$  lo bastante pequeño como para que la concentración de trazador,  $C(t)$ , que sale entre el tiempo  $t$  y  $t + \Delta t$  sea prácticamente constante. La cantidad de material trazador,  $\Delta N$ , que sale del reactor entre el tiempo  $t$  y  $t + \Delta t$  es entonces

$$\Delta N = C(t)v\Delta t \quad \text{Ecuación 1. 3}$$

Donde  $v$  es la velocidad de flujo volumétrico del efluente. En otras palabras,  $\Delta N$  es la cantidad de material que ha pasado un tiempo entre  $t$  y  $t + \Delta t$  dentro del reactor.

Si ahora dividimos entre la cantidad total de material que se inyectó en el reactor,  $N_0$ , obtenemos

$$\frac{\Delta N}{N_0} = \frac{vC(t)}{N_0} \Delta t \quad \text{Ecuación 1. 4}$$

Que representa la fracción de material que tiene un tiempo de residencia en el reactor entre  $t$  y  $t + \Delta t$ .

Para la inyección por pulso definimos

$$E(t) = \frac{vC(t)}{N_0} \quad \text{Ecuación 1. 5}$$

De modo que

$$\frac{\Delta N}{N_0} = E(t)\Delta t \quad \text{Ecuación 1. 6}$$

La cantidad  $E(t)$  se denomina **función de distribución de tiempos de residencia**, y es la función que describe de forma cuantitativa cuanto tiempo han pasado en el reactor diferentes elementos del fluido.

Si  $N_0$  no se conoce directamente, se puede obtener a partir de las mediciones de concentración a la salida obteniendo la sumatoria de todas las cantidades de material,  $\Delta N$ , entre el tiempo cero y el tiempo infinito. Si escribimos la ecuación de forma diferente se tiene:

$$dN = vC(t)dt \quad \text{Ecuación 1. 7}$$

Luego de integrar, se obtiene

$$N_0 = \int_0^{\infty} vC(t)dt \quad \text{Ecuación 1. 8}$$

La velocidad de flujo volumétrico suele ser constante, así que podemos definir  $E(t)$  como:

$$E(t) = \frac{C(t)}{\int_0^{\infty} C(t)dt} \quad \text{Ecuación 1. 9}$$

La integral en el denominador es el área bajo la curva de  $C$ .

Otra forma de interpretar la función de tiempo de residencia es en su forma integral

$$\left( \begin{array}{c} \text{Fracción de material que} \\ \text{sale del reactor y que ha} \\ \text{residido en el interior} \\ \text{entre } t_1 \text{ y } t_2 \end{array} \right) = \int_{t_1}^{t_2} E(t)dt \quad \text{Ecuación 1. 10}$$

Se sabe que la fracción de todo el material que ha residido durante un tiempo  $t$  en el reactor, entre  $t=0$  y  $t=\infty$  es 1; por tanto,

$$\int_0^{\infty} E(t) dt = 1 \quad \text{Ecuación 1. 11}$$

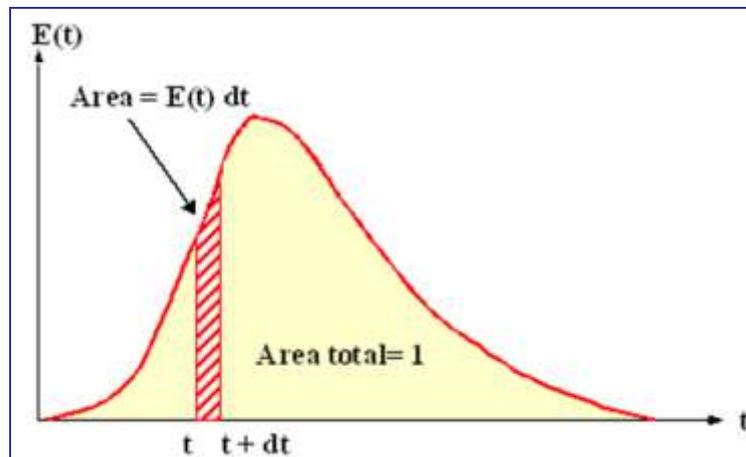


Figura 1 - 24 Curva de distribución de tiempo de residencia (DTR)

Fuente: Metodología de los Trazadores Venezuela, Diciembre, 2007 Dr. José Griffith Cuba

$E(t)$  es la fracción de la corriente de salida de un sistema que ha estado un tiempo desde  $t$  hasta  $t + dt$  dentro del sistema.

#### ✓ Características de la DTR

Otro nombre para  $E(t)$  es **función de distribución de edades a la salida**. Si se considera la "edad" de un átomo como el tiempo que ha residido en el entorno de reacción,  $E(t)$  describirá la distribución de edades en la corriente de efluente. Esta es la más utilizada de las funciones de distribución relacionadas con el análisis de reactores, porque caracteriza los tiempos que diversos átomos pasan en las condiciones de la reacción.

### ✓ Relaciones integrales

La fracción de la corriente de salida que ha residido en el reactor durante un tiempo más corto que un valor de  $t$  dado es igual a la sumatoria de  $E(t)\Delta t$  para todos los tiempos menores que  $t$  expresando de manera continua

$$\int_0^t E(t)dt = \left( \begin{array}{c} \text{Fracción del efluente que} \\ \text{ha estado en el reactor un} \\ \text{tiempo menor que } t \end{array} \right) = F(t) \quad \text{Ecuación 1. 12}$$

De forma análoga se tiene que:

$$\int_0^t E(t)dt = \left( \begin{array}{c} \text{Fracción del efluente que} \\ \text{ha estado en el reactor un} \\ \text{tiempo mayor que } t \end{array} \right) = 1 - F(t) \quad \text{Ecuación 1. 13}$$

Puesto que  $t$  aparece en los límites de integración de las ecuaciones 12 y 13 son funciones del tiempo Danckwerts<sup>1</sup>; definió la ecuación 12 como una **función de distribución acumulativa y la llamo  $F(t)$** . Se puede calcular  $F(t)$  en distintos tiempos a partir del área bajo la curva de una grafica de  $E(t)$  vs.  $t$ .

### ✓ Tiempo de residencia medio

En reactores ideales, un parámetro utilizado con frecuencia es el espacio tiempo o tiempo de residencia promedio  $\tau$ , que es definida como  $V/v$ .

Como sucede con otras variables descritas por funciones de distribución, el valor medio de la variable es igual al primer momento de la función de DTR  $E(t)$ , así pues, el tiempo de residencia medio es:

$$t_m = \frac{\int_0^{\infty} tE(t)dt}{\int_0^{\infty} E(t)dt} = \int_0^{\infty} tE(t)dt \quad \text{Ecuación 1. 14}$$

<sup>1</sup> P.V. Danckwert, Chem. Eng. Sci. 2,1 (1953).

Es muy común comparar las DTRs utilizando sus momentos en lugar de tratar de comparar todas sus distribuciones. Para este fin se usan normalmente los siguientes momentos. El primero es el tiempo de residencia media (definido en la ecuación 1.14).

El segundo momento se toma alrededor de la media y se llama varianza o desviación estándar al cuadrado. La varianza se define como:

$$\sigma^2 = \int_0^{\infty} (t - t_m)^2 E(t) dt \quad \text{Ecuación 1. 15}$$

La magnitud de este momento es un indicador de que tan “amplia” es la distribución; cuanto mayor es el valor de este momento, más amplia es la distribución (2).

### **I.3.4 OTRAS APLICACIONES DE LOS TRAZADORES**

#### **I.3.4.1 Aplicaciones en procesos industriales**

Es en los procesos industriales donde se ha demostrado más utilidad de los trazadores, pues es la única forma de medir los tiempos de residencia reales de los procesos, permitiendo con ello optimizarlos con el consiguiente beneficio para el proceso.

Se han realizado estudios similares en lagunas de tratamiento de aguas servidas, ampliando la técnica al uso de trazadores fluorescentes debido al gran desarrollo de los sistemas de medición de fluorescencia, donde se detectan concentraciones a niveles de ppb (partes por billón).

### **I.3.4.2 Aplicaciones en procesos naturales**

#### **✓ Determinación de caudales en ríos y canales**

El uso de trazadores para la medición de caudales en ríos y canales es también una técnica muy utilizada por las ventajas de realizar mediciones independientes de las condiciones presentes en el río. El método de medición más utilizado se basa en la inyección constante de una solución de trazador, de concentración conocida, en el agua; en un punto ubicado aguas abajo, donde el trazador se haya mezclado completamente con el agua, se determina la concentración del trazador en la corriente por medio de la medición de muestras o en línea. Esta concentración se estabilizará en un valor que dependerá del caudal en que se diluyó el trazador, y comparando las concentraciones de la solución inyectada con la obtenida, se calcula el caudal. En estas técnicas se utilizan mayoritariamente trazadores fluorescentes como la Rodamina WT, debido al desarrollo actual de los instrumentos de medición.

#### **✓ Caracterización de emisarios submarinos**

Otra área donde los trazadores han demostrado su importancia es en la determinación de los parámetros fluidodinámicos característicos de los emisarios submarinos, que son sistemas utilizados para disponer las aguas servidas domiciliarias en el mar.

Mediante la utilización de trazadores colorantes, Rodamina WT, es factible determinar el factor de dilución inicial que se logra en un emisario submarino y los coeficientes de dispersión horizontal de la pluma de aguas negras, parámetros necesarios para conocer la eventual contaminación que estos sistemas producen en las aguas receptoras.

### **3.3.1. Aplicaciones en hidrología**

Las técnicas isotópicas de isótopos ambientales y de trazadores son de gran ayuda para localizar y medir el volumen de los recursos hídricos subterráneos permitiendo la planificación y el ordenamiento del uso sostenible de este importante recurso.

Las técnicas de trazadores complementan los estudios hidrológicos mediante el trazado del agua y de los sedimentos con el fin de detectar su movimiento en el sistema en estudio. Como trazadores se utilizan colorantes como la Rodamina WT, soluciones salinas o radioisótopos de acuerdo al tipo de problema que se requiere estudiar. Se realizan estudios de determinación de lugares de filtración en embalses y estanques naturales, determinación de interconexiones entre cuerpos de agua, determinación de caudales en corrientes naturales y estudios de contaminación de aguas por descarga de efluentes de procesos mineros.

Las técnicas de trazadores entregan información única referente a diversos sistemas; sin embargo, a menudo esta información es complementaria a otra de tipo convencional. Cada caso en estudio es diferente y tiene sus propias características por lo cual siempre es necesario obtener la mayor información posible del proceso y evaluarla en su justa medida (20).

### ***1.4 FLUORIMETRÍA***

El análisis de Rodamina es efectuado a través de fluorómetros; por lo que es importante tener claro los conceptos relacionados con este equipo, que se detallan a continuación:

La espectroscopía de fluorescencia, también llamada fluorimetría o espectrofluorimetría, es un tipo de espectroscopía electromagnética que analiza la fluorescencia de una muestra. Los electrones de una molécula son excitados por un haz de luz que generalmente es luz ultravioleta. Esto causa la emisión de luz en una energía más baja, pero no necesariamente luz visible. Una técnica complementaria es la espectroscopia de absorción. Los dispositivos que miden fluorescencia se llaman los fluorómetros o fluorímetros.  
(28)

✓ **Relación que existe entre fluorescencia y concentración (29)**

Esta relación es directamente proporcional; a mayor concentración mayor fluorescencia y viceversa, por lo que una gráfica de intensidad de fluorescencia contra concentración es una línea recta.

#### **I.4.1 FACTORES QUE AFECTAN LA FLUORESCENCIA**

La intensidad de fluorescencia es afectada por los siguientes factores:

- 1. Estructura:** La fluorescencia se presenta más comúnmente y en forma más intensa con compuestos que tienen grupos funcionales aromáticos con bajas energías de transición  $\pi \rightarrow \pi^*$ .
- 2. Temperatura y naturaleza del solvente:** El efecto de un aumento en la temperatura incrementa el número de choques moleculares.
- 3. Efecto del pH:** Debido a las diferentes formas químicas que son posibles de existir a diferentes condiciones de pH, la intensidad de fluorescencia también es afectado por este factor.
- 4. Efecto del oxígeno disuelto:** Debido al paramagnetismo de la molécula de oxígeno, es deseable que el oxígeno no se encuentre presente en solución o su concentración sea mínima

## I.4.2 INSTRUMENTACIÓN PARA FLUORESCENCIA

En la Figura 1-25 se muestra un diagrama simplificado de los componentes de un fluorómetro.

El diagrama de doble haz es sumamente útil para compensar las fluctuaciones en la intensidad de la fuente de excitación. El haz de referencia pasa a través de un atenuador de radiación y se ajusta éste hasta hacer que la intensidad de este haz sea igual a la intensidad del haz de fluorescencia que pasa por el recipiente de muestra cuando se encuentra en éste un blanco.

El haz de radiación dirigido al recipiente de muestra pasa por un filtro (fluorómetro) o por un monocromador (espectrofluorómetro), donde se selecciona la longitud de onda de la radiación que va a incidir en la muestra. La radiación fluorescente emitida por la muestra es en todas direcciones pero es más convenientemente medida a un ángulo de  $90^\circ$  con respecto al haz incidente ya que la radiación dispersada por la solución y por la celda misma puede interferir con la radiación emitida por la especie fluorescente.

Tanto el haz de referencia como el haz de muestra son dirigidos a un sistema de foto tubos y posteriormente a un amplificador diferencial que se encuentra conectado a un sistema de lectura, tal como una escala digital o de aguja (Figura 1-25).

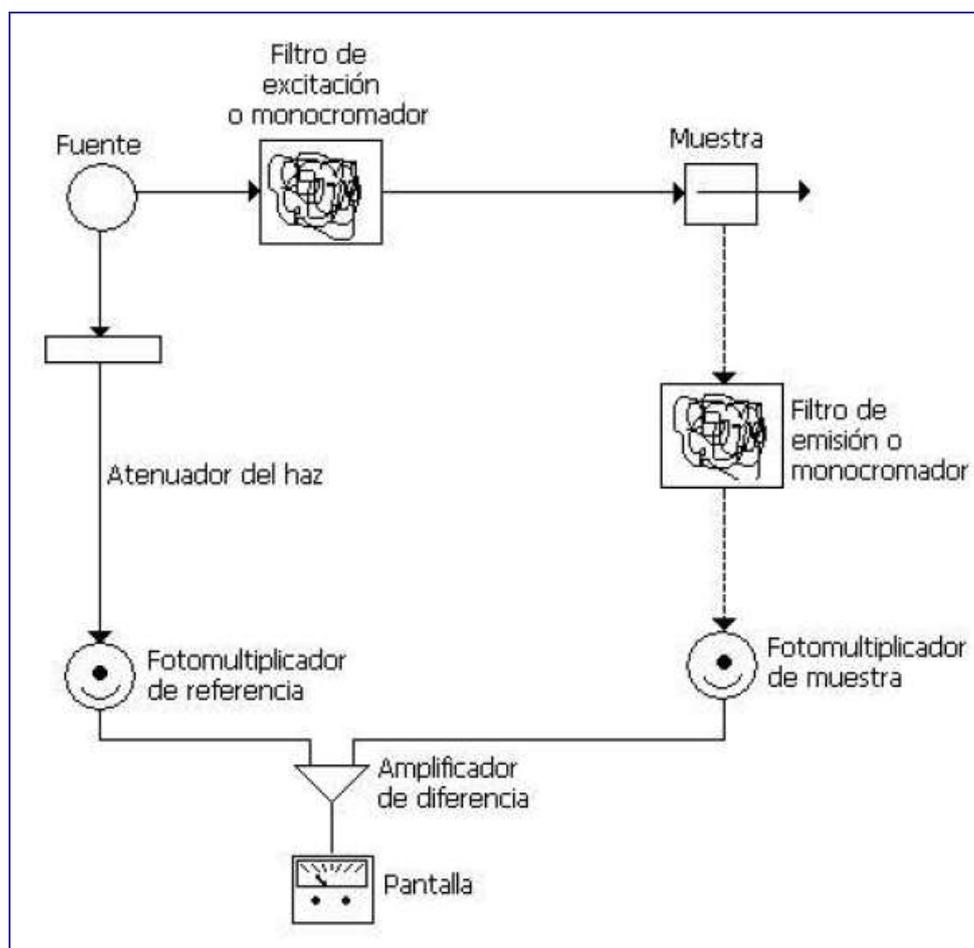


Figura 1 - 25 Componentes de un fluorímetro o un espectrofluorímetro

Fuente: SKOOG, D.A.; Leary J.J.; "Espectrometría de fluorescencia molecular" ANÁLISIS INSTRUMENTAL, 4° ed.; Ed. McGraw-Hill (1994), págs. 201-219.

## ***I.5 FENÓMENOS DE TRANSPORTE (30)***

El destino final de un contaminante químico en el medio ambiente depende de dos factores importantes:

- 1) Reacciones en las que una sustancia química pueda participar.
- 2) Velocidad de transporte de la sustancia química en el medio ambiente.

En el caso de sistemas acuáticos, la velocidad de transporte va a depender del tipo de proceso de transporte de masa:

**A. Advección:** transporte por la corriente del agua. Se refiere al movimiento del material particulado fino o material disuelto en velocidad de la corriente en dirección longitudinal, lateral o transversal y vertical.

**B. Dispersión:** transporte por mezclado dentro del mismo cuerpo de agua. Se refiere al proceso por el cual las sustancias son mezcladas dentro del cuerpo de agua. También ocurre en tres direcciones.

**C. Transporte de partículas sedimentables** dentro de la columna de agua y entre el agua y el lecho acuático.

Advección y dispersión son los dos fenómenos principales de transporte de tóxicos químicos en el agua.

### I.5.1 ADVECCIÓN

Es el movimiento de masa contenida en una corriente y que viaja de un lado a otro.

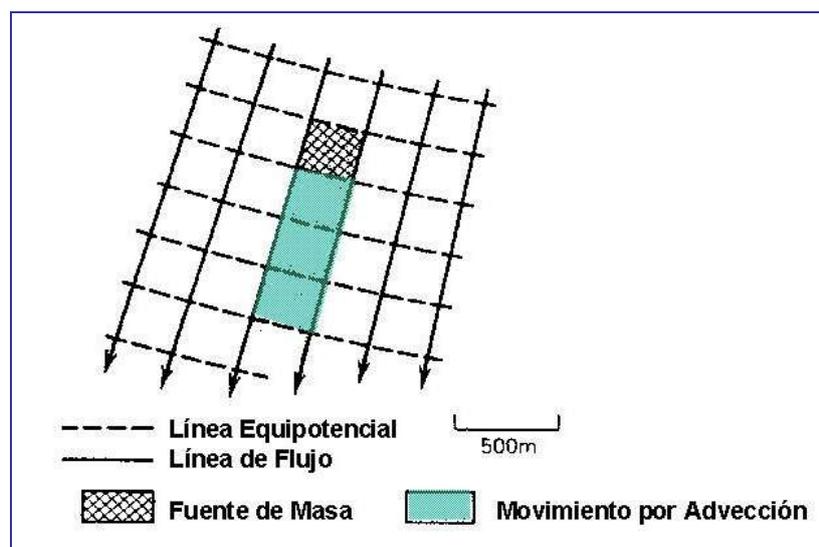


Figura 1 - 26 Esquema del movimiento de advección

Fuente: Fenómenos de transporte

En el caso de un químico, el transporte por advección esta dado por el producto de la velocidad de flujo volumétrico y el promedio de la concentración, como se detalla a continuación:

$$J = QC \quad \text{Ecuación 1. 16}$$

$$J = \bar{U}AC \quad \text{Ecuación 1. 17}$$

$\bar{U}$  = Velocidad de la corriente,  $LT^{-1}$

$J$  = Velocidad de la descarga de la masa,  $MT^{-1}$

$C$  = Concentracion,  $ML^3$

$Q$  = Velocidad del flujo volumetrico,  $L^3T^{-1}$

En condiciones de flujo constante  $(\partial Q)/\partial t = 0$  y en el equilibrio  $(\partial C)/\partial t = 0$  entonces la velocidad de descarga de masa (J) es constante con respecto al tiempo.  $\partial J/\partial t = 0$

Cuando Q o C se vuelven dependientes del tiempo entonces J (transporte de masa por advección) también se hace variable con el tiempo.

La masa de cualquier sustancia química dentro de un volumen de control, en cualquier instante se puede representar por el producto del volumen con la concentración. (V.C)

V = Volumen en  $L^3$

C = Concentración  $ML^{-3}$

Por lo tanto, la variación de la masa con respecto al tiempo por advección puede ser representado por una ecuación diferencial.

$$\Delta(VC) = (Q_a C_a - Q_b C_b) \Delta t \quad \text{Ecuación 1. 18}$$

$$\Delta masa = (\text{velocidad de masa entrante} - \text{velocidad de masa saliente})$$

En donde los sufijos a y b representan el movimiento de masa desde el punto a hasta el punto b (por advección).

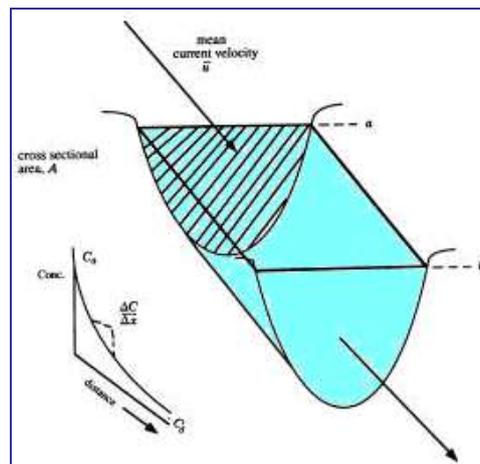


Figura 1 - 27 Volumen de control para el movimiento de advección

Fuente: Fenómenos de transporte

$C_a$ : representa la concentración que entra al volumen de control.

$C_b$ : representa la concentración que sale del volumen de control.

Dividiendo por

$$\frac{\Delta(VC)}{\Delta t} = Q_a C_a - Q_b C_b \quad \text{Ecuación 1. 19}$$

Dividiendo por  $V$  que representa el volumen incremental  $A\Delta x$  se tiene una ecuación parcial diferencial que describe la advección de masa bajo condiciones de flujo constante de variación del tiempo.

$$\frac{\partial c}{\partial t} = -\frac{1}{A} \frac{\partial(QC)}{\partial X} = -\bar{U} \frac{\partial C}{\partial X} \quad \text{Ecuación 1. 20}$$

$A\Delta x$  Distancia incremental del volumen de control.

El flujo negativo refleja un incremento de la concentración dentro del volumen de control en caso de que la entrada de masa sea mayor que la salida de masa. (Ecuación 1.13): Descripción matemática de advección cuando la velocidad de flujo y/o la concentración están cambiando.

Para obtener la masa total (M) que ha pasado por un punto en un momento determinado, se puede integrar la velocidad de descarga de masa sobre el tiempo.

$$M = \int_0^{t1} q(t).c(t)dt \quad \text{Ecuación 1. 21}$$

$$M = Q \int_0^{t1} C(t)dt \text{ con } Q = \text{condicion de flujo cte.} \quad \text{Ecuación 1. 22}$$

El transporte de sustancias toxicas en corrientes y ríos es controlado por el proceso de transporte por advección.

## 1.5.2 DISPERSIÓN (MEZCLA)

La mezcla de sustancias puede estar representada por tres procesos:

**A. Difusión molecular:** mezcla de químicos disueltos debido al movimiento al azar o aleatorio de las moléculas dentro del fluido.

- ✓ Causado por movimiento molecular vibracional, rotacional y trasversal.
- ✓ En el movimiento de sustancias disueltas se mueven de regiones de altas concentraciones, a regiones de bajas concentraciones, de acuerdo a la ley de Fick de difusión.

- ✓ Proceso lento: toma cerca de 10 días en disolver  $1\text{m}\delta/\text{L}$  en una columna de agua de  $10\text{cm}$  con una concentración original de  $10\text{mg}/\text{L}$
- ✓ Observable en transporte de sustancias disueltas en la interfase aire-agua a través de sedimentos porosos en agua.

## B. Difusión Turbulenta

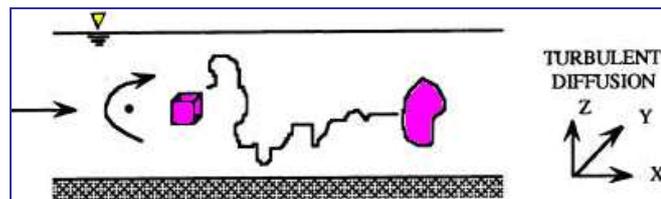


Figura 1 - 28 Esquema del movimiento de difusión turbulenta

Fuente: Fenómenos de transporte

Mezcla de sustancias particuladas finas debido a la turbulencia en micro escala.

- ✓ Causada por fuerza de rozamiento dentro del cuerpo de agua.
- ✓ Ordenación de magnitud mucho mayor que la difusión molecular y conlleva al proceso de dispersión.

## C. Dispersión

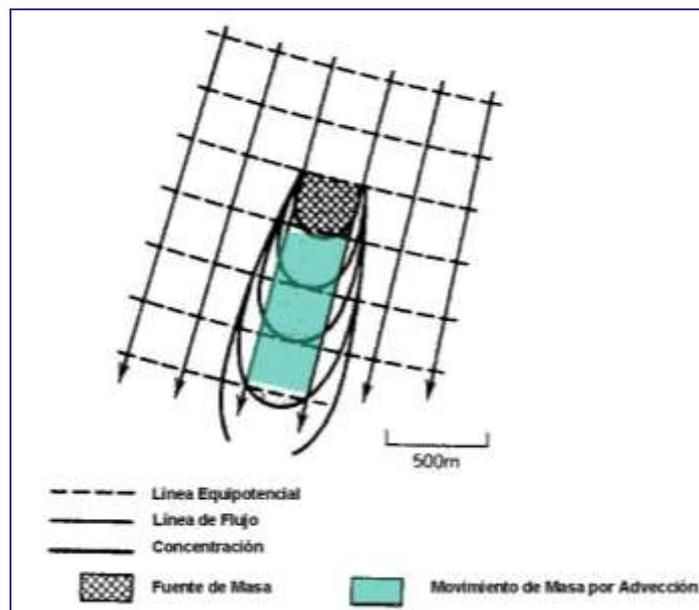


Figura 1 - 29 Esquema del movimiento de dispersión

Fuente: Fenómenos de transporte

Es la interacción de difusión turbulenta con gradientes de velocidad ocasionados por fuerzas de fricción en el cuerpo de agua.

- ✓ Responsable de transporte de sustancias toxicas en lagos.
- ✓ Gradientes de velocidad causados por fuerzas de fricción en los límites del cuerpo de agua.
- ✓ Causados por rozamiento del viento en la interfase aire de agua.
- ✓ Causados por rozamiento en interfases sedimento de agua de bancos de agua.
- ✓ Causados por morfologías sinuosas de las corrientes.

### I.5.3 ECUACIÓN DE ADVECCIÓN – DISPERSIÓN.

La ecuación que describe la advección y dispersión de material disuelto esta basada en:

- ✓ El principio de conservación de masa.
- ✓ La ley de Ficks.

El principio de conservación de masa para una sustancia esta representada por la ecuación:

Velocidad de cambio de la masa en el volumen de control	=	Velocidad de cambio de la masa en el volumen de control por adveccion	+	Velocidad de cambio de la masa en el volumen de control por difusión	-	Velocidad de reacciones de transformación
---	---	---	---	--	---	---

$$\frac{\partial C}{\partial t} = -U_i \frac{\partial C}{\partial X_i} + \frac{\partial}{\partial X_i} E_i \frac{\partial C}{\partial X_i} - R \quad \text{Ecuación 1. 23}$$

En donde:

C = Concentración, M/L<sup>3</sup>

t = tiempo, T

U<sub>i</sub> = Promedio de la velocidad de la dirección i, L/T

X<sub>i</sub> = Distancia de la dirección i, L

R = Velocidad de reacción de transformación, M/L<sup>3</sup>.T

E<sub>i</sub> = Coeficiente de dispersión (difusión) de la dirección i, L<sup>2</sup>/T  
(asumiendo X, Y, Z direcciones entonces E<sub>x</sub>, E<sub>y</sub>, E<sub>z</sub>)

La solución de la ecuación depende de los valores de E<sub>i</sub> y las condiciones iniciales y limitantes. Bajo condiciones de flujo en desequilibrio, la velocidad en la dirección longitudinal puede variar en espacio y tiempo.

## I.5.4 RELACIÓN ENTRE COMPORTAMIENTO DE REACTORES Y FENÓMENOS DE TRANSPORTE (26)

En los modelos de transporte se considera al cuerpo de agua, como un sistema imperfectamente mezclado compuesto por dos zonas: la primera, gobernada por la advección, cuyo comportamiento es similar a un reactor de flujo en pistón (PFR) y la segunda zona que tiene un comportamiento dispersivo, tal como ocurre en un reactor de mezcla completa (CSTR). La primera zona se caracteriza por tiempo de retraso advectivo  $\tau$ , y la segunda zona por un tiempo de residencia ( $T_R$ ) respectivamente.

### I.5.4.1 Definición de reactores ideales

**A. Reactor ideal de flujo en pistón.** Las partículas del fluido abandonan el sistema en la misma manera como ingresaron en el mismo. En un reactor de flujo pistón las propiedades no varían con el tiempo pero sí con la posición en el reactor.

El comportamiento de flujo pistón ideal se logra si se cumple que:

- ✓ La velocidad de flujo másico del fluido y las propiedades del mismo (presión, temperatura, composición), son constantes o uniformes en cualquier sección transversal normal al movimiento global del fluido.
- ✓ La difusión, sólo puede ser longitudinal, es despreciable frente al movimiento total del fluido.

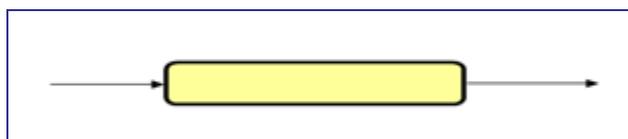


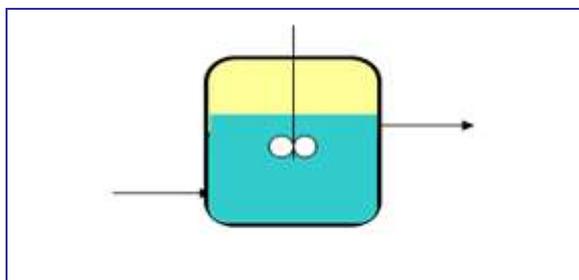
Figura 1 - 30 Reactor de flujo en pistón

Fuente: Metodología de los Trazadores Venezuela, Diciembre, 2007 Dr. José Griffith Cuba

**B. Reactor de mezcla completa.** La composición del material de salida es idéntica a la que se encuentra dentro del reactor.

Un reactor de mezcla completa debe cumplir con las siguientes condiciones:

- ✓ Cualquier producto que ingrese al tanque, se distribuye en forma inmediata y homogénea en la totalidad de su volumen.
- ✓ En todo momento la concentración de salida es idéntica a la existente en el interior del tanque.



**Figura 1 - 31 Reactor de mezcla completa**

Fuente: Metodología de los Trazadores Venezuela, Diciembre, 2007 Dr. José Griffith Cuba

El comportamiento de reactor ideal de mezcla completa supone que el fluido tiene propiedades (composición, temperatura, etc.) idénticas en todos los puntos del reactor. La característica más importante a tener en cuenta para acercarse al cumplimiento de esta hipótesis ideal es la velocidad de agitación.

#### **1.5.4.2 Modelo de dispersión (2)**

También se usa el modelo de dispersión para describir reactores tubulares no ideales. En este modelo hay una dispersión axial del material, que se rige por una analogía de la ley de Fick superpuesta al flujo.

El coeficiente de dispersión se puede determinar efectuando un experimento de pulso de trazador. Aquí se mide la concentración en el efluente del reactor en función del tiempo. Con base en los datos de concentración en el efluente, se calcula el tiempo de residencia medio y la varianza, y luego se usan estos valores para determinar  $D_a$ . Para lo cual se tiene la siguiente ecuación

$$D_a = \frac{\partial^2 C_T}{\partial z^2} - \frac{\partial(UC_T)}{\partial z} = \frac{\partial C_T}{\partial t} \quad \text{Ecuación 1. 24}$$

El primer paso a realizar es expresar la ecuación 1. 24 en forma adimensional, para obtener el o los grupos adimensionales que caracterizan el proceso.

$$\psi = \frac{C_T}{C_{T0}}, \quad \lambda = \frac{z}{L} \quad \text{y} \quad \theta = \frac{tU}{L} \quad \text{Ecuación 1. 25}$$

En el caso de una entrada de pulso,  $C_{T0}$  se define como la masa de trazador que se inyectó,  $M$ , dividida entre el volumen del recipiente,  $V$ . entonces

$$\frac{D_a}{UL} \frac{\partial^2 \psi}{\partial \lambda^2} - \frac{\partial \psi}{\partial \lambda} = \frac{\partial \psi}{\partial \theta} \quad \text{Ecuación 1. 26}$$

La cantidad  $UL/D_a$  es una forma del número de Peclet,  $Pe$ . Este número se puede ver como el cociente de:

$$Pe = \frac{\text{Velocidad de transporte por convección}}{\text{Velocidad de transporte por difusión o dispersión}} = \frac{UL}{Da}$$

Donde  $L$  es el término de longitud característica; y el término  $U$  es la velocidad de tubo vacío o superficial (2).

- ✓ Para  $Pe < 0.4$ , la difusión molecular predomina sobre la dispersión mecánica.
- ✓ Para  $0.4 < Pe < 5$ , ambos efectos son del mismo orden de magnitud en la dirección del flujo.
- ✓ Para  $5 < Pe < 100$ , la dispersión mecánica predomina en el sentido del flujo, pero la difusión molecular debe tomarse en cuenta por su efecto transversal (27).

#### 1.5.4.3 Condiciones de frontera (2)

Hay dos casos que necesitamos considerar: condiciones de frontera para recipientes cerrados y para recipientes abiertos. En el caso de recipientes cerrados – cerrados, suponemos que no hay dispersión o variación radial en la concentración tanto corriente arriba (cerrado) como corriente abajo (cerrado) de la sección de reacción, así que tenemos un recipiente cerrado – cerrado.

En un recipiente abierto, hay dispersión tanto corriente arriba (abierto) como corriente abajo (abierto) de la sección de reacción; por tanto, se trata de un recipiente abierto – abierto. Estos dos casos se muestran en la figura 1-34, donde las fluctuaciones en la concentración debidas a la dispersión se superponen al perfil de velocidad de flujo tapón.

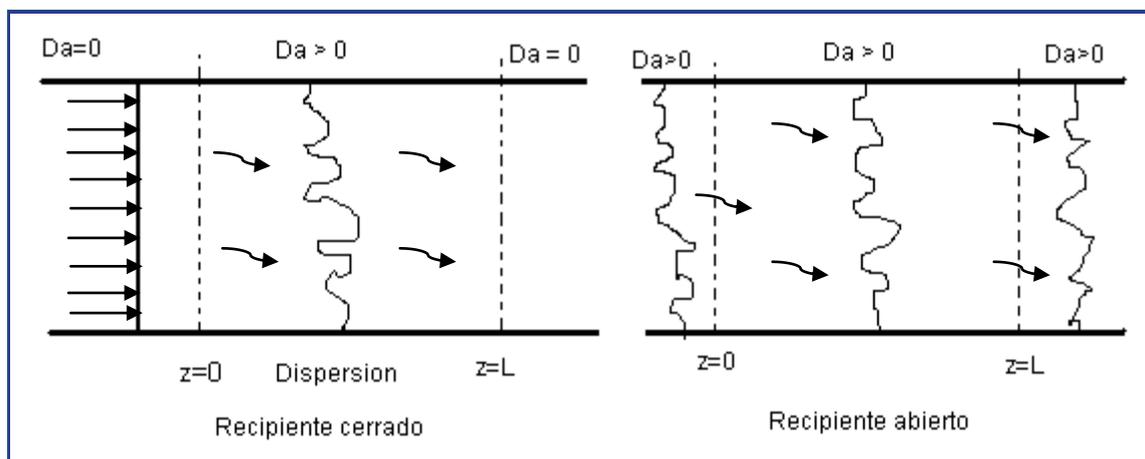


Figura 1 - 32 Tipos de condiciones de frontera.

Fuente: Fogler, H. Scott; Elementos de Ingeniería de las reacciones químicas.

### **Condiciones de frontera de recipiente abierto – abierto**

Cuando se inyecta un trazador en un lecho empacado en un punto situado mas de dos o tres diámetros de partícula corriente abajo desde la entrada y se mide a cierta distancia corriente arriba de la salida, son validas las condiciones de frontera para recipiente abierto – abierto.

En un sistema abierto – abierto, las condiciones de frontera en la entrada son

$$F_T(0^-, t) = F_T(0^+, t) \quad \text{Ecuación 1.27}$$

Entonces para el caso en que el coeficiente de dispersión es igual en las secciones de entrada y de reacción:

$$-D_a \left( \frac{\partial C_T}{\partial z} \right)_{z=0^-} + UC_T(0^-, t) = -D_a \left( \frac{\partial C_T}{\partial z} \right)_{z=0^+} + UC_T(0^+, t)$$

**Ecuación 1. 28**

$$C_T(0^-, t) = C_T(0^+, t)$$

En la salida

$$C_T(L^-, t) = C_T(L^+, t)$$

**Ecuación 1. 29**

$$-D_a \left( \frac{\partial C_T}{\partial z} \right)_{z=L^-} + UC_T(L^-, t) = -D_a \left( \frac{\partial C_T}{\partial z} \right)_{z=L^+} + UC_T(L^+, t)$$

Hay varias perturbaciones de estas condiciones de frontera que podemos aplicar. El coeficiente de dispersión puede adoptar diferentes valores en cada una de las tres regiones ( $z < 0$ ;  $0 \leq z \leq L$  y  $z > 0$ ) y también podemos inyectar el trazador en algún punto  $z_1$  en lugar de en la frontera,  $z=0$ . Consideremos el caso en que no hay variación en el coeficiente de dispersión en  $z$ , y el impulso de trazador se inyecta en  $z=0$  en  $t=0$ .

El tiempo de residencia medio correspondiente es

$$t_m = \left( 1 + \frac{2}{Pe_r} \right) \tau \quad \text{Ecuación 1. 30}$$

Donde  $\tau$  se basa en el volumen entre  $z=0$  y  $z=L$ . se tiene en la ecuación anterior que el tiempo de residencia medio para un sistema abierto es mayor que para un sistema cerrado.

La varianza en el caso de un sistema abierto se define como:

$$\frac{\sigma^2}{t_m^2} = \frac{2}{Pe_r} + \frac{8}{Pe_r^2} \quad \text{Ecuación 1. 31}$$

Ahora se considera dos casos en los que se puede usar las ecuaciones 1.30 y 1.31 para determinar los parámetros del sistema:

*Caso I:* se conoce el espacio tiempo  $\tau$ . Es decir, se mide  $V$  y  $v_0$  de forma independiente. Aquí podemos determinar el número de Peclet determinando  $t_m$  y  $\sigma^2$ .

A partir de los datos de concentración – tiempo y utilizando luego la ecuación 1.31 para calcular  $Pe_r$ . También se puede calcular  $t_m$  y luego usar la ecuación 1.30 como verificación, pero esto suele ser menos exacto.

*Caso II:* se desconoce el espacio tiempo  $\tau$ . Esta situación se presenta cuando hay bolsas muertas o estancadas en el reactor, junto con los efectos de dispersión. Para analizar esta situación primero calculamos  $t_m$  y  $\sigma^2$  a partir de los datos, igual que en el caso I. luego resolvemos la ecuación 1.31 para obtener  $Pe_r$ . Por último, se resuelve la ecuación 1.30 para obtener  $\tau$  y de ahí  $V$ . El volumen muerto es a diferencia entre el volumen medido y el volumen calculado a partir de la DTR.

## **CAPITULO II. PROTOCOLO DE MUESTREO**

Para la ubicación de puntos de monitoreo de agua en los ríos es necesario conocer las fuentes contaminantes, investigaciones o estudios precedentes en el Río Sucio; y además, contar con una metodología confiable a seguir para realizar la toma de muestras.

A continuación se presenta la metodología de inspección de campo realizada y los fundamentos de la ubicación de los puntos de muestreo, la metodología a seguir para la determinación del caudal, estudios de trazador RODAMINA WT y muestreos de calidad de agua y aptitudes de uso.

### ***II.1 METODOLOGIA DE CAMPO***

La localización de los puntos de muestreo es un factor clave que puede determinar la validez de la información que se pretende inferir, a través del análisis de las muestras colectadas en la misma. Pueden definirse tres niveles en el proceso de selección de los puntos de toma de muestra (3):

1. Aproximación mediante la macrolocalización o tramos del río que son representativos del nivel de calidad del canal principal del río.
2. La microlocalización que implica la ubicación, dentro del tramo precedente, de la estación de muestreo.
3. Selección final de los puntos de toma de muestras, que van a dar un valor representativo del área de muestreo (por ejemplo de toda la sección transversal del tramo del río en cuestión o columna de agua en un cuerpo lacustre).

Es necesario que la metodología a seguir para seleccionar los puntos de muestra no dependa de puntos de vista personales, sino que este fundamentado en el muestreo preliminar.

Para el desarrollo del presente trabajo de investigación, la ubicación de los puntos de toma de muestras se realizó a partir de la ubicación previamente definida y determinada por la Gerencia del Servicio Nacional de Estudios Territoriales, del ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (DGSNET/MARN) en estudios preliminares. En los cuales se consideraron las zonas en las que existiera menos incidencia de metales pesados, así como también, extracción y usos significativos del agua. Además, se considera que en la desembocadura de un río hay una fuerza contraria que hace que exista mayor deposición de materia en suspensión (como metales pesados); se tomó el tramo 10Km antes de la desembocadura del Río Sucio.

Para ubicar los sitios de muestreo también se consideraron las rutas de acceso hacia los puntos de muestreo y que dichos puntos de muestreo estuvieran ubicados corrientes arriba desde una confluencia en secciones donde el canal fuese más recto y uniforme en cuanto a su profundidad.

No se debe ubicar sitios directamente arriba o abajo de confluencias o fuentes focales, para minimizar problemas con aguas estancadas o flujos mal mezclados, o en caso contrario con demasiada turbulencia.

## ***II.2 DETERMINACION DEL CAUDAL***

Los medidores o molinetes de aforo típicos para medir velocidad de la corriente se basan en la relación entre la velocidad del agua y la rotación del instrumento en torno a un eje central. Cuando se coloca un medidor de flujo, en un punto del río o quebrada, éste rotará en proporción a la velocidad del agua. Si contamos el número de revoluciones en un período de tiempo definido (usualmente de 40 a 60 segundos), puede determinarse la velocidad del agua en el punto de observación.

En la Tabla 2.1, se resume el procedimiento de determinación del caudal, que requiere ciertos materiales y equipo tanto de protección personal como de medición de campo.

**Tabla 2. 1 Resumen de material, equipo de protección personal y equipo de medición de campo para determinación del caudal.**

<b>Materiales</b>	<b>Equipo de protección personal</b>	<b>Equipo de medición de campo</b>
Línea o cinta calibrada	Traje de vadeo	Molinete
Lazo		

Fuente: Elaboración Propia

A continuación, en la Tabla 2.2. se presenta el procedimiento de la determinación del caudal por el método de vadeo.

**Tabla 2.2 Procedimiento seguido para determinación del caudal**

<b>Nº</b>	<b>DESCRIPCION</b>
<b>A. DETERMINACIÓN DEL ANCHO DE LA SECCIÓN</b>	
1	Fijar la cinta a una de las riberas del cauce por medio de un espolón, tornillo agudizado o una estaca de madera, tal como lo muestra la Figura 2-1.
2	Extender la línea o cinta a lo ancho del cauce. Comenzar desde el lado opuesto a la localización de su equipo, o estación.
3	Colocar la línea perpendicular al flujo del río. Para estimar el ángulo aproximado correcto, se deben extender ambas manos en direcciones opuestas paralelas a la dirección del flujo. Colocarse de lado y luego juntar los brazos al centro del tórax apuntando con éstos extendidos en dirección a la ribera, esto se muestra en la Figura 2-2.  Si la cinta es colocada en una posición que no es perpendicular al flujo, las medidas de velocidad incluirán un pequeño error de ángulo que será necesario corregir.
<b>B. DETERMINACIÓN DEL NÚMERO DE SUB-SECCIONES</b>	
4	Las sub-secciones son tomadas cada metro, iniciando en un extremo del río.
<b>C. PREPARACIÓN DEL EQUIPO DE AFORO</b>	
5	Instalar el molinete en la varilla de suspensión, cerciorándose de verificar que el conector del circuito eléctrico esté debidamente asegurado.

Tabla 2.2 Procedimiento seguido para determinación del caudal (Continuación)

<b>D. PREPARACIÓN DE LAS NOTAS DEL AFORO</b>	
6	<p>Anotar la siguiente información en el formulario de aforo. (Ver Anexo 3)</p> <p>a. Nombre y localización del río, quebrada, o canal.</p> <p>b. Fecha del aforo y nombre del aforador.</p> <p>c. Hora en que se inicia el aforo y la ribera en que se comenzó (derecha o izquierda). Mirando en dirección al flujo, se denomina ribera derecha (RD) la que está en la mano derecha del aforador, siendo la ribera izquierda (RI) la opuesta.</p> <p>d. Características de la sección transversal: uniformidad, características del fondo (arena, grava, rocas, etc.), naturaleza de las riberas (verticales, llanas, con vegetación), localización relativa a alguna estación de flujo continuo.</p> <p>e. En caso de que el aforo se lleve a cabo en la vecindad de una estación continua de aforo, debe anotarse “la mira de la estación”, es decir, la altura de la columna de agua que mantiene la relación entre profundidad y caudal.</p>
<b>E. AFORO</b>	
7	<p>Llenar el formulario de “AFORO DE CORRIENTES POR MOLINETE” de la siguiente forma:</p> <p>Determinar la profundidad (P) en la orilla del agua y la distancia (D) del punto de referencia en la ribera según lo indicado en la cinta métrica. Anotar P y D en el formulario en las dos primeras columnas.</p>
8	<p>Decidir si la observación de velocidad se tomará usando el método de 6 décimas o el de dos puntos (0.2, 0.8) en base al valor de P. De tal forma que a una profundidad menor o igual que 0.24 m. realizar una sola lectura superficial; a una profundidad entre 0.25 m. y 0.74 m. tomar una medición al 60% de la profundidad total (tomando como referencia el nivel del agua); y a una altura mayor o igual a 0.75 m. tomar 2 mediciones al 20% y el 80% de la profundidad total respectivamente.</p>
9	<p>Deslizar el molinete a la profundidad correspondiente utilizando el ajustador automático en la varilla de suspensión, cuidando de mantener la varilla fija en el punto observado.</p>
10	<p>Colocarse con el brazo extendido y ofreciendo la menor resistencia al flujo del agua para minimizar interferencia con las observaciones.</p>
11	<p>Activar el molinete, y luego de 40 segundos automáticamente obtener la lectura de la velocidad en giros por segundo (g/s).</p>
12	<p>Una vez determinadas los giros por segundo se anotan éstos en el formulario de aforos.</p>
13	<p>Repetir el proceso en cada una de las sub-secciones siguientes hasta completar el vado en la ribera opuesta.</p> <p>Al terminar de anotar la última observación de tiempo (T), se anota la hora y ribera en que se terminó el aforo.</p>

Tabla 2.2 Procedimiento seguido para determinación del caudal (Continuación)

F. CALCULO DEL CAUDAL	
14	<p>El caudal obtenido en un aforo es la suma de los productos del área de cada sub-sección y la velocidad promedio en la sub-sección respectiva. Para ello se utiliza la fórmula general siguiente en el cálculo de las descargas individuales en cada sub-sección:</p> $q_i = V_i \left[ \frac{d_{(i+1)} - d_{(i-1)}}{2} \right] * p_i$ <p><math>q_i</math> = descarga en la sub-sección.  <math>V_i</math> = Velocidad promedio  <math>d</math> = distancia del punto inicial  <math>p_i</math> = profundidad de cada sub- sección</p> <p>La sumatoria de cada descarga nos dará el caudal de toda la sección.</p> <p>Las velocidades obtenidas por el aforador vienen dadas en g/s, se realiza una calibración por medio de tablas para transformarlas en m/seg.</p>

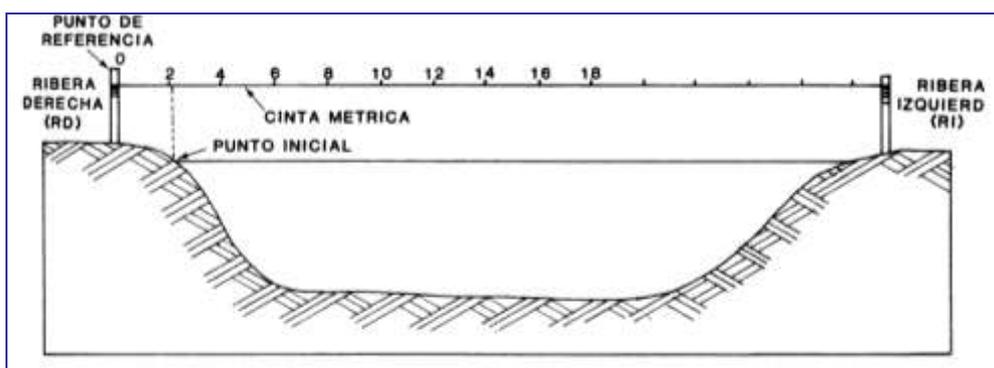


Figura 2-1 Técnica para medir el ancho de una sección transversal

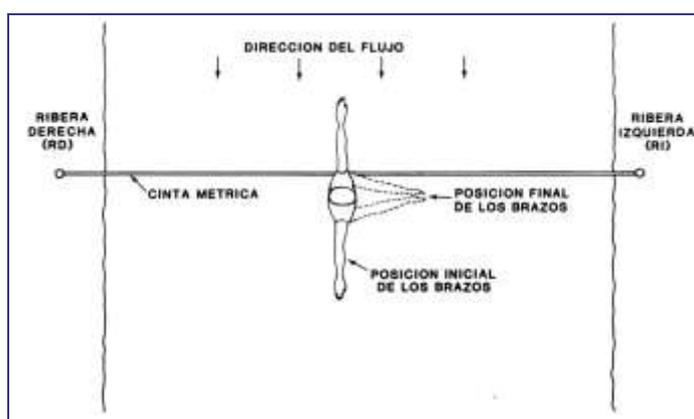


Figura 2 - 2 Esquema de la forma de estimar el ángulo

### II.3 MUESTREO DE TRAZADOR

La técnica consiste en inyectar una cantidad de RODAMINA WT, en el punto de inyección y determinar la distribución de las concentraciones de dicho material aguas abajo a través del tiempo, en dos diferentes puntos previamente seleccionados.

En la Tabla 2.3, se presentan los materiales, equipo de protección personal, reactivos y equipo de medición de campo necesarios para poder determinar la dispersión de las concentraciones de RODAMINA WT.

**Tabla 2.3 Resumen de material, equipo de protección personal y equipo de medición de campo para muestreo de RODAMINA WT.**

<b>Materiales</b>	<b>Equipo de protección personal</b>	<b>Reactivos</b>	<b>Equipo de medición de campo</b>
Celdas que contendrán las muestras	Traje de vadeo	Rodamina WT (20% p/p)	Fluorímetro
Franela	Agua potable		
Porta muestras	Jabón para manos		GPS
Cronómetro	Alcohol etílico		
Frasco para transportar la Rodamina WT	Botiquín de primeros auxilios		

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 2.4, se presenta la secuencia de pasos para determinar las concentraciones de RODAMINA WT a diferentes tiempos en los puntos de muestreo.

Tabla 2.4 Procedimiento seguido para muestreo de RODAMINA WT

Nº	DESCRIPCION
<b>A. ACCIONES PREVIAS</b>	
1	Revisar el itinerario de acuerdo a la cronología de la aplicación de la técnica.
2	Comprobar el buen funcionamiento del Fluorímetro
3	Revisar listas de equipos y materiales.
4	Preparar la cantidad de trazador a ser inyectada.
5	Revisar, verificar y calibrar equipos de medición en campo.
6	Revisar y preparar celdas para la toma de muestras
7	<p>Llevar a cabo un estudio pre exploratorio para determinar:</p> <p>La ubicación del punto de inyección y los dos (3) puntos de detección del trazador, donde se llevara a cabo la técnica de trazadores; en dichos puntos se deben tomar en cuenta las siguientes consideraciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Preferiblemente entre los puntos no deben de existir zonas de agregación, que ocasionen estancamiento del agua entre un punto y otro.</li> <li>✓ Deben considerarse los límites de detección del fluorímetro y la dilución aproximada que pueda provocarse en los puntos detectores tras la inyección del trazador, de tal manera que éste pueda ser medido y cuantificado.</li> </ul> <p>Estimar el intervalo de tiempo que existirá entre una toma de muestra y la otra en cada punto, para facilitar el itinerario de mediciones, de acuerdo a datos de caudal y velocidades que se hayan tomado en muestreos exploratorios o datos históricos anteriores.</p>
<b>B. TOMA DE MUESTRAS</b>	
8	Ubicarse en el punto de inyección del trazador y en los puntos detectores.
9	Inyectar en el cuerpo de agua en estudio una cantidad conocida de RODAMINA WT, como una fuente puntual instantánea; al momento de realizar dicha inyección correr los cronometro en tiempo cero.
10	Iniciar la recolección de muestras en el punto de detección número 1, cuando se obtengan lecturas de RODAMINA WT en Fluorímetro.
11	Tomar las muestras a intervalo de tiempo definidos según muestreo exploratorio
12	Analizar muestras para medir la concentración del trazador utilizando un Fluorímetro.
13	Volver al paso tres (11), para el caso de punto de detección número dos.

## **II.4 MUESTREO DE CALIDAD DE AGUA Y APTITUDES DE USO**

Para poder recolectar muestras para determinar la calidad del agua es necesario contar con los materiales, reactivos, equipo de protección personal y equipo de medición de campo que se resumen en la Tabla 2.5.

**Tabla 2.5 Resumen de material, equipo de protección personal y equipo de medición de campo para muestreo de calidad de agua y aptitudes de uso**

<b>Materiales</b>	<b>Reactivos</b>	<b>Equipo de protección personal</b>	<b>Equipo de medición de campo</b>
Recipientes de polietileno	Hielo	Traje de vadeo	Termómetro
Marcadores de tinta indeleble	HNO <sub>3</sub>	Agua potable	
Etiqueta de papel protegida con cinta adhesiva plástica		Jabón para manos	GPS
Hielera	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Alcohol etílico	Multiparametro EIJKELKAMB 18.28
Bitácora de campo	Sulfato de Mn	Botiquín de primeros auxilios	Caja de Herramientas
	Azida de socio		

**Fuente: Elaboración Propia**

A continuación se detalla el procedimiento para recolección de muestras de agua en ríos:

**Tabla 2.6 Procedimiento seguido para muestreo de calidad de agua**

<b>Nº</b>	<b>DESCRIPCION</b>
<b>A. ACCIONES PREVIAS</b>	
1	Revisar el itinerario adecuado a la cronología del muestreo.
2	Comprobar el buen funcionamiento de los equipos de medición de campo.
3	Revisar y elaborar las listas de equipos y materiales.

**Tabla 2.6 Procedimiento seguido para muestreo de calidad de agua (Continuación)**

4	Preparar reactivos químicos y estándares de calibración en campo.
5	Preparar los estándares para calibración del equipo de campo Multiparámetro EIJKELKAMP 18.28.
6	Revisar, verificar y calibrar equipos de medición en campo.
7	Revisión y preparación de recipientes (lavado y etiquetado) de recipientes.
8	Preparación de cadena de custodia y bitácora de campo.
9	Etiquetar muestras: <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Nombre de Institución/Laboratorio.</li> <li>✓ Codificación de la muestra.</li> <li>✓ Georeferenciación del punto de muestreo (GPS).</li> <li>✓ Fecha y hora de muestreo.</li> <li>✓ Parámetro a determinar.</li> <li>✓ Tipo de muestra.</li> <li>✓ Identificación del responsable del muestreo.</li> </ul>
<b>B. TOMA DE MUESTRAS</b>	
10	Tomar coordenadas del punto de toma de muestras utilizando el GPS.
11	Tomar datos de temperatura ambiental, condiciones meteorológicas, hora, y ubicación; y anotarlo en el formato de cadena de custodia.
12	Ubicarse en el punto de muestreo.
13	Introducir los frascos y enjuagarlos con el agua del río para su acondicionamiento.
14	Tomar muestras simples de agua superficial aproximadamente en el centro del cauce.
15	Determinar a través del Multiparámetro EIJKELKAMP 18.28. de campo valores de pH, Oxígeno Disuelto (OD), Temperatura de la muestra (T), y Conductividad Eléctrica (CE) y reportarlos en la cadena de custodia.
16	Llenar los frascos considerando un espacio libre de seguridad del 1% aproximadamente de la capacidad total de los frascos, a excepción de los frascos para análisis de DBO <sub>5</sub> y OD, los cuales deben de llenarse al 100% de su capacidad y sin burbujas de aire.
17	Sellar cada muestra y colocarla en una hielera acondicionada a una temperatura entre 1°C y 4°C, para su posterior análisis en el Laboratorio designado.
18	Transportar las muestras y el formato de Cadena de Custodia con datos de campo al laboratorio en el menor tiempo posible.
19	Entregar muestras en los Laboratorios designados para la determinación de cada parámetro.

En la Tabla 2.7 se resumen, el tipo de envase, preservación, el volumen de muestra, según el parámetro a determinar en aguas superficiales.

**Tabla 2.7 Tabla de recipientes y preservantes para muestras de aguas superficiales.**

Parámetro	Envase	Preservación	Volumen min. De muestra (ml)	Tiempo máximo de preservación
pH	P o V	Refrigerada 4°C	-	Inmediato
Oxígeno Disuelto	V	Azida, Sulfato de Manganeso, Refrig. 4°C	333	12 hrs.
Conductividad	P o V	Refrigerada 4°C	500	28 días
Sólidos Disueltos Totales, 105°C	P o V	Refrigerada 4°C	200	7 días
Demanda Bioq. O <sub>2</sub> – DBO5	V	Refrigerada 4°C	1000	6 a 24 hrs.
Coliformes totales y termotolerantes.	P	Refrigerada aprox. 4°C	100	6 hs
Sólidos Suspendidos Totales	P	Refrigerada 4°C	1000	2 días
Fósforo Total	V	Refrigerada 4°C	100	2 días
Nitrógeno – Nitrato	P o V	Refrigerada 4°C	100	2 días
Nitrógeno – Amonio	P o V	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> a pH < 2, refrig. 4°C	500	7 días
Metales Pesados (As, Cd, Cu, Cr, Pb y Zn)	HDPE	HNO <sub>3</sub> a pH < 2, Refrigerada 4°C	1000	Meses
Mercurio (Hg)	V	HNO <sub>3</sub> a pH < 2, Refrigerada 4°C	1000	28 días

Donde:

P: Plástico.

V: Vidrio.

HDPE: Polietileno de Alta densidad.

## CAPÍTULO III. CÁLCULOS ANALÍTICOS

### III.1 PARÁMETROS A EVALUAR

#### III.1.1 MÉTODOS DE MEDICIÓN

Las variables a determinar en el presente estudio son calidad del agua, cantidad del agua y coeficiente de dispersión longitudinal del río, esto con el fin de caracterizar el cuerpo de agua; es por esto que en la siguiente tabla se especifican los métodos que se han utilizado para analizar las muestras obtenidas en campo, así como también las mediciones in situ, que se realizan, para los diferentes parámetros a ser evaluados.

**Tabla 3. 1 Especificación de métodos de análisis a utilizar, para cada parámetro analítico a evaluar**

Variable		Parámetro	Método de análisis	Limite de detección
Calidad del Agua	Características Físicas	Color Aparente	Platino Cobalto	N/A
		Conductividad	Método Electrométrico (Realizado con el equipo: Thermo Orión 5 star)	N/A
		Turbidez	Método Turbidimétrico (Realizado con el equipo: HACH)	N/A
	Características Químicas	pH	Método Electrométrico	N/A

**Tabla 3. 1 Especificación de métodos de análisis a utilizar, para cada parámetro analítico a evaluar (Continuación)**

VARIABLE		PARAMETRO	METODO DE ANALISIS	LIMITE DE DETECCION
Calidad del Agua	Características Químicas	Oxígeno Disuelto	Método de Winkler o método Yodométrico (Modificación de Azida)	N/A
		Alcalinidad Total	Titulométrico	4 ppm CaCO <sub>4</sub>
		Dureza Total	Titulométrico con EDTA	4 ppm CaCO <sub>3</sub>
		Calcio	Titulométrico con EDTA	1.60 ppm Ca
		Magnesio	Cálculo por diferencia Mg=Dureza Total – Calcio	N/A
		Nitrógeno amoniacal	Nessler	0 – 2.50 mg/L
		Nitratos	Reducción del cadmio	0 – 30 mg/L
		Fosfatos	Acido ascórbico	0 – 2.5 PO <sup>3-</sup>
		Cloruros	Argentométrico	1.99 ppm Cl
		Sólidos Totales Disueltos	Electrométrico Medición con equipo Thermo Orión 5 star	N/A
		Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	Electrométrico	N/A
		Boro	Colorimetría del carmín	0 – 14 ppm B

**Tabla 3.1 Especificación de métodos de análisis a utilizar, para cada parámetro analítico a evaluar (Continuación)**

VARIABLE		PARAMETRO	METODO DE ANALISIS	LIMITE DE DETECCION
Calidad del Agua	Características Químicas	Sulfatos	Método Turbidimétrico	7 ppm SO <sub>4</sub>
		Sodio	Electrodo de Ion selectivo	0.11 ppm Na
		Fosforo total	Colorimétrico con digestión de ácida y persulfato	0.01 ppm PO <sub>4</sub> <sup>3</sup>
	Características Microbiológicas	Coliformes fecales	APHA – AWWA – WEF 9221E	N/A
Cantidad de Agua		Caudal	Método de vadeo	N/A
Coeficiente de dispersión del río		Concentración de Rodamina WT	Método Fluorométrico	0.3 – 300 ppb

Donde:

N/A: No Aplica.

Fuente: Elaboración propia.

## **III.2 CÁLCULOS RODAMINA WT**

### **III.2.1 CANTIDAD DE RODAMINA WT A SER INYECTADA**

Previo a la realización del estudio de dispersión se hace necesaria la determinación de la cantidad óptima de trazador a utilizar en un ensayo, a fin de garantizar que el trazador pueda ser medido dentro de los límites de detección del equipo.

Los principales parámetros que influyen en la elección de la cantidad de trazador a utilizar son:

- ✓ La sensibilidad del sistema de medición, que aconseja una concentración ideal para su análisis, de forma que la dilución no supere los niveles detectables.
- ✓ El método de inyección del trazador, continua o puntual.
- ✓ Las características hidrogeológicas del cuerpo de agua, tales como:
  - El volumen de agua que va a ser trazado.
  - Las dimensiones del cuerpo de agua (distancia del trayecto, gradiente energético, etc.) (32).

De acuerdo a lo anterior se realizó una prueba pre-exploratoria, en la cual se inyectó 1 ml de Rodamina WT, y se realizaron mediciones 100 m aguas abajo del punto de inyección, a partir de los resultados de esta prueba y conociendo el promedio de cantidad de agua, se obtuvo que para todo el tramo en estudio (5.971 Km), se debía inyectar la cantidad de 500 ml.

### **III.2.2 CALIBRACION DEL EQUIPO**

La calibración de aparatos e instrumentos de medida que interviene en los procesos analíticos e instrumentales de medida son importantes para obtener datos experimentales representativos del sistema en estudio.

La calibración se define como el conjunto de operaciones que establecen, en unas condiciones específicas, la relación que existe entre los valores indicados por un instrumento o sistema de medida, o los valores representados por una medida materializada y los correspondientes valores conocidos de una magnitud de medida. (BIPM, 1993) (33)

### **III.2.2.1 Calibración instrumental del equipo**

Para el caso en estudio, la calibración instrumental es realizada mediante el procedimiento de calibración de equipo, según se describe en el manual del usuario de este (34). (Ver Anexo 4).

Para realizar la calibración del equipo se utilizó como blanco, agua del tramo en estudio de la subcuenca del Río Sucio.

### **III.2.2.2 Calibración analítica**

En medidas de propiedades químicas el concepto de calibración tiene un doble significado, ya que además de la calibración instrumental existe la calibración analítica donde se relaciona la respuesta instrumental con la concentración del analito a determinar, normalmente mediante un modelo de línea recta (33).

#### **A. Curva de calibrado**

La curva de calibrado es un método de química analítica empleado para medir la concentración de una sustancia en una muestra por comparación con una serie de elementos de concentración conocida. Se basa en la existencia de una relación en principio lineal entre un carácter medible (por ejemplo la absorbancia en los enfoques de espectrofotometría) y la variable a determinar (la concentración). Para ello, se efectúan diluciones de unas muestras de contenido conocido y se produce su lectura y el consiguiente establecimiento de una función matemática que relacione ambas; después, se lee el mismo carácter en la muestra problema y, mediante la sustitución de la variable independiente de esa función, se obtiene la concentración de esta. Se dice pues que la respuesta de la muestra puede cuantificarse y, empleando la curva de calibración, se puede interpolar el dato de la muestra problema hasta encontrar la concentración del analito. Las curvas de calibración suelen poseer al menos una fase de respuesta lineal sobre la que se realiza un test estadístico de regresión para evaluar su bondad (35).

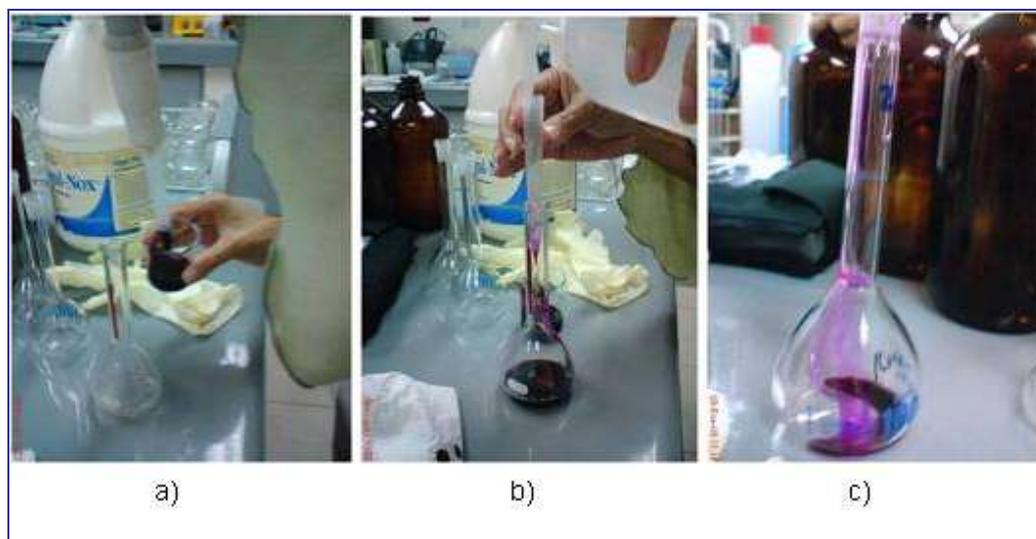
En la preparación de la curva de calibrado, se preparan varias soluciones estándares que contienen concentraciones conocidas del analito. Dichas soluciones deben cubrir el intervalo de concentraciones de interés, así como tener una composición matricial tan parecida como se pueda a la de las soluciones de la muestra, es por ello que en el presente estudio se ha utilizado como disolvente, agua del tramo de estudio de la subcuenca del Río Sucio, para elaborar dichas soluciones. Las lecturas netas se graficaran contra las concentraciones de las soluciones estándares, a fin de obtener la grafica de calibración de trabajo (36).

### **Preparación de solución patrón de Rodamina WT**

Para el caso en estudio se prepararon diferentes soluciones a concentraciones diferentes, como se describe a continuación:

#### **a) Solución patrón de $2 \times 10^6$ ppb de Rodamina WT:**

Disolver 1 ml de Rodamina WT al 20% v/v en 100 ml de agua del tramo de estudio de la subcuenca del Río Sucio, en la figura 3-1 se observa como se llevo a cabo dicha preparación.



**Figura 3- 1 Procedimiento de preparación de solución de Rodamina WT a  $2 \times 10^6$  ppb; a) obteniendo 1 ml de Rodamina WT con concentración de 20% v/v; b) Limpieza de la pipeta; c) Realizando el aforo.**

**b) Solución de  $2 \times 10^4$  ppb de Rodamina WT:**

Disolver 1 ml de la solución de  $2 \times 10^6$  ppb, en 100 ml de agua del tramo de estudio de la subcuenca del Río Sucio; como se muestra en la figura 3-2.



Figura 3- 2 Preparación de solución patrón a una concentración de  $2 \times 10^4$  ppb.

**c) Solución de 100 ppb de Rodamina WT:**

Disolver 5 ml de la solución con concentración de  $2 \times 10^4$  ppb y diluirla en 1 litro de agua del tramo de estudio de la subcuenca del Río Sucio.

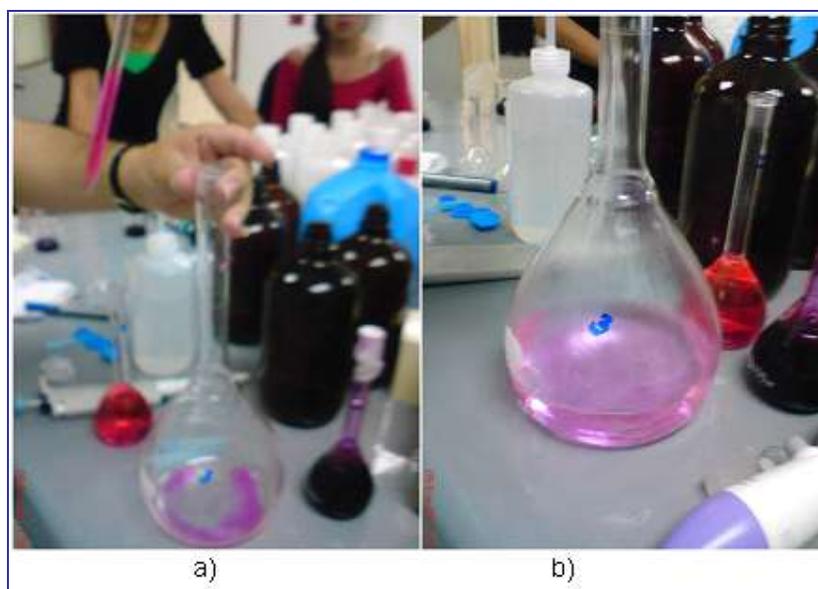


Figura 3- 3 Preparación de solución 100 ppb de Rodamina WT; a) Tomando los 5 ml de la solución de  $2 \times 10^4$  ppb de Rodamina WT; b) Realizando el aforo.

A partir de esta última solución se obtuvieron cuatro estándares; los cuales se detallan en la Tabla 3.2.

**Tabla 3. 2 Concentración a las cuales se prepararon los estándares**

N°	Concentración de solución madre (ppb)	Factor de dilución (ml/ml)	Concentración (ppb)
1	100	2.5 / 25	10
2	100	5 / 25	20
3	100	10 / 25	40
4	100	20 / 25	80

Fuente: Elaboración propia

En la figura 3-4 se observa la solución de la cual se obtuvieron los cuatro estándares; los cuales son necesarios para la construcción de la curva de calibración.



**Figura 3- 4 Solución madre, de la cual se obtuvieron los cuatro estándares.**

Al realizar las lecturas de dichas soluciones estándares en el Fluorímetro, se obtuvieron los valores que se muestran en la Tabla 3.3. y a partir de los cuales se obtiene la curva de calibración mostrada en la Figura 3-5.

Tabla 3. 3 Lecturas de concentración obtenidas del equipo sujeto de calibración.

Concentración (ppb)	Lectura del equipo (ppb)
0	0
10	9.33
20	20.43
40	40.28
80	79.81

Fuente: Elaboración propia

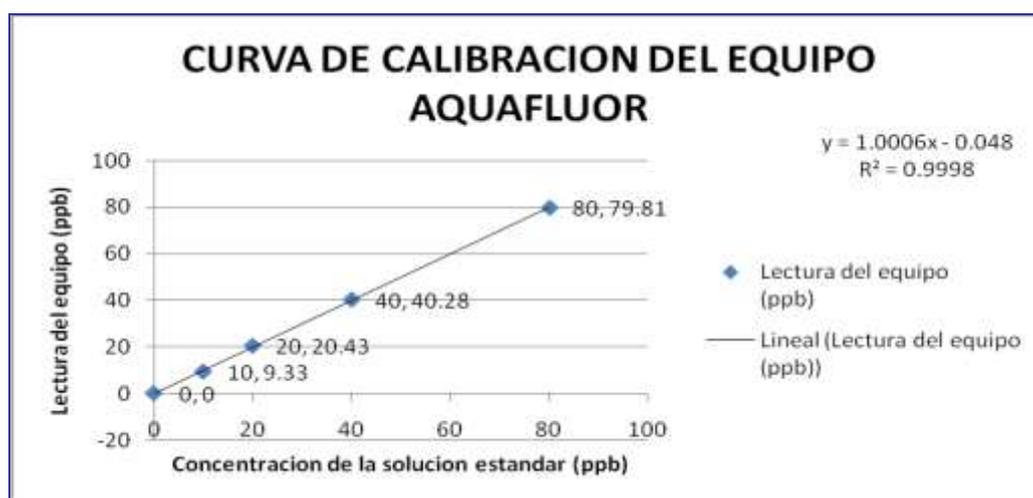


Figura 3- 5 Curva de calibración del equipo.

Fuente: Elaboración propia

## CAPITULO IV. TABULACION DE DATOS

Tomado en cuenta las consideraciones mencionadas en el capítulo II, en cuanto a la ubicación de los puntos de muestreo, se realizaron tres muestreos, para análisis de aguas en el Río Sucio, en tres puntos de muestreos específicos: EL JOCOTE, EL LLANO Y RANCHO QUEMADO (Ver Anexo 5. Fichas de puntos de muestreo) en una distancia de muestreo de 5.971 Km.

En la tabla 4.1 se presentan los muestreos realizados correspondientes a análisis de agua.

**Tabla 4. 1 Muestreos realizados de análisis de aguas en el tramo en estudio.**

Muestreos realizados	Análisis de aguas	Fecha de realización	Época
Muestreo 1	Fisicoquímico y Bacteriológico	27/enero / 2009	Seca
Muestreo 2	Fisicoquímico y Bacteriológico	10/ marzo/2009	Seca
Muestreo 3	Fisicoquímico y Bacteriológico	18/ mayo /2009	Transición a época lluviosa

**Fuente: Elaboración Propia**

También se realizaron tres estudios utilizando las técnicas de trazadores, con Rodamina WT, para determinar el coeficiente de dispersión del tramo en estudio del Río Sucio, estos estudios se realizaron tomando en cuenta el estancamiento y la turbulencia del cuerpo de agua. En la tabla 4.2 se detallan los estudios realizados.

Tabla 4. 2 Estudios realizados según técnica de Trazadores.

Estudios de técnica de trazadores	Detalle	Fecha	Época
Pre experimental	Se determinó la cantidad de rodamina a utilizar para el muestreo experimental, este ensayo se realizó en un tramo de 100 m aproximadamente, inyectando 1ml de Rodamina WT, en el punto de muestreo el jocote	27/ enero /2009	Seca
Experimental	Se realizó en una distancia aproximada de 807m, inyectando 500ml de Rodamina WT, entre los puntos de muestreo el jocote y el llano, estos puntos son identificados como: PTO DE INYECCION, PTO DE RECOLECCION 1 Y PTO DE RECOLECCION 2. (ver Anexo 5)	28/ enero /2009	Seca
Muestreo 1	Se realizó en una distancia de 4.150 Km entre el PTO DE RECOLECCION 2 del muestreo experimental y el Rancho quemado, inyectando 500ml de Rodamina WT	11/febrero/2009	Seca
Muestreo 2	Se realizó en una distancia de 4.150 Km entre el PTO DE RECOLECCION 2 del muestreo experimental y el Rancho quemado, inyectando 500ml de Rodamina WT	9/ marzo/2009	Seca

Fuente: Elaboración Propia

En la tabla 4.3 se presentan una síntesis de las distancias entre los puntos de muestreo, identificando los puntos de análisis de aguas y estudio de dispersión:

Tabla 4. 3 Distancias entre puntos de muestreo

SITIO1	SITIO2	DISTANCIA (Km)
01-JOCOT	02-LLANO	2.932
01-JOCOT	03-RANCH	5.971
02-LLANO	03-RANCH	3.039
03-RANCH	Bocatoma distrito de riego	4.043
01-JOCOT	PTO INYECCION1	1.014
PTO INYECCION1	PTO DE RECOLECCION1	0.453
PTO DE RECOLECCION1	PTO DE RECOLECCION2	0.354
PTO DE RECOLECCION2	02-LLANO	1.111
PTO DE RECOLECCION2	03-RANCH	4.150

Tramo de estudio muestras: *	Desde 01-JOCOT hasta 03-RANCH	5.971 km
Tramo de estudio de dispersión: *	Desde PTO INYECCION1 hasta 03-RANCH	4.957 km
Aguas arriba desde 01-JOCOT hasta la bocatoma	Desde 01-JOCOT hasta bocatoma d. r. ATISUR	10.014 km

\*El tramo de estudio para recolección y análisis de muestras de agua, difiere del tramo del estudio de dispersión con Rodamina WT, debido a la existencia de dos zonas de agravamiento (Pozas: El amate y el cajón) ubicados entre el PTO DE INYECCION 1 y el sitio 01-JOCOT

Fuente: Elaboración Propia

Para tener una mejor ubicación de las distancias de cada uno de los puntos de muestreo se presentan en la Figura 4-1 y 4-2, el esquema general de de los puntos de muestreo y la respectiva identificación, según el tipo de muestreo realizado.

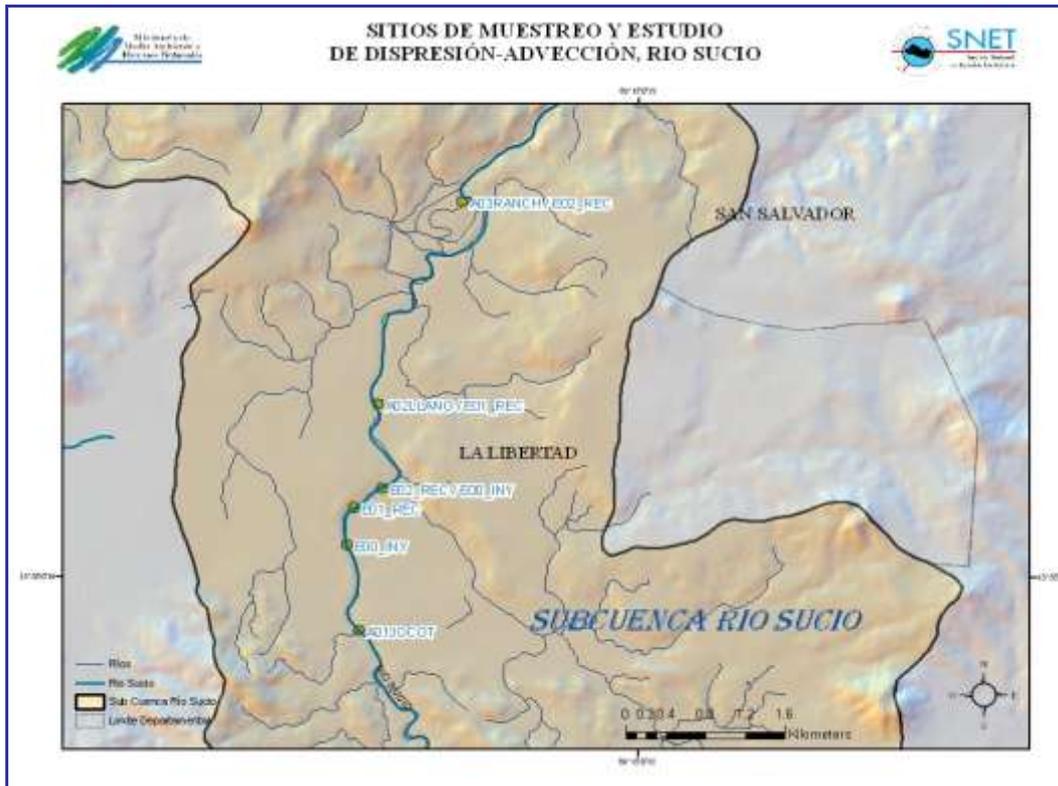


Figura 4- 1 Esquema general de puntos de muestreo

Fuente: MARN/DGSNET

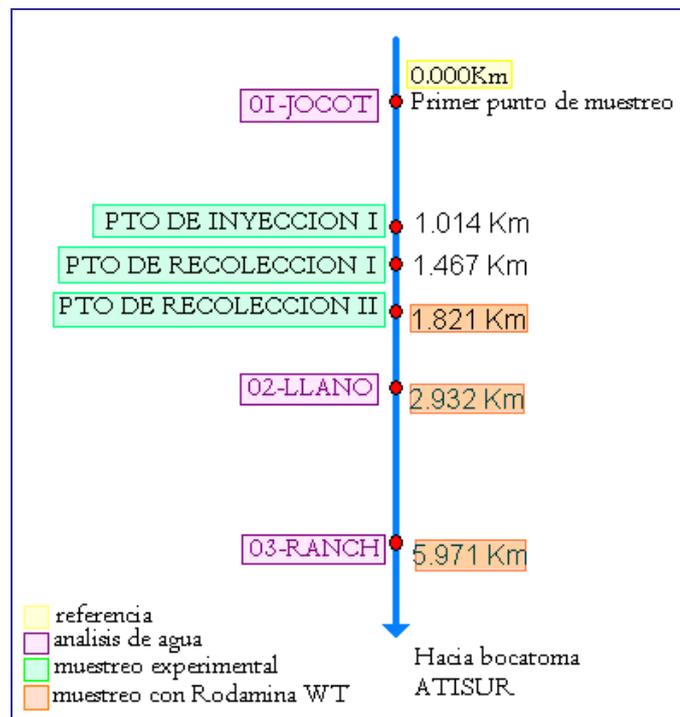


Figura 4- 2 Esquema general de puntos de muestreo

Fuente: Elaboración Propia

## IV.1 MUESTREOS DE ANALISIS DE AGUA

Como se mencionó anteriormente se realizaron tres muestreos de análisis de aguas, en los cuales se obtuvieron datos tanto bacteriológicos como fisicoquímicos, así como también parámetros de campo, para cada caso. A continuación se detalla la información obtenida.

### IV.1.1 MUESTREO 1

El primer muestreo fue realizado el 27 de Enero de 2009, mes considerado como época seca, para el cual se obtuvieron los siguientes resultados, según puntos de muestreo y análisis realizados.

#### IV.1.1.1 Análisis bacteriológico

Los análisis bacteriológicos fueron realizados en el laboratorio de Especialidades Microbiológicas Industriales ESMI S.A. DE C.V. Los cuales reportan los siguientes resultados:

**Tabla 4. 4 Resultados de primer análisis bacteriológico por punto de muestreo**  
(Ver Anexo 6, 7 y 8)

Análisis	Sitio de muestreo	Resultado	Expresado como	Método de análisis
Bacterias	01 - JOCOT	30,000	NMP/100ml	APHA-AWWA-WEF-9221E
Coliformes	02 - LLANO	13,000		
Fecales	03 - RANCH	23,000		

Fuente: Resultados análisis ESMI S.A. DE C.V.

#### IV.1.1.2 Análisis Fisicoquímicos

Los análisis fisicoquímicos fueron realizados en el laboratorio de la Dirección General del Servicio Nacional de Estudios Territoriales DGSNET, del Ministerio del Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN) los cuales reportan los siguientes resultados:

**Tabla 4. 5 Resultados de Primer análisis fisicoquímico de aguas *Punto de Muestreo: El JOCOTE (ver Anexo 15)***

Procedencia		01 JOCOT-A	
Fecha de toma de muestras		27/01/2009	
Fecha de inicio de análisis		28/01/2009	
Fecha de finalización de análisis		02/02/2009	
PARAMETRO	EXPRESADO COMO	RESULTADO	INCERTEZA
pH	Unidades	7,604	No Aplica
Oxígeno Disuelto	ppm O <sub>2</sub>	5,700	No Aplica
Conductividad	µSiemens/cm	667.00	0.000
Turbidez	Unidades FAU	17.00	0.000
Alcalinidad Total	ppm CaCO <sub>3</sub>	208.93	0.000
Dureza Total	ppm CaCO <sub>3</sub>	219.20	0.000
Calcio	ppm Ca	41.97	0.000
Magnesio	ppm Mg	27.78	0.000
Nitrógeno Amoniacal	ppm NH <sub>4</sub>	0.31	0.000
Nitratos	ppm NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	13.05	0.070
Fosfatos	ppm PO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	1.91	0.007
Cloruros	ppm Cl <sup>-</sup>	38.92	0.000
Color Aparente	Unidades Pt-Co	60.00	1,410
Sólidos Totales Disueltos	Ppm	331.00	0.000
Demanda Bioquímica de Oxígeno	ppm O <sub>2</sub>	4.00	0.000
Boro	ppm B	ND	0.000
Sulfatos	ppm SO <sub>4</sub>	143.00	4,240
Sodio	ppm Na	44.10	0.000
Fósforo Total	ppm P	2.74	0.014
Cobre	ppm Cu	0.03	0.000
Nitrógeno Total Kjeldahl	ppm NTK	7.88	0.000
Fenoles	ppm Fenol	0.04	0.000
Zinc	ppm Zn	0.01	0.000
Demanda Química de Oxígeno	ppm O <sub>2</sub>	13	0.000

Fuente: Resultados análisis DGSNET/MARN

**Tabla 4. 6 Resultados de Primer análisis fisicoquímico de aguas *Punto de muestreo: El LLANO (ver Anexo 16)***

Procedencia		02 LLANO-A	
Fecha de toma de muestras		27/01/2009	
Fecha de inicio de análisis		28/01/2009	
Fecha de finalización de análisis		02/02/2009	
PARAMETRO	EXPRESADO COMO	RESULTADO	INCERTEZA
Ph	Unidades	7,578	No Aplica
Oxígeno Disuelto	ppm O <sub>2</sub>	6,780	No Aplica
Conductividad	µSiemens/cm	668.00	0.000
Turbidez	Unidades FAU	16.00	0.000
Alcalinidad Total	ppm CaCO <sub>3</sub>	216.09	0.000
Dureza Total	ppm CaCO <sub>3</sub>	219.20	0.000
Calcio	ppm Ca	43.25	0.000
Magnesio	ppm Mg	27.01	0.000
Nitrógeno Amoniacal	ppm NH <sub>4</sub>	0.25	0.007
Nitratos	ppm NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	13.20	0.000
Fosfatos	ppm PO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	1.94	0.014
Cloruros	ppm Cl <sup>-</sup>	37.93	0.000
Color Aparente	Unidades Pt-Co	55.00	1,410
Sólidos Totales Disueltos	Ppm	327.00	0.000
Demanda Bioquímica de Oxígeno	ppm O <sub>2</sub>	4.00	0.000
Boro	ppm B	ND	0.000
Sulfatos	ppm SO <sub>4</sub>	132.00	2,820
Sodio	ppm Na	42.40	0.000
Fósforo Total	ppm P	3.83	0.007
Cobre	ppm Cu	0.03	0.000
Nitrógeno Total Kjeldahl	ppm NTK	1.88	0.000
Fenoles	ppm Fenol	0.02	0.000
Zinc	ppm Zn	0.02	0.000
Demanda Química de Oxígeno	ppm O <sub>2</sub>	14	0.000

Fuente: Resultados análisis DGSNET/MARN

**Tabla 4. 7 Resultados de Primer análisis fisicoquímico de aguas *Punto de Muestreo:*  
*RANCHO QUEMADO (ver Anexo 17)***

Procedencia		03 RANCH-A	
Fecha de toma de muestras		27/01/2009	
Fecha de inicio de análisis		28/01/2009	
Fecha de finalización de análisis		02/02/2009	
PARAMETRO	EXPRESADO COMO	RESULTADO	INCERTEZA
pH	Unidades	7,586	No Aplica
Oxígeno Disuelto	ppm O <sub>2</sub>	6,270	No Aplica
Conductividad	μSiemens/cm	657.00	0.000
Turbidez	Unidades FAU	14.00	0.000
Alcalinidad Total	ppm CaCO <sub>3</sub>	213.57	0.000
Dureza Total	ppm CaCO <sub>3</sub>	221.20	0.000
Calcio	ppm Ca	43.89	0.000
Magnesio	ppm Mg	27.10	0.000
Nitrógeno Amoniacal	ppm NH <sub>4</sub>	0.23	0.000
Nitratos	ppm NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	10.90	0.140
Fosfatos	ppm PO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	1.92	0.021
Cloruros	ppm Cl <sup>-</sup>	36.54	0.000
Color Aparente	Unidades Pt-Co	51.00	0.000
Sólidos Totales Disueltos	Ppm	322.00	0.000
Demanda Bioquímica de Oxígeno	ppm O <sub>2</sub>	4.00	0.000
Boro	ppm B	ND	0.000
Sulfatos	ppm SO <sub>4</sub>	129.00	1,410
Sodio	ppm Na	45.40	0.000
Fósforo Total	ppm P	2.36	0.014
Cobre	ppm Cu	0.020	0.000
Nitrógeno Total Kjeldahl	ppm NTK	3.000	0.000
Fenoles	ppm Fenol	0.040	0.000
Zinc	ppm Zn	0.060	0.000
Demanda Química de Oxígeno	ppm O <sub>2</sub>	10.500	0.710

Fuente: Resultados análisis DGSNET/MARN

#### IV.1.1.3 Parámetros de Campo

Los parámetros de campo como su nombre lo indica fueron obtenidos en los puntos de muestreo, obteniéndose los resultados mostrados a continuación.

Tabla 4. 8 Parámetros de campo muestreo 1, punto de muestreo: *EL JOCOTE* (ver Anexo 15)

Procedencia	01 JOCOT-A	Expresado como
<i>Hora</i>	9:30 am	
<i>North Cordenate</i>	13° 54'45"	
<i>West Cordenate</i>	89°16'33.5"	
<i>Temperatura Ambiental</i>	26.20	°C
<i>Temperatura de la muestra</i>	24.30	°C
<i>pH</i>	7.60	Unidades
<i>C.E (uS/cm)</i>	676	μSiemens/cm

Fuente: Resultados análisis DGSNET/MARN

Tabla 4. 9 Parámetros de campo muestreo 1, punto de muestreo: *EL LLANO* (ver Anexo 16)

Procedencia	02 LLANO- A	Expresado como
<i>Hora</i>	10:30 am	
<i>North Cordenate</i>	13° 56'02.2"	
<i>West Cordenate</i>	89°16'22.1"	
<i>Temperatura Ambiental</i>	29.40	°C
<i>Temperatura de la muestra</i>	24.70	°C
<i>pH</i>	7.90	Unidades
<i>C.E (uS/cm)</i>	775	μSiemens/cm

Fuente: Resultados análisis DGSNET/MARN

Tabla 4. 10 Parámetros de campo muestreo 1, Punto de muestreo: *RANCHO QUEMADO* (Ver Anexo 17)

Procedencia	03 RANCH-A	Expresado como
<i>Hora</i>	11:30 am	
<i>North Cordenate</i>	13° 52'12.1"	
<i>West Cordenate</i>	89°15'58.9"	
<i>Temperatura Ambiental</i>	31.8	°C
<i>Temperatura de la muestra</i>	25.60	°C
<i>pH</i>	7.95	Unidades
<i>C.E (uS/cm)</i>	710	μSiemens/cm

Fuente: Resultados análisis DGSNET/MARN

#### IV.1.2 MUESTREO 2

El segundo muestreo fue realizado el 10 de Marzo de 2009, mes considerado como época seca, para el cual se obtuvieron los siguientes resultados, según puntos de muestreo y análisis realizados.

#### IV.1.2.1 Análisis bacteriológico

Los análisis bacteriológicos fueron realizados en el laboratorio de Especialidades Microbiológicas Industriales ESMI S.A. DE C.V. los cuales reportan los siguientes resultados:

**Tabla 4. 11 Resultados de segundo análisis bacteriológico Por punto de muestreo (Ver Anexo 9, 10 y 11)**

Análisis	Sitio de muestreo	Resultado	Expresado como	Método de análisis
Bacterias Coliformes Fecales	01 - JOCOT	30,000	NMP/100ml	APHA-AWWA- WEF-9221E
	02 - LLANO	30,000		
	03 - RANCH	30,000		

Fuente: Resultados análisis ESMI S.A. DE C.V.

#### IV.1.2.2 Análisis Físicoquímicos

Los análisis físicoquímicos fueron realizados en el laboratorio de la Gerencia del Sistema Nacional de Estudios Territoriales SNET, del Ministerio del Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN) los cuales reportan los siguientes resultados:

**Tabla 4. 12 Resultados de segundo análisis físicoquímico de aguas Punto de Muestreo: EL JOCOTE (ver Anexo 18)**

Procedencia	01 JOCOT-A		
Número de referencia	09-130		
Fecha de toma de muestras	10/03/2009		
Fecha de inicio de análisis	11/03/2009		
Fecha de finalización de análisis	16/03/2009		
PARAMETRO	EXPRESADO COMO	RESULTADO	INCERTEZA
pH	Unidades	7.616	No Aplica
Conductividad	μSiemens/cm	674.00	0.000
Turbidez	Unidades FAU	10.00	0.000
Alcalinidad Total	ppm CaCO <sub>3</sub>	226.20	0.000
Dureza Total	ppm CaCO <sub>3</sub>	230.00	0.000
Calcio	ppm Ca	45.98	0.000
Magnesio	ppm Mg	27.98	0.000
Nitrógeno Amoniacal	ppm NH <sub>4</sub>	0.41	0.021
Nitratos	ppm NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	12.95	0.212
Fosfatos	ppm PO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	2.36	0.007
Cloruros	ppm Cl <sup>-</sup>	41.70	0.000

**Tabla 4. 13 Resultados de segundo análisis fisicoquímico de aguas *Punto de Muestreo: EL JOCOTE (Continuación)***

Procedencia		01 JOCOT-A	
Número de referencia		09-130	
Fecha de toma de muestras		10/03/2009	
Fecha de inicio de análisis		11/03/2009	
Fecha de finalización de análisis		16/03/2009	
PARAMETRO	EXPRESADO COMO	RESULTADO	INCERTEZA
Color Aparente	Unidades Pt-Co	47.50	0.710
Sólidos Totales Disueltos	ppm	330.00	0.000
Demanda Bioquímica de Oxígeno	ppm O <sub>2</sub>	2.00	0.000
Boro	ppm B	ND	0.000
Sulfatos	ppm SO <sub>4</sub>	142.00	0.000
Sodio	ppm Na	100.00	0.000
Fósforo Total	ppm P	3.00	0.021
Cobre	ppm Cu	0.03	0.000
Nitrógeno Total Kjeldahl	ppm NTK	24.00	0.000
Fenoles	ppm Fenol	0.002	0.000
Zinc	ppm Zn	ND	0.000
Demanda Química de Oxígeno	ppm O <sub>2</sub>	9.50	0.710

Fuente: Resultados análisis DGSNET/MARN

**Tabla 4. 14 Resultados de segundo análisis fisicoquímico de aguas *Punto de muestreo: EL LLANO (ver Anexo 19)***

Procedencia		02 LLANO-A	
Número de referencia		09-131	
Fecha de toma de muestras		10/03/2009	
Fecha de inicio de análisis		11/03/2009	
Fecha de finalización de análisis		16/03/2009	
PARAMETRO	EXPRESADO COMO	RESULTADO	INCERTEZA
pH	Unidades	7.816	No Aplica
Conductividad	μSiemens/cm	689.00	0.000
Turbidez	Unidades FAU	8.50	0.710
Alcalinidad Total	ppm CaCO <sub>3</sub>	210.62	0.000
Dureza Total	ppm CaCO <sub>3</sub>	226.40	0.000
Calcio	ppm Ca	45.01	0.000
Magnesio	ppm Mg	27.69	0.000
Nitrógeno Amoniacal	ppm NH <sub>4</sub>	0.28	0.007
Nitratos	ppm NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	10.85	0.071
Fosfatos	ppm PO <sub>4</sub> <sup>≡</sup>	2.44	0.007
Cloruros	ppm Cl <sup>-</sup>	41.50	0.000
Color Aparente	Unidades Pt-Co	44.00	0.000
Sólidos Totales Disueltos	Ppm	338.00	0.000

**Tabla 4. 15 Resultados de segundo análisis fisicoquímico de aguas *Punto de muestreo: EL LLANO (Continuación)***

Procedencia		02 LLANO-A		
Número de referencia		09-131		
Fecha de toma de muestras		10/03/2009		
Fecha de inicio de análisis		11/03/2009		
Fecha de finalización de análisis		16/03/2009		
PARAMETRO	EXPRESADO COMO	RESULTADO	INCERTEZA	
<b>Demanda Bioquímica de Oxígeno</b>	ppm O <sub>2</sub>	1.00	0.000	
<b>Boro</b>	ppm B	ND	0.000	
<b>Sulfatos</b>	ppm SO <sub>4</sub>	137.00	4.240	
<b>Sodio</b>	ppm Na	102.00	0.000	
<b>Fósforo Total</b>	ppm P	2.96	0.021	
<b>Cobre</b>	ppm Cu	0.03	0.000	
<b>Nitrógeno Total Kjeldahl</b>	ppm NTK	6.38	0.000	
<b>Fenoles</b>	ppm Fenol	0.002	0.000	
<b>Zinc</b>	ppm Zn	ND	0.000	
<b>Demanda Química de Oxígeno</b>	ppm O <sub>2</sub>	7.00	0.000	

Fuente: Resultados análisis DGSNET/MARN

**Tabla 4. 16 Resultados de segundo análisis fisicoquímico de aguas *Punto de Muestreo: RANCHO QUEMADO (ver Anexo 20)***

Procedencia		03 RANCH-A		
Número de referencia		09-132		
Fecha de toma de muestras		10/03/2009		
Fecha de inicio de análisis		11/03/2009		
Fecha de finalización de análisis		16/03/2009		
PARAMETRO	EXPRESADO COMO	RESULTADO	INCERTEZA	
<b>pH</b>	Unidades	7.695	No Aplica	
<b>Conductividad</b>	μSiemens/cm	697.00	0.000	
<b>Turbidez</b>	Unidades FAU	11.00	0.000	
<b>Alcalinidad Total</b>	ppm CaCO <sub>3</sub>	210.20	0.000	
<b>Dureza Total</b>	ppm CaCO <sub>3</sub>	232.80	0.000	
<b>Calcio</b>	ppm Ca	45.81	0.000	
<b>Magnesio</b>	ppm Mg	28.75	0.000	
<b>Nitrógeno Amoniacal</b>	ppm NH <sub>4</sub>	0.22	0.007	
<b>Nitratos</b>	ppm NO <sub>3</sub> -	12.20	0.282	
<b>Fosfatos</b>	ppm PO <sub>4</sub> ≡	2.36	0.007	
<b>Cloruros</b>	ppm Cl-	41.70	0.000	
<b>Color Aparente</b>	Unidades Pt-Co	44.50	0.710	
<b>Sólidos Totales Disueltos</b>	ppm	341.00	0.000	
<b>Demanda Bioquímica de Oxígeno</b>	ppm O <sub>2</sub>	2.00	0.000	
<b>Boro</b>	ppm B	ND	0.000	

**Tabla 4. 17 Resultados de segundo análisis fisicoquímico de aguas *Punto de Muestreo: RANCHO QUEMADO (Continuación)***

Procedencia		03 RANCH-A	
Número de referencia		09-132	
Fecha de toma de muestras		10/03/2009	
Fecha de inicio de análisis		11/03/2009	
Fecha de finalización de análisis		16/03/2009	
PARAMETRO	EXPRESADO COMO	RESULTADO	INCERTEZA
Sulfatos	ppm SO4	128.00	5.650
Sodio	ppm Na	102.00	0.000
Fósforo Total	ppm P	2.86	0.014
Cobre	ppm Cu	0.01	0.000
Nitrógeno Total Kjeldahl	ppm NTK	8.63	0.000
Fenoles	ppm Fenol	0.002	0.000
Zinc	ppm Zn	ND	0.000
Demanda Química de Oxígeno	ppm O2	4.00	0.000

Fuente: Resultados análisis DGSNET/MARN

#### IV.1.2.3 Parámetros de Campo

Los parámetros de campo como su nombre lo indica fueron obtenidos en los puntos de muestreo, obteniéndose los resultados mostrados a continuación.

**Tabla 4. 18 *Parámetros de campo muestreo 2, Punto de muestreo: EL JOCOTE (Ver Anexo 20)***

Procedencia	01 JOCOT-A	Expresado como
<i>Hora</i>	9:30 am	
<i>North Cordenate</i>	13° 54'45"	
<i>West Cordenate</i>	89°16'33.5"	
<i>Temperatura Ambiental</i>	26.20	°C
<i>Temperatura de la muestra</i>	24.30	°C
<i>pH</i>	7.60	Unidades
<i>C.E (uS/cm)</i>	676	μSiemens/cm
<i>Oxígeno disuelto</i>	5.3	Mg/L
<i>% O2</i>	68.5	%

Fuente: Resultados análisis DGSNET/MARN

**Tabla 4. 19 Parámetros de campo muestreo 2, Punto de muestreo: EL LLANO  
(Ver Anexo 21)**

Procedencia	02 LLANO- A	Expresado como
<i>Hora</i>	10:30 am	
<i>North Cordenate</i>	13° 56'02.2"	
<i>West Cordenate</i>	89°16'22.1"	
<i>Temperatura Ambiental</i>	29.40	°C
<i>Temperatura de la muestra</i>	24.70	°C
<i>pH</i>	7.90	Unidades
<i>C.E (uS/cm)</i>	775	μSiemens/cm
<i>Oxígeno disuelto</i>	4.9	Mg/L
<i>% O2</i>	63	%

Fuente: Resultados análisis DGSNET

**Tabla 4. 20 Parámetros de campo muestreo 2, Punto de muestreo: RANCHO  
QUEMADO (ver Anexo 22)**

Procedencia	03 RANCH-A	Expresado como
<i>Hora</i>	11:30 am	
<i>North Cordenate</i>	13° 52'12.1"	
<i>West Cordenate</i>	89°15'58.9"	
<i>Temperatura Ambiental</i>	31.8	°C
<i>Temperatura de la muestra</i>	25.60	°C
<i>pH</i>	7.95	Unidades
<i>C.E (uS/cm)</i>	710	μSiemens/cm
<i>Oxígeno disuelto</i>	4.95	Mg/L
<i>% O2</i>	65.5	%

Fuente: Resultados análisis DGSNET

### IV.1.3 MUESTREO 3

El segundo muestreo fue realizado el 18 de Mayo de 2009, mes considerado como transición a época lluviosa, para el cual se obtuvieron los siguientes resultados, según puntos de muestreo y análisis realizados.

#### IV.1.3.1 Análisis bacteriológico

Los análisis bacteriológicos fueron realizados en el laboratorio de Especialidades Microbiológicas Industriales ESMI S.A. DE C.V. los cuales reportan los siguientes resultados:

**Tabla 4. 21 Resultados de tercer análisis bacteriológico por Punto de muestreo (Ver Anexo 12, 13 y 14)**

Análisis	Sitio de muestreo	Resultado	Expresado como	Método de análisis
Bacterias	01 - JOCOT	50,000	NMP/100ml	APHA-AWWA-WEF-9221E
Coliformes	02 - LLANO	90,000		
Fecales	03 - RANCH	90,000		

Fuente: Resultados análisis ESMI S.A. DE C.V.

#### IV.1.3.2 Análisis Físicoquímicos

Los análisis físicoquímicos fueron realizados en el laboratorio de la Gerencia del Sistema Nacional de Estudios Territoriales SNET, del Ministerio del Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN) los cuales reportan los siguientes resultados:

**Tabla 4. 22 Resultados de tercer análisis físicoquímico de aguas Punto de Muestreo: El JOCOTE (ver Anexo 21)**

Procedencia		01 JOCOT-A	
Número de referencia		09-287	
Fecha de toma de muestras		18/05/09	
Fecha de inicio de análisis		18/05/09	
Fecha de finalización de análisis		12/06/09	
PARAMETRO	EXPRESADO COMO	RESULTADO	INCERTEZA
pH	Unidades	8.05	No Aplica
Conductividad	µSiemens/cm	636.00	No Aplica
Turbidez	Unidades FAU	70.00	0.000
Alcalinidad Total	ppm CaCO <sub>3</sub>	168.49	0.000
Dureza Total	ppm CaCO <sub>3</sub>	240.80	0.000
Calcio	ppm Ca	51.26	0.000
Magnesio	ppm Mg	27.39	0.000
Nitrógeno Amoniacal	ppm NH <sub>4</sub>	0.42	0.007
Nitratos	ppm NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	6.60	0.000
Fosfatos	ppm PO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	1.19	0.014
Cloruros	ppm Cl <sup>-</sup>	31.38	0.000
Color Aparente	Unidades Pt-Co	196.00	2.830
Sólidos Totales Disueltos	Ppm	312.00	0.000
Demanda Bioquímica de Oxígeno	ppm O <sub>2</sub>	4.00	0.000
Boro	ppm B	ND	0.000
Sulfatos	ppm SO <sub>4</sub>	60.00	0.000
Sodio	ppm Na	29.70	0.000
Fósforo Total	ppm P	2.04	0.000

**Tabla 4. 23 Resultados de tercer análisis fisicoquímico de aguas *Punto de Muestreo: El JOCOTE (continuación)***

Procedencia		01 JOCOT-A	
Número de referencia		09-287	
Fecha de toma de muestras		18/05/09	
Fecha de inicio de análisis		18/05/09	
Fecha de finalización de análisis		12/06/09	
PARAMETRO	EXPRESADO COMO	RESULTADO	INCERTEZA
Cobre	ppm Cu	0.01	0.000
Nitrógeno Total Kjeldahl	ppm NTK	6.00	0.000
Fenoles	ppm Fenol	1.00	0.000
Zinc	ppm Zn	0.001	0.000
Demanda Química de Oxígeno	ppm O <sub>2</sub>	14.00	0.000

Fuente: Resultados análisis DGSNET/MARN

**Tabla 4. 24 Resultados de tercer análisis fisicoquímico de aguas *Punto de muestreo: El LLANO (ver Anexo 22)***

Procedencia		02 LLANO-A	
Número de referencia		09-288	
Fecha de toma de muestras		18/05/09	
Fecha de inicio de análisis		18/05/09	
Fecha de finalización de análisis		12/06/09	
PARAMETRO	EXPRESADO COMO	RESULTADO	INCERTEZA
pH	Unidades	7.93	No Aplica
Conductividad	µSiemens/cm	634.00	No Aplica
Turbidez	Unidades FAU	79.00	0.000
Alcalinidad Total	ppm CaCO <sub>3</sub>	176.08	0.000
Dureza Total	ppm CaCO <sub>3</sub>	222.40	0.000
Calcio	ppm Ca	51.26	0.000
Magnesio	ppm Mg	22.93	0.000
Nitrógeno Amoniacal	ppm NH <sub>4</sub>	0.3	0.007
Nitratos	ppm NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	7.25	0.071
Fosfatos	ppm PO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	1.22	0.021
Cloruros	ppm Cl <sup>-</sup>	31.57	0.000
Color Aparente	Unidades Pt-Co	203.50	4.950
Sólidos Totales Disueltos	Ppm	313.00	0.000
Demanda Bioquímica de Oxígeno	ppm O <sub>2</sub>	4.00	0.000
Boro	ppm B	ND	0.000
Sulfatos	ppm SO <sub>4</sub>	55.50	0.707
Sodio	ppm Na	31.00	0.000
Fósforo Total	ppm P	1.89	0.014
Cobre	ppm Cu	0.01	0.000
Nitrógeno Total Kjeldahl	ppm NTK	6.75	0.000
Fenoles	ppm Fenol	1.10	0.000
Zinc	ppm Zn	0.002	0.000
Demanda Química de Oxígeno	ppm O <sub>2</sub>	6.00	0.000

Fuente: Resultados análisis DGSNET

**Tabla 4. 25 Resultados de tercer análisis fisicoquímico de aguas *Punto de Muestreo: RANCHO QUEMADO (ver Anexo 23)***

Procedencia	03 RANCH-A		
Número de referencia	09-289		
Fecha de toma de muestras	18/05/09		
Fecha de inicio de análisis	18/05/09		
Fecha de finalización de análisis	12/06/09		
PARAMETRO	EXPRESADO COMO	RESULTADO	INCERTEZA
pH	Unidades	7.838	No Aplica
Conductividad	µSiemens/cm	640.0	No Aplica
Turbidez	Unidades FAU	81.50	2.120
Alcalinidad Total	ppm CaCO <sub>3</sub>	170.18	0.000
Dureza Total	ppm CaCO <sub>3</sub>	236.40	0.000
Calcio	ppm Ca	52.54	0.000
Magnesio	ppm Mg	25.55	0.000
Nitrógeno Amoniacal	ppm NH <sub>4</sub>	0.27	0.000
Nitratos	ppm NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	6.60	0.140
Fosfatos	ppm PO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	1.14	0.000
Cloruros	ppm Cl <sup>-</sup>	30.78	0.000
Color Aparente	Unidades Pt-Co	216.00	0.000
Sólidos Totales Disueltos	Ppm	316.00	0.000
Demanda Bioquímica de Oxígeno	ppm O <sub>2</sub>	3.00	0.000
Boro	ppm B	ND	0.000
Sulfatos	ppm SO <sub>4</sub>	64.00	1.414
Sodio	ppm Na	33.20	0.000
Fósforo Total	ppm P	1.90	0.007
Cobre	ppm Cu	0.01	0.000
Nitrógeno Total Kjeldahl	ppm NTK	4.13	0.000
Fenoles	ppm Fenol	1.20	0.000
Zinc	ppm Zn	0.001	0.000
Demanda Química de Oxígeno	ppm O <sub>2</sub>	6.00	0.000

Fuente: Resultados análisis DGSNET/MARN

#### IV.1.3.3 Parámetros de Campo

Los parámetros de campo como su nombre lo indica fueron obtenidos en los puntos de muestreo, obteniéndose los resultados mostrados a continuación.

**Tabla 4. 26 Parámetros de campo muestreo 3, Punto de muestreo: EL JOCOTE  
(Ver Anexo 23)**

Procedencia	01 JOCOT-A	Expresado como
<i>Hora</i>	10:05 am	
<i>North Cordenate</i>	13.91°	
<i>West Cordenate</i>	-89.28°	
<i>Temperatura Ambiental</i>	29.6	°C
<i>Temperatura de la muestra</i>	29.0	°C
<i>pH</i>	7.72	Unidades
<i>C.E (Us/cm)</i>	765	μSiemens/cm
<i>Oxigeno disuelto</i>	5.50	Mg/L
<i>% O2</i>	67.50	%

Fuente: Resultados análisis DGSNET/MARN

**Tabla 4. 27 Parámetros de campo muestreo 3, Punto de muestreo: EL LLANO  
(Ver Anexo 24)**

Procedencia	02 LLANO- A	Expresado como
<i>Hora</i>	10:55 am	
<i>North Cordenate</i>	13.93°	
<i>West Cordenate</i>	-89.27°	
<i>Temperatura Ambiental</i>	30.3	°C
<i>Temperatura de la muestra</i>	29.6	°C
<i>pH</i>	7.56	Unidades
<i>C.E (uS/cm)</i>	785	μSiemens/cm
<i>Oxigeno disuelto</i>	4.50	Mg/L
<i>% O2</i>	60.00	%

Fuente: Resultados análisis DGSNET/MARN

**Tabla 4. 28 Parámetros de campo muestreo 3, Punto de muestreo: RANCHO  
QUEMADO (Ver Anexo 25)**

Procedencia	03 RANCH-A	Expresado como
<i>Hora</i>	11:50 am	
<i>North Cordenate</i>	13.95°	
<i>West Cordenate</i>	-89.27°	
<i>Temperatura Ambiental</i>	33.7	°C
<i>Temperatura de la muestra</i>	30.1	°C
<i>pH</i>	7.56	Unidades
<i>C.E (uS/cm)</i>	742	μSiemens/cm
<i>Oxigeno disuelto</i>	4.70	Mg/L
<i>% O2</i>	63.00	%

Fuente: Resultados análisis DGSNET/MARN

## IV.2 ESTUDIO DE DISPERSION UTILIZANDO EL TRAZADOR RODAMINA WT

Como se menciona anteriormente se realizaron tres estudios utilizando la técnica de trazadores, para determinar posteriormente el coeficiente de dispersión longitudinal del Río Sucio, en estos se obtuvieron datos de concentración de Rodamina WT, respecto al tiempo, los cuales se han clasificado según muestreo y se detallan a continuación.

### IV.2.1 ESTUDIO PRE-EXPERIMENTAL

Para determinar la cantidad de trazador a utilizar se realizó una prueba pre-experimental, en la cual se inyectaron 1 ml de Rodamina WT, y se realizaron mediciones a 100 m aguas abajo del punto de inyección, a partir de los resultados de esta prueba se obtuvo que para la distancia de estudio, la cual es de 5.971 Km, se inyectaría la cantidad de 500 ml.

De la prueba pre-experimental se obtuvieron los siguientes datos:

**Tabla 4. 29 Datos del punto de inyección, estudio pre-experimental**

Punto de Inyección	EL JOCOTE
Hora de inyección	1:35 p.m.
Hora de finalización del muestreo	1:41 p.m.

**Tabla 4. 30 Datos de concentración, 100m aguas abajo del punto de inyección, estudio pre-experimental**

Punto de muestreo			100m. del JOCOTE
Descripción			Punto se encuentra a 100 m. del JOCOTE, donde se inyectó
Fecha			27/enero /2009
Hora de inicio			1:35 p.m.
Hora de finalización			1:41 p.m.
Tiempo Total			350 seg.= 6 min. 23 seg.
Nº	Tiempo (seg)	T. acumulado (seg)	Concentración 1
1	20	20	0.322
2	20	40	-0.411
3	20	60	0.352

**Tabla 4. 31 Datos de concentración, 100m aguas abajo del punto de inyección, estudio pre-experimental (Continuación)**

Punto de muestreo			100m. del JOCOTE
Descripción			Punto se encuentra a 100 m. del JOCOTE, donde se inyecta
Fecha			27/enero /2009
Hora de inicio			1:35 p.m.
Hora de finalización			1:41 p.m.
Tiempo Total			350 seg.= 6 min. 23 seg.
Nº	Tiempo (seg)	T. acumulado (seg)	Concentración 1
4	10	70	1.01
5	10	80	-0.8
6	10	90	-0.811
7	10	100	-0.027
8	10	110	-0.013
9	10	120	-0.284
10	10	130	-0.213
11	10	140	0.067
12	10	150	0.155
13	10	160	0.718
14	10	170	0.011
15	10	180	0.594
16	10	190	0.594
17	10	200	-0.464
18	10	210	0.175
19	10	220	0.062
20	10	230	0.175
21	10	240	-0.605
22	10	250	0.398
23	10	260	-0.356
24	10	270	-0.778
25	10	280	-0.213
26	10	290	0.374
27	10	300	0.582
28	10	310	-0.278
29	10	320	-0.613
30	10	330	-0.205
31	10	340	-0.695
32	10	350	0.223

## IV.2.2 ESTUDIO EXPERIMENTAL

Para la inyección de 500ml de Rodamina WT, se obtuvieron los siguientes datos, para cada punto de muestreo:

**Tabla 4. 32 Datos del punto de inyección estudio experimental**

Punto de Inyección	PTO DE INYECCION
Descripción	Ubicado a 1.014 Km. del JOCOTE
Hora de inyección	12:09 p.m.
Hora de finalización del muestreo	12:39:50 p.m.

**Tabla 4. 33 Datos de concentración, primer punto de recolección, estudio experimental**

Punto de muestreo			PTO DE RECOLECCION 1	
Descripción			Punto se encuentra a 1.467 Km. del JOCOTE y a 453 m del punto de inyección	
Fecha			28/enero /2009	
Hora de inicio			12:19:10 p.m.	
Hora de finalización			12:26:50 p.m.	
Tiempo Total			460 seg.= 7 min. 40 seg.	
Nº	Tiempo (seg)	T. acumulado (seg)	Concentración 1	Concentración 2
1	10	10	-0.772	-0.369
2	10	20	-0.833	-0.269
3	10	30	-0.472	0.127
4	10	40	-0.629	-0.684
5	10	50	0.489	0.347
6	10	60	1.475	1.808
7	10	70	1.961	4.091
8	10	80	4.028	5.083
9	10	90	5.327	6.613
10	10	100	5.016	6.226
11	10	110	8.39	9.556
12	10	120	7.328	8.93
13	10	130	9.191	10.77
14	10	140	9.325	10.59
15	10	150	9.221	10.23
16	10	160	8.797	10.75
17	10	170	9.622	10.86
18	10	180	8.476	6.462
19	10	190	7.589	9.375
20	10	200	7.301	8.405
21	10	210	7.354	8.727
22	10	220	6.724	7.642
23	10	230	5.564	6.132

**Tabla 4. 34 Datos de concentración, primer punto de recolección, estudio experimental (Continuación)**

Punto de muestreo			PTO DE RECOLECCION 1	
Descripción			Punto se encuentra a 1.467 Km. del JOCOTE y a 453 m del punto de inyección	
Fecha			28/enero /2009	
Hora de inicio			12:19:10 p.m.	
Hora de finalización			12:26:50 p.m.	
Tiempo Total			460 seg.= 7 min. 40 seg.	
Nº	Tiempo (seg)	T. acumulado (seg)	Concentración 1	Concentración 2
24	10	240	5.308	5.87
25	10	250	4.952	5.47
26	10	260	4.19	4.992
27	10	270	4.386	5.244
28	10	280	3.21	4.443
29	10	290	3.264	3.725
30	10	300	3.083	2.87
31	10	310	3.782	4.168
32	10	320	5.446	5.847
33	10	330	5.963	5.875
34	10	340	3.759	3.94
35	10	350	3.098	3.038
36	10	360	2.19	3.234
37	10	370	3.491	2.565
38	10	380	1.936	1.896
39	10	390	2.598	1.835
40	10	400	1.609	1.547
41	10	410	1.227	1.499
42	10	420	1.004	1.105
43	10	430	0.824	1.048
44	10	440	0.748	0.282
45	10	450	0.906	0.282
46	10	460	0.498	1.168
47	10	470	0.61	0.267
48	10	480	1.075	1.609
49	10	490	0.602	0.525
50	10	500	0.672	0.426

Tabla 4. 35 Datos de concentración, segundo punto de recolección, estudio experimental

Punto de muestreo			PTO DE RECOLECCION 2	
Descripción			Punto se encuentra a 1.821 Km. del JOCOTE y a 807 m del punto de inyección	
Fecha			28/enero /2009	
Hora de inicio			12:31:30 p.m.	
Hora de finalización			12:39:50 p.m.	
Tiempo total			500seg = 8min 20seg	
Nº	Tiempo (seg)	T. acumulado (seg)	Concentración 1	Concentración 2
1	10	10	0.701	0.763
2	10	20	1.02	2.323
3	10	30	1.831	1.461
4	10	40	2.964	2.137
5	10	50	2.796	2.515
6	10	60	4.078	4.72
7	10	70	4.397	4.385
8	10	80	4.952	4.591
9	10	90	4.605	4.849
10	10	100	4.701	5.105
11	10	110	5.633	5.681
12	10	120	5.439	5.379
13	10	130	5.635	5.259
14	10	140	4.871	5.126
15	10	150	5.203	5.69
16	10	160	6.028	6.131
17	10	170	5.675	5.749
18	10	180	4.769	4.976
19	10	190	5.039	4.808
20	10	200	5.602	5.55
21	10	210	4.042	3.774
22	10	220	3.977	5.149
23	10	230	4.129	4.037
24	10	240	4.363	4.366
25	10	250	4.289	3.961
26	10	260	3.832	3.675
27	10	270	3.844	3.792
28	10	280	3.73	3.268
29	10	290	3.865	3.583
30	10	300	3.23	3.053
31	10	310	3.52	2.804
32	10	320	2.841	2.527
33	10	330	2.618	2.798
34	10	340	3.18	3.109
35	10	350	2.799	2.878
36	10	360	3.168	2.736
37	10	370	2.998	2.28

**Tabla 4. 36 Datos de concentración, segundo punto de recolección, estudio experimental (Continuación)**

Punto de muestreo			PTO DE RECOLECCION 2	
Descripción			Punto se encuentra a 1.821 Km. del JOCOTE y a 807 m del punto de inyección	
Fecha			28/enero /2009	
Hora de inicio			12:31:30 p.m.	
Hora de finalización			12:39:50 p.m.	
Tiempo total			500seg = 8min 20seg	
Nº	Tiempo (seg)	T. acumulado (seg)	Concentración 1	Concentración 2
38	10	380	3.119	2.585
39	10	390	2.667	2.573
40	10	400	3.571	3.129
41	10	410	2.161	1.805
42	10	420	2.328	2.148
43	10	430	2.355	2.54
44	10	440	1.599	1.25
45	10	450	2.288	1.49
46	10	460	1.644	1.441
47	10	470	2.107	1.799
48	10	480	0.932	0.665
49	10	490	1.779	1.827
50	10	500	1.081	1.218

#### IV.2.3 ESTUDIO DE DISPERSION #1

Para la inyección de 500ml de Rodamina WT, se obtuvieron los siguientes datos, para cada punto de muestreo:

**Tabla 4. 37 Datos del punto de inyección, estudio de dispersión # 1**

Punto de Inyección	PTO DE RECOLECCION 2
Descripción	Ubicado a 1.821 Km. del JOCOTE
Hora de inyección	12:03 M
Hora de finalización del muestreo	3:08P.M

Tabla 4. 38 Datos de concentración, punto de recolección 1, estudio de dispersión # 1

Punto de muestreo			LLANO	
Descripción			Punto se encuentra a 2.932 Km. del JOCOTE y a 1,111 m del punto de inyección	
Fecha			11/Febrero/2009	
Hora de inicio			12:35 M	
Hora de finalización			12:53 M	
Tiempo total			1060 seg=18 min 6 seg	
Nº	Tiempo (seg)	T. acumulado (seg)	Concentración 1	Concentración 2
1	15	15	8.324	8.259
2	15	30	10.41	10.4
3	15	45	12.93	12.91
4	15	60	14.78	14.76
5	15	75	19.57	19.52
6	15	90	21.72	21.63
7	15	105	24.69	24.69
8	15	120	27.69	27.67
9	15	135	30.99	30.96
10	15	150	30.58	30.56
11	15	165	31.42	31.39
12	15	180	33.16	33.08
13	15	195	33.89	33.82
14	15	210	35.15	35.09
15	15	225	35.13	35.11
16	15	240	35.68	35.59
17	15	255	36.09	36.08
18	15	270	35.57	35.43
19	15	285	35.06	34.93
20	15	300	33.1	33.01
21	20	320	31.67	31.67
22	20	340	30.74	30.65
23	20	360	29.95	29.88
24	20	380	27.89	27.9
25	20	400	27.58	27.58
26	20	420	27.69	27.59
27	20	440	25.67	25.63
28	20	460	24.78	24.75
29	20	480	23.78	23.74
30	20	500	22.95	22.91
31	20	520	21.36	21.31
32	20	540	20.65	20.55
33	20	560	20.19	20.16
34	20	580	18.84	18.81
35	20	600	18.44	18.28
36	20	620	17.28	17.27
37	20	640	16.86	16.84

**Tabla 4. 39 Datos de concentración, punto de recolección 1, estudio de dispersión # 1 (Continuación)**

Punto de muestreo			LLANO	
Descripción			Punto se encuentra a 2.932 Km. del JOCOTE y a 1,111 m del punto de inyección	
Fecha			11/Febrero/2009	
Hora de inicio			12:35 M	
Hora de finalización			12:53 M	
Tiempo total			1060 seg=18 min 6 seg	
Nº	Tiempo (seg)	T. acumulado (seg)	Concentración 1	Concentración 2
38	20	660	14.91	14.85
39	20	680	15.02	15.03
40	20	700	13.85	13.85
41	20	720	13.58	13.59
42	20	740	12.6	12.61
43	20	760	11.99	11.94
44	20	780	12.71	12.75
45	20	800	10.93	10.91
46	20	820	10.25	10.27
47	60	880	9.164	9.234
48	60	940	7.949	7.909
49	60	1000	6.514	6.505
50	60	1060	5.839	5.818

**Tabla 4. 40 Datos de concentración, punto de recolección 2, estudio de dispersión # 1**

Punto de muestreo			RANCHO QUEMADO	
Descripción			Punto se encuentra a 5.971 Km. del JOCOTE y a 4,150 m del punto de inyección	
Fecha			11/Febrero/2009	
Hora de inicio			2:27 PM	
Hora de finalización			3:08 PM	
Tiempo total			2440seg=41 min 6 seg	
Nº	Tiempo (seg)	T. acumulado (seg)	Concentración 1	Concentración 2
1	40	40	0.199	0.26
2	40	80	0.01	0.068
3	40	120	0.553	0.584
4	40	160	0.951	0.988
5	40	200	1.125	1.122
6	40	240	1.382	1.274
7	20	260	1.044	1.027
8	20	280	2.004	2.001
9	20	300	2.465	2.467
10	20	320	3.206	3.208
11	20	340	2.083	2.038
12	20	360	2.711	2.772

**Tabla 4. 41 Datos de concentración, punto de recolección 2, estudio de dispersión # 1 (Continuación)**

Punto de muestreo			RANCHO QUEMADO	
Descripción			Punto se encuentra a 5.971 Km. del JOCOTE y a 4,150 m del punto de inyección	
Fecha			11/Febrero/2009	
Hora de inicio			2:27 PM	
Hora de finalización			3:08 PM	
Tiempo total			2440seg=41 min 6 seg	
Nº	Tiempo (seg)	T. acumulado (seg)	Concentración 1	Concentración 2
13	20	380	3.201	3.121
14	30	410	2.945	3.01
15	30	440	3.334	3.362
16	30	470	4.108	4.063
17	30	500	3.057	3.084
18	30	530	4.019	3.923
19	30	560	4.048	4.026
20	30	590	4.138	4.101
21	30	620	4.306	4.317
22	30	650	4.708	4.708
23	30	680	5.877	5.791
24	30	710	6.078	6.09
25	30	740	5.652	5.751
26	30	770	6.628	6.585
27	30	800	5.173	5.235
28	30	830	6.277	6.31
29	30	860	6.341	6.354
30	40	900	6.535	6.497
31	40	940	6.483	6.412
32	40	980	6.963	6.946
33	40	1020	7.121	7.103
34	40	1060	6.83	6.811
35	40	1100	6.417	6.377
36	40	1140	6.561	6.557
37	40	1180	7.209	7.145
38	60	1240	6.614	6.586
39	60	1300	6.99	6.947
40	60	1360	7.933	7.914
41	120	1480	8.628	8.553
42	120	1600	8.124	8.115
43	120	1720	7.662	7.662
44	120	1840	7.354	7.38
45	120	1960	6.404	6.3
46	120	2080	5.961	5.966
47	120	2200	5.509	5.491
48	120	2320	6.871	6.771
49	120	2440	5.473	5.454

#### IV.2.4 ESTUDIO DE DISPERSIÓN #2

Para la inyección de 500ml de Rodamina WT, se obtuvieron los siguientes datos, para cada punto de muestreo:

Tabla 4. 42 Datos del punto de inyección, estudio de dispersión #2

Punto de Inyección	PTO DE RECOLECCION 2
Descripción	Ubicado a 1.821 Km. del JOCOTE
Hora de inyección	9:13 A.M
Hora de finalización del muestreo	1:03 P.M

Tabla 4. 43 Datos de concentración, punto de recolección 1, estudio de dispersión # 2

Punto de muestreo			LLANO	
Descripción			Punto se encuentra a 2.932 Km. del JOCOTE y a 1,111 m del punto de inyección	
Fecha			09/Marzo/2009	
Hora de inicio			9:43 A.M	
Hora de finalización			10:03 A.M	
Tiempo total			1430 seg=24 min 23 seg	
Nº	Tiempo (seg)	T. acumulado (seg)	Concentración 1	Concentración 2
1	0	0	-0.114	-0.16
2	40	40	0.417	0.405
3	20	60	1.535	1.567
4	20	80	2.518	2.512
5	20	100	4.372	4.4
6	20	120	7.381	7.361
7	20	140	7.018	7.082
8	20	160	12.02	11.95
9	20	180	16.56	16.46
10	20	200	19.2	19.24
11	20	220	22.61	22.61
12	20	240	27.28	27.28
13	20	260	31.03	31.11
14	20	280	30.45	30.78
15	20	300	34.61	34.56
16	20	320	35.8	35.74
17	20	340	34.97	34.88
18	20	360	36.16	36.03
19	20	380	30.45	35.39
20	20	400	35.63	35.44
21	20	420	34.3	34.25
22	20	440	33.32	33.27
23	20	460	33.09	33

**Tabla 4. 44 Datos de concentración, punto de recolección 1, estudio de dispersión # 2 (Continuación)**

Punto de muestreo			LLANO	
Descripción			Punto se encuentra a 2.932 Km. del JOCOTE y a 1,111 m del punto de inyección	
Fecha			09/Marzo/2009	
Hora de inicio			9:43 A.M	
Hora de finalización			10:03 A.M	
Tiempo total			1430 seg=24 min 23 seg	
Nº	Tiempo (seg)	T. acumulado (seg)	Concentración 1	Concentración 2
24	20	480	32.05	32.05
25	20	500	32.24	32.11
26	20	520	30.56	30.51
27	20	540	29.27	29.27
28	20	560	26.9	26.99
29	20	580	25.94	25.88
30	20	600	24.65	24.61
31	20	620	23.8	23.86
32	20	640	22.99	22.93
33	15	655	21.8	21.78
34	15	670	21.66	21.62
35	15	685	20.91	20.88
36	15	700	21.21	21.18
37	15	715	19.69	19.57
38	15	730	18.42	18.41
39	15	745	17.27	17.29
40	15	760	17.67	17.67
41	15	775	16.88	16.88
42	15	790	15.21	15.17
43	15	805	14.72	14.74
44	15	820	15.24	15.13
45	15	835	14.36	14.31
46	15	850	13.34	13.4
47	15	865	13.15	13.08
48	15	880	12.11	12.15
49	15	895	11.7	11.7
50	15	910	11.65	11.6
51	15	925	11.7	11.66
52	15	940	11.44	11.43
53	10	950	10.42	10.4
54	10	960	10.99	10.94
55	10	970	9.663	9.678
56	10	980	9.291	9.301
57	10	990	8.886	8.896
58	10	1000	8.269	8.275
59	10	1010	8.55	8.565
60	10	1020	8.951	8.916

**Tabla 4. 45 Datos de concentración, punto de recolección 1, estudio de dispersión # 2  
(Continuación)**

Punto de muestreo			LLANO	
Descripción			Punto se encuentra a 2.932 Km. del JOCOTE y a 1,111 m del punto de inyección	
Fecha			09/Marzo/2009	
Hora de inicio			9:43 A.M	
Hora de finalización			10:03 A.M	
Tiempo total			1430 seg=24 min 23 seg	
Nº	Tiempo (seg)	T. acumulado (seg)	Concentración 1	Concentración 2
61	10	1030	8.188	8.185
62	10	1040	8.018	8.003
63	10	1050	7.32	7.32
64	10	1060	7.616	7.663
65	10	1070	7.634	7.613
66	10	1080	6.946	6.883
67	10	1090	7.646	7.645
68	10	1100	6.641	6.627
69	10	1110	6.974	6.924
70	10	1120	6.691	6.7
71	10	1130	6.479	6.443
72	10	1140	6.385	6.391
73	10	1150	7.387	7.381
74	10	1160	6.023	6.078
75	10	1170	6.012	5.962
76	10	1180	6.607	6.612
77	10	1190	5.505	5.53
78	10	1200	5.604	5.62
79	10	1210	5.832	5.915
80	10	1220	5.534	5.517
81	10	1230	5.174	5.122
82	10	1240	5.19	5.192
83	10	1250	4.876	4.926
84	10	1260	4.991	4.993
85	10	1270	4.759	4.724
86	10	1280	4.571	4.552
87	10	1290	5.091	5.167
88	10	1300	4.357	4.379
89	10	1310	4.106	4.137
90	10	1320	3.897	3.866
91	10	1330	3.894	3.877
92	10	1340	3.661	3.594
93	10	1350	3.805	3.771
94	10	1360	4.611	4.595
95	10	1370	4.276	4.247
96	10	1380	3.024	3.016

**Tabla 4. 46 Datos de concentración, punto de recolección 1, estudio de dispersión # 2 (Continuación)**

Punto de muestreo			LLANO	
Descripción			Punto se encuentra a 2.932 Km. del JOCOTE y a 1,111 m del punto de inyección	
Fecha			09/Marzo/2009	
Hora de inicio			9:43 A.M	
Hora de finalización			10:03 A.M	
Tiempo total			1430 seg=24 min 23 seg	
Nº	Tiempo (seg)	T. acumulado (seg)	Concentración 1	Concentración 2
97	10	1390	4.159	4.092
98	10	1400	3.459	3.424
99	10	1410	2.932	2.937
100	10	1420	3.077	3.112
101	10	1430	2.624	2.635

**Tabla 4. 47 Datos de concentración, punto de recolección 2, estudio de dispersión # 2**

Punto de muestreo			RANCHO QUEMADO	
Descripción			Punto se encuentra a 5.971 Km. del JOCOTE y a 4,150 m del punto de inyección	
Fecha			09/Marzo/2009	
Hora de inicio			12:02 m	
Hora de finalización			1:03 p.m	
Tiempo total			3640 seg=1 hora 1 min 6 seg	
Nº	Tiempo (seg)	T. acumulado (seg)	Concentración 1	Concentración 2
1	10	10	4.975	5.241
2	10	20	3.641	3.894
3	10	30	3.933	4.019
4	10	40	4.096	4.137
5	10	50	4.531	4.786
6	10	60	4.725	4.832
7	10	70	5.212	5.22
8	10	80	4.415	4.423
9	10	90	4.47	4.497
10	10	100	4.443	4.439
11	20	120	3.689	3.733
12	20	140	3.524	3.61
13	20	160	4.132	4.198
14	20	180	4.79	4.788
15	20	200	4.515	4.692
16	20	220	4.643	4.673
17	20	240	4.104	4.182
18	20	260	4.164	4.189
19	20	280	5.055	5.056
20	20	300	4.729	4.855

**Tabla 4. 48 Datos de concentración, punto de recolección 2, estudio de dispersión # 2 (Continuación)**

Punto de muestreo			RANCHO QUEMADO	
Descripción			Punto se encuentra a 5.971 Km. del JOCOTE y a 4,150 m del punto de inyección	
Fecha			09/Marzo/2009	
Hora de inicio			12:02 m	
Hora de finalización			1:03 p.m	
Tiempo total			3640 seg=1 hora 1 min 6 seg	
Nº	Tiempo (seg)	T. acumulado (seg)	Concentración 1	Concentración 2
21	20	320	4.403	4.472
22	20	340	4.046	4.144
23	20	360	5.135	5.114
24	20	380	4.742	4.887
25	20	400	5.152	5.319
26	20	420	5.495	5.598
27	20	440	5.08	5.171
28	20	460	5.025	5.095
29	20	480	4.821	4.899
30	20	500	4.586	4.528
31	20	520	4.615	4.528
32	20	540	4.719	4.718
33	20	560	4.777	4.704
34	20	580	4.571	4.585
35	20	600	4.592	4.528
36	20	620	4.725	4.681
37	20	640	4.881	4.922
38	20	660	5.117	5.145
39	20	680	5.053	5.012
40	20	700	5.248	5.257
41	20	720	5.052	5.062
42	20	740	5.077	5.081
43	20	760	4.572	4.63
44	20	780	4.881	4.833
45	20	800	5.548	5.543
46	20	820	4.979	4.989
47	20	840	5.04	5.064
48	20	860	4.716	4.674
49	20	880	4.536	4.499
50	20	900	5.046	4.946
51	20	920	4.428	4.381
52	20	940	4.471	4.421
53	20	960	4.421	4.338
54	20	980	5.067	5.078
55	20	1000	4.921	4.796
56	20	1020	5.011	4.88

**Tabla 4. 49 Datos de concentración, punto de recolección 2, estudio de dispersión # 2 (Continuación)**

Punto de muestreo			RANCHO QUEMADO	
Descripción			Punto se encuentra a 5.971 Km. del JOCOTE y a 4,150 m del punto de inyección	
Fecha			09/Marzo/2009	
Hora de inicio			12:02 m	
Hora de finalización			1:03 p.m	
Tiempo total			3640 seg=1 hora 1 min 6 seg	
Nº	Tiempo (seg)	T. acumulado (seg)	Concentración 1	Concentración 2
57	20	1040	4.839	4.77
58	20	1060	4.698	4.681
59	20	1080	6.436	6.234
60	20	1100	6.509	6.509
61	20	1120	6.592	6.566
62	20	1140	6.167	6.17
63	20	1160	6.455	6.416
64	20	1180	6.274	6.324
65	20	1200	7.026	7.01
66	20	1220	6.481	6.429
67	20	1240	7.256	7.233
68	20	1260	6.336	6.304
69	20	1280	6.344	6.336
70	20	1300	6.512	6.448
71	20	1320	6.553	6.571
72	20	1340	6.157	6.183
73	20	1360	7.105	7.168
74	20	1380	6.266	6.318
75	20	1400	6.468	6.516
76	20	1420	6.915	6.905
77	20	1440	6.762	6.741
78	20	1460	7.991	7.909
79	20	1480	7.23	7.239
80	20	1500	6.834	6.793
81	20	1520	6.507	6.488
82	20	1540	6.463	6.384
83	20	1560	6.26	6.283
84	20	1580	6.295	6.307
85	20	1600	6.178	6.256
86	30	1630	5.913	5.929
87	30	1660	5.027	5.021
88	30	1690	5.504	5.484
89	30	1720	5.528	5.506
90	30	1750	6.549	6.488
91	30	1780	5.992	6.003
92	30	1810	5.234	5.234

**Tabla 4. 50 Datos de concentración, punto de recolección 2, estudio de dispersión # 2 (Continuación)**

Punto de muestreo			RANCHO QUEMADO	
Descripción			Punto se encuentra a 5.971 Km. del JOCOTE y a 4,150 m del punto de inyección	
Fecha			09/Marzo/2009	
Hora de inicio			12:02 m	
Hora de finalización			1:03 p.m	
Tiempo total			3640 seg=1 hora 1 min 6 seg	
Nº	Tiempo (seg)	T. acumulado (seg)	Concentración 1	Concentración 2
93	30	1840	5.728	5.729
94	30	1870	5.145	5.072
95	30	1900	5.8	5.772
96	30	1930	5.438	5.458
97	30	1960	5.748	5.763
98	30	1990	5.977	6.004
99	30	2020	5.309	5.305
100	30	2050	5.492	5.491
101	30	2080	5.356	5.367
102	30	2110	3.758	3.76
103	30	2140	4.896	4.917
104	30	2170	4.292	4.254
105	30	2200	4.181	4.142
106	30	2230	4.511	4.533
107	30	2260	3.886	3.867
108	30	2290	3.903	3.884
109	30	2320	3.912	3.918
110	30	2350	3.261	3.242
111	30	2380	3.903	3.876
112	30	2410	4.115	4.095
113	30	2440	3.834	3.829
114	30	2470	4.754	4.772
115	30	2500	3.816	3.866
116	30	2530	3.382	3.311
117	30	2560	3.794	3.817
118	30	2590	3.175	3.165
119	30	2620	2.608	2.568
120	30	2650	2.762	2.781
121	30	2680	3.288	3.258
122	30	2710	2.764	2.786
123	30	2740	2.541	2.544
124	30	2770	3.147	3.056
125	30	2800	2.922	2.904
126	30	2830	2.391	2.381
127	30	2860	2.889	2.896
128	30	2890	2.28	2.305

**Tabla 4. 51 Datos de concentración, punto de recolección 2, estudio de dispersión # 2  
(Continuación)**

Punto de muestreo			RANCHO QUEMADO	
Descripción			Punto se encuentra a 5.971 Km. del JOCOTE y a 4,150 m del punto de inyección	
Fecha			09/Marzo/2009	
Hora de inicio			12:02 m	
Hora de finalización			1:03 p.m	
Tiempo total			3640 seg=1 hora 1 min 6 seg	
Nº	Tiempo (seg)	T. acumulado (seg)	Concentración 1	Concentración 2
129	30	2920	2.591	2.541
130	30	2950	2.4	2.415
131	30	2980	2.475	2.465
132	30	3010	2.364	2.315
133	30	3040	2.485	2.539
134	30	3070	1.89	1.846
135	30	3100	1.613	1.575
136	30	3130	2.31	2.299
137	30	3160	2.392	2.367
138	30	3190	2.039	2.047
139	30	3220	2.038	2.046
140	30	3250	1.883	1.85
141	30	3280	1.34	1.328
142	30	3310	2.537	2.511
143	30	3340	1.724	1.74
144	30	3370	1.439	1.435
145	30	3400	1.188	1.218
146	30	3430	2.064	2.022
147	30	3460	1.541	1.544
148	30	3490	1.773	1.77
149	30	3520	0.765	0.777
150	30	3550	1.151	1.202
151	30	3580	2.126	2.126
152	30	3610	0.711	0.763
153	30	3640	0.987	1.036

## CAPITULO V. RESULTADO Y ANALISIS DE DATOS

### V.1 PARAMETROS FISICOQUIMICOS Y BACTERIOLOGICOS

En las Tablas 5.1, 5.2, 5.3 se resume el valor de cada parámetro evaluado por muestreo con sus respectivos resultados estadísticos: mediana, valor mínimo, valor máximo, desviación estándar y media.

**Tabla 5. 1 Resultados estadísticos de parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos evaluados para el muestreo 01**

MUESTREO 1									
Fecha: 27/01/09					Datos estadísticos				
Parámetro	Unidades	01 JOCOT	02 LLANO	03 RANCH	Mediana	Máximo	Mínimo	Desviación Estándar	Media
pH	Unidades	7.60	7.58	7.59	7.58	7.60	7.58	0.01	7.59
Oxígeno Disuelto	ppm O <sub>2</sub>	5.70	6.78	6.27	6.27	6.78	5.70	0.54	6.25
Conductividad	μSiemens/cm	667.00	668.00	657.00	667.00	668.00	657.00	6.08	664.00
Turbidez	Unidades FAU	17.00	16.00	14.00	16.00	17.00	14.00	1.53	15.67
Alcalinidad Total	ppm CaCO <sub>3</sub>	208.93	216.09	213.57	213.57	216.09	208.93	3.63	212.86
Dureza Total	ppm CaCO <sub>3</sub>	219.20	219.20	221.20	219.20	221.20	219.20	1.15	219.87
Calcio	ppm Ca	41.97	43.25	43.89	43.25	43.89	41.97	0.98	43.04
Magnesio	ppm Mg	27.78	27.01	27.10	27.10	27.78	27.01	0.42	27.30
Nitrógeno Amoniacal	ppm NH <sub>4</sub>	0.31	0.25	0.23	0.25	0.31	0.23	0.04	0.26
Nitratos	ppm NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	13.05	13.20	10.90	13.05	13.20	10.90	1.29	12.38
Fosfatos	ppm PO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	1.91	1.94	1.92	1.92	1.94	1.91	0.02	1.92
Cloruros	ppm Cl <sup>-</sup>	38.92	37.93	36.54	37.93	38.92	36.54	1.20	37.80
Color Aparente	Unidades Pt-Co	60.00	55.00	51.00	55.00	60.00	51.00	4.51	55.33
Sólidos Totales Disueltos	Ppm	331.00	327.00	322.00	327.00	331.00	322.00	4.51	326.67
DBO <sub>5</sub>	ppm O <sub>2</sub>	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	0.00	4.00
Boro	ppm B	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Sulfatos	ppm SO <sub>4</sub>	143.00	132.00	129.00	132.00	143.00	129.00	7.37	134.67
Sodio	ppm Na	44.10	42.40	45.40	44.10	45.40	42.40	1.50	43.97
Fósforo Total	ppm P	2.74	3.83	2.36	2.74	3.83	2.36	0.76	2.98

**Tabla 5. 1 Resultados estadísticos de parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos evaluados para el muestreo 01 (Continuación)**

MUESTREO 1									
Fecha: 27/01/09					Datos estadísticos				
Parámetro	Unidades	01 JOCOT	02 LLANO	03 RANCH	Mediana	Máximo	Mínimo	Desviación Estándar	Media
Cobre	ppm Cu	0.03	0.03	0.02	0.03	0.03	0.02	0.01	0.03
Nitrógeno Total Kjeldahl	ppm NTK	7.88	1.88	3.00	3.00	7.88	1.88	3.19	4.25
Fenoles	ppm Fenol	0.04	0.02	0.04	0.04	0.04	0.02	0.01	0.03
Zinc	ppm Zn	0.01	0.02	0.06	0.02	0.06	0.01	0.03	0.03
Demanda Química de Oxígeno	ppm O <sub>2</sub>	13.00	14.00	10.50	13.00	14.00	10.50	1.80	12.50
Temperatura Ambiental	°C	26.20	29.40	31.80	29.40	31.80	26.20	2.81	29.13
Temperatura de la muestra	°C	24.30	24.70	25.60	24.70	25.60	24.30	0.67	24.87
Coliformes Fecales	NMP/100ml	30000.0	13000.0	23000.0	23000.0	30000.0	13000.0	8544.0	22000.0
dT <sub>C</sub>	°C	1.90	0.40	0.90	0.90	1.90	0.40	0.76	1.07
PSatOD <sub>p</sub>	%	70.69	89.02	85.79	85.79	89.02	70.69	9.78	81.83
Ca <sub>meq_l</sub>	meq/L	2.09	2.16	2.19	2.16	2.19	2.09	0.05	2.15
Mg <sub>meq_l</sub>	meq/L	2.29	2.22	2.23	2.23	2.29	2.22	0.03	2.25
Na <sub>meq_l</sub>	meq/L	1.92	1.84	1.97	1.92	1.97	1.84	0.07	1.91
RAS <sub>p</sub>	%	1.30	1.25	1.33	1.30	1.33	1.25	0.04	1.29

**Tabla 5. 2 Resultados estadísticos de parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos evaluados para el muestreo 02**

MUESTREO 2									
Fecha: 10/03/09					Datos estadísticos				
Parámetro	Unidades	01 JOCOT	02 LLANO	03 RANCH	Mediana	Máximo	Mínimo	Desviación Estándar	Media
pH	Unidades	7.62	7.82	7.70	7.70	7.82	7.62	0.10	7.71
Oxígeno Disuelto	ppm O <sub>2</sub>	5.30	4.90	4.95	4.95	5.30	4.90	0.22	5.05
Conductividad	μSiemens/cm	674.00	689.00	697.00	689.00	697.00	674.00	11.68	686.67
Turbidez	Unidades FAU	10.00	8.50	11.00	10.00	11.00	8.50	1.26	9.83

**Tabla 5. 2 Resultados estadísticos de parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos evaluados para el muestreo 02 (Continuación)**

MUESTREO 2									
Fecha: 10/03/09					Datos estadísticos				
Parámetro	Unidades	01 JOCOT	02 LLANO	03 RANCH	Mediana	Máximo	Mínimo	Desviación Estándar	Media
Alcalinidad Total	ppm CaCO <sub>3</sub>	226.20	210.62	210.20	210.62	226.20	210.20	9.12	215.67
Dureza Total	ppm CaCO <sub>3</sub>	230.00	226.40	232.80	230.00	232.80	226.40	3.21	229.73
Calcio	ppm Ca	45.98	45.01	45.81	45.81	45.98	45.01	0.52	45.60
Magnesio	ppm Mg	27.98	27.69	28.75	27.98	28.75	27.69	0.55	28.14
Nitrógeno Amoniacal	ppm NH <sub>4</sub>	0.41	0.28	0.22	0.28	0.41	0.22	0.10	0.30
Nitratos	ppm NO <sub>3</sub> -	12.95	10.85	12.20	12.20	12.95	10.85	1.06	12.00
Fosfatos	ppm PO <sub>4</sub> ≡	2.36	2.44	2.36	2.36	2.44	2.36	0.05	2.39
Cloruros	ppm Cl-	41.70	41.50	41.70	41.70	41.70	41.50	0.12	41.63
Color Aparente	Unidades Pt-Co	47.50	44.00	44.50	44.50	47.50	44.00	1.89	45.33
Sólidos Totales Disueltos	Ppm	330.00	338.00	341.00	338.00	341.00	330.00	5.69	336.33
DBO <sub>5</sub>	ppm O <sub>2</sub>	2.00	1.00	2.00	2.00	2.00	1.00	0.58	1.67
Boro	ppm B	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Sulfatos	ppm SO <sub>4</sub>	142.00	137.00	128.00	137.00	142.00	128.00	7.09	135.67
Sodio	ppm Na	100.00	102.00	102.00	102.00	102.00	100.00	1.15	101.33
Fósforo Total	ppm P	3.00	2.96	2.86	2.96	3.00	2.86	0.07	2.94
Cobre	ppm C	0.03	0.03	0.01	0.03	0.03	0.01	0.01	0.02
Nitrógeno Total Kjeldahl	ppm NTK	24.00	6.38	8.63	8.63	24.00	6.38	9.59	13.00
Fenoles	ppm Fenol	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Zinc	ppm Zn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Demanda Química de Oxígeno	ppm O <sub>2</sub>	9.50	7.00	4.00	7.00	9.50	4.00	2.75	6.83
Temperatura Ambiental	°C	29.60	31.40	33.10	31.40	33.10	29.60	1.75	31.37
Temperatura de la muestra	°C	26.70	27.60	29.20	27.60	29.20	26.70	1.27	27.83
Coliformes Fecales	NMP/100ml	30000.0	30000.0	33000.0	30000.0	33000.0	30000.0	1732.0	31000.0
dT <sub>C</sub>	°C	2.90	0.90	1.60	1.60	2.90	0.90	1.01	1.80
PSatOD <sub>p</sub>	%	69.83	66.59	69.22	69.22	69.83	66.59	1.72	68.55
Ca <sub>meq/l</sub>	meq/L	2.29	2.25	2.29	2.29	2.29	2.25	0.03	2.28
Mg <sub>meq/l</sub>	meq/L	2.30	2.28	2.37	2.30	2.37	2.28	0.05	2.32
Na <sub>meq/l</sub>	meq/L	4.35	4.44	4.44	4.44	4.44	4.35	0.05	4.41
RAS <sub>p</sub>	%	2.87	2.95	2.91	2.91	2.95	2.87	0.04	2.91

**Tabla 5. 3 Resultados estadísticos de parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos evaluados para el muestreo 03**

MUESTREO 3									
Fecha: 18/05/09					Datos estadísticos				
Parámetro	Unidades	01 JOCOT	02 LLANO	03 RANCH	Mediana	Máximo	Mínimo	Desviación Estándar	Media
pH	Unidades	8.05	7.93	7.84	7.93	8.05	7.84	0.10	7.94
Oxígeno Disuelto	ppm O <sub>2</sub>	5.50	4.50	4.70	4.70	5.50	4.50	0.53	4.90
Conductividad	μSiemens/cm	636.00	634.00	640.00	636.00	640.00	634.00	3.06	636.67
Turbidez	Unidades FAU	70.00	79.00	81.50	79.00	81.50	70.00	6.05	76.83
Alcalinidad Total	ppm CaCO <sub>3</sub>	168.49	176.08	170.18	170.18	176.08	168.49	3.98	171.58
Dureza Total	ppm CaCO <sub>3</sub>	240.80	222.40	236.40	236.40	240.80	222.40	9.61	233.20
Calcio	ppm Ca	51.26	51.26	52.54	51.26	52.54	51.26	0.74	51.69
Magnesio	ppm Mg	27.39	22.93	25.55	25.55	27.39	22.93	2.24	25.29
Nitrógeno Amoniacal	ppm NH <sub>4</sub>	0.42	0.30	0.27	0.30	0.42	0.27	0.08	0.33
Nitratos	ppm NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	6.60	7.25	6.60	6.60	7.25	6.60	0.38	6.82
Fosfatos	ppm PO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	1.19	1.22	1.14	1.19	1.22	1.14	0.04	1.18
Cloruros	ppm Cl <sup>-</sup>	31.38	31.57	30.78	31.38	31.57	30.78	0.41	31.24
Color Aparente	Unidades Pt-Co	196.00	203.50	216000.00	203.50	216.00	196.00	10.10	205.17
Sólidos Totales Disueltos	Ppm	312.00	313.00	316.00	313.00	316.00	312.00	2.08	313.67
DBO <sub>5</sub>	ppm O <sub>2</sub>	4.00	4.00	3.00	4.00	4.00	3.00	0.58	3.67
Boro	ppm B	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Sulfatos	ppm SO <sub>4</sub>	60.00	55.50	64.00	60.00	64.00	55.50	4.25	59.83
Sodio	ppm Na	29.70	31.00	33.20	31.00	33.20	29.70	1.77	31.30
Fósforo Total	ppm P	2.04	1.89	1.90	1.90	2.04	1.89	0.08	1.94
Cobre	ppm Cu	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01
Nitrógeno Total Kjeldahl	ppm NTK	6.00	6.75	4.13	6.00	6.75	4.13	1.35	5.63
Fenoles	ppm Fenol	1.00	1.10	1.20	1.10	1.20	1.00	0.10	1.10
Zinc	ppm Zn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Demanda Química de Oxígeno	ppm O <sub>2</sub>	14.00	6.00	6.00	6.00	14.00	6.00	4.62	8.67
Temperatura Ambiental	°C	29.60	30.30	33.70	30.30	33.70	29.60	2.19	31.20
Temperatura de la muestra	°C	29.00	29.60	30.10	29.60	30.10	29.00	0.55	29.57
Coliformes Fecales	NMP/100ml	50000.0	90000.0	90000.0	90000.0	90000.0	50000.0	23094.0	76666.6
dT <sub>C</sub>	°C	0.60	0.60	0.50	0.60	0.60	0.50	0.06	0.57
PSatOD <sub>p</sub>	%	72.47	60.02	66.38	66.38	72.47	60.02	6.23	66.29
Ca <sub>meq_l</sub>	meq/L	2.56	2.56	2.62	2.56	2.62	2.56	0.04	2.58
Mg <sub>meq_l</sub>	meq/L	2.25	1.89	2.10	2.10	2.25	1.89	0.18	2.08
Na <sub>meq_l</sub>	meq/L	1.29	1.35	1.44	1.35	1.44	1.29	0.08	1.36
RAS <sub>p</sub>	%	0.83	0.90	0.94	0.90	0.94	0.83	0.05	0.89

En las Tablas 5.4, 5.5, 5.6 se resumen los valores de cada parámetro evaluado por sitio de muestreo con su respectivo resultado estadístico, mediana, valor mínimo, valor máximo, desviación estándar y media.

**Tabla 5. 4 Resultados estadísticos de parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos evaluados para el sitio de muestreo 01 JOCOT**

PUNTO DE MUESTREO 01 JOCOT									
Parámetros	Unidades	Fecha			Datos estadísticos				
		27/01/2009	10/03/2009	18/05/2009	Mediana	Máximo	Mínimo	Desviación Estándar	Media
pH	Unidades	7.60	7.62	8.05	7.62	8.05	7.60	0.25	7.76
Oxígeno Disuelto	ppm O <sub>2</sub>	5.70	5.30	5.50	5.50	5.70	5.30	0.20	5.50
Conductividad	μSiemens /cm	667.00	674.00	636.00	667.00	674.00	636.00	20.22	659.00
Turbidez	Unidades FAU	17.00	10.00	70.00	17.00	70.00	10.00	32.81	32.33
Alcalinidad Total	ppm CaCO <sub>3</sub>	208.93	226.20	168.49	208.93	226.20	168.49	29.62	201.21
Dureza Total	ppm CaCO <sub>3</sub>	219.20	230.00	240.80	230.00	240.80	219.20	10.80	230.00
Calcio	ppm Ca	41.97	45.98	51.26	45.98	51.26	41.97	4.66	46.40
Magnesio	ppm Mg	27.78	27.98	27.39	27.78	27.98	27.39	0.30	27.72
Nitrógeno Amoniacal	ppm NH <sub>4</sub>	0.31	0.41	0.42	0.41	0.42	0.31	0.06	0.38
Nitratos	ppm NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	13.05	12.95	6.60	12.95	13.05	6.60	3.70	10.87
Fosfatos	ppm PO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	1.91	2.36	1.19	1.91	2.36	1.19	0.59	1.82
Cloruros	ppm Cl <sup>-</sup>	38.92	41.70	31.38	38.92	41.70	31.38	5.34	37.33
Color Aparente	Unidades Pt-Co	60.00	47.50	196.00	60.00	196.00	47.50	82.37	101.17
Sólidos Totales Disueltos	Ppm	331.00	330.00	312.00	330.00	331.00	312.00	10.69	324.33
DBO <sub>5</sub>	ppm O <sub>2</sub>	4.00	2.00	4.00	4.00	4.00	2.00	1.15	3.33
Boro	ppm B	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Sulfatos	ppm SO <sub>4</sub>	143.00	142.00	60.00	142.00	143.00	60.00	47.63	115.00
Sodio	ppm Na	44.10	100.00	29.70	44.10	100.00	29.70	37.14	57.93
Fósforo Total	ppm P	2.74	3.00	2.04	2.74	3.00	2.04	0.50	2.59
Cobre	ppm Cu	0.03	0.03	0.01	0.03	0.03	0.01	0.01	0.02
Nitrógeno Total Kjeldahl	ppm NTK	7.88	24.00	6.00	7.88	24.00	6.00	9.89	12.63
Fenoles	ppm Fenol	0.04	0.00	1.00	0.04	1.00	0.00	0.57	0.35
Zinc	ppm Zn	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00
Demanda Química de Oxígeno	ppm O <sub>2</sub>	13.00	9.50	14.00	13.00	14.00	9.50	2.36	12.17
Temperatura Ambiental	°C	26.20	29.60	29.60	29.60	29.60	26.20	1.96	28.47
Temperatura de la muestra	°C	24.30	26.70	29.00	26.70	29.00	24.30	2.35	26.67

**Tabla 5. 4 Resultados estadísticos de parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos evaluados para el sitio de muestreo 01 JOCOT (Continuación)**

PUNTO DE MUESTREO 01 JOCOT									
Parámetros	Unidades	Fecha			Datos estadísticos				
		27/01/2009	10/03/2009	18/05/2009	Mediana	Máximo	Mínimo	Desviación Estándar	Media
Coliformes Fecales	NMP/100 ml	30000.0	30000.0	50000.0	30000.0	50000.0	30000.0	11547.0	36666.6
dT_C	°C	1.90	2.90	0.60	1.90	2.90	0.60	1.15	1.80
PSatOD_p	%	70.69	69.83	72.47	70.69	72.47	69.83	1.34	71.00
Ca_meq_l	meq/L	2.09	2.29	2.56	2.29	2.56	2.09	0.23	2.32
Mg_meq_l	meq/L	2.29	2.30	2.25	2.29	2.30	2.25	0.02	2.28
Na_meq_l	meq/L	1.92	4.35	1.29	1.92	4.35	1.29	1.62	2.52
RAS_p	%	1.30	2.87	0.83	1.30	2.87	0.83	1.07	1.67

**Tabla 5. 5 Resultados estadísticos de parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos evaluados para el sitio de muestreo 02 LLANO**

PUNTO DE MUESTREO 02 LLANO									
Parámetros	Unidades	Fecha			Datos estadísticos				
		27/01/2009	10/03/2009	18/05/2009	Mediana	Máximo	Mínimo	Desviación Estándar	Media
pH	Unidades	7.58	7.82	7.93	7.82	7.93	7.58	0.18	7.78
Oxígeno Disuelto	ppm O <sub>2</sub>	6.78	4.90	4.50	4.90	6.78	4.50	1.22	5.39
Conductividad	μSiemens /cm	668.00	689.00	634.00	668.00	689.00	634.00	27.76	663.67
Turbidez	Unidades FAU	16.00	8.50	79.00	16.00	79.00	8.50	38.72	34.50
Alcalinidad Total	ppm CaCO <sub>3</sub>	216.09	210.62	176.08	210.62	216.09	176.08	21.69	200.93
Dureza Total	ppm CaCO <sub>3</sub>	219.20	226.40	222.40	222.40	226.40	219.20	3.61	222.67
Calcio	ppm Ca	43.25	45.01	51.26	45.01	51.26	43.25	4.21	46.51
Magnesio	ppm Mg	27.01	27.69	22.93	27.01	27.69	22.93	2.57	25.88
Nitrógeno Amoniacal	ppm NH <sub>4</sub>	0.25	0.28	0.30	0.28	0.30	0.25	0.03	0.28
Nitratos	ppm NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	13.20	10.85	7.25	10.85	13.20	7.25	3.00	10.43
Fosfatos	ppm PO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	1.94	2.44	1.22	1.94	2.44	1.22	0.61	1.87
Cloruros	ppm Cl <sup>-</sup>	37.93	41.50	31.57	37.93	41.50	31.57	5.03	37.00
Color Aparente	Unidades Pt-Co	55.00	44.00	203.50	55.00	203.50	44.00	89.08	100.83
Sólidos Totales Disueltos	Ppm	327.00	338.00	313.00	327.00	338.00	313.00	12.53	326.00
DBO <sub>5</sub>	ppm O <sub>2</sub>	4.00	1.00	4.00	4.00	4.00	1.00	1.73	3.00
Boro	ppm B	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Sulfatos	ppm SO <sub>4</sub>	132.00	137.00	55.50	132.00	137.00	55.50	45.68	108.17

**Tabla 5. 5 Resultados estadísticos de parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos evaluados para el sitio de muestreo 02 LLANO (Continuación)**

PUNTO DE MUESTREO 02 LLANO									
Parámetros	Unidades	Fecha			Datos estadísticos				
		27/01/2009	10/03/2009	18/05/2009	Mediana	Máximo	Mínimo	Desviación Estándar	Media
Sodio	ppm Na	42.40	102.00	31.00	<b>42.40</b>	<b>102.00</b>	<b>31.00</b>	<b>38.13</b>	<b>58.47</b>
Fósforo Total	ppm P	3.83	2.96	1.89	<b>2.96</b>	<b>3.83</b>	<b>1.89</b>	<b>0.97</b>	<b>2.89</b>
Cobre	ppm Cu	0.03	0.03	0.01	<b>0.03</b>	<b>0.03</b>	<b>0.01</b>	<b>0.01</b>	<b>0.02</b>
Nitrógeno Total Kjeldahl	ppm NTK	1.88	6.38	6.75	<b>6.38</b>	<b>6.75</b>	<b>1.88</b>	<b>2.71</b>	<b>5.00</b>
Fenoles	ppm Fenol	0.02	0.00	1.10	<b>0.02</b>	<b>1.10</b>	<b>0.00</b>	<b>0.63</b>	<b>0.37</b>
Zinc	ppm Zn	0.02	0.00	0.00	<b>0.00</b>	<b>0.02</b>	<b>0.00</b>	<b>0.01</b>	<b>0.01</b>
Demanda Química de Oxígeno	ppm O <sub>2</sub>	14.00	7.00	6.00	<b>7.00</b>	<b>14.00</b>	<b>6.00</b>	<b>4.36</b>	<b>9.00</b>
Temperatura Ambiental	°C	29.40	31.40	30.30	<b>30.30</b>	<b>31.40</b>	<b>29.40</b>	<b>1.00</b>	<b>30.37</b>
Temperatura de la muestra	°C	24.70	27.60	29.60	<b>27.60</b>	<b>29.60</b>	<b>24.70</b>	<b>2.46</b>	<b>27.30</b>
Coliformes Fecales	NMP/100 ml	13000.0	30000.0	90000.0	<b>30000.0</b>	<b>90000.0</b>	<b>13000.0</b>	<b>40451.6</b>	<b>44333.3</b>
dT <sub>C</sub>	°C	4.70	3.80	0.70	<b>3.80</b>	<b>4.70</b>	<b>0.70</b>	<b>2.10</b>	<b>3.07</b>
PSatOD <sub>p</sub>	%	89.02	66.59	60.02	<b>66.59</b>	<b>89.02</b>	<b>60.02</b>	<b>15.21</b>	<b>71.88</b>
Ca <sub>meq_l</sub>	meq/L	2.16	2.25	2.56	<b>2.25</b>	<b>2.56</b>	<b>2.16</b>	<b>0.21</b>	<b>2.32</b>
Mg <sub>meq_l</sub>	meq/L	2.22	2.28	1.89	<b>2.22</b>	<b>2.28</b>	<b>1.89</b>	<b>0.21</b>	<b>2.13</b>
Na <sub>meq_l</sub>	meq/L	1.84	4.44	1.35	<b>1.84</b>	<b>4.44</b>	<b>1.35</b>	<b>1.66</b>	<b>2.54</b>
RAS <sub>p</sub>	%	1.25	2.95	0.91	<b>1.25</b>	<b>2.95</b>	<b>0.91</b>	<b>1.10</b>	<b>1.70</b>

**Tabla 5. 6 Resultados estadísticos de parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos evaluados para el sitio de muestreo 03 RANCH**

PUNTO DE MUESTREO 03 RANCH									
Parámetros	Unidades	Fecha			Datos estadísticos				
		27/01/2009	10/03/2009	18/05/2009	Mediana	Máximo	Mínimo	Desviación Estándar	Media
pH	Unidades	7.59	7.70	7.84	<b>7.70</b>	<b>7.84</b>	<b>7.59</b>	<b>0.13</b>	<b>7.71</b>
Oxígeno Disuelto	ppm O <sub>2</sub>	6.27	4.95	4.70	<b>4.95</b>	<b>6.27</b>	<b>4.70</b>	<b>0.84</b>	<b>5.31</b>
Conductividad	μSiemens/cm	657.00	697.00	640.00	<b>657.00</b>	<b>697.00</b>	<b>640.00</b>	<b>29.26</b>	<b>664.67</b>
Turbidez	Unidades FAU	14.00	11.00	81.50	<b>14.00</b>	<b>81.50</b>	<b>11.00</b>	<b>39.87</b>	<b>35.50</b>
Alcalinidad Total	ppm CaCO <sub>3</sub>	213.57	210.20	170.18	<b>210.20</b>	<b>213.57</b>	<b>170.18</b>	<b>24.14</b>	<b>197.98</b>
Dureza Total	ppm CaCO <sub>3</sub>	221.20	232.80	236.40	<b>232.80</b>	<b>236.40</b>	<b>221.20</b>	<b>7.94</b>	<b>230.13</b>
Calcio	ppm Ca	43.89	45.81	52.54	<b>45.81</b>	<b>52.54</b>	<b>43.89</b>	<b>4.54</b>	<b>47.41</b>

**Tabla 5. 6 Resultados estadísticos de parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos evaluados para el sitio de muestreo 03 RANCH (Continuación)**

PUNTO DE MUESTREO 03 RANCH									
Parámetros	Unidades	Fecha			Datos estadísticos				
		27/01/2009	10/03/2009	18/05/2009	Mediana	Máximo	Mínimo	Desviación Estándar	Media
Magnesio	ppm Mg	27.10	28.75	25.55	<b>27.10</b>	<b>28.75</b>	<b>25.55</b>	<b>1.60</b>	<b>27.13</b>
Nitrógeno Amoniacal	ppm NH <sub>4</sub>	0.23	0.22	0.27	<b>0.23</b>	<b>0.27</b>	<b>0.22</b>	<b>0.03</b>	<b>0.24</b>
Nitratos	ppm NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	10.90	12.20	6.60	<b>10.90</b>	<b>12.20</b>	<b>6.60</b>	<b>2.93</b>	<b>9.90</b>
Fosfatos	ppm PO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	1.92	2.36	1.14	<b>1.92</b>	<b>2.36</b>	<b>1.14</b>	<b>0.62</b>	<b>1.81</b>
Cloruros	ppm Cl <sup>-</sup>	36.54	41.70	30.78	<b>36.54</b>	<b>41.70</b>	<b>30.78</b>	<b>5.46</b>	<b>36.34</b>
Color Aparente	Unidades Pt-Co	51.00	44.50	216.00	<b>51.00</b>	<b>216.00</b>	<b>44.50</b>	<b>97.19</b>	<b>103.83</b>
Sólidos Totales Disueltos	Ppm	322.00	341.00	316.00	<b>322.00</b>	<b>341.00</b>	<b>316.00</b>	<b>13.05</b>	<b>326.33</b>
DBO <sub>5</sub>	ppm O <sub>2</sub>	4.00	2.00	3.00	<b>3.00</b>	<b>4.00</b>	<b>2.00</b>	<b>1.00</b>	<b>3.00</b>
Boro	ppm B	0.00	0.00	0.00	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>
Sulfatos	ppm SO <sub>4</sub>	129.00	128.00	64.00	<b>128.00</b>	<b>129.00</b>	<b>64.00</b>	<b>37.24</b>	<b>107.00</b>
Sodio	ppm Na	45.40	102.00	33.20	<b>45.40</b>	<b>102.00</b>	<b>33.20</b>	<b>36.71</b>	<b>60.20</b>
Fósforo Total	ppm P	2.36	2.86	1.90	<b>2.36</b>	<b>2.86</b>	<b>1.90</b>	<b>0.48</b>	<b>2.37</b>
Cobre	ppm Cu	0.02	0.01	0.01	<b>0.01</b>	<b>0.02</b>	<b>0.01</b>	<b>0.01</b>	<b>0.01</b>
Nitrógeno Total Kjeldahl	ppm NTK	3.00	8.63	4.13	<b>4.13</b>	<b>8.63</b>	<b>3.00</b>	<b>2.98</b>	<b>5.25</b>
Fenoles	ppm Fenol	0.04	0.00	1.20	<b>0.04</b>	<b>1.20</b>	<b>0.00</b>	<b>0.68</b>	<b>0.41</b>
Zinc	ppm Zn	0.06	0.00	0.00	<b>0.00</b>	<b>0.06</b>	<b>0.00</b>	<b>0.03</b>	<b>0.02</b>
Demanda Química de Oxígeno	ppm O <sub>2</sub>	10.50	4.00	6.00	<b>6.00</b>	<b>10.50</b>	<b>4.00</b>	<b>3.33</b>	<b>6.83</b>
Temperatura Ambiental	°C	31.80	33.10	33.70	<b>33.10</b>	<b>33.70</b>	<b>31.80</b>	<b>0.97</b>	<b>32.87</b>
Temperatura de la muestra	°C	25.60	29.20	30.10	<b>29.20</b>	<b>30.10</b>	<b>25.60</b>	<b>2.38</b>	<b>28.30</b>
Coliformes Fecales	NMP/100ml	23000.0	33000.0	90000.0	<b>33000.0</b>	<b>90000.0</b>	<b>23000.0</b>	<b>36143.2</b>	<b>48666.6</b>
dT <sub>C</sub>	°C	6.20	3.90	3.60	<b>3.90</b>	<b>6.20</b>	<b>3.60</b>	<b>1.42</b>	<b>4.57</b>
PSatOD <sub>p</sub>	%	85.79	69.22	66.38	<b>69.22</b>	<b>85.79</b>	<b>66.38</b>	<b>10.48</b>	<b>73.79</b>
Ca <sub>meq/l</sub>	meq/L	2.19	2.29	2.62	<b>2.29</b>	<b>2.62</b>	<b>2.19</b>	<b>0.23</b>	<b>2.37</b>
Mg <sub>meq/l</sub>	meq/L	2.23	2.37	2.10	<b>2.23</b>	<b>2.37</b>	<b>2.10</b>	<b>0.13</b>	<b>2.23</b>
Na <sub>meq/l</sub>	meq/L	1.98	4.44	1.44	<b>1.98</b>	<b>4.44</b>	<b>1.44</b>	<b>1.60</b>	<b>2.62</b>
RAS <sub>p</sub>	%	1.33	2.91	0.94	<b>1.33</b>	<b>2.91</b>	<b>0.94</b>	<b>1.04</b>	<b>1.73</b>

En la tabla 5.7, se muestra el coeficiente de variación para cada sitio de muestreo, JOCOTE, LLANO, RANCHO QUEMADO, tomando en cuenta los tres muestreos realizados, este coeficiente de variación es una medida de dispersión de los datos respecto a su media, útil para comparar dispersiones a escalas distintas pues es una medida adimensional.

Tabla 5. 7 Coeficiente de variación para cada sitio de muestreo

<b>PARAMETROS</b>	<b>CV 01 JOCOT</b>	<b>CV 02 LLANO</b>	<b>CV 03 RANCH</b>
<b>Zinc</b>	150.2064695	150.2064695	168.963834
<b>Fenoles</b>	162.8249035	168.1280361	164.483354
<b>Turbidez</b>	101.466555	112.2323182	112.2968973
<b>Color aparente</b>	81.4156972	88.34567719	93.60533109
<b>Coliformes fecales</b>	31.49183286	91.2442493	74.26691831
<b>Sodio</b>	64.10035565	65.21567053	60.98042618
<b>RAS</b>	64.06258975	64.44225299	60.44886119
<b>Nitrógeno Total Kjeldahl</b>	78.36073301	54.18797756	56.69468617
<b>DQO</b>	19.42116011	48.43221048	48.71947404
<b>Cobre</b>	49.48716593	49.48716593	43.30127019
<b>Sulfatos</b>	41.42088822	42.2303247	34.80602701
<b>Fosforo</b>	32.4268938	32.85520181	34.19810257
<b>DBO5</b>	34.64101615	57.73502692	33.33333333
<b>dT_C</b>	64.06979219	68.42648146	31.14830408
<b>Nitratos</b>	34.0065644	28.72335961	29.60474927
<b>Fosforo total</b>	19.14606291	33.58467836	20.23057031
<b>Oxigeno disuelto</b>	3.636363636	22.57284892	15.89667636
<b>Cloruros</b>	14.30310326	13.59432593	15.03232406
<b>PSatOD_p</b>	1.892659429	21.16044696	14.20644074

Tabla 5. 7 Coeficiente de variación para cada sitio de muestreo (Continuación)

PARAMETROS	CV 01 JOCOT	CV 02 LLANO	CV 03 RANCH
<b>Alcalinidad</b>	14.72121604	10.79670846	12.19157113
<b>Nitrógeno amoniacal</b>	16.00726982	9.096186067	11.0239638
<b>Calcio</b>	10.04118728	9.051427025	9.580482137
<b>Temperatura de la muestra</b>	8.813164869	9.024677652	8.414050106
<b>Magnesio</b>	1.082581661	9.94887975	5.897765585
<b>Conductividad eléctrica</b>	3.068854084	4.182051148	4.402684103
<b>Sólidos totales disueltos</b>	3.296817047	3.843547266	3.999340541
<b>Dureza total</b>	4.695652174	1.620089732	3.451534417
<b>Temperatura ambiental</b>	6.89575263	3.298568431	2.955132309
<b>pH</b>	3.254051669	2.310108898	1.639971846
<b>Boro</b>	0	0	0

En las figuras 5 -1, 5 -2, 5 -3, se muestran las graficas para el coeficiente de variación para cada punto de muestreo, con la finalidad de visualizar los parámetros con mayor impacto, en todos los muestreos realizados, para cada punto específicamente.

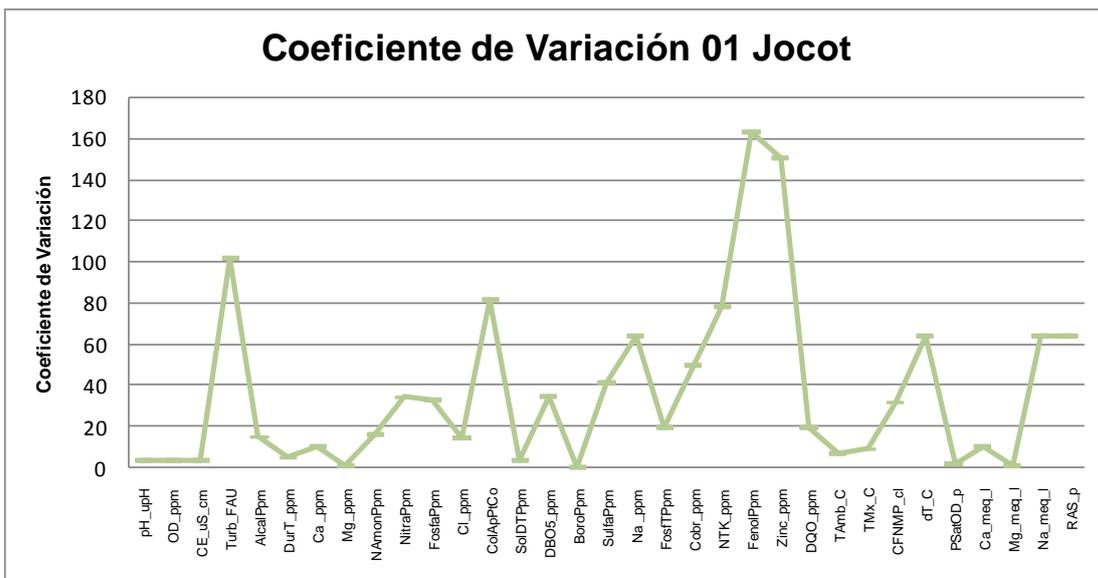


Figura 5 - 1 Grafica para coeficiente de variación para punto de muestreo 01JOCOT

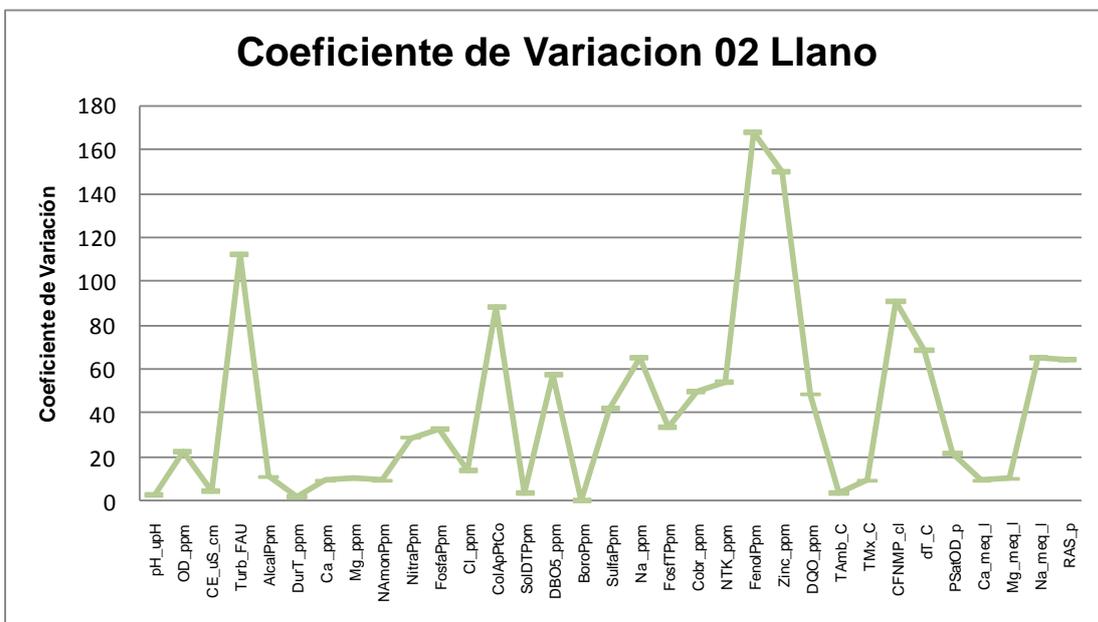
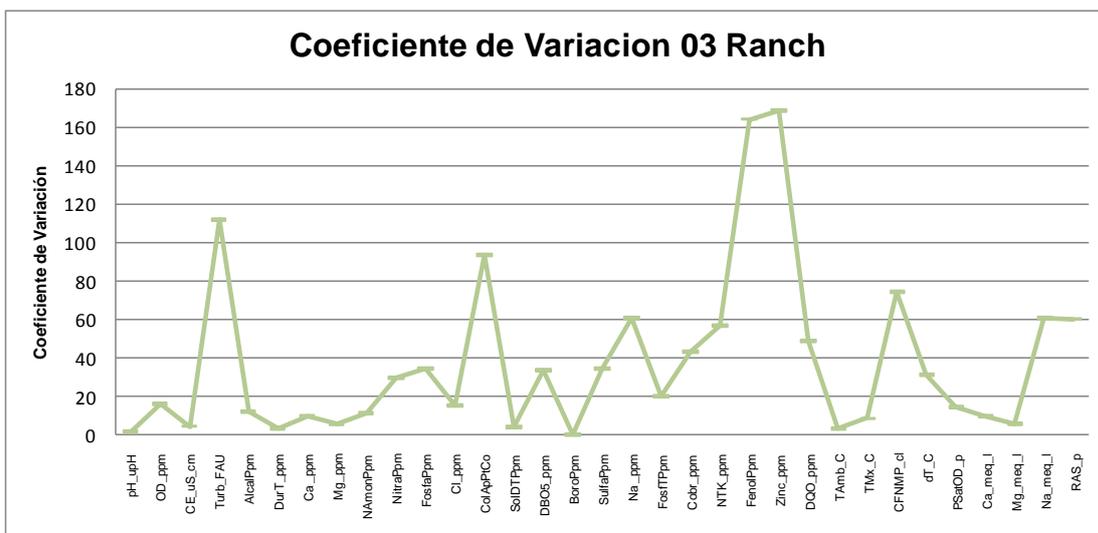


Figura 5 - 2 Grafica para coeficiente de variación para punto de muestreo 02 LLANO



**Figura 5 - 3 Grafica para coeficiente de variación para punto de muestreo 03 RANCH**

De las graficas se observa que los parámetros que presentan mayor variación en los tres puntos de muestreo, para los tres muestreos realizados son: Zinc, Fenoles, turbidez y color aparente; lo cual puede deberse a descargas puntuales en el caso de Zinc y Fenoles y lluvias aisladas o estacionalidad para el caso de turbidez y color aparente.

## **V.2 INDICE DE CALIDAD DEL AGUA “ICA”**

Para determinar el valor del “ICA” en los 3 sitios de muestreo, se utilizó el programa MAPWINDOWS, específicamente la herramienta ESATOOLS facilitado por el DGSNET/MARN que considera los 9 parámetros implicados en el cálculo de éste.

El estudio del ICA se realizó en tres sitios de muestreo, 01 JOCOT, 02 LLANO y 03 RANCH, en el tramo del Río Sucio, procediendo con 2 muestreos en época seca y un muestreo en transición a época lluviosa; esto hace un total de 9 muestreos para los que se detalla el resultado del ICA y su respectiva clasificación.

En las Tablas 5.8; 5.9 y 5.10 se resumen, para los tres muestreos realizados, los valores de cada subi, calculados a través de la Metodología de Brown (ver sección I.2.2.3) y su respectivo valor elevado a  $w_i$ , para luego, realizar el multiplicatorio y obtener el valor del ICA.

Tabla 5. 8 Resumen de los valores de Subi para el Muestreo 01

MUESTREO		A01JOCOT-1		A02LLANO-1		A03RANCH-1	
Subi	wi	Valor	Subi^wi	Valor	Subi^wi	Valor	Subi^wi
Coliformes Fecales	0.15	8.30	1.374	9.90	1.410	8.80	1.386
pH	0.12	92.90	1.723	92.90	1.723	93.70	1.724
DBO5	0.10	65.30	1.519	65.30	1.519	65.30	1.519
Nitratos	0.10	48.40	1.474	48.40	1.474	51.60	1.483
Fosfatos	0.10	29.50	1.403	29.50	1.403	29.50	1.403
Cambio de la Temperatura	0.10	79.50	1.549	91.20	1.570	87.80	1.564
Turbidez	0.08	67.60	1.401	68.90	1.403	72.30	1.408
Sólidos Disueltos Totales	0.08	57.20	1.382	57.20	1.382	58.00	1.384
% Oxigeno Disuelto	0.17	75.40	2.085	94.50	2.167	92.70	2.160
CALCULO DEL INDICE DE CALIDAD DEL AGUA (ICA)		MALA		MALA		MALA	
		46		50		50	

Tabla 5. 9 Resumen de los valores de Subi para el Muestreo 02

Muestreo		A01JOCOT-2		A02LLANO-2		A03RANCH-2	
Subi	wi	Valor	Subi^wi	Valor	Subi^wi	Valor	Subi^wi
Coliformes Fecales	0.15	8.00	1.366	8.00	1.366	7.60	1.356
pH	0.12	92.40	1.721	89.50	1.715	91.10	1.718
DBO5	0.10	82.40	1.555	91.00	1.570	82.60	1.555
Nitratos	0.10	48.90	1.475	51.30	1.483	50.00	1.479
Fosfatos	0.10	26.90	1.390	25.80	1.384	26.60	1.388
Cambio de la Temperatura	0.10	70.50	1.530	87.50	1.564	81.90	1.554

Tabla 5. 9 Resumen de los valores de Subi para el Muestreo 02 (Continuación)

Muestreo		A01JOCOT-2		A02LLANO-2		A03RANCH-2	
Subi	wi	Valor	Subi^wi	Valor	Subi^wi	Valor	Subi^wi
Turbidez	0.08	78.70	1.418	81.10	1.421	76.90	1.415
Sólidos Disueltos Totales	0.08	57.50	1.383	56.10	1.380	56.10	1.380
% Oxígeno Disuelto	0.17	74.40	2.080	69.10	2.055	72.80	2.073
CALCULO DEL INDICE DE CALIDAD DEL AGUA (ICA)		MALA		MALA		MALA	
		47		48		47	

Tabla 5. 10 Resumen de los valores de Subi para el Muestreo 03

Muestreo		01 JOCOT-3		02 LLANO-3		03 RANCH-3	
Subi	wi	Valor	Subi^wi	Valor	Subi^wi	Valor	Subi^wi
Coliformes Fecales	0.15	8.00	1.336	6.10	1.312	5.90	1.305
pH	0.12	92.40	1.704	88.20	1.712	89.30	1.714
DBO5	0.10	82.40	1.519	65.20	1.519	73.60	1.537
Nitratos	0.10	48.90	1.526	65.80	1.520	68.60	1.526
Fosfatos	0.10	26.90	1.443	40.00	1.446	39.80	1.445
Cambio de la Temperatura	0.10	70.50	1.568	90.60	1.569	90.40	1.569
Turbidez	0.08	78.70	1.316	26.80	1.301	25.80	1.297
Sólidos Disueltos Totales	0.08	57.50	1.386	59.00	1.386	58.80	1.385
% Oxígeno Disuelto	0.17	74.40	2.097	60.10	2.006	68.90	2.054
CALCULO DEL INDICE DE CALIDAD DEL AGUA (ICA)		MALA		MALA		MALA	
		46		43		44	

Tabla 5. 11 Valores del ICA de los 9 muestreos

PROCEDENCIA	ICA	CALIFICACIÓN	GRAFICO
01JOCOT-1	46	Mala	
01JOCOT-2	47	Mala	
01JOCOT-3	46	Mala	
02LLANO-1	50	Mala	
02LLANO-2	48	Mala	
02LLANO-3	43	Mala	
03RANCHO-1	50	Mala	
03RANCHO-2	47	Mala	
03RANCHO-3	44	Mala	

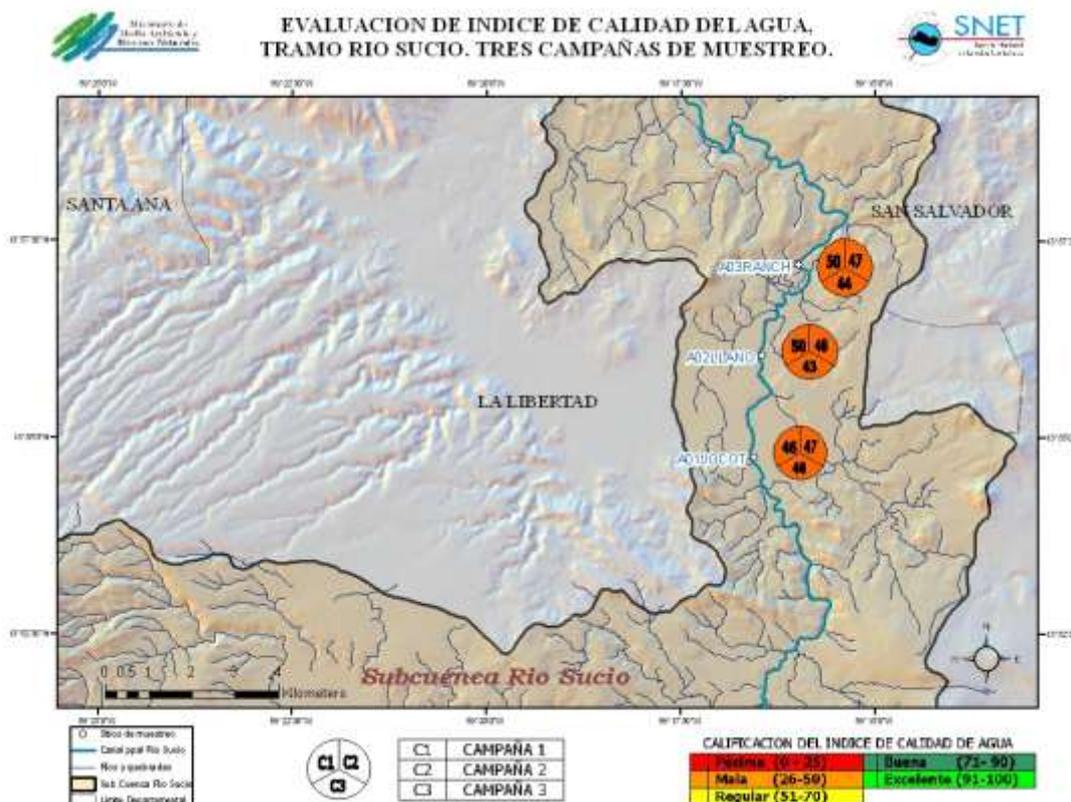


Figura 5 - 4 Mapa de resultado de evolución del ICA en los tres sitios de muestreo del tramo en estudio.

En la Figura 5 - 4, se representa la distribución geográfica los resultados obtenidos del ICA en los tres sitios de muestreo por campaña realizada.

En base a los resultados de los 9 muestreos realizados y sus respectivos valores del ICA, el tramo en estudio, tiene una clasificación MALA de sus aguas, esto indica, que se dificulta el desarrollo de la vida acuática en este cuerpo receptor de agua.

En la Tabla 5.12, se detalla el valor de cada parámetro (Subi) elevado a su respectivo peso ( $w_i$ ), logrando visualizar el aporte de cada parámetro al valor del ICA. En donde, cada color indica el orden según menor aporte al valor del ICA, considerando, que se analizan únicamente los tres parámetros que menos aportan a este.

**Tabla 5. 12 Aporte de cada parámetro al valor del ICA.**

Subi <sup>wi</sup>	01 JOCOT-1	02 LLANO-1	03 RANCH-1	01 JOCOT-2	02 LLANO-2	03 RANCH-2	01 JOCOT-3	02 LLANO-3	03 RANCH-3
<b>Coliformes Fecales</b>	1.37	1.41	1.39	1.37	1.37	1.36	1.34	1.31	1.31
<b>pH</b>	1.72	1.72	1.72	1.72	1.71	1.72	1.70	1.71	1.71
<b>DBO<sub>5</sub></b>	1.52	1.52	1.52	1.55	1.57	1.55	1.52	1.52	1.54
<b>Nitratos</b>	1.47	1.47	1.48	1.48	1.48	1.48	1.53	1.52	1.53
<b>Fosfatos</b>	1.40	1.40	1.40	1.39	1.38	1.39	1.44	1.45	1.45
<b>Cambio de la Temperatura</b>	1.55	1.57	1.56	1.53	1.56	1.55	1.57	1.57	1.57
<b>Turbidez</b>	1.40	1.40	1.41	1.42	1.42	1.42	1.32	1.30	1.30
<b>Sólidos Disueltos Totales</b>	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.39	1.39	1.39
<b>% Oxígeno Disuelto</b>	2.09	2.17	2.16	2.08	2.05	2.07	2.10	2.01	2.05

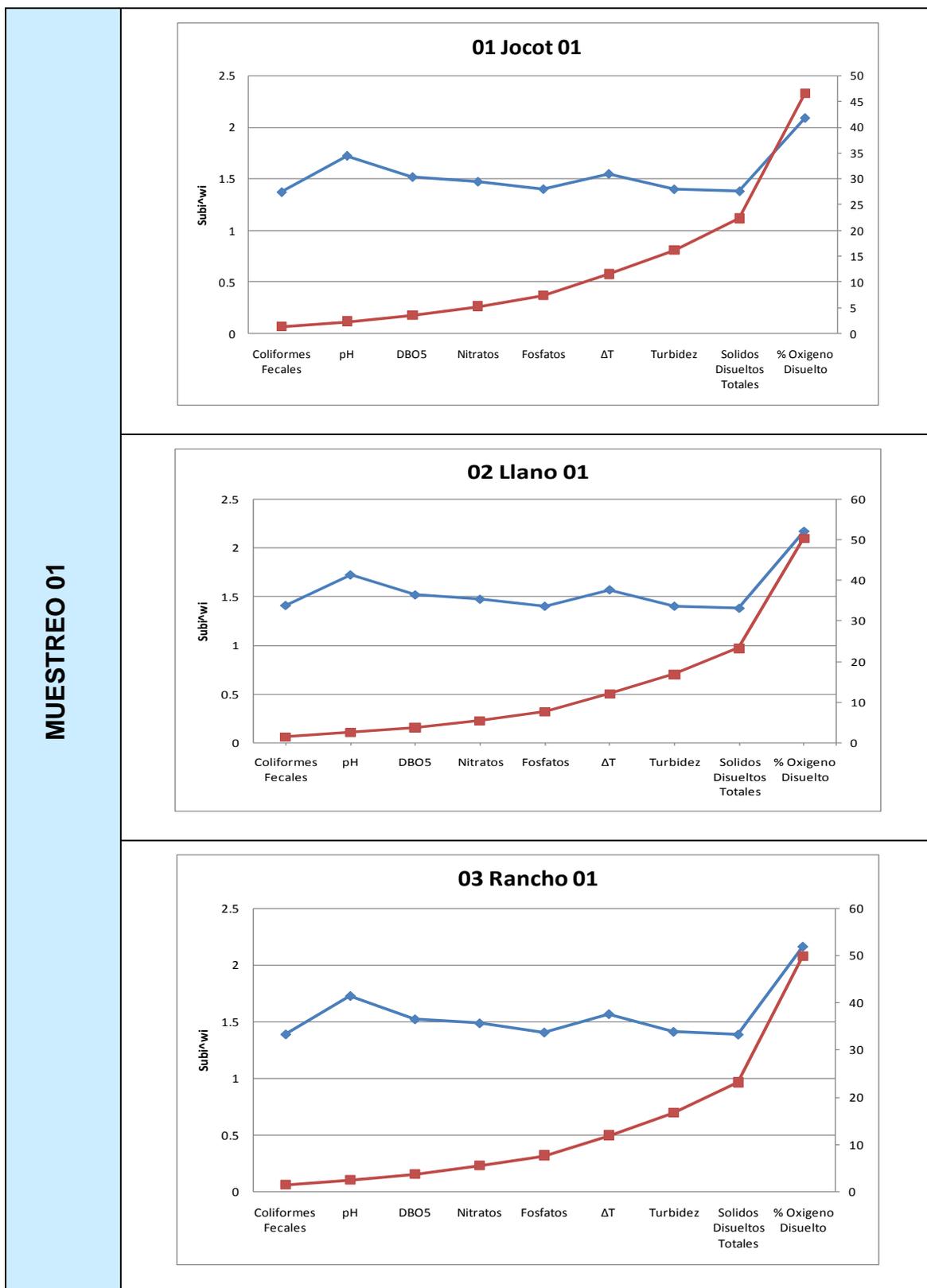
Orden según menor aporte al valor del ICA
1
2
3

Según el análisis de la Tabla 5.12, los parámetros que menos aportan al valor del ICA son:

- ✓ Coliformes fecales; con el menor aporte al valor del ICA en 4 de 9 muestreos.
- ✓ Sólidos disueltos totales; en todos los muestreos realizados, presento un menor aporte al valor del ICA con diferente orden de incidencia.
- ✓ Turbidez; en el muestro de transición época seca a lluviosa, fue el parámetro que menos aportó al valor del ICA.
- ✓ Fosfatos; en los muestreos 01 y 02, fue uno de los parámetros que menos aportó al valor del ICA, siendo este aporte de menor incidencia que los coliformes fecales, sólidos disueltos y turbidez.

En las Tablas 5.13, 5.14. y 5.15 se visualiza de manera grafica por muestreo 01, 02, y 03 respectivamente; el aporte de cada parámetro elevado a su respectivo peso al valor del ICA (línea color azul), así como también, el aporte acumulativo de cada parámetro hasta alcanzar el valor del ICA total por sitio (línea color rojo).

Tabla 5. 13 Variación del valor de cada Subi<sup>wi</sup> y comportamiento del multiplicador del valor del ICA para el Muestreo 01.



**Tabla 5. 14 Variación del valor de cada Subi<sup>wi</sup> y comportamiento del multiplicador del valor del ICA para el Muestreo 02.**

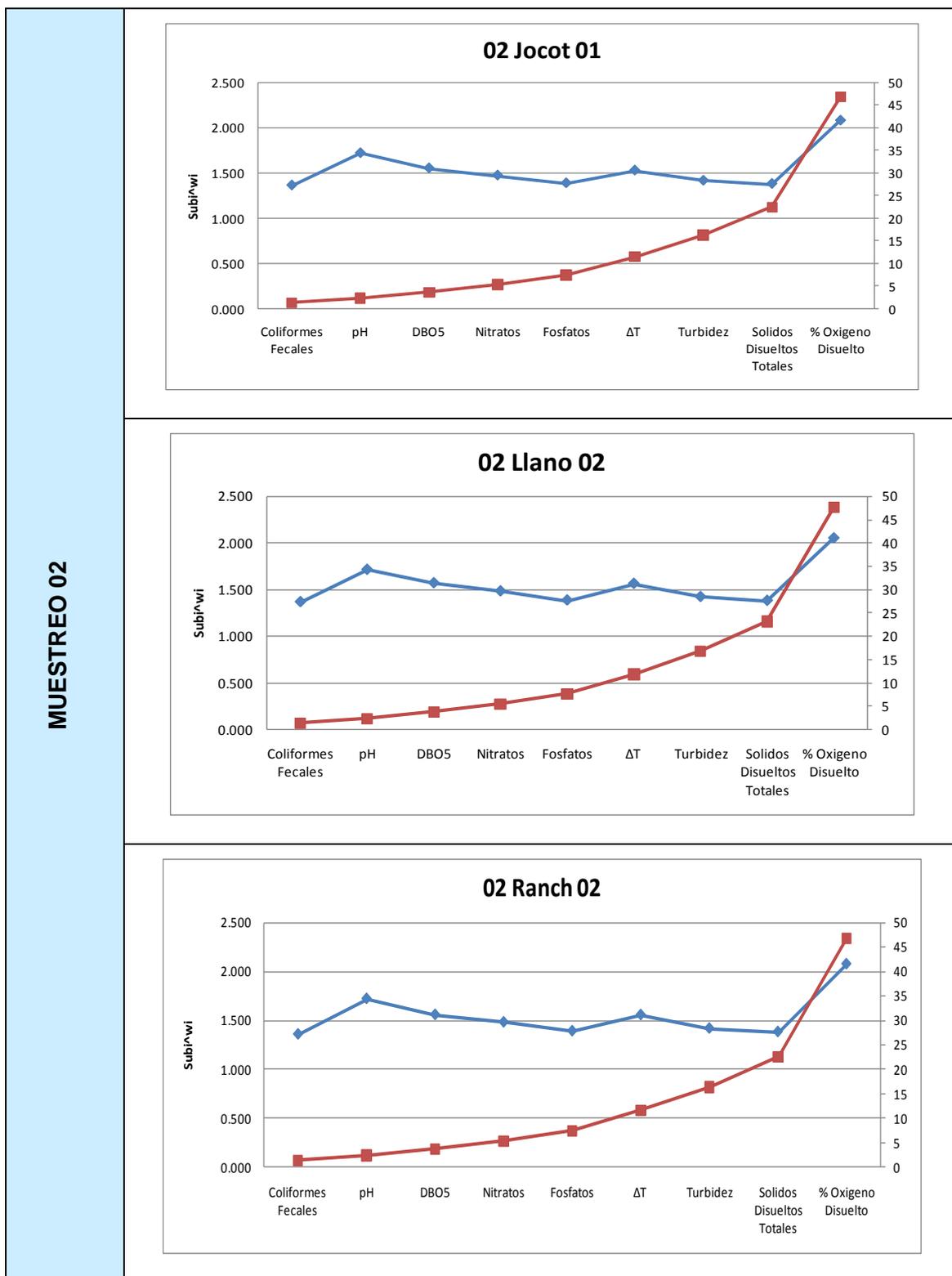
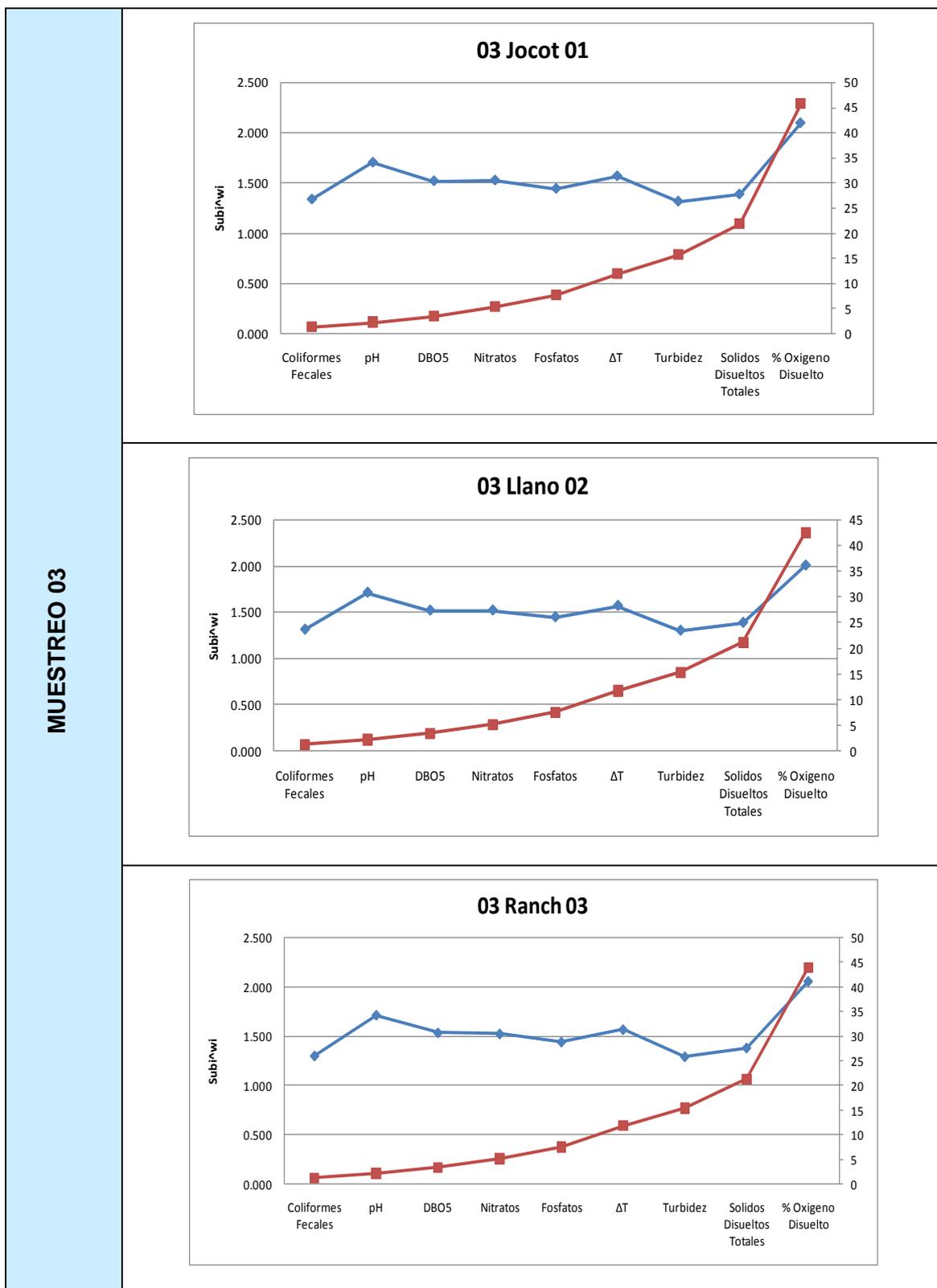


Tabla 5. 15 Variación del valor de cada Subi<sup>wi</sup> y comportamiento del multiplicador del valor del ICA para el Muestreo 03.



## V.3 APTITUDES DE USO

### V.3.1 APTITUD DE USO DE AGUA PARA RIEGO

En la Tabla 5.16, se resumen los resultados de los parámetros para la evaluación de aptitud de uso de agua para riego.

**Tabla 5. 16 Resultado de parámetros de aptitud de uso de agua para riego (ver Anexo 31)**

PARÁMETRO	UNIDADES	RANGO	01 JOCOT 1	02 LLANO 1	03 RANCH 1	01 JOCOT 2	02 LLANO 2	03 RANCH 2	01 JOCOT 3	02 LLANO 3	03 RANCH 3
Conductividad	µSiemens/cm	250 - 750	667.00	668	657	674	689	697	636	634	640
RAS		0-10	1.2961	1.2461	1.3283	2.8691	2.9497	2.9092	0.8328	0.9045	0.9396
Boro	meq/l	30 - 60	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cloruros	mg/l	0.5 - 2.0	38.92	37.93	36.54	41.7	41.5	41.7	31.38	31.57	30.78
Sulfatos	mg/l	195	143.00	132	129	142	137	128	60	55.5	64
pH	mg/l	200	7.604	7.578	7.586	7.616	7.816	7.695	8.047	7.93	7.838
Sodio	meq/l	0-138	44.1	42.4	45.4	100	102	102	29.7	31	33.2

Con relación a la Tabla 5.16, se determina que, no fue detectado boro en las aguas; el valor de los cloruros es menor del valor máximo permitido (195 mg/l), el valor de la conductividad no supera el límite máximo permitido (750 µsiemens/cm) aunque esta cercano a este; el valor de pH oscila en un rango de 6.5 – 8.4, por lo que los suelos no se verían afectados al ser regados con dichas aguas; el valor del RAS está dentro del rango establecido (0 - 10), sin embargo, es importante mencionar que altos contenidos de iones de sodio en las aguas de regadío, afecta la permeabilidad del suelo y causa problemas de infiltración; el valor de sodio se encuentra dentro de los límites establecidos (138 meq/l); y el valor de sulfato en transición a época lluviosa, indica que existe una disminución del 50% del valor de sulfato de época seca, es decir, existe una disminución de la salinidad de las aguas.

Por lo tanto el agua del Río Sucio en el tramo de estudio es apto para riego en base a la Normativa Nacional del Decreto N° 51 (ver Anexo 1)

### V.3.2 APTITUDES DE USO DE AGUA CRUDA PARA POTABILIZAR

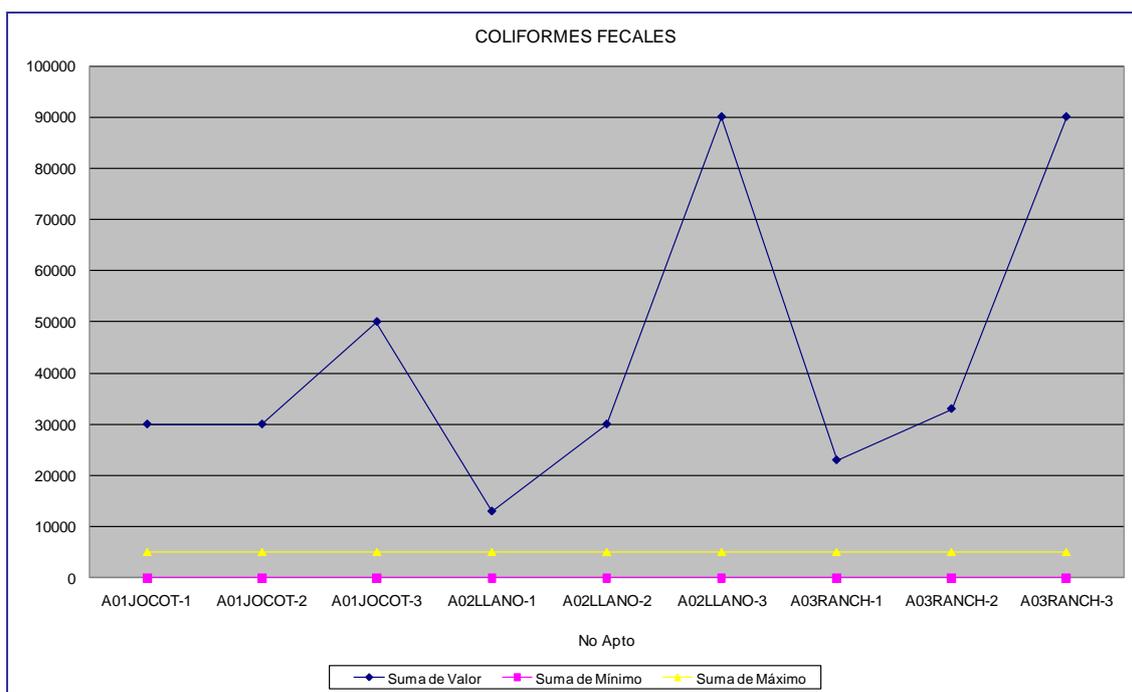
En la Tabla 5.17, se resumen los resultados de los parámetros para la evaluación de aptitud de uso de agua cruda para potabilizar.

**Tabla 5. 17 Resultados aptitud agua cruda para potabilización (ver Anexo 31)**

PARÁMETRO	UNIDADES	RANGO	01 JOCOT 1	02 LLANO 1	03 RANCH 1	01 JOCOT 2	02 LLANO 2	03 RANCH 2	01 JOCOT 3	02 LLANO 3	03 RANCH 3
DBO <sub>5</sub>	mg/L	De 3 a 4	4	4	4	2	1	2	4	4	3
Coliformes fecales	NMP/100 ml	5,000	30,000	13,000	23,000	30,000	30,000	33,000	50,000	90,000	90,000
Oxígeno Disuelto	mg/L	4-6.5	5.7	6.78	6.27	5.3	4.9	4.95	5.5	4.5	4.7
pH	U de pH	6.5 a 9.2	7.604	7.578	7.586	7.616	7.816	7.695	8.047	7.93	7.838
Cloruros	mg/L	50 a 250	38.92	37.93	36.54	41.7	41.5	41.7	31.38	31.57	30.78
Color aparente	unidades de Co-Pt	20 a 150	60	55	51	47.5	44	44.5	196	203.5	216
Turbidez	UNT	10 a 250	17	16	14	10	8,5	11	70	79	81,5
Fenoles	mg/L	0,005	0.04	0.02	0.04	0.002	0.002	0.002	1	1.1	1.2

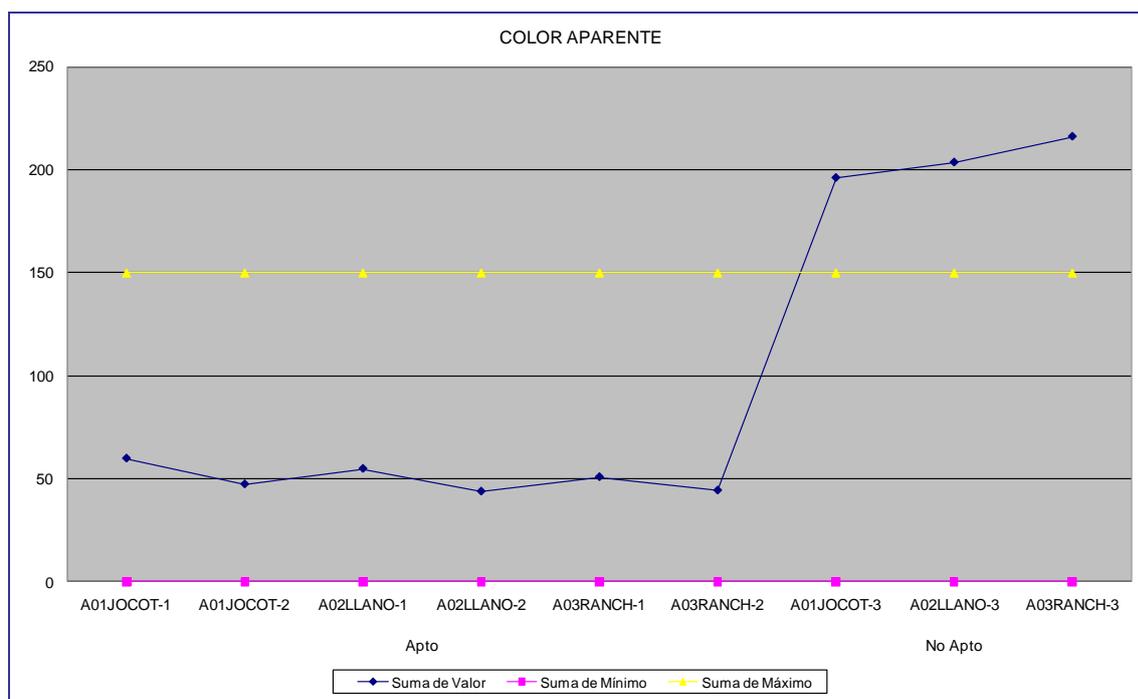
Con relación a la Tabla 5.17, se determina:

- ✓ El valor de coliformes fecales esta fuera de los límites superiores (5,000 NMP/100 ml) en todos los muestreos realizados. Lo cual es un indicador de alta presencia de flora de origen fecal, contaminación por líquidos, efluentes de la explotación o por proyecciones de las deyecciones. La variación del valor de coliformes fecales, entre los límites establecidos por el Decreto No.51, se muestran en la Figura 5 -5.



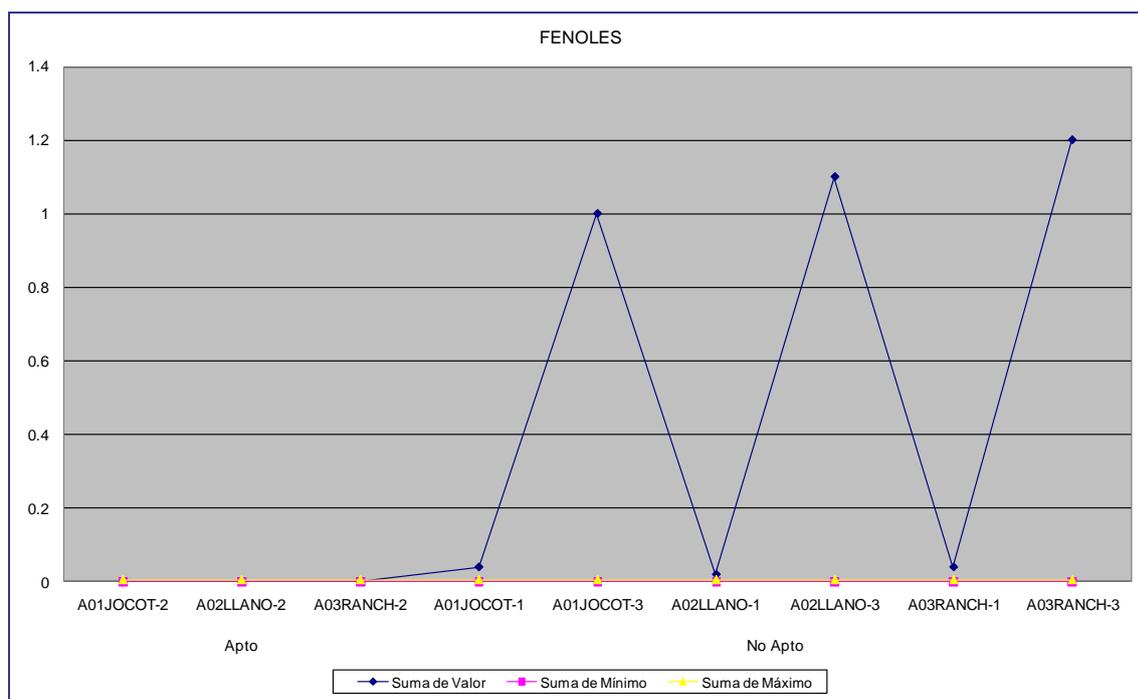
**Figura 5 - 5 Grafico de control para parámetro Coliformes fecales para aptitud de uso para agua cruda para potabilizar.**

- ✓ El valor de color aparente resulto apto para los dos primeros muestreos realizados en época seca, sin embargo, para el muestreo en transición a época lluviosa se detecto fuera del límite máximo (150 unidades de Co-Pt), debido a la gran cantidad de materia en suspensión que arrastra el rio en esta época. La variación del valor del color aparente, entre los límites establecidos por el Decreto No.51, se muestran en la Figura 5 -6.



**Figura 5 - 6 Grafico de control para parámetro Color aparente para aptitud de uso para agua cruda para potabilizar.**

- ✓ El valor de  $DBO_5$  se encuentra en el límite máximo (4 mg/l), sin embargo, no se excede este. Esta prueba indica la cantidad de oxígeno consumido en la degradación bioquímica de la materia orgánica mediante procesos biológicos aerobios. El aumento de la  $DBO_5$ , al igual que la DQO ocasiona disminución del oxígeno disuelto, afectando la vida acuática.
- ✓ El valor de los fenoles, en 6 de los 9 muestreos realizados, se encuentra fuera del límite superior (0.005 mg/l). Los fenoles pueden estar en el agua como resultado de contaminación industrial y cuando reaccionan con el cloro que se añade como desinfectante forman clorofenoles que son un serio problema porque dan al agua muy mal olor y sabor. La variación del valor de fenoles, entre los límites establecidos por el Decreto No.51, se muestran en la Figura 5 -7.



**Figura 5 - 7 Grafico de control para parámetro fenoles para aptitud de uso para agua cruda para potabilizar.**

- ✓ El valor del Oxígeno Disuelto es cercano al límite inferior permisible (4 mg/l), esto está ligado a los resultados obtenidos de  $DBO_5$ , a consecuencia de estos muchos peces y otros organismos no pueden sobrevivir. Para el análisis de éste resultado, se toma en cuenta, únicamente el límite inferior, ya que según adaptación del DGSNET/MARN del Decreto No.51, el límite superior no tiene un efecto negativo sobre el sistema.
- ✓ El valor de cloruros se encuentra dentro de los límites establecidos (0-250 mg/l, según adaptación del DGSNET/MARN del Decreto No.51), sin embargo los cloruros indican algún tipo de contaminación por aguas servidas, pero que pudieron haber sido depuradas por el recorrido del río hasta los puntos donde fueron tomadas las muestras; el valor del pH se encuentra dentro de los límites permisibles, ya que oscila en un pH entre 6.5 y 9.2; y el valor de turbidez se encuentra dentro de los límites aceptables (10-250 UNT) para que el agua sea apta para potabilizar.

### V.3.3 APTITUD DE USO DE AGUA PARA CONTACTO HUMANO

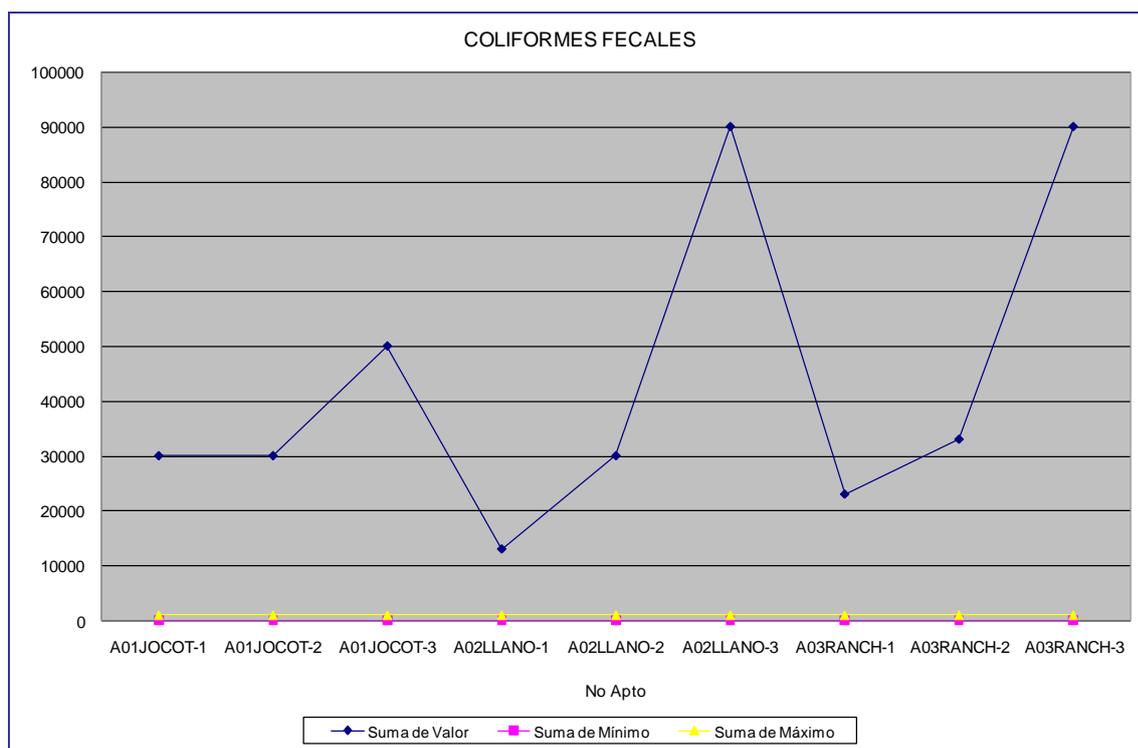
En la Tabla 5.18, se resumen los resultados de los parámetros para la evaluación de aptitud de uso de agua para contacto humano.

**Tabla 5. 18 Resultado aptitud agua para contacto humano (ver Anexo 31)**

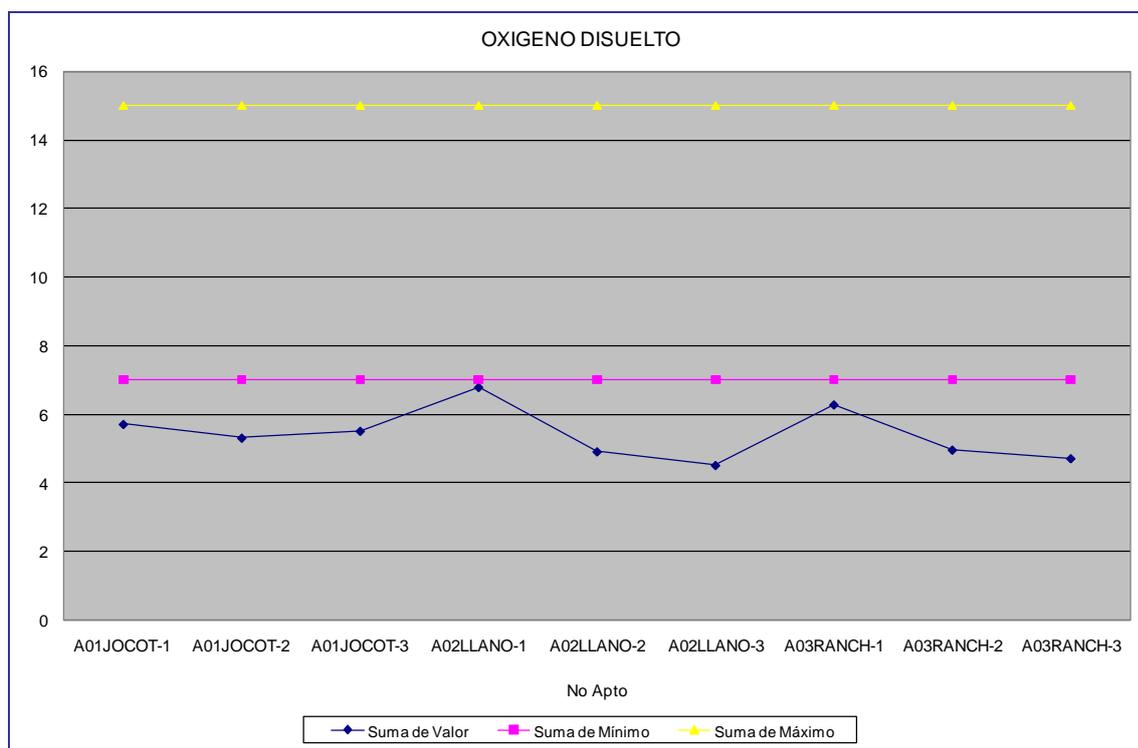
PARÁMETRO	UNIDADES	RANGO	01 JOCOT 1	02 LLANO 1	03 RANCH 1	01 JOCOT 2	02 LLANO 2	03 RANCH 2	01 JOCOT 3	02 LLANO 3	03 RANCH 3
Coliformes fecales	UFC por 100ml	≤1000	30,000	13,000	23,000	30,000	30,000	33,000	50,000	90,000	90,000
Oxígeno Disuelto	mg/L	≥7	5.7	6.78	6.27	5.3	4.9	4.95	5.5	4.5	4.7
Turbidez	FAU	≤10	17	16	14	10	8.5	11	70	79	81.5

Con relación a la Tabla 5.18 se determina que únicamente en 2 de los 9 muestreos realizados, los valores de turbidez están dentro de los límites establecidos (Menor o igual a 10 UNT), en los 7 muestreos restantes, los valores de turbidez superan el límite máximo (10 UNT), indicando presencia de materia de naturaleza orgánica o mineral en suspensión en el agua, lo que crea un ambiente perfecto para el desarrollo de la flora bacteriana y puede predisponer un estancamiento de las aguas, siendo una fuente perfecta de contaminación del ser humano; además, el valor de coliformes fecales, en todos los muestreos supera la cantidad 1,000 UFC/100 ml indicando que en las aguas del Rio Sucio existe contaminación por aguas residuales, presencia de heces fecales, y propiciando así el desarrollo de enfermedades de origen bacteriano y un peligro para la salud de los pobladores que estén en contacto con estas; así mismo, el valor de oxígeno disuelto supera el límite mínimo permitido (7 mg/l), indicando que el agua contiene carga contaminante de tipo orgánica y que no es un buen soporte para el desarrollo de vida acuática.

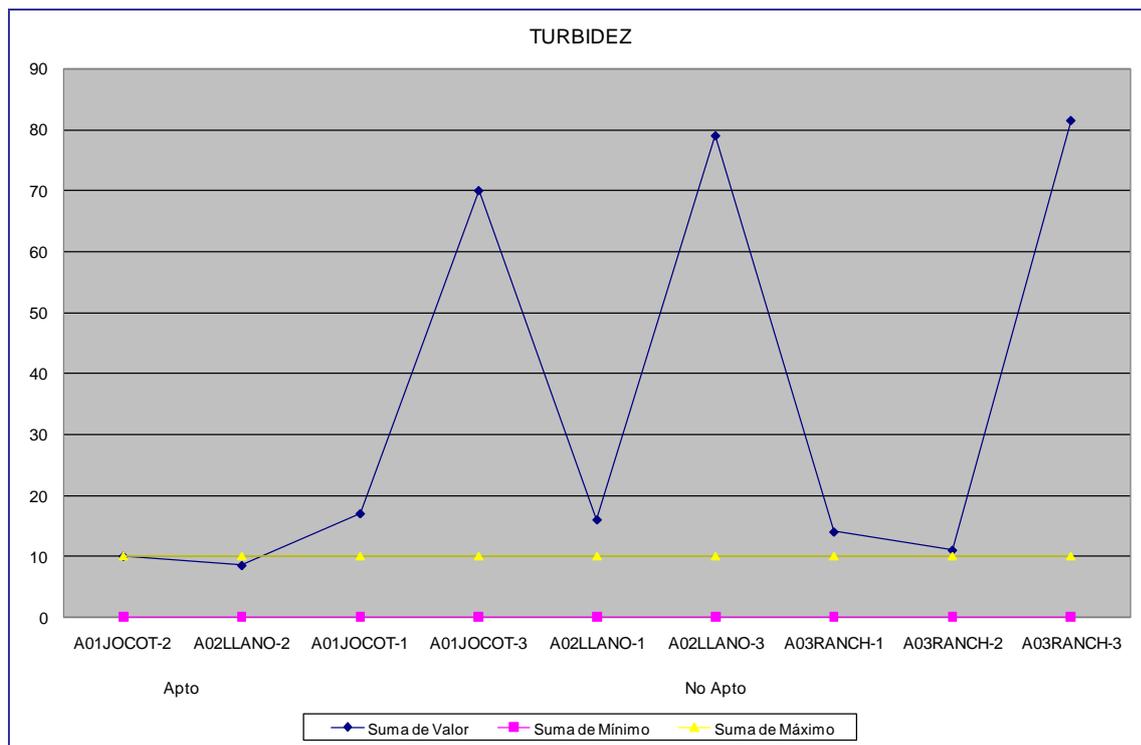
La variación del valor de coliformes fecales, oxígeno disuelto y turbidez se muestran en la Figura 5 -8, 5 -9, 5 -10, respectivamente.



**Figura 5 - 8 Grafico de control para parámetro Coliformes fecales para aptitud de uso del agua para contacto humano.**



**Figura 5 - 9 Grafico de control para parámetro Oxigeno Disuelto para aptitud de uso del agua para contacto humano.**



**Figura 5 - 10 Grafico de control para parámetro Turbidez para aptitud de uso del agua para contacto humano.**

#### **V.4. RESULTADOS DE ANALISIS DEL COEFICIENTE DE DISPERSION LONGITUDINAL.**

Para el cálculo del coeficiente de dispersión longitudinal en el Río Sucio, se tuvieron en consideración diferentes aspectos:

- ✓ Según la teoría citada en el Capítulo I, sección I. 5.4.3. el sistema se ha considerado un sistema abierto-abierto, ya que se tiene dispersión tanto aguas arriba como aguas abajo en cada punto de medición. Para el caso en estudio se considero que no hay variación en el coeficiente de dispersión en  $z$ , y el impulso del trazador se inyecta en  $z=0$  y  $t=0$ .
- ✓ También se tomaron en cuenta dos procedimientos para el cálculo de dicho coeficiente, el método empírico propuesto por Fischer; el cual no involucra los datos experimentales, del estudio de trazadores, sino únicamente los parámetros hidráulicos; y el método propuesto por H.Scott Fogler (ver sección I.5.4.2) el cual involucra completamente todo el estudio de dispersión (datos experimentales del estudio de trazadores y parámetros hidráulicos).
- ✓ Se calculo el valor promedio de concentración, para los datos obtenidos por duplicado en cada punto de estudio (ver capítulo IV).
- ✓ Los datos tabulados, en el capítulo IV, para concentraciones y tiempos en cada uno de los puntos de estudio, fueron depurados, para el cálculo de regresiones de las curvas  $C$  vs.  $t$ , con la finalidad de obtener curvas mejor definidas.

## V.4.1 PROCEDIMIENTO PARA EL CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE DISPERSIÓN LONGITUDINAL.

### V.4.1.1 PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO SEGÚN ECUACION EMPIRICA DE FISCHER

Tabla 5. 19 Procedimiento general del cálculo del coeficiente de dispersión longitudinal según ecuación empírica de Fischer<sup>2</sup> (Ver Anexo 25)

PASO	ECUACION	OBSERVACIONES
1	$\bar{U}$	Se obtiene la velocidad media a partir de los aforos realizados en cada punto de muestreo. [m/s]
2	B	Ancho del río determinado mediante una medición directa de éste, para cada punto de muestreo. [m]
3	D	Radio hidráulico, obtenido al ingresar los datos del aforo para cada punto en el programa de análisis de aforo <sup>3</sup> [m]
4	$u^* = \bar{u}/10$	Velocidad de corte obtenida a partir de una regla general donde la misma es 1/10 la velocidad media.
5	$E_x = \frac{0.011 \times \bar{u}^2 \times B^2}{d \times u^*} \pm 50\%$	Sustituir los datos en la presente ecuación y obtener directamente el coeficiente de dispersión longitudinal, [m <sup>2</sup> /s]
6	$\pm 50\%$	Determinar el +50% y -50% y ese será el rango entre el cual se deberá obtener el coeficiente de dispersión.

<sup>2</sup> Esta ecuación empírica fue utilizada para validar los valores del coeficiente de dispersión obtenidos por el Método propuesto por H.Scott Fogler.

<sup>3</sup> “Software para el manejo de bases de datos hidrológicos H.O.M.S. versión G06.3.01”, desarrollado por El Centro Nacional de Referencia de Bélgica Sección Hidrológica.

### V.4.1.2 PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO SEGÚN METODO PROPUESTO POR H.SCOTT FOGLER

Tabla 5. 20 Procedimiento general del cálculo del coeficiente de dispersión longitudinal según método propuesto por H.Scott Fogler.

PASO	ECUACION	OBSERVACIONES
1	$C(t)$	Calcular la función de la concentración respecto al tiempo, graficando y obteniendo la regresión que mas se ajuste para dicha grafica
2	$E(t) = \frac{C(t)}{\int_0^{\infty} C(t) dt}$	Calcular la función E (t), dividiendo la función de concentración obtenida, entre la integral de dicha función respecto al tiempo en los limites exactos en que la curva intercepta el eje de las coordenadas.
3	$tm = \int_0^{\infty} tE(t) dt$	Calcular el tiempo de residencia medio, integrando la multiplicación del tiempo con la función E(t), en los límites determinados anteriormente.
4	$\sigma^2 = \int_0^{\infty} (t - tm)^2 E(t) dt$	Calcular la varianza, es decir la dispersión de los datos, obteniendo el área bajo la curva de la función, utilizando los límites definidos anteriormente.
5	$\frac{\sigma^2}{tm^2} = \frac{2}{pe_r} + \frac{8}{pe_r^2}$	A partir de la ecuación para sistema abierto-abierto, se calcula el número de Peclet.
6	$tm = (1 + \frac{2}{pe_r})\tau$	Despejar $\tau$ a partir de $tm$ y el número de Peclet.
7	$pe = \frac{Ul}{D_a}$	A partir de la definición del numero de Peclet, se calcula finalmente el coeficiente de dispersión, despejando de la formula, y utilizando la velocidad media y la longitud del tramo del río, es decir la distancia entre cada punto de muestreo.

## V.4.2 RESULTADOS DE COEFICIENTE DE DISPERSIÓN LONGITUDINAL

### V.4.2.1. ESTUDIO DE DISPERSIÓN LONGITUDINAL EXPERIMENTAL

Para el cálculo del coeficiente de dispersión mediante ambos métodos se debe tener en cuenta los datos obtenidos en los aforos realizados.

Para el caso del estudio experimental los datos obtenidos se observan en la Tabla 5.21. (Ver Anexo 25-26).

**Tabla 5. 21 Datos obtenidos en los aforos realizados para el estudio de dispersión experimental**

<b>ESTUDIO EXPERIMENTAL - PUNTO 1</b>	
Distancia desde el punto de inyección	453 m
Velocidad media	0.413 m/seg.
Ancho de la sección	18.80 m
Caudal	3.910 m <sup>3</sup> /seg.
Radio hidráulico	0.499 m
<b>ESTUDIO EXPERIMENTAL - PUNTO 2</b>	
Distancia desde el punto de inyección	807 m
Velocidad media	0.445 m/seg.
Ancho de la sección	22.25 m.
Caudal	4.379 m <sup>3</sup> /seg.
Radio hidráulico	0.424 m.

### **A. PUNTO 1**

**Tabla 5. 22 Resultados a partir de la ecuación empírica, estudio experimental, punto 1.**

<b>ESTUDIO EXPERIMENTAL – PUNTO 1- Método Empírico</b>	
Ux	0.413 m/seg.
B	18.8 m
d	0.499 m
u*	0.0413 m/seg.
<b>E</b>	<b>32.17791423 m<sup>2</sup>/seg.</b>
<b>+50%</b>	<b>48.266871</b>
<b>-50%</b>	<b>16.088957</b>

La ecuación empírica de Fischer, posee un porcentaje de variación de  $\pm 50$ . A partir de estos resultados, se obtiene el rango en el cual se debe encontrar el valor del coeficiente de dispersión (16.08 - 48.26 m<sup>2</sup>/seg.), tomando en cuenta que estos datos también servirán para validar los datos obtenidos por el método propuesto por H.Scott Fogler.

**Tabla 5. 23 Resultados a partir del método de H.Scott Fogler, estudio experimental, punto 1.**

ESTUDIO EXPERIMENTAL – Punto 1 – Método H.Scott Fogler	
C(t)	$a*x^{10}+b*x^9+c*x^8+d*x^7+e*x^6+f*x^5+g*x^4+h*x^3+i*x^2+j*x+k$
A	8.90528E-23
B	-2.4313E-19
C	2.85193E-16
D	-1.88855E-13
E	7.82817E-11
F	-2.13801E-08
G	3.95079E-06
H	-0.000492289
I	0.038424908
J	-1.495915854
K	21.61015548
Límites	42.87762
	520.12806
$\int_{42.87762}^{520.12806} C(t) dt$	2055.031296
$E(t) = \frac{C(t)}{\int_0^{\infty} C(t) dt}$	4.3334058E-26(X <sup>10</sup> -2730.1738X <sup>9</sup> +3202508.5X <sup>8</sup> - 2.1207049E9X <sup>7</sup> +8.7904822E11X <sup>6</sup> - 2.400831E14X <sup>5</sup> +4.4364526E16X <sup>4</sup> - 5.5280576E18X <sup>3</sup> +4.3148433E20X <sup>2</sup> - 1.6798069E22X+2.4266665E23

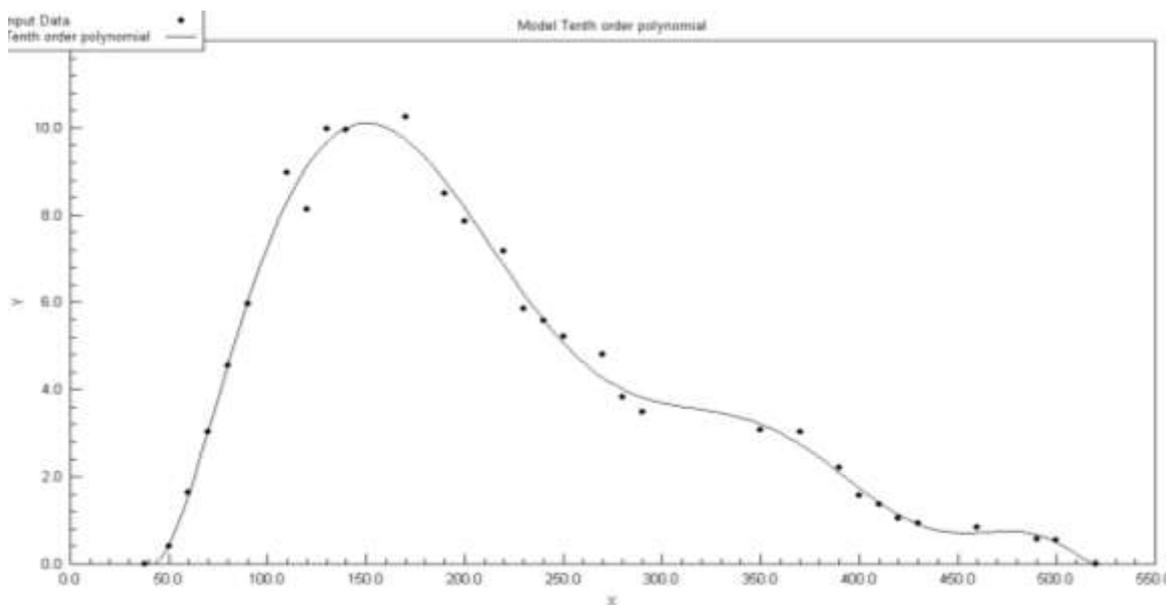
**Tabla 5. 23 Resultados a partir del método de H.Scott Fogler, estudio experimental, punto 1 (Continuación).**

<b>ESTUDIO EXPERIMENTAL – Punto 1 – Método H.Scott Fogler</b>	
$tm = \int_0^{\infty} tE(t)dt$	210.36131 seg.
$\sigma^2 = \int_0^{\infty} (t - tm)^2 E(t)dt$	9340.7969 seg <sup>2</sup>
$\frac{\sigma^2}{tm^2} = \frac{2}{pe_r} + \frac{8}{pe_r^2}$	Pe <sub>r</sub> =12.505601
$tm = (1 + \frac{2}{pe_r})\tau$	181.35716 seg.
$D_a = \frac{Ul}{pe_r}$	<b>14.960417 m<sup>2</sup>/seg.</b>
<b>Comprobación:</b> $\int_0^{\infty} E(t)dt = 1$	<b>1.0001838458452</b>

Para el desarrollo de este método se debe calcular una regresión de los datos experimentales, en este caso la regresión obtenida es una regresión polinómica de grado 10.

Para el cálculo de los límites de integración, se hace uso de dicha regresión igualándola a cero y obteniendo los puntos de intercepción con el eje x.

A continuación se muestra la grafica (Figura 5-11) de los datos obtenidos experimentalmente y su respectiva regresión.



**Figura 5 - 11 Grafica de datos y regresión para punto 1 estudio experimental.**

En este punto detector, el coeficiente de dispersión obtenido por el método de H.Scott Fogler, es  $14.9604 \text{ m}^2/\text{s}$ , se encuentra, un 7.14% abajo del límite inferior ( $16.088957 \text{ m}^2/\text{seg}$ ) definido por la ecuación empírica de Fischer, es decir en un nivel de error del 53.51%, respecto al valor proporcionado por la ecuación empírica ( $32.1779 \text{ m}^2/\text{seg}$ ).

A partir del valor obtenido en el número de Peclet se comprueba que el fenómeno de transporte dominante para este punto de estudio, es la dispersión mecánica (ver Capítulo I, sección I.5.4.2.)

Los datos de las Tablas 5.24 y 5.25, muestran la normalización de residuos de la regresión utilizada, para ajustar los datos experimentales, haciendo uso de resultados estadísticos. En la figura 5–12 se visualiza la obtención de una línea recta al normalizar las variables de regresión, para el punto 1 en el estudio experimental.

**Tabla 5. 24 Resultados de las variables de regresión para el punto1, estudio experimental.**

Variable	Valor	Error estándar	t-ratio	Prob(t)
A	8.90528E-23	7.75704E-23	1.148025484	0.2645
B	-2.4313E-19	2.14593E-19	-1.132983394	0.27062
C	2.85193E-16	2.5678E-16	1.110650736	0.27989
D	-1.88855E-13	1.74187E-13	-1.084206184	0.29117
E	7.82817E-11	7.37635E-11	1.061253349	0.30122
F	-2.13801E-08	2.02374E-08	-1.05646262	0.30335
G	3.95079E-06	3.6129E-06	1.093523772	0.28716
H	-0.000492289	0.000410267	-1.199925201	0.24419
I	0.038424908	0.028022129	1.371234426	0.18549
J	-1.495915854	1.025938909	-1.458094474	0.16034
K	21.61015548	15.10770219	1.430406505	0.16804
<b>Número de observaciones</b>	31			
<b>Número de observaciones faltantes</b>	0			
<b>Tolerancia Residual</b>	0.0000000001			
<b>Error estándar de estimación</b>	0.375696550535011			
<b>Coefficiente de Determinación Multiple (R<sup>2</sup>)</b>	0.9914261844			
<b>Ajuste del Coeficiente de Determinacion Multiple (Ra<sup>2</sup>)</b>	0.9871392765			

**Tabla 5. 25 Análisis de varianza para el punto1, estudio experimental.**

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F Ratio	Prob(F)
Regresión	10	326.4304431	32.64304431	231.2683699	0
Error	20	2.822957962	0.141147898		
Total	30	329.253401			

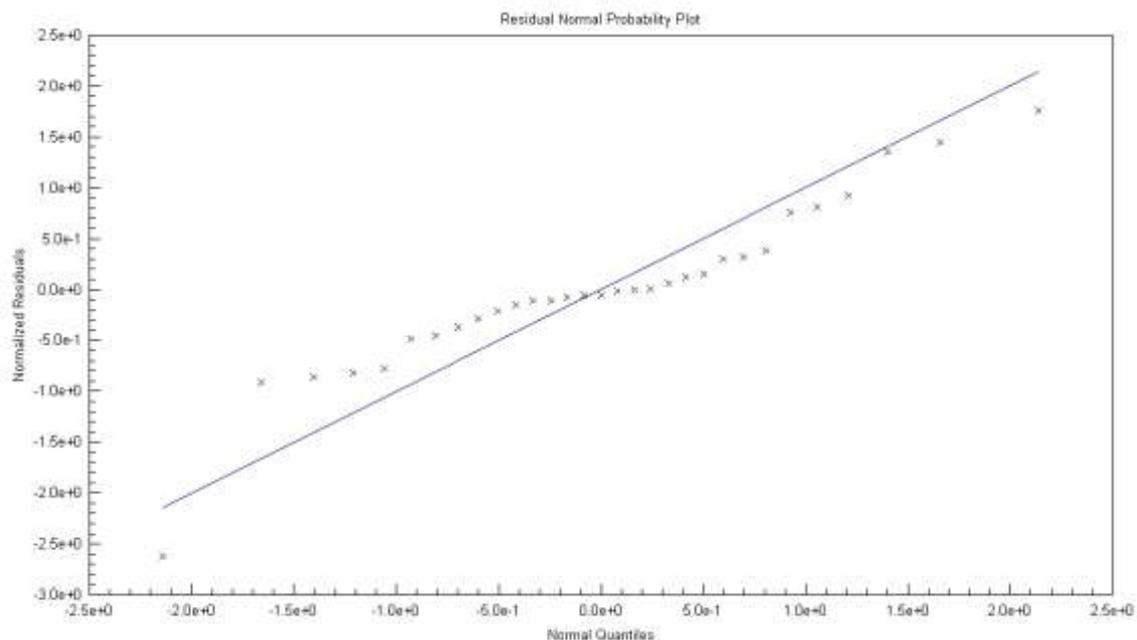


Figura 5 - 12 Grafica de normalización de reiduos de las variables de regresión para el punto 1, estudio experimental

## B. PUNTO 2

Tabla 5. 26 Resultados a partir de la ecuación empírica, estudio experimental, punto 2.

ESTUDIO EXPERIMENTAL – PUNTO 2- Método Empírico	
Ux	0.445m/seg.
B	22.25m
d	0.424m
u*	0.0445 m/seg.
<b>E</b>	<b>57.15403154m<sup>2</sup>/seg.</b>
<b>+50%</b>	<b>85.731047</b>
<b>-50%</b>	<b>28.577016</b>

A partir de estos resultados, se obtiene el rango en el cual se debe encontrar el valor del coeficiente de dispersión (28.57 – 85.73 m<sup>2</sup>/seg), tomando en cuenta el porcentaje de error del 50%; en la fórmula empírica.

Tabla 5. 27 Resultados a partir del método de Fogler, estudio experimental, punto 2

ESTUDIO EXPERIMENTAL – Punto 2 – Método H.Scott Fogler	
C(t)	$a*x^{10}+b*x^9+c*x^8+d*x^7+e*x^6+f*x^5+g*x^4+h*x^3+i*x^2+j*x+k$
A	3.6403E-23
B	-9.0808E-20
C	9.6677E-17
D	-5.7372E-14
E	2.0816E-11
F	-4.7774E-09
G	6.9547E-07
H	-6.2002E-05
I	0.00276514
J	0.01898622
K	0.08524449
Limites	0
	497.97832
$\int_0^{497.47832} C(t) dt$	1749.685
$E(t) = \frac{C(t)}{\int_0^{\infty} C(t) dt}$	$2.0805433E-26(x^{10}-2494.5274x^9+2655759.9x^8-1.5760181E9x^7+5.7183008E11x^6-1.3123527E14x^5+1.9104886E16x^4-1.7032059E18x^3+7.5959204E19x^2+5.2155709E20x+2.3416916E21)$
$tm = \int_0^{\infty} tE(t) dt$	219.48528426887seg
$\sigma^2 = \int_0^{\infty} (t - tm)^2 E(t) dt$	13905.71334366seg <sup>2</sup>
$\frac{\sigma^2}{tm^2} = \frac{2}{pe_r} + \frac{8}{pe_r^2}$	Pe <sub>r</sub> =9.766381

Tabla 5. 27 Resultados a partir del método de Fogler, estudio experimental, punto 2 (Continuación).

ESTUDIO EXPERIMENTAL – Punto 2 – Método H.Scott Fogler	
$tm = (1 + \frac{2}{pe_r})\tau$	182.1781seg
$D_a = \frac{Ul}{pe_r}$	36.770529 m <sup>2</sup> /seg
Comprobación: $\int_0^{\infty} E(t)dt = 1$	1.0123820001396

Para el desarrollo de este método se debe calcular una regresión de los datos experimentales, para este caso, al igual que para el punto 1, la regresión obtenida es una regresión polinómica de grado 10.

Para el cálculo de los límites de integración, se hace uso de dicha regresión igualándola a cero y obteniendo los puntos de intercepción con el eje x.

A continuación se muestra la grafica (Figura 5-13) de los datos obtenidos experimentalmente y su respectiva regresión.

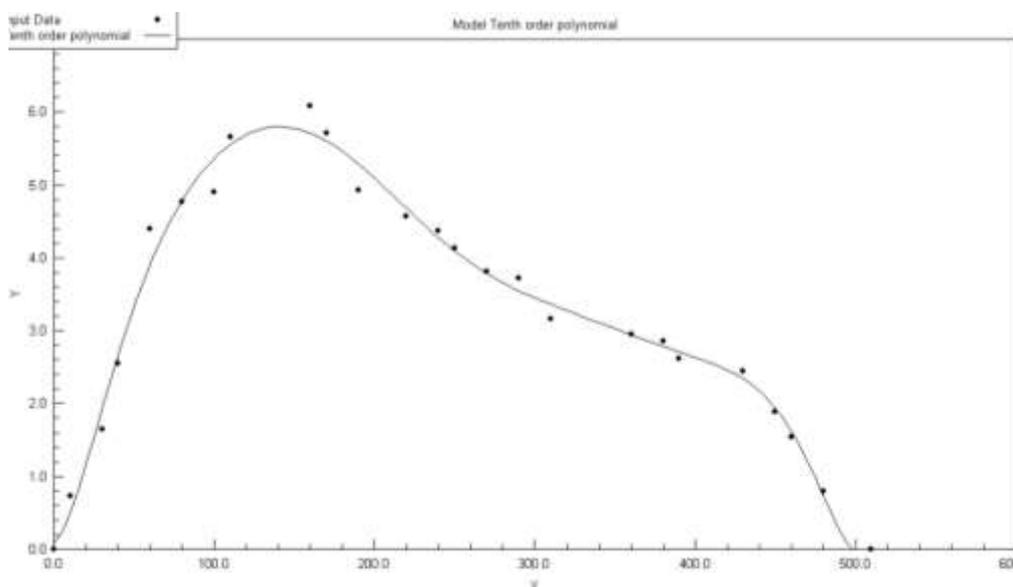


Figura 5 - 13 Grafica de datos y regresión para punto 2, estudio experimental.

El valor del coeficiente de dispersión longitudinal, se encuentra dentro del rango de los datos obtenidos mediante la ecuación empírica de Fischer.

A partir del valor obtenido en el número de Peclet, se comprueba que para este punto, el fenómeno de transporte dominante es la dispersión mecánica (ver Capítulo I, sección I.5.4.2.)

Los datos de las Tablas 5.28 y 5.29, muestran la normalización de la regresión utilizada, para ajustar los datos experimentales, haciendo uso de resultados estadísticos. En la figura 5–14 se visualiza la obtención de una línea recta al normalizar los residuos de regresión, para el punto 2 en el estudio experimental.

**Tabla 5. 28 Resultados de las variables de regresión para el punto 2, estudio experimental.**

Variable	Valor	Error estándar	t-ratio	Prob(t)
A	3.6403E-23	3.73568E-23	0.974465431	0.34636
B	-9.08082E-20	9.47237E-20	-0.958663912	0.35399
C	9.66774E-17	1.02461E-16	0.943554701	0.3614
D	-5.73717E-14	6.16983E-14	-0.929874424	0.36819
E	2.08163E-11	2.26354E-11	0.919635568	0.37334
F	-4.77735E-09	5.20228E-09	-0.918319045	0.374
G	6.95474E-07	7.41095E-07	0.938440995	0.36393
H	-6.20017E-05	6.22901E-05	-0.995370624	0.33645
I	0.002765139	0.002772996	0.997166698	0.33561
J	0.018986219	0.051944677	0.365508455	0.7202
K	0.08524449	0.262249092	0.325051611	0.74995

**Tabla 5. 28 Resultados de las variables de regresión para el punto 2, estudio experimental (Continuación).**

Variable	Valor	Error estándar	t-ratio	Prob(t)
Número de observaciones	25			
Número de observaciones faltantes	0			
Tolerancia Residual	0.0000000001			
Error estándar de estimación	0.271044825186455			
Coefficiente de Determinación Múltiple ( $R^2$ )	0.9864433584			
Ajuste del Coeficiente de Determinación Múltiple ( $R_a^2$ )	0.9767600429			

**Tabla 5. 29 Análisis de varianza para el punto2, estudio experimental.**

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F Ratio	Prob(F)
Regresión	10	74.83940288	7.483940288	101.8704146	0
Error	14	1.028514162	0.073465297		
Total	24	75.86791704			

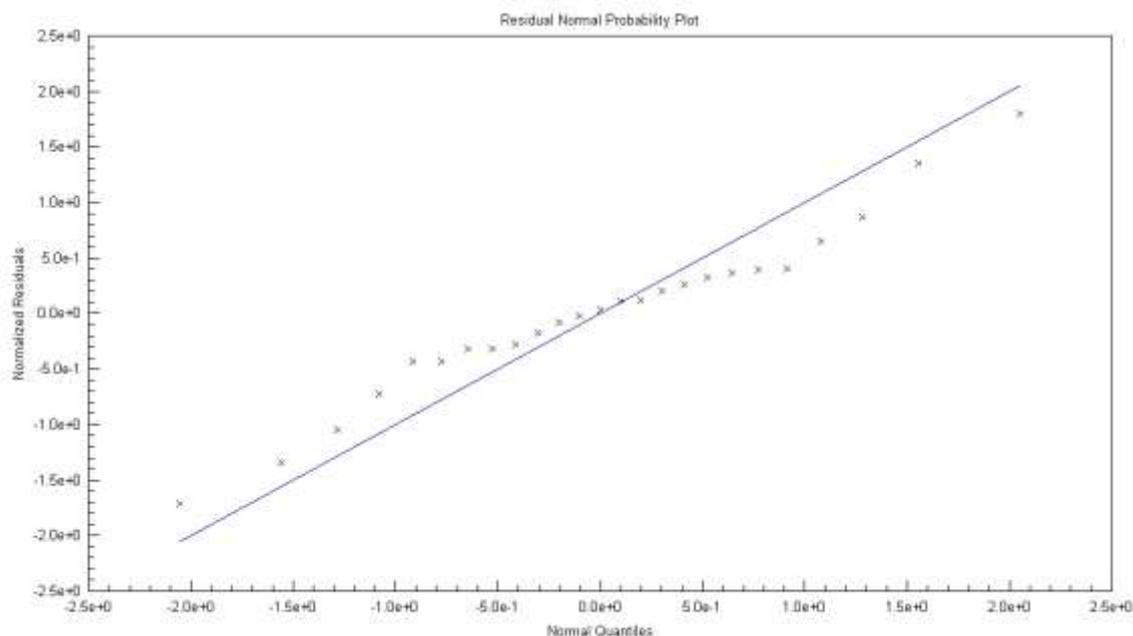


Figura 5 - 14 Grafica de normalización de residuos de las variables de regresión para el punto 2, estudio experimental

### C. COMPARACION RESULTADO FINAL ENTRE PUNTO 1 Y 2, ESTUDIO EXPERIMENTAL

Tabla 5. 30 Resultados obtenidos para el punto 1 y 2, en el estudio experimental

ESTUDIO EXPERIMENTAL- COMPARACION PUNTO 1 Y 2			
Muestreo	Empírica		Fogler
Punto 1	32.17791423 m <sup>2</sup> /seg	+50%=48.266871	14.960417 m <sup>2</sup> /seg
		-50%=16.088957	
Punto 2	57.15403154 m <sup>2</sup> /seg	+50%=85.731047	36.770529 m <sup>2</sup> /seg
		-50%=28.577016	

Como se mencionó en el punto 2, el valor obtenido por el método de H.Scott Fogler se encuentra dentro del rango establecido a partir de la ecuación empírica, caso contrario en el punto 1, que se encuentra fuera del límite inferior (16.08 m<sup>2</sup>/seg), es decir se encuentra en un porcentaje de error del 53.51%, con respecto al valor empírico.

En base a los datos obtenidos para el punto detector 1, según la ecuación de Fischer, se considera que se está frente a un fenómeno de baja dispersión, en una relación del 7.14% menor que el límite inferior.

Para el análisis de ambos puntos en el estudio experimental se tiene que, el coeficiente de dispersión longitudinal en el punto 2, es 59.31% mayor que en el punto 1, esto considerando la mayor dispersión en el sistema en el punto 2.

#### V.4.2. 2 ESTUDIO DE DISPERSIÓN LONGITUDINAL # 1

Para el cálculo del coeficiente de dispersión longitudinal mediante ambos métodos se debe tener en cuenta los datos obtenidos en los aforos realizados.

Para el caso del estudio de dispersión #1 los datos obtenidos se observan en la Tabla 5.31. (Ver Anexo 27-28)

**Tabla 5. 31 Datos obtenidos en los aforos realizados para el estudio de dispersión #1**

<b>ESTUDIO DE DISPERSION #1 - PUNTO 1</b>	
Distancia desde el punto de inyección	1,111 m
Velocidad media	0.290 m/seg.
Ancho de la sección	25.10 m
Caudal	3.625 m <sup>3</sup> /seg.
Radio hidráulico	0.483 m
<b>ESTUDIO DE DISPERSION #1 -PUNTO 2</b>	
Distancia desde el punto de inyección	4,150 m
Velocidad media	0.289 m/seg.
Ancho de la sección	31.00 m.
Caudal	4.046 m <sup>3</sup> /seg.
Radio hidráulico	0.439 m.

## A. PUNTO 1

Tabla 5. 32 Resultados a partir de la ecuación empírica, estudio de dispersión #1, punto 1

ESTUDIO DE DISPERSION # 1 – PUNTO 1- Método Empírico	
Ux	0.290 m/seg
B	25.920 m
D	0.483 m
u*	0.0290 m/seg
<b>E</b>	<b>44.3724641 m<sup>2</sup>/seg</b>
<b>+50%</b>	<b>66.55869615</b>
<b>-50%</b>	<b>22.18623205</b>

A partir de estos resultados, se obtiene el rango en el cual se debe encontrar el valor del coeficiente de dispersión (22.18 – 66.55 m<sup>2</sup>/seg), tomando en cuenta el porcentaje de error del 50%, de la fórmula empírica, estos datos también servirán para validar los datos obtenidos por el método de H.Scott Fogler.

Tabla 5. 33 Resultados a partir del método de Fogler, estudio de dispersión #1, punto 1

ESTUDIO DE DISPERSION # 1 - PUNTO 1 - Método H.Scott Fogler	
C(t)	$a*x^{10}+b*x^9+c*x^8+d*x^7+e*x^6+f*x^5+g*x^4+h*x^3+i*x^2+j*x+k$
<b>A</b>	-5.06663E-26
<b>B</b>	3.03004E-22
<b>C</b>	-7.69261E-19
<b>D</b>	1.07561E-15
<b>E</b>	-8.958E-13
<b>F</b>	4.45085E-10
<b>G</b>	-1.2205E-07
<b>H</b>	1.38675E-05

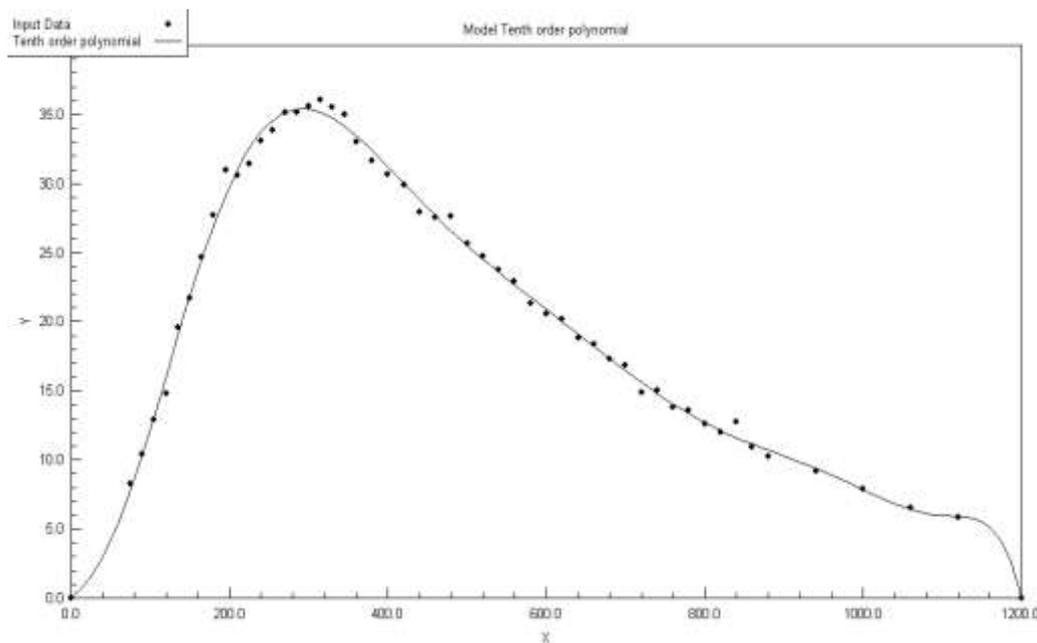
Tabla 5. 33 Resultados a partir del método de Fogler, estudio de dispersión #1, punto 1 (Continuación).

ESTUDIO DE DISPERSION # 1 - PUNTO 1 - Método H.Scott Fogler	
I	0.000165924
J	0.052188876
K	0.031894792
Limites	0 1199.9633
$\int_0^{1199.9633} C(t) dt$	21043.436419656
$E(t) = \frac{C(t)}{\int_0^{\infty} C(t) dt}$	-2.4076989366284E-30*(x^10- 5980.3957592*x^9+15182895.053*x^8- 212293189047*x^7+17680399800000*x^6- 8784637072800000*x^5+2408910659400000000*x^4- 27370370781000000000*x^3-3.2748427944E+21*x^2- 1.0300518744E+24*x-6.2950754169E+23)
$tm = \int_0^{\infty} tE(t) dt$	489.6095142 seg
$\sigma^2 = \int_0^{\infty} (t - tm)^2 E(t) dt$	71459.37246 seg <sup>2</sup>
$\frac{\sigma^2}{tm^2} = \frac{2}{pe_r} + \frac{8}{pe_r^2}$	Pe <sub>r</sub> =9.526316963
$tm = (1 + \frac{2}{pe_r})\tau$	404. 65445 seg.
$D_a = \frac{Ul}{pe_r}$	<b>33.821046 m<sup>2</sup>/seg</b>
<b>Comprobación:</b> $\int_0^{\infty} E(t) dt = 1$	<b>0.99999999968284</b>

Para el desarrollo de este método se debe calcular una regresión de los datos experimentales, en este caso la regresión obtenida es una polinómica de grado 10.

Para el cálculo de los límites de integración, se hace uso de dicha regresión igualándola a cero y obteniendo los puntos de intercepción con el eje x.

A continuación se muestra la grafica (Figura 5-15) de los datos obtenidos experimentalmente y su respectiva regresión.



**Figura 5 - 15 Grafica de datos y regresión para punto 1 estudio de dispersión #1.**

El valor del coeficiente de dispersión longitudinal obtenido, se encuentra dentro de los límites establecidos mediante la ecuación empírica de Fischer.

Y según el valor obtenido en el número de Peclet, se comprueba que el fenómeno de transporte dominante es la dispersión mecánica (ver Capitulo I, sección I.5.4.2.)

Los datos de las Tablas 5.34 y 5.35, muestran la normalización de residuos de la regresión utilizada, para ajustar los datos experimentales, haciendo uso de resultados estadísticos. En la figura 5-16 se visualiza la obtención de una línea recta al normalizar los residuos de las variables de regresión, para el punto 1 en el estudio de dispersión # 1.

**Tabla 5. 34 Resultados de las variables de regresión para el punto 1, estudio dispersión #1**

Variable	Valor	Error estándar	t-ratio	Prob(t)
A	-5.06663E-26	1.63334E-26	- 3.101993885	0.00347
B	3.03004E-22	9.69228E-23	3.126243339	0.00325
C	-7.69261E-19	2.45729E-19	- 3.130527769	0.00321
D	1.07561E-15	3.47571E-16	3.094649466	0.00354
E	-8.958E-13	3.00412E-13	- 2.981907508	0.0048
F	4.45085E-10	1.63325E-10	2.725150119	0.00941
G	-1.2205E-07	5.53599E-08	- 2.204673461	0.03315
H	1.38675E-05	1.11668E-05	1.241856189	0.22135
I	0.000165924	0.001205377	0.137653235	0.89119
J	0.052188876	0.054064526	0.965307189	0.34005
K	0.031894792	0.64148305	0.049720398	0.96059
<b>Número de observaciones</b>	52			
<b>Número de observaciones faltantes</b>	0			
<b>Tolerancia Residual</b>	0.0000000001			
<b>Error estándar de estimación</b>	0.642102864577865			
<b>Coefficiente de Determinación Multiple (R<sup>2</sup>)</b>	0.9967515733			
<b>Ajuste del Coeficiente de Determinación Multiple (Ra<sup>2</sup>)</b>	0.9959592741			

**Tabla 5. 35 Análisis de varianza para el punto 1, estudio dispersión #1**

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F Ratio	Prob(F)
Regresión	10	5186.888702	518.6888702	1258.049456	0
Error	41	16.90413964	0.412296089		
Total	51	5203.792842			

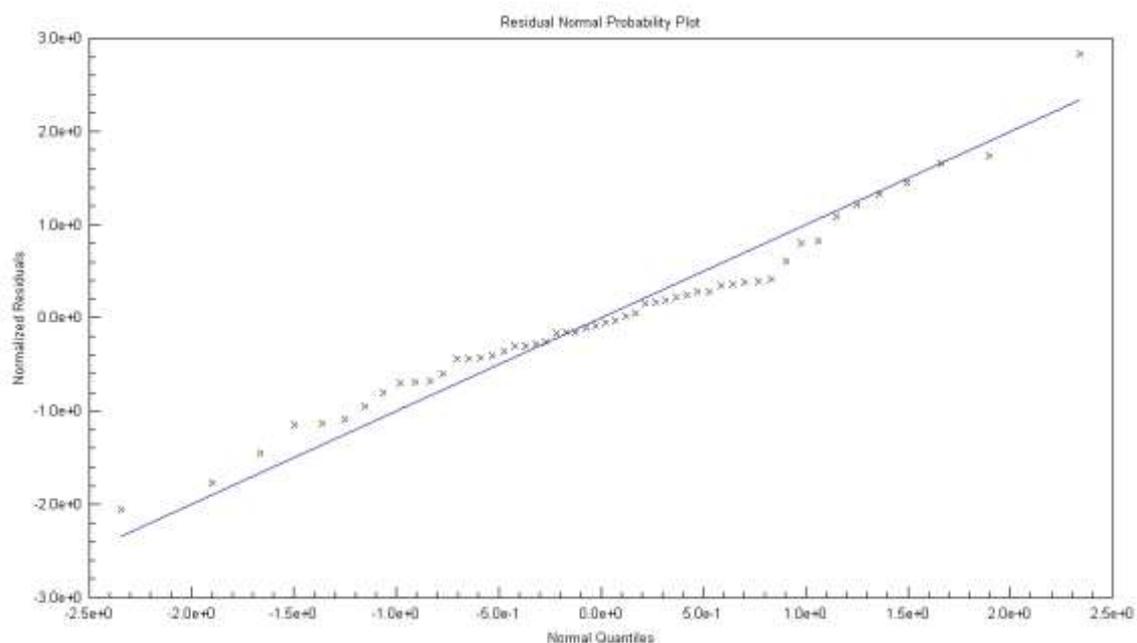


Figura 5 - 16 Grafica de normalización de residuos de las variables de regresión para el punto 1, estudio de dispersión #1

## B. PUNTO 2

Tabla 5. 36 Resultados a partir de la ecuación empírica, estudio de dispersión #1, punto 2

ESTUDIO DE DISPERSION # 1 – PUNTO 2- Método Empírico	
Ux	0.289 m/seg
B	31.839 m
D	0.439 m
u*	0.0289 m/seg
<b>E</b>	<b>73.40824571 m<sup>2</sup>/seg</b>
<b>+50%</b>	<b>110.1123686</b>
<b>-50%</b>	<b>36.70412286</b>

A partir de estos resultados, se obtiene el rango en el cual se debe encontrar el valor del coeficiente de dispersión (36.70 – 110.11 m<sup>2</sup>/seg), tomando en cuenta un porcentaje de error del 50%, en de la formula empírica.

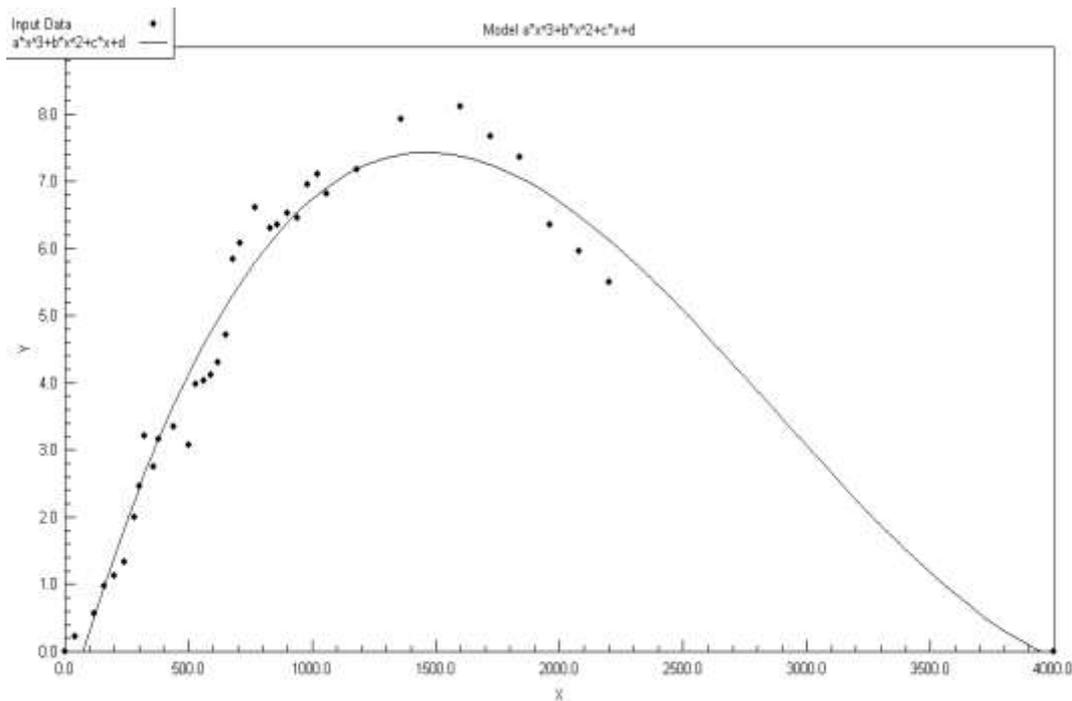
Tabla 5. 37 Resultados a partir del método de Fogler, estudio de dispersión #1, punto 2

ESTUDIO DE DISPERSION # 1 - PUNTO 2 - Método H.Scott Fogler	
C(t)	$a*x^3+b*x^2+c*x+d$
A	6.8062E-10
B	-5.8825E-06
C	0.01284401
D	-0.90321703
Limites	3947.094 72.72
$\int_{72.72}^{3947.094} C(t) dt$	17239.60143
$E(t) = \frac{C(t)}{\int_0^{\infty} C(t) dt}$	$3.9479973436E-14*(X^3-8642.9174501*x^2+18871066.636*X-1327052315.6)$
$tm = \int_0^{\infty} tE(t) dt$	1722.697957 seg
$\sigma^2 = \int_0^{\infty} (t - tm)^2 E(t) dt$	668047.0269 seg <sup>2</sup>
$\frac{\sigma^2}{tm^2} = \frac{2}{pe_r} + \frac{8}{pe_r^2}$	$Pe_r = 11.87691632$
$tm = (1 + \frac{2}{pe_r})\tau$	1474.4154 seg.
$D_a = \frac{Ul}{pe_r}$	<b>100.9816 m<sup>2</sup>/seg</b>
<b>Comprobación:</b> $\int_0^{\infty} E(t) dt = 1$	<b>1.0000000001293</b>

Para el desarrollo de este método se debe calcular una regresión de los datos experimentales, para este caso, la regresión es una polinómica de grado 3.

Para el cálculo de los límites de integración, se hace uso de dicha regresión igualándola a cero y obteniendo los puntos de intercepción con el eje x.

A continuación se muestra la grafica (Figura 5-17) de los datos obtenidos experimentalmente y su respectiva regresión.



**Figura 5 - 17 Grafica de datos y regresión para punto 2 estudio de dispersión #1.**

El valor del coeficiente de dispersión obtenido, se encuentra dentro de los límites establecidos mediante la ecuación de empírica de Fischer.

Y según el valor obtenido para el número de Peclet se comprueba que el fenómeno de transporte dominante es la dispersión mecánica (ver Capítulo I, sección I.5.4.2.)

Los datos de las Tablas 5.38 y 5.39, muestran la normalización de residuos de la regresión utilizada, para ajustar los datos experimentales, haciendo uso de resultados estadísticos. En la figura 5–18 se visualiza la obtención de una línea recta al normalizar las variables de regresión, para el punto 2 en el estudio de dispersión # 1.

**Tabla 5. 38 Resultados de las variables de regresión para el punto 2, estudio de dispersión #1**

Resultado de las variables de regresión				
Variable	Valor	Error estándar	t-ratio	Prob(t)
<b>A</b>	6.80619E-10	8.39535E-11	8.107091331	0.0
<b>B</b>	-5.88253E-06	4.80118E-07	-12.25227231	0.0
<b>C</b>	0.012844007	0.000680273	18.88066174	0.0
<b>D</b>	- 0.903217029	0.235265944	-3.839132059	0.00053
<b>Número de observaciones</b>	37			
<b>Número de observaciones faltantes</b>	0			
<b>Error estandar de la estimación</b>	0.498830803868765			
<b>Ceficiente de Determiación Multiple (R<sup>2</sup>)</b>	0.9638838326			
<b>Ajuste del Coeficiente de Determinación Multiple (Ra<sup>2</sup>)</b>	0.9606005446			

**Tabla 5. 39 Análisis de varianza para el punto 2, estudio de dispersión #1**

Análisis de varianza					
Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F Ratio	Prob(F)
Regresión	3	219.151025	73.05034168	293.5727379	0
Error	33	8.211461639	0.248832171		
Total	36	227.3624867			

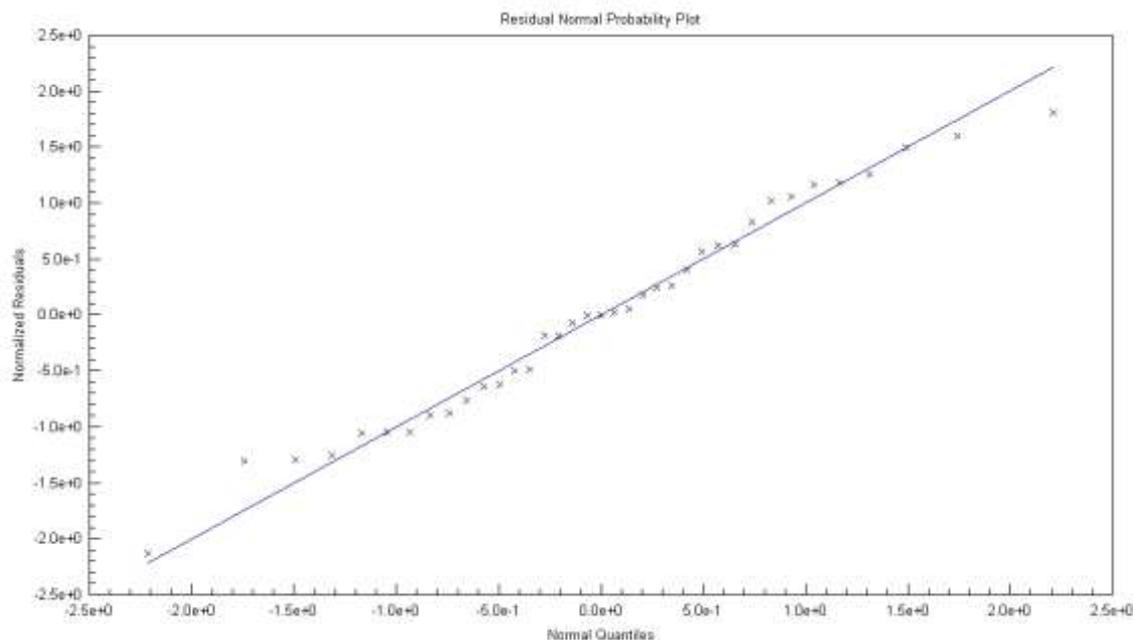


Figura 5 - 18 Grafica de normalización de residuos de las variables de regresión para el punto 2, estudio de dispersión #1

### C. COMPARACION RESULTADO FINAL ENTRE PUNTO 1 Y 2, ESTUDIO DE DISPERSION # 1.

Tabla 5. 40 Resultados obtenidos para el punto 1 y 2, en el estudio de dispersión #1

ESTUDIO DE DISPERSION # 1 - COMPARACION PUNTO 1 Y 2			
Muestreo	Empírica		Fogler
Punto 1	44.3724641	+50%=66.558696	33.821046
	m <sup>2</sup> /seg	-50%=22.186232	
Punto 2	73.40824571	+50%=110.11236	100.9816
	m <sup>2</sup> /seg	-50%=36.704122	

Como se menciona en ambos puntos, el valor obtenido por el método de H.Scott Fogler se encuentra dentro del rango establecido a partir de la ecuación empírica, es decir están dentro del margen de error de 50%.

Para el análisis de ambos puntos, en el estudio de dispersión #1, se tiene que, el coeficiente de dispersión longitudinal en el punto 2, es 66.50% mayor que el coeficiente de dispersión longitudinal en el punto 1, esto tomando en cuenta

que se ha considerado que la mayor dispersión en el sistema, es la obtenida en el punto 2.

En este estudio se obtuvo una velocidad menor que el estudio de dispersión experimental, así como también los puntos de muestreo, tenían una mayor distancia de separación.

#### V.4.2.3. ESTUDIO DE DISPERSION LONGITUDINAL # 2

Para el cálculo del coeficiente de dispersión mediante el método de la ecuación empírica de Fischer y el método de H. Scott Fogler, se debe tener en cuenta los datos obtenidos en los aforos realizados.

Para el caso del estudio de dispersión #2 los datos obtenidos se observan en la Tabla 5.41. (Ver Anexo 29-30).

**Tabla 5. 41 Datos obtenidos en los aforos realizados para el estudio de dispersión #2**

<b>ESTUDIO DE DISPERSION #2 - PUNTO 1</b>	
Distancia desde el punto de inyección	1,111 m
Velocidad medio	0.417 m/seg.
Ancho de la sección	26.75 m
Caudal	7.219m <sup>3</sup> /seg.
Radio hidráulico	0.633m
<b>ESTUDIO DE DISPERSION #2 - PUNTO 2</b>	
Distancia desde el punto de inyección	4,150 m
Velocidad medio	0.423m/seg.
Ancho de la sección	34.90 m.
Caudal	7.567 m <sup>3</sup> /seg.
Radio hidráulico	0.507m.

## A. PUNTO 1

Tabla 5. 42 Resultados a partir de la ecuación empírica, estudio de dispersión #2, punto 1

ESTUDIO DE DISPERSION # 2- PUNTO 1- Método Empírico	
Ux	0.417 m/seg.
B	27.327 m
D	0.633 m
u*	0.02417 m/seg.
<b>E</b>	<b>54.11391358 m<sup>2</sup>/seg</b>
<b>+50%</b>	<b>81.17087036</b>
<b>-50%</b>	<b>27.05695679</b>

A partir de estos resultados, se obtiene el rango en el cual se debe encontrar el valor del coeficiente de dispersión (27.05 – 81.17 m<sup>2</sup>/seg), tomando en cuenta el porcentaje de error del 50%, de la fórmula empírica, estos datos también servirán para validar los datos obtenidos a partir del método de H.Scott Fogler.

Tabla 5. 43 Resultados a partir del método de Fogler, estudio de dispersión #2, punto 1

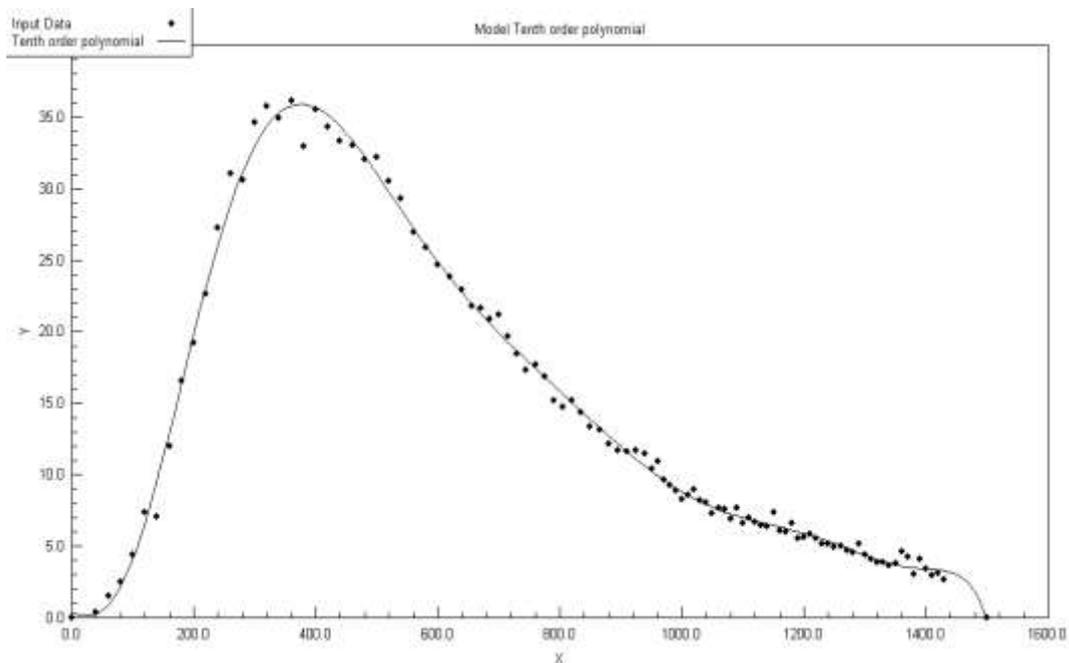
ESTUDIO DE DISPERSION # 2 - PUNTO 1 - Método H.Scott Fogler	
C(t)	$a*x^{10}+b*x^9+c*x^8+d*x^7+e*x^6+f*x^5+g*x^4+h*x^3+i*x^2+j*x+k$
<b>A</b>	-6.77275E-27
<b>B</b>	5.2211E-23
<b>C</b>	-1.7137E-19
<b>D</b>	3.11126E-16
<b>E</b>	-3.38817E-13
<b>F</b>	2.23077E-10
<b>G</b>	-8.36782E-08

Tabla 5. 43 Resultados a partir del método de Fogler, estudio de dispersión #2, punto 1 (Continuación)

ESTUDIO DE DISPERSION # 2 - PUNTO 1 - Método H.Scott Fogler	
H	1.46427E-05
I	-0.000406139
J	-0.003970528
K	0.333067319
Limites	0 1498.5686
$\int_0^{1498.5686} C(t) dt$	22655.78068
$E(t) = \frac{C(t)}{\int_0^{\infty} C(t) dt}$	-2.989415602349E-31(X^10- 7708.975865424X^9+25302875.993799X^8- 45937938801X^7+50026502922179X^6- 3.2937392099777X^5+1.2355123769358E19X^4- 2.161998867496E21X^3+5.9966598005627E22X^2+5.862500817751 1E23X -4.9177527752992E25
$tm = \int_0^{\infty} tE(t) dt$	581.3973356 seg
$\sigma^2 = \int_0^{\infty} (t - tm)^2 E(t) dt$	92905.49359 seg <sup>2</sup>
$\frac{\sigma^2}{tm^2} = \frac{2}{pe_r} + \frac{8}{pe_r^2}$	Pe <sub>r</sub> = 10.14561051
$tm = (1 + \frac{2}{pe_r})\tau$	485. 65948 seg.
$D_a = \frac{Ul}{pe_r}$	<b>45.663787 m<sup>2</sup>/seg.</b>
<b>Comprobación:</b> $\int_0^{\infty} E(t) dt = 1$	<b>0.9999999997178</b>

Para el desarrollo de este método se debe calcular una regresión de los datos experimentales, en este caso la regresión obtenida es polinómica de grado 10. Para el cálculo de los límites de integración, se hace uso de dicha regresión igualándola a cero y obteniendo los puntos de intercepción con el eje x.

A continuación se muestra la gráfica (Figura 5-19) de los datos obtenidos experimentalmente y su respectiva regresión.



**Figura 5 - 19 Grafica de datos y regresión para punto 1 estudio de dispersión #2.**

El valor del coeficiente de dispersión obtenido, se encuentra dentro de los límites establecidos mediante la ecuación empírica de Fischer.

Según el valor obtenido para el número de Peclet se comprueba que para dicho punto de estudio, predomina el fenómeno de transporte de dispersión mecánica (ver Capítulo I, sección I.5.4.2.)

Los datos de las Tablas 5.44 y 5.45, muestran la normalización de los residuos de la regresión utilizada, para ajustar los datos experimentales, haciendo uso de resultados estadísticos. En la figura 5-20 se visualiza la obtención de una línea recta al normalizar las variables de regresión, para el punto 1 en el estudio de dispersión # 2.

**Tabla 5. 44 Resultados de las variables de regresión para el punto 1, estudio de dispersión #2**

Variable	Valor	Error estándar	t-ratio	Prob(t)
A	-6.77275E-27	1.06645E-27	-6.350752145	0.0
B	5.2211E-23	8.02597E-24	6.505257674	0.0
C	-1.7137E-19	2.58178E-20	-6.63768648	0.0
D	3.11126E-16	4.63336E-17	6.714924239	0.0
E	-3.38817E-13	5.07804E-14	-6.672208102	0.0
F	2.23077E-10	3.496E-11	6.380909517	0.0
G	-8.36782E-08	1.49773E-08	-5.587002228	0.0
H	1.46427E-05	3.8162E-06	3.836984746	0.00023
I	- 0.000406139	0.000525878	-0.772306887	0.44193
J	- 0.003970528	0.032637168	-0.121656627	0.90344
K	0.333067319	0.709015278	0.469760425	0.63965
<b>Número de observaciones</b>	102			
<b>Número de observaciones faltantes</b>	0			
<b>Tolerancia Residual</b>	0.0000000001			
<b>Error estándar de estimación</b>	0.729676318580654			
<b>Coefficiente de Determinación Multiple (R<sup>2</sup>)</b>	0.9956140588			
<b>Ajuste del Coeficiente de Determinación Multiple (Ra<sup>2</sup>)</b>	0.9951320872			

**Tabla 5. 45 Análisis de varianza para el punto 1, estudio de dispersión #2**

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F Ratio	Prob(F)
Regresión	10	10998.41518	1099.841518	2065.711212	0
Error	91	48.45090522	0.53242753		
Total	101	11046.86609			

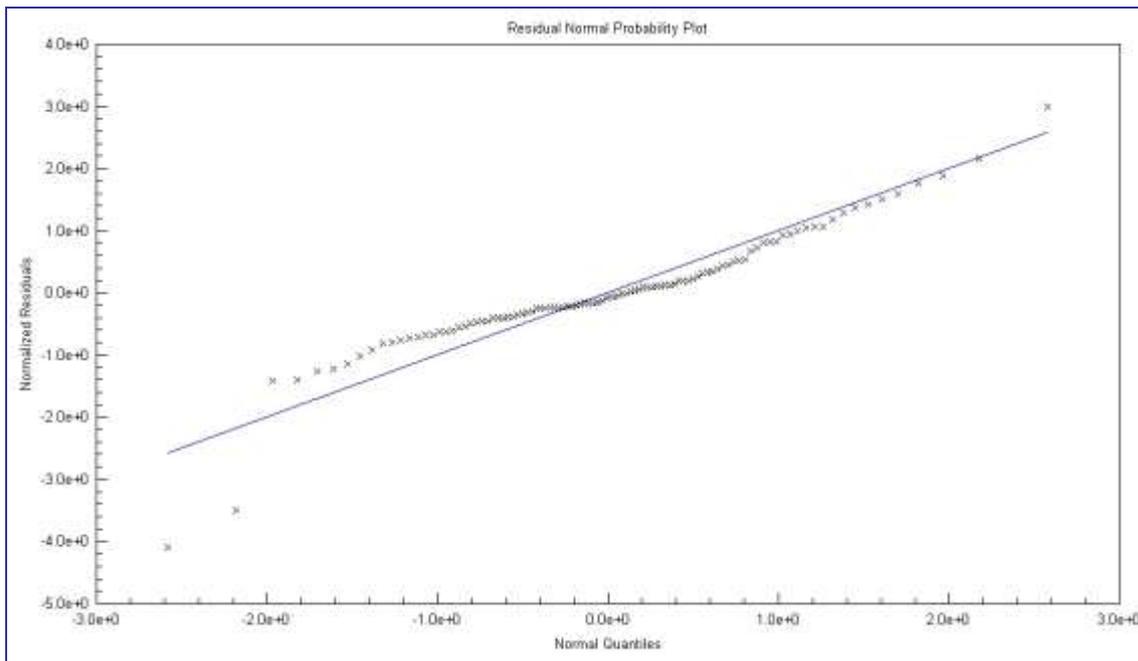


Figura 5 - 20 Gráfica de normalización de residuos de las variables de regresión para el punto 1, estudio de dispersión #2

## B. PUNTO 2

Tabla 5. 46 Resultados a partir de la ecuación empírica, estudio de dispersión #2, punto 2

ESTUDIO DE DISPERSION # 2- PUNTO 2- Método Empírico	
Ux	0.423 m/seg
B	35.253 m
D	0.507 m
u*	0.0423 m/seg
<b>E</b>	<b>114.0557685 m<sup>2</sup>/seg</b>
<b>+50%</b>	<b>171.0836528</b>
<b>-50%</b>	<b>57.02788426</b>

A partir de estos resultados, se obtiene el rango en el cual se debe encontrar el valor del coeficiente de dispersión (57.027 – 171.08 m<sup>2</sup>/seg), tomando en cuenta un porcentaje de error del 50%, en la fórmula empírica.

Tabla 5. 47 Resultados a partir del método de Fogler, estudio de dispersión #2, punto 2

ESTUDIO DE DISPERSION # 2 - PUNTO 2 - Método H.Scott Fogler	
C(t)	$a*x^{10}+b*x^9+c*x^8+d*x^7+e*x^6+f*x^5+g*x^4+h*x^3+i*x^2+j*x+k$
A	1.49655E-32
B	-3.11992E-28
C	2.6911E-24
D	-1.22363E-20
E	3.01836E-17
F	-3.30233E-14
G	-1.26983E-11
H	7.31505E-08
I	-7.23528E-05
J	0.029966328
K	0.026117504
Limites	0 4002.6986 539552
$\int_0^{4002.6986539552} C(t) dt$	16488.35517
$E(t) = \frac{C(t)}{\int_0^{\infty} C(t) dt}$	$9.0764021359097E-37(x^{10}-20847.414667156x^9+179820091x^8-817630874658.89x^7+2.01688159088E15x^6-2.2066310273085E18x^5-8.4850363103965E20x^4 + 4.8879423407617x^3 - 4.8346413425855E27x^2+2.0023613815993E30x+1.7451815296732E30$
$tm = \int_0^{\infty} tE(t) dt$	1713.897158 seg

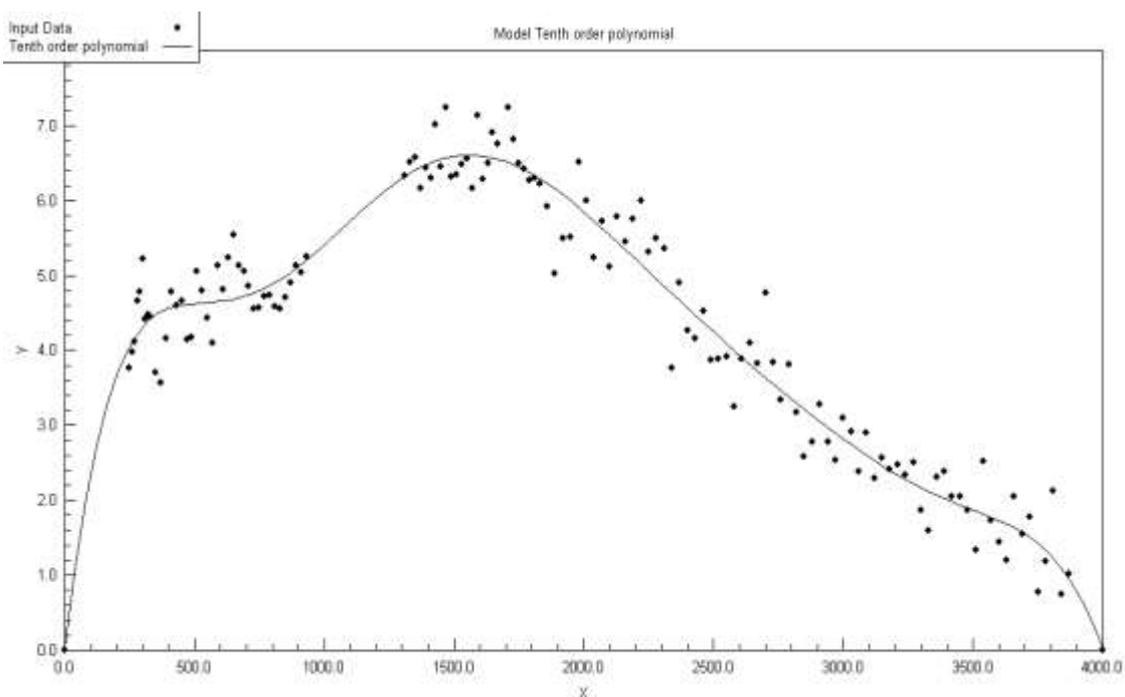
**Tabla 5. 47 Resultados a partir del método de Fogler, estudio de dispersión #2, punto 2 (Continuación)**

<b>ESTUDIO DE DISPERSION # 2 - PUNTO 2 - Método H.Scott Fogler</b>	
$\sigma^2 = \int_0^{\infty} (t - tm)^2 E(t) dt$	870787.9925 seg <sup>2</sup>
$\frac{\sigma^2}{tm^2} = \frac{2}{pe_r} + \frac{8}{pe_r^2}$	Pe <sub>r</sub> = 9.567329341
$tm = (1 + \frac{2}{pe_r})\tau$	1417.563 Seg
$D_a = \frac{Ul}{pe_r}$	<b>183.48381 m<sup>2</sup>/seg</b>
<b>Comprobación:</b> $\int_0^{\infty} E(t)dt = 1$	<b>0.99999999993112</b>

Para el desarrollo de este método se debe calcular una regresión de los datos experimentales, para este caso, al igual que para el punto 1, la regresión obtenida es una polinómica de grado 10.

Para el cálculo de los límites de integración, se hace uso de dicha regresión igualándola a cero y obteniendo los puntos de intercepción con el eje x.

A continuación se muestra la grafica (Figura 5-21) de los datos obtenidos experimentalmente y su respectiva regresión.



**Figura 5 - 21 Grafica de datos y regresión para punto 2, estudio de dispersión #2.**

En este punto detector, el coeficiente de dispersión longitudinal obtenido por el método de H.Scott Fogler,  $183.4838 \text{ m}^2/\text{s}$ , se encuentra un 7.24% arriba del límite superior ( $171.08 \text{ m}^2/\text{seg}$ ) definido por la ecuación empírica de Fischer, es decir en un nivel de error del 60.87%, respecto al valor proporcionado por la ecuación empírica ( $114.055 \text{ m}^2/\text{seg}$ ).

Según el valor obtenido del número de Peclet se comprueba que para este punto detector, predomina el fenómeno de transporte de dispersión mecánica (ver Capítulo I, sección I.5.4.2.)

Los datos de las Tablas 5.48 y 5.49, muestran la normalización de la regresión utilizada, para ajustar los datos experimentales, haciendo uso de resultados estadísticos. En la figura 5–22 se visualiza la obtención de una línea recta al normalizar las variables de regresión, para el punto 2 en el estudio de dispersión # 2.

**Tabla 5. 48 Resultados de las variables de regresión para el punto 2, estudio de dispersión #2**

Variable	Valor	Error estándar	t-ratio	Prob(t)
A	1.49655E-32	3.10295E-32	0.482298554	0.63044
B	-3.11992E-28	6.26663E-28	- 0.497861935	0.61946
C	2.6911E-24	5.41844E-24	0.496655085	0.62031
D	-1.22363E-20	2.61963E-20	- 0.467098228	0.64125
E	3.01836E-17	7.75722E-17	0.389103574	0.69787
F	-3.30233E-14	1.44814E-13	- 0.228040191	0.81999
G	-1.26983E-11	1.68826E-10	- 0.075215247	0.94016
H	7.31505E-08	1.17165E-07	0.624334734	0.53355
I	-7.23528E-05	4.35535E-05	- 1.661237818	0.09919
J	0.029966328	0.006990127	4.28695022	0.00004
K	0.026117504	0.413132042	0.063218297	0.94969
<b>Número de observaciones</b>	135			
<b>Número de observaciones faltantes</b>	0			
<b>Tolerancia Residual</b>	0.0000000001			
<b>Error estándar de estimación</b>	0.413983297816224			
<b>Coefficiente de Determinación Multiple (R<sup>2</sup>)</b>	0.9472643227			
<b>Ajuste del Coeficiente de Determinación Multiple (Ra<sup>2</sup>)</b>	0.9430114455			

**Tabla 5. 49 Análisis de varianza para el punto 2, estudio de dispersión #2**

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F Ratio	Prob(F)
Regresión	10	381.7279649	38.17279649	222.7349338	0
Error	124	21.25138919	0.171382171		
Total	134	402.979354			

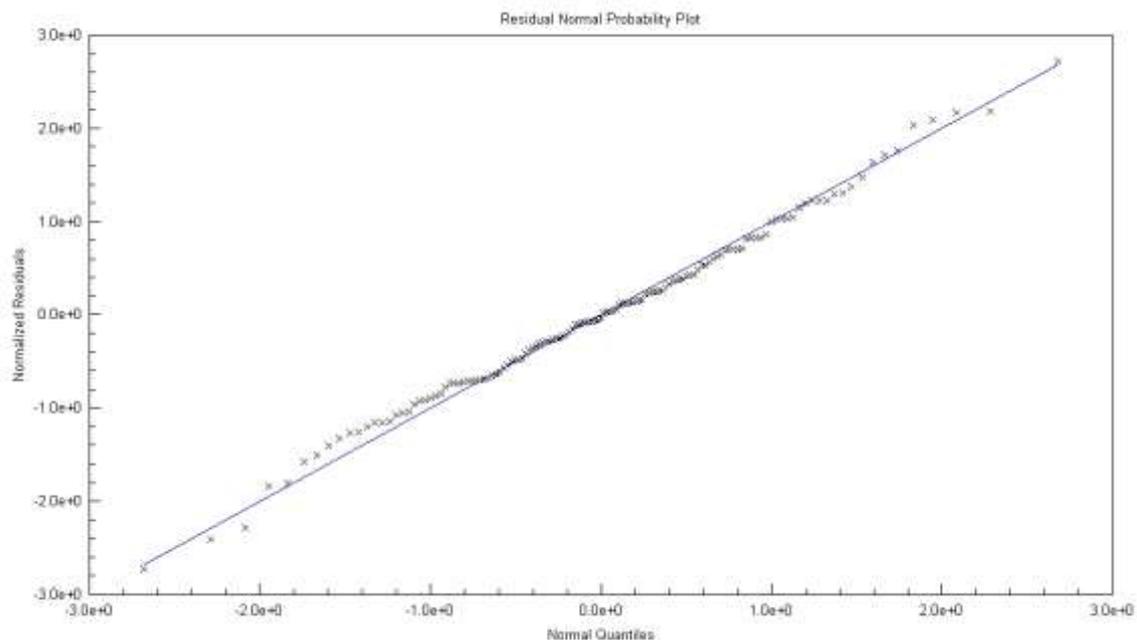


Figura 5 - 22 Grafica de normalización de resultados de las variables de regresión para el punto 2, estudio de dispersión #2

### C. COMPARACION RESULTADO FINAL ENTRE PUNTO 1 Y 2, ESTUDIO DE DISPERSIÓN # 2.

Tabla 5. 50 Resultados obtenidos para el punto 1 y 2, en el estudio de dispersión #2

ESTUDIO DE DISPERSION # 2 - COMPARACION PUNTO 1 Y 2			
Muestreo	Empírica		Fogler
Punto 1	54.11391358	+50%=81.170870	45.663787
	m <sup>2</sup> /seg	-50%=27.056956	m <sup>2</sup> /seg
Punto 2	114.0557685	+50%=171.08365	183.48381
	m <sup>2</sup> /seg	-50%=57.027884	m <sup>2</sup> /seg

Como se menciona en el punto 1, el valor obtenido por el método de H.Scott Fogler se encuentra dentro del rango establecido a partir de la ecuación empírica, es decir están dentro del intervalo de error de 50%. Caso contrario, en el punto 2, que se encuentra fuera del límite superior (171.08365 m<sup>2</sup>/seg), es decir se encuentra en un porcentaje de error del 60.87%, del valor empírico. En

base a los datos obtenidos para el punto detector 2, según la ecuación de Fischer, se considera que se está frente a un fenómeno de alta dispersión, en una relación del 7.24% mayor que el límite superior.

Para el análisis de ambos puntos en el estudio de dispersión #2, se tiene que, el coeficiente de dispersión en el punto 2, es 75.113% mayor que en el punto 1, esto tomando en cuenta que se ha considerado la mayor dispersión en el sistema (100%) en el punto 2.

En este estudio de dispersión, aunque se tienen iguales distancias entre los puntos de muestreo, se tienen una velocidad mayor (aproximadamente el doble) que en el estudio de dispersión #1, lo que ocasiona que para este estudio se tenga una mayor dispersión. Cabe destacar que la velocidad no es un parámetro controlable, sino es una característica del sistema en estudio.

### V.4.3 CONSOLIDADO DE PARÁMETROS OBTENIDOS EN ESTUDIOS DE DISPERSION

Tabla 5. 51 consolidado de los valores obtenidos para cada parámetro de los estudios de dispersión realizados.

Parámetros	Unidades	Estudio de Dispersión Experimental		Estudio de Dispersión # 1		Estudio de Dispersión # 2	
		Punto detector # 1	Punto detector # 2	Punto detector # 1	Punto detector # 2	Punto detector # 1	Punto detector # 2
L	M	453	807	1,111	4,150	1,111	4,150
V	m/s	0.413	0.445	0.290	0.289	0.417	0.423
$t_m$	S	210.3613	219.4852	489.6095	1722.6979	581.3973	1713.8971
$\sigma^2$	s <sup>2</sup>	9,340.796	13,905.713	71,459.372	66,8047.02	92,905.493	870,787.992
Pe		12.5056	9.7663	9.5263	11.8769	10.1456	9.5673
T	S	181.35716	182.1781	404.6544	1474.4154	485.6594	1417.5630
$D_a$	m <sup>2</sup> /s	14.960417	39.7705	33.8210	100.9816	45.6637	183.4838

Es muy común comparar las DTRs utilizando sus momentos en lugar de tratar de comparar todas sus distribuciones. Para este fin se usan normalmente dos momentos.

#### Primer momento: tiempo de residencia medio

Como se cita en el capítulo I, sección I 5.3.3, D; este momento da el tiempo promedio que las moléculas del efluente recorrieron el reactor.

A partir de los datos de la tabla 5.51, se tienen las siguientes observaciones:

- a) En el estudio experimental, se tiene que el  $t_m$  y  $\tau$  varían en un 4.15% y 0.45% respectivamente, del punto detector 1 al punto detector 2; y para el caso del estudio de dispersión #1 ambos aumentan en la misma magnitud del punto 1 al punto 2, en un 72%, y en el estudio de dispersión# 2, en un 65%.

Por lo que se tiene que el  $t_m$  y el  $\tau$ , varían en la misma proporción, en los estudios de dispersión #1 y #2, caso contrario se observa en el estudio experimental, esto se atribuye a que la distancia entre el primer punto detector y el punto de inyección fue muy corta, dificultando que el trazador se dispersará uniformemente

- b) Se observa que a distancias mayores, el tiempo espacial ( $\tau$ ), es mayor y a distancias menores este disminuye, lo cual se explica en la definición del tiempo espacial, a mayor volumen, este valor aumentara.

### **Segundo momento: varianza.**

Como se ha dado a conocer en el Capítulo I, en la sección I 3.3, D; el valor de este momento nos indica que tan “amplia” es la distribución; pues cuanto mayor es el valor de este momento, más amplia es la distribución.

A partir de los datos de la tabla 5.51, se tienen las siguientes observaciones:

- a) El estudio de dispersión que reporta mayor valor en cuanto a la varianza, es el punto 2 del estudio de dispersión 2; el cual reporta el mayor valor del coeficiente de dispersión longitudinal; teniéndose el caso contrario en el estudio de dispersión experimental en el punto detector # 1, con los valores de varianza y coeficiente de dispersión de menor valor.

- b) En cuanto el punto detector 1 del estudio de dispersión # 1, a pesar que su varianza ha sido mayor a la del punto detector 2 del estudio de dispersión experimental, se ha obtenido un valor del coeficiente de dispersión menor a este, motivo atribuible a la velocidad, pues a pesar que el cuerpo de agua distribuyo lo concentración de Rodamina WT, más ampliamente por la distancia recorrida, la proporcionalidad directa de la velocidad y la distancia con el coeficiente de dispersión contribuyo a que dicho valor fuera 14% menor que en el punto detector 2 del estudio experimental.

### **Velocidad y distancia:**

A partir de los datos de la tabla 5.51, se tienen las siguientes observaciones:

- a) Al relacionar la velocidad y la distancia con respecto al coeficiente de dispersión longitudinal, se tiene que el estudio de dispersión # 2 poseen las velocidades y distancias mayores, por lo que se han obtenido los valores de coeficiente de dispersión longitudinal más altos.
- b) En el estudio de dispersión # 1 se obtuvo valores de coeficiente de dispersión longitudinales 55% mayor en el punto detector 1 con referencia al punto detector 1 del estudio experimental y del 60% mayor en el punto detector 2 del estudio 1 que el punto detector 2 del estudio experimental, teniendo en cuenta que las distancias se aumentaron significativamente en ambos punto detectores, del estudio de dispersión #1 con referencia al punto de inyección. Y que la velocidad media en el estudio de dispersión 1 disminuye en un 30% en el punto detector 1 y en un 35% en el punto detector 2 con referencia a las velocidades medias del estudio experimental. Por lo que se observa que la variación en las velocidades no es tan significativa como en el caso de las distancia.

- c) Los valores del coeficiente de dispersión del estudio 1 no son los mismos a los obtenidos en el estudio de dispersión 2, a pesar que las distancias de los puntos detectores son las mismas, pero las velocidades del estudio de dispersión #1 se reduce en un 30% en el punto detector # 1, y en un 31 % en el punto detector 2, con respecto al estudio 2, por lo que se obtuvieron valores de coeficiente de dispersión en el estudio 1, un 26 % menor en el punto detector # 1 y un 45 % menor en el punto detector 2 con referencia al estudio # 2.
- d) Como se puede apreciar en el estudio de dispersión #2, al aumentar la distancia del punto detector 1 en un 60% y en el punto detector 2 en un 80%, con respecto al estudio de dispersión experimental, y al mantener las velocidades medias aproximadamente constantes, los coeficientes de dispersión aumentaron en un 67% en el punto detector 1 y en un 78% en el punto detector # 2, con lo se obtiene que dicho valor de coeficiente de dispersión longitudinal aumento en las mismas proporciones que lo hicieron las distancias.

**Numero de Peclet:**

Como se explica en el capítulo I del presente trabajo en la sección I.5.4.2, el número de Peclet es una característica de la naturaleza del fluido, con el cual se puede clasificar el cuerpo de agua en estudio, por sus características dispersivas o difusivas.

A partir de los datos de la tabla 5.51, se tienen las siguientes observaciones:

- a) en el presente estudio se han obtenido valores de número de Peclet que oscilan en un rango de 9 a 12; por lo que se tiene que el cuerpo de agua en estudio, predomina la dispersión mecánica en sentido del flujo.
- b) El número de peclet es un valor adimensional que relaciona implícitamente las variables longitud, velocidad y coeficiente de dispersión. En todos los estudios de dispersión realizados, se obtiene un valor de este casi constante.

## OBSERVACIONES

- ✓ Se observó que en época seca la realización del estudio con trazadores fluorescentes, es factible, debido a las condiciones de velocidad propias para estudios de esta naturaleza, no así para en época lluviosa, debido a que aumenta la turbulencia del efluente y el caudal del mismo.
- ✓ En todas las visitas de campo realizadas según los respectivos muestreos, se observó, a los lugareños realizar actividades como: lavar ropa en el Río, higiene personal, abrevadero de ganado, etc.
- ✓ Se observó que entre los sitios de muestreo del jocote y Llano existen Zonas muertas, por lo que se decidió, realizar los estudios de dispersión, aguas abajo de estas, para evitar estancamiento del trazador.
- ✓ La intensidad del color de la Rodamina WT, disminuye a medida avanza en su recorrido por el Río, dificultando cada vez mas la visibilidad de este.
- ✓ En algunas zonas del río se pudo observar, acumulación de basura, debido a la contaminación no puntual en el canal principal del efluente.
- ✓ Mediante las curvas obtenidas en el estudio de dispersión #1, debido a que no se obtuvo suficientes datos de concentración de Rodamina WT para cerrar la curva completamente, se decidió en el estudio posterior, duplicar el número de muestras con la finalidad de obtener curvas bien definidas.
- ✓ Se observó, mediante la medición por duplicado de concentraciones de Rodamina WT, con el fluorímetro, que el aparato tiene un error de medición bastante bajo, ya que las mediciones de la misma concentración, presentaron valores muy similares en partes por millón.

## CONCLUSIONES

El Índice de Calidad del Agua "ICA" en los tres puntos de muestreo del canal principal del Río Sucio, 10.014 Km. aguas arriba de la boca toma del Distrito de Riego Atiocoyo Unidad Sur, califica la calidad del agua como MALA en todos los puntos muestreados del canal principal con un valor ponderado de 47.

De los nueve parámetros evaluados en el índice de calidad del agua, para todos los muestreos realizados, los coliformes fecales, sólidos disueltos totales y turbidez son los que reportan una mayor contribución negativa al índice de calidad de agua.

Por los resultados obtenidos de los parámetros coliformes fecales, oxígeno disuelto y turbidez, y al hacer una comparación de estos valores con los límites establecidos por la Norma de calidad de agua para contacto humano de la OMS, las aguas del Río Sucio pueden considerarse no aptas para el contacto humano, con una gran probabilidad de provocar brotes epidemiológicos para los pobladores cercanos a la ribera que tienen contacto con este.

Para la evaluación de la aptitud de uso de agua cruda para potabilizar a través de los parámetros  $DBO_5$ , pH, cloruros, turbidez, oxígeno disuelto, coliformes fecales, color aparente y fenoles, y al hacer una comparación de estos valores con los límites establecidos por el Decreto No. 51; se tiene que los valores de coliformes fecales, color aparente y fenoles superan los límites establecidos en dicho Decreto, por lo que las aguas crudas del Río Sucio no son aptas para potabilizar a través de métodos convencionales.

Para la evaluación de la aptitud de uso de agua para riego a través de los parámetros Conductividad, RAS, Boro, Cloruros, Sulfatos, pH y porcentaje de sodio; y al hacer una comparación de estos valores con los límites establecidos por el Decreto No. 51; las aguas del Río Sucio pueden considerarse aptas para

riego asegurando que suelos y cultivos no se verían afectados al ser regados con dichas aguas.

Para el tramo en estudio la cantidad de Rodamina WT inyectada, proporcionó información única de la relación de las variables concentración y tiempo; demostrando como se comportaran ciertos contaminantes en el cuerpo de agua.

La selección del punto de inyección, puntos detectores y puntos de muestreo, fueron elegidos de manera idónea ya que se obtuvieron datos experimentales que proporcionaron resultados satisfactorios y representativos.

Los valores del tiempo espacial son menores que los valores del tiempo medio de residencia, ya que estos último consideran el comportamiento real de las moléculas en el experimento realizado, mientras que el tiempo espacial únicamente considera la naturaleza del cuerpo de agua.

Obtener una mayor varianza, no implica obtener un mayor coeficiente de dispersión, ya que éste depende simultáneamente de la velocidad y longitud del tramo en estudio.

El coeficiente de dispersión longitudinal es directamente proporcional a la distancia y velocidad. Esto se comprueba con los datos obtenidos en el estudio de dispersión # 1 y # 2, ya que teniendo distancia iguales, no se obtienen los mismos valores de coeficiente de dispersión, debido a que las velocidades del cuerpo de agua, en los muestreos realizados eran diferentes, así mismo se comprueba que para condiciones de velocidades similares, el valor del coeficiente de dispersión es diferente, si se tienen distancias que varían considerablemente.

A mayor velocidad y distancia recorrida por el cuerpo de agua, el valor del coeficiente de dispersión longitudinal a obtener será mayor, lo que conlleva a tener una mayor dilución de los contaminantes, proporcionando así una mayor capacidad del Río a autodepurarse.

El número de Peclet es un valor adimensional que relaciona implícitamente las variables longitud, velocidad y coeficiente de dispersión; y su constancia demuestra la proporcionalidad de estas variables en todo el cuerpo de agua

El número de Peclet es la esencia y el determinante de la naturaleza dispersiva del Ríos, por lo que lleva implícita las variables particulares del cuerpo de agua.

En un sistema abierto – abierto si se mantiene constante la distancia y bajo los mismos parámetros hidráulicos, el valor del coeficiente de dispersión longitudinal es constante.

La técnica de trazadores es útil para el calculo del coeficiente de dispersión longitudinal por el método propuesto por H. Scott Fogler, ya que el valor de este se encuentra dentro del rango de error del valor proporcionado por el método empírico de Fischer, el cual fue obtenido utilizando las variables hidrodinámicas determinadas por el método de vadeo.

## RECOMENDACIONES

La elevada concentración de coliformes fecales encontrados en el Río Sucio, puede provenir de fuentes puntuales de contaminación por aguas residuales, por lo que se recomienda que existan tratamientos de dichas aguas previo a su descarga, minimizando así el impacto negativo que puede provocar en el cuerpo de agua y a la salud de quienes hacen uso de dicho recurso.

Por los resultados obtenidos en la evaluación de fosfatos se debe procurar un mayor control en el uso de fertilizantes, abonos y pesticidas, en la agricultura, concientizando a la población del impacto que podrían generar, si se realiza un uso excesivo de estas prácticas, en la calidad del agua del Río.

Para realizar el estudio de trazadores en época lluviosa, es recomendable utilizar radiotrazadores, con un equipo automático de suspensión para la detección; ya que estos no utilizan la propiedad de fluorescencia, pues el Río Sucio en esa época arrastra mucho sedimento por lo que dificulta la medida en el fluorímetro, así como también el caudal es muy grande, por lo que las corrientes imposibilitan la recolección de las muestras para el estudio de trazadores.

Desarrollar un estudio de la modelación de transporte de un determinado parámetro o contaminante en particular, tomando como base el presente estudio; con la finalidad de obtener un patrón del comportamiento de este en el Río Sucio y poder generar un plan de descontaminación.

En base a lo desarrollado en el presente trabajo, realizar un estudio que sea capaz de establecer los límites permitidos de los parámetros, para cada fuente puntual, que ya ha sido inventariada, tomando en cuenta el coeficiente de dispersión que tiene el Río Sucio y por ende la capacidad de autodepuración que tiene este.

Realizar un estudio de dispersión que involucre una mayor variación de distancia y velocidad, para poder definir con exactitud el valor del número de Peclet, y así, determinar, el valor del coeficiente de dispersión variando velocidad y distancia.

Se recomienda que para la realización de la toma de muestras para los estudios de dispersión se cuente con un mínimo de dos personas por punto detector, para que la recolección de las muestras y la medición de las mismas puedan ejecutarse de mejor manera.

## BIBLIOGRAFIA

### Libros:

1. Levenspiel, Octave; "Ingeniería de las reacciones químicas"; segunda edición; editorial reverté. S.A.; 1974.
2. Fogler, H. Scott; "Elementos de Ingeniería de las Reacciones Químicas"; tercera edición; editorial Prentice Hall

### Trabajos de graduación consultados:

3. Cordero Alberto, M. R, et all. 2005. "Diagnostico de la calidad del agua en época seca en el canal principal del río Jiboa y propuesta de mitigación de fuentes contaminantes, en una zona critica" Tesis ingeniería química, San Salvador, El Salvador, Universidad de El Salvador. 2-3 p.
4. Armero Durán D.A. 2003. "Evaluación Del Efecto Agrícola Sobre La Calidad Del Agua Del Río Sucio", Tesis Licenciatura en Ciencias Biológica. San Salvador, El Salvador. Universidad de El Salvador. 12-17, 24,37 p.

### Información proporcionada por SNET/MARN

5. Metodología de evaluación de la calidad del agua en ríos, para RAISON. Servicio Nacional de estudios territoriales.
6. *Presentación en Power Point proporcionada por el SNET/MARN, Tecnología de los trazadores; Venezuela, Diciembre 2007; Dr. José Griffith Martínez; Cuba*
7. *Presentación en Power Point proporcionada por el SNET/MARN, Tecnología de los trazadores Preparación;*
8. *Presentación en Power Point proporcionada por el SNET/MARN. Metodología de los Trazadores; Venezuela, Diciembre, 2007; Dr. José Griffith; Cuba.*

**Sitios web:**

9. Cuencas, subcuencas y ríos. Consultado: 20 Nov. 2008. Disponible:  
**<http://es.wikipedia.org/wiki/R%C3%ADo#Contaminaci.C3.B3>**
10. Proyectos UCA - FIAES: "Investigación Aplicada sobre El Impacto Ambiental de la contaminación del agua y Sensibilización social sobre la problemática", desarrollado en 1996 y "Monitoreo de la calidad de los recursos hídricos en las cuencas Sucio y Acelhuate y protección de márgenes del río Sucio", realizado en 1997. Consultado: 18 Feb. 2009. Disponible en:  
**[www.uca.edu.sv/investigacion/fiaes/sucio.html#contenido](http://www.uca.edu.sv/investigacion/fiaes/sucio.html#contenido)**
11. Calidad del agua. Consultado 20 Feb., 2009: Disponible:  
**[www.cec.org/soe/files/es/SOE\\_WaterQuality\\_es.pdf](http://www.cec.org/soe/files/es/SOE_WaterQuality_es.pdf)**
12. Índices de Calidad del agua (ICA), Forma de estimarlos y Aplicación en la cuenta Lerma-Chápala. Por Luis F. León Vizcanio. Consultado 8 Abr. 2009. Disponible en:  
**[www.science.uwaterloo.ca/~lfleonvi/artics/art09.pdf](http://www.science.uwaterloo.ca/~lfleonvi/artics/art09.pdf)**
13. Libreta de campo para las pruebas de las muestras de agua, Pruebas para las muestras de agua. Consultado en: 24 Feb. 2009. Disponible en: **[www.ciese.org/curriculum/diproj2/es/fieldbook/](http://www.ciese.org/curriculum/diproj2/es/fieldbook/)**
14. Índice de calidad del agua general "ICA". Por Servicio Nacional de Estudios Territoriales SNET. Consultado: 28 Mar. 2009. Disponible en:  
**[www.snet.gob.sv/Hidrologia/Documentos/calculolCA.pdf](http://www.snet.gob.sv/Hidrologia/Documentos/calculolCA.pdf)**
15. The free dictionary by farlex; 2009. Consultado 28 Mar. 2009. Disponible en: **<http://es.thefreedictionary.com/rodaminas>**
16. Acanomas / Secciones / Diccionario Español; 1999 – 2008. Consultado 20 Mar. 2009. Disponible en: **[www.acanomas.com/Diccionario-Espanol/124307/RODAMINA.htm](http://www.acanomas.com/Diccionario-Espanol/124307/RODAMINA.htm)**
17. Pernía Ilera, José maría; López geta, Juan Antonio; grima olmedo, Juan. 1991. Aplicación de técnicas especiales al estudio hidrológico de zonas de baja permeabilidad: isótopos y trazadores (en línea). Consultado 29 Mar. 2009. Disponible en:  
**[http://aguas.igme.es/igme/publica/libro52/pdf/lib52/in\\_10.pdf](http://aguas.igme.es/igme/publica/libro52/pdf/lib52/in_10.pdf)**

18. Abbey color; Your Rhodamine WT Manufacturer and Supplier; 2007. Consultado 01 Abr. 2009. Disponible en: [www.abbeycolor.com/rhodamine-wt.php](http://www.abbeycolor.com/rhodamine-wt.php)
19. International Chemical Safety Cards. Consultado 01 Abr. 2009. Disponible en: <http://actrav.itcilo.org/actrav-english/telearn/osh/ic/37299898.htm>
20. ORCO; Organic Dyestuffs Corporation. 2006. Consultado 21 Mar. 2009. Disponible en: <http://translate.google.com/sv/translate?hl=es&sl=en&u=http://www.organicdye.com/watertracing.asp&ei=2AvQScBLi6y2B9CijN8J&sa=X&oi=translate&resnum=9&ct=result&prev=/search%3Fq%3Drhodamine%2Bwt%26hl%3Des%26lr%3D%26sa%3DX>
21. Curso-taller para profesores "La energía nuclear en la educación: un enfoque didáctico"; Aplicación de trazadores a procesos industriales y naturales. Consultado 07 Dic. 2008. Disponible en: [www.umce.cl/virtual/nuclear/recursos/Nuclear/VC3/Trazadores.html](http://www.umce.cl/virtual/nuclear/recursos/Nuclear/VC3/Trazadores.html)
22. Cuestiones básicas sobre ensayos de trazadores. y protocolo de realización de: ensayos de bombeo ensayos de trazadores. Consultado 08 Abr. 2009. Disponible en: [www.h2ogeo.upc.es/Protocolos/PROTOCOLS%20i%20GUIES/Bomb eo-trazadores/Bombeo\\_UPC.pdf](http://www.h2ogeo.upc.es/Protocolos/PROTOCOLS%20i%20GUIES/Bomb eo-trazadores/Bombeo_UPC.pdf)
23. Anexo II Método de aforo de corrientes abiertas utilizando trazadores. Consultado 09 Abr. 2009. Disponible en: <http://hispagua.cedex.es/documntacion/documntos/fugas/anexo2pdf>
24. Arqhys. Consultado 11 Ene. 2009. Disponible en: [www.arqhys.com/construccion/aforos.html](http://www.arqhys.com/construccion/aforos.html)
25. Área de estudios medioambientales. Consultado 10 Abr. 2009. Disponible en: [www.ujaen.es/serv/sertec/servicios/estudios\\_medioambientales.pdf](http://www.ujaen.es/serv/sertec/servicios/estudios_medioambientales.pdf)
26. Reactores reales - modelo de flujo en reactores reales. Consultado 10 Abr. 2009. Disponible en: [www.fing.edu.uy/iq/reactores/cursos/rreales.pdf](http://www.fing.edu.uy/iq/reactores/cursos/rreales.pdf)
27. Aspectos teoricos sobre el fenomino de contaminación de aguas subterráneas; Consultado 01 Ago 2009; Disponible en:

**<http://bdigital.eafit.edu.co/bdigital/ARTICULO/HRU0380000111199805/echeverri.pdf>**

28. Technische universitat munchen; Consultado 03 Jun 2009; Disponible en: **<http://www.doping-prevention.de/es/sistemas-de-control-y-analisis/metodos-analiticos.html>**
29. SKOOG, D.A.; Leary J.J.; "Espectrometría de fluorescencia molecular" ANÁLISIS INSTRUMENTAL, 4° ed.; Ed. McGraw-Hill (1994), págs. 201-219. pdf Universidad autónoma de Chihuahua; Facultad de ciencias Químicas, Espectrometría.
30. Fenómenos de transporte. Consultado: 15 Feb. 2009. Disponible en: **<http://docentes.uacj.mx/lcamacho/fenomenos.htm>**
31. Medida e incertidumbre, Introducción a la física experimental. Consultado 02 Jun. 2009. Disponible en: **[www3.euitt.upm.es/departamentos/fisica/asignaturas/fisica\\_exp/Errores.pdf](http://www3.euitt.upm.es/departamentos/fisica/asignaturas/fisica_exp/Errores.pdf)**
32. Pruebas de trazadores para calibración de medidores y estudio de la dispersión; Consultado 03 Jun. 2009; Disponible en: **<http://www.cepis.org.pe/bvsaar/e/fulltext/traza/traza.pdf>**
33. Calibración de equipos de medida; Consultado 06 Jun. 2009; Disponible en: **<http://www.quimica.urv.es/quimio/general/calibra.pdf>**
34. Manual del usuario del fluorímetro Aquafluor; consultado 28 May 2009; Disponible en:  
**[http://www.turnerdesigns.com/t2/doc/manuals/aquafluor\\_manual.pdf](http://www.turnerdesigns.com/t2/doc/manuals/aquafluor_manual.pdf)**
35. Wikipedia La enciclopedia libre; Consultado 29 May 2009; Disponible en: **[http://es.wikipedia.org/wiki/Curva\\_de\\_calibrado](http://es.wikipedia.org/wiki/Curva_de_calibrado)**
36. La exactitud y la calibración de los instrumentos; Consultado 18 Jun 2009; Disponible en: **[http://www.quiminet.com/ar4/ar\\_%25EFO%2519%259A%2516%25EA%2514.htm](http://www.quiminet.com/ar4/ar_%25EFO%2519%259A%2516%25EA%2514.htm)**

## ANEXOS

*Anexo 1. Fragmento del Decreto N° 51 Norma nacional publicada en el diario oficial el 16 de noviembre de 1987.*

REPUBLICA DE EL SALVADOR.—AMERICA CENTRAL

1

# DIARIO OFICIAL

Director: JOSE OSCAR BRICEÑO

TOMO N° 297

San Salvador, Lunes 16 de Noviembre de 1987

NUMERO 210

## SUMARIO ORGANO LEGISLATIVO

	Página
Convenio de Donación AID No. 519-0333, Proyecto de Reconstrucción del Terremoto; Acuerdo Ejecutivo No. 506, del Ministerio de Relaciones Exteriores, aprobándolo, y Decreto Legislativo No. 797, ratificándolo. (Textos Español/Inglés) . . . . .	2/58
Enmienda No. 15 al Convenio de Donación AID No. 519-0281, Proyecto "Programa de Emergencia: Salud y Empleos para Familias Desplazadas"; Acuerdo Ejecutivo No. 505, del Ministerio de Relaciones Exteriores, aprobándola, y Decreto Legislativo No. 799, ratificándola. (Textos Español/Inglés) . . . . .	58/66
Enmienda No. 2 al Convenio de Donación AID No. 519-0308, "Proyecto de Apoyo para los Sistemas de Salud"; Acuerdo Ejecutivo No. 507, del Ministerio de Relaciones Exteriores, aprobándola y Decreto Legislativo No. 800, ratificándola. (Textos Español/Inglés). . . . .	66/74
Canje de Notas entre la Embajada de la República de Argentina en El Salvador y el Ministerio de Relaciones Exteriores, por medio del cual dicho país dona al nuestro, 2500 toneladas de trigo; Acuerdo Ejecutivo No. 436 de dicho Ministerio, aprobándolo, y Decreto Legislativo No. 804, ratificándolo . . . . .	74/77
Decreto No. 810.—Autorízase al Instituto de Vivienda Urbana, para que done dos porciones de terreno, situadas en el Cantón Zacamil, jurisdicción de Mejicanos, al Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social . . . . .	77/80

## ORGANO EJECUTIVO

### MINISTERIO DE LA PRESIDENCIA

Decreto No. 51.—Sustitúyese el Art. 6 del Reglamento sobre la calidad del agua, control de vertidos y las zonas de protección. (Con Anexo) . . . . .	81/82 01
--	----------

### INSTITUCIONES AUTONOMAS

#### Alcaldías Municipales

Decretos Nos. 3, 7 y 8.—Modificaciones a los Presupuestos Municipales de Sensuntepeque y San Miguel . . . . .	92/95
---	-------

### SECCION CARTELES OFICIALES

#### De Primera Publicación

Carteles Nos. 1415 1416 1417 1418 1419 1420 1421 1422 1423 1424 1425 1426 1427 1428 1429 1430 1431 1432 1433 1434 1435 1436 1437 1438 1439 1440 1441 1442 1443 1444 1445 1446 1447 1448 1449 1450 1451 1452 1453 1454 1455 1456 1457 1458 1459 1460 1461 1462 1463 1464 y 1465.—Financiera Nacional de Tierras Agrícolas (FINATA). San Salvador. Aviso a propietarios de Inmuebles para la formalización de traspaso por expropiación de conformidad a la ley respectiva . . . . .	96/114
---	--------

### SECCION CARTELES PAGADOS

#### DE PRIMERA PUBLICACION

Carteles Nos. 12759 12764 17407/17595 17738 12704 12708 12721 12722 12731 12735 12739 12756 12705 12736 12689 12690 12692 12693 12694 12695 12698 12699 12700 12701 12686 12687 12691 12696 12697 12724 12734 12762 12763 12706 12717 12725 12727 12723 12730 12765 12766 12767 12737 12738 17821 11860-12997 13001 13032 13036 13053 13054 y 13060.	
---	--

#### DE SEGUNDA PUBLICACION

Carteles Nos. 12688 12728 y 12754.	
---------------------------------------	--

#### DE TERCERA PUBLICACION

Carteles Nos. 16482—alt. 12702—alt. y 12703—alt.	
---	--

TABLA No. 1

NORMAS DESEABLES PARA AGUAS CRUDAS SUPERFICIALES  
QUE SOLAMENTE REQUIEREN SISTEMAS CONVENCIONALES DE TRATAMIENTO

PARAMETROS	RANGO DE VALORES
DBO Prom. mensual (mg/lt)	1.5 - 2.5
DBO <sub>5</sub> /muestra (mg/lt)	3.0 - 4.0
Coliformes Pro. men. (NMP/100)	50 - 5000
OD (mg/lt)	4.0 - 6.5
PH	6.5 - 9.2
Cloruros (mg/lt)	50.0 - 250.0
Color (unidades)	20.0 - 150.0
Turbidez (unidades)	10.0 - 250.0
Fluoruros (mg/lt)	1.5 - 3.0
Compuestos Fenólicos (mg/lt)	0.005
Sustancias Tóxicas	ausentes

TABLA No. 2

NORMAS DE CALIDAD DESEABLES  
EN AGUAS PARA IRRIGACION

PARAMETROS	VALORES <u>1/</u>
Conductividad (mmhos x 10 <sup>-6</sup> )	250 - 750
RAS (unidades)	0.0 - 10.0
CRS (meq/lt)	1.25
% Sodio (meq/lt)	30.0 - 60.0
Boro (mg/lt)	0.5 - 2.0
Cloruros (meq/lt)	5.5
Sulfatos (meq/lt)	4.1

1/ Los límites pueden variar dependiendo del tipo de suelo, cultivo y disponibilidad de agua.

## Anexo 2. Ficha de datos de seguridad de RODAMINA WT

KEYSTONE ANILINE CORPORATION	TRADE NAME RHODAMINE WT LIQUID
2501 WEST FULTON STREET	PRODUCT ID 703-010-27
CHICAGO, ILLINOIS 60612	PREPARED FOR
CORPORATE OFFICE: 312.666.2015	EMERGENCY PHONE Call CHEMTEL 800.255.3924
HEALTH & SAFETY FAX 312.666.8530	HEALTH & SAFETY TEL: 312.666.2015

### M A T E R I A L   S A F E T Y   D A T A   S H E E T

NOTE: DO NOT DETACH THIS GUIDANCE COVER SHEET FROM THE REST OF THIS DOCUMENT. This page indicates the Keystone Trade Name and Product ID. This identifying information must be referenced when ordering products or making inquiries.

#### A) YOUR CERTIFICATION OF COMPLIANCE UNDER FEDERAL AND STATE REGULATIONS

IMPORTANT NOTE: THIS DOCUMENT IS YOUR OFFICIAL CERTIFICATION OF COMPLIANCE as stated in each applicable section. It is compiled in accordance with OSHA's Hazard Communication standard (29 CFR 1910.1200), and other federal and state regulations. NOTE: NO ADDITIONAL COMPANY CERTIFICATION OF COMPLIANCE IS REQUIRED WHEN COMPLIANCE IS INDICATED IN THE APPROPRIATE SECTION OF THIS DOCUMENT. To avoid use of outdated information, please completely destroy ALL previously dated MSDS' that are on file.

#### B) ABOUT THE FORMAT OF THIS MATERIAL SAFETY DATA SHEET

New and updated MSDS' are presented in the ANSI Z400.1 Sixteen-section format. All available information is included in systematic updates.

#### C) ABOUT THE PURPOSE AND AVAILABILITY OF THIS DOCUMENT

Under the federal OSHA Hazard Communication Standard and some State Right to Know laws, employers using this product in their operation must make this MSDS available to all employees handling this product in any manner. The MSDS must be readily available for review by all persons concerned.

This MSDS is designed to effectively communicate Health and Physical Hazards to the material handler and all other responsible persons concerned with Health and Environmental protection and regulatory compliance. Distributors receiving this MSDS are obligated to readily provide a copy to their customers, affiliates, and agents.

#### D) THE PRODUCT USER RESPONSIBILITY NOTICE

This type of document cannot cover all possible unique situations. It is the product user's responsibility to provide a safe workplace, and to pass on all Health, Safety and Environmental information to all employees and customers that may handle this product. Under 29 CFR 1910.1200, all product users and handlers must be informed of U.S. OSHA requirements, and the need to be familiar with them.

#### E) ABOUT CUSTOMER INQUIRIES

This MSDS includes all technical and Regulatory information available on the Effective Date. Please Fax technical questions directly to the appropriate laboratory. Chicago Lab Fax: 312-666-8530, or Los Angeles Lab Fax: 562-921-3461. Fax all health, safety & environmental questions to the Chicago office at 312-666-2015. Note: Product information requests will be expedited by providing: 1) The eight digit Keystone Product ID Number, 2) The complete Keystone Trade Name and 3) Detailed comments explaining the nature of our client's request or problem.

EFFECTIVE DATE            SUPERSEDES  
 06-18-01                    11-24-99

-----  
 SECTION 1   CHEMICAL IDENTIFICATION

C.I. NAME                : ACID RED 388  
 CAS NUMBER              : PROPRIETARY  
 CHEMICAL FAMILY        : XANTHENE DYE  
 PHYSICAL FORM          : LIQUID

-----  
 SECTION 2   INGREDIENTS HAZARDOUS UNDER OSHA 29 CFR PART 1910.1200 APPENDIX A & B

COMPONENT NAME	CAS NUMBER	PEL	TLV	%
TRIMELLITIC ACID*	528-44-9	NE	NE	2.6

\*READ & UNDERSTAND SECTIONS 3, 8 & 11 FOR HEALTH & SAFETY INFORMATION. WEAR ALL PROTECTIVE EQUIPMENT AND CLOTHING AS DESCRIBED IN SECTION 8.

-----  
 SECTION 3   HAZARD IDENTIFICATION AND EMERGENCY OVERVIEW

HMIS RATINGS

HEALTH                    2  
 FLAMMABILITY            1  
 REACTIVITY               1  
 PROTECTION              H, O, Q

EMERGENCY OVERVIEW:

POSSIBLE EXPOSURES: EYES, SKIN, BREATHING VAPORS/MIST, ACCIDENTAL SWALLOWING

POSSIBLE HEALTH EFFECTS:

EYE CONTACT: CAUSES IRRITATION.\* 1  
 SKIN CONTACT: CAN CAUSE IRRITATION.\* 1  
 BREATHING VAPOR OR MIST: NE. TAKE PRECAUTIONS. 1  
 SWALLOWING: NE. WASH HANDS AFTER HANDLING & BEFORE EATING & DRINKING

\* EXPECTATIONS BASED ON PRODUCT COMPONENT

SENSITIZATION: NK  
 TARGET ORGANS: EYES    SKIN 1

CANCER INFORMATION:  
 PRODUCT AND COMPONENTS NOT KNOWN TO US TO BE CARCINOGENS  
 NTP: NK  
 IARC: NK  
 OSHA: NR

1 PRECAUTIONS:

TO HELP PROTECT YOURSELF AGAINST ANY UNFORSEEN IRRITATION OR ALLERGIC REACTIONS, AS PRECAUTIONS WORKERS SHOULD ALWAYS BE SURE TO WEAR ALL THE PROPERLY SELECTED PROTECTIVE EQUIPMENT AND CLOTHING AS INSTRUCTED IN SECTION 8 OF THIS MATERIAL SAFETY DATA SHEET. AS PRECAUTIONS, WASH YOUR HANDS AND FACE AFTER HANDLING AND BEFORE EATING, DRINKING, SMOKING OR USING RESTROOM FACILITIES. AFTER EACH SHIFT, CLEAN ALL PROTECTIVE EQUIPMENT, WASH ALL WORK CLOTHES, AND SHOWER. CHECK SECTION 11 FOR TOXICOLOGY INFORMATION.

UNUSUAL HAZARDS    NK

-----  
 SECTION 4   FIRST AID INSTRUCTIONS

EYE CONTACT: IMMEDIATELY RINSE WITH PLENTY OF CLEAN FLOWING WATER FOR AT LEAST 20 MINUTES, HOLDING EYELIDS OPEN TO RINSE COMPLETELY. CALL A DOCTOR AND GET MEDICAL HELP QUICKLY, AS A PRECAUTION.

SKIN CONTACT: REMOVE AFFECTED CLOTHING. WASH AFFECTED SKIN AREA WITH PLENTY OF SOAP AND WATER. RINSE WITH PLENTY OF WATER. WASH ALL WORK CLOTHES BEFORE WEARING AGAIN. IF ANY REDNESS, SWELLING, ITCHING, OR PAIN OF THE SKIN STARTS, SEE A DOCTOR QUICKLY, AS A PRECAUTION.

BREATHING PRODUCT VAPOR/MIST: MOVE PERSON TO FRESH AIR. IF PERSON IS HAVING DIFFICULTY BREATHING, GIVE OXYGEN. IF NOT BREATHING, GIVE ARTIFICIAL RESPIRATION. GET EMERGENCY MEDICAL HELP QUICKLY. CALL 911 IF AVAILABLE

IN YOUR AREA, OR OTHER MEDICAL EMERGENCY NUMBER.

SWALLOWING OF PRODUCT: IF SWALLOWED, GIVE PERSON SEVERAL GLASSES OF WATER AND FORCE VOMITING. NEVER GIVE ANY FLUIDS OR FORCE VOMITING IF THE PERSON IS UNCONSCIOUS, OR IS HAVING CONVULSIONS, OR HAS NO GAG REFLEX. CONTACT A DOCTOR QUICKLY TO GET MEDICAL HELP, CALL 911, OR OTHER MEDICAL EMERGENCY SERVICES AVAILABLE IN YOUR AREA.

-----  
SECTION 5 FIRE FIGHTING INSTRUCTIONS

FLASH POINT : NA  
TYPES OF EXTINGUISHERS : CO2, DRY CHEMICAL, WATER FOG  
FIREFIGHTING DIRECTIONS: WEAR SELF-CONTAINED BREATHING APPARATUS TO PROTECT AGAINST POSSIBLY TOXIC FUMES. WEAR FULL FIRE-PROTECTIVE CLOTHING.

-----  
SECTION 6 ACCIDENTAL SPILLS OR RELEASES

WEAR A NIOSH APPROVED VAPOR/MIST RESPIRATOR, WITH ALL PROTECTIVE CLOTHING & EQUIPMENT AS DIRECTED IN SECTION 8 OF THIS MSDS.

ENVIRONMENTAL PROTECTION: PREVENT LIQUID FROM ENTERING FLOOR DRAINS. FOR LARGE SPILLS, DIKE AND CONTAIN WITH ABSORBENT MATERIAL OR SPILL BARRIERS. DO NOT RELEASE TO SEWERS OR ANY BODIES OF WATER WITHOUT PROPER PERMISSION FROM ALL GOVERNMENTAL AUTHORITIES WITH JURISDICTION IN YOUR LOCALITY.

CONTAIN AND CLEAN UP SPILL IMMEDIATELY. SOAK UP & SOLIDIFY SPILLS USING A SUITABLE ABSORBENT SUCH AS "OIL DRY", "FULLER'S EARTH", SAND OR OTHER APPROPRIATE MATERIAL. SCOOP SOLIDIFIED MATERIAL & ABSORBENT INTO PROPER WASTE DISPOSAL CONTAINER AND SEAL. DISPOSE OF ACCORDING TO ALL APPLICABLE CITY, COUNTY, STATE, AND FEDERAL REGULATIONS. CONTACT APPROPRIATE AGENCIES FOR GUIDANCE ON HOW TO PROCEED. CONSIDER ALTERNATIVES AS SHOWN IN SECTION 13, DISPOSAL CONSIDERATIONS/ENVIRONMENTAL PROTECTION PROCEDURES. ALSO, SEE SECTION 13 FOR ANY ADDITIONAL DIRECTIONS PROVIDED.

RCRA STATUS CHECK REGULATORY INFORMATION, SECTION 15

-----  
SECTION 7 HANDLING AND STORAGE

STORE PRODUCT IN THE ORIGINAL OR IN EQUIVALENT WATER-PROOF CONTAINERS. RESEAL CONTAINERS TIGHTLY AFTER EACH USE. KEEP IN A COOL, DRY AREA AWAY FROM EXCESSIVE HEAT. DO NOT STORE IN DIRECT SUNLIGHT.

SHELF LIFE UP TO ONE YEAR WHEN STORED CAREFULLY AS INSTRUCTED ABOVE.

-----  
SECTION 8 EXPOSURE CONTROLS AND PERSONAL PROTECTION

NOTE: WHEN SELECTING PERSONAL PROTECTIVE EQUIPMENT AND CLOTHING, FOLLOW ALL OF THE MANUFACTURERS SPECIFICATIONS AND RECOMMENDATIONS THAT APPLY TO YOUR SPECIFIC OPERATIONS AND PROCESSING CONDITIONS. TAKE INTO CONSIDERATION ALL CONDITIONS AND ALL CHEMICALS TO BE HANDLED OR PROCESSED

EYE PROTECTION: WEAR SPLASH-PROOF CHEMICAL SAFETY GOGGLES CONTACT LENSES SHOULD NOT BE WORN WHEN WORKING WITH CHEMICALS.

SKIN PROTECTION: WEAR CHEMICALLY RESISTANT RUBBER GLOVES, SELECTED WITH YOUR SPECIFIC PROCESSING CONDITIONS IN MIND. WEAR AN APRON WHEN USING. WEAR COVERALLS AND BOOTS TO MINIMIZE SKIN CONTACT. AS PRECAUTIONS, WASH HANDS & FACE WITH MILD SOAP & WATER BEFORE EATING, DRINKING, SMOKING, OR USING RESTROOM. AFTER EACH SHIFT, CLEAN ALL PROTECTIVE EQUIPMENT, WASH WORK CLOTHES, AND SHOWER.

LUNG, THROAT & NASAL PROTECTION: WEAR NIOSH APPROVED ORGANIC VAPOR/MIST RESPIRATOR FOR YOUR PARTICULAR OPERATION AND MATERIALS BEING HANDLED.

OTHER PROTECTION: EYE WASH FOUNTAINS & DRENCH SHOWERS SHOULD BE LOCATED WITHIN 100 FEET OR A 10 SECOND WALK OF THE WORK AREA PER ANSI Z358.1-1990

VENTILATION: LOCAL EXHAUST IS RECOMMENDED

-----  
SECTION 9 PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES

DESCRIPTION : RED LIQUID; NO ODOR  
BOILING POINT : NE  
MOLECULAR WEIGHT : 509  
WATER SOLUBILITY : MISCIBLE  
PH @ 1.0% : 10.5  
VAPOR DENSITY : IS HEAVIER THAN AIR

EVAPORATION RATE : IS SLOWER THAN BUTYL ACETATE  
 % TOTAL VOC : NE (BY WGT.)  
 % NON-VOLATILES : NE (BY VOL.)  
 SPECIFIC GRAVITY : 1.13  
 DENSITY : 9.41 (LBS. PER GAL.)  
 % WATER CONTENT : NE (BY WGT.)

-----  
 SECTION 10 STABILITY AND REACTIVITY

STABILITY : STABLE  
 CONDITIONS TO AVOID : NK  
 HAZARDOUS POLYMERIZATION: WILL NOT OCCUR  
 INCOMPATIBLE MATERIALS : NK  
 HAZARDOUS DECOMPOSITION PRODUCTS: BURNING CAN PRODUCE OXIDES OF CARBON  
 NITROGEN AND/OR SULFUR.

-----  
 SECTION 11 TOXICOLOGY INFORMATION

ORAL LD50 (RAT): NE  
 DERMAL LD50 (RAT): NE  
 INHALATION LC50 (RAT): NE

EYE EFFECTS (RABBIT): NE. TAKE PRECAUTIONS. 1  
 SKIN EFFECTS (RABBIT): NE. TAKE PRECAUTIONS. 1  
 BREATHING EFFECTS: NE. TAKE PRECAUTIONS. 1

1) NO ANIMAL TOXICITY DATA IS CURRENTLY AVAILABLE FOR 100% PRODUCT. AS A  
 PRECAUTION IT IS RECOMMENDED THAT ALL WORKERS WEAR ALL OF THE PROTECTIVE  
 CLOTHING & EQUIPMENT DESCRIBED IN SECTION 8. READ SECTION 8.

GENERAL PRECAUTIONS: ALWAYS PRACTICE GOOD INDUSTRIAL HYGIENE, HANDLE WITH  
 CARE, AVOID PERSONAL CONTACT. DO NOT GET INTO EYES OR ON SKIN, DO NOT  
 BREATHE VAPOR OR MISTS OF PRODUCT, DO NOT SWALLOW. BE SURE TO WASH HANDS  
 WITH SOAP & WATER AND RINSE WELL AFTER HANDLING PRODUCT AND BEFORE EATING  
 DRINKING, SMOKING, OR USING RESTROOM FACILITIES. BE SURE TO SHOWER AFTER  
 EACH SHIFT, WASH ALL WORK CLOTHING, AND COMPLETELY CLEAN ALL PROTECTIVE  
 EQUIPMENT AFTER EACH SHIFT. SEE SECTION 2.

MUTAGENICITY: RHODAMINE WT WAS POSITIVE IN A SALMONELLA/MAMMALIAN MICRO-  
 SOME ASSAY (NESTMANN AND KOWBEL, 1979). G. DOUGLAS, AS REFERENCED, STATED  
 THAT IMPURITIES IN THE DYE MAY HAVE CAUSED THE MUTAGENIC EFFECTS SEEN OR  
 ALTERNATIVELY THE DYE CAN BE A POINT MUTAGEN. DOUGLAS FURTHER REPORTED  
 THAT TAKING THE DATA ALTOGETHER FROM HIS STUDY, "...RHODAMINE WT APPEARS  
 NOT TO REPRESENT A MAJOR GENOTOXIC HAZARD".

ADDITIONAL INFORMATION: RHODAMINE WT WAS TESTED IN A BATTERY OF IN VITRO  
 AND IN VIVO MAMMALIAN ASSAYS RESULTING IN NEGLIGIBLE, LOW LEVELS OF  
 GENOTOXIC ACTIVITY EVEN AT VERY HIGH CONCENTRATIONS. NO EVIDENCE OF IN  
 VIVO GENETIC ACTIVITY WAS OBSERVED EITHER IN TERMS OF BONE MARROW  
 MICRONUCLEI OR SPERM ABNORMALITIES. (G.R. DOUGLAS ET AL, "COMPARATIVE  
 MAMMALIAN IN VITRO AND IN VIVO STUDIES ON THE MUTAGENIC ACTIVITY OF  
 RHODAMINE WT", MUTATION RESEARCH, 118, 1983, 117-125).

TERATOGENICITY: THIS PRODUCT IS NOT KNOWN TO CONTAIN ANY MATERIAL THAT HAS  
 BEEN IDENTIFIED AS A TERATOGEN.

MEDICAL CONDITIONS WORSENER BY EXPOSURE: PERSONS WITH BREATHING AND LUNG  
 PROBLEMS CAN BE AFFECTED BY BREATHING IN ANY TYPE OF VAPORS OR MISTS.  
 AS A PRECAUTION TO PROTECT HEALTH AND MINIMIZE POSSIBLE OR UNEXPECTED  
 REACTIONS, ANY PERSONS WITH ASTHMA, ALLERGIES, OR OTHER BREATHING-RELATED  
 PROBLEMS SHOULD NOT HANDLE, NOR BE EXPOSED TO ANY PRODUCTS OR CONDITIONS  
 WHERE VAPORS OR MISTS OF ANY CHEMICAL PRODUCTS MAY BE PRESENT.

REFERENCES:

- 1) EPA LETTER, 8/2/88, RECOMMENDED GUIDELINES, EFFECTIVE THROUGH 4/7/90
- 2) GRADIENT CORPORATION LETTER, 11/20/89, RISK ASSESSMENT.

-----  
 SECTION 12 ECOLOGICAL DATA

BOD 5: NE  
 COD: NE  
 FISH TOXICITY: LC50 >320 MG/L RAINBOW TROUT (96 HR);  
 LC50 170 MG/L DAPHNIA MAGNA  
 SEED TOXICITY: NE  
 CWA TOXIC POLLUTANTS: NK  
 ADDITIONAL INFORMATION: NO DEVELOPMENTAL ABNORMALITIES OR TOXICITY TO  
 OYSTER LARVAE AT 100 MG/L.

## SECTION 13 DISPOSAL CONSIDERATIONS/ENVIRONMENTAL PROTECTION PROCEDURES

## DISPOSAL METHODS

IT IS RECOMMENDED THAT YOU SELECT AN ALTERNATIVE BELOW ACCORDING TO THE FOLLOWING ORDER OF PREFERENCE, DEPENDING ON ENVIRONMENTAL IMPACT:

- 1) RECYCLE OR REWORK MATERIAL IF AT ALL POSSIBLE
- 2) INCINERATE MATERIAL AT AN APPROVED FACILITY
- 3) TREAT AT AN ACCEPTABLE WASTE TREATMENT FACILITY, OR MUNICIPAL WASTE TREATMENT PLANT AFTER PROPER TESTING & APPROVAL WASTE SAMPLES.

IF DISPOSED OF IN IT'S ORIGINAL UNUSED FORM, THIS MATERIAL SHOULD BE TREATED, AND DISPOSED OF AT AN APPROVED SITE OR FACILITY, IN COMPLIANCE WITH ALL APPLICABLE FEDERAL, STATE & LOCAL ENVIRONMENTAL REGULATIONS. YOU MUST CONTACT THE PROPER GOVERNMENT AGENCIES FOR ADDITIONAL DIRECTIONS. ALL WASTE MATERIAL & WASTE WATER SHOULD BE DISPOSED OF CORRECTLY, UNDER ALL FEDERAL, STATE, CITY & COUNTY LAWS.

RCRA STATUS: SEE SECTION 15, REGULATORY INFORMATION

DO NOT RELEASE ANY CHEMICALS, DYES, OR DYE SOLUTIONS INTO ANY WATERWAYS OR SEWER SYSTEMS WITHOUT PROPER GOVERNMENT PERMISSION AT ALL LEVELS.

CONTAINER REUSE: AN "EMPTY" CONTAINER CAN CONTAIN PRODUCT RESIDUE, AND SHOULD NOT BE REUSED. IF NOT PROFESSIONALLY CLEANED & RECONDITIONED, CRUSHING OR OTHER MEANS IS RECOMMENDED TO PREVENT UNAUTHORIZED REUSE.

## SECTION 14 TRANSPORT INFORMATION

DOT STATUS (HIGHWAY AND RAIL) NR

IATA STATUS (AIR): NR

## SECTION 15 REGULATORY INFORMATION

AICS (AUSTRALIA): NOT LISTED  
 CAL. PROP. 65: CADMIUM (<1), TOTAL CHROMIUM (8), LEAD (1.5), COBALT (1), NICKEL (2). HEXAVALENT CHROMIUM IS A LISTED SUBSTANCE. MINUTE TRACES MAY BE PRESENT IN THE TOTAL PPM CHROMIUM. NOTE: PPM QUANTITIES APPLY TO 100% PRODUCT. FOR COLOR USED AT A FEW PERCENT ORE LESS, WHEN MAKING CAL. PROP. 65 DETERMINATION FOR END-PRODUCTS, CALCULATE ACTUAL SUBSTANCE PRESENT. EXAMPLE: WITH 3% COLOR USED IN END PRODUCT, AND CHROMIUM PRESENT AT <10 PPM IN 100% DYE, ACTUAL AMOUNT PRESENT FROM COLOR = 0.30 PPM = 0.00005%.

CERCLA: NH

CLEAN AIR ACT:

TITLE III (HAPS): NK  
 TITLE V (VOCs): SEE SECTION 9  
 TITLE VI (ODCS): NOT MANUFACTURED WITH NOR CONTAINING CLASS I OR II ODCS  
 CONEG-TYPICAL METALS PRESENT IN PPM:

CADMIUM <1.0  
 CHROMIUM 8.0 (TOTAL INCLUDING HEXAVALENT CR+6)  
 LEAD 1.5  
 MERCURY NE

DSL (CANADA): COMPONENTS LISTED. THE COMPONENTS OF THIS PRODUCT ARE INCLUDED ON THE CANADIAN DOMESTIC SUBSTANCE LIST. THIS PRODUCT DOES CONTAIN TRIMELLITIC ACID WHICH IS NOT ON THE DSL BUT WHICH IS PRESENT ONLY AS AN IMPURITY-BYPRODUCT AND THUS NOT SUBJECT TO THE DSL LISTING REQUIREMENT.

ECL (KOREA): NOT LISTED

EINECS (EUROPE): COMPONENTS LISTED

ENCS (JAPAN): NOT LISTED

FDA STATUS: NL

NSF INTERNATIONAL: RHODAMINE WT LIQUID HAS BEEN CERTIFIED BY THE NATIONAL SANITATION FOUNDATION INTERNATIONAL (NSF) TO THE REQUIREMENTS OF ANSI/NSF STANDARD 60: DRINKING WATER TREATMENT CHEMICALS - HEALTH EFFECTS, FOR USE IN TRACING DRINKING WATER UNDER THE FOLLOWING CONDITION:

"CONCENTRATIONS OF RHODAMINE WT LIQUID IN DRINKING WATER ARE NOT TO EXCEED 0.1PPB (PARTS PER BILLION) AND THE EXPOSURE (END USE) IS TO BE INFREQUENT" ACCORDING TO THE ENVIRONMENTAL AND WATER QUALITY OPERATIONAL STUDIES BY THE U.S. ARMY CORPS OF ENGINEERS, "RHODAMINE WT HAS BEEN CHOSEN AS THE DYE MOST SUITABLE FOR USE IN INFLOW STUDIES..." AND "POSES NO KNOWN ENVIRONMENTAL OR HEALTH HAZARDS WHEN USED IN UNPOLLUTED WATERS."

(THE SUITABILITY OF THIS DYE FOR A SPECIFIC WATER TRACING APPLICATION SHOULD BE EVALUATED BY A QUALIFIED HYDROLOGIST. A MANUFACTURER OF FLUOROMETERS, SUCH AS TURNER DESIGNS\* SHOULD BE CONSULTED FOR DETAILED APPLICATION INFORMATION. FOR PRECISE SCIENTIFIC WORK, THE USER SHOULD CARRY OUT HIS OWN MEASUREMENTS ON THE STARTING MATERIAL SINCE THERE MAY BE SOME VARIATION FROM LOT TO LOT.)

\*TURNER DESIGNS, 845 W. MAUDE AVENUE, SUNNYDALE, CA 94086 (408) 749-0994

OTHER TYPICAL DATA IN PPM

COBALT 1.0  
 COPPER 8.0  
 MANGANESE 1.0  
 NICKEL 2.0  
 ZINC 3.0

< = NOT FOUND AT TEST LEVEL SHOWN IF PRESENT, UNMEASURABLE TRACE IS BELOW LEVEL INDICATED.

RCRA: NOT HAZARDOUS IN IT'S PURCHASED FORM. HOWEVER, UNDER RCRA, IT IS THE PRODUCT USER'S RESPONSIBILITY TO DETERMINE AT TIME OF DISPOSAL IF ANY MATERIAL CONTAINING THE PRODUCT OR DERIVED FROM THE PRODUCT IS A HAZARDOUS WASTE.

SARA 311/312: IMMEDIATE/ACUTE HEALTH HAZARD : YES  
 DELAYED/CHRONIC HEALTH HAZARD : NO  
 FIRE HAZARD : NO  
 SUDDEN RELEASE OF PRESSURE HAZARD: NO  
 REACTIVITY HAZARD : NO

SARA 313: NR  
 TSCA: COMPONENTS LISTED  
 USDA: NL  
 WHMIS: D-2-B

-----  
 SECTION 16 OTHER INFORMATION

REVISION DATE: 11-24-99 REVISED SECTION 15 (NATIONAL INVENTORIES)  
 REVISION DATE: 11-24-98 REVISED TO ADD MW TO SECTION 9  
 REVISION DATE: 06-18-01 GENERAL REVIEW

ACRONYM LIST

NA = NOT APPLICABLE TO THIS MATERIAL  
 NC = NOT CERTAIN, UNDETERMINED  
 ND = NO DATA IS CURRENTLY AVAILABLE  
 NE = NOT ESTABLISHED, NO TESTING IS PLANNED  
 NH = NOT HAZARDOUS UNDER CITED REGULATIONS  
 NK = NONE KNOWN  
 NL = NOT LISTED OR APPROVED UNDER THESE REGULATIONS  
 NR = NOT REGULATED OR REPORTABLE

PK = CALCULATED BY PROCESS KNOWLEDGE WITH FORMULATION DATA

NIOSH = NATIONAL INSTITUTE FOR OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH

THE INFORMATION AND RECOMMENDATIONS CONTAINED HEREIN ARE BASED UPON DATA BELIEVED TO BE CORRECT. HOWEVER, NO GUARANTEE OR WARRANTY OF ANY KIND EXPRESSED OR IMPLIED, IS MADE WITH RESPECT TO THE INFORMATION CONTAINED HEREIN. THIS MATERIAL SAFETY DATA SHEET WAS PREPARED TO COMPLY WITH THE OSHA HAZARD COMMUNICATION STANDARD 29 CFR 1910.1200, AND SUPERSEDES ANY PREVIOUS INFORMATION. PREVIOUSLY DATED SHEETS ARE INVALID & UNAPPLICABLE

### Anexo 3. Aforo de corrientes por molinete

#### AFORO DE CORRIENTES POR MOLINETE

CORRIENTE		CUENCA	FECHA DE AFORO		Estado del Rio								IL1-2						
ESTACION					<input type="checkbox"/> Limpio <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Turbio <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> muy turbio <input type="checkbox"/>								L 2-3						
Aforo por suspensión (puente)			ESCALA EXTERNA 2.02					SONDEO Manuel Serrano		CALCULO FECHA									
COMENZO 11:34		1°C 1-137556		ESC.INTERNA		CONTRAPESO Kg		TIPO SUSPEN. Cable		ESC.EXT.PROM		OBSERVO Mariano Estrada		REVISO FECHA					
Molinete No.	141815	MARCA	1=1		Lbs		Vanilla												
DIST DEL PUNTO INICIA	DIST SOBRE NIVEL DEL AGUA	ANGULO VERTICAL	PROR OBSER-VADA	CORREC DE AIRE	PROR CORRE GIDA P	VELOCIDAD									V PROMEDIO	C X P	ANCHO DEL TRAMO CONSI DERADO	CAUDAL PARCIAL	AREAS PARCIALES
						0.2			0.6			0.8							
						M	G/S	V	M	G/S	V	M	G/S	V					
0,00			0,00																
3,00			1,85	1		0,37	56	3708	1,11	42	2791	1,48	12	0854	2,451	453435	3,0	1,360305	
5,00			3,65	2		0,73	87	5739	1			2,92	54	3577	4,658	1.70017	2,0	3,40034	
7,00			4,5	3		0,9	99	6525	1			3,60	81	5346	5,9355	2,670975	2,0	5,34195	*
9,00			4,08	4		0,82	75	4953	2,45	76	5018	3,26	59	3905	4,62533	1,887136	2,0	3,774272	
11,00			4,15	5		0,83	116	7638	1			3,32	90	5935	6,7865	2,816397	2,0	5,682795	*
13,00			5,3	6		1,06	146	9603	3,18	1,24	8162	4,24	79	5215	7,660	4,0598	2,0	8,1196	
15,00			5,65	7		1,19	185	12,158	1			4,52	145	9538	10,848	6,12912	2,0	12,25824	*
17,00			5,45	8		1,09	1,14	11437	1			4,36	115	9573	9,505	5,180225	2,0	10,36045	
19,00			4,24	9		0,85	57	3774	2,54	89	5870	3,39	71	4691	4,77833	2,026013	2,0	4,052202667	*
21,00			2,8	10		0,56	1,14	9276	1,68	1,04	6852	2,24	50	3315	6,481	1,81468	2,0	3,62936	
22,00			1,77	11		0,35	93	6132				1,42	51	3381	4,7565	8,419005	3,0	0,8419005	
25,00			0,00																
																	25,0		
Observaciones Tiempo 40 segundos					ESC. PROMEDIO:														
					AFORO No.														
										CAUDAL Lts/seg <input type="checkbox"/>									
										m3/seg <input type="checkbox"/>									
* Toma de sedimento																			

## **Anexo 4. Manual del Usuario del Aquafluor**

### **3.3 Descripción de la Calibración**

El Aquafluor puede ser calibrado usando un primario o secundario estándar, un estándar primario es el que contiene el mismo material fluorescente que se usara en las muestras desconocidas a medir.

El Aquafluor proporciona una lectura cuantitativa de la concentración actual cuando un estándar primario de concentración conocida es usado para su calibración.

El estándar y las muestras tendrían que estar dentro del rango de la línea de detección para obtener resultados cuantitativos, referirse a la sección 4.3 para mas detalles acerca del rango y amortiguamiento de las muestras.

Para algunas aplicaciones, estándar secundario es usado para calibración. Un estándar secundario es el que contiene un diferente tipo de material fluorescente que el de las muestras. El in vivo.

La aplicación de Clorofila es un ejemplo donde el estándar secundario es usualmente utilizado para calibración, así como también nosotros recomendamos la utilización del estándar secundario solido (PN 8000-950).

Refiérase al apéndice C para mayores detalles sobre la aplicación y calibración de Clorofila este apéndice también tiene detalles acerca de la aplicación del Amonio y Turbidez.

Cuando un estándar secundario es usado para calibrar, el Aquafluor dará relativas lecturas de las muestras que son proporcionadas para medirles la fluorescencia. En algunos casos estas lecturas relativas de las muestras serán correlacionadas de nuevo a la real concentración que son determinadas después. Por ejemplo, esto es comúnmente realizado para Clorofila in vivo haciendo uso de la supervisión como se describe en el Apéndice C1.

Para la aplicación de trazadores la calibración es normalmente realizada con un estándar primario hecho con el mismo trazador que esta siendo usado para la prueba. El estándar primario será elaborado con cualquier solución conocida, típicamente en unidades de ppb o  $\mu\text{g/L}$ , o un factor de dilución conocido. Idealmente el estándar primario y la muestra de blanco usados para calibración

serán elaboradas con la misma agua con que el estudio esta siendo realizado. Para mas detalles sobre esto y los trazadores que se utilizan, por favor refiérase a la Nota de Aplicación, “Una practica guía para medir el flujo” en el siguiente link de la web:

<http://www.turnerdesigns.com/t2/doc/appnotes>

### **3.4 Procedimiento de la Calibración.**

Es recomendada para mayor exactitud, que siempre se calibre antes de realizar el análisis de las muestras. El Aquafluor guardara el ajuste de la calibración para cada canal hasta que se realice una nueva calibración.

Si la temperatura de tu muestra o del Aquafluor cambia significativamente, las lecturas podrían mostrar un pequeño cambio y en este caso, se podría considerar la recalibración. El estándar secundario solido es útil para estabilizar la lectura en un cierto plazo de tiempo y puede también ser usado para recalibrar si es necesario.

El Aquafluor es diseñado con “Leve rechazamiento al ambiente”. Las muestras negras con compartimiento cubierto no necesitan estar cerrado cuando se esta calibrando o leyendo las muestras. Esto permite que para el uso de cubetas con diferente dimensión de altura por ejemplo 12 x 75 mm tubos de vidrio redondo.

La orientación y limpieza de las cubetas pueden tener un impacto sobre la exactitud de los resultados.

Refiérase a la Sección 4, lineamientos de análisis de muestras para información que ayuda a asegurar los mejores resultados para el análisis.

#### **3.4.1 Asigne un valor del estándar de la calibración**

Esto define el valor numérico que se quiere que el estándar lea. Por ejemplo si se esta calibrando con un estándar primario que tiene una concentración de 50 µg/L, entonces se setea el valor a 50 y las unidades implicadas de medida deberán ser en µg/L. si se esta usando un estándar secundario para la calibración, se seteara este valor a un valor relativamente deseado y poner las unidades RFU (unidades fluorescencia relativa).

1. Presione el botón <STD VAL>
2. Usa los botones de las flechas ↑ y ↓ para setear el valor del estándar. Mantener cualquier botón de flecha que permita cambiar el valor usando un rápido movimiento vertical.
3. Cuando se termine, presione el botón <ENT> o <ESC> para aceptar el valor y retornar a la pantalla de inicio.

### **3.2.4 Realizando la calibración**

1. Presione el botón <CAL>
2. Para iniciar la calibración presione <ENT>
3. Introduzca la muestra del blanco y presione <ENT>; el Aquafluor leerá el promedio durante 10 segundos y seteara el punto cero del blanco.
4. Introducir la muestra estándar y presionar <ENT>; la lectura es promediada por 10 segundos y el valor del estándar calibrado es obtenido.
5. Presione <ENT> cuando la calibración es completada, para aceptar la calibración. Si no se presiona <ENT> dentro de 10 segundos, se preguntara si se quiere abortar la calibración. Presiona los botones de las flechas ↑ y ↓ para aceptar o abortar la respectiva calibración.
6. Si sobre cualquier tiempo durante los pasos 1 al 4 se quiere detener la calibración, presionar <ESC>. Esto retornara a la pantalla de inicio y se perderá lo que se había calibrado previamente.

### **3.5 Instrucciones para usar el estándar secundario ajustable.**

1. Calibrar el Aquafluor con una solución de concentración conocida.
2. Tomar el estándar secundario ajustable de su bolsa de almacenaje. Utilizar la llave allen 0.05 proporcionada, afloje la fijación del tornillo de atrás del estándar secundario girándolo contra el sentido de las agujas del reloj (véase la foto 1)



Foto 1: aflojando el tornillo tracero del estándar secundario para su ajuste.

3. Colocar el ajustable estándar secundario en compartimiento para muestras del fluorometro con la manija hacia la parte posterior del instrumento. (ver la foto 2)



Foto 2: Colocación del estándar secundario ajustable en el Aquafluor.

4. Cerrar la tapa
5. Esperar 15 segundos, entonces leerá el valor
6. Guardar el valor del estándar secundario.
7. Abrir la tapa, y usar la llave allen de 3/32" provista para ajustar el tornillo de atenuación a través del agujero que esta encima del estándar secundario para incrementar o disminuir el valor

exhibido en la pantalla. (Rotando el tornillo en el sentido de las agujas del reloj aumenta la lectura). (ver la foto 3).



Foto 3: Ajustando el valor del estándar secundario mediante el giro del tornillo de atenuación.

8. Repetir los pasos del 3 al 6 hasta que la lectura de concentración del estándar secundario sea el valor de interés. Grabar la lectura del estándar secundario para futuras referencias.
9. En este punto, remover el estándar sólido y dar vuelta al tornillo de presión para en el sentido de las agujas del reloj hasta que haga contacto con el tornillo de atenuación. **NO APRETAR DEMASIADO.**
10. Ahora se puede recalibrar el Aquaflo usando el valor del estándar secundario obtenido en el paso 8.
11. Proceder al análisis de las muestras.
12. Se puede utilizar el ajustable estándar secundario en cualquier momento para verificar la estabilidad del fluorómetro. Simplemente introducir el valor de la lectura del estándar. El valor debería de ser similar a que fue obtenido previamente en el paso 8.
13. Cuando el estándar secundario no es utilizado, almacénalo en su bolsa de protectora para prever la recogida de polvo en la fibra óptica.  
Sobre un base diario, antes de realizar las medidas con el Aquaflo, usar el estándar secundario para verificar la calibración

del Aquafluor. Si el valor de estándar ha cambiado por más de +/- 10% del valor asignado. Entonces el Aquafluor deberá ser recalibrado usando el estándar secundario.

### **3.6 Análisis de las muestras.**

1. Inserte la muestra. La orientación y limpieza de las cubetas pueden tener un impacto sobre la exactitud de los resultados, refiérase a la sección 4 para más detalles.
2. Presione cualquier botón <READ>. El instrumento medirá y promediará la señal fluorométrica por 5 segundos.
3. El resultado de la lectura será mostrado sobre la línea superior de la pantalla de inicio.
4. En la esquina superior izquierda aparecerá la leyenda "WAIT" por 5 segundos. Una vez que la leyenda "WAIT" desaparece otra lectura de muestra puede ser realizada.

## Anexo 5. Fichas de puntos de Muestreo

### FICHA DE MONITOREO PARA CALIDAD DE AGUA: PTO INYECCION 1

Nombre del Sitio: PTO INYECCION 1

Fecha: 12/02/09

Punto de Monitoreo: PTO INYECCION 1

Cuenca: Lempa

Sub. Cuenca: Sucio

Ubicación Geográfica:



NORT	WEST
13°55'14.2''	89°16'37.6''

#### CARACTERÍSTICAS DE LA ZONA.

<b>Descripción del Sitio:</b>
Sobre el Rio Sucio, 1.014 Km aguas abajo del punto de muestreo El Jocote
<b>Muestras recolectadas:</b>
PTO INYECCION 1

Mediciones Efectuadas		Forma de la Sección Transversal
Ancho de la Sección Transversal (m)	24.0	
Profundidad media (m)	0.6228	
Caudal (m <sup>3</sup> /seg)	3.921	
Muestras tomadas de agua	Calidad de agua.	

## FICHA DE MONITOREO PARA CALIDAD DE AGUA: PTO DE RECOLECCION 1

Nombre del Sitio: PTO DE RECOLECCION 1

Fecha: 12/02/09

Punto de Monitoreo: PTO DE RECOLECCION 1

Cuenca: Lempa

Sub. Cuenca: Sucio

Ubicación Geográfica:



NORT	WEST
13°55'27.0"	89°16'35.1"

### CARACTERÍSTICAS DE LA ZONA.

<b>Descripción del Sitio:</b>
0.453 Km aguas abajo del PTO INYECCION 1
<b>Muestras recolectadas:</b>
PTO DE RECOLECCION 1

Mediciones Efectuadas		Forma de la Sección Transversal
Ancho de la Sección Transversal (m)	18.8	
Profundidad media (m)	0.520	
Caudal (m3/seg)	3.910	
Muestras tomadas de agua	Calidad de agua.	

## FICHA DE MONITOREO PARA CALIDAD DE AGUA: PTO DE RECOLECCION 2

Nombre del Sitio: PTO DE RECOLECCION 2

Fecha: 12/02/09

Punto de Monitoreo: PTO DE RECOLECCION 2

Cuenca: Lempa

Sub. Cuenca: Sucio

Ubicación Geográfica:



NORT	WEST
13°55'33.6''	89°16'25.9''

### CARACTERÍSTICAS DE LA ZONA.

Descripción del Sitio:
900 Mts. agua arriba puente hamaca Los Llanos
Muestras recolectadas:
PTO DE RECOLECCION 2

Mediciones Efectuadas		Forma de la Sección Transversal
Ancho de la Sección Transversal (m)	22.25	
Profundidad media (m)	0.458	
Caudal (m3/seg.)	4.379	
Muestras tomadas de agua	Calidad de agua.	

## FICHA DE MONITOREO PARA CALIDAD DE AGUA: 01-JOCOT

Nombre del Sitio: 01-JOCOT

Fecha: 27/01/09

Punto de Monitoreo: 01-JOCOT

Cuenca: Lempa

Sub. Cuenca: Sucio

Ubicación Geográfica:



NORT	WEST
13°54'45"	89°16'33.5"

### CARACTERÍSTICAS DE LA ZONA.

Descripción del Sitio:
10.014km. aguas arriba de la bocatoma del distrito de riego de Atiocoyo Sur
Muestras recolectadas:
01-JOCOT

Mediciones Efectuadas		Forma de la Sección Transversal
Ancho de la Sección Transversal (m)	23	
Profundidad media (m)	0.52	
Caudal (m3/seg)	5.32	
Muestras tomadas de agua	Calidad de agua.	

## FICHA DE MONITOREO PARA CALIDAD DE AGUA: 02-LLANO

Nombre del Sitio: 02-LLANO

Fecha: 12/02/09

Punto de Monitoreo: 02-LLANO

Cuenca: Lempa

Sub. Cuenca: Sucio

Ubicación Geográfica:



NORT	WEST
13°56'02.2"	89°16'22.1"

### CARACTERÍSTICAS DE LA ZONA.

<b>Descripción del Sitio:</b>
El Llano 12 Mt aguas abajo Puente de Hamaca
<b>Muestras recolectadas:</b>
02-LLANO

Mediciones Efectuadas		Forma de la Sección Transversal
Ancho de la Sección Transversal (m)	24.89	
Profundidad media (m)	0.5135	
Caudal (m3/seg)	3.58	
Muestras tomadas de agua	Calidad de agua.	

## FICHA DE MONITOREO PARA CALIDAD DE AGUA: 03-RANCHO

Nombre del Sitio: 03-RANCHO

Fecha: 12/02/09

Punto de Monitoreo: 03-RANCHO

Cuenca: Lempa

Sub. Cuenca: Sucio

Ubicación Geográfica:



NORT	WEST
13°52'12.1"	89°15'58.9"

### CARACTERÍSTICAS DE LA ZONA.

<b>Descripción del Sitio:</b>
Sobre El Río Sucio, dentro de la Hacienda Rancho Quemado.
<b>Muestras recolectadas:</b>
03-RANCHO

Mediciones Efectuadas		Forma de la Sección Transversal
Ancho de la Sección Transversal (m)	38.35	
Profundidad media (m)	0.495	
Caudal (m3/seg)	4.745	
Muestras tomadas de agua	Calidad de agua.	

## Anexo 6. Análisis Bacteriológicos ESMI S.A DE C.V. Primer muestreo, 01-JOCOT



LABORATORIO  
ESPECIALIDADES MICROBIOLÓGICAS INDUSTRIALES, S.A. de C.V.  
INSCRITO EN EL CONSEJO SUPERIOR DE SALUD PÚBLICA CON EL NÚMERO 504

San Salvador, 31 de enero de 2009.

Señores  
SNET  
Calle las Mercedes Edificio ISTA  
Presente

Código de muestra 04062009 M  
Fecha de recibo de muestra 27 de enero de 2009, 3:00 P.M.  
Atención Ing. Álvaro Amays

### INFORME DE ANÁLISIS BACTERIOLÓGICO

Muestra	Agua Rio Sucio 01 Jocot
Procedencia	Opico
Fecha de muestreo	27 de enero de 2009
Muestra tomada por	Sritas: Sara Barbon, Yasmin Handal y Silvia Turish
Fecha inicio de análisis	27 de enero de 2009
Fecha finalización de análisis	30 de enero de 2009

Análisis	Resultado	Expresado como	Método de análisis
Bacterias coliformes fecales*	30x10 <sup>2</sup>	NMP/100 mL	APHA- AWWA –WEF 9221E

Notas:

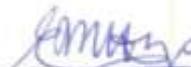
\* Análisis Acreditados

NMP: Número Más Probable.

Los resultados emitidos en este informe corresponden a la muestra indicada en procedencia y código.  
Prohibida su reproducción parcial sin la autorización del laboratorio.

Atentamente,

ESPECIALIDADES MICROBIOLÓGICAS INDUSTRIALES, S.A. DE C. V.

  
Dra. Elvia Borenice Huezco  
Directora General



Nuestro laboratorio tiene un Sistema de Calidad implantado bajo la Norma NSR ISO / IEC 17025: 1999 para proporcionar a nuestros clientes seguridad, confianza y estricta confidencialidad en los resultados de los análisis practicados en sus muestras, y esta ACREDITADO por CONACYT para realizar análisis de aguas, alimentos y medicamentos en el ámbito de acreditación bajo el registro N° LEA – 08:03.

Página 1/1

27 CALLE PONIENTE N° 944, COLONIA LAYCO, SAN SALVADOR  
Teléfonos 2226-1380, 2235-3927 Tel / Fax 2226-1242 esmi.lab@satel.net www.esmilab.com

## Anexo 7. Análisis Bacteriológicos ESMI S.A DE C.V. Primer muestreo, 02-LLANO



**LABORATORIO  
ESPECIALIDADES MICROBIOLÓGICAS INDUSTRIALES, S.A. de C.V.**  
INSCRITO EN EL CONSEJO SUPERIOR DE SALUD PÚBLICA CON EL NÚMERO 504

San Salvador, 31 de enero de 2009.

Señores  
SNET  
Calle las Mercedes Edificio ISTA  
Presente

Código de muestra 04072009 M  
Fecha de recibo de muestra 27 de enero de 2009, 3:00 P.M.  
Atención Ing. Álvaro Amaya

### INFORME DE ANÁLISIS BACTERIOLÓGICO

Muestra	Agua Río Sucio 02 Llano
Procedencia	Opico
Fecha de muestreo	27 de enero de 2009
Muestra tomada por	Sritas: Sara Barbon, Yasmin Handal y Silvia Turish
Fecha inicio de análisis	27 de enero de 2009
Fecha finalización de análisis	30 de enero de 2009

Análisis	Resultado	Expresado como	Método de análisis
Bacterias coliformes fecales*	13x10 <sup>3</sup>	NMP/100 mL	APHA- AWWA -WEF 9221E

Notas:

\* Análisis Acreditados  
NMP: Número Más Probable.

Los resultados emitidos en este informe corresponden a la muestra indicada en procedencia y código.  
Prohibida su reproducción parcial sin la autorización del laboratorio.

Atentamente,  
ESPECIALIDADES MICROBIOLÓGICAS INDUSTRIALES, S.A. DE C. V.

  
Dra. Elvia Berenice Huezco  
Directora General



Nuestro laboratorio tiene un Sistema de Calidad implantado bajo la Norma NSR ISO / IEC 17025: 1999 para proporcionar a nuestros clientes seguridad, confianza y estricta confidencialidad en los resultados de los análisis practicados en sus muestras, y esta **ACREDITADO** por CONACYT para realizar análisis de aguas, alimentos y medicamentos en el ámbito de acreditación bajo el registro N° LEA - 08:03.

Página 1/1

27 CALLE PONIENTE N° 944, COLONIA LAYCO, SAN SALVADOR  
Teléfonos 2226-1380, 2235-3927 Tel / Fax 2226-1242 esmi.lab@saltel.net www.esmilab.com

## Anexo 8. Análisis Bacteriológicos ESMI S.A DE C.V. Primer muestreo, 03-RANCH



LABORATORIO  
ESPECIALIDADES MICROBIOLÓGICAS INDUSTRIALES, S.A. de C.V.  
INSCRITO EN EL CONSEJO SUPERIOR DE SALUD PÚBLICA CON EL NÚMERO 504

San Salvador, 31 de enero de 2009.

Señores  
SNET  
Calle las Mercedes Edificio ISTA  
Presente

Código de muestra 04082009 M  
Fecha de recibo de muestra 27 de enero de 2009, 3:00 P.M.  
Atención Ing. Álvaro Amaya

### INFORME DE ANÁLISIS BACTERIOLÓGICO

Muestra	Agua Río Sucio 03 Rancho
Procedencia	Opico
Fecha de muestreo	27 de enero de 2009
Muestra tomada por	Sritas: Sara Barbon, Yasmín Handal y Silvia Turfih
Fecha inicio de análisis	27 de enero de 2009
Fecha finalización de análisis	30 de enero de 2009

Análisis	Resultado	Expresado como	Método de análisis
Bacterias coliformes fecales*	23x10 <sup>7</sup>	NMP/100 mL	APHA- AWWA -WEF 9221E

Notas:

\* Análisis Acreditados  
NMP: Número Más Probable.

Los resultados emitidos en este informe corresponden a la muestra indicada en procedencia y código.  
Prohibida su reproducción parcial sin la autorización del laboratorio.

Atentamente,  
ESPECIALIDADES MICROBIOLÓGICAS INDUSTRIALES, S.A. DE C. V.

  
Dra. Elvia Berenice Hueso  
Directora General



Nuestro laboratorio tiene un Sistema de Calidad implantado bajo la Norma NSR ISO / IEC 17025: 1999 para proporcionar a nuestros clientes seguridad, confianza y estricta confidencialidad en los resultados de los análisis practicados en sus muestras, y esta ACREDITADO por CONACYT para realizar análisis de aguas, alimentos y medicamentos en el ámbito de acreditación bajo el registro N° LEA - 08:03.

Página 1/1

27 CALLE PONIENTE N° 944, COLONIA LAYCO, SAN SALVADOR  
Teléfonos 2226-1380, 2235-3927 Tel / Fax 2226-1242 esmi.lab@satei.net www.esmilab.com

## Anexo 9. Análisis Bacteriológicos ESMI S.A DE C.V. segundo muestreo, 01-JOCOT



LABORATORIO  
ESPECIALIDADES MICROBIOLÓGICAS INDUSTRIALES, S.A. de C.V.  
INSCRITO EN EL CONSEJO SUPERIOR DE SALUD PÚBLICA CON EL NUMERO 504

San Salvador, 13 de marzo de 2009.

Señores  
SNET  
Calle las Mercedes Edificio ISTA  
Presente

Código de muestra 11022009 M  
Fecha de recibo de muestra 10 de marzo de 2009, 2:00 P.M.  
Atención Ing. Álvaro Amaya

### INFORME DE ANALISIS BACTERIOLOGICO

Muestra	Agua 01 Jocot
Procedencia	Rio Sucio
Fecha de muestreo	10 de marzo de 2009
Muestra tomada por	Sritas: Sara Barbón, Yasmin Handal y Silvia Turish
Fecha inicio de análisis	10 de marzo de 2009
Fecha finalización de análisis	12 de marzo de 2009

Análisis	Resultado	Expresado como	Método de análisis
Bacterias coliformes fecales*	30,000	NMP/100 mL	APHA- AWWA -WEF 9221E

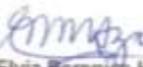
Notas:

\* Análisis Acreditados  
NMP: Número Más Probable.

Los resultados emitidos en este informe corresponden a la muestra indicada en procedencia y código. Prohibida su reproducción parcial sin la autorización del laboratorio.

Atentamente,

ESPECIALIDADES MICROBIOLÓGICAS INDUSTRIALES, S.A. DE C. V.

  
Dra. Elvia Berenice Huevo  
Directora General



Nuestro laboratorio tiene un Sistema de Calidad implantado bajo la Norma NSR ISO / IEC 17025: 1999 para proporcionar a nuestros clientes seguridad, confianza y estricta confidencialidad en los resultados de los análisis practicados en sus muestras, y esta ACREDITADO por CONACYT para realizar análisis de aguas, alimentos y medicamentos en el ámbito de acreditación bajo el registro N° LEA - 08:03.

Página 1/1

## Anexo 10. Análisis Bacteriológicos ESMI S.A DE C.V. Segundo muestreo, 02-LLANO



LABORATORIO  
ESPECIALIDADES MICROBIOLÓGICAS INDUSTRIALES, S.A. de C.V.  
INSCRITO EN EL CONSEJO SUPERIOR DE SALUD PÚBLICA CON EL NUMERO 504

San Salvador, 16 de marzo de 2009.

Señores  
SNET  
Calle las Mercedes Edificio ISTA  
Presente.

Código de muestra 11032009 M  
Fecha de recibo de muestra 10 de marzo de 2009, 2:00 P.M.  
Atención Ing. Álvaro Amaya

### INFORME DE ANALISIS BACTERIOLOGICO

Muestra	Agua 02 Llano
Procedencia	Rio Sucio
Fecha de muestreo	10 de marzo de 2009
Muestra tomada por	Sritas: Sara Barbon, Yasmin Handal y Silvia Turish
Fecha inicio de análisis	10 de marzo de 2009
Fecha finalización de análisis	14 de marzo de 2009

Análisis	Resultado	Expresado como	Método de análisis
Bacterias coliformes fecales*	30,000	NMP/100 mL	APHA- AWWA -WEF 9221E

Notas:

\* Análisis Acreditados

NMP: Número Más Probable.

Los resultados emitidos en este informe corresponden a la muestra indicada en procedencia y código. Prohibida su reproducción parcial sin la autorización del laboratorio.

Atentamente,

ESPECIALIDADES MICROBIOLÓGICAS INDUSTRIALES, S.A. DE C. V.

  
Dra. Elvia Berenice Huerdo  
Directora General



Nuestro laboratorio tiene un Sistema de Calidad implantado bajo la Norma NSR ISO / IEC 17025: 1999 para proporcionar a nuestros clientes seguridad, confianza y estricta confidencialidad en los resultados de los análisis practicados en sus muestras, y esta ACREDITADO por CONACYT para realizar análisis de aguas, alimentos y medicamentos en el ámbito de acreditación bajo el registro N° LEA - 08:03.

Página 1/1

## Anexo 11. Análisis Bacteriológicos ESMI S.A DE C.V. Segundo muestreo, 03-RANCH



LABORATORIO  
ESPECIALIDADES MICROBIOLÓGICAS INDUSTRIALES, S.A. de C.V.  
INSCRITO EN EL CONSEJO SUPERIOR DE SALUD PÚBLICA CON EL NUMERO 504

San Salvador, 16 de marzo de 2009.

Señores  
SNET  
Calle las Mercedes Edificio ISTA  
Presente

Código de muestra 11042009 M  
Fecha de recibo de muestra 10 de marzo de 2009, 2:00 P.M.  
Atención Ing. Álvaro Amaya

### INFORME DE ANALISIS BACTERIOLOGICO

Muestra	Agua 03 Ranch
Procedencia	Río Sucio
Fecha de muestreo	10 de marzo de 2009
Muestra tomada por	Sritas: Sara Barbon, Yasmin Handal y Silvia Turish
Fecha inicio de análisis	10 de marzo de 2009
Fecha finalización de análisis	14 de marzo de 2009

Análisis	Resultado	Expresado como	Método de análisis
Bacterias coliformes fecales*	33,000	NMP/100 mL	APHA- AWWA -WEF 9221E

Notas:

\* Análisis Acreditados

NMP: Número Más Probable.

Los resultados emitidos en este informe corresponden a la muestra indicada en procedencia y código. Prohibida su reproducción parcial sin la autorización del laboratorio.

Atentamente,

ESPECIALIDADES MICROBIOLÓGICAS INDUSTRIALES, S.A. DE C. V.

  
Dra. Elvia Berenice Huezco  
Directora General



Nuestro laboratorio tiene un Sistema de Calidad implantado bajo la Norma NSR ISO / IEC 17025: 1999 para proporcionar a nuestros clientes seguridad, confianza y estricta confidencialidad en los resultados de los análisis practicados en sus muestras, y esta ACREDITADO por CONACYT para realizar análisis de aguas, alimentos y medicamentos en el ámbito de acreditación bajo el registro N° LEA - 08:03.

## Anexo 12. Análisis Bacteriológicos ESMI S.A DE C.V. Tercer muestreo, 01-JOCOT



**LABORATORIO  
ESPECIALIDADES MICROBIOLÓGICAS INDUSTRIALES, S.A. de C.V.**  
INSCRITO EN EL CONSEJO SUPERIOR DE SALUD PÚBLICA CON EL NUMERO 504

San Salvador, 22 de mayo de 2009.

Señores  
SNET  
Calle las Mercedes Edificio ISTA  
Presente

Código de muestra 21492009 M  
Fecha de recibo de muestra 18 de mayo de 2009, 1:40 P.M.  
Atención Ing. Álvaro Amaya

### INFORME DE ANALISIS BACTERIOLOGICO

Muestra	Agua AO 1 Jocot
Procedencia	Río Sucio
Fecha de muestreo	18 de mayo de 2009
Muestra tomada por	Sritas: Sara Barbón, Yasmin Handal y Silvia Turish
Fecha inicio de análisis	18 de mayo de 2009
Fecha finalización de análisis	21 de mayo de 2009

Análisis	Resultado	Expresado como	Método de análisis
Bacterias coliformes fecales*	50,000	NMP/100 mL	APHA- AWWA –WEF 9221E

Notas:

\* Análisis Acreditados  
NMP: Número Más Probable.

Los resultados emitidos en este informe corresponden a la muestra indicada en procedencia y código.  
Prohibida su reproducción parcial sin la autorización del laboratorio.

Atentamente,

ESPECIALIDADES MICROBIOLÓGICAS INDUSTRIALES, S.A. DE C. V.

  
Dra. Elvia Berenice Húez  
Directora General



Nuestro laboratorio tiene un Sistema de Calidad implantado bajo la Norma NSR ISO / IEC 17025: 1999 para proporcionar a nuestros clientes seguridad, confianza y estricta confidencialidad en los resultados de los análisis practicados en sus muestras, y esta **ACREDITADO** por CONACYT para realizar análisis de aguas, alimentos y medicamentos en el ámbito de acreditación bajo el registro N° LEA – 08:03.

## Anexo 13. Análisis Bacteriológicos ESMI S.A DE C.V. Tercer muestreo, 02-LLANO



LABORATORIO  
ESPECIALIDADES MICROBIOLÓGICAS INDUSTRIALES, S.A. de C.V.  
INSCRITO EN EL CONSEJO SUPERIOR DE SALUD PÚBLICA CON EL NUMERO 504

San Salvador, 22 de mayo de 2009.

Señores  
SNET  
Calle las Mercedes Edificio ISTA  
Presente

Código de muestra 21502009 M  
Fecha de recibo de muestra 18 de mayo de 2009, 1:40 P.M.  
Atención Ing. Álvaro Amaya

### INFORME DE ANALISIS BACTERIOLOGICO

Muestra	Agua AC 2 Llano
Procedencia	Río Sucio
Fecha de muestreo	18 de mayo de 2009
Muestra tomada por	Sritas: Sara Barbón, Yasmin Handal y Silvia Turish
Fecha inicio de análisis	18 de mayo de 2009
Fecha finalización de análisis	21 de mayo de 2009

Análisis	Resultado	Expresado como	Método de análisis
Bacterias coliformes fecales*	90,000	NMP/100 mL	APHA- AWWA -WEF 9221E

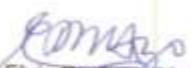
**Notas:**

\* Análisis Acreditados  
NMP: Número Más Probable.

Los resultados emitidos en este informe corresponden a la muestra indicada en procedencia y código. Prohibida su reproducción parcial sin la autorización del laboratorio.

Atentamente,

ESPECIALIDADES MICROBIOLÓGICAS INDUSTRIALES, S.A. DE C. V.

  
Dra. Elvia Berenice Huezco  
Directora General



Nuestro laboratorio tiene un Sistema de Calidad implantado bajo la Norma NSR ISO / IEC 17025: 1999 para proporcionar a nuestros clientes seguridad, confianza y estricta confidencialidad en los resultados de los análisis practicados en sus muestras, y esta ACREDITADO por CONACYT para realizar análisis de aguas, alimentos y medicamentos en el ámbito de acreditación bajo el registro N° LEA - 08:03.

## Anexo 14. Análisis Bacteriológicos ESMI S.A DE C.V. Tercer muestreo, 03-RANCH



**LABORATORIO  
ESPECIALIDADES MICROBIOLÓGICAS INDUSTRIALES, S.A. de C.V.**  
INSCRITO EN EL CONSEJO SUPERIOR DE SALUD PÚBLICA CON EL NUMERO 504

San Salvador, 22 de mayo de 2009.

Señores  
SNET  
Calle las Mercedes, Edificio ISTA  
Presente

Código de muestra 21512009 M  
Fecha de recibo de muestra 18 de mayo de 2009, 1:40 P.M.  
Atención Ing. Álvaro Amaya

### INFORME DE ANALISIS BACTERIOLOGICO

Muestra	Agua AO 3 Ranch
Procedencia	Río Sucio
Fecha de muestreo	18 de mayo de 2009
Muestra tomada por	Sñtas: Sara Barbón, Yasmin Handal y Silvia Turish
Fecha inicio de análisis	18 de mayo de 2009
Fecha finalización de análisis	21 de mayo de 2009

Análisis	Resultado	Expresado como	Método de análisis
Bacterias coliformes fecales*	90,000	NMP/100 mL	APHA- AWWA -WEF 9221E

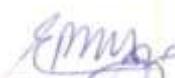
Notas:

\* Análisis Acreditados  
NMP: Número Más Probable.

Los resultados emitidos en este informe corresponden a la muestra indicada en procedencia y código.  
Prohibida su reproducción parcial sin la autorización del laboratorio.

Atentamente,

ESPECIALIDADES MICROBIOLÓGICAS INDUSTRIALES, S.A. DE C. V.

  
**Dra. Elvia Berenice Huevo**  
Directora General



Nuestro laboratorio tiene un Sistema de Calidad implantado bajo la Norma NSR ISO / IEC 17025: 1999 para proporcionar a nuestros clientes seguridad, confianza y estricta confidencialidad en los resultados de los análisis practicados en sus muestras, y esta **ACREDITADO** por CONACYT para realizar análisis de aguas, alimentos y medicamentos en el ámbito de acreditación bajo el registro N° LEA - 08:03.

## Anexo 15. Análisis Físicoquímico de aguas SNET/MARN Primer muestreo, 01-JOCOT



Dirección General  
Servicio Nacional de Estudios Territoriales



San Salvador, 2 de Febrero de 2009

Atención: Ing. Alvaro Araya

Estimado Ing. Araya:

A continuación se presentan los resultados de análisis obtenidos en el laboratorio de la(s) muestra(s) que a continuación se detallan:

Procedencia : 01 JOCOT-A  
Número de referencia : 08-54  
Fecha de toma de muestras : 27/01/2009  
Fecha de inicio de análisis : 28/01/2009  
Fecha de finalización de análisis : 02/02/2009

### PARAMETROS DE CAMPO

Procedencia	01 JOCOT-A	Expresado como
HORA	09:30 a.m.	
NORTH COORDENATE	13°54'45"	
WEST COORDENATE	89°16'33.5"	
Temperatura ambiental	26.20	°C
Temperatura muestra	24.30	°C
pH	7.60	Unidades
C.E. (µS/cm)	676.00	µSiemens/cm

### ANÁLISIS DE LABORATORIO

PARAMETRO	RESULTADO	INCERTEZA	EXPRESADO COMO
pH	7.60	No Aplica	Unidades
Oxígeno Disuelto	5.70	No Aplica	ppm O <sub>2</sub>
Conductividad	667.00	± 0.000	µSiemens/cm
Turbidez	17.00	± 0.000	Unidades FAU
Alcalinidad Total	208.93	± 0.000	ppm CaCO <sub>3</sub>
Dureza Total	219.20	± 0.000	ppm CaCO <sub>3</sub>
Calcio	41.97	± 0.000	ppm Ca
Magnesio	27.78	± 0.000	ppm Mg
Nitrógeno Amomiacal	0.31	± 0.000	ppm NH <sub>4</sub>
Nitratos	13.05	± 0.070	ppm NO <sub>3</sub>
Fosfatos	1.91	± 0.007	ppm PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>
Cloruros	38.92	± 0.000	ppm Cl
Color aparente	60.00	± 1.410	Unidades Pt-Co
Sólidos Totales Disueltos	331.00	± 0.000	ppm
Demanda Bioquímica de Oxígeno	4.00	± 0.000	ppm O <sub>2</sub>
Boro	ND	± 0.000	ppm B
Sulfatos	143.00	± 4.240	ppm SO <sub>4</sub>
Sodio	44.10	± 0.000	ppm Na
Fósforo Total	2.74	± 0.014	ppm P

### Abreviaturas:

ppm: mg/l

ND: No Detectable

NR: No Realizado

### NOTAS:

- Este informe de análisis no puede ser reproducido parcial ni totalmente sin la aprobación por escrito del Laboratorio de Calidad de Aguas.
- Los resultados corresponden únicamente a las muestras descritas al inicio de este reporte.

Tec. Ruth Estela Méndez  
Técnico Responsable

Ing. Bessy Margarita Soto  
Jefa de Laboratorio



Laboratorio de Calidad de Agua

Kilómetro 5 ½, Carretera a Santa Tecla, Calle y Colonia Las Mercades, Instalaciones ISTA, San Salvador

## Anexo 16. Análisis Físicoquímico de aguas SNET/MARN Primer muestreo, 02-LLANO



Dirección General  
Servicio Nacional de Estudios Territoriales



San Salvador, 2 de Febrero de 2009

Atención: Ing. Alvaro Araya

Estimado Ing. Araya:

A continuación se presentan los resultados de análisis obtenidos en el laboratorio de la(s) muestra(s) que a continuación se detallan:

Procedencia : 02 LLANO-A  
Número de referencia : 09-55  
Fecha de toma de muestras : 27/01/2009  
Fecha de inicio de análisis : 28/01/2009  
Fecha de finalización de análisis : 02/02/2009

### PARAMETROS DE CAMPO

Procedencia	02 LLANO-A	Expresado como
HORA	10:30 a.m.	
NORTH CORDENATE	13°56'02.2"	
WEST CORDENATE	89°16'22.1"	
Temperatura ambiental	29.40	°C
Temperatura muestra	24.70	°C
pH	7.90	Unidades
C.E. (uS/cm)	775.00	µSiemens/cm

### ANÁLISIS DE LABORATORIO

PARAMETRO	RESULTADO	INCERTEZA	EXPRESADO COMO
pH	7.56	No Aplica	Unidades
Oxígeno Disuelto	6.76	No Aplica	ppm O <sub>2</sub>
Conductividad	668.00	± 0.000	µSiemens/cm
Turbidez	16.00	± 0.000	Unidades FAU
Alcalinidad Total	216.09	± 0.000	ppm CaCO <sub>3</sub>
Dureza Total	219.20	± 0.000	ppm CaCO <sub>3</sub>
Calcio	43.25	± 0.000	ppm Ca
Magnesio	27.01	± 0.000	ppm Mg
Nitrógeno Amoniacal	0.25	± 0.007	ppm NH <sub>3</sub>
Nitratos	13.20	± 0.000	ppm NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
Fosfatos	1.94	± 0.014	ppm PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>
Cloruros	37.93	± 0.000	ppm Cl <sup>-</sup>
Color Aparente	55.00	± 1.410	Unidades Pt-Co
Sólidos Totales Disueltos	327.00	± 0.000	ppm
Demanda Bioquímica de Oxígeno	4.00	± 0.000	ppm O <sub>2</sub>
Boro	ND	± 0.000	ppm B
Sulfatos	132.00	± 2.520	ppm SO <sub>4</sub>
Sodio	42.40	± 0.000	ppm Na
Fósforo Total	3.83	± 0.007	ppm P

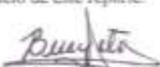
### Abreviaturas:

ppm: mg/l  
ND: No Detectable  
NR: No Realizado

### NOTAS:

- Este informe de análisis no puede ser reproducido parcial ni totalmente sin la aprobación por escrito del Laboratorio de Calidad de Aguas.
- Los resultados corresponden únicamente a las muestras descritas al inicio de este reporte.

  
Tec. Ruth Estrella Méndez  
Técnico Responsable

  
Ing. Bessy Margarita Soto  
Jefe de Laboratorio



Laboratorio de Calidad de Agua

Kilómetro 5 ½, Carretera a Santa Tecla, Calle y Colonia Las Mercedes, Instalaciones ISTA, San Salvador

## Anexo 17. Análisis Físicoquímico de aguas SNET/MARN Primer muestreo, 03-RANCH



Dirección General  
Servicio Nacional de Estudios Territoriales



San Salvador, 2 de Febrero de 2009

Atención: Ing. Alvaro Araya

Estimado Ing. Araya:

A continuación se presentan los resultados de análisis obtenidos en el laboratorio de la(s) muestra(s) que a continuación se detallan:

Procedencia : 03 RANCH-A  
Número de referencia : 09-56  
Fecha de toma de muestras : 27/01/2009  
Fecha de inicio de análisis : 28/01/2009  
Fecha de finalización de análisis : 02/02/2009

### PARAMETROS DE CAMPO

Procedencia	03 RANCH-A	Expresado como
HORA	11:30 a.m.	
NORTH CORDENATE	13°52'12.1"	
WEST CORDENATE	89°15'58.9"	
Temperatura ambiental	31.80	°C
Temperatura muestra	25.80	°C
pH	7.95	Unidades
C.E. (µS/cm)	710.00	µSiemens/cm

### ANÁLISIS DE LABORATORIO

PARAMETRO	RESULTADO	INCERTEZA	EXPRESADO COMO
pH	7.588	No Aplica	Unidades
Oxígeno Disuelto	6.270	No Aplica	ppm O <sub>2</sub>
Conductividad	657.00	± 0.000	µSiemens/cm
Turbidez	14.00	± 0.000	Unidades FAU
Alcalinidad Total	213.57	± 0.000	ppm CaCO <sub>3</sub>
Dureza Total	221.20	± 0.000	ppm CaCO <sub>3</sub>
Calcio	43.89	± 0.000	ppm Ca
Magnesio	27.10	± 0.000	ppm Mg
Nitrógeno Amónico	0.23	± 0.000	ppm NH <sub>4</sub>
Nitratos	10.90	± 0.140	ppm NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
Fosfatos	1.92	± 0.021	ppm PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>
Cloruros	36.54	± 0.000	ppm Cl
Color Aparente	51.00	± 0.000	Unidades Pt-Co
Sólidos Totales Disueltos	322.00	± 0.000	ppm
Demanda Bioquímica de Oxígeno	4.00	± 0.000	ppm O <sub>2</sub>
Boro	ND	± 0.000	ppm B
Sulfatos	129.00	± 1.410	ppm SO <sub>4</sub>
Sodio	45.40	± 0.000	ppm Na
Fósforo Total	2.36	± 0.014	ppm P

### Abreviaturas:

ppm: mg/l

ND: No Detectable

NR: No Realizado

### NOTAS:

- Este informe de análisis no puede ser reproducido parcial ni totalmente sin la aprobación por escrito del Laboratorio de Calidad de Aguas.
- Los resultados corresponden únicamente a las muestras descritas al inicio de este reporte.

Tec. Ruth Estela Méndez  
Técnico Responsable

Ing. Bessy Margarita Soto  
Jefe de Laboratorio



Laboratorio de Calidad de Agua

Kilómetro 5 1/4, Carretera a Santa Tecla, Calle y Colonia Las Mercedes, Instalaciones ISTA, San Salvador

## Anexo 18. Análisis Físicoquímico de aguas SNET/MARN Segundo muestreo, 01-JOCOT



Dirección General  
Servicio Nacional de Estudios Territoriales



San Salvador, 16 de Marzo de 2009

Atención: Ing. Alvaro Amaya

Estimado Ing. Amaya:

A continuación se presentan los resultados de análisis obtenidos en el laboratorio de la(s) muestra(s) que a continuación se detallan:

Procedencia : 01 JOCOT-A  
Número de referencia : 09-130  
Fecha de toma de muestras : 10/03/2009  
Fecha de inicio de análisis : 11/03/2009  
Fecha de finalización de análisis : 16/03/2009

### PARAMETROS DE CAMPO

Procedencia	01 JOCOT-A	Expresado como
Oxígeno Disuelto	5.30	ppm O <sub>2</sub>
% de OD	68.50	%
Temperatura ambiental	28.60	°C
Temperatura muestra	26.70	°C
pH	7.82	Unidades
Conductividad Eléctrica	380.00	µSiemens/cm

### ANÁLISIS DE LABORATORIO

PARAMETRO	RESULTADO	INCERTEZA	EXPRESADO COMO
pH	7.82	No Aplica	Unidades
Conductividad	674.00	± 0.000	µSiemens/cm
Turbidez	10.00	± 0.000	Unidades FAU
Alcalinidad Total	226.20	± 0.000	ppm CaCO <sub>3</sub>
Dureza Total	230.00	± 0.000	ppm CaCO <sub>3</sub>
Calcio	45.98	± 0.000	ppm Ca
Magnesio	27.98	± 0.000	ppm Mg
Nitrógeno Amoniacal	0.41	± 0.021	ppm NH <sub>4</sub>
Nitritos	12.95	± 0.212	ppm NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>
Fosfatos	2.36	± 0.007	ppm PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>
Cloruros	41.70	± 0.000	ppm Cl <sup>-</sup>
Color aparente	47.50	± 0.710	Unidades Pt-Co
Sólidos Totales Disueltos	330.00	± 0.000	ppm
Demanda Bioquímica de Oxígeno	2.00	± 0.000	ppm O <sub>2</sub>
Boro	ND	± 0.000	ppm B
Sulfatos	142.00	± 0.000	ppm SO <sub>4</sub>
Sodio	100.00	± 0.000	ppm Na
Fósforo Total	3.00	± 0.021	ppm P
Cobre	0.03	± 0.000	ppm Cu
Nitrógeno Total Kjeldahl	24.00	± 0.000	ppm NTK
Fenoles	0.00	± 0.000	ppm Fenol
Zinc	ND	± 0.000	ppm Zn
Demanda Química de Oxígeno	9.50	± 0.710	ppm O <sub>2</sub>

#### Abreviaturas:

ppm: mg/l

ND: No Detectable

NR: No Realizado

#### NOTAS:

- Este informe de análisis no puede ser reproducido parcial ni totalmente sin la aprobación por escrito del Laboratorio de Calidad de Aguas.
- Los resultados corresponden únicamente a las muestras descritas al inicio de este reporte.

Tec. Ruth Estela Méndez  
Técnico Responsable

Ing. Bessy Margarita Soto  
Jefe de Laboratorio

Laboratorio de Calidad de Agua

Kilómetro 5 ½, Carretera a Santa Tecla, Calle y Colonia Las Mercedes, Instalaciones ISTA, San Salvador



## Anexo 19. Análisis Fisicoquímico de aguas SNET/MARN Segundo muestreo, 2-LLANO



Dirección General  
Servicio Nacional de Estudios Territoriales



San Salvador, 16 de Marzo de 2009

Atención: Ing. Alvaro Amaya

Estimado Ing. Amaya:

A continuación se presentan los resultados de análisis obtenidos en el laboratorio de la(s) muestra(s) que a continuación se detallan:

Procedencia : 02 LLANO-A  
Número de referencia : 09-131  
Fecha de toma de muestras : 10/03/2009  
Fecha de inicio de análisis : 11/03/2009  
Fecha de finalización de análisis : 16/03/2009

### PARAMETROS DE CAMPO

Procedencia	02 LLANO-A	Expresado como
Oxígeno Disuelto	4.90	ppm O <sub>2</sub>
% de OD	63.00	%
Temperatura ambiental	31.40	°C
Temperatura muestra	27.60	°C
pH	7.80	Unidades
Conductividad Eléctrica	728.00	µSiemens/cm

### ANÁLISIS DE LABORATORIO

PARAMETRO	RESULTADO	INCERTEZA	EXPRESADO COMO
pH	7.82	No Aplica	Unidades
Conductividad	689.00	± 0.000	µSiemens/cm
Turbidez	8.50	± 0.710	Unidades FAU
Alcalinidad Total	210.62	± 0.000	ppm CaCO <sub>3</sub>
Dureza Total	226.40	± 0.000	ppm CaCO <sub>3</sub>
Calcio	45.01	± 0.000	ppm Ca
Magnesio	27.69	± 0.000	ppm Mg
Nitrógeno Amoebacoal	0.28	± 0.007	ppm NH <sub>4</sub>
Nitrosos	10.85	± 0.071	ppm NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>
Fosfatos	2.44	± 0.007	ppm PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>
Cloruros	41.50	± 0.000	ppm Cl <sup>-</sup>
Color aparente	44.00	± 0.000	Unidades Pt-Co
Sólidos Totales Disueltos	338.00	± 0.000	ppm
Demanda Bioquímica de Oxígeno	1.00	± 0.000	ppm O <sub>2</sub>
Boro	ND	± 0.000	ppm B
Sulfatos	137.00	± 4.240	ppm SO <sub>4</sub>
Sodio	102.00	± 0.000	ppm Na
Fósforo Total	2.96	± 0.021	ppm P
Cobre	0.03	± 0.000	ppm Cu
Nitrógeno Total Kjeldahl	6.38	± 0.000	ppm NTK
Fenoles	0.00	± 0.000	ppm Fenol
Zinc	ND	± 0.000	ppm Zn
Demanda Química de Oxígeno	7.00	± 0.000	ppm O <sub>2</sub>

Abreviaturas:

ppm: mg/l

ND: No Detectable

NR: No Realizado

NOTAS:

- Este informe de análisis no puede ser reproducido parcial ni totalmente sin la aprobación por escrito del Laboratorio de Calidad de Aguas.
- Los resultados corresponden únicamente a las muestras descritas al inicio de este reporte.

Tec. Ruth Estela Méndez  
Técnico Responsable

Ing. Bessy Margarita Soto  
Jefe de Laboratorio

Laboratorio de Calidad de Agua

Kilómetro 5 ½, Carretera a Santa Tecla, Calle y Colonia Las Mercedes, Instalaciones ISTA, San Salvador



## Anexo 20. Análisis Fisicoquímico de aguas SNET/MARN Segundo muestreo, 03-RANCH



Dirección General  
Servicio Nacional de Estudios Territoriales



San Salvador, 16 de Marzo de 2009

Atención: Ing. Alvaro Amaya

Estimado Ing. Amaya:

A continuación se presentan los resultados de análisis obtenidos en el laboratorio de la(s) muestra(s) que a continuación se detallan:

Procedencia : 03 RANCH-A  
Número de referencia : 09-132  
Fecha de toma de muestras : 10/03/2009  
Fecha de inicio de análisis : 11/03/2009  
Fecha de finalización de análisis : 16/03/2009

### PARAMETROS DE CAMPO

Procedencia	03 RANCH-A	Expresado como
Oxígeno Disuelto	4.95	ppm O <sub>2</sub>
% de OD	85.50	%
Temperatura ambiental	33.10	°C
Temperatura muestra	29.20	°C
pH	7.88	Unidades
Conductividad Eléctrica	745.00	µSiemens/cm

### ANÁLISIS DE LABORATORIO

PARAMETRO	RESULTADO	INCERTEZA	EXPRESADO COMO
pH	7.895	No Aplica	Unidades
Conductividad	697.00	± 0.000	µSiemens/cm
Turbidez	11.00	± 0.000	Unidades FAU
Alcalinidad Total	210.20	± 0.000	ppm CaCO <sub>3</sub>
Dureza Total	232.80	± 0.000	ppm CaCO <sub>3</sub>
Calcio	45.81	± 0.000	ppm Ca
Magnesio	28.75	± 0.000	ppm Mg
Nitrógeno Amoniacal	0.22	± 0.007	ppm NH <sub>4</sub>
Nitratos	12.20	± 0.282	ppm NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
Fosfatos	2.36	± 0.007	ppm PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>
Cloruros	41.70	± 0.000	ppm Cl <sup>-</sup>
Color Aparente	44.50	± 0.710	Unidades Pt-Co
Sólidos Totales Disueltos	341.00	± 0.000	ppm
Demanda Bioquímica de Oxígeno	2.00	± 0.000	ppm O <sub>2</sub>
Boro	ND	± 0.000	ppm B
Sulfatos	128.00	± 5.650	ppm SO <sub>4</sub>
Sodio	102.00	± 0.000	ppm Na
Fósforo Total	2.86	± 0.014	ppm P
Cobre	0.01	± 0.000	ppm Cu
Nitrógeno Total Kjeldahl	8.63	± 0.000	ppm NTK
Fenoles	0.00	± 0.000	ppm Fenol
Zinc	ND	± 0.000	ppm Zn
Demanda Química de Oxígeno	4.00	± 0.000	ppm O <sub>2</sub>

#### Abreviaturas:

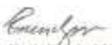
ppm: mg/l

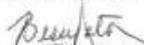
ND: No Detectable

NR: No Realizado

#### NOTAS:

- Este informe de análisis no puede ser reproducido parcial ni totalmente sin la aprobación por escrito del Laboratorio de Calidad de Aguas.
- Los resultados corresponden únicamente a las muestras descritas al inicio de este reporte.

  
Tec. Ruth Estola Méndez  
Técnico Responsable

  
Ing. Bessy Margarita Soto  
Jefe de Laboratorio



Laboratorio de Calidad de Agua

Kilómetro 5 ½, Carretera a Santa Tecla, Calle y Colonia Las Mercedes, Instalaciones ISTA, San Salvador

## Anexo 21. Análisis Físicoquímico de aguas SNET/MARN tercer muestreo, 01-JOCOT



Dirección General  
Servicio Nacional de Estudios Territoriales



San Salvador, 29 de Junio de 2009

Atención: Ing. Alvaro Amaya

Estimado Ing. Amaya:

A continuación se presentan los resultados de análisis obtenidos en el laboratorio de la(s) muestra(s) que a continuación se detallan:

Procedencia : A01JOCOT  
Número de referencia : 09-287  
Fecha de toma de muestras : 18/05/2009  
Fecha de inicio de análisis : 18/05/2009  
Fecha de finalización de análisis : 12/06/2009

### PARAMETROS DE CAMPO

Procedencia	A01JOCOT	Expresado como
FECHA	18/05/2009	
HORA	10:05:00 a.m.	
NORTH COORDENATE	13.51	
WEST COORDENATE	-89.26	
Oxígeno Disuelto	5.50	mg/L
%O <sub>2</sub>	67.50	%
Temperatura Ambiental	29.80	°C
Temperatura de la Muestra	29.00	°C
pH	7.72	Unidades
Conductividad Eléctrica	765.00	µSiemens/cm

### ANÁLISIS DE LABORATORIO

PARAMETRO	RESULTADO	INCERTEZA	EXPRESADO COMO
pH	8.05	No Aplica	Unidades
Conductividad	536.00	± No Aplica	µSiemens/cm
Turbidez	70.00	± 0.000	Unidades FAU
Alcalinidad Total	168.49	± 0.000	ppm CaCO <sub>3</sub>
Dureza Total	240.80	± 0.000	ppm CaCO <sub>3</sub>
Calcio	91.26	± 0.000	ppm Ca
Magnesio	27.39	± 0.000	ppm Mg
Nitrógeno Amoniacal	0.42	± 0.007	ppm NH <sub>3</sub>
Nitratos	6.60	± 0.000	ppm NO <sub>3</sub>
Fosfatos	1.19	± 0.014	ppm PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>
Cloruros	31.36	± 0.000	ppm Cl
Color Aparante	195.00	± 2.830	Unidades Pt-Co
Sólidos Totales Disueltos	312.00	± 0.000	ppm
Demanda Bioquímica de Oxígeno	4.00	± 0.000	ppm O <sub>2</sub>
Boro	ND	± 0.000	ppm B
Sulfatos	60.00	± 0.000	ppm SO <sub>4</sub>
Sodio	29.70	± 0.000	ppm Na
Fósforo Total	2.04	± 0.000	ppm P
Cobre	0.01	± 0.000	ppm Cu
Nitrógeno Total Kjeldahl	6.00	± 0.000	ppm NTK
Ferrosos	1.00	± 0.000	ppm Fe <sup>2+</sup>
Zinc	0.00	± 0.000	ppm Zn
Demanda Química de Oxígeno	14.00	± 0.000	ppm O <sub>2</sub>

#### Abreviaturas:

ppm: mg/l

ND: No Detectable

NR: No Realizado

#### NOTAS:

- > Este informe de análisis no puede ser reproducido parcial ni totalmente sin la aprobación por escrito del Laboratorio de Calidad de Aguas.
- > Los resultados corresponden únicamente a las muestras descritas al inicio de este reporte.

Tec. Ruth Estela Méndez  
Técnico Responsable

Ing. Bessy Margarita Soto  
Jefe de Laboratorio

Laboratorio de Calidad de Aguas

Kilómetro 5 ½, Carretera a Santa Tecla, Calle y Colonia Las Mercedes, Instalaciones ISTA, San Salvador



## Anexo 22. Análisis Físicoquímico de aguas SNET/MARN tercer muestreo, 02-LLANO



Dirección General  
Servicio Nacional de Estudios Territoriales



San Salvador, 29 de Junio de 2009  
Atención: Ing. Alvaro Araya

Estimado Ing. Araya:

A continuación se presentan los resultados de análisis obtenidos en el laboratorio de la(s) muestra(s) que a continuación se detallan:

Procedencia : A02LLANO  
Número de referencia : 09-288  
Fecha de toma de muestras : 18/06/2009  
Fecha de inicio de análisis : 18/06/2009  
Fecha de finalización de análisis : 12/06/2009

### PARAMETROS DE CAMPO

Procedencia	A02LLANO	Expresado como
FECHA	18/06/2009	
HORA	10:55:00 a.m.	
NORTH COORDENATE	13.93	
WEST COORDENATE	-89.27	
Oxígeno Disuelto	4.00	mg/L
%O <sub>2</sub>	60.00	%
Temperatura Ambiental	30.30	°C
Temperatura de la Muestra	28.60	°C
pH	7.56	Unidades
Conductividad Eléctrica	785.00	µSiemens/cm

### ANÁLISIS DE LABORATORIO

PARAMETRO	RESULTADO	INCERTEZA	EXPRESADO COMO
pH	7.93	No Aplica	Unidades
Conductividad	834.00	± No Aplica	µSiemens/cm
Turbidez	79.00	± 0.000	Unidades FAU
Alcalinidad Total	176.08	± 0.000	ppm CaCO <sub>3</sub>
Dureza Total	222.40	± 0.000	ppm CaCO <sub>3</sub>
Calcio	51.26	± 0.000	ppm Ca
Magnesio	22.93	± 0.000	ppm Mg
Nitrógeno Amoniacal	0.30	± 0.007	ppm NH <sub>3</sub>
Nitratos	7.26	± 0.071	ppm NO <sub>3</sub>
Fosfatos	1.22	± 0.021	ppm PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>
Cloruros	31.57	± 0.000	ppm Cl
Color Aparente	203.50	± 4.850	Unidades Pt-Co
Sólidos Totales Disueltos	313.00	± 0.000	ppm
Demanda Biológica de Oxígeno	4.00	± 0.000	ppm O <sub>2</sub>
Boro	ND	± 0.000	ppm B
Sulfatos	65.50	± 0.707	ppm SO <sub>4</sub>
Sodio	31.00	± 0.000	ppm Na
Fósforo Total	1.89	± 0.014	ppm P
Cobre	0.01	± 0.000	ppm Cu
Nitrógeno Total Kjeldahl	6.75	± 0.000	ppm NTK
Fenoles	1.10	± 0.000	ppm Fenol
Zinc	0.00	± 0.000	ppm Zn
Demanda Química de Oxígeno	6.00	± 0.000	ppm O <sub>2</sub>

#### Abreviaturas:

ppm: mg/l

ND: No Detectable

NR: No Realizado

#### NOTAS:

- Este informe de análisis no puede ser reproducido parcial ni totalmente sin la aprobación por escrito del Laboratorio de Calidad de Aguas.
- Los resultados corresponden únicamente a las muestras descritas al inicio de este reporte.

Téc. Ruth Esteban Méndez  
Técnico Responsable

Ing. Bessy Margarita Soto  
Jefe de Laboratorio

Laboratorio de Calidad de Aguas

Kilómetro 5 ½, Carretera a Santa Tecla, Calle y Colonia Las Mercedes, Instalaciones ISTA, San Salvador



## Anexo 23. Análisis Físicoquímico de aguas SNET/MARN tercer muestreo, 03-RANCH



Dirección General  
Servicio Nacional de Estudios Territoriales



San Salvador, 29 de Junio de 2009

Atención: Ing. Alvaro Amaya

Estimado Ing. Amaya:

A continuación se presentan los resultados de análisis obtenidos en el laboratorio de la(s) muestra(s) que a continuación se detallan:

Procedencia : A03RANCH  
Número de referencia : 09-289  
Fecha de toma de muestras : 18/05/2009  
Fecha de inicio de análisis : 18/05/2009  
Fecha de finalización de análisis : 12/06/2009

### PARAMETROS DE CAMPO

Procedencia	A03RANCH	Expresado como
FECHA	18/05/2009	
HORA	11:50:00 a.m.	
NORTH CORDENATE	13.95	
WEST CORDENATE	-89.27	
Oxígeno Disuelto	4.70	mg/L
%O <sub>2</sub>	63.00	%
Temperatura Ambiental	33.70	°C
Temperatura de la Muestra	30.10	°C
pH	7.56	Unidades
Conductividad Eléctrica	742.00	µSiemens/cm

### ANALISIS DE LABORATORIO

PARAMETRO	RESULTADO	INCERTEZA	EXPRESADO COMO
pH	7.838	No Aplica	Unidades
Conductividad	640.00	± No Aplica	µSiemens/cm
Turbidez	81.50	± 2.120	Unidades FAU
Alcalinidad Total	170.18	± 0.000	ppm CaCO <sub>3</sub>
Dureza Total	236.40	± 0.000	ppm CaCO <sub>3</sub>
Calcio	52.54	± 0.000	ppm Ca
Magnesio	25.55	± 0.000	ppm Mg
Nitrógeno Amoniacal	0.27	± 0.000	ppm NH <sub>4</sub>
Nitratos	6.60	± 0.140	ppm NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
Fosfatos	1.14	± 0.000	ppm PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>
Cloruros	30.78	± 0.000	ppm Cl <sup>-</sup>
Color Aparente	216.00	± 0.000	Unidades Pt-Co
Sólidos Totales Disueltos	316.00	± 0.000	ppm
Demanda Bioquímica de Oxígeno	3.00	± 0.000	ppm O <sub>2</sub>
Boro	ND	± 0.000	ppm B
Sulfatos	64.00	± 1.414	ppm SO <sub>4</sub>
Sodio	33.20	± 0.000	ppm Na
Fósforo Total	1.90	± 0.007	ppm P
Cobre	0.01	± 0.000	ppm Cu
Nitrógeno Total Kjeldahl	4.13	± 0.000	ppm NTK
Fenoles	1.20	± 0.000	ppm Fenol
Zinc	0.00	± 0.000	ppm Zn
Demanda Química de Oxígeno	6.00	± 0.000	ppm O <sub>2</sub>

#### Abreviaturas:

ppm: mg/l  
ND: No Detectable  
NR: No Realizado

#### NOTAS:

- Este informe de análisis no puede ser reproducido parcial ni totalmente sin la aprobación por escrito del Laboratorio de Calidad de Aguas.
- Los resultados corresponden únicamente a las muestras descritas al inicio de este reporte.

Tec. Ruth Esteia Méndez  
Técnico Responsable

Ing. Bessy Margarita Soto  
Jefe de Laboratorio

Laboratorio de Calidad de Agua

Kilómetro 5 ¼, Carretera a Santa Tecla, Calle y Colonia Las Mercedes, Instalaciones ISTA, San Salvador



### **Anexo 24. Ecuación empírica de Fischer, et al., 1979.**

Longitudinal Dispersion Coefficient in Rivers, Ex [m<sup>2</sup>/sec]

$$E_x = \frac{0.011 \cdot \bar{u}^2 \cdot B^2}{d \cdot u^*} \pm 50\%$$

Donde:

Ux es la velocidad media (m/s);

B es el ancho (m);

d es el radio hidráulico (m); y

u\* es la velocidad de corte (m/s). Esta última se aproxima a partir de una regla general donde la misma es 1/10 la velocidad media advectiva.

El radio hidráulico representa el cociente entre el área mojada y el perímetro mojado de una determinada sección de un canal.

La determinación del área y perímetro mojado se realiza mediante la división de la sección transversal en fajas verticales. Para cada faja vertical "i" se determinó un área parcial Ai, considerándolo un triángulo, o un trapecio; y como el perímetro parcial Pi, es considerado el respectivo tramo de fondo.

Las expresiones de cálculo del área y perímetro mojado son:

$$A = \sum_{i=1}^N A_i$$

$$P = \sum_{i=1}^N P_i$$

## Anexo 25. Aforos estudio de dispersión experimental. PUNTO 1 (PTO DE RECOLECCIÓN 1)

ANALISIS DE AFOROS	12/ 2/2009	1
-----		
ESTACION 4613 : SAN ANDRES	SUCIO	460201
AFORO 4	FECHA 12/ 2/2009	
INICIO : 10H30	NIVEL :	
FIN : 10H56	NIVEL :	
OBSERVACION.....: 1er punto recolecc.muestr.entrr.Joc.-Llan		
ORIGEN DE LAS MEDICIONES.....: ORILLA IZQUIERDA		
DISTANCIA DESDE EL PTO. DE REF.: .00		
ANCHO DE LA SECCION.....: 18.80		
PROFUNDIDAD DE LOS ORILLAS.....: .00 Y .00		
CORRENTIMETRO USADO.....: 0011		
Molinete SEBA HYDROMETRIE GMBH D-87600 para #2227, 2245, 224		
6, 2247, Vadeo en barra de 20 mm		
CALIBRACION EL 1/ 1/2006 :		
A1= .3117	B1= .0193	S1= 1.9800
A2= .3205	B2= .0019	S2= 10.2700
A3= .3344	B3= -.1409	
RESULTADOS EN CADA VERTICAL		
=====		
DISTANCIA (M)	PROFUNDIDAS (M)	VELOCIDAD MEDIA (M/S)
VERTICAL 1	1.00	.25
VERTICAL 2	2.00	.30
VERTICAL 3	3.00	.35
VERTICAL 4	5.00	.48
VERTICAL 5	7.00	.58
VERTICAL 6	9.00	.61
VERTICAL 7	11.00	.69
VERTICAL 8	13.00	.65
VERTICAL 9	15.00	.60
VERTICAL 10	16.00	.61
VERTICAL 11	17.00	.61
VELOCIDADES EN LOS PUNTOS DE MEDICIO		
VERTICAL 1	.214	
VERTICAL 2	.276	
VERTICAL 3	.276	
VERTICAL 4	.370	
VERTICAL 5	.401	
VERTICAL 6	.534	
VERTICAL 7	.557	
VERTICAL 8	.534	
VERTICAL 9	.401	
VERTICAL 10	.331	
VERTICAL 11	.276	
ANALISIS DE AFOROS		
RESULTADOS GLOBA		
=====		
NIVEL MEDIO :		
VELOCIDAD MEDIO :	.413	
AREA MOJADO :	9.459	
CAUDAL :	3.910	
PERIMETRO MOJADO :	18.943	
RADIO HIDRAULICO :	.499	
* El caudal es calculado de acuerdo al método de "la sección promedio		

## Anexo 26. Aforos estudio de dispersión experimental. PUNTO 2 (PTO DE RECOLECCIÓN 2)

ANALISIS DE AFOROS	12/ 2/2009	1
-----		
ESTACION 4613 : SAN ANDRES	SUCIO	460201
AFORO 2	FECHA 11/ 2/2009	
INICIO : 11H35	NIVEL :	
FIN : 11H56	NIVEL :	
OBSERVACION.....: 900 Mts.agua.arrib.Pte.hamaca Los Llanos		
ORIGEN DE LAS MEDICIONES.....: ORILLA IZQUIERDA		
DISTANCIA DESDE EL PTO. DE REF.: .00		
ANCHO DE LA SECCION.....: 22.25		
PROFUNDIDAD DE LOS ORILLAS.....: .45 Y .50		
CORRENTIMETRO USADO.....: 0011		
Molinete SEBA HYDROMETRIE GMBH D-87600 para #2227, 2245, 224		
6, 2247, Vadeo en barra de 20 mm		
CALIBRACION EL 1/ 1/2006 :		
A1= .3117	B1= .0193	S1= 1.9800
A2= .3205	B2= .0019	S2= 10.2700
A3= .3344	B3= -.1409	
RESULTADOS EN CADA VERTICAL		
=====		
DISTANCIA (M)	PROFUNDIDAD (M)	VELOCIDAD MEDIA (M/S)
VERTICAL 1	1.00	.59
VERTICAL 2	2.00	.71
VERTICAL 3	4.00	.64
VERTICAL 4	6.00	.50
VERTICAL 5	8.00	.45
VERTICAL 6	10.00	.30
VERTICAL 7	12.00	.25
VERTICAL 8	14.00	.27
VERTICAL 9	16.00	.39
VERTICAL 10	18.00	.41
VERTICAL 11	20.00	.45
VERTICAL 12	21.00	.50
VERTICAL 13	22.00	.50
VELOCIDADES EN LOS PUNTOS DE MEDICION		
VERTICAL 1	.222	
VERTICAL 2	.425	
VERTICAL 3	.502	
VERTICAL 4	.502	
VERTICAL 5	.510	
VERTICAL 6	.487	
VERTICAL 7	.471	
VERTICAL 8	.549	
VERTICAL 9	.510	
VERTICAL 10	.502	
VERTICAL 11	.409	
VERTICAL 12	.409	
VERTICAL 13	.276	
ANALISIS DE AFOROS	12/ 2/2009	2
-----		
RESULTADOS GLOBA		
=====		
NIVEL MEDIO :		
VELOCIDAD MEDIO :	.445	
AREA MOJADO :	9.850	
CAUDAL :	4.379	
PERIMETRO MOJADO :	23.235	
RADIO HIDRAULICO :	.424	
* El caudal es calculado de acuerdo al método de "la sección promedio		

## Anexo 27. Aforos estudio de dispersión #1. PUNTO 1(LLANO)

ANALISIS DE AFOROS		11/ 3/2009	1
-----			
ESTACION 4613 : SAN ANDRES	SUCIO	460201	
AFORO 2	FECHA 10/ 3/2009		
INICIO : 11H15	NIVEL :		
FIN : 11H35	NIVEL :		
OBSERVACION.....: EL LLANO			
ORIGEN DE LAS MEDICIONES.....: ORILLA IZQUIERDA			
DISTANCIA DESDE EL PTO. DE REF.: .00			
ANCHO DE LA SECCION.....: 25.10			
PROFUNDIDAD DE LOS ORILLAS.....: .73 Y .00			
CORRENTIMETRO USADO.....: 0011			
Molinete SEBA HYDROMETRIE GMBH D-87600 para #2227, 2245, 2246, 2247, Vadeo en barra de 20 mm			
CALIBRACION EL 1/ 1/2006 :			
A1= .3117	B1= .0193	S1= 1.9800	
A2= .3205	B2= .0019	S2= 10.2700	
A3= .3344	B3= -.1409		
RESULTADOS EN CADA VERTICAL			
=====			
DISTANCIA	PROFUNDIDAS	VELOCIDAD MEDIA	
	(M)	(M)	(M/S)
VERTICAL 1	1.00	.73	.1751
VERTICAL 2	2.00	.70	.2453
VERTICAL 3	4.00	.60	.2765
VERTICAL 4	6.00	.55	.3855
VERTICAL 5	8.00	.52	.4245
VERTICAL 6	10.00	.50	.4401
VERTICAL 7	12.00	.55	.4089
VERTICAL 8	14.00	.42	.3076
VERTICAL 9	16.00	.40	.2920
VERTICAL 10	18.00	.42	.2453
VERTICAL 11	20.00	.45	.2375
VERTICAL 12	22.00	.45	.1596
VERTICAL 13	23.00	.43	.1907
VERTICAL 14	24.00	.43	.1518
ANALISIS DE AFOROS		11/ 3/2009	2
-----			
VELOCIDADES EN LOS PUNTOS DE MEDICIO			
VERTICAL 1	.175		
VERTICAL 2	.245		
VERTICAL 3	.276		
VERTICAL 4	.386		
VERTICAL 5	.425		
VERTICAL 6	.440		
VERTICAL 7	.409		
VERTICAL 8	.308		
VERTICAL 9	.292		
VERTICAL 10	.245		
VERTICAL 11	.237		
VERTICAL 12	.160		
VERTICAL 13	.191		
VERTICAL 14	.152		
RESULTADOS GLOBA			
=====			
NIVEL MEDIO :			
VELOCIDAD MEDIO :	.290		
AREA MOJADO :	12.521		
CAUDAL :	3.625		
PERIMETRO MOJADO :	25.920		
RADIO HIDRAULICO :	.483		
* El caudal es calculado de acuerdo al método de "la sección promedio			

## Anexo 28. Aforos estudio de dispersión #1. PUNTO 2 (RANCHO QUEMADO)

ANALISIS DE AFOROS		11/ 3/2009	1
ESTACION 4613 : SAN ANDRES                      SUCIO                      460201			
AFORO 6                      FECHA : 9/ 3/2009			
INICIO : 10H55                      NIVEL :			
FIN : 11H25                      NIVEL :			
OBSERVACION.....: RANCHO QUEMADO			
ORIGEN DE LAS MEDICIONES.....: ORILLA IZQUIERDA			
DISTANCIA DESDE EL PTO. DE REF.: .00			
ANCHO DE LA SECCION.....: 31.00			
PROFUNDIDAD DE LOS ORILLAS.....: .35 Y .30			
CORRENTIMETRO USADO.....: 0011			
Molinete SEBA HYDROMETRIE GMBH D-87600 para #2227, 2245, 224			
6, 2247, Vadeo en barra de 20 mm			
CALIBRACION EL 1/ 1/2006 :			
A1= .3117                      B1= .0193                      S1= 1.9800			
A2= .3205                      B2= .0019                      S2= 10.2700			
A3= .3344                      B3= -.1409			
RESULTADOS EN CADA VERTICAL			
=====			
	DISTANCIA	PROFUNDIDAD	VELOCIDAD MEDIA
	(M)	(M)	(M/S)
VERTICAL 1	1.00	.80	.2648
VERTICAL 2	2.00	.60	.2920
VERTICAL 3	3.00	.55	.3778
VERTICAL 4	5.00	.45	.3855
VERTICAL 5	7.00	.46	.4011
VERTICAL 6	9.00	.40	.3855
VERTICAL 7	11.00	.44	.3388
VERTICAL 8	15.00	.35	.1362
VERTICAL 9	17.00	.56	.2609
VERTICAL 10	19.00	.53	.3544
VERTICAL 11	21.00	.35	.3855
VERTICAL 12	23.00	.19	.3374
VERTICAL 13	25.00	.52	.2842
VERTICAL 14	27.00	.60	.1829
VERTICAL 15	29.00	.40	.1907
VERTICAL 16	30.00	.35	.2375
ANALISIS DE AFOROS		11/ 3/2009	2
VELOCIDADES EN LOS PUNTOS DE MEDICION			
VERTICAL 1	.308	.222	
VERTICAL 2	.292		
VERTICAL 3	.378		
VERTICAL 4	.386		
VERTICAL 5	.401		
VERTICAL 6	.386		
VERTICAL 7	.339		
VERTICAL 8	.136		
VERTICAL 9	.261		
VERTICAL 10	.354		
VERTICAL 11	.386		
VERTICAL 12	.393		
VERTICAL 13	.284		
VERTICAL 14	.183		
VERTICAL 15	.191		
VERTICAL 16	.237		
RESULTADOS GLOBA			
NIVEL MEDIO :			
VELOCIDAD MEDIO : .289			
AREA MOJADO : 13.990			
CAUDAL : 4.046			
PERIMETRO MOJADO : 31.839			
RADIO HIDRAULICO : .439			
* El caudal es calculado de acuerdo al método de "la sección promedio			

## Anexo 29. Aforos estudio de dispersión #2. PUNTO 1(LLANO)

ANALISIS DE AFOROS	22/ 5/2009	1
-----		
ESTACION 4613 : SAN ANDRES	SUCIO	460201
AFORO 1	FECHA	18/ 5/2009
INICIO : 11H 4	NIVEL :	
FIN : 11H25	NIVEL :	
OBSERVACION.....: A-02-LLANO.8 Mt.agua.arrib.Pte.colgante		
ORIGEN DE LAS MEDICIONES.....: ORILLA IZQUIERDA		
DISTANCIA DESDE EL PTO. DE REF.: .00		
ANCHO DE LA SECCION.....: 26.75		
PROFUNDIDAD DE LOS ORILLAS.....: .40 Y .00		
CORRENTIMETRO USADO.....: 0008		
MOLINETE AOTT 121480 DE 125 mm DE DIAMETRO		
HELICE 1-125172		
CALIBRACION EL 8/12/2000 :		
A1= .2434	B1= .0110	S1= .5700
A2= .2592	B2= .0020	
RESULTADOS EN CADA VERTICAL		
=====		
DISTANCIA	PROFUNDIDAD	VELOCIDAD MEDIA
	(M)	(M/S)
VERTICAL 1	1.00	.64
VERTICAL 2	2.00	.68
VERTICAL 3	4.00	.76
VERTICAL 4	6.00	.62
VERTICAL 5	8.00	.61
VERTICAL 6	10.00	.73
VERTICAL 7	12.00	.70
VERTICAL 8	14.00	.70
VERTICAL 9	16.00	.73
VERTICAL 10	18.00	.63
VERTICAL 11	20.00	.66
VERTICAL 12	22.00	.62
VERTICAL 13	24.00	.64
VERTICAL 14	25.00	.57
VERTICAL 15	26.00	.45
ANALISIS DE AFOROS		
22/ 5/2009		
2		
-----		
VELOCIDADES EN LOS PUNTOS DE MEDICION		
VERTICAL 1	.060	
VERTICAL 2	.274	
VERTICAL 3	.436	.313
VERTICAL 4	.410	
VERTICAL 5	.397	
VERTICAL 6	.404	
VERTICAL 7	.436	
VERTICAL 8	.566	
VERTICAL 9	.527	
VERTICAL 10	.644	
VERTICAL 11	.553	
VERTICAL 12	.443	
VERTICAL 13	.332	
VERTICAL 14	.248	
VERTICAL 15	.108	
RESULTADOS GLOBA		
=====		
NIVEL MEDIO :		
VELOCIDAD MEDIO :	.417	
AREA MOJADO :	17.304	
CAUDAL :	7.219	
PERIMETRO MOJADO :	27.327	
RADIO HIDRAULICO :	.633	
* El caudal es calculado de acuerdo al método de "la sección promedio		

## Anexo 30. Aforos estudio de dispersión #2. PUNTO 2 (RANCHO QUEMADO)

ANALISIS DE AFOROS	22/ 5/2009	1
-----		
ESTACION 4613 : SAN ANDRES	SUCIO	460201
AFORO 2	FECHA 18/ 5/2009	
INICIO : 11H55	NIVEL :	
FIN : 12H18	NIVEL :	
OBSERVACION.....: A-03-RANCH.		
ORIGEN DE LAS MEDICIONES.....: ORILLA IZQUIERDA		
DISTANCIA DESDE EL PTO. DE REF.: .00		
ANCHO DE LA SECCION.....: 34.90		
PROFUNDIDAD DE LOS ORILLAS.....: .00 Y .00		
CORRENTIMETRO USADO.....: 0008		
MOLINETE AOTT 121480 DE 125 mm DE DIAMETRO		
HELICE 1-125172		
CALIBRACION EL 8/12/2000 :		
A1= .2434	B1= .0110	S1= .5700
A2= .2592	B2= .0020	
RESULTADOS EN CADA VERTICAL		
=====		
DISTANCIA	PROFUNDIDAD	VELOCIDAD MEDIA
	(M)	(M/S)
VERTICAL 1	1.00	.59
VERTICAL 2	2.00	.57
VERTICAL 3	4.00	.40
VERTICAL 4	6.00	.33
VERTICAL 5	8.00	.40
VERTICAL 6	11.00	.35
VERTICAL 7	14.00	.44
VERTICAL 8	17.00	.43
VERTICAL 9	20.00	.46
VERTICAL 10	23.00	.60
VERTICAL 11	26.00	.80
VERTICAL 12	29.00	.78
VERTICAL 13	31.00	.67
VERTICAL 14	33.00	.60
VERTICAL 15	34.00	.57
22/ 5/2009		
2		
-----		
VELOCIDADES EN LOS PUNTOS DE MEDICION		
VERTICAL 1	.177	
VERTICAL 2	.332	
VERTICAL 3	.430	
VERTICAL 4	.514	
VERTICAL 5	.475	
VERTICAL 6	.436	
VERTICAL 7	.345	
VERTICAL 8	.391	
VERTICAL 9	.494	
VERTICAL 10	.533	
VERTICAL 11	.501	.475
VERTICAL 12	.449	.436
VERTICAL 13	.404	
VERTICAL 14	.352	
VERTICAL 15	.196	
RESULTADOS GLOBA		
=====		
NIVEL MEDIO :		
VELOCIDAD MEDIO :	.423	
AREA MOJADO :	17.876	
CAUDAL :	7.567	
PERIMETRO MOJADO :	35.253	
RADIO HIDRAULICO :	.507	
* El caudal es calculado de acuerdo al método de "la sección promedio		

## Anexo 31. Graficas de control para parámetros de aptitudes de uso del agua

### • APTITUD DE USO DEL AGUA PARA RIEGO

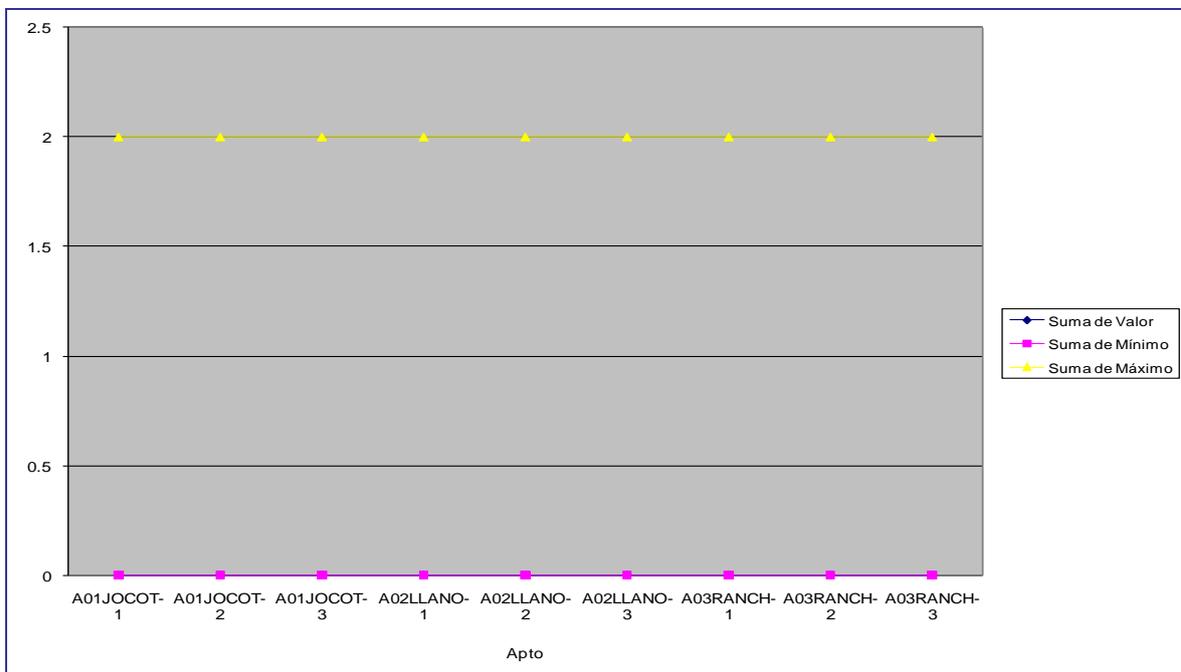


Figura 1. 1 Grafica de control de parámetro Boro para evaluación aptitudes de uso de agua para riego

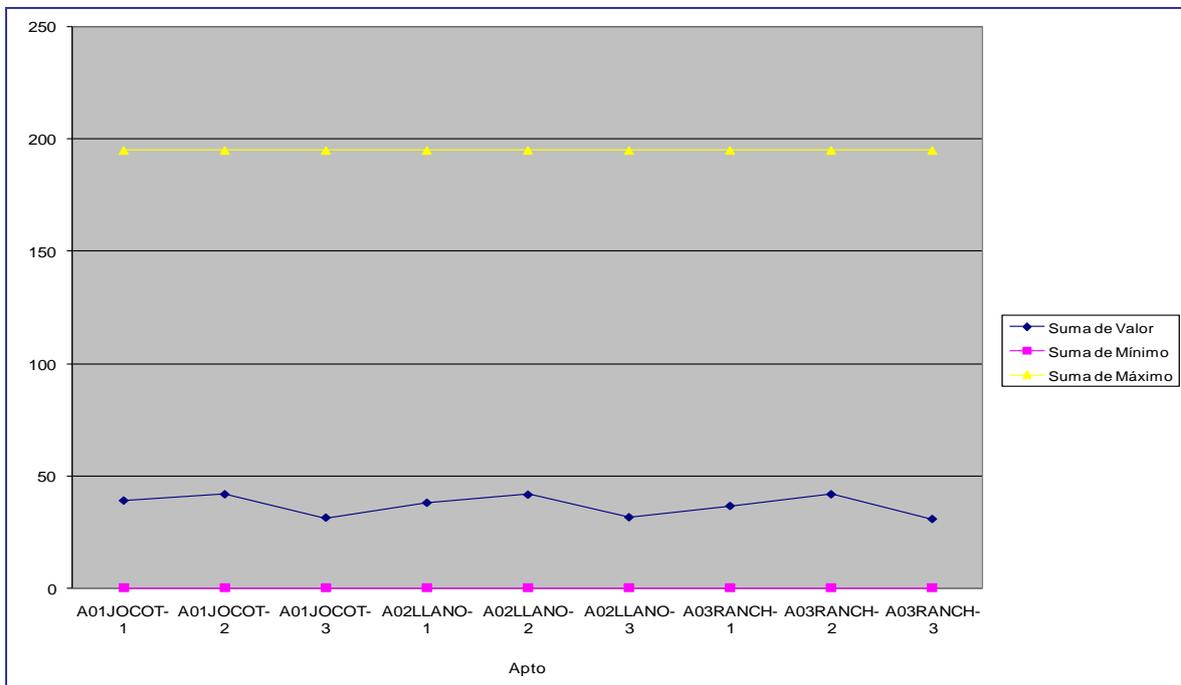


Figura 1. 2 Grafica de control de parámetro Cloruros para evaluación aptitudes de uso de agua para riego

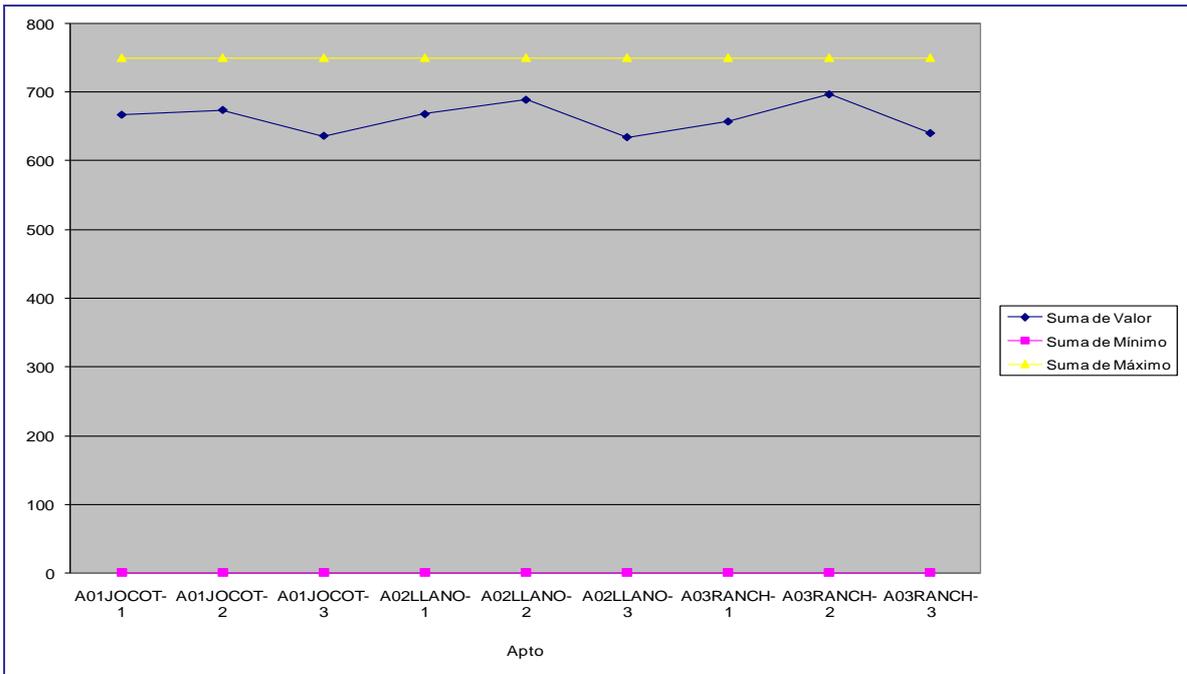


Figura 1. 3 Grafica de control de parámetro Conductividad para evaluación aptitudes de uso de agua para riego

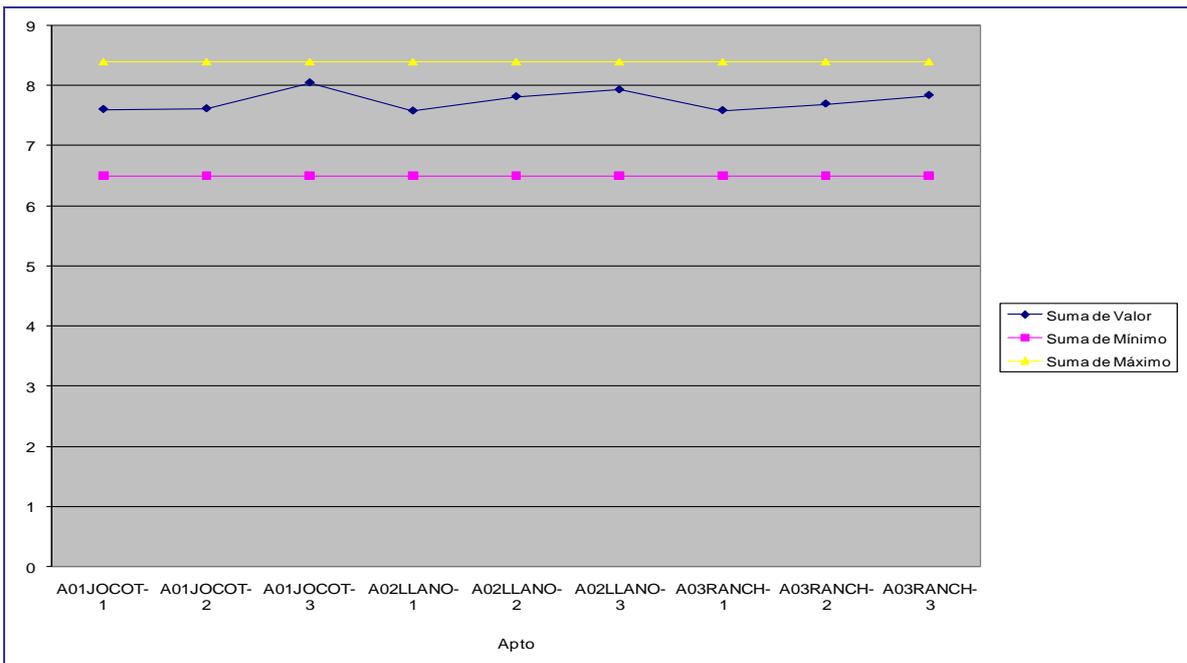


Figura 1. 4 Grafica de control de parámetro PH para evaluación aptitudes de uso de agua para riego

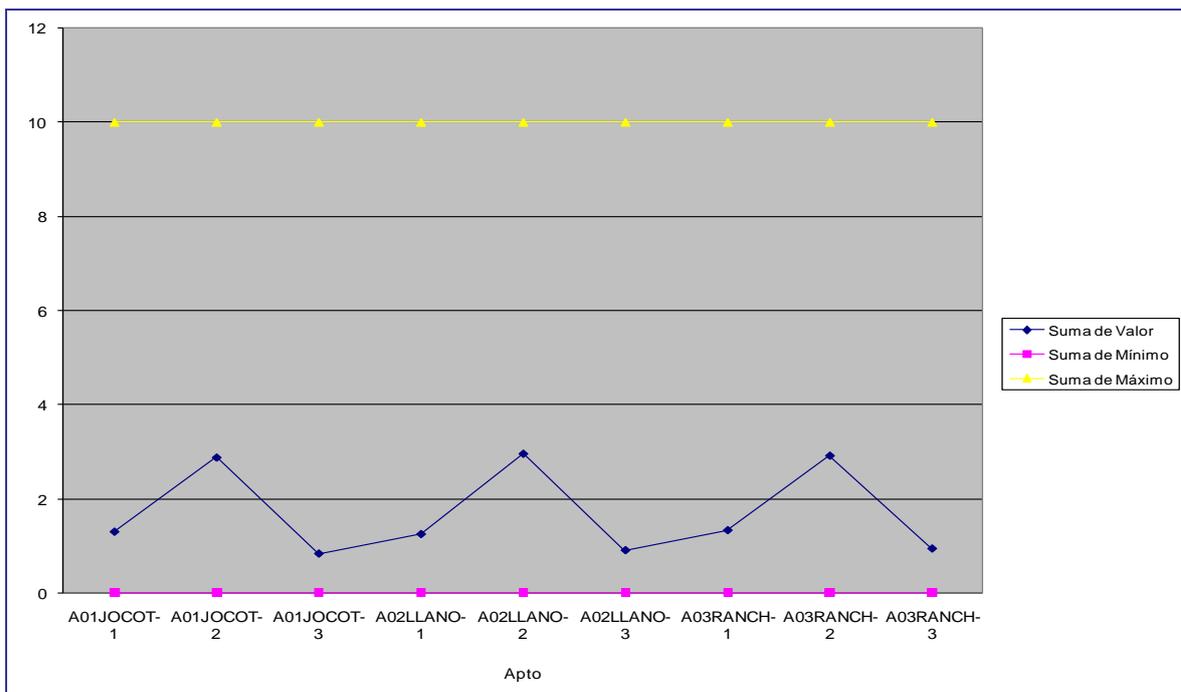


Figura 1. 5 Grafica de control de parámetro RAS para evaluación aptitudes de uso de agua para riego

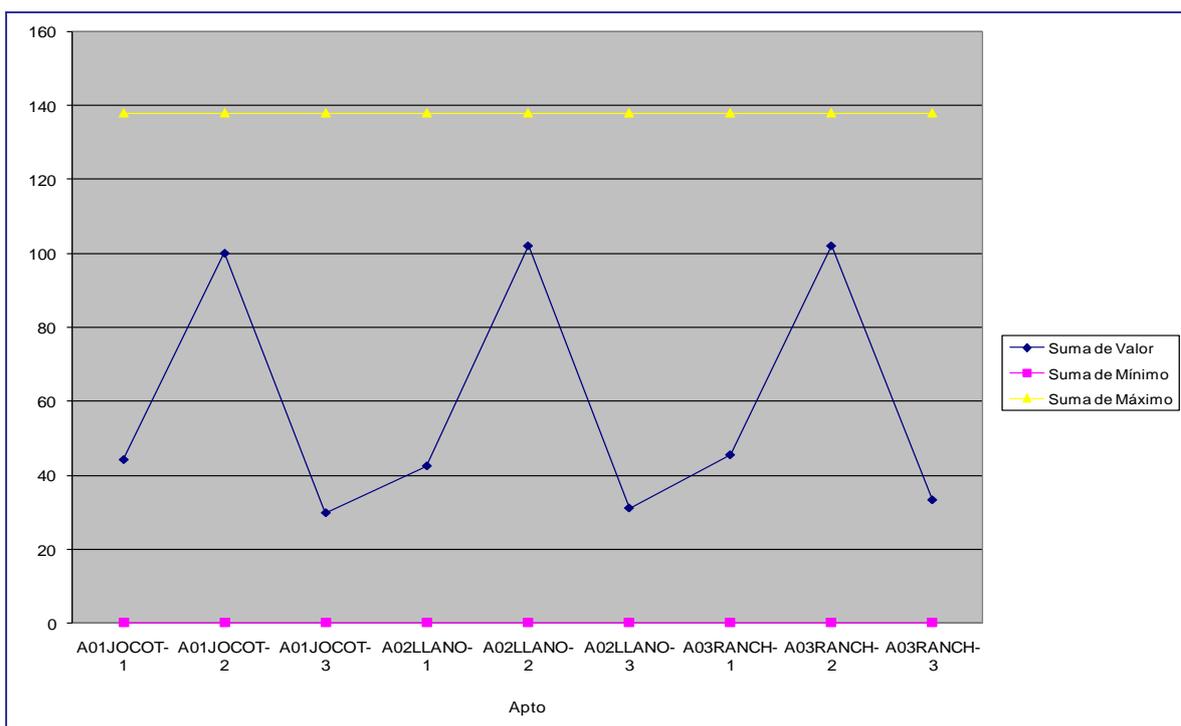


Figura 1. 6 Grafica de control de parámetro Sodio para evaluación aptitudes de uso de agua para riego

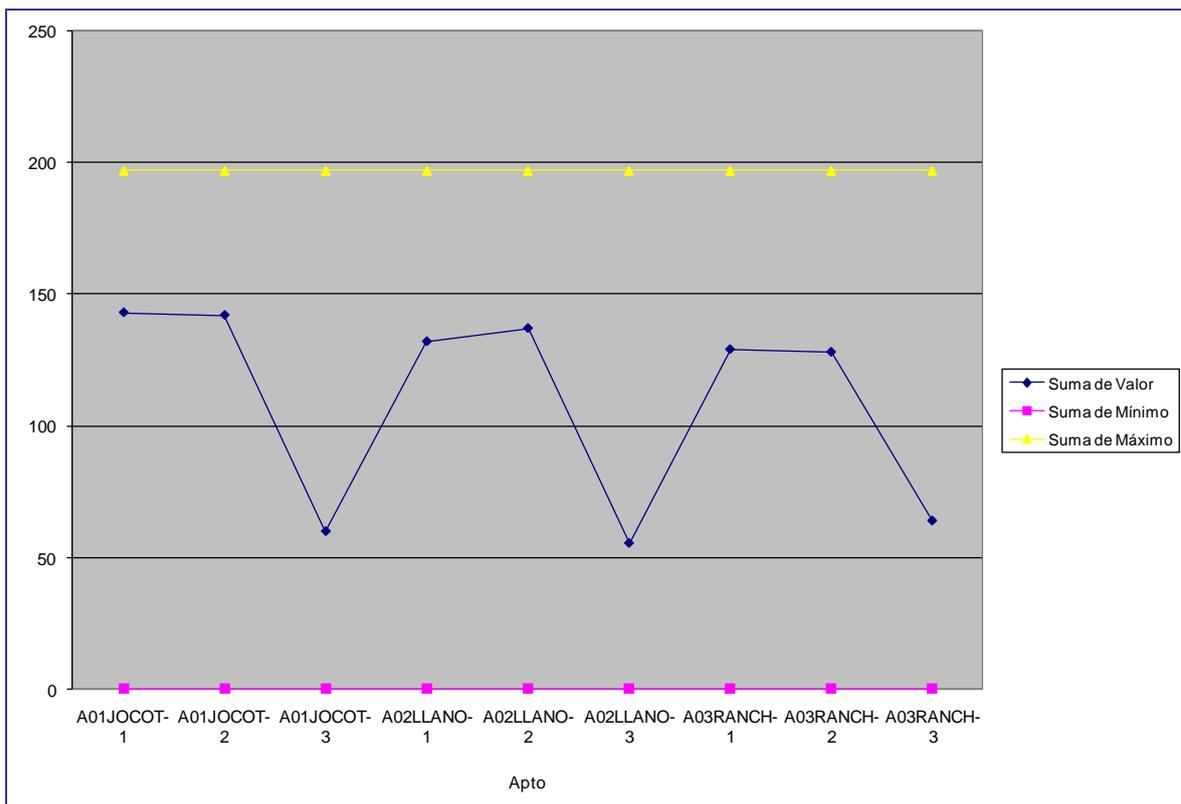


Figura 1. 7 Grafica de control de parámetro Sulfatos para evaluación aptitudes de uso de agua para riego

- **APTITUD DE USO DEL AGUA CRUDA PARA POTABILIZAR**

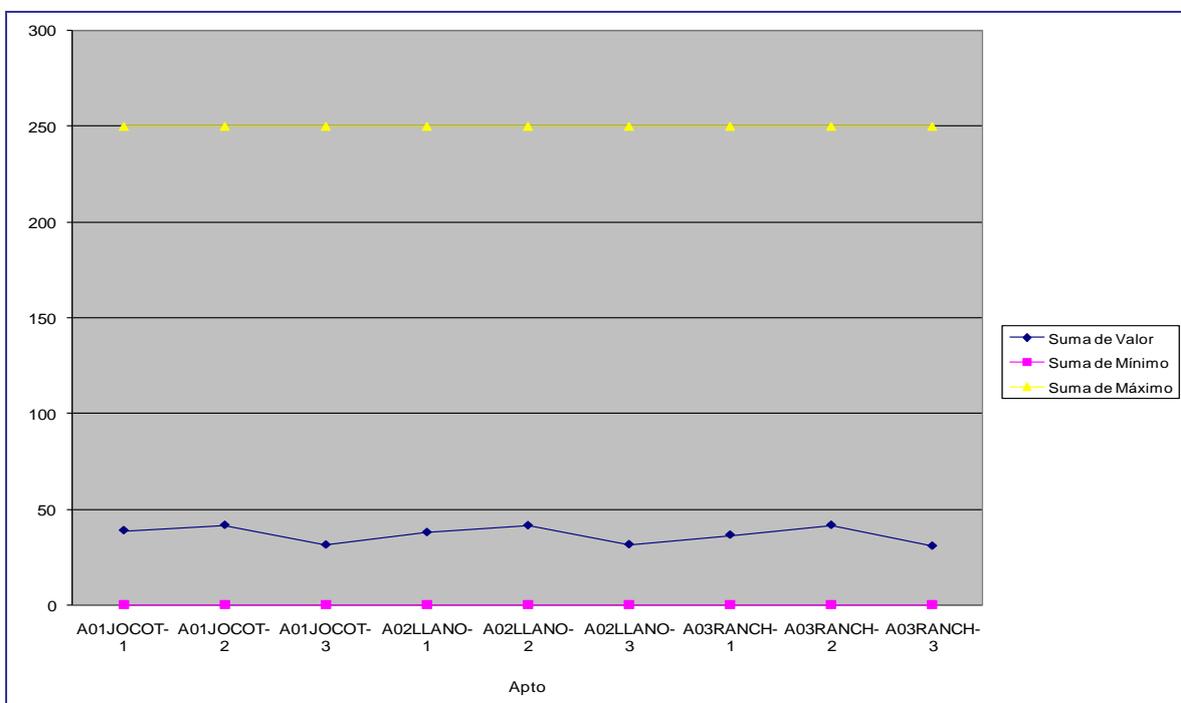
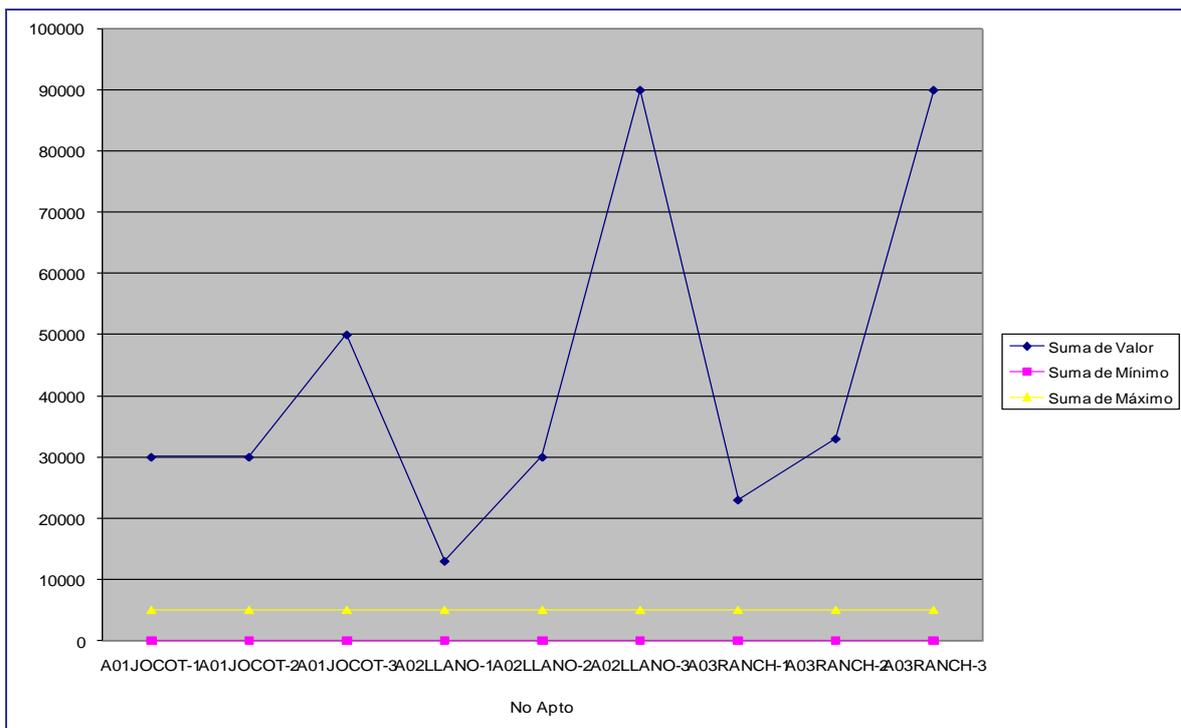


Figura 1. 8 Grafica de control de parámetro Cloruros para evaluación aptitudes de uso de agua cruda para potabilización



**Figura 1. 9 Grafica de control de parámetro Coliformes fecales para evaluación aptitudes de uso de agua cruda para potabilización**

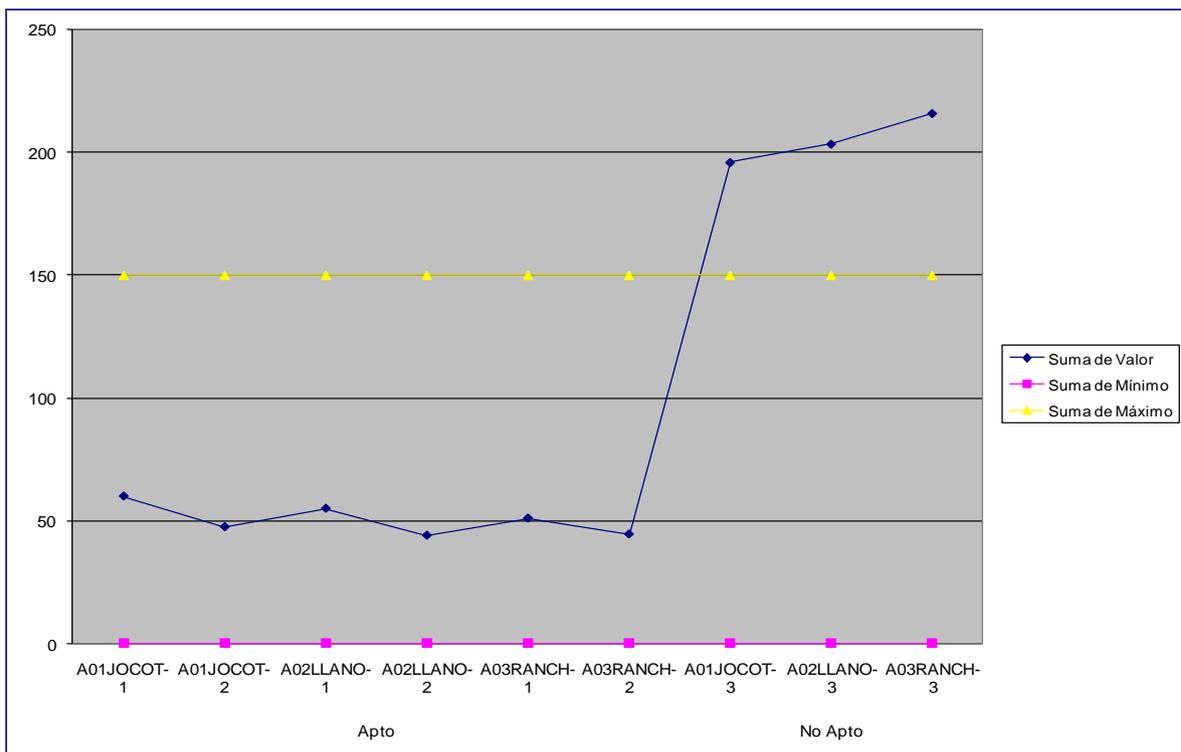


Figura 1. 10 Grafica de control de parámetro Color aparente para evaluación aptitudes de uso de agua cruda para potabilización

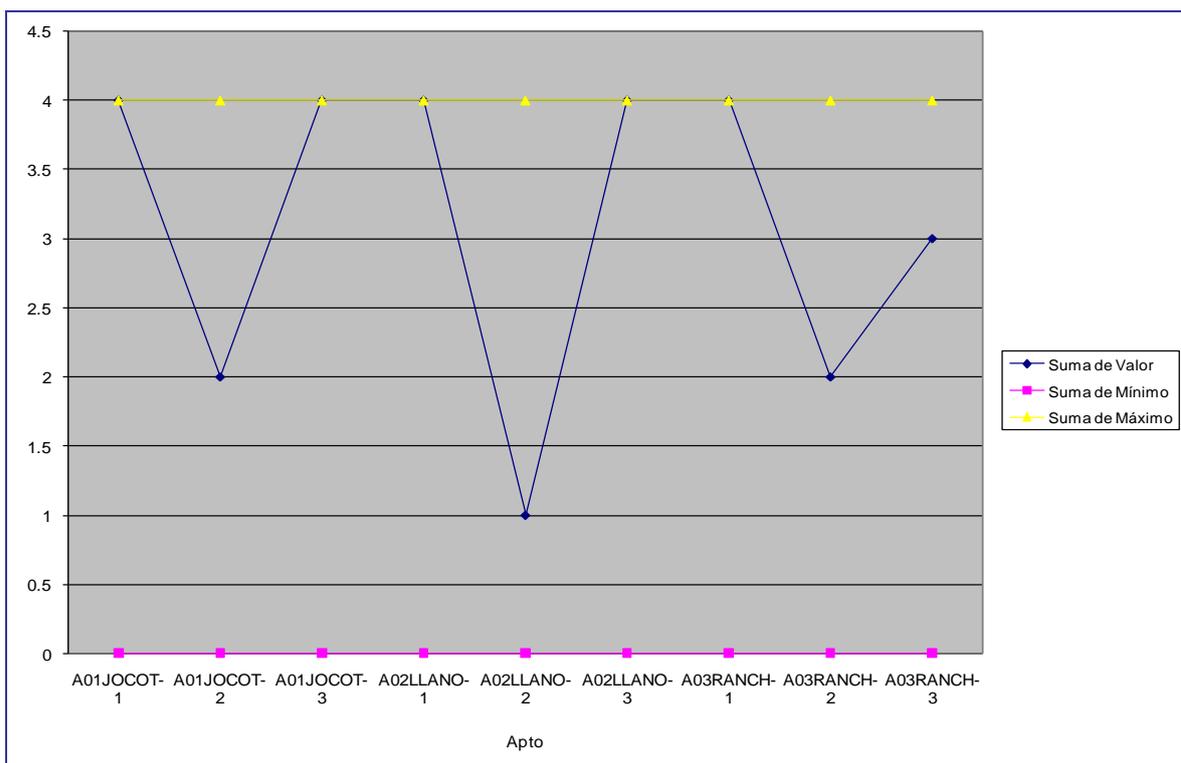


Figura 1. 11 Grafica de control de parámetro DBO<sub>5</sub> para evaluación aptitudes de uso de agua cruda para potabilización

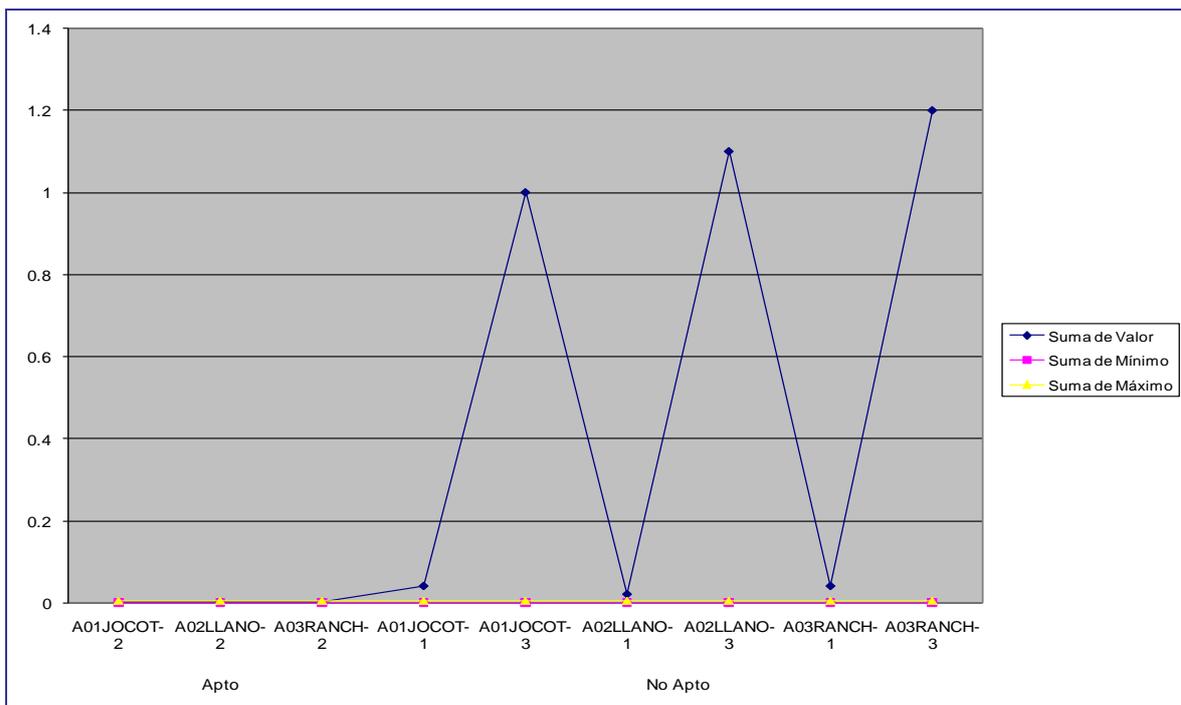


Figura 1. 12 Grafica de control de parámetro Fenoles para evaluación aptitudes de uso de agua cruda para potabilización

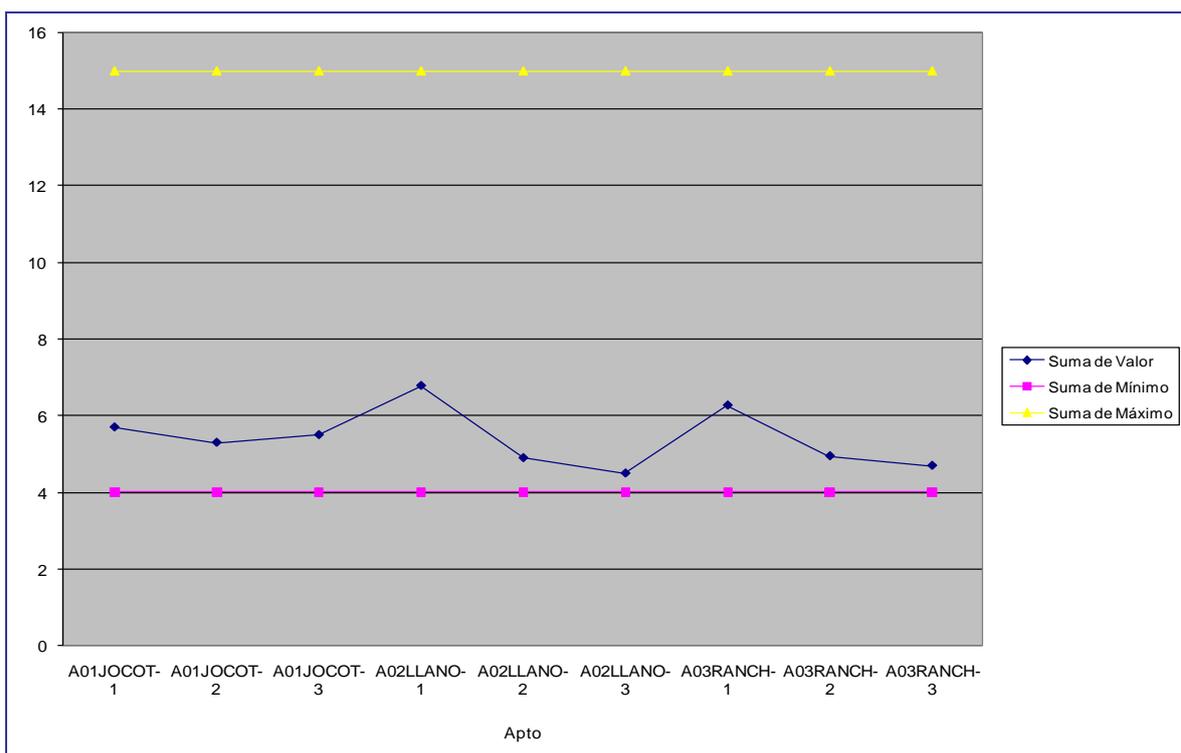


Figura 1. 13 Grafica de control de parámetro Oxígeno disuelto para evaluación aptitudes de uso de agua cruda para potabilización

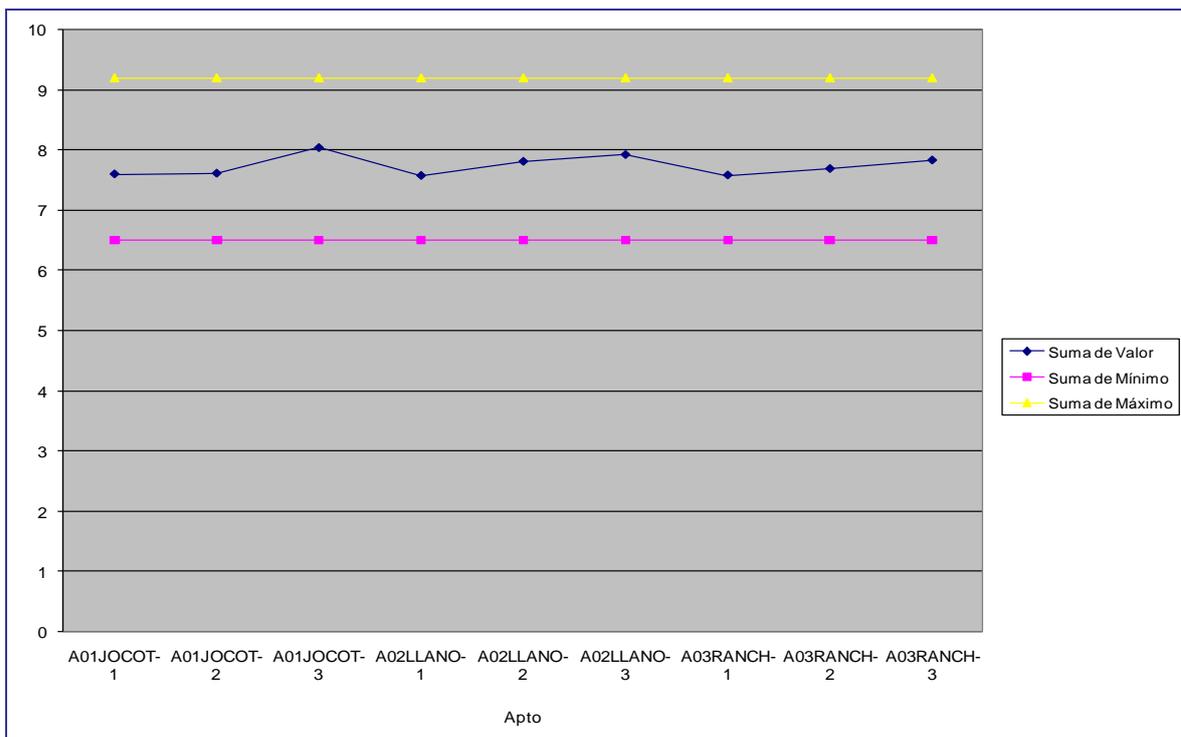


Figura 1. 14 Grafica de control de parámetro PH para evaluación aptitudes de uso de agua cruda para potabilización

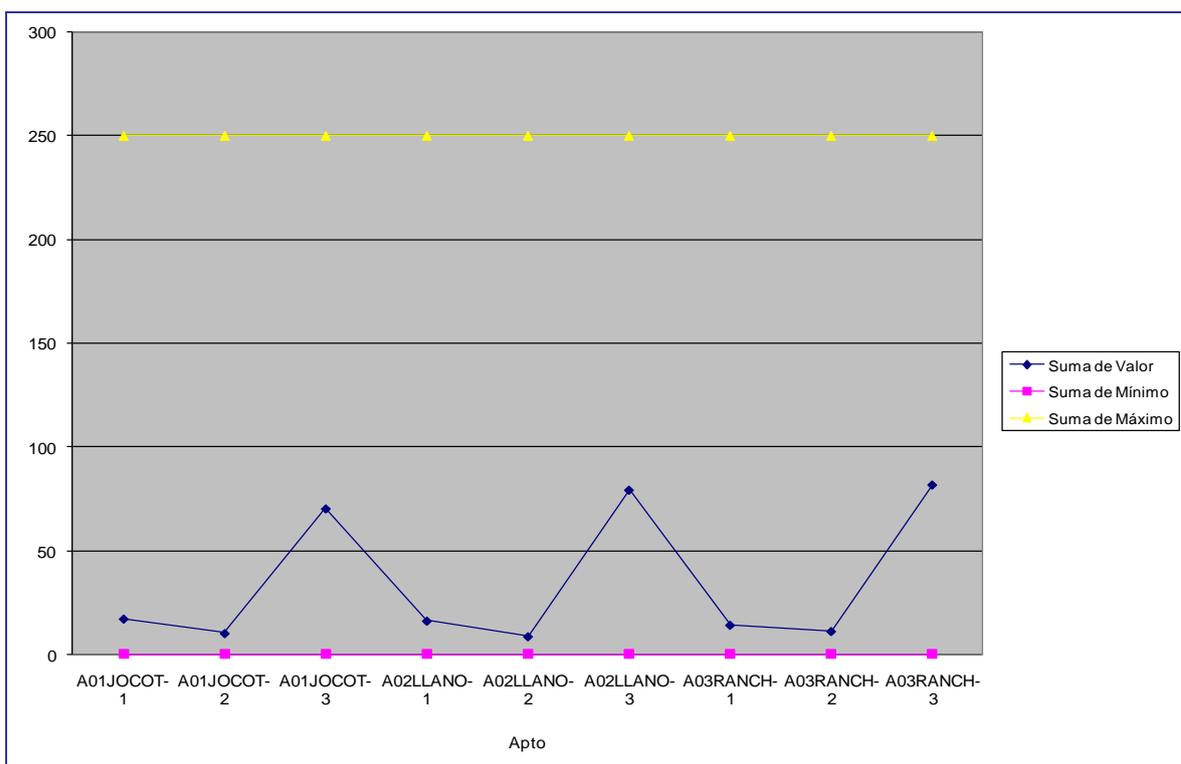
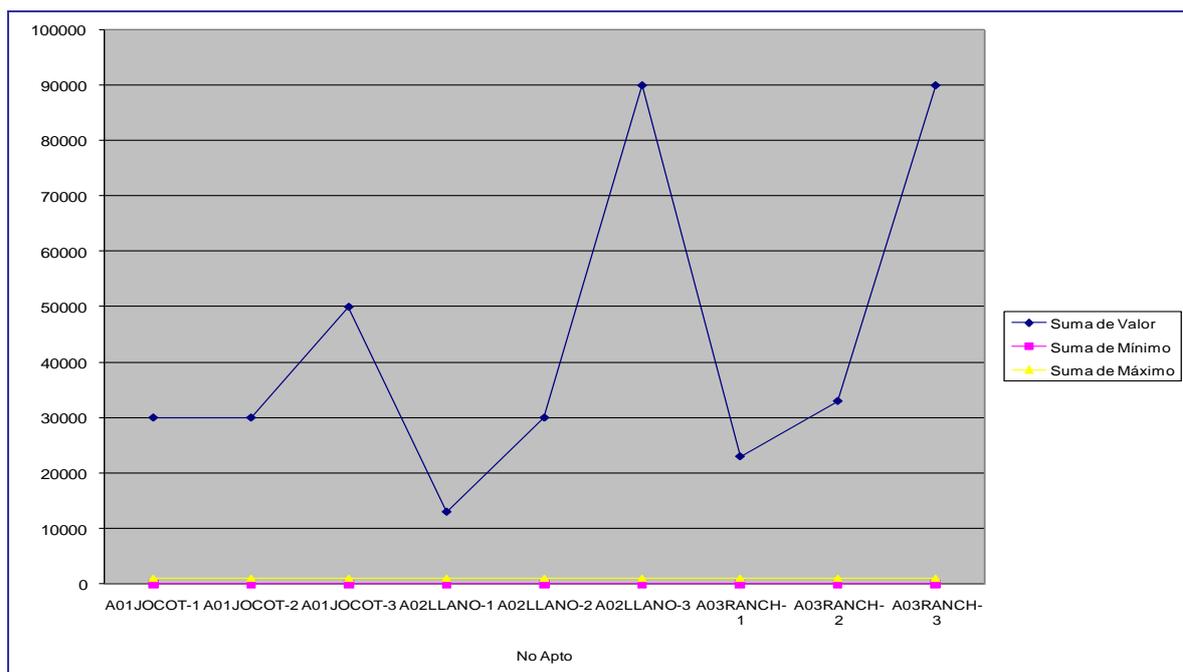
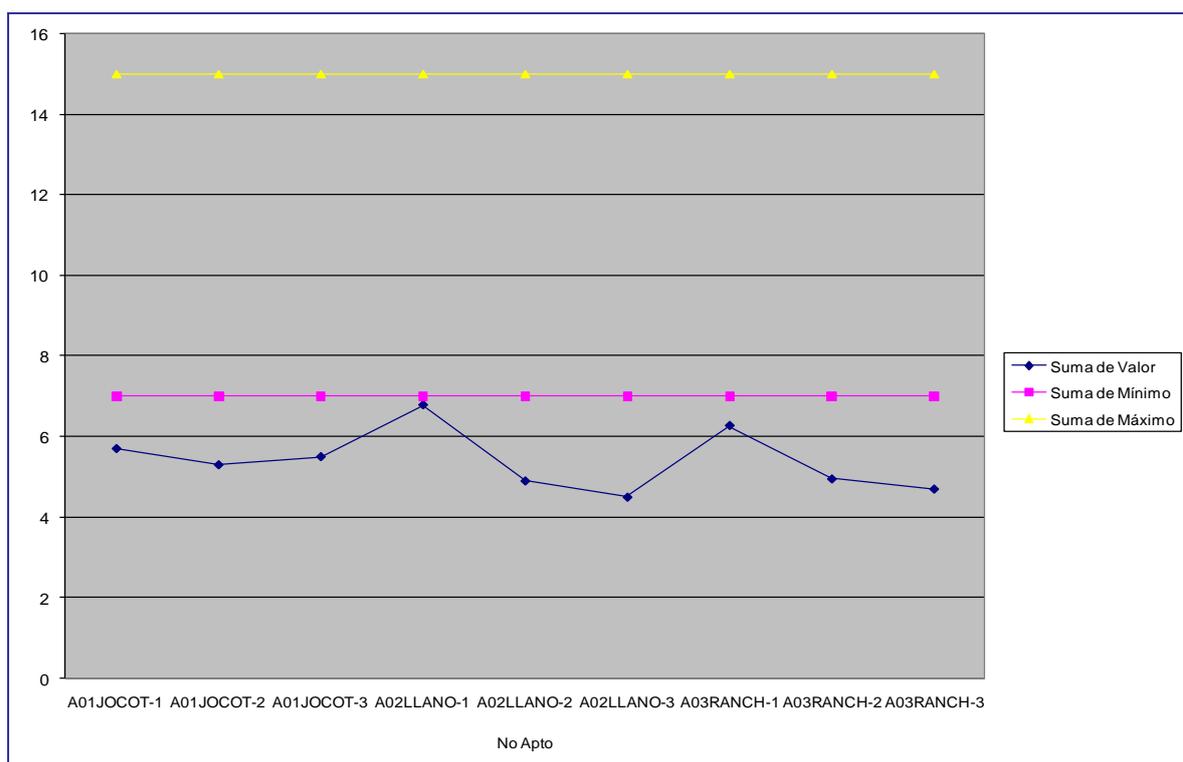


Figura 1. 15 Grafica de control de parámetro Turbidez para evaluación aptitudes de uso de agua cruda para potabilización

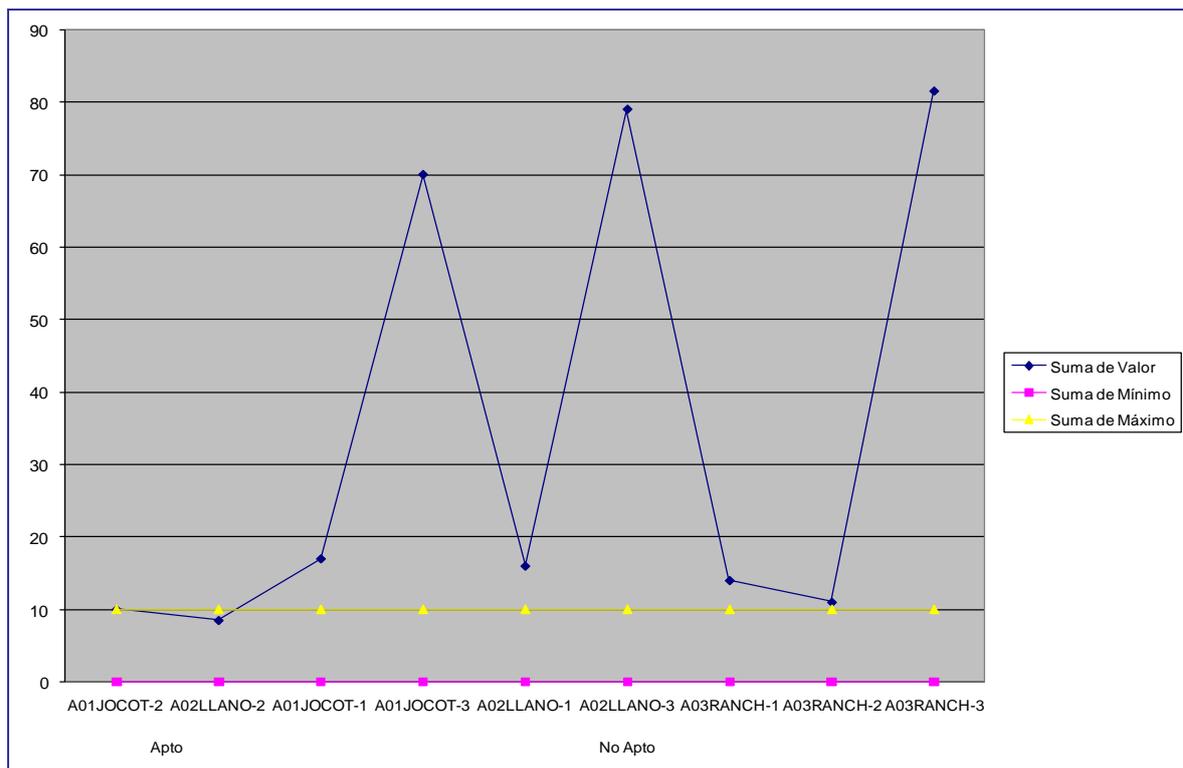
• **APTITUD DE USO DEL AGUA PARA CONTACTO HUMANO**



**Figura 1. 16 Grafica de control de parámetro Coliformes fecales para evaluación aptitudes de uso de agua para contacto humano**



**Figura 1. 17 Grafica de control de parámetro Oxígeno disuelto para evaluación aptitudes de uso de agua para contacto humano**



**Figura 1. 18 Grafica de control de parámetro turbidez para evaluación aptitudes de uso de agua para contacto humano**