

UNIVERSIDAD ESTATAL A DISTANCIA
VICERRECTORÍA ACADÉMICA
ESCUELA DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES
Programa de Maestría en Manejo de Recursos Naturales

***Calidad físico-química y bacteriológica del agua para consumo humano
de la microcuenca de la quebrada Victoria,
Curubandé, Guanacaste, Costa Rica,
año hidrológico 2007-2008***

Tesis sometido a la consideración del Tribunal Examinador del
Programa de Maestría en Manejo de Recursos Naturales de la
Escuela de Ciencias Exactas y Naturales para optar al grado de:

Magister Scientiae en Manejo de Recursos Naturales con
Mención en Gestión Ambiental

Por

Bi Yun Zhen Wu

San José, Costa Rica
2009

Esta tesis ha sido aceptada y aprobada, en su forma presente, por el Tribunal Examinador del Programa de Estudios de la Maestría Académica respectiva de la Escuela de Ciencias Exactas y Naturales de la UNED, como requisito parcial para optar al grado de:

**MAGISTER SCIENTIAE EN MANEJO DE RECURSOS NATURALES
CON MENCIÓN EN GESTIÓN AMBIENTAL**

Nidia Lobo Solera, Ph. D.
Directora del Sistema de Estudios de
Posgrado

Carmen G. Valverde Morales, M.Sc.
Directora de Tesis

Oلمان Díaz Sánchez, M.Sc.
Director de la Escuela de Ciencias
Exactas y Naturales

Carmen I. Valiente Álvarez, M.Sc.
Lectora

Zaidett Barrientos Llosa, M.Sc.
Coordinadora del Programa de
Maestría en Manejo de Recursos
Naturales

Francisco Jiménez Otárola, Dr. Sc.
Lector

Bi Yun Zhen Wu
Estudiante

DEDICATORIA

A mis abuelos, quienes con su sabiduría y paciencia, han inspirado siempre en mí la perseverancia y el esfuerzo en todos mis quehaceres.

A mis padres, que a pesar de que no entienden lo escrito en esta tesis, siempre me han apoyado desde lejos.

A mis queridas amigas y queridos amigos, quienes con su apoyo, comprensión, compañía y valiosa amistad, me han ayudado a superar cada uno de los obstáculos a lo largo de este camino.

A todas las personas que han depositado valiosos e inolvidables huellas en mi corazón a lo largo de este proceso.

Dedico esta tesis al preciado recurso natural de todos los seres vivos de este planeta, el agua. Razones hay de sobra para celebrar el 2008,

Día Mundial del Agua

Día Mundial del Medio Ambiente

Año Internacional de Saneamiento

Año Internacional del Planeta Tierra

Decenio Internacional para la Acción:

“El agua, fuente de vida”

(2005-2015)

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Estatal a Distancia (UNED) por darme la oportunidad de cursar esta maestría.

Al comité de tesis: la M.Sc. Carmen Ginette Valverde Morales (Ingeniera forestal, Universidad Nacional de Costa Rica, UNA), la Dra. Carmen Isabel Valiente Álvarez (Microbióloga, Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, AyA) y el Dr. Sc. Francisco Jiménez Otárola (Ingeniero agrónomo, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE), por su apoyo y asesoría que fueron esenciales para el éxito de esta investigación.

Al AyA, en especial al Dr. Darner Mora Alvarado, el Lic. Luis Zúñiga y la Dra. Alexandra Pacheco; y al personal del Laboratorio Región Pacífico Central en Puntarenas y del Laboratorio Nacional de Aguas en Tres Ríos, por su apoyo, colaboración y cooperación a lo largo del proyecto.

Al Instituto Costarricense de Electricidad (ICE), en especial al Dr. Alfredo Mainieri Protti y Lic. Antonio Yock Fung; el Lic. Eduardo Vega Zúñiga, Anyela Murillo Arroyo, al personal del Laboratorio de Geoquímica del Centro de Servicio Recursos Geotérmicos, a las diferentes unidades estratégicas, centros de servicio y áreas de trabajo, por su colaboración y valioso aporte a este proyecto.

Al equipo de muestreo: Juan Carlos Hernández Morales y José Alberto Solórzano Quirós, por su compromiso, disposición, esfuerzo, perseverancia y colaboración a lo largo del proyecto.

A María Gabriela Zeledón Angulo y Manuel Barrantes Víquez por su incondicional apoyo y gentil colaboración.

A la Asociación Administradora de Acueductos y Alcantarillados (ASADA) de Curubandé por su valioso apoyo y colaboración a lo largo de todo el proyecto.

A los vecinos de la comunidad de Curubandé y miembros de las diferentes instituciones y asociaciones, por su valiosa participación en la elaboración de la propuesta del plan de acción de cogestión del recurso hídrico de la microcuenca de la quebrada Victoria.

Finalmente, mis más sinceros agradecimientos a todas las personas, que desinteresada e incondicionalmente, me han apoyado de una u otra forma en cada una de los pequeños pasos transitados a lo largo de este proceso de investigación.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTOS.....	iv
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	v
ÍNDICE DE CUADROS.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
LISTA DE ABREVIATURAS	xiv
GLOSARIO DE TÉRMINOS	xv
RESUMEN.....	xvii
1 INTRODUCCIÓN.....	1
2 OBJETIVOS.....	3
2.1 Objetivo general.....	3
2.2 Objetivos específicos	3
3 HIPÓTESIS.....	4
4 MARCO TEÓRICO	5
4.1 El monitoreo y muestreo	5
4.2 Calidad del agua	6
4.3 Composición química del agua	7
4.4 Parámetros de calidad del agua.....	9
4.4.1 Parámetros de calidad física del agua.....	9
4.4.2 Parámetros de calidad química del agua.....	11
4.4.3 Parámetros de calidad bacteriológica del agua	16
4.4.4 Parámetro hidrológico	17
4.5 Fuentes puntuales y no puntuales de contaminación del agua.....	18
4.6 Índices de calidad del agua.....	19
4.6.1 Índice de calidad del agua de la Fundación de Sanidad Nacional (NSF).....	20
4.6.2 Índice holandés de calidad del agua (IHCA).....	21
4.6.3 Usos del agua	22
4.7 Nivel de la contaminación bacteriana.....	25
4.8 Cogestión del recurso hídrico en la cuenca hidrográfica	25
5 METODOLOGÍA	27

5.1	Área de estudio	27
5.1.1	Caracterización biofísica	28
5.1.2	Campo geotérmico Las Pailas.....	36
5.1.3	Caracterización socioeconómica	37
5.2	Determinación de la red de muestreo.....	41
5.2.1	Selección de puntos de muestreo.....	41
5.3	Material y equipo de muestreo	43
5.4	Frecuencia de muestreo.....	43
5.5	Recolección y conservación de muestras.....	43
5.6	Análisis físico-químicos y bacteriológicos	44
5.7	Medición de caudal	46
5.8	Análisis estadístico.....	47
5.9	Determinación de índices de calidad del agua y clasificación de la contaminación bacteriana.....	48
5.10	Información geográfica.....	48
5.11	Identificación de fuentes puntuales y no puntuales de contaminación	49
5.12	Planteamiento de la propuesta del plan acción para la cogestión del recurso hídrico de la microcuenca de la quebrada Victoria	49
6	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	52
6.1	Parámetros de calidad del agua.....	52
6.1.1	Parámetros físicos.....	52
6.1.2	Parámetros químicos.....	62
6.1.3	Parámetros bacteriológicos	82
6.2	Características hidrológicas y climáticas de la microcuenca de la Quebrada Victoria....	90
6.2.1	Caudal medio del agua.....	90
6.2.2	Condiciones climáticas durante los muestreos	92
6.3	Análisis estadístico.....	94
6.4	Hipótesis	101
6.5	Fuentes puntuales y no puntuales de contaminación	102
6.5.1	Fuentes puntuales de contaminación	102
6.5.2	Fuentes no puntuales de contaminación	105
6.6	Análisis de índices de calidad del agua	107
6.6.1	Índice de calidad del agua de la NSF	107

6.6.2	Índice holandés de calidad del agua.....	109
6.6.3	Nivel de riesgo de la contaminación bacteriana.....	110
6.6.4	Análisis integral de los índices de calidad del agua	117
6.7	Análisis de presiones e impactos en la calidad del agua de la microcuenca	119
6.8	Áreas de protección en la microcuenca.....	121
6.9	Plan de acción para la cogestión del recurso hídrico en la microcuenca	124
6.9.1	Primera actividad: Reunión informativa	124
6.9.2	Segunda actividad: Taller participativo	125
6.9.3	Tercera actividad: Validación y presentación de la propuesta del plan	128
6.9.4	Propuesta del plan de acción	129
7	CONCLUSIONES	141
8	RECOMENDACIONES	143
9	BIBLIOGRAFÍA.....	145
9.1	Referencias citadas.....	145
9.2	Comunicaciones personales	152
10	ANEXOS.....	153
10.1	Anexos 1. Cuadros.....	153
10.2	Anexo 2. Cálculos	157
10.3	Anexo 3. Estadística.....	159
10.3.1	Gráficos.....	159
10.3.2	Pruebas estadísticas	166
10.4	Anexo 4. Volantes y carta.....	168
10.5	Anexo 5. Fotos.....	169
10.5.1	Sitios de la red de muestreo	169
10.5.2	Fuentes puntuales de contaminación	176
10.5.3	Senderos de la microcuenca	178
10.5.4	Fuentes no puntuales de contaminación	180
10.5.5	Campo geotérmico Las Pailas.....	182
10.5.6	Actividades desarrolladas para la elaboración de la propuesta del plan de acción ..	183

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Composición química del cráter del Volcán Rincón de la Vieja, Guanacaste, Costa Rica.....	7
Cuadro 2. Composición química del agua de pozos geotérmicos profundos separada a presión atmosférica del 2001 y 2002.	8
Cuadro 3. Factores de ponderación asignados para cada parámetro para el índice de calidad del agua de la NSF.	20
Cuadro 4. Descriptores de calidad y color para expresar el índice de calidad de la NSF.	21
Cuadro 5. Cuadro de asignación de puntajes según el Sistema Holandés de Valoración de la Calidad del Agua para cuerpos receptores.....	21
Cuadro 6. Cuadro de asignación de clases de calidad del agua según el Sistema Holandés de codificación por colores, basado en valores de PSO, DBO y $\text{NH}_4^+\text{-N}$	22
Cuadro 7. Parámetros para la determinación de la calidad de las aguas de cuerpos superficiales para las clases establecidas en el Reglamento para la Clasificación y la Evaluación de la Calidad de Cuerpos de Agua Superficiales.	23
Cuadro 8. Clasificación de los cuerpos de agua superficiales según el uso potencial y el tipo de tratamiento que se requiera.	24
Cuadro 9. Clasificación para la contaminación bacteriana según el nivel de riesgo para la salud.	25
Cuadro 10. Datos de precipitación mensual y total del periodo 2002-2008 según la estación meteorológica Las Pailas 74036.	34
Cuadro 11. Lista de fauna bentónica observada en la quebrada Victoria, Guanacaste, Costa Rica, del 2004.	36
Cuadro 12. Sitios de la red de muestreo de la microcuenca de la quebrada Victoria, en Curubandé, Guanacaste, Costa Rica.	42
Cuadro 13. Métodos para los análisis físico-químicos y bacteriológicos de los parámetros indicadores de calidad del agua.	45
Cuadro 14. Ecuación para calcular la velocidad del agua en un área de la sección transversal de la corriente empleando el molinete marca Seba D-87600 Kaufbeuren, Nr. F1 2169, modelo Z6, Alemana.	46
Cuadro 15. Cronograma de trabajo aplicado para el taller participativo en el salón comunal de Curubandé, Guanacaste, Costa Rica.	50
Cuadro 16. Cronograma de trabajo aplicado para la reunión de validación de la propuesta del plan de acción en el salón comunal de Curubandé, Guanacaste, Costa Rica.	51
Cuadro 17. Temperatura del agua de los sitios de la red de muestreo de la microcuenca de la quebrada Victoria, Curubandé, Guanacaste, Costa Rica, en función de la época de muestreo 2007-2008.	53

Cuadro 18. Potencial de hidrógeno del agua de los sitios de la red de muestreo de la microcuenca de la quebrada Victoria, Curubandé, Guanacaste, Costa Rica, en función de la época de muestreo 2007-2008.	54
Cuadro 19. Color verdadero del agua de los sitios de la red de muestreo de la microcuenca de la quebrada Victoria, Curubandé, Guanacaste, Costa Rica, en función de la época de muestreo 2007-2008.	56
Cuadro 20. Turbiedad del agua de los sitios de la red de muestreo de la microcuenca de la quebrada Victoria, Curubandé, Guanacaste, Costa Rica, en función de la época de muestreo 2007-2008.	58
Cuadro 21. Conductividad eléctrica del agua de los sitios de la red de muestreo de la microcuenca de la quebrada Victoria, Curubandé, Guanacaste, Costa Rica, en función de la época de muestreo 2007-2008.	60
Cuadro 22. Concentración de sólidos disueltos totales del agua de los sitios de la red de muestreo de la microcuenca de la quebrada Victoria, Curubandé, Guanacaste, Costa Rica, en función de la época de muestreo 2007-2008.	61
Cuadro 23. Porcentaje de saturación de oxígeno disuelto en el agua de los sitios de la red de muestreo de la microcuenca de la quebrada Victoria, Curubandé, Guanacaste, Costa Rica, en función de la época de muestreo 2007-2008.	63
Cuadro 24. Calidad del agua según la concentración de la demanda bioquímica de oxígeno de 5 días.	64
Cuadro 25. Concentración de sodio del agua de los sitios de la red de muestreo de la microcuenca de la quebrada Victoria, Curubandé, Guanacaste, Costa Rica, en función de la época de muestreo 2007-2008.	66
Cuadro 26. Concentración de potasio del agua de los sitios de la red de muestreo de la microcuenca de la quebrada Victoria, Curubandé, Guanacaste, Costa Rica, en función de la época de muestreo.	67
Cuadro 27. Concentración de calcio del agua de los sitios de la red de muestreo de la microcuenca de la quebrada Victoria, Curubandé, Guanacaste, Costa Rica, en función de la época de muestreo 2007-2008.	69
Cuadro 28. Concentración de magnesio del agua de los sitios de la red de muestreo de la microcuenca de la quebrada Victoria, Curubandé, Guanacaste, Costa Rica, en función de la época de muestreo 2007-2008.	70
Cuadro 29. Dureza total como CaCO_3 del agua de los sitios de la red de muestreo de la microcuenca de la quebrada Victoria, Curubandé, Guanacaste, Costa Rica, en función de la época de muestreo 2007-2008.	71
Cuadro 30. Dureza de magnesio como CaCO_3 del agua de los sitios de la red de muestreo de la microcuenca de la quebrada Victoria, Curubandé, Guanacaste, Costa Rica, en función de la época de muestreo 2007-2008.	72
Cuadro 31. Clasificación del grado de dureza total del agua como carbonato de calcio.	73

Cuadro 32. Concentración de bicarbonato del agua de los sitios de la red de muestreo de la microcuenca de la quebrada Victoria, Curubandé, Guanacaste, Costa Rica, en función de la época de muestreo 2007-2008.	74
Cuadro 33. Concentración de cloruro del agua de los sitios de la red de muestreo de la microcuenca de la quebrada Victoria, Curubandé, Guanacaste, Costa Rica, en función de la época de muestreo 2007-2008.	75
Cuadro 34. Concentración de sulfato del agua de los sitios de la red de muestreo de la microcuenca de la quebrada Victoria, Curubandé, Guanacaste, Costa Rica, en función de la época de muestreo 2007-2008.	77
Cuadro 35. Concentración de fluoruro del agua de los sitios de la red de muestreo de la microcuenca de la quebrada Victoria, Curubandé, Guanacaste, Costa Rica, en función de la época de muestreo 2007-2008.	78
Cuadro 36. Concentración de sílice del agua de los sitios de la red de muestreo de la microcuenca de la quebrada Victoria, Curubandé, Guanacaste, Costa Rica, en función de la época de muestreo 2007-2008.	81
Cuadro 37. Cantidad de coliformes fecales en el agua de los sitios de la red de muestreo de la microcuenca de la quebrada Victoria, Curubandé, Guanacaste, Costa Rica, en función de la época de muestreo 2007-2008.	82
Cuadro 38. Composición química y microbiológica del estiércol.	85
Cuadro 39. Concentración de <i>Escherichia coli</i> en el agua de los sitios de la red de muestreo de la microcuenca de la quebrada Victoria, Curubandé, Guanacaste, Costa Rica, en función de la época de muestreo 2007-2008.	89
Cuadro 40. Caudal de agua de los sitios de la red de muestreo de la microcuenca de la quebrada Victoria, Curubandé, Guanacaste, Costa Rica, en función de la época de muestreo 2007-2008.	91
Cuadro 41. Resultados de la prueba de Shapiro-Wilks modificado y correlación de gráfico de probabilidad (Q-Q).	95
Cuadro 42. Resultados del análisis de varianza para la prueba de Levene empleando el valor absoluto de los residuos de los parámetros como variable dependiente.	97
Cuadro 43. Resultados de la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis.	98
Cuadro 44. Índices de calidad del agua de la Fundación de Sanidad Nacional de los sitios de la red de muestreo de la quebrada Victoria, Curubandé, Guanacaste, Costa Rica, 2007-2008.	107
Cuadro 45. Índices holandés de calidad del agua de la quebrada Victoria, Curubandé, Guanacaste, Costa Rica, 2007-2008.	109
Cuadro 46. Nivel de riesgo debido a la contaminación bacteriana del agua de los sitios de la red de muestreo de la quebrada Victoria, Curubandé, Guanacaste, Costa Rica, 2007-2008.	110

Cuadro 47. Comparación de índices de calidad del agua y nivel de riesgo para la salud por contaminación bacteriana.	117
Cuadro 48. Análisis de presiones e impactos de los sitios con mayores riesgos para la salud en la microcuenca de la quebrada Victoria, Curubandé, Guanacaste, Costa Rica.	120
Cuadro 49. Distribución de la cobertura vegetal en la microcuenca de la quebrada Victoria... ..	122
Cuadro 50. Resultados de la primera actividad informativa, 2007.....	124
Cuadro 51. Resultados del taller participativo, 2008.	126
Cuadro 52. Resultados del taller participativo, 2008.	128
Cuadro 53. Componentes de la propuesta del plan de acción.	130
Cuadro 54. Contenido del programa 1 de la propuesta del plan de acción.	132
Cuadro 55. Contenido del programa 2 de la propuesta del plan de acción.	134
Cuadro 56. Contenido del programa 3 de la propuesta del plan de acción.	136
Cuadro 57. Contenido del programa 4 de la propuesta del plan de acción.	138
Cuadro 58. Lista de participantes de la primera actividad realizada el 28 de noviembre del 2007 en el Salón Comunal de Curubandé.....	153
Cuadro 59. Lista de participantes de la segunda actividad realizada el 7 de agosto del 2008 en el Salón Comunal de Curubandé.	154
Cuadro 60. Lista de participantes de la tercera actividad realizada el 3 de setiembre del 2008 en el Salón Comunal de Curubandé.....	155
Cuadro 61. Límites recomendados y máximos admisibles de los parámetros de calidad del agua del Reglamento Costarricense para la Calidad del Agua Potable.....	156
Cuadro 62. Resultados de Shapiro-Wiks modificado de la temperatura de la muestra.	166
Cuadro 63. Resultados de Shapiro-Wiks modificado de los coliformes fecales.....	166
Cuadro 64. Análisis de la varianza (SC tipo I) de la temperatura.	167
Cuadro 65. Resultados de la prueba de Kruskal-Wallis del pH.	167
Cuadro 66. Resultados de la prueba de Kruskal-Wallis de la turbiedad.	167
Cuadro 67. Contenido de volante o carta.....	168

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación geográfica de la microcuenca de la quebrada Victoria en la cuenca del río Tempisque de Costa Rica.....	27
Figura 2. Geología de la microcuenca de la quebrada Victoria, Curubandé, Guanacaste, Costa Rica.....	29
Figura 3. Pendientes de la microcuenca de la quebrada Victoria, Curubandé, Guanacaste, Costa Rica.	30
Figura 4. Columnas y correlación de los lahares (espesores en cm) producidos en el Rincón de la Vieja en noviembre de 1995 (A), mayo de 1991 (B), sin fecha conocida (C y D) y el flujo de escorias de 1520 a.P., en el río Pénjamo.....	31
Figura 5. Cobertura vegetal del 2000 de la microcuenca de la quebrada Victoria, Guanacaste, Costa Rica.	33
Figura 6. Zona de vida de la microcuenca de la quebrada Victoria, Guanacaste, Costa Rica. Fuente: CCT/MAG 2003, Escala 1:200 000.	35
Figura 7. Ubicación de pozos geotérmicos profundos del campo geotérmico Las Pailas, Guanacaste, Costa Rica. PGP: pozo geotérmico Pailas.	37
Figura 8. Ubicación del pueblo de Curubandé, toma de agua de la quebrada Victoria y parque nacional Rincón de la Vieja, Guanacaste, Costa Rica.....	38
Figura 9. Sitios de muestreo de la microcuenca de la quebrada Victoria, Curubandé, Guanacaste, Costa Rica.	41
Figura 10. Presencia de óxido de hierro en la naciente El Mall (sitio 7).	55
Figura 11. Erosión hacia el sitio 14, naciente Cementerio Indígena, de la red de muestreo de la microcuenca de la quebrada Victoria, Curubandé, Guanacaste, Costa Rica.....	57
Figura 12. Pendiente y tipo de suelo de la zona alrededor de la naciente Cementerio Indígena (sitio 14).	59
Figura 13. Correlación entre la caries dental y los niveles de fluoruro en aguas para consumo humano.....	79
Figura 14. Erosión en los bordes del sitio 4.	83
Figura 15. Cárcavas encontradas antes de la Naciente PGP-05 durante el muestreo de la época lluviosa.	84
Figura 16. Estiércol en la vereda desde Naciente PGP-05 hacia Casas de Máquina del campo geotérmico Las Pailas.	85
Figura 17. Tala de árbol en el sitio 13, naciente El Higuerón, de la red de muestreo de la microcuenca de la quebrada Victoria, Curubandé, Guanacaste, Costa Rica.....	86
Figura 18. Erosión hacia el sitio 13, naciente El Higuerón, de la red de muestreo de la microcuenca de la quebrada Victoria, Curubandé, Guanacaste, Costa Rica.....	87

Figura 19. Área de cobertura con bosque secundaria de la naciente de la quebrada Victoria (sitio 15) del 2008.....	88
Figura 20. Hidrograma de relación de la concentración de <i>E. coli</i> y turbiedad de la época de invierno.	100
Figura 21. Ubicación de fuentes puntuales de contaminación de la microcuenca de la quebrada Victoria, Curubandé, Guanacaste, Costa Rica, de setiembre del 2007 a junio del 2008.	103
Figura 22. Ubicación de senderos de la parte baja y media de la microcuenca de la quebrada Victoria, Curubandé, Guanacaste, Costa Rica, de setiembre del 2007 a junio del 2008.	104
Figura 23. Ubicación de áreas de fuentes no puntuales de contaminación de la microcuenca de la quebrada Victoria, Curubandé, Guanacaste, Costa Rica, de setiembre del 2007 a junio del 2008.....	105
Figura 24. Pendientes de la microcuenca de la quebrada Victoria, Curubandé, Guanacaste, Costa Rica.	106
Figura 25. Nivel de riesgo para la salud según la contaminación bacteriana del agua del primer muestreo de la época lluviosa de setiembre del 2007 de la microcuenca de la quebrada Victoria, Curubandé, Guanacaste, Costa Rica.	111
Figura 26. Nivel de riesgo para la salud según la contaminación bacteriana del agua del segundo muestreo de la época lluviosa del noviembre del 2007 de la microcuenca de la quebrada Victoria, Curubandé, Guanacaste, Costa Rica.	112
Figura 27. Nivel de riesgo para la salud según la contaminación bacteriana del agua del primer muestreo de la época seca de febrero del 2008 de la microcuenca de la quebrada Victoria, Curubandé, Guanacaste, Costa Rica.	113
Figura 28. Nivel de riesgo para la salud según la contaminación bacteriana del agua del segundo muestreo de la época seca de marzo del 2008 de la microcuenca de la quebrada Victoria, Curubandé, Guanacaste, Costa Rica.	114
Figura 29. Nivel de riesgo para la salud según la contaminación bacteriana del agua de la época de transición seca a lluviosa de junio del 2008 de la microcuenca de la quebrada Victoria, Curubandé, Guanacaste, Costa Rica.	115
Figura 30. Porcentajes de nivel de riesgo de contaminación del agua de la microcuenca de la quebrada Victoria durante un año hidrológico.	116
Figura 31. Uso de la tierra del 2008 (A) y cobertura vegetal debido a reforestación en terreno del ICE (B) de la microcuenca de la quebrada Victoria, Curubandé, Guanacaste, Costa Rica.....	123
Figura 32. Diagrama de la propuesta de asignación de responsables para la implementación del plan de acción para la cogestión del recurso hídrico en la microcuenca quebrada Victoria.	140

LISTA DE ABREVIATURAS

ACH: agua para consumo humano.

ASADA: Asociación Administradora de Acueducto y Alcantarillado.

B: boro.

Ca²⁺: calcio.

CF: coliformes fecales.

Cl⁻: cloruro.

C.E.: conductividad eléctrica.

DBO₅: demanda bioquímica de oxígeno de cinco días.

E. coli: *Escherichia coli*.

F⁻: fluoruro.

Fe: hierro.

GPS: Sistema de Posicionamiento Geográfico.

HCO₃⁻: bicarbonato.

ICA: Índice de calidad del agua.

ICE: Instituto Costarricense de Electricidad.

IHCA: Índice holandés de calidad del agua.

K⁺: potasio.

Mg²⁺: magnesio.

Na⁺: sodio.

NH₄⁺-N: nitrógeno amoniacal.

NO₂⁻: nitrito.

NO₃⁻: nitrato.

NSF: Fundación de Sanidad Nacional de los Estados Unidos

OD: oxígeno disuelto.

pH: potencial de hidrógeno.

PGP: pozo geotérmico Las Pailas

PO₄³⁻: fosfato.

ppm: miligramos de elemento o compuesto en un litro de disolución (mg/L).

SDT: sólidos disueltos totales.

SIG: Sistema de Información Geográfica.

SiO₂: sílice.

SO₄²⁻: sulfato.

T: temperatura.

Turb.: turbiedad.

GLOSARIO DE TÉRMINOS

Actor clave: es la parte cuyos intereses pueden resultar afectados por un problema, una oportunidad, una situación o acción; se incluye también a aquel que puede incidir en la situación, problema o acción utilizando los medios que estén a su disposición, tales como poder, legitimidad, y los vínculos existentes de colaboración y conflicto (Chevalier, 2007).

Agua para consumo humano: es aquella utilizada para la ingesta, preparación de alimentos, higiene personal, lavado de utensilios, servicios sanitarios y otros menesteres domésticos; esta agua puede ser potable o no potable (OPS, 2003).

Calidad bacteriológica del agua: se basa en la determinación de aquellos microorganismos que pueden afectar directamente al ser humano o que, por su presencia puedan señalar la posible existencia de otros, tales como los coliformes fecales, *Escherichia coli* y *Salmonella* (Rojas, 2002).

Calidad fisico-química del agua: se basa en la determinación de sustancias químicas específicas que pueden afectar a la salud (Rojas, 2002).

Cogestión: es un proceso participativo mediante el cual los actores locales, conjuntamente con los gobiernos locales, empresa privada, organizaciones no gubernamentales e instituciones nacionales, toman decisiones, desarrollan y ejecutan estrategias/acciones para facilitar la sostenibilidad del manejo de cuencas (UNA, 2008).

Cuenca hidrográfica: es un espacio tridimensional (con superficie y profundidad) delimitado por la divisoria topográfica o parte aguas; posee una serie de cauces permanentes, intermitentes o efímeros que concentran y movilizan el agua superficial hacia otro río, al mar o a otros cuerpos de agua, como lagos, embalses artificiales y naturales, desde la parte más alta de la cuenca hasta su punto de emisión en la zona de menor altitud (Fallas y Valverde, 2008; Jiménez, 2007).

Cuerpo de agua superficial: es todo aquel manantial, río, quebrada, arroyo permanente o no, lago, laguna, embalse natural o artificial, turbera o, pantano de agua dulce (Presidencia de la República, Ministerio de Salud y de Ambiente y Energía de Costa Rica, 2004).

Evaluación de la calidad del agua: es el proceso de valoración total de la naturaleza física, química y biológica del agua en relación a la calidad natural, a los efectos humanos y a los usos intencionales, particularmente los que puedan afectar la salud humana, y a la de los sistemas acuáticos (Chapman, 1996).

Fuente puntual de contaminación: es todo medio de transporte perceptible, delimitado y discreto, tales como tubería, acequia, canal, túnel, conducto, pozo, fisura discreta, contenedor, material rodante, actividades concentradas de alimentación animal, buque u otro medio flotante, desde el cual se descarguen o puedan descargar contaminantes directamente a las masas de agua receptoras (Ongley, 1997).

Fuente no puntual de contaminación: es el resultado de un amplio grupo de actividades humanas en las que los contaminantes no tienen un punto claro de ingreso en los cursos de agua que los reciben (Ongley, 1997).

Índice de calidad del agua: es un valor numérico calculado a partir de los parámetros más representativos de la calidad del agua relacionados al uso de un cuerpo de agua (Vergara, 2001).

Monitoreo de la calidad del agua: es la recolección actual de la información en un grupo de sitios y a intervalos regulares con el fin de proveer datos que puedan ser utilizados para definir condiciones recientes y tendencias establecidas, entre otros (Chapman, 1996).

Plan de gestión de cuenca: es un instrumento orientador y directriz que señala un conjunto de actividades ordenadas y planificadas, para resolver la problemática y aprovechar las potencialidades de la cuenca en forma sostenible y que provea bienestar a las poblaciones (Jiménez, 2008).

**Calidad físico-química y bacteriológica del agua para consumo humano
de la microcuenca de la quebrada Victoria, Curubandé, Guanacaste, Costa Rica,
año hidrológico 2007-2008**

Bi Yun Zhen Wu, *Magister Scientiae* en Manejo de Recursos Naturales con Mención en Gestión Ambiental, Universidad Estatal a Distancia, Costa Rica, biyun29@gmail.com

RESUMEN

Se evaluó durante un año hidrológico (setiembre del 2007 a junio del 2008) la calidad físico-química y bacteriológica del agua de la quebrada Victoria, Curubandé, Guanacaste, Costa Rica, en la época lluviosa, seca y de transición seca a lluviosa. Se analizaron 15 sitios de muestreo desde la toma de agua del acueducto de Curubandé hasta la naciente de la mencionada quebrada. Se identificaron las fuentes puntuales y no puntuales de contaminación de la microcuenca y se relacionaron con los parámetros e índices de calidad. El agua de la parte alta de la quebrada se caracteriza por ser ligeramente neutra (pH medio de 6,5) y de la parte baja ácida (pH medio de 4,7). El agua de los sitios 8 hasta el 15 de la quebrada Victoria, exceptuando los sitios 12 y 13 en la época de transición seca a lluviosa del 2008, es apta para consumo humano con tratamiento simple y desinfección; mientras que, el agua de los sitios 1 hasta el 7, exceptuando el sitio 4 en la época lluviosa del 2007, es apta para consumo humano con tratamiento que incluya el ajuste de pH (entre 6,5 y 8,5) y desinfección. La calidad física del agua del sitio 14, que tiene áreas aledañas con suelos erosionados, arcillosos y pendientes mayor de cinco grados, se deterioró en la época de transición seca a lluviosa del 2008, debido al aumento de los parámetros de color (> 10 U-Pt-Co) y turbiedad (> 25 UNT). Por otra parte, la calidad bacteriológica del agua de los sitios 4, 12 y 14, ante fuertes precipitaciones como las ocasionadas por la tormenta tropical Noel del 2007 y en la época de transición seca a lluviosa del 2008, se deterioró debido al aumento de coliformes fecales (> 2000 NPM/100 mL); asimismo, el agua de los sitios 12 y 13 presentó contaminación fecal en la época de transición seca a lluviosa del 2008, debido al aumento de *Escherichia coli* (> 2000 NPM/100 mL), por lo que estas fuentes no son utilizables para el consumo humano. Según el análisis estadístico, los parámetros de calidad: color, turbiedad, oxígeno disuelto, sílice, coliformes fecales y *Escherichia coli*, difieren significativamente con un nivel de significancia del 5% entre las épocas de muestreo. Se elaboró el plan de acción para la cogestión del recurso hídrico en la microcuenca, con base en los insumos aportados por los participantes: representantes de la Asociación Administradora de Acueductos y Alcantarillados, Asociación de Desarrollo Integral y

director de la escuela de Curubandé, vecinos de la comunidad y representantes del Instituto Costarricense de Electricidad. Se entregó a los actores locales claves para que sea implementado y sirva de referencia para la toma de decisiones relacionadas sobre el agua en la microcuenca.

Palabras claves: calidad del agua, calidad físico-química, calidad bacteriológica, fuente de contaminación, indicadores de contaminación, plan de manejo, protección, gestión, cogestión, recurso hídrico, red de muestreo, geotermia, microcuenca, actor clave, quebrada Victoria, Curubandé, Guanacaste, Costa Rica.

***Drinking Water Quality of the Victoria River Basin,
Curubandé, Guanacaste, Costa Rica, hydrology year 2007-2008***

Bi Yun Zhen Wu, *Magister Scientiae* in Natural Resources Management in major in Environmental Management, Distant State University, Costa Rica, biyun29@gmail.com

The physio-chemical and bacteriologic water quality of the Victoria river, Curubandé, Guanacaste, Costa Rica, was evaluated during the dry, rainy and dry-rainy seasons (September 2007 to June 2008). A total of 15 sampling sites, from the spring of the mentioned river to the Curubandé drinking water extraction area, were selected. Point and nonpoint-sources contamination were identified and related to the water quality parameters and indices. Water of the upper river is likely neutral (media pH of 6,5) and the lower is acid (media pH of 4,7). Water of sampling sites from 8 to 15, with the exception of 12 and 13 during dray-rainy season, is adequate for drinking after treatment and disinfection; otherwise, water of sampling sites from 1 to 7, with the exception of 4, is adequate for drinking after treatment (with adjustment of pH) and disinfection. Physic quality of the water of sampling site 4, which has eroded, clayey and slope with five degrees higher, was deteriored during the dry-rainy season due to the increase of colour (> 10 U-Pt-Co) and turbidity (> 25 UNT). Bacteriologic quality of the water of sampling sites 4, 12 and 14, with the arrived of rains produced by the Noel tropical storm in 2007 and during the dray-rainy season in 2008, was deteriored due to the increase of fecal coliforms (> 2000 NPM/100 mL); beside, water of sampling sites 12 and 13 had fecal contamination during the dry-rainy season due to the increase of *Escherichia coli* (>2000 NPM/100 mL), so theses sources are not adequate for drinking. Statistical analysis of the data defined significant differences in colour, turbidity, oxygen disolved, silice, fecal coliforms and *Escherichia coli* during the three sampling periods. A co-management action plan for the Victoria river drinking water was elaborated in conjunction with local participants according to the results of the evaluation of water quality generated in this investigation. The plan was composed of four components which included activities for the major problems of the basin. This plan was delivered to the principal local participants involved in water resources so that they can implement the changes by themselves.

Key words: water quality, physio-chemical quality, bacteriologic quality, source of contamination, water quality indicator, plan of protection, management, co-management, water resources, basin, local participants, Victoria river, Curubandé, Guanacaste, Costa Rica.

1 INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso esencial para sostener la vida, el desarrollo y el medio ambiente (WWPA, 2003). En la Tierra (total del recurso hídrico: 1386 millones de kilómetros cúbicos), el agua dulce (2,53%) está distribuida en ríos, lagos, glaciares, en la atmósfera y en el subsuelo (WWPA, 2003). En América Latina y el Caribe aproximadamente un 20% del total de las extracciones de agua, se utiliza para el consumo humano, y más del 70% se destina a la agricultura (Mora, 2003; Jouravlev, 2004). El aprovechamiento en Costa Rica es un poco más del 20% para diferentes usos: generación de electricidad (70%), agricultura (22,8%) y el restante (7,2%) para el consumo humano, actividades turísticas e industriales (MINAE 2004, citado por Programa del Estado de la Nación 2006).

La precipitación constituye la principal fuente de agua para todas las actividades humanas y los ecosistemas (CEPAL 1985 citado por García 1998). Costa Rica dispone de poco más de 110000 millones de metros cúbicos, de los cuales dos terceras partes corresponden a la escorrentía superficial y el resto a la recarga natural de los acuíferos (MINAE 2004, citado por Programa del Estado de la Nación 2006). Muchas de las captaciones de agua para consumo humano provienen de estas fuentes.

Las aguas superficiales de las nacientes y los ríos son vulnerables a diversas fuentes de contaminación por microorganismos patógenos o sustancias químicas, ya sea de origen natural o antrópico (WWPA, 2003). El agua es un vehículo de transmisión de químicos y especies bacteriológicas, ya que constituye un riesgo para la propagación de enfermedades como medio de dispersión. La ingesta de agua contaminada con patógenos puede producir efectos inmediatos en la salud; mientras que, por químicos pueden acumularse en el organismo durante meses, años o décadas, y cuyas consecuencias se manifiestan en forma de intoxicación grave o letal (OPS, 2004).

Más de mil millones de personas alrededor del mundo consumen agua contaminada, y cada año 3,4 millones de estas, principalmente niños, mueren a causa de enfermedades de transmisión hídrica; de estas muertes 2,2 millones son causadas por enfermedades diarreicas. El 90% ocurren en los niños principalmente en países en vías de desarrollo (WHO, 2001). En los brotes de diarreas en Costa Rica, ocurridos entre 1999 y 2001, se identificaron en el agua para consumo humano microorganismos patógenos, tales como la *Shigella sonnei* y *S. flexneri* (Valiente y Mora, 2002). Por otra parte, se han identificado más de 20 enfermedades relacionadas con la ingesta de agua con elevado contenido de sustancias químicas, entre ellas:

el síndrome del bebé azul debido al nitrato, el borismo al boro y fluorosis al fluoruro (OMS, 2006).

Las amenazas latentes a la calidad del agua, se materializan en riesgo sanitario (Gamez, 2002). El uso de la tierra pueden alterar su calidad química y los componentes bióticos, lo cual provoca que las fuentes de aguas superficiales sean vulnerables (Ometo *et al.* 2000; Auquilla *et al.* 2006). Los efectos de las actividades antrópicas sobre los ecosistemas acuáticos pueden ser irreversibles a largo plazo y comprometen la calidad del agua (WWPA, 2003).

La evaluación de la calidad del agua que alimenta un sitio de captación es la base para tomar medidas preventivas y/o correctivas de vigilancia y protección (Borrego *et al.* 2002). En Costa Rica, en el Programa anual de Control de la Calidad del agua del Laboratorio Nacional de Aguas del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, se realizan muestreos físico-químicos básicos y bacteriológicos del agua para consumo humano de las fuentes de abastecimiento, el almacenamiento y las redes de distribución de los acueductos rurales, tal como en el caso del acueducto de Curubandé.

La captación del agua para consumo humano del pueblo de Curubandé, quinto distrito del cantón de Liberia de la provincia de Guanacaste, se encuentra en la quebrada Victoria. Esta microcuenca comprende un área superficial de 4,14 km² y se ubica en el sector suroeste del complejo volcánico Rincón de la Vieja – Santa María (ICE, 2005). Al noreste se encuentra la zona de manifestaciones geotérmicas superficiales más grande del país, la cual se conoce con el nombre de Las Pailas (ICE, 2005), caracterizada por alta temperatura y salinidad (entre 6000 y 7000 ppm de cloruro, 600 y 800 ppm de sílice, 50 y 60 ppm de boro, 2 y 3 ppm de fluoruro, Tassi *et al.* 2005). Estas manifestaciones constituyen un riesgo potencial de contaminación a la quebrada por sustancias químicas tóxicas, tales como el boro y fluoruro, modificando la calidad físico-química del agua tal que no sea apta para la ingesta y menesteres domésticos.

En la literatura no se han reportado estudios exhaustivos de la calidad físico-química y bacteriológica del agua en esta microcuenca. De ahí que, los resultados generados en este estudio pueden servir de línea base para monitorear variaciones en las concentraciones de las sustancias potencialmente peligrosas para la salud y sentar las bases para elaborar un plan de acción para la cogestión del recurso hídrico en la microcuenca, con la finalidad de garantizar agua de calidad a las presentes y futuras generaciones.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

Evaluar durante un año hidrológico (setiembre del 2007 a junio del 2008) la calidad físico-química y bacteriológica del agua para consumo humano de la microcuenca quebrada Victoria en relación a las principales fuentes puntuales y no puntuales de contaminación, con el fin de establecer la línea base para el monitoreo futuro y sustentar un plan de acción para la cogestión del recurso hídrico en la microcuenca.

2.2 Objetivos específicos

- 2.2.1 Determinar la calidad físico-química del agua de la quebrada Victoria, Curubandé.
- 2.2.2 Determinar la calidad bacteriológica del agua de la quebrada Victoria, Curubandé.
- 2.2.3 Relacionar los parámetros físico-químicos y bacteriológicos que caracterizan el agua de la quebrada Victoria con las fuentes puntuales y no puntuales de contaminación del agua.
- 2.2.4 Proponer un plan de acción para la cogestión del recurso hídrico en la microcuenca de la quebrada Victoria, Curubandé.

3 HIPÓTESIS

- 3.1. La calidad físico-química del agua de la microcuenca de la quebrada Victoria no cumple con los parámetros establecidos para el consumo humano.
- 3.2. La calidad bacteriológica del agua de la microcuenca de la quebrada Victoria no cumple con los parámetros establecidos para el consumo humano.
- 3.3. No hay diferencias en la calidad físico-química y bacteriológica del agua de la quebrada Victoria entre las épocas seca, lluviosa y de transición seca a lluviosa.

4 MARCO TEÓRICO

La evaluación de la calidad del agua es el proceso de valoración total de la naturaleza física, química y biológica del agua en relación a la calidad natural, a los efectos humanos y a los usos intencionales, particularmente usos que puedan afectar la salud humana, y a la de los sistemas acuáticos (Chapman, 1996). Esta incluye el monitoreo que define la condición del agua, provee las bases para detectar tendencias y suministra información disponible para establecer las relaciones causa-efecto. La importancia radica en la interpretación y reporte de los resultados del monitoreo y que sirvan de base para realizar recomendaciones para acciones futuras. Así, el manejo requiere inevitablemente del muestreo y de la evaluación, es decir, es una cadena de retroalimentación (Chapman, 1996).

4.1 El monitoreo y muestreo

El monitoreo de la calidad del agua es la recolección actual de la información en un grupo de sitios y a intervalos regulares con el fin de proveer datos que puedan ser utilizados para definir condiciones recientes y tendencias establecidas, entre otras (Chapman, 1996).

Cuando se recolectan muestras directamente de un río, quebrada, lago, reservorio o manantial debe tenerse presente que el objetivo es obtener una muestra representativa del agua a analizar, de manera que no es conveniente recolectar muestras en puntos demasiado próximos a la orilla, muy distantes del punto de captación, del sedimento cerca del fondo o de lugares donde el agua se encuentra estancada (AyA, 2007). Se selecciona un punto en un tramo homogéneo del río, quebrada o manantial para recolectar la muestra, es decir, una parte donde haya mezcla. La botella se sumerge en el agua con el cuello hacia abajo, hasta una profundidad de 15 a 30 centímetros, con el fin de evitar los desechos flotantes, e inmediatamente se endereza colocando el cuello hacia arriba y la boca contra la dirección de la corriente, con el propósito de evitar que el agua toque la mano antes de entrar en la botella. Cuando no existe corriente, la botella se empuja horizontalmente a través del agua siguiendo las instrucciones anteriores (AyA, 2007).

Al seleccionar los puntos de muestreo, cada sitio debe ser considerado individualmente. Sin embargo, en la mayoría de los casos pueden aplicarse ciertos criterios generales, los puntos de muestreo deben (AyA, 2007): ser seleccionados de manera tal que, las muestras sean representativas de las diferentes fuentes que abastecen al sistema; estar distribuidos uniformemente a lo largo del sistema; y escogerse, generalmente, de manera que las muestras sean representativas del sistema en su conjunto, en este caso una microcuenca, y de sus principales componentes.

4.2 Calidad del agua

La calidad del agua se define en función de un conjunto de características variables físico-químicas o microbiológicas, así como de sus valores de aceptación o de rechazo. La calidad físico-química del agua se basa en la determinación de sustancias químicas específicas que pueden afectar a la salud (OMS, 2006), tras cortos o largos periodos de exposición (Rojas, 2002). Mientras que, la microbiológica se basa en la determinación de aquellos microorganismos que pueden afectar directamente al ser humano o que, por su presencia puedan señalar la posible existencia de otros, tal y como sucede con los coliformes fecales, *Escherichia coli* y *Salmonella* (Presidencia de la República, Ministerio de Salud y de Ambiente y Energía de Costa Rica, 2004 y 2005; Eaton *et al.* 2005).

Aquellas aguas que cumplan con los estándares preestablecidos para el conjunto de parámetros indicadores considerados serán aptas para la finalidad a que se las destina. El agua para consumo humano (ACH) es aquella utilizada para la ingesta, preparación de alimentos, higiene personal, lavado de utensilios y otros menesteres domésticos (OPS, 2003).

El agua para consumo humano se deriva de dos fuentes: aguas superficiales, como los ríos y reservorios, y subterráneas (Fawell y Nieuwenhuijsen, 2003). Las primeras son aquellas que fluyen sobre la superficie de la Tierra, incluyen las que precipitan de las lluvias y las que brotan de los manantiales. Las segundas son las que están situadas bajo el nivel freático y saturando completamente los poros y fisuras del terreno; fluyen a la superficie del suelo de forma natural a través de manantiales y pozos artesanales, o por medio de sistemas de bombeo (CIRA-UAEM, 2005).

Los parámetros indicadores de contaminación o índices de calidad permiten medir los cambios percibidos en un cierto cuerpo de agua que puede ser afectado por distintos tipos de contaminación o degradación física (Custodio y Díaz, 2001). Cualquier cambio significativo en la concentración de algún parámetro indicador es sospecha de algún grado de contaminación, ya sea físico, químico o bacteriológico (Farell y Nieuwenhuijsen, 2003).

4.3 Composición química del agua

La composición química de las aguas es variable y dependiente de su origen (Gherardi *et al.* 2002). El agua del cráter del volcán Rincón de la Vieja se caracteriza por su bajo pH, y elevada temperatura y salinidad (Cuadro 1.). Las aguas separadas a presión atmosférica de los pozos geotérmicos profundos presentan temperaturas más elevadas pero una salinidad menor (Cuadro 2.) que las del cráter.

Cuadro 1. Composición química del cráter del Volcán Rincón de la Vieja, Guanacaste, Costa Rica.

Parámetro	Lago del cráter
Temperatura (°C)	38,89
pH (mg/L)	0,77
Sodio (mg/L)	864
Potasio (mg/L)	414
Calcio (mg/L)	1253
Magnesio (mg/L)	1234
Cloruros (mg/L)	21248
Sulfatos (mg/L)	26200
Fluoruro (mg/L)	1512
Boro (mg/L)	20,21
SDT (mg/L)	56787

Nota: Unidades: mg/L (ppm), SDT: sólidos disueltos totales. Fuente: Tassi *et al.* 2005.

Cuadro 2. Composición química del agua de pozos geotérmicos profundos separada a presión atmosférica del 2001 y 2002.

Parámetro (unidad)	PGP-01	PGP-03
pH	7,00	7,17
Conductividad ($\mu\text{S/cm}$)	16 463	18 193
Sodio (ppm)	3 289	3 488
Potasio (ppm)	613	621
Calcio (ppm)	123	152
Magnesio (ppm)	0,165	0,068
Litio (ppm)	8,30	9,13
Rubidio (ppm)	2,70	2,90
Cesio (ppm)	1,09	1,32
Aluminio total (ppm)	0,52	0,47
Hierro total (ppm)	ND	<0,05
Cloruros (ppm)	5 502	6 175
Sulfatos (ppm)	51,5	45,3
Bicarbonatos (ppm)	1,95	1,83
Fluoruro (ppm)	2,65	2,82
Boro (ppm)	51,50	59,67
Sulfuro de hidrógeno (ppm)	3,95	ND
Amoniaco (ppm)	0,39	0,07
Arsénico (ppm)	7,33	6,08
Sílice total (ppm)	653	599
Sílice monomérica (ppm)	631	595
SDT (ppm)	10 270	11 790
Temperatura reservorio ($^{\circ}\text{C}$)	250	245

Nota: SDT: sólidos disueltos totales, ND: no detectable, PGP: pozo geotérmico Las Pailas
Fuente: Laboratorio de Geoquímica, del Centro de Servicios Recursos Geotérmicos, Unidad Estratégica Servicios y Proyectos Asociados del ICE; Guayabo de Bagaces, Guanacaste, Costa Rica, 2001 y 2002.

4.4 Parámetros de calidad del agua

Los parámetros de calidad del agua a evaluar guardan relación con los contaminantes potenciales, que pueden estar presentes en el agua superficial de la microcuenca en estudio, y al uso de la misma. Tomando como referencia la composición química característica del agua separada a presión atmosférica de los pozos geotérmicos (Cuadro 2.), y debido a que el área de estudio se encuentra dentro de una zona con influencia hidrotermal, los parámetros físicos y químicos que se determinan en cada sitio son: temperatura, pH, conductividad eléctrica, color, turbiedad, sólidos disueltos totales, oxígeno disuelto, demanda bioquímica de oxígeno, sodio, potasio, calcio, magnesio, hierro, cloruro, sulfato, fluoruro, fosfato, nitrito, nitrato, nitrógeno amoniacal, bicarbonato, boro y sílice. Los parámetros bacteriológicos analizados incluyen coliformes fecales, *Escherichia coli* y *Salmonella* (Eaton *et al.* 2005). Las razones por las cuales se analiza cada uno de estos parámetros se describen en las siguientes secciones.

4.4.1 Parámetros de calidad física del agua

Los parámetros físicos permiten determinar cualitativamente el estado y tipo de agua.

4.4.1.1 Temperatura (T)

La temperatura es una medida del grado de calor de un cuerpo, se expresa en unidades de grado centígrado (°C) y se mide con un termómetro de mercurio o digital. El agua hidrotermal y geotérmica de los pozos profundos tienen temperaturas elevadas: entre 40 y 96 °C; y superior a los 100 °C, respectivamente (Cuadro 2.). La descarga de estas aguas en las nacientes superficiales puede causar daño a la flora y fauna acuática, así como favorecer reacciones químicas secundarias, reducir los niveles de oxígeno y acelerar el crecimiento de bacterias (OMS, 1998).

4.4.1.2 Potencial de hidrógeno (pH)

El pH es una medida del contenido de ión hidrógeno en medio acuoso. Las aguas que poseen un valor de pH superior a siete son alcalinas, y si es inferior son ácidas. El agua de los ríos que no está afectada por la contaminación presenta un pH entre 6,5 y 8,5, dentro del cual los organismos acuáticos capturan y liberan dióxido de carbono durante la fotosíntesis y respiración, respectivamente (Hem, 1985).

4.4.1.3 Color verdadero

Existen dos tipos de color: el verdadero y aparente. El primero es el que se debe a las sustancias disueltas una vez eliminada la turbiedad. El segundo es el que resulta de las sustancias disueltas como por ejemplo las materias en suspensión. Se miden en unidades de platino cobalto (U-Pt-Co), basadas en 1 mg/L de Pt. Pueden deberse a la presencia de materias orgánicas coloreadas o de minerales como el hierro (OMS, 1998). Los colores reales aparentes son aproximadamente idénticos en el agua clara y en las aguas de turbidez muy débil.

4.4.1.4 Turbiedad (Turb.)

La turbiedad es una medida de la cantidad de materia en suspensión que interfiera con el paso de un haz de luz a través del agua. Se expresa en unidades de nefelométricas de turbiedad (UNT) y se mide en un turbidímetro (OMS, 1998). Es producida por materias suspendidas como arcilla o materia orgánica e inorgánica finamente divididas, compuestos orgánicos solubles coloreados, plancton y otros microorganismos (APHA *et al.* 1995).

4.4.1.5 Conductividad eléctrica (CE)

La conductividad es una medida de la actividad eléctrica de los iones en una disolución. Se expresa en unidades de microsiemen por centímetro ($\mu\text{S}/\text{cm}$) y se mide con un conductímetro (APHA *et al.* 1995). La conductividad de las aguas geotérmicas es elevada (superior a 10 000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, cuadro 2), en contraste con la de las nacientes que es baja (entre 39 y 294 $\mu\text{S}/\text{cm}$) (Tassi *et al.* 2005). Este parámetro es un indicador de alguna filtración o descarga de aguas geotérmicas en manantiales superficiales.

4.4.1.6 Sólidos disueltos totales (SDT)

Los SDT es una medida de cantidad de sólidos después de ser evaporado la fase acuosa a una temperatura superior a 100 °C. Se determinan por medio de la gravimetría (OMS, 1998). En el agua para consumo humano, la mayoría de la materia orgánica se encuentra en forma de sólidos disueltos y consiste en sales y gases disueltos. Los iones predominantes son el bicarbonato, cloruro, sulfato, nitrato, sodio, potasio, calcio y magnesio. Estas sustancias influyen sobre otras características del agua, tales como el sabor, dureza y tendencia a la incrustación (APHA *et al.* 1995). Las aguas geotérmicas poseen un alto contenido de sólidos disueltos totales (superior a 10 000 mg/L, Cuadro 2.). Este parámetro es un indicador de alguna filtración o descarga de aguas geotérmicas en manantiales superficiales.

4.4.2 Parámetros de calidad química del agua

La calidad química está determinada por las sustancias de este tipo presentes en el agua recolectada en un punto específico y en un momento dado.

4.4.2.1 Oxígeno disuelto (OD)

El oxígeno es un oxidante que se encuentra en la atmósfera y juega un papel muy importante en las reacciones de oxidación-reducción acuosas, así como también en la respiración microbiana. Un método analítico para su determinación es el yodométrico de Winkler (U.S.G.S. 2006). Se mide en porcentaje de saturación del oxígeno disuelto a una determinada temperatura del agua y altura del sitio de muestreo. La solubilidad del oxígeno depende de la presión atmosférica a una temperatura dada. Así, en el verano cuando las temperaturas son altas, su solubilidad es menor en comparación con el invierno (APHA *et al.* 1995). Este parámetro es un indicador de la capacidad de un cuerpo de agua para mantener la vida acuática.

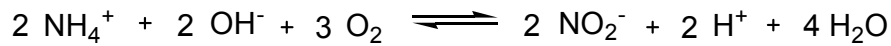
4.4.2.2 Demanda bioquímica de oxígeno de cinco días (DBO₅)

La demanda bioquímica es la cantidad de oxígeno requerido por las bacterias durante cinco días a 20 °C. Se define como la diferencia entre el oxígeno disuelto inicial, antes de la incubación, y el remanente después de cinco días de incubación a 20 °C. Un método analítico para determinarla es el yodométrico de Winkler (U.S.G.S. 2006). Es utilizado para determinar la contaminación de aguas domésticas en términos de la cantidad de oxígeno descargado en cuerpos naturales en donde prevalecen condiciones aeróbicas. La prueba es una de las más importantes en el control de actividades contaminantes en ríos (APHA *et al.* 1995).

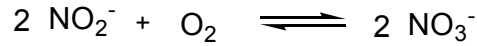
4.4.2.3 Nitrito (NO₂⁻-N), nitrato (NO₃⁻-N) y nitrógeno amoniacal (NH₄⁺-N)

El nitrógeno (N) se presenta en las siguientes formas: nitrito (NO₂⁻-N), nitrato (NO₃⁻-N) y amonio (NH₄⁺-N), entre otros. Este ciclo es sumamente dinámico y complejo, sobre todo los procesos microbiológicos responsables de la mineralización, fijación y desnitrificación del nitrógeno de los suelos, por lo que el ritmo del mismo depende de factores como la humedad del suelo, la temperatura y el pH (Ongley, 1997).

Por lo general, en los suelos que no están empantanados, el nitrógeno del suelo (retenido como proteína de la materia vegetal) y el de los fertilizantes se transforman microbiológicamente en amonio mediante el proceso de amonificación. El ion de amonio se oxida por la acción de dos grupos de bacterias (*Nitrosomonas* que cataliza la Reacción 1, y *Nitrobacter* la Reacción 2) convirtiéndose en nitrito y luego en nitrato en un proceso llamado nitrificación (Ongley, 1997).



Reacción 1



Reacción 2

La desnitrificación se produce en condiciones anóxicas, como en las tierras húmedas, donde el nitrato se reduce a varias formas gaseosas. El nitrato se deriva de dos fuentes: naturales y artificiales. En las aguas superficiales de las primeras, los nitratos se originan de la descomposición por microorganismos de la materia nitrogenada orgánica, como las proteínas y excretas de las plantas y animales. Las segundas son los fertilizantes nitrogenados utilizados en los cultivos agrícolas (Pacheco *et al.* 2002). Además, los nitratos son responsables del fenómeno de la eutrofización, la cual es el enriquecimiento desmesurado del agua con nutrientes (Orozco *et al.* 2005).

La toxicidad del nitrato para el ser humano es atribuible principalmente a su reducción a nitrito (OMS, 1999). Las aguas que contienen concentración de nitratos mayor al límite recomendado (25 mg/L) (Presidencia de la República y Ministerio de Salud de Costa Rica, 2005), al ser ingeridas por bebés de menos de seis meses producen dificultad respiratoria y síndrome del bebé azul, conocida también como metahemoglobinemia (pérdida de la capacidad de los glóbulos rojos para transportar oxígeno), que de no tratarse a tiempo puede provocar la muerte (Perdomo *et al.* 2001).

El amonio es un indicador de contaminación fecal y causan problemas de olor y sabor en el agua. Por lo que, las aguas que contiene mayoritariamente nitrógeno orgánico y amoniacal se consideran que han sido contaminados recientemente y que existe un alto riesgo potencial (WHO, 2001).

4.4.2.4 Fosfato ($\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$)

Los compuestos que contienen fósforo (P), tales como los fosfatos y nitrógenos son bionutrientes, es decir, sustancias necesarias para el crecimiento vegetal (Orozco *et al.* 2005). El exceso de fosfatos causa la eutrofización, la cual provoca un incremento incontrolado de floraciones algales de cianobacterias que producen toxinas en el organismo que las ingiere, y una drástica disminución de oxígeno disuelto en el agua (Sharpley *et al.* 2003).

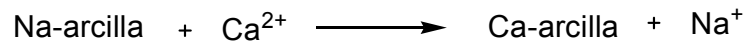
En principio, estos bionutrientes no deberían ser considerados como contaminantes del agua, pero la actividad humana ha aportado excesos en los ecosistemas acuáticos (Sharpley *et al.*

2003). En concentraciones superiores a 0,02 ppm de fósforo generalmente acelera la eutrofización (Sharpley *et al.* 2003).

Los fosfatos están presentes en las aguas superficiales como resultado de la meteorización y lixiviación de las rocas portadoras de fósforo procedentes de la erosión del suelo, de aguas residuales, escorrentía agrícola y precipitación atmosférica (Kiely, 1999). El fósforo inorgánico (ortofosfatos: fosfato trisódico, disódico, monosódico y diamónico; y polifosfatos: hexametáfosfato y tripolifosfato de sodio, y pirofosfato tetrasódico) pueden provenir de agua residual doméstica como resultado de la degradación metabólica de las proteínas y eliminación de los fosfatos presentes en la orina. Los polifosfatos pueden estar presentes en algunos detergentes sintéticos (Sawyer *et al.* 2001).

4.4.2.5 Sodio (Na⁺)

Las principales fuentes de sodio son la halita (NaCl), espuma del mar, manifestaciones hidrotermales, salmueras, algunos silicatos y minerales raros como la nacolita (NaHCO₃) u otros (Hounslow, 1995). En el agua, el sodio se origina del intercambio iónico natural, en donde la arcilla que la contiene reacciona con el calcio o magnesio y la libera (Reacción 3) (Hounslow, 1995).



Reacción 3

El sodio se encuentra en niveles elevados en aguas subterráneas, donde hay abundancia de depósitos de minerales de sodio, o por infiltración de aguas geotérmicas de origen profundo (superior a 3000 mg/L, cuadro 2); mientras que, en cuerpos de agua superficiales de las nacientes el contenido es relativamente bajo (APHA *et al.* 1995).

4.4.2.6 Potasio (K⁺)

Las principales fuentes de potasio son la feldespato potásica (KAlSi₃O₈), mica (KAl₂(AlSi₃)O₁₀(OH)₂), y en menos comunes la leucita (KAlSi₂O₆) y silvita (KCl) (Hounslow 1995).

El potasio es otro componente mayoritario que se encuentra en elevada concentración en las aguas geotérmicas de origen profundo (entre 500 y 600 mg/L, Cuadro 2.). La infiltración de estas se manifiesta en un alto contenido de potasio en los cuerpos de agua superficiales de las nacientes.

4.4.2.7 Calcio (Ca^{2+}) y magnesio (Mg^{2+})

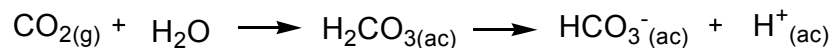
En el suelo, son muchas las fuentes de calcio, como por ejemplo: la calcita (CaCO_3), dragonita, dolomita, $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$, yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), anhidrita (CaSO_4) y fluorita (CaF_2), entre otros (Hounslow 1995).

La principal fuente de magnesio en aguas naturales es la dolomita; mientras que, en aguas salinas predomina el cloruro de magnesio (MgCl_2) (Hounslow ,1995).

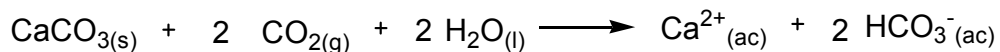
El calcio y el magnesio son los principales componentes de la dureza del agua, cuyas fuentes naturales provienen de rocas sedimentarias y la escorrentía, responsable de las incrustaciones en las tuberías (APHA *et al.* 1995). Por lo general, el agua subterránea es más dura que la superficial.

4.4.2.8 Bicarbonato (HCO_3^-)

El bicarbonato es una medida de la capacidad del agua de aceptar protones. El dióxido de carbono (CO_2) generado en los procesos biológicos al combinarse con el agua forma ácido carbónico (H_2CO_3), el cual rápidamente se descompone en bicarbonato (HCO_3^-) (Reacción 4, Romero 1999). No obstante, en el agua de origen profundo, la elevada concentración de bicarbonato se debe a la disolución de minerales de carbonato de calcio (Reacción 5), calcita, principalmente (Appelo y Postma 1994), o de la reducción de sulfato (Hounslow ,1995).



Reacción 4



Calcita

Reacción 5

4.4.2.9 Cloruro (Cl^-)

Las fuentes comunes de cloruro son la halita, fuentes termales y salmueras (Hounslow, 1995). Las concentraciones elevadas de cloruro hacen que el agua tenga un sabor desagradable, el cual depende de la composición química del agua (OMS, 1995). Si el catión predominante es el sodio, una concentración de cloruro de 250 mg/L puede tener un sabor salado detectable, pero si prevalecen el calcio y magnesio, no se detecta (APHA *et al.* 1995). Las aguas geotérmicas son altas en contenido de cloruro (entre 5000 y 6000 mg/L, Cuadro 2.).

4.4.2.10 Sulfato (SO_4^{2-})

En la superficie, las fuentes de sulfato son los minerales piritita (FeS_2), yeso y anhidrita (Hounslow, 1995).

Los gases azufrados como el sulfuro de hidrógeno (H_2S) y dióxido de azufre (SO_2) son abundantes en la atmósfera y su origen natural es la descomposición anaerobia de la materia orgánica (sedimentos y combustibles fósiles) y erupciones volcánicas (Orozco *et al.* 2005). Los sulfatos llegan al medio acuático mediante la oxidación del SO_2 atmosférico o proveniente de desechos industriales (APHA *et al.* 1995); su concentración en la mayoría de las aguas dulces es muy baja en contraste con las aguas geotérmicas de origen profundo que es alta (entre 40 y 50 mg/L, Cuadro 2.).

4.4.2.11 Fluoruro (F^-)

El fluoruro en aguas naturales se origina de la disolución de fluorita y apatita u otros (Hounslow, 1995). A concentraciones bajas (menores a 1 mg/L), el fluoruro reduce efectivamente las caries dentales sin producir efectos perjudiciales sobre la salud. No obstante, la ingesta prolongada de aguas cuya concentración exceda el límite máximo admisible (0,7 a 1,5 mg/L, Presidencia de la República y Ministerio de Salud de Costa Rica, 2005) puede producir fluorosis, caracterizada por dolores en las articulaciones y músculos (APHA *et al.* 1995). Las concentraciones naturales de fluoruro en aguas superficiales son bajas, mientras que en las aguas geotérmicas son elevadas (entre 2 y 3 mg/L, Cuadro 2.).

4.4.2.12 Boro (B)

El boro no es un elemento común en minerales. A pH menor de 8,7 predomina la especie $\text{H}_3\text{BO}_{3(\text{ac})}$ pero no es absorbida por la arcilla; mientras que, a pH superior es fácilmente absorbida la forma H_2BO_3^- (Hounslow, 1995). Aunque el elemento es esencial para el crecimiento de las plantas, la ingesta de grandes cantidades puede afectar al sistema nervioso central. Asimismo, puede dar lugar a un síndrome clínico denominado borismo, enfermedad que se manifiesta con piel seca y alteraciones gastrointestinales (APHA *et al.* 1995).

Se considera que concentraciones inferiores a 0,1 mg/L de boro son inocuas para el consumo humano (APHA *et al.* 1995). Por otra parte, se ha demostrado que la exposición oral a compuestos derivados de boro es tóxica para el aparato reproductor de los machos (OMS, 1999). Las aguas provenientes de pozos geotérmicos profundos son altas en contenido de boro (entre 50 y 60 ppm, Cuadro 2.).

4.4.2.13 Sílice (SiO₂)

La sílice en aguas de baja temperatura se deriva principalmente de la disolución de silicatos (Hounslow, 1995). En las tuberías de conducción de agua, forma incrustaciones indeseables de silicato de magnesio y calcio (Appelo y Postma, 1994). Las aguas de origen profundo son ricas en minerales de silicato (entre 500 y 600 mg/L, cuadro 2).

4.4.2.14 Hierro (Fe)

El hierro es un elemento abundante y usualmente está como férrico (Fe³⁺) o en estado oxidado en la superficie (Hounslow, 1995). El hierro férrico (producto de oxidación de hierro ferroso) da un color marrón rojizo desagradable al agua. En concentraciones superiores a 3,0 mg/L, mancha la ropa lavada y las instalaciones de fontanerías (OMS, 1995).

4.4.3 Parámetros de calidad bacteriológica del agua

El agua destinada al consumo humano y uso doméstico debe estar libre de patógenos. La mayor parte de las enfermedades transmitidas a través del agua tienen su origen en la ingestión de agua contaminada por microorganismos de origen fecal (Henry y Heinke, 1999) y por lo tanto producen cuadros diarreicos en las personas. Existen muchas fuentes de contaminación, dentro de las más comunes se encuentra la ingestión de alimentos o agua contaminada con heces que provienen del tracto gastrointestinal del hombre y otros animales de sangre caliente. Los principales indicadores para la evaluación de la calidad bacteriológica del agua son los coliformes fecales y la bacteria *Escherichia coli*, ambos provienen de las heces de origen humano y animal.

4.4.3.1 Coliformes fecales (CF)

Los coliformes fecales son un subgrupo de bacterias entéricas, que fermentan la lactosa a altas temperaturas de incubación (44,5 °C), por lo que también se les conocen como coliformes termotolerantes. Este grupo consiste principalmente de bacterias como *Escherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae*, *Citrobacter freundii* y *Enterobacter sp.* (Eaton et al. 2005).

Las bacterias coliformes fecales se localizan naturalmente en el aparato digestivo del hombre y de animales de sangre caliente; por lo tanto, se encuentran en las heces de estos orígenes, pero también algunas pueden hallarse en el ambiente. Las bacterias más frecuentes en las aguas contaminadas son los coliformes fecales (Ongley, 1997). Las enfermedades de transmisión hídrica son causadas por bacterias, virus y parásitos (protozoarios y helmintos) que se encuentran en las heces de los individuos infectados y de ahí son las fuentes de

contaminación del agua. Se controlan los niveles de coliformes fecales debido a la correlación que existe entre estos y las bacterias patógenas (Cortés-Lara, 2003).

4.4.3.2 *Escherichia coli* (E.Coli)

Escherichia coli es un bacteria que pertenece a la familia *Enterobacteriaceae*, es un huésped constante del intestino del hombre y de los animales de sangre caliente, que puede causar infecciones gastrointestinales (APHA *et al.* 1995). Por su especificidad, está considerada como un buen índice de contaminación fecal reciente, la cual está relacionada con las descargas de aguas residuales domésticas (OMS, 1995), por lo que su detección implica investigar las fuentes potenciales o el sistema de distribución (WHO, 2001). Se considera el índice de contaminación fecal más adecuado.

4.4.3.3 *Salmonella*

Son bacterias gram negativas, aeróbicas facultativas, también pertenecientes a la familia *Enterobacteriaceae* y relacionadas con *Escherichia coli*, *Shigella* spp. y otras bacterias entéricas. Estas bacterias pueden causar diferentes cuadros clínicos, como fiebre tifoidea y salmonelosis, que son enfermedades gastrointestinales transmitidas por los alimentos (Henry y Heinke, 1999). Normalmente habitan en el intestino de algunos animales y pueden encontrarse en las aguas residuales. El ser humano puede ingerir alimentos contaminados por parte de los manipuladores de alimentos (contaminación cruzada) o contaminarse de productos de origen animal, como los pollos y el ganado que pueden ser portadores de salmonellas, las cuales pueden pasar a los alimentos frescos tales como la leche, los huevos y productos derivados como natillas, lácticos y aquellos que incluyen huevos sin cocinar como la mayonesa. Otros alimentos comúnmente implicados en los brotes de salmonela son las carnes y los productos cárnicos como pasteles de carne y salchichas curadas pero no cocinadas (Madigan *et al.* 2004).

4.4.4 Parámetro hidrológico

La importancia de una descarga sobre el cuerpo receptor no está conferida solo por sus concentraciones tóxicas, sino por la cantidad total del contaminante en un volumen dado (Foster *et al.* 2003). El caudal es un parámetro hidrológico que permite cuantificar la carga del contaminante en el agua, el cual es el producto de la concentración del tóxico por el caudal de la descarga de la fuente de contaminación (Hudson, 1997).

4.4.4.1 El caudal

Es la cantidad de agua, proveniente de la precipitación o agua subterránea, que circula por una corriente. Se mide en metros cúbicos por segundo (m^3/s) o litros por segundo (L/s). La medición de un caudal se le conoce como aforo (Hudson, 1997).

Los canales de corrientes naturales están sometidos a cambios por la erosión o depósitos, por lo que su aforo nunca puede ser exacto debido a que el canal suele ser irregular y por lo tanto la relación entre nivel y caudal es variable (Hudson, 1997).

4.4.4.1.1 Método velocidad/superficie

Este método depende de la medición de la velocidad media de la corriente y del área de la sección transversal del canal, calculándose a partir de la siguiente ecuación.

$$Q = A * V$$

Ecuación 1.

Q: caudal en metros cúbicos por segundos (m^3/s).

A: área en metros cuadrados (m^2).

V: velocidad en metro por segundo (m/s).

Una determinación más exacta de la velocidad se puede obtener utilizando un molinete. El aparato registra el número de revoluciones de la hélice en un tiempo dado y en un único punto para estimar su velocidad, la cual es proporcional a la velocidad de la corriente (Hudson, 1997). Para aguas pocas profundas, se efectúa una única lectura a la mitad de la profundidad. El procedimiento para calcular la corriente total consiste en dividir el área de la sección transversal del río en varias franjas imaginarias; luego se procede a realizar la medición en varios puntos de la misma área transversal y a diferentes profundidades de la sección del cauce para así estimar su velocidad media (Chow *et al.* 1994). El caudal total es la sumatoria de estas velocidades multiplicada por el área transversal del canal (Hudson, 1997).

4.5 Fuentes puntuales y no puntuales de contaminación del agua

Todo cambio en la calidad del agua natural implica contaminación. Esta en el medio acuático significa la introducción por parte del hombre, ya sea de manera directa o indirecta, de sustancias o energía (calor) que producen efectos nocivos, entre ellos, daños a los recursos vivos, riesgos para la salud humana y deterioro de la calidad del agua en relación con los usos destinados (Kiely, 1999).

La contaminación puede proceder de fuentes puntuales y no puntuales. La primera está asociada a las actividades en que el agua residual va a parar directamente a las masas de agua receptoras. La fuente puntual significa todo medio de transporte perceptible, delimitado y discreto, por ejemplo, tubería, acequia, canal, túnel, conducto, pozo, fisura discreta, contenedor, material rodante, actividades concentradas de alimentación animal, o buque u otro medio flotante, desde el cual se descarguen o puedan descargar contaminantes (Ongley, 1997).

Por el contrario, la fuente no puntual es el resultado de un amplio grupo de actividades humanas en las que los contaminantes no tienen un punto claro de ingreso en los cursos de agua que los reciben. Los contaminantes, cualquiera que sea la fuente, se desplazan por la superficie terrestre o penetran en el suelo, arrastrados por el agua de lluvia (Foster *et al.* 2003). Ejemplos de estas fuentes son las áreas de cultivo y pastoreo del ganado y los tanques sépticos.

4.6 Índices de calidad del agua

Estos permiten conocer en forma general el estado o “salud” del sistema acuático de un cuerpo de agua (NSF, 2007). De manera que, el nivel de contaminación del agua de un sitio puede ser evaluado integralmente utilizando estos índices.

El índice de calidad del agua (ICA) es un valor numérico que representa su nivel de calidad (Vergara, 2001). Este refleja cambios ambientales como el uso de la tierra, interacciones entre agua-roca-suelo y las tasas de flujo (Berger, 1998), así como cambios climáticos bruscos, tales como erupciones volcánicas, que afectan los ecosistemas, aunque tiene la limitante de ser dependiente de las condiciones temporales y espaciales (Berger, 2005).

Los ICA son útiles para observar la tendencia evolutiva del estado de los ríos a lo largo de los años. Además, son indicadores cualitativos del estado de un cuerpo en estudio. Deben ser complementarios entre sí, ya que en general un deterioro en la calidad del agua puede manifestarse en varias formas: presencia de pesticidas, metales pesados o carga orgánica (Chica-Olmo *et al.* 2005).

A continuación se presentan dos índices: el de calidad del agua de la Fundación de Sanidad Nacional de los Estados Unidos (NSF, por sus siglas en inglés) y el holandés, el cual está incluido dentro del Reglamento costarricense para Evaluación y Clasificación de la Calidad de Cuerpos de Aguas Superficiales (2007).

4.6.1 Índice de calidad del agua de la Fundación de Sanidad Nacional (NSF)

Este índice representa el nivel de calidad del agua de un río, lago o cuenca y es utilizado en los Estados Unidos desde 1970 para el monitoreo de la evolución de los cambios de calidad a lo largo del tiempo (citado por Vergara, 2001). Puede ser empleado para comparar con otras fuentes en la región o en el mundo.

La determinación de este índice requiere de nueve parámetros indicadores (n) que son: el oxígeno disuelto, los coliformes fecales, el pH, la demanda bioquímica de oxígeno, el cambio de temperatura, los fosfatos totales, los nitratos, la turbiedad y los sólidos disueltos totales. La estimación de este índice consiste en la sumatoria del producto de los valores de Q (la asignación de cada uno de los parámetros interpolados en su respectiva curva de calidad según el resultado obtenido del análisis) y el factor de ponderación (w, cuadro 3) de cada uno de estos parámetros (cuadro 2, NSF 2007).

$$NSF_m = \sum (Q_i * w_i)$$

Ecuación 2.

Q_i: valor Q obtenido del parámetro i según el resultado del análisis.

w_i: factor de ponderación del parámetro i.

Cuadro 3. Factores de ponderación asignados para cada parámetro para el índice de calidad del agua de la NSF.

Parámetro	Factor de ponderación
Oxígeno disuelto (% SO)	0,17
Coliformes fecales (colonias/100 mL)	0,16
pH (unidades)	0,11
Demanda Bioquímica de oxígeno (mg/L)	0,11
Cambio de temperatura (°C)	0,10
Fosfatos totales (mg/L PO ₄ ³⁻ -P)	0,10
Nitratos (mg/L NO ₃ ⁻)	0,10
Turbiedad (NTU)	0,08
Sólidos disueltos totales (mg/L)	0,07

Fuente: NSF 2007.

Este índice puede variar entre 0 y 100, sus niveles establecidos se expresan según el ámbito en el cual se ubica el valor obtenido (Cuadro 4.).

Cuadro 4. Descriptores de calidad y color para expresar el índice de calidad de la NSF.

Rango	Calidad	Color
91 – 100	Excelente	Azul
71 -90	Buena	Verde
51 -70	Media	Amarillo
26 -50	Mala	Anaranjado
0 – 25	Muy mala	Rojo

Fuente: Ott 1978, citado por Vergara 2001.

4.6.2 Índice holandés de calidad del agua (IHCA)

La calidad del agua puede estimarse por medio de la asignación de puntajes según el Sistema Holandés de Valoración de la Calidad Físico-química del Agua para cuerpos receptores. Los parámetros de este sistema son: el porcentaje de saturación del oxígeno disuelto (PSO), la demanda bioquímica de oxígeno de 5 días (DBO₅) y el nitrógeno amoniacal (NH₄⁺-N).

La suma obtenida de puntos se traslada seguidamente a un código de colores con el cual queda clasificada la calidad del agua del cuerpo receptor de acuerdo al grado de contaminación propio según el cuadro 5. Finalmente, para cada clase desde la 1 a la 5 y su asignación correspondiente de color queda definida desde el estado de calidad no contaminada hasta aquel totalmente contaminado, según el cuadro 6.

Cuadro 5. Cuadro de asignación de puntajes según el Sistema Holandés de Valoración de la Calidad del Agua para cuerpos receptores.

Puntos	PSO (%)	DBO (mg/L)	NH ₄ ⁺ -N (mg/L)
1	91 - 100	≤ 3	< 0,50
2	71 – 90 ; 111 - 120	3,1 – 6,0	0,50 – 1,0
3	51 – 70 ; 121 - 130	6,1 – 9,0	1,1 – 2,0
4	31 - 50	9,1 – 15	2,1 – 5,0
5	≤ 30 y > 130	> 15	> 5,0

Fuente: Presidencia de la República, Ministerio de Salud y de Ambiente y Energía de Costa Rica 2007.

Cuadro 6. Cuadro de asignación de clases de calidad del agua según el Sistema Holandés de codificación por colores, basado en valores de PSO, DBO y $\text{NH}_4^+\text{-N}$.

Clase	Promedio de puntos	Interpretación de calidad	Código de color
1	3	Sin contaminación	Azul
2	4-6	Contaminación Incipiente	Verde
3	7-9	Contaminación Moderada	Amarillo
4	10-12	Contaminación Severa	Anaranjado
5	13-15	Contaminación muy severa	Rojo

Fuente: Presidencia de la República, Ministerio de Salud y de Ambiente y Energía de Costa Rica 2007.

4.6.3 Usos del agua

El agua se clasifica para diversos fines, entre ellos, el consumo humano, recreativos, usos agrícolas e industriales de acuerdo con los límites definidos para la determinación de la calidad de las aguas de cuerpos superficiales (Presidencia de la República, Ministerio de Salud y de Ambiente y Energía de Costa Rica, 2007). El criterio utilizado para determinar la clase de agua en función de sus usos potenciales es el valor de límite máximo definido para cada parámetro físico, químico y bacteriológico (Cuadro 7). De acuerdo con la clase establecida, así se determina el tipo de tratamiento que se requiere según el uso (Cuadro 8), lo que permite realizar recomendaciones a las autoridades locales encargadas del suministro de agua para el consumo humano.

Cuadro 7. Parámetros para la determinación de la calidad de las aguas de cuerpos superficiales para las clases establecidas en el Reglamento para la Clasificación y la Evaluación de la Calidad de Cuerpos de Agua Superficiales.

Parámetro (unidad)	Clase 1	Clase 2	Clase 3	Clase 4	Clase 5
Turbiedad (UNT)	<25	25 a <100	100 a 300	(1)	(1)
Temperatura (°C)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)
Potencial de hidrógeno (pH)	6,5 a 8,5	6,5 a 8,5	6,0 a 9,0	5,5 a 9,5	5,5 a 9,5
Nitratos, NO ₃ ⁻ (como N) (mg/L)	<5	5 a <10	10 a <15	15 a <20	>20
Demanda química de oxígeno (mg/L)	<20	20 a <25	25 a <50	50 a <100	100 a 300
Cloruros (como Cl) (mg/L)	<100	100 a 200	NA	NA	NA
Fluoruros (como F) (mg/L)	<1,0	1 a 1,5	NA	NA	NA
Color (Pt-Co)	2,5 a 10	10 a 100	(1)	(1)	(1)
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	<10	10 a 25	25 a 100	100 a 300	>300
Sólidos disueltos (mg/L)	<250	250 a <500	500 a 1000	>1 000	> 1 000
Grasas y aceites	ND	ND	ND	ND	15 a 25
Sustancias activas al azul de metileno	ND	ND	ND a 1	1 a 2	2 a 5
Arsénico (mg/L)	< 0,01	< 0,01	0,01 a 0,05	> 0,05	>0,05
Boro (mg/L)	0,1	0,2	0,5	1	1
Cadmio (mg/L)	<0,005	0,005	0,01	0,02	0,02
Cianuro (como CN ⁻) (mg/L)	<0,1	0,1 a <0,2	0,2	>0,2	>0,2
Cobre (mg/L)	<0,5	0,5 a <1	1,0 a 1,5	1,5 a 2,0	2,0 a 2,5
Cromo total (mg/L)	<0,05	0,05	0,20	0,50	>0,5
Magnesio (mg/L CaCO ₃)	<30	30 a 50	> 50	> 50	> 50
Mercurio (mg/L)	<0,001	0,001	0,002	0,004	0,005
Níquel (mg/L)	<0,05	0,05	0,1	0,2	0,3
Plomo (mg/L)	<0,03	0,03 a <0,05	0,05 a <0,10	0,10 a <0,20	0,20
Selenio (mg/L)	<0,005	0,005 a <0,010	0,010 a <0,020	0,020 a <0,050	0,050
Sulfatos (SO ₄) ⁻² (mg/L)	<150	150 a 250	>250	>250	>250
Bacteriológico					
Coliformes fecales (NMP/100 mL)	< 20	20 a 1000	1000 a 2000	2000 a 5000	>5000

Nota: ND: No detectable por el método utilizado. NA: No aplicable. (1) Natural o que no afecte el uso indicado. Fuente: Presidencia de la República, Ministerio de Salud y de Ambiente y Energía de Costa Rica, 2007.

Cuadro 8. Clasificación de los cuerpos de agua superficiales según el uso potencial y el tipo de tratamiento que se requiera.

Uso	Clase 1	Clase 2	Clase 3	Clase 4	Clase 5
Abastecimiento de agua para uso y consumo humano	Con tratamiento simple con desinfección	Con tratamiento convencional	Con tratamiento avanzado	No utilizable	No utilizable
Abastecimiento de agua para actividades industriales destinadas a la producción de algunos alimentos de consumo humano	Sin tratamiento previo o con tratamiento simple de desinfección	Con tratamiento convencional	Con tratamiento avanzado	No utilizable	No utilizable
Abastecimiento de agua para abrevadero y actividades pecuarias.	Sin limitaciones	Sin limitaciones	Sin limitaciones	Con limitaciones	No utilizable
Actividades recreativas de contacto primario.	Utilizable	Utilizable	No utilizable	No utilizable	No utilizable
Acuicultura.	Utilizable	Utilizable	No utilizable	No utilizable	No utilizable
Fuente para la conservación del equilibrio natural de las comunidades acuáticas.	Utilizable	No utilizable	No utilizable	No utilizable	No utilizable
Fuente para la protección de las comunidades acuáticas.	Utilizable	Utilizable	No utilizable	No utilizable	No utilizable
Generación hidroeléctrica.	Utilizable	Utilizable	Utilizable	Utilizable con limitaciones	Utilizable con limitaciones
Navegación.	No utilizable	No utilizable	Utilizable	Utilizable	Utilizable
Riego de especies arbóreas, cereales y plantas forrajeras.	Utilizable	Utilizable	Utilizable	No utilizable	No utilizable
Riego de plantas sin limitación, irrigación de hortalizas que se consumen crudas o de frutas que son ingeridas sin eliminación de la cáscara.	Utilizable	Utilizable	No utilizable	No utilizable	No utilizable

Fuente: Presidencia de la República, Ministerio de Salud y de Ambiente y Energía de Costa Rica, 2007.

4.7 Nivel de la contaminación bacteriana

La contaminación bacteriana está determinada por la concentración de coliformes fecales y *Escherichia coli*. El grado de riesgo para la salud se determina por el nivel de contaminación bacteriana. Según la concentración de coliformes fecales se han desarrollado cinco categorías: A, B, C, D y E (Cuadro 9), dentro de las cuales únicamente la A es de calidad potable y las demás corresponden a no potable.

Cuadro 9. Clasificación para la contaminación bacteriana según el nivel de riesgo para la salud.

Grado	Coliformes fecales	Clasificación del riesgo	Código de color
A	0	Riesgo nulo	Azul
B	1 – 4	Riesgo bajo	Celeste
C	5 -100	Riesgo intermedio	Verde
D	101 – 1000	Riesgo alto	Amarillo
E	>1000	Riesgo muy alto	Rojo

Fuente: Valiente 1999.

4.8 Cogestión del recurso hídrico en la cuenca hidrográfica

La cuenca hidrográfica, desde el punto de vista geofísico, es un espacio tridimensional (superficie y profundidad) delimitado por la divisoria topográfica o parte aguas. Posee una serie de cauces permanentes, intermitentes o efímeros que concentran y movilizan el agua superficial (Fallas y Valverde, 2008) hacia otro río, al mar o a otros cuerpos de agua, como lagos, embalses artificiales y naturales, desde la parte más alta de la cuenca hasta su punto de emisión en la zona de menor altitud (Jiménez, 2007).

El manejo de la cuenca es el conjunto de acciones que se realizan para utilizar, manejar, rehabilitar, proteger y conservar los recursos naturales de acuerdo a los enfoques socioambiental, integral y del agua como recurso integrador de la cuenca (Jiménez, 2007). Por lo tanto, este manejo es un instrumento para “unir” esfuerzos con la finalidad de garantizar el abastecimiento de agua de buena calidad para diferentes usos a la sociedad (García, 1998).

El manejo de los recursos hídricos comprende los proyectos y las actividades encaminados a aumentar la conservación del agua y utilizarla más eficientemente, y a aumentar la complementariedad tanto en cantidad como en calidad, o reducir los conflictos entre usos, que compiten en un determinado sector. Cuando a este proceso se le diagnostican problemas asociados al uso del agua, se toman medidas al respecto y se resuelven, se habla de una

gestión integrado del recurso hídrico (García, 1998). Este es un componente integral de la gestión preventiva de la calidad del agua. Como parte de la gestión de manejo de cuenca, se debe evaluar el efecto de los usos de la tierra en la calidad del agua (OMS, 2004).

Un plan de gestión de cuencas “es un instrumento orientador y directriz que señala un conjunto de actividades ordenadas y planificadas, para resolver la problemática y aprovechar las potencialidades de la cuenca en forma sostenible y que provea bienestar a las poblaciones” (Jiménez, 2008). Por lo tanto, la participación de los actores clave en la elaboración de la propuesta del plan, empleando un enfoque sistémico, es un instrumento importante para el manejo y la gestión de los recursos naturales en la cuenca.

La cogestión es un proceso participativo mediante el cual los actores locales, conjuntamente con los gobiernos locales, empresa privada, organizaciones no gubernamentales e instituciones nacionales, toman decisiones, desarrollan y ejecutan estrategias/acciones para facilitar la sostenibilidad del manejo de cuencas. Por lo tanto, su objetivo es integrar esfuerzos para lograr resultados sostenibles de las acciones dirigidas a su manejo (UNA, 2008).

En esta investigación se analiza de manera cualitativa el aislamiento e identificación de *Salmonella* spp en muestras de agua, como un parámetro de salud pública para determinar el nivel de contaminación potencial en la microcuenca para microorganismos patógenos. Asimismo, se evalúa la calidad físico-química y bacteriológica del agua para consumo humano de la quebrada Victoria, con la finalidad de utilizarla como línea base cuantitativa para elaborar conjuntamente con los actores locales claves una propuesta de plan de acción para la cogestión del recurso hídrico de la microcuenca.

5 METODOLOGÍA

En esta sección se define el área de estudio, los criterios de muestreo y de selección de métodos para los análisis físico-químicos y bacteriológicos, la identificación de fuentes puntuales y no puntuales de contaminación y los componentes del plan de acción para la cogestión del recurso hídrico de la microcuenca de la quebrada Victoria.

5.1 Área de estudio

La microcuenca de la quebrada Victoria se ubica en el distrito Curubandé, cantón de Liberia, provincia de Guanacaste, Costa Rica (Figura 1). Comprende una superficie total de 4,14 km² y está situada en el sector suroeste del complejo volcánico Rincón de la Vieja – Santa María, entre las coordenadas (latitudes) 307 000 y 302 000 N, (y longitudes) 385 000 y 389 000 E, según la hoja topográfica de Curubandé a escala 1:50 000. Drena sus aguas a la subcuenca del río Colorado, el cual a su vez es afluente de la cuenca del río Tempisque, cuyas aguas finalmente desembocan en el golfo de Nicoya, en el océano Pacífico.

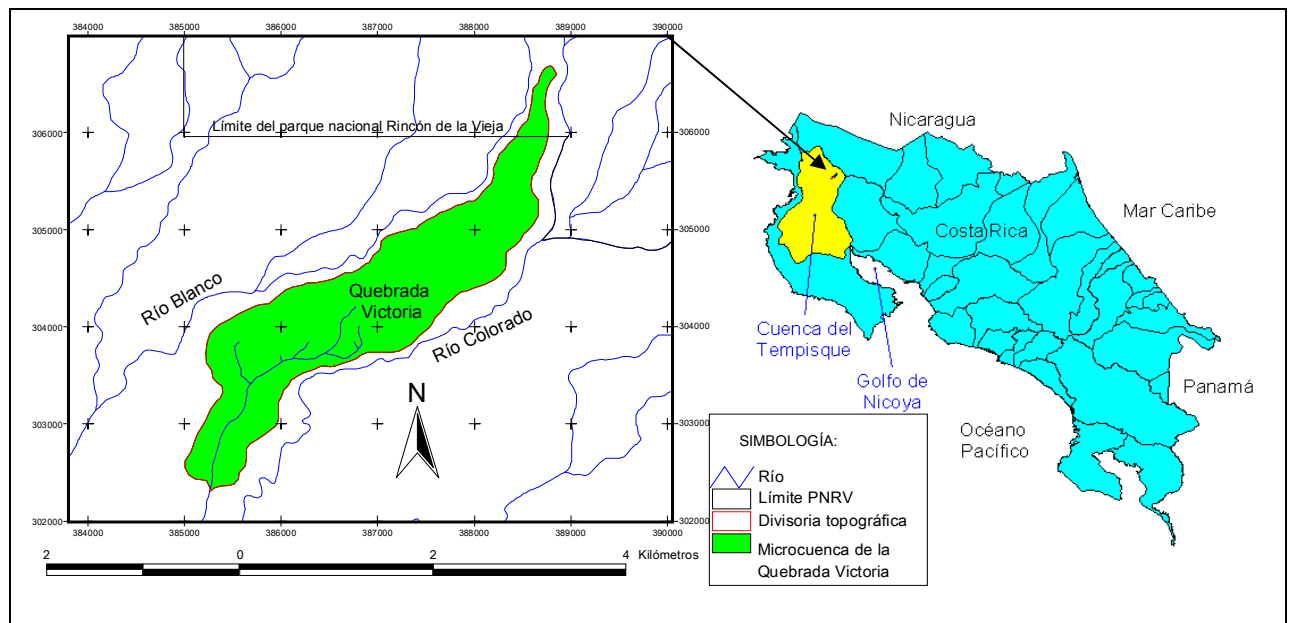


Figura 1. Ubicación geográfica de la microcuenca de la quebrada Victoria en la cuenca del río Tempisque de Costa Rica.

Fuente: Hoja de Curubandé, 3148 III, INGCR 1991.

5.1.1 Caracterización biofísica

A continuación se presentan las características biofísicas de la microcuenca en estudio.

5.1.1.1 Geomorfología

El área de está ubicado dentro de dos unidades de relieve: la parte alta y media de la microcuenca en “Depósitos coluviales y aluviales”, y su parte inferior dentro de “Depósitos volcánicos de piedemonte”. Además, Kempter (1997) destaca dos importantes estructuras caldéricas: Cañas Dulces y Guachipelín, las cuales influyen de manera importante en el patrón de drenajes de los ríos y en la distribución espacial actual de las unidades de roca aflorantes que conforman la microcuenca de la quebrada Victoria.

5.1.1.2 Geología

Las unidades geológicas presentes dentro de la microcuenca se han agrupado (de mayor a menor edad) de la siguiente manera (Deering, 2005):

- Formación Alcántaro: constituida por lavas y flujos piroclásticos intercalados de composición dacítica (hasta 67% contenido de sílice) según Kempter (1997). Conforman parte del borde de la caldera Cañas Dulces
- Formación Pital: se trata de depósitos piroclásticos, epiclásticos y lacustres que conforman parte del relleno de las calderas (Figura 2).
- Productos recientes del volcán Rincón de la Vieja (Figura 2): son lavas andesíticas, flujos piroclásticos, piroclásticos de caída (cenizas principalmente), conglomerados (productos aluviales) y epiclásticos (lahares, “debris avalanche”).

Las aguas de la quebrada Victoria escurren principalmente entre los productos recientes del Rincón de la Vieja sobre los depósitos de origen epiclástico (lahares) en su parte alta y media, en donde la mayoría de los drenajes de los ríos alcancen la base del mismo (típicamente a elevaciones entre 500 y 600 m). En tanto, en su parte baja, discurren entre algunos flujos piroclásticos de la Formación Pital y en las lavas de la Formación Alcántaro hasta su desembocadura en el río Colorado (Chavarría *et al.* 2006).

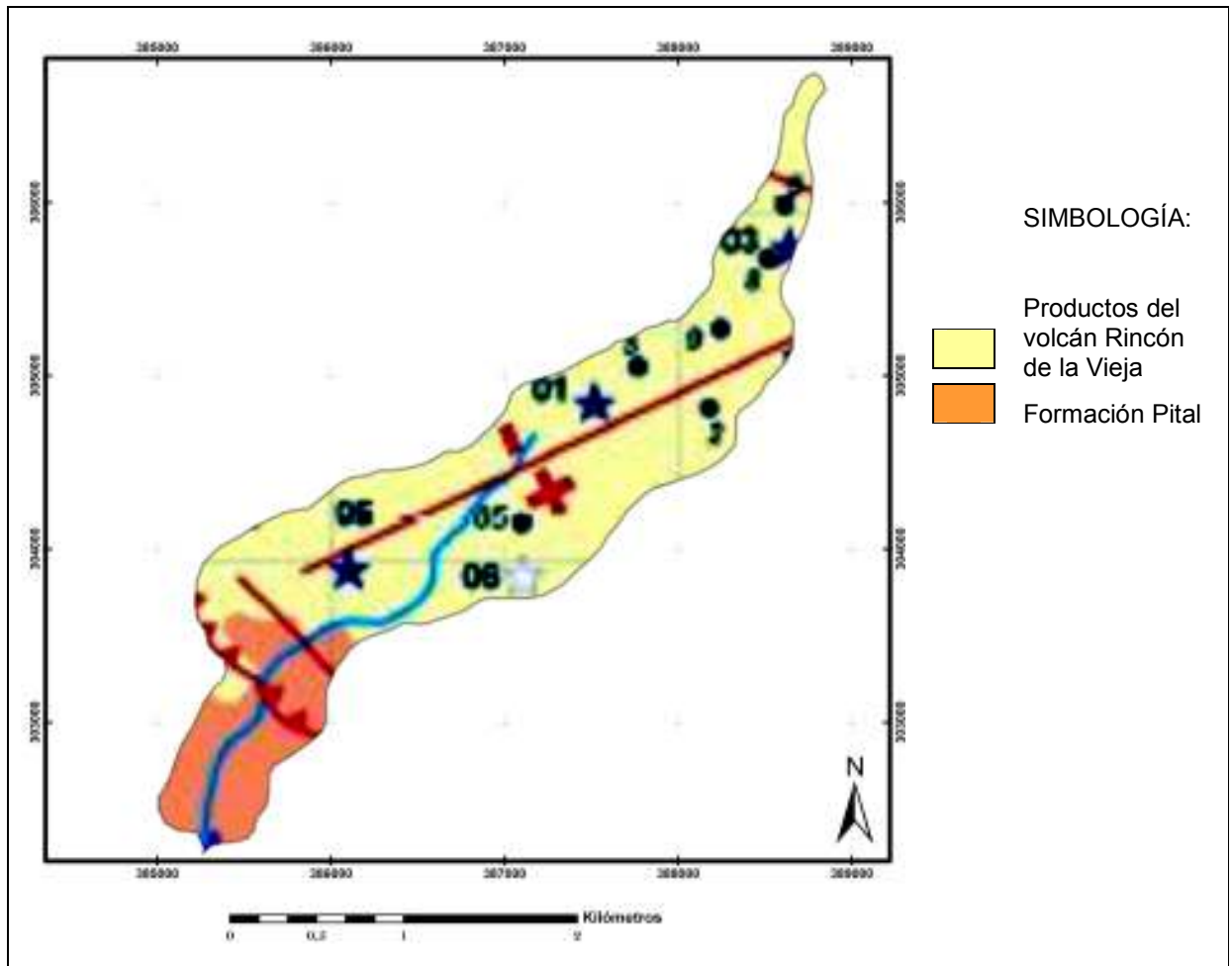


Figura 2. Geología de la microcuenca de la quebrada Victoria, Curubandé, Guanacaste, Costa Rica.

Fuente: Chavarría *et al.* 2006.

5.1.1.3 Pendientes

La microcuenca de la quebrada Victoria se caracterizan por relieves con una topografía plana hasta poco ondulada con pendientes entre los rangos de 3-8% (Figura 3) y que aumenta hacia la parte sur-suroeste del área, cerca de la confluencia de los ríos Colorado y Negro, y la quebrada Victoria (ICE, 2005).

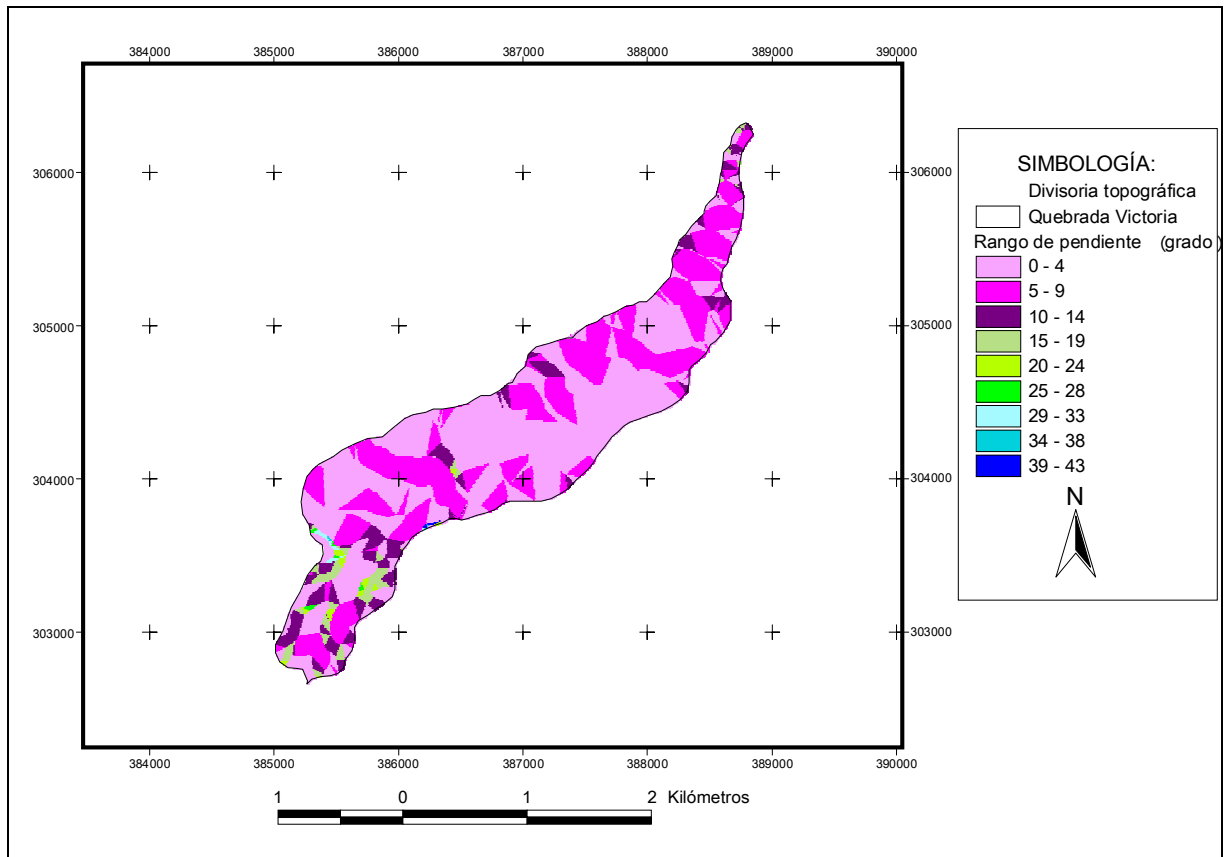


Figura 3. Pendientes de la microcuenca de la quebrada Victoria, Curubandé, Guanacaste, Costa Rica.

Fuente: Hoja Curubandé, 3148-III, escala 1:50 000, IGNCR 1991.

5.1.1.4 Suelos

La microcuenca presenta suelos desarrollados primordialmente a partir de la descomposición de materiales volcánicos originados en el volcán Rincón de la Vieja, principalmente de depósitos tipo laháricos, y en menor proporción por la descomposición de cenizas finas (ICE, 2005).

Los depósitos de los lahares, en su mayoría, son rápidamente erosionados y normalmente presentan secuencias incompletas, dada su propia naturaleza de ser materiales con poca consolidación y su grado alto de heterogeneidad. De acuerdo con Soto *et al.* (2003) en la zona del Rincón de la Vieja, en materiales de este tipo se ha logrado identificar al menos cuatro horizontes, temporalmente ubicados entre 1520 a.P y el año de 1995, y numerados de A hasta D (del más joven al más viejo, Figura 4).

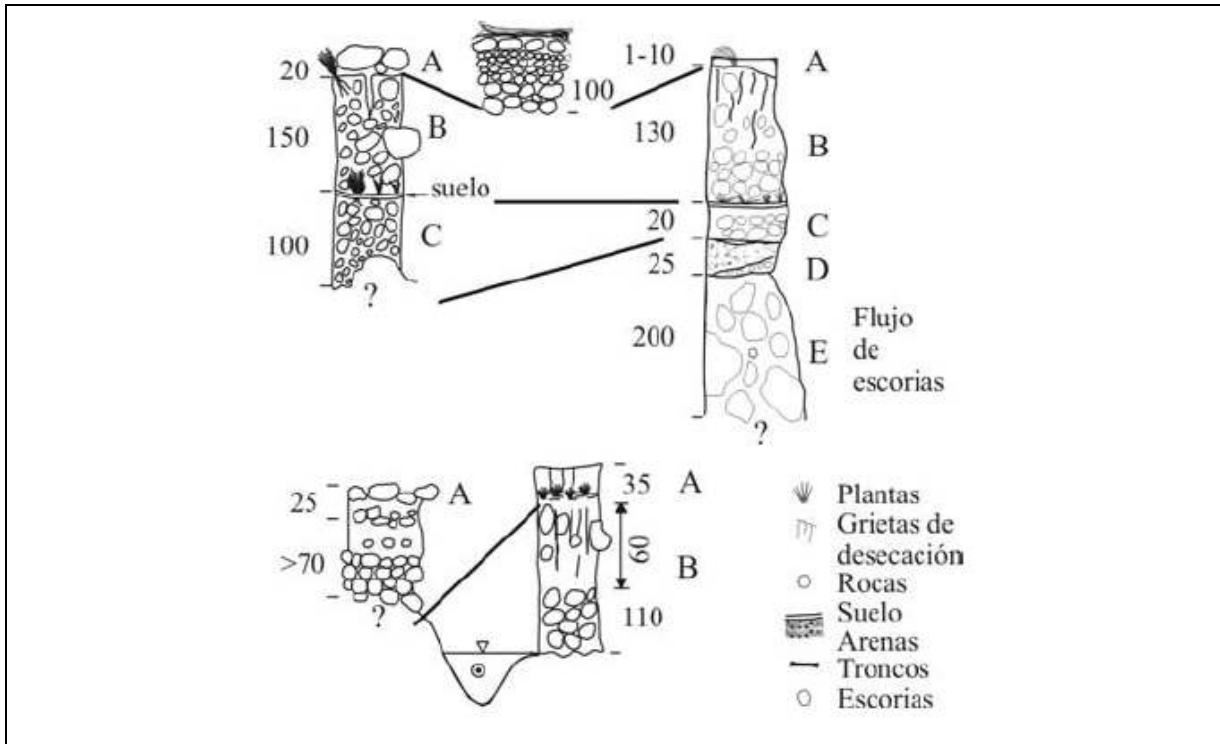


Figura 4. Columnas y correlación de los lahares (espesores en cm) producidos en el Rincón de la Vieja en noviembre de 1995 (A), mayo de 1991 (B), sin fecha conocida (C y D) y el flujo de escorias de 1520 a.P., en el río Pénjamo.

Fuente: Soto *et al.* 2003.

A continuación se presenta una breve descripción de estos materiales basado en Soto *et al.* (2003):

- La capa A (1995) está constituida por bloques subredondeados, con diámetro entre 5 y 100 cm, en contacto puntual con islas de arenas y barros volcánicos grises de unos 50 cm de espesor. Los fragmentos son polilitológicos (lavas vítreas, porfíricas, negras, grises, rojizas, vesiculares; brechas hidrotermalizadas: terrenos de brechas muy meteorizadas y fragmentos ricos en azufre).
- El nivel intermedio B (1991) está dividido (contacto no neto) en dos subniveles. El de arriba posee una mayor concentración de matriz tamaño arena media a fina, con fragmentos de lavas andesíticas en contacto puntual a flotante; posee fracturas verticales abiertas con paredes oxidadas (grietas de desecación). Hacia la base se presentan clastos de menos de 60 cm y un nivel rico en troncos y bases de árboles *in situ*, encima de un nivel de suelo negro de 10 a 15 cm de espesor.

- El nivel C (sin datación) está constituido por cantos subredondeados a subangulosos (menos de 20 cm) de lavas andesíticas negras, en contacto puntual con poca matriz intraclastos.
- El nivel D (sin datación) es de arenas limosas, café, homogéneas, inconsolidadas con guijarros flotantes (menos de un cm), hacia la base con cantos (aproximadamente de cinco cm) y arenas localmente. Lateralmente, gradada a material más grueso. Este nivel se comporta como un suelo.

La base de estos materiales es un flujo piroclásticos cuya edad es cercana a 1595 a.P. por lo que los horizontes C y D son de una edad más joven.

El ICE (2005) considera a estos suelos bien drenados, moderadamente profundos, de buena estructura y con espacio para crecimiento de raíces solamente en sus primeros 65 cm. Químicamente, muestran un pH moderadamente ácido, con una capacidad de intercambio catiónico media, con contenidos orgánicos altos en las partes más superficiales y disminuyendo conforme se profundiza.

5.1.1.5 Cobertura vegetal

EL 52,7 % de la cobertura vegetal de la microcuenca está ocupada por pastos, y el restante 47% de baja cobertura forestal: donde un 23,9 % es bosque secundario; el 12,4% por charral /tacotal y un 10,8% por plantación forestal (Figura 5).

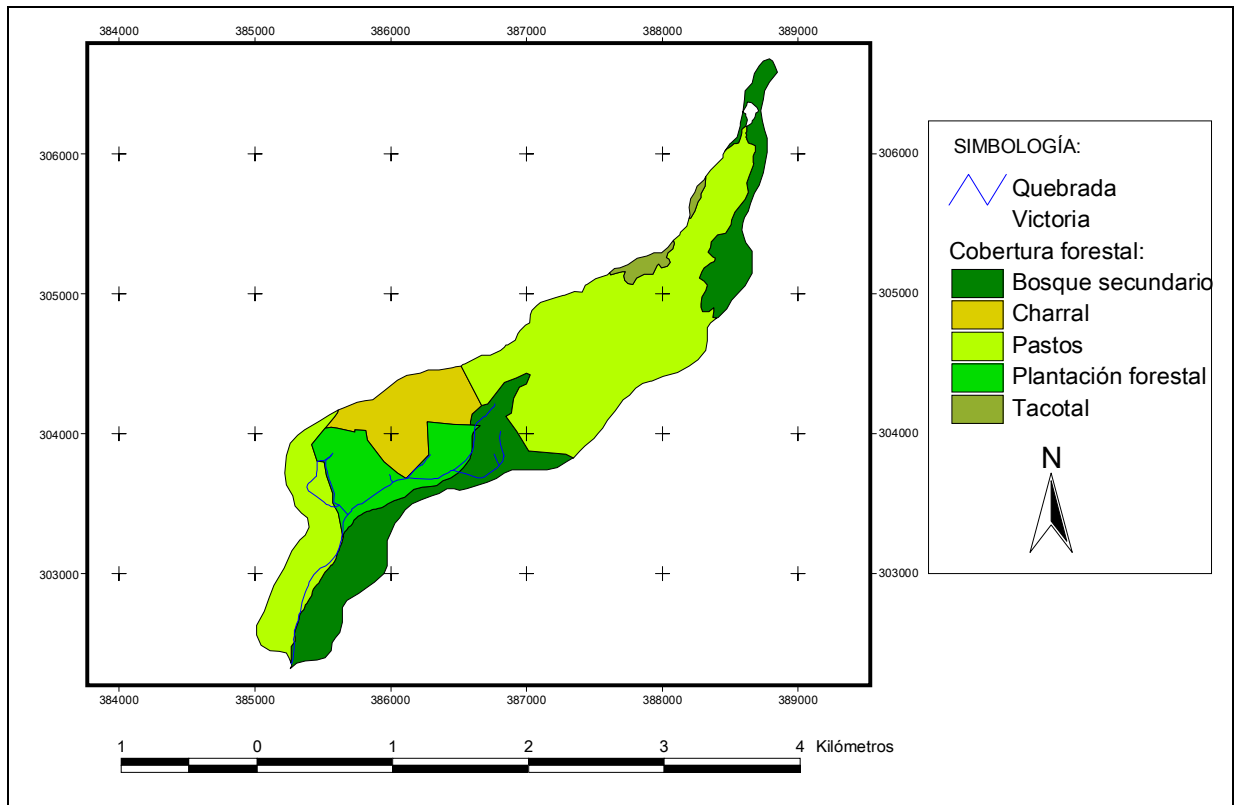


Figura 5. Cobertura vegetal del 2000 de la microcuenca de la quebrada Victoria, Guanacaste, Costa Rica.

Fuente: ICE 2005.

Los bosques secundarios constituyen el ecosistema más común en la microcuenca. Están representados por bosquetes en diferentes grados de regeneración, con edades que varían entre 15 y 60 años (ICE, 2005). Los parches más viejos se encuentran en los límites del PNRV, y parecen ser producto de la tala selectiva de especies de madera fina; más que de un proceso sucesional a partir de pastizales abandonados. En contraste, los bosques secundarios más jóvenes, presentan un dosel mucho más abierto, árboles con menor diámetro a nivel del pecho (DAP), una mayor entrada de luz y condiciones climáticas más secas, que propician el hábito caducifolio (ICE, 2005).

Los pastizales se encuentran principalmente en la parte alta de la microcuenca y en menor proporción en la parte baja. Estas áreas son de poca pendiente, lo cual facilita las actividades asociadas con la ganadería (ICE, 2005).

Los charrales o tacles son suelos muy compactados y empobrecidos en nutrientes, que con los años regenerarán dando paso a bosques secundarios y primarios, a través de procesos sucesionales, siempre y cuando no sigan siendo intervenidos (ICE, 2005).

Las plantaciones forestales, como producto de los incentivos económicos para la reforestación ofrecidos por el gobierno de Costa Rica en los ochentas; existen en el área una serie de pequeñas plantaciones forestales de teca (*Tectona grandis*), melina (*Gmelina arborea*), y pochote (*Bombacopsis quinata*) (ICE, 2005). Las plantaciones de especies nativas contribuyen considerablemente a la regeneración de los hábitats degradados, debido a que somborean el pasto, incrementan la fertilidad del suelo y facilitan el establecimiento de especies de bosque (Cusack y Montagnini 2004 citado por ICE 2005, figura 4).

5.1.1.6 Condiciones climáticas

El clima se caracteriza por ser húmedo y caliente. La humedad relativa media es de 75 a 82 %, con mínimas de 54 a 67 %. La temperatura media anual es de 24 °C, con máximas de 27 a 29 °C y mínimas de 20 a 22 °C. La precipitación media anual del periodo 2002-2008 de la microcuenca es de 2528 mL pero con variaciones desde 1600 a 4100 mm por año (Cuadro 10, ICE 2005).

Cuadro 10. Datos de precipitación mensual y total del periodo 2002-2008 según la estación meteorológica Las Pailas 74036.

Mes	Año (mL)						
	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Enero	-	212,2	33,9	581,9	49,9	28,7	219,7
Febrero	-	13,8	159,1	4,1	197,0	49,8	18,4
Marzo	0,0	47,3	107,8	1,0	2,3	4,1	24,0
Abril	0,8	43,1	53,7	22,1	0,0	75,2	69,3
Mayo	452,2	300,9	293,2	253,8	108,0	604,5	472,4
Junio	211,3	551,2	163,3	591,3	384,7	209,0	313,7
Julio	103,2	129,1	163,4	229,7	307,4	137,7	-
Agosto	224,7	149,9	109,8	285,9	146,0	669,6	-
Setiembre	359,8	355,1	575,2	559,4	186,6	282,0	-
Octubre	351,9	294,3	434,9	1344,9	38,7	974,2	-
Noviembre	262,9	127,2	86,4	205,3	193,8	118,4	-
Diciembre	66,2	407,5	68,3	29,1	4,3	51,2	-
Media	203,3	219,3	187,4	342,4	134,9	267,0	186,3
D.E.	158	165	166	387	125	313	183

(-): no dato. D.E.: desviación estándar. Fuente: Estación meteorológica Las Pailas 74036, del Centro de Servicios Estudios Básicos de Ingeniería del ICE, ubicado a 10° 46' latitud norte, 85° 21' longitud oeste y a una altura de 700 m.s.n.m.

5.1.1.7 Zona de vida y biodiversidad

La zona de vida de la microcuenca es el Bosque Húmedo Tropical y transición a Premontano (Figura 6), según el Sistema de Clasificación de Zonas de Vida de L.R. Holdridge, 1993 (ICE, 2005), con una gran riqueza de especies arbóreas entre las cuales predominan las familias *Solanaceae*, *Leguminosae* y *Lauraceae* (Alvarado 1986, citado por Alvarado 2000). En esta área ocupa fuertes y escarpadas pendientes, sobre suelos pedregosos o con capas poco profundas de cenizas volcánicas jóvenes, fácilmente erosionables (Salas 1971, citado por Alvarado 2000).

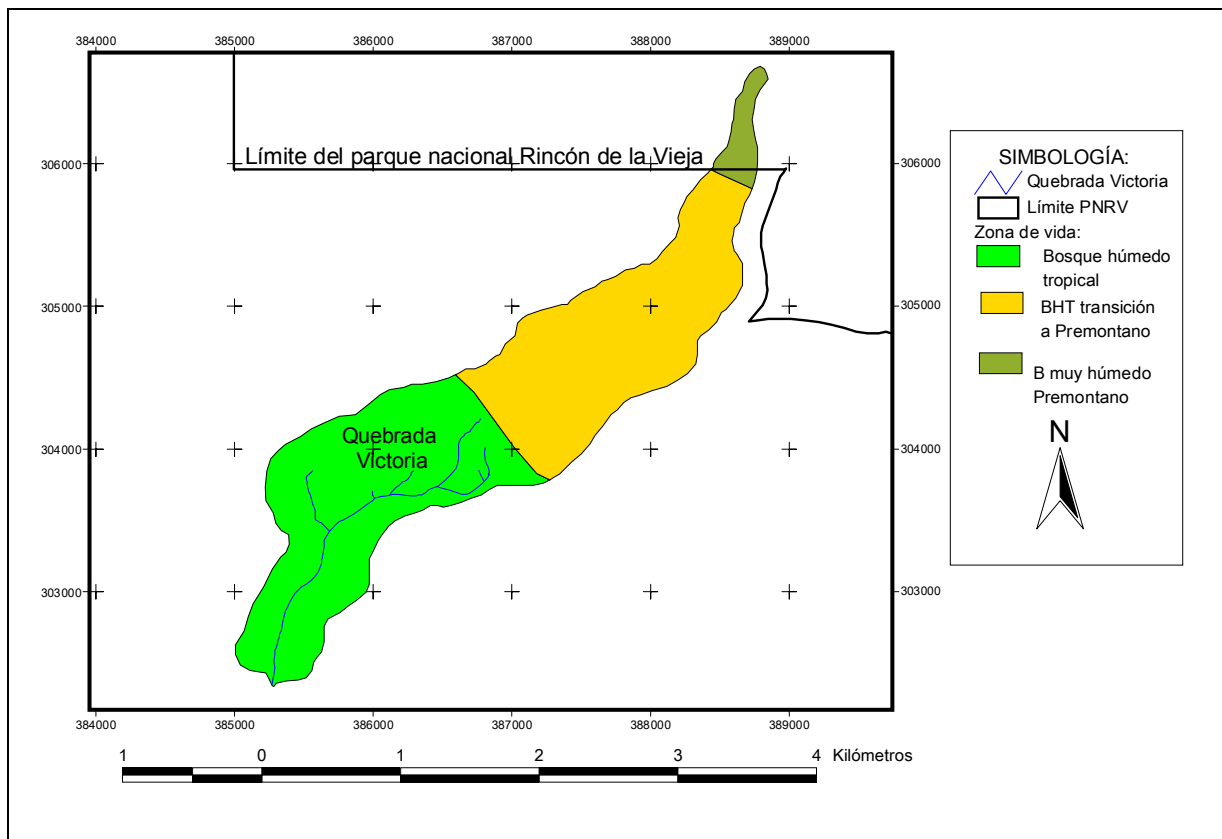


Figura 6. Zona de vida de la microcuenca de la quebrada Victoria, Guanacaste, Costa Rica. Fuente: CCT/MAG 2003, Escala 1:200 000.

En las faldas del parque nacional Volcán Rincón de la Vieja (PNRV) y los sectores aledaños, convergen especies de flora y fauna de Bosque Tropical Seco y de Premontano Lluvioso. La diversidad de mamíferos y anfibios es mayor en los bosques de galería limítrofes con el PNRV. Sin embargo, la variedad de aves es superior en los bosques secundarios. Por su parte, los

insectos y reptiles parecen ser más diversos en los sitios de regeneración incipiente (bosques secundarios jóvenes y charrales). La menor diversidad fue: los taxones los peces y los anfibios; las plantaciones y los pastizales; mientras que, la fauna bentónica en la quebrada Victoria es alta (Cuadro 11).

Cuadro 11. Lista de fauna bentónica observada en la quebrada Victoria, Guanacaste, Costa Rica, del 2004.

Grupo taxonómico	Género	Nombre vulgar
Ephemeroptera	<i>Tricorythodes</i> sp.	Efimenópteros
Plecoptera	<i>Anacroneuria</i> sp.	Plecópteros
Odonata	<i>Hetaerina</i> sp.	Libélulas
	<i>Palaemnema</i> sp.	
Hemiptera	<i>Corydalis</i> sp.	Chinches
Trichoptera	<i>Phylloicus</i> sp.	Tricópteros
	<i>Leptonema</i> sp.	
	<i>Smicridea</i> sp.	
	<i>Chimarra</i> sp.	
Coleoptera	<i>Heterelmis</i> sp.	Escarabajos
	<i>Phanocerus</i> sp.	
	<i>Anchytarsus</i> sp.	
Diptera	Un género no identificado	Moscas, mosquitos
Simuliidae	<i>Simulium</i> sp.	Bocones

Fuente: Muestreo realizado por *Alfaro et. al* en la primera semana de mayo del 2004, en ICE 2005.

5.1.2 Campo geotérmico Las Pailas

En la parte media y alta de la microcuenca el ICE se está desarrollando el proyecto geotérmico Las Pailas y se localizan cinco pozos geotérmicos profundos: PGP-01, PGP-03, PGP-05, PGP-06 y PGP-08 (Figura 7).

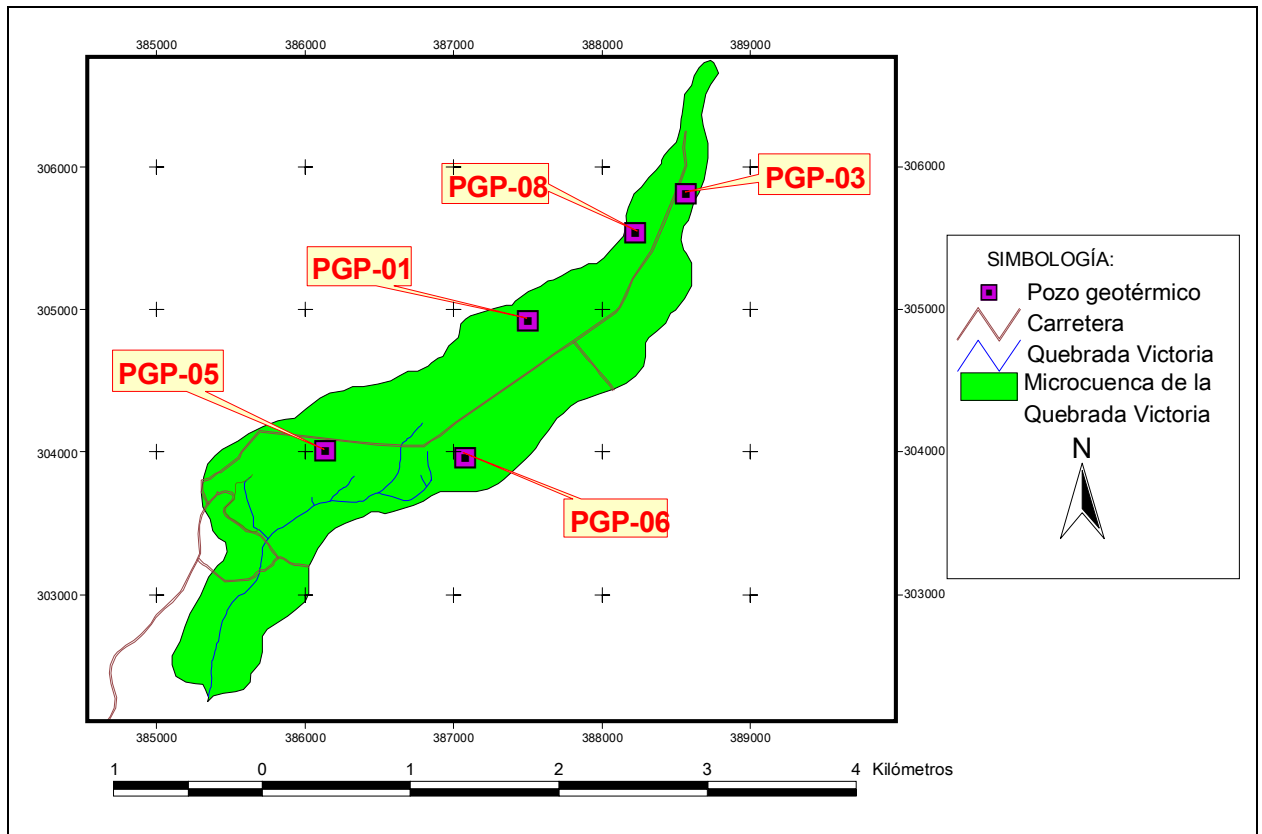


Figura 7. Ubicación de pozos geotérmicos profundos del campo geotérmico Las Pailas, Guanacaste, Costa Rica. PGP: pozo geotérmico Pailas.

Fuente: ICE 2005.

El reservorio de Las Pailas está localizado entre las cotas -100 y - 800 m.s.n.m., presenta una temperatura que oscila entre los 205 y los 250°C, con tendencia a aumentar hacia el sector norte-noreste, es de tipo líquido dominante, aunque hay pozos con aporte de vapor desde la formación. Los fluidos en condiciones de presión atmosférica son del tipo clorurados sódicos, pH neutro (7,48 y 7,85), de alta concentración salina (cloruros entre 6581 y 6818 ppm), de sílice (607 y 777 ppm) y con un bajo contenido de gases (0,08 % p/p en vapor) (Chavarría *et al.* 2006).

5.1.3 Caracterización socioeconómica

Curubandé, quinto distrito de Liberia de la provincia de Guanacaste, se encuentra a cuatro kilómetros hacia el suroeste de la microcuenca de la quebrada Victoria (Figura 8).

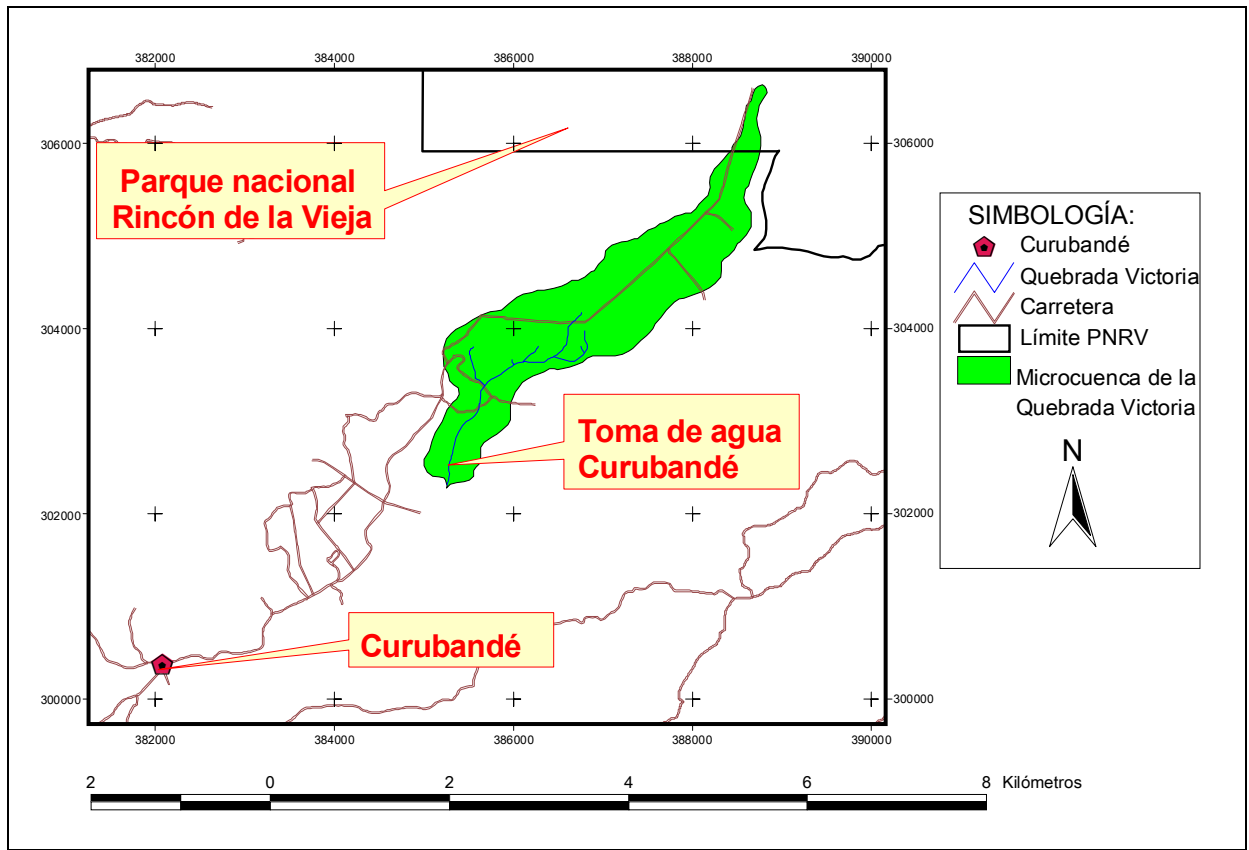


Figura 8. Ubicación del pueblo de Curubandé, toma de agua de la quebrada Victoria y parque nacional Rincón de la Vieja, Guanacaste, Costa Rica.

Esta comunidad tiene una tendencia de aumento de la población: entre 1970 y 2000 creció de 811 a 1812 personas (INEC, 2002); del 2000 hasta el 2004 creció un 7,7 % que representa 140 personas; en el 2015 se proyectan otros 474 para un total de 2426 (ICE, 2005).

La edad media de la población es de 25 años, lo que indica que es un pueblo joven. El número de miembros por familia, incluyendo a los no residentes, fue de 5,04; si por el contrario, dejan por fuera a los no residentes, el promedio fue de 4,2 en el 2002 (ICE, 2005). Comparando este valor con la media nacional (3,9 miembros por hogar), los núcleos en Curubandé son grandes.

5.1.3.1 Salud

La comunidad de Curubandé es atendida por un Equipo de Atención Básica en Salud (EBAIS) móvil que atiende cada 15 días desde el 2004. El grupo está conformado por un médico, una enfermera y un técnico en farmacia y la atención es limitada. Para la atención de emergencias se debe trasladar hasta el hospital Baltodano de Liberia (ICE, 2005).

Las enfermedades más frecuentes son las bronco-respiratorias, de los riñones y vías urinarias, así como manifestaciones de patología como la endogamia debido a que muchos son descendientes de dos familias. Además, se reportan importantes casos de enfermos de hipertensión y diabéticos (ICE, 2005).

5.1.3.2 Educación

Curubandé cuenta con una escuela desde 1949. El número de estudiantes en el 2003 fue de 54, en el 2004 de 53 (ICE, 2005); y en el 2008 es de 84 y para el 2009 se estima 78 (Watson com. pers. 2008). Dispone de tres docentes, cuatro aulas y un espacio para recreo. No hay colegio, por lo que los estudiantes deben desplazarse hasta Cañas Dulces o Liberia para continuar con los estudios secundarios. En el 2003, el 94% de la población tenía un nivel máximo de educación de secundaria y solo un 2,6% con formación universitaria completa (ICE, 2005).

5.1.3.3 Vivienda

En el 2000, el 59,5% de las viviendas fueron casas de habitación, el 11,6% estaban desocupadas, el 7,4% destinadas a establecimientos dedicados a comercio o servicios como pulperías y utilidad para organizaciones comunales, el 7,5% sin ningún uso, el 5% a usos vacacionales y el resto en reparación o construcción (ICE, 2005).

En cuanto a la tenencia de la vivienda, la mayoría (75,3%) eran propiedades propias totalmente pagadas y el resto estaban en condición de alquilada, cedida, prestada, heredada o todavía estaban pagando (ICE, 2005).

5.1.3.4 Actividades productivas

La población económicamente activa de Curubandé estaba entre 15 y 64 años en el 2003, lo que representaba un 65,3% (ICE, 2005). La mayoría de la población femenina se dedicaba a labores domésticas; mientras que, la masculina a actividades económicas como los servicios de jardinería, misceláneo y carpintería y turísticas (ICE, 2005).

La actividad de hotelería y el turismo fue la que generó mayor cantidad de fuentes de trabajo (8,5%) y seguida del área de servicios (8,2%). El ICE creó una categoría de fuente de empleo para los habitantes de la comunidad (7,5%). Posteriormente, la agricultura se ubicó con un 6,2% de mano de obra ocupada. Hay una mayoría empleada en empresa privada (13,85%); un 8,9% por cuenta propia y un grupo en el sector público (8,6 %) (ICE, 2005).

5.1.3.5 Infraestructura y servicios básicos

La comunidad cuenta con dos iglesias, un salón comunal, un pequeño parque, una plaza de deportes y un puesto de la Guardia Rural con dos efectivos (ICE, 2005). Hay varias pulperías una soda y un restaurante que cuenta con cancha sintética. El servicio de transporte es bueno, ya que brinda cinco recorridos diarios desde Curubandé a Liberia y viceversa (López Sánchez com.pers., 2008).

En el 2000, la cobertura de telefonía era baja (29%). No obstante, el nivel de servicio de electricidad era excelente (97%) y la mayoría contaba con un tanque séptico para el servicio sanitario (ICE, 2005).

5.1.3.6 Uso del agua

El acueducto de Curubandé capta el agua de la quebrada Victoria para el consumo humano y la ASADA es la responsable de su administración. A la fecha, hay 166 miembros inscritos en ella (López Sánchez com.pers., 2008). El suministro se brinda a esta población y los trabajadores del campamento del ICE.

El sistema de tratamiento que se está aplicando es un filtro lento de arena. El mantenimiento consiste básicamente en el lavado de la arena, en el verano se realiza cada ocho días y en el invierno diariamente (López Sánchez com.pers. 2008).

5.2 Determinación de la red de muestreo

Se seleccionó e identificó geográficamente los puntos de muestreo y se diseñó la red de muestreo para determinar la calidad físico-química y bacteriológica del agua.

5.2.1 Selección de puntos de muestreo

La selección de los puntos de la red de muestreo se basó en:

- 5.2.1.1. Delineación de los drenajes secundarios de la microcuenca de interés con las curvas de nivel de cada 20 m de la hoja topográfica Curubandé, 3148 III.
- 5.2.1.2. Realización de un recorrido a lo largo de la quebrada desde la toma de agua hasta aguas arriba de la cuenca (realizados en octubre del 2006 y febrero del 2007) para la identificación de los nacientes y área de captación existentes y verificación de los drenajes secundarios de la microcuenca.
- 5.2.1.3. Selección de los manantiales permanentes.
- 5.2.1.4. Ubicación geográfica de los puntos de muestreos con un Sistema de Posicionamiento Geográfico (GPS).
- 5.2.1.5. La red de muestreo comprendió 15 puntos que se ubicó geográficamente con un GPS (Figura 9) y se tomaron fotografías (Cuadro 12).

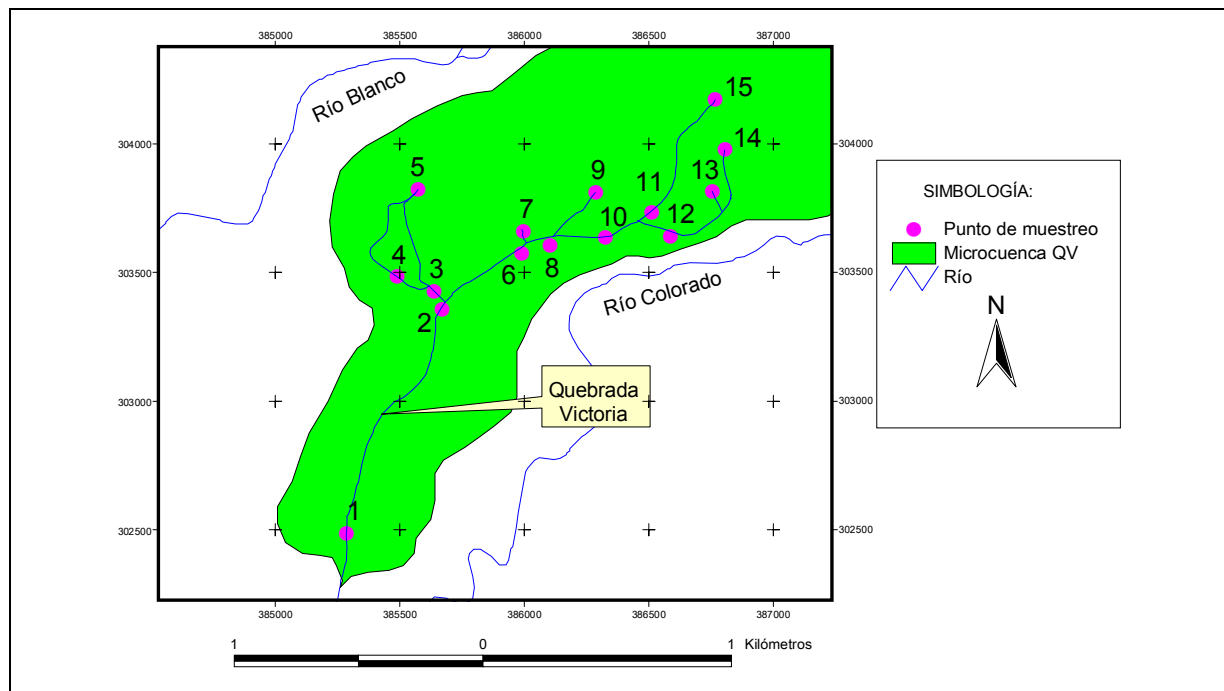


Figura 9. Sitios de muestreo de la microcuenca de la quebrada Victoria, Curubandé, Guanacaste, Costa Rica.

Fuente: Hoja de Curubandé, 3148-III, escala 1:50 000, IGNCR 1991 e información recolectada en el campo.

Cuadro 12. Sitios de la red de muestreo de la microcuenca de la quebrada Victoria, en Curubandé, Guanacaste, Costa Rica.

Sitio	Descripción del sitio de muestreo	X (m)	Y (m)	h (m)	Anexo 5
1	Toma de agua del distrito de Curubandé	385285	302460	460	Foto 1.
2	Toma unión de los sitios 3 y 4	385670	303360	500	Foto 2.
3	Toma después de la naciente de la paja del Hotel Guachipelín	385640	303430	500	Foto 3.
4	Toma paja del Hotel Guachipelín	385490	303490	540	Foto 4.
5	Naciente de la paja Hotel Guachipelín	385575	303840	520	Foto 5.
6	Toma después de la Naciente El Mall	385990	303580	520	Foto 6.
7	Naciente El Mall	386000	303670	530	Foto 7.
8	Toma después de la Naciente PGP-05	386105	303615	530	Foto 8.
9	Naciente PGP-05	386290	303825	530	Foto 9.
10	Toma unión de los sitios 11 y 12	386330	303645	550	Foto 10.
11	Toma después de Naciente de la Quebrada Victoria	386515	303750	570	Foto 11.
12	Toma unión de los sitios 13 y 14	386590	303650	570	Foto 12.
13	Naciente El Higuero	386760	303830	580	Foto 13.
14	Naciente El Cementerio Indígena	386810	304000	590	Foto 14.
15	Naciente de la quebrada Victoria	386770	304200	540	Foto 15.

ID: número de identificación; X: latitud de la Proyección Lambert Norte de Costa Rica; Y: longitud de la Proyección Lambert Norte de Costa Rica; h: altura del sitio en metros. Fuente: elaboración propia de la autora a partir de la información recolectada en el campo.

5.3 Material y equipo de muestreo

Para las mediciones y muestreos en el campo, se utilizaron:

- 5.3.1 Un pHmetro WTW (modelo pH 330i), un termómetro de mercurio y un conductímetro WTW (modelo Cond 330i) portátiles.
- 5.3.2 Un molinete (marca Seba D-87600 Kaufbeuren, F1 2169, modelo Z6) de 125 mm de propela y 300 mm de cabeceo para la medición de caudal.
- 5.3.3 Recipientes de polietileno de alta densidad de 1 L, de 500 mL, de 125 mL y de vidrio de borosilicato de 125 mL para recolectar muestras para análisis físico-químicos.
- 5.3.4 Bolsas de polietileno de baja densidad Whirl-pak estériles de 100 mL para la recolección de muestras para análisis bacteriológicos (*Salmonella*).
- 5.3.5 Botellas de vidrio de 125 ml esterilizadas para la recolección de muestras para análisis bacteriológicos (coliformes fecales y *Escherichia coli*).

5.4 Frecuencia de muestreo

Se realizaron en total cinco muestreos: dos en la época lluviosa (11 de setiembre y 6 de noviembre del 2007), dos en la seca (29 de enero y 26 de febrero del 2008) y una en la transición de seca a lluviosa (3 de junio del 2008).

5.5 Recolección y conservación de muestras

La recolección y conservación de las muestras se realizaron siguiendo los procedimientos del Manual Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales (APHA *et al.* 1995, Eaton *et al.* 2005). La recolección de muestras para los análisis bacteriológicos y físico-químicos se realizó a partir de las 9:00 a.m. hasta aproximadamente las 4:00 p.m. en el mismo día, desde los sitios ubicados aguas abajo hacia aguas arriba de la cuenca para evitar la contaminación por manipulación. Se realizaron *in situ* mediciones de pH, conductividad, temperatura del agua y temperatura del aire. En cada muestreo, se recolectaron 15 muestras en botellas de plástico de 200 mL, sin tratamiento ni conservación, para análisis de color y turbiedad; 15 muestras en bolsas Whirl-pak de 100 mL, introducidas en otra bolsa con sello hermético, conservadas a bajas temperaturas (entre 4 y 10 °C), y transportadas dentro de las 24 horas después de su recolección al laboratorio donde se analizaron coliformes fecales y *Escherichia coli*. Además, se recolectaron 15 muestras en bolsas Whirl-pak de 100 mL, conservadas bajo las mismas condiciones, y transportadas al laboratorio para el análisis de *Salmonella* spp. Las muestras para análisis de coliformes fecales y *Escherichia coli* correspondientes al 11 de setiembre y 6 de noviembre del 2007, se recolectaron utilizando las bolsas de Whirl-pak; y en las restantes se utilizaron botellas de vidrio esterilizadas de 150 mL para facilitar su transporte y análisis.

Se recolectaron 15 muestras en dos botellas de plástico de un litro, conservadas a bajas temperaturas entre 4 y 10 °C, para el análisis de la demanda bioquímica de oxígeno de cinco días, aniones por cromatografía líquida de alta resolución, pH, conductividad, hierro y sólidos disueltos totales; 15 muestras en botellas de vidrio policarbonato de 300 mL fijadas en el campo con una disolución de sulfato de manganeso y yoduro-azida alcalina y tapadas sin burbujas de aire, para análisis de oxígeno disuelto; 15 muestras en botellas de plástico de 500 mL para custodia como testigo; 15 muestras en botellas de vidrio borosilicato de 125 mL, tapadas sin burbujas de aire, para análisis de bicarbonato y ácido sulfhídrico; 15 muestras en botellas de plástico de 100 mL, tratadas con ácido nítrico 50 % v/v, para análisis de cationes por absorción atómica; 15 muestras en botellas de vidrio de 100 mL, tratadas con ácido clorhídrico 50 % v/v, para análisis de amonio; y fueron transportadas en el mismo día al Laboratorio de Geoquímica del Instituto Costarricense de Electricidad en Guayabo de Bagaces, Guanacaste, Costa Rica, para sus respectivos análisis.

5.6 Análisis físico-químicos y bacteriológicos

Los análisis de parámetros físico-químicos de pH, conductividad, oxígeno disuelto, demanda bioquímica de oxígeno, sodio, potasio, calcio, magnesio, hierro, cloruro, sulfato, bicarbonato, fluoruro, boro, ácido sulfhídrico, nitrógeno amoniacal, sílice, nitrito, nitrato, fosfato y sólidos disueltos totales fueron realizados en el Laboratorio de Geoquímica ubicado en el Plantel Central del Instituto Costarricense de Electricidad, en Guayabo de Bagaces, Guanacaste. Los análisis de color, turbiedad, coliformes fecales-*Escherichia coli* y *Salmonella* spp., se realizaron según los procedimientos normalizados para agua potable y aguas residuales (Eaton *et al.* 2005) en los laboratorios del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados: Laboratorio de la Región Pacífico Central en Puntarenas y Laboratorio Nacional de Aguas en Tres Ríos, respectivamente.

Los análisis físico-químicos realizados en el Laboratorio de Geoquímica del ICE siguieron los métodos de los procedimientos normalizados para aguas potables y residuales (Eaton *et al.* 2005), y del Organismo Internacional de Energía Atómica (IAEA, 2003). Los análisis bacteriológicos realizados en los laboratorios del AyA siguieron los métodos de los procedimientos normalizados para agua potable y aguas residuales (Eaton *et al.* 2005).

Los métodos utilizados para los análisis físico-químicos y bacteriológicos se presentan en el Cuadro 13.

Cuadro 13. Métodos para los análisis físico-químicos y bacteriológicos de los parámetros indicadores de calidad del agua.

Parámetro	Método	LDC (ppm)
Temperatura del agua	Medición directa con termómetro de mercurio	-
pH	Método potenciométrico	-
Color	Colorimetría	-
Turbiedad	Turbidimetría	-
Conductividad	Conductimetría	-
Sólidos disueltos totales	Gravimetría	-
Oxígeno disuelto	Método Winkler	-
DBO ₅	Método Winkler	< 2
NO ₂ ⁻ -N	HPLC	< 0,09
NO ₃ ⁻ -N	HPLC	< 0,08
NH ₄ ⁺ -N	Potenciometría con electrodo selectivo de amoníaco	< 0,08
PO ₄ ³⁻ -P	HPLC	< 0,03
Na ⁺	FAA	-
K ⁺	FAA	< 1,0
Ca ²⁺	FAA	-
Mg ²⁺	FAA	-
HCO ₃ ⁻	Titulación ácido-base	< 0,7
Cl ⁻	HPLC	-
SO ₄ ²⁻	HPLC	-
F ⁻	Potenciometría con electrodo selectivo de fluoruro	< 0,06
B	UV-Vis por el método de formación de complejo boro-curcumina	< 0,1
SiO ₂	FAA	-
Fe total	UV-Vis por el método de orto-fenantrolina	< 0,07
Coliformes fecales	Número más probable	< 1,8
<i>Escherichia coli</i>	Número más probable	< 1,8
<i>Salmonella</i>	Enriquecimiento, aislamiento en placas e identificación con API 20 E	Ausencia

HPLC: Cromatografía líquida de alta resolución con fase reserva; FAA: Absorción atómica de llama; UV-Vis: Ultravioleta-visible; LDC: límite de cuantificación; (-): no límite. Fuente: (Eaton *et al.* 2005).

La dureza del agua se calculó a partir de la concentración de los principales cationes metálicos divalentes de calcio (Ca^{2+}) y magnesio (Mg^{2+}) determinada por medio de absorción atómica de llama, empleando la siguiente ecuación (Henry y Heinke 1999):

$$\text{Dureza (en mg/L como CaCO}_3) = \frac{[\text{Ca}^{2+}] * \text{PE}_{\text{CaCO}_3}}{\text{PE}_{\text{Ca}}} + \frac{[\text{Mg}^{2+}] * \text{PE}_{\text{CaCO}_3}}{\text{PE}_{\text{Mg}}}$$

Ecuación 3.

$[\text{Ca}^{2+}]$: concentración de calcio en mg/L.

$\text{PE}_{\text{CaCO}_3}$: peso equivalente del carbonato de calcio, 50 gramos/equivalente.

PE_{Ca} : peso equivalente del calcio, 20 gramos/equivalente.

$[\text{Mg}^{2+}]$: concentración del magnesio en mg/L.

PE_{Mg} : peso equivalente del magnesio, 12,15 gramos/equivalente.

En el anexo 1 se encuentra un ejemplo de cálculo de la dureza del agua (Ejemplo 1).

5.7 Medición de caudal

La medición de caudal de todos los sitios se realizó con el molinete entre las 48 y 72 horas después del muestreo. Se seleccionó la sección del sitio con flujo constante y laminar, se midió el ancho del área transversal y se dividió en diferentes secciones imaginarias, a las cuales se les midieron sus respectivas profundidades. Luego, se registraron por duplicado el número de vueltas durante 120 segundos a 0,8 y 0,2 de la profundidad de la sección. En los casos en los cuales la profundidad no fue suficiente para medir el caudal a dos profundidades, su medición se realizó a 0,6 de profundidad de la sección. Posteriormente, se calculó el número de vuelta por segundo (n) para cada punto y con ello se determinó su velocidad según las ecuaciones del Cuadro 14 (Hudson, 1997).

Cuadro 14. Ecuación para calcular la velocidad del agua en un área de la sección transversal de la corriente empleando el molinete marca Seba D-87600 Kaufbeuren, Nr. F1 2169, modelo Z6, Alemana.

Valor de n	Ecuación
$n \leq 1,98$	$1,93 + 31,17 * n$
$1,98 < n < 10,27$	$0,19 + 32,05 * n$
$10,27 < n < 15$	$- 14,09 + 33,44 * n$

n : número de vuelta de la propela del molinete por segundo. Nota: estas ecuaciones son válidas para el molinete referido. Fuente: Manual del molinete SEBA HYDROMETRIE, GMBH, D-87600 Kaufbeuren, Alemana. Nr. F 2169.

En el anexo 1 se encuentra un ejemplo de cálculo de caudal (Ejemplo 2).

5.8 Análisis estadístico

Se evaluó la normalidad de los datos obtenidos en los análisis físico-químicos y bacteriológicos, por medio de las siguientes pruebas (InfoStat 2002):

- 5.8.1 Histograma de frecuencia relativa de los datos, que permitió aproximar la distribución empírica normal construida a partir de los datos y observar su comportamiento.
- 5.8.2 Gráfico Q-Q para evaluar el grado de ajuste de un conjunto de observaciones a una distribución teórica. Se determinó el coeficiente de correlación lineal (r) entre los cuantiles observados y los de la distribución teórica de la normal.
- 5.8.3 Prueba de Shapiro-Wilk modificado por Mahibbur y Govindarajulu en 1997 (InfoStat 2002) para evaluar estadísticamente la normalidad de los datos. Antes de su aplicación se calcularon los residuos de cada uno de los parámetros y se calculó el valor de Shapiro-Wilk (W) y el valor- p . Las hipótesis que se probaron con esta prueba son:
 - Hipótesis nula (H_0): los datos tiene distribución normal.
 - Hipótesis alternativa (H_1): los datos no tiene distribución normal.

Se evaluó la homocedasticidad de las varianzas empleando la prueba de Levene. Esta consistió en realizar el análisis de varianza usando como variable dependiente el valor absoluto de los residuos y como variables de clasificación: la época de muestreo (seca, lluviosa y transición seca a lluviosa), el sitio de muestreo (1 a 15) y el número de muestra por época (1 y 2), con la finalidad de analizar las fuentes de heterogeneidad de las observaciones.

Las hipótesis de esta prueba son:

- H_0 : las variancias de las poblaciones de datos son iguales.
- H_1 : las variancias de las poblaciones de datos no son iguales.

Si los supuestos de normalidad y homocedasticidad se cumplen, se puede aplicar pruebas paramétricas, como el análisis de varianza. En caso contrario, si no se cumplen, entonces se aplica la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis. Las hipótesis de esta prueba son:

- H_0 : hay diferencias significativas en los parámetros de calidad físico-química y bacteriológica del agua de la quebrada Victoria entre épocas de muestreo.
- H_1 : no hay diferencias significativas en los parámetros de calidad físico-química y bacteriológica del agua de la quebrada Victoria entre épocas de muestreo.

Los resultados de esta prueba aportan evidencias estadísticas para rechazar o no la hipótesis nula.

5.9 Determinación de índices de calidad del agua y clasificación de la contaminación bacteriana

Se calculó el índice de calidad del agua de la NSF para cada sitio muestreado, obteniendo el puntaje del índice a partir de los valores Q de ocho indicadores de calidad: porcentaje de oxígeno disuelto, cantidad de coliformes fecales, el pH, la demanda bioquímica de oxígeno de cinco días, la concentración de fosfatos totales, de nitratos, la turbiedad y la cantidad de sólidos disueltos totales. Los valores de Q de estos parámetros se estimaron utilizando la calculadora electrónica del Centro de la Calidad Ambiental (Center for Environmental Quality, por su nombre en inglés, 2007) de los Estados Unidos.

Se excluyó el parámetro del cambio de temperatura, ya que este se calcula tomando como referencia la temperatura de un sitio para un ambiente de clima tropical. Por lo tanto, se elimina este factor de ponderación (es decir, un factor de 0,10, dando así un factor total de 0,90, por lo que la sumatoria de los subtotales de puntos obtenidos por los ocho parámetros en estudio debe ser multiplicada por 1,11). En el anexo 2, se muestra un ejemplo de cálculo del índice de calidad del agua del NSF (Ejemplo 3).

Se calculó el grado de contaminación del agua de cada sitio, según el puntaje obtenido del IHCA. En el anexo 2, se muestra un ejemplo de cálculo de este índice (Ejemplo 4).

Se determinó el grado de riesgo para la salud según el nivel de contaminación bacteriana de cada sitio, de acuerdo con las categorías de la clasificación bacteriana del Cuadro 9.

5.10 Información geográfica

Los puntos geográficos en el campo se obtuvieron con un GPS, Garmin, modelo 12 XL. La configuración utilizada fue: datum NAD27 Central y los parámetros de la cuadrícula de usuarios Lambert Norte de Costa Rica fueron 499800 y -885244, falso este y norte, respectivamente (Fallas, 2004).

La información recolectada en el campo se procesó por medio de un Sistema de Información Geográfica (SIG) Arcview GIS 3,3, versión de 1992-2002, del Instituto de Investigación en Sistemas Ambientales (ESRI, por sus siglas en inglés) con el fin de generarla en forma de mapas. El material cartográfico utilizado: la hoja topográfica de Curubandé, 3148 III, escala 1:50 000 (IGN, 1991); mapa de ríos de escala 1:50 000, curvas de niveles de 1:50 000 y mapa de uso de suelo de 1:40 000 de 1996 con verificación en el campo realizado el 2000 para el estudio de impacto ambiental del ICE (ICE, 2005).

5.11 Identificación de fuentes puntuales y no puntuales de contaminación

La metodología para identificar estas fuentes en la microcuenca de la quebrada Victoria fue la siguiente:

- 5.11.1 Recolección de información mediante la observación sistemática en el campo y el procesamiento de la misma por medio del SIG.
- 5.11.2 Realización de recorridos en las partes bajas, medias y altas de la microcuenca e identificación de las fuentes puntuales de contaminación, productos encontrados en el suelo, las principales actividades que se desarrollan y verificación del uso actual de la tierra.
- 5.11.3 Elaboración de mapa de fuentes puntuales y no puntuales de contaminación y de uso de la tierra empleando un SIG.

5.12 Planteamiento de la propuesta del plan acción para la cogestión del recurso hídrico de la microcuenca de la quebrada Victoria

La metodología para desarrollar la propuesta del plan de acción consistió en las siguientes etapas:

- 5.12.1 Se identificaron los actores locales claves para la cogestión del recurso hídrico de la microcuenca empleando el método nominal (Chevalier, 2007).
- 5.12.2 Realización de actividades para elaborar la propuesta del plan de acción:
 - 5.12.2.1. **Primera actividad:** una reunión inicial de presentación del proyecto de investigación para dar a conocer el estudio en el Salón Comunal de Curubandé, Liberia, Guanacaste. Se entregaron cartas de invitación a actores claves: miembros de la Asociación de Desarrollo Integral y de la ASADA de Curubandé, gerente general y representante legal del hotel Guachipelín; al encargado de la Unidad de Gestión Ambiental de la Municipalidad de Liberia y del ICE; y se repartieron 150 volantes de invitación en las casas de la comunidad de Curubandé.
 - 5.12.2.2. **Segunda actividad:** realización de un taller participativo con actores claves para dar a conocer los resultados de la evaluación de la calidad físico-química y bacteriológica del agua y tener sus aportes sobre la propuesta inicial de un plan de acción. Se entregó un informe escrito de los resultados obtenidos de la evaluación e invitación a los actores con poder de decisión, tales como los miembros de la ASADA y Asociación de Desarrollo de Curubandé, dueño del Hotel Guachipelín, encargado de la Unidad de Gestión Ambiental de la municipalidad de Liberia y del Proyecto Geotérmico Las Pailas, director del Centro de Servicio Recursos

Geotérmicos del ICE, coordinador de Acueductos Rurales del AyA de Liberia y personal encargado del Parque Nacional Rincón de la Vieja. La metodología de trabajo aplicada para desarrollar el taller participativo se muestra en el Cuadro 15.

Cuadro 15. Cronograma de trabajo aplicado para el taller participativo en el salón comunal de Curubandé, Guanacaste, Costa Rica.

Hora	Actividad	Metodología
14:00	Bienvenida e introducción	Presentación de los actores participantes.
14:10	Información sobre el taller	Información de los objetivos del taller y qué se espera de los participantes.
14:15	Información de los resultados obtenidos de la evaluación de la calidad del agua de la Quebrada Victoria	Análisis del informe que fue entregado anticipadamente y síntesis de los resultados como base en la discusión.
14:45	Metodología de trabajo	Lluvia de ideas priorizando mediante uso de tarjetas.
15:15	Análisis de las propuestas de los actores participantes	Discusión conjunta de las situaciones problemas enfatizando en las causas, consecuencias y principalmente las soluciones y responsables de ejecutar las medidas de solución propuestas
15:50	Propuesta del plan de acción	Invitación al próximo taller para la validación del plan de acción.
16:00	Clausura	Realización de un refrigerio a los participantes.

Fuente: elaboración propia de la autora.

5.12.2.3. **Tercera actividad:** realización de una reunión abierta con los participantes del taller participativo e interesados, con la finalidad de validar la propuesta del plan de acción y socializar la información de los resultados del estudio. Se repartieron 150 volantes de invitación en las casas de habitación del distrito de Curubandé. La metodología de trabajo que se aplicó para desarrollar esta reunión se muestra en el Cuadro 16.

Cuadro 16. Cronograma de trabajo aplicado para la reunión de validación de la propuesta del plan de acción en el salón comunal de Curubandé, Guanacaste, Costa Rica.

Hora	Actividad	Metodología
18:00	Bienvenida e introducción	Presentación de los actores participantes.
18:10	Presentación de resultados principales del estudio y de la propuesta del plan de acción	Análisis de los principales resultados de la investigación.
18:30	Información de la propuesta del plan de acción	Presentación de la propuesta del plan de acción realizado tomando como base los resultados de la investigación y los insumos del taller participativo.
18:50	Validación	Análisis y discusión de los componentes del plan y recepción de sugerencias de los actores claves participantes.
19:00	Colaboración para la cogestión del recurso hídrico	Solicitud de apoyo a todos los asistentes para ejecutar la propuesta del plan de acción por parte de los responsables.
19:10	Clausura	Realización de un refrigerio a los participantes.

Fuente: elaboración propia de la autora.

- 5.12.2.4. Se entregó la propuesta del plan de acción impresa a los actores claves que participaron en el taller (ASADA, Asociación de Desarrollo Integral y director de la escuela de Curubandé y encargado de la Unidad de Gestión Ambiental del Proyecto Geotérmico Las Pailas) y representantes de instituciones gubernamentales que tienen competencias sobre el recurso hídrico, tales como coordinador de Acueductos Rurales del AyA de Liberia, encargado del Parque Nacional Rincón de la Vieja y de la Unidad de Gestión Ambiental de la municipalidad de Liberia, así como al dueño del Hotel Guachipelín.

6 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En esta sección se analizan y discuten los resultados de los análisis físico-químicos y bacteriológicos obtenidos del monitoreo del agua de la quebrada durante un año hidrológico (setiembre del 2007 a junio del 2008), así como su relación con las fuentes puntuales y no puntuales de contaminación identificadas, y del plan de acción para la gestión del recurso hídrico en la microcuenca con base en los problemas identificados.

6.1 Parámetros de calidad del agua

Se presentan los resultados y se evalúan de manera individual los parámetros físico-químicos y bacteriológicos del agua de la quebrada para analizar los efectos de la presencia de estos.

6.1.1 Parámetros físicos

Las características de los parámetros físicos, tales como temperatura, pH, color, turbiedad, conductividad y los sólidos disueltos totales, se presentan a continuación.

6.1.1.1 Temperatura

La temperatura media anual del agua de la quebrada es de 25 °C con mínima de 22,5 °C (sitio 1 del primer muestreo de la época seca, Cuadro 17) y máxima de 27,3 °C (sitio 15 del primer muestreo de la época seca). Esta temperatura es adecuada para consumo humano y puede ser utilizada de referencia para monitorear variaciones térmicas provocadas por descargas de aguas calientes, como por ejemplo de aguas geotérmicas, que se caracterizan por tener temperatura media de 240 °C, provenientes de alguno de los pozos geotérmicos profundos perforados (Cuadro 2.) ubicado en la parte alta de la microcuenca.

Este parámetro juega un papel importante en los procesos fisiológicos de los organismos acuáticos, tales como la respiración microbiana, la cual es responsable de muchos de los procesos de auto-purificación en los cuerpos de aguas superficiales (Chapman, 1996). Por lo tanto, la temperatura debe ser uno de indicadores básicos de un programa de seguimiento de la calidad del agua, ya que además su medición es sencilla, rápida y barata.

Los resultados de la temperatura del agua de los sitios evaluados se presentan en el Cuadro 17.

Cuadro 17. Temperatura del agua de los sitios de la red de muestreo de la microcuenca de la quebrada Victoria, Curubandé, Guanacaste, Costa Rica, en función de la época de muestreo 2007-2008.

Sitio	Época /Temperatura (°C)					Media (°C)
	I-E.Iluviosa	II-E.Iluviosa	I-E.Seca	II-E.Seca	Transición S-LI	
1	23,80	24,00	22,50	23,50	23,80	23,52
2	24,30	24,00	23,60	24,60	24,00	24,10
3	24,40	24,00	23,40	24,00	23,70	23,90
4	24,00	23,70	24,50	25,00	23,70	24,18
5	23,70	23,70	23,80	24,30	23,50	23,80
6	25,00	25,00	25,00	25,50	24,70	25,04
7	24,50	24,30	24,50	25,30	24,40	24,60
8	25,40	25,00	25,40	25,50	25,00	25,26
9	25,10	24,60	24,90	25,50	24,70	24,96
10	25,50	25,40	25,70	26,00	25,00	25,52
11	25,50	25,60	25,80	25,60	25,00	25,50
12	25,70	25,00	25,20	25,80	25,00	25,34
13	25,20	26,00	26,40	26,00	26,20	25,96
14	25,20	25,00	25,50	25,50	24,60	25,16
15	26,70	27,00	27,30	27,00	27,20	27,04

1-15: sitios de muestreo según cuadro 15. I: primer muestreo; II: segundo muestreo; S-LI: época de transición de seca a lluviosa.

6.1.1.2 Potencial de hidrógeno

El pH medio anual del agua de la quebrada es de 5,67 con mínimo de 3,85 (sitio 5 del segundo muestreo de la época seca) y máximo de 7,51 (sitio 12 del primer muestreo de la época seca). Según este parámetro, solamente cuatro sitios (8, 10, 12 y 14) son aptas para consumo humano con un tratamiento simple, ya que presentaron pH dentro del rango definido (entre 6,5 y 8,5) para una calidad de agua clase 1.

Los resultados de pH del agua de los sitios evaluados se presentan en el Cuadro 18.

Cuadro 18. Potencial de hidrógeno del agua de los sitios de la red de muestreo de la microcuenca de la quebrada Victoria, Curubandé, Guanacaste, Costa Rica, en función de la época de muestreo 2007-2008.

Sitio	Época / pH (unidad de pH)					Media
	I-E.Iluviosa	II-E.Iluviosa	I-E.Seca	II-E.Seca	Transición S-LI	
1	5,60	6,24	5,69	5,12	4,94	5,52
2	5,70	6,03	5,66	5,05	4,96	5,48
3	4,30	4,34	4,12	3,94	4,14	4,17
4	4,00	4,02	3,96	3,87	4,09	3,99
5	4,00	3,94	3,90	3,85	3,95	3,93
6	6,20	6,05	5,84	5,57	5,70	5,87
7	4,20	4,40	4,10	3,88	4,18	4,15
8	7,00	6,78	6,97	6,54	6,83	6,82
9	6,70	6,07	5,76	5,36	5,94	5,97
10	7,00	6,57	6,60	6,24	6,53	6,59
11	6,70	6,47	6,44	6,32	6,09	6,40
12	7,40	7,22	7,51	7,17	7,28	7,32
13	6,40	5,97	5,95	5,89	5,98	6,04
14	7,20	6,69	6,80	6,67	6,74	6,82
15	6,20	5,78	5,88	5,94	5,86	5,93

1-15: sitios de muestreo según cuadro 15. I: primer muestreo; II: segundo muestreo; S-LI: época de transición de seca a lluviosa.

En las áreas aledañas al sitio 7 se encontró óxidos de hierro, rojizo (Figura 10), lo que explica el aumento de la acidez del agua desde esta naciente hacia cuenca abajo (pH medio de 4,73) y una dismunición hacia cuenca arriba (pH medio de 6,49). Los sitios 1 a 7 se caracterizan por tener bajo contenido de bicarbonato (< 10 ppm), mientras que, el de los sitios 8 a 15 es mayor (entre 10 y 50 ppm), lo que explica el incremento de pH con respecto al primer grupo.



Figura 10. Presencia de óxido de hierro en la naciente El Mall (sitio 7).

Autora: Bi Yun Zhen Wu, 2008.

El pH es importante en la fauna acuática: las aguas ácidas tienden a mantener un número bajo de especies y no se ven favorecidas por el crecimiento de especies salmónicas; por el contrario, las aguas alcalinas son mucho más ricas en macroinvertebrados (Kiely, 1999). Además, cuando el pH está entre 3,5 y 4,5 afecta la reproducción de los peces (Avvannavar y Shrihari, 2008), por lo que la mayoría de los sitios evaluados son adecuados para actividades pecuarias a excepción de cuatro (3, 4, 5 y 7).

Este parámetro juega un papel muy importante en determinados procesos químicos, como por ejemplo en la desinfección del agua con cloro. Las reacciones de cloro solo tienen lugar cuando el pH tiene un valor entre 5,5 y 9,5. Este tratamiento requiere regular el pH tal que predomine el HClO, ya que existe una teoría ampliamente aceptada de que este es el ingrediente activo que actúa eficazmente en la inactivación de los microorganismos patógenos (Chapman, 1996). El pH de la mayoría de los sitios, con la excepción de uno (el 12, pH medio de 7,32), debe regular su valor tal que esté dentro del rango óptimo (7,2 y 7,6), si usa ese tratamiento.

6.1.1.3 Color

El color verdadero medio anual del agua de la quebrada es de 2 U-Pt-Co con mínimo de 0 U-Pt-Co y máximo de 30 U-Pt-Co (sitio 14 del muestreo de la época de transición seca a lluviosa). Según este parámetro, las aguas son aptas para consumo humano con un tratamiento simple, ya que presentaron una coloración por debajo del límite máximo definido (10 U-Pt-Co) para una calidad de clase 1.

Los resultados del color verdadero del agua de los sitios evaluados se presentan en el Cuadro 19.

Cuadro 19. Color verdadero del agua de los sitios de la red de muestreo de la microcuenca de la quebrada Victoria, Curubandé, Guanacaste, Costa Rica, en función de la época de muestreo 2007-2008.

Sitio	Época / Color verdadero (U-Pt-Co)					Mediana (U-Pt-Co)
	I-E.Iluviosa	II-E.Iluviosa	I-E.Seca	II-E.Seca	Transición S-LI	
1	5	3	0	0	0	0
2	5	0	0	0	0	0
3	5	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0
6	5	0	0	0	3	0
7	0	0	0	0	0	0
8	5	3	0	0	3	3
9	5	10	0	0	0	0
10	5	0	2	0	20	2
11	2	5	2	2	0	2
12	10	0	0	2	20	2
13	0	0	0	0	0	0
14	3	0	0	5	30	3
15	0	0	2	0	0	0

1-15: sitios de muestreo según cuadro 15. I: primer muestreo; II: segundo muestreo; S-LI: época de transición de seca a lluviosa. Clases 1 (< 10 U-Pt-Co) según el cuadro 7.

En la época de transición seca a lluviosa se observa coloración en el agua de tres sitios (10, 12 y 14, cuyo color verdadero son 20, 20 y 30 U-Pt-Co, respectivamente), ya que la mayoría de las personas detectan colores en un vaso de vidrio cuando el color supera los 15 U-Pt-Co (OMS, 2004). Se observó la presencia de erosión del suelo en las áreas aledañas a la naciente Cementerio Indígena (sitio 14, Figura 11), lo que explica el aumento de la coloración del agua de este sitio, así como de los sitios 10 y 12, ya que estos reciben los aportes del anterior.



Figura 11. Erosión hacia el sitio 14, naciente Cementerio Indígena, de la red de muestreo de la microcuenca de la quebrada Victoria, Curubandé, Guanacaste, Costa Rica.

Autora: Bi Yun Zhen Wu, 2008.

6.1.1.4 Turbiedad

La turbiedad media anual del agua de la quebrada es de 3,52 UNT con mínima de 0,05 UNT (sitio 5, primer muestreo de la época lluviosa) y máxima de 31,50 UNT (sitio 14, época de transición seca a lluviosa). Según este parámetro, el agua es apta para consumo humano con un tratamiento simple a excepción de tres sitios (10, 12 y 14), ya que está por debajo del límite máximo definido (< 25 UNT) para una calidad de agua clase 1.

Los resultados de la turbiedad del agua de los sitios evaluados se presentan en el Cuadro 20.

Cuadro 20. Turbiedad del agua de los sitios de la red de muestreo de la microcuenca de la quebrada Victoria, Curubandé, Guanacaste, Costa Rica, en función de la época de muestreo 2007-2008.

Sitio	Época / Turbiedad (UNT)					Media (UNT)
	I-E.Iluviosa	II-E.Iluviosa	I-E.Seca	II-E.Seca	Transición S-LI	
1	7,55	5,33	4,06	3,00	6,90	5,37
2	7,25	3,78	3,46	3,00	7,30	4,96
3	4,10	0,49	1,26	0,50	1,00	1,47
4	0,66	1,27	0,46	0,20	0,70	0,66
5	0,05	1,00	0,24	0,30	0,20	0,36
6	4,30	3,14	2,74	2,50	9,60	4,46
7	0,15	0,62	0,14	0,10	0,50	0,30
8	5,10	4,99	2,31	1,90	8,30	4,52
9	4,38	12,80	1,23	1,20	10,80	6,08
10	5,12	3,05	3,20	2,50	11,50	5,07
11	1,33	7,04	1,56	2,50	6,00	3,69
12	7,22	1,74	3,68	1,20	14,50	5,67
13	0,58	1,14	0,70	0,50	1,40	0,86
14	3,77	3,21	0,14	5,00	31,50	8,72
15	0,08	0,54	1,49	0,40	0,51	0,60

1-15: sitios de muestreo según cuadro 15. I: primer muestreo; II: segundo muestreo; S-LI: época de transición de seca a lluviosa. Clase 1 (< 25 UNT) según el cuadro 7.

En el segundo muestreo de la época de lluviosa, la turbiedad de los sitios 9 (12,80 UNT) y 11 (7,04 UNT) se duplicó en comparación con la media anual (3,52 UNT); repitiéndose la misma situación en la época de transición. Este segundo muestreo se realizó en noviembre que se caracterizó con la llegada de la tormenta tropical Noel (Sánchez, 2007a), por lo que indica que la escorrentía superficial favorece el aumento de turbiedad en el agua.

Este parámetro se relaciona con los sedimentos en el sentido de la cantidad de materia en suspensión, por lo tanto estos deterioran la calidad del agua (Ongley, 1997). El suelo de las áreas aledañas al sitio 14 presentan pendiente pronunciada y es arcillosa (Figura 12), por lo que facilita el arrastre de sedimentos por escorrentía superficial y se refleja en un incremento de seis veces (31,50 UNT en la época de transición y 5,00 UNT en la época seca) de la turbiedad de su

agua. Los aumentos de la turbiedad en los sitios 12 y 10 se deben a los aportes de la mencionada naciente. Finalmente, el sitio 10 recibe también las contribuciones del sitio 11.



Figura 12. Pendiente y tipo de suelo de la zona alrededor de la naciente Cementerio Indígena (sitio 14).

Autora: Bi Yun Zhen Wu, 2008.

6.1.1.5 Conductividad eléctrica y sólidos disueltos totales

La conductividad eléctrica media anual del agua de la quebrada es de 217,5 $\mu\text{S}/\text{cm}$ con mínima de 87,5 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (sitio 14, segundo muestreo de la época lluviosa, Cuadro 21) y máxima de 285 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (sitio 7, primer muestreo de la época lluviosa). Este parámetro puede servir de referencia para el monitoreo de descarga de aguas geotérmicas, ya que éstas tienen conductividad eléctrica entre 16000 y 18000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (cuadro 2). Además, es un indicador de infiltración de aguas salinas sencilla, rápida y barata.

Los resultados de la conductividad eléctrica del agua de los sitios evaluados se presentan en el Cuadro 21.

Cuadro 21. Conductividad eléctrica del agua de los sitios de la red de muestreo de la microcuenca de la quebrada Victoria, Curubandé, Guanacaste, Costa Rica, en función de la época de muestreo 2007-2008.

Sitio	Época / Conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$ a 25°C)					Media
	I-E.Iluviosa	II-E.Iluviosa	I-E.Seca	II-E.Seca	Transición S-LI	
1	230,0	208,0	238,0	243,0	240,0	231,8
2	233,0	210,0	238,0	242,0	241,0	232,8
3	249,0	230,0	274,0	277,0	265,0	259,0
4	271,0	242,0	278,0	280,0	273,0	268,8
5	280,0	250,0	281,0	284,0	282,0	275,4
6	233,0	210,0	231,0	235,0	233,0	228,4
7	285,0	233,0	281,0	285,0	283,0	273,4
8	215,0	193,2	214,0	217,0	214,0	210,6
9	190,0	182,6	222,0	226,0	199,2	204,0
10	205,0	207,0	215,0	222,0	194,2	208,6
11	244,0	218,0	225,0	226,0	241,0	230,8
12	165,0	149,7	167,5	175,5	170,5	165,6
13	204,0	170,9	185,3	191,9	195,7	189,6
14	100,0	87,5	105,0	105,4	96,4	98,9
15	201,0	170,3	179,6	181,7	195,6	185,6

1-15: sitios de muestreo según cuadro 15. I: primer muestreo; II: segundo muestreo; S-LI: época de transición de seca a lluviosa.

La concentración media anual de sólidos disueltos totales del agua de la quebrada es de 213 ppm con mínima de 120 ppm (sitio 14, segundo muestreo de la época lluviosa, Cuadro 22) y máxima de 268 ppm (sitio 7, primer muestreo de la época lluviosa). Según este parámetro, el agua de la quebrada es adecuada para consumo humano con tratamiento simple, ya que está por debajo del límite máximo definido (< 250 ppm) para una calidad de agua clase 1.

Este parámetro puede servir de referencia para el monitoreo de descarga de aguas geotérmicas, ya que éstas tienen SDT entre 10 000 ppm y 12 000 ppm, Cuadro 2., por lo que también es un buen indicador de infiltración de aguas salinas.

Los resultados de los sólidos disueltos totales del agua de los sitios evaluados en función de la época de muestreo se presentan en el Cuadro 22.

Cuadro 22. Concentración de sólidos disueltos totales del agua de los sitios de la red de muestreo de la microcuenca de la quebrada Victoria, Curubandé, Guanacaste, Costa Rica, en función de la época de muestreo 2007-2008.

Sitio	Época / SDT (ppm)					Media (ppm)
	I-E.Iluviosa	II-E.Iluviosa	I-E.Seca	II-E.Seca	Transición S-LI	
1	226	210	232	232	252	230
2	246	216	232	230	236	232
3	246	230	246	234	246	240
4	238	218	234	240	250	236
5	262	224	234	240	234	239
6	226	214	232	230	220	224
7	268	248	258	254	252	256
8	210	198	198	218	212	207
9	182	182	200	210	192	193
10	206	208	218	218	194	209
11	232	210	218	214	238	222
12	180	158	172	180	198	178
13	212	184	192	190	218	199
14	134	120	138	148	144	137
15	202	176	186	182	194	188

1-15: sitios de muestreo según cuadro 15. I: primer muestreo; II: segundo muestreo; S-LI: época de transición de seca a lluviosa. Clase 1 (< 250 ppm) según el cuadro 7.

El parámetro de la conductividad eléctrica es uno de los más usados debido a la rapidez de su medición y, al ser una representación del total de los sólidos disueltos, permite detectar variaciones en la composición química de los constituyentes del agua. Por lo tanto, su importancia en los programados de seguimiento de la calidad del agua para tomar acciones correctivas o preventivas. Asimismo, el monitoreo de este parámetro indicador permite definir la necesidad de realizar otros análisis físico-químicos y con ello disminuir los costos de los mismos.

En resumen, la evaluación de los contaminantes físicos es importante, ya que todos los parámetros indicadores se complementan para comprender los fenómenos en el medio hídrico. Así, desde el punto de vista de la vida acuático, al haber mayores cantidades de sólidos suspendidos en el agua la turbidez aumenta, lo que generan un aumento de la temperatura en

el agua, ya que las partículas suspendidas absorben el calor de la luz solar, lo que es perjudicial para las plantas y los peces y puede provocar su desaparición. Estos parámetros son los indicadores básicos de control de calidad del agua.

6.1.2 Parámetros químicos

A continuación se analizan y discuten los resultados de los parámetros indicadores químicos, los cuales son elementos o compuestos, que dependiendo de las condiciones del agua pueden llegar a convertirse en contaminantes y afectar la calidad del agua.

6.1.2.1 Oxígeno disuelto

El porcentaje de saturación medio anual de oxígeno disuelto en el agua de la quebrada es de 84% con mínimo de 50% y máximo de 101%. Todos los sitios presentaron un porcentaje de saturación entre 71 y 90% en las tres épocas de muestreo, a excepción de los nacientes 5, 13 y 15 que están entre 51 y 70%. La concentración a lo largo de la quebrada se caracteriza por ser alta (> 90%), no obstante, en los nacientes el contenido es menor llegando a reducir sus niveles hasta la mitad (entre 55 y 85%).

Los resultados de la saturación del oxígeno disuelto en el agua de los sitios evaluados se presentan en el Cuadro 23.

Cuadro 23. Porcentaje de saturación de oxígeno disuelto en el agua de los sitios de la red de muestreo de la microcuenca de la quebrada Victoria, Curubandé, Guanacaste, Costa Rica, en función de la época de muestreo 2007-2008.

Sitio	Época / Saturación del oxígeno disuelto (%)					Media (%)
	I-E.Iluviosa	II-E.Iluviosa	I-E.Seca	II-E.Seca	Transición S-LI	
1	85	91	101	99	96	94
2	87	94	101	100	93	95
3	85	94	99	98	94	94
4	87	92	97	94	90	92
5	55	57	56	53	54	55
6	85	91	95	90	88	90
7	78	82	89	85	84	84
8	85	94	95	96	92	92
9	82	90	83	78	85	84
10	86	91	93	93	91	91
11	85	93	92	93	87	90
12	84	92	93	92	91	90
13	67	74	68	69	65	69
14	85	92	88	92	89	89
15	59	67	58	56	50	58

1-15: sitios de muestreo según cuadro 15. I: primer muestreo; II: segundo muestreo; S-LI: época de transición de seca a lluviosa.

Las fuentes de oxígeno en el agua son la aireación y la fotosíntesis de las algas (Rivera *et al.* 2004). A lo largo de la quebrada hay presencia de rocas, las cuales generan turbulencias producto de las caídas y choques del agua, que provocan aumentos en el contenido de oxígeno disuelto en el medio, lo que explica los altos porcentajes de saturación en los sitios evaluados a lo largo de la quebrada. Por otra parte, en las nacientes (sitios 5 y 15) al no haber presencia de rocas ni turbulencias su contenido es bajo.

El oxígeno es vital para casi todas las plantas y los animales acuáticos. La baja solubilidad es el principal factor que limita la capacidad de purificación de las aguas naturales (Rivera *et al.* 2004). Cualquier tipo de perturbación que reduzca los niveles de este elemento tendrá un efecto dramático en el funcionamiento de las comunidades y los ecosistemas de agua dulce (Kiely, 1999). Son pocos los organismos que pueden tolerar el agua a temperaturas extremas de calor

o frío. Además, la tasa de fotosíntesis y el crecimiento de las plantas aumentan al mismo tiempo que la temperatura, por lo que incrementa el consumo de oxígeno y consecuentemente mayor es el número de plantas que crecen y mueren (Chapman, 1996).

La ausencia de oxígeno indica una intensa contaminación (Kiely, 1999). Las aguas más cálidas, con escaso movimiento y contaminadas, provenientes de aguas residuales por ejemplo, producen un efecto negativo en el oxígeno disuelto. La contaminación térmica se debe a descarga de aguas con mayores temperaturas al cuerpo receptor, como las aguas geotérmicas, cuyas temperaturas son extremas (entre 232 °C y 250 °C, Cuadro 2.), ubicadas cuenca arriba o adyacentes que pudieran infiltrarse.

En el suministro de agua, la disminución de oxígeno disuelto favorece la reducción microbiana de nitrato a nitrito y de sulfato a sulfuro, así como el incremento de la concentración de ión ferroso, que consecuentemente al abrir la llave de grifo se colorea el agua por la oxidación con el oxígeno del aire (OMS, 2004).

6.1.2.2 Demanda bioquímica de oxígeno

Según la demanda bioquímica de oxígeno, el agua de la quebrada es muy pura, ya que de todos los sitios muestreados durante las tres épocas estuvo por debajo de 2 ppm, según la clasificación del Cuadro 24. Como parámetro indicador de descargas de aguas residuales, las cuales contienen alto materia orgánica, indica que no hay de este tipo en la quebrada.

Cuadro 24. Calidad del agua según la concentración de la demanda bioquímica de oxígeno de 5 días.

Concentración de DBO ₅ (ppm)	Calidad del agua
< 3	Muy pura
3 – 5	Pureza intermedia
> 8	Agua contaminada
100 - 400	Residuales urbanas

Fuente: Orozco *et al.* 2005.

6.1.2.3 Nitrito, nitrato y nitrógeno amoniacal

El agua de la quebrada no representa riesgo de contaminación por nitrito, ya que su concentración está por debajo de 0,09 ppm de NO_2^- -N y el nitrato menos de 5 ppm, límite máximo definido para un agua de calidad clase 1 (cuadro 7).

Las aguas no contaminadas contienen pequeñas cantidades y compuestos de amoníaco, como el nitrógeno amoniacal, usualmente $<0,1$ mg/L como nitrógeno (Chapman, 1996). Las concentraciones medias anuales del NH_4^+ de los sitios muestreados estuvieron por debajo de 0,1 mg/L, lo que indica que no hay contaminación reciente por aguas residuales o fertilizantes nitrogenadas.

6.1.2.4 Fosfato

No hay riesgo de un incremento incontrolado de alga en el agua de la quebrada, debido a que la concentración de fósforo (como PO_4^{3-} -P) del agua de los sitios evaluados durante las tres épocas estuvo por debajo de 0,03 ppm, concentración mínima que puede ser cuantificada por el método de HPLC. Aunque este contenido es ligeramente superior a 0,02 ppm de PO_4^{3-} -P, límite máximo que generalmente acelera la eutrofización (Sharpley *et al.* 2003), el fosfato al ser un bionutriente es esencial para el crecimiento de las plantas (Orozco *et al.* 2005).

6.1.2.5 Sodio y potasio

La concentración media anual de sodio en el agua de la quebrada es de 8 ppm con mínima de 5,5 ppm (sitio 14, segundo muestreo de la época lluviosa, Cuadro 25) y máxima de 12 ppm (sitio 12, segundo muestreo de la época lluviosa).

Los resultados de sodio en el agua de los sitios evaluados se presentan en el Cuadro 25.

Cuadro 25. Concentración de sodio del agua de los sitios de la red de muestreo de la microcuenca de la quebrada Victoria, Curubandé, Guanacaste, Costa Rica, en función de la época de muestreo 2007-2008.

Sitio	Época / Sodio (ppm)					Media (ppm)
	I-E.Iluviosa	II-E.Iluviosa	I-E.Seca	II-E.Seca	Transición S-LI	
1	9,1	9,0	8,3	8,5	8,6	8,7
2	8,9	9,0	8,3	8,6	8,5	8,7
3	8,0	7,0	7,9	8,2	7,9	7,8
4	7,8	8,0	7,8	7,8	7,8	7,8
5	7,9	7,0	7,5	7,8	8,1	7,7
6	9,5	9,0	8,5	8,7	9,2	9,0
7	8,8	8,0	8,3	8,3	9,3	8,5
8	9,1	8,0	8,2	8,2	8,8	8,5
9	8,3	8,0	8,6	8,6	8,4	8,4
10	9,6	8,0	8,0	8,2	9,2	8,6
11	8,9	8,0	8,0	8,4	8,6	8,4
12	10,4	12,0	9,2	8,7	9,5	10,0
13	8,3	7,0	7,1	7,3	7,9	7,5
14	6,1	5,5	5,8	5,9	6,1	5,9
15	8,1	7,0	7,0	7,6	8,1	7,6

1-15: sitios de muestreo según cuadro 15. I: primer muestreo; II: segundo muestreo; S-LI: época de transición de seca a lluviosa.

La concentración media anual de potasio en el agua de la quebrada es de 3 ppm con mínima de menos de 1 ppm (sitio 14, segundo muestreo de la época lluviosa) y máxima de 3,8 ppm (sitio 7, primer muestreo de la época seca).

Los resultados de potasio en el agua de los sitios evaluados se presentan en el cuadro 26.

Cuadro 26. Concentración de potasio del agua de los sitios de la red de muestreo de la microcuenca de la quebrada Victoria, Curubandé, Guanacaste, Costa Rica, en función de la época de muestreo.

Sitio	Época / Potasio (ppm)					Media (ppm)
	I-E.Iluviosa	II-E.Iluviosa	I-E.Seca	II-E.Seca	Transición S-LI	
1	3,5	3,6	3,4	3,1	3,6	3,4
2	3,3	3,5	3,3	3,0	3,4	3,3
3	3,5	3,5	3,5	3,1	3,6	3,4
4	3,1	3,1	3,3	2,8	3,4	3,1
5	3,0	2,9	3,1	2,8	3,1	3,0
6	3,1	3,0	3,3	3,0	3,4	3,2
7	3,5	3,6	3,8	3,4	3,6	3,6
8	3,0	2,7	3,2	2,8	2,9	2,9
9	3,1	3,2	3,6	3,4	3,3	3,3
10	2,5	2,9	2,9	2,8	2,6	2,7
11	3,5	3,0	3,2	2,9	3,4	3,2
12	2,0	1,8	2,2	2,0	2,1	2,0
13	2,9	2,3	2,5	2,4	2,9	2,6
14	1,6	<1,0	1,5	1,1	1,4	1,4
15	2,9	2,3	2,5	2,3	2,7	2,5

1-15: sitios de muestreo según cuadro 15. I: primer muestreo; II: segundo muestreo; S-LI: época de transición de seca a lluviosa.

La naciente Cementerio Indígena (sitio 14) presenta una concentración de sodio (5,9 ppm) y potasio (1,4 ppm) de la mitad de la media anual de los demás sitios (Cuadro 25 y cuadro 26). Esta tendencia es concordante con la baja conductividad eléctrica y contenido de los sólidos disueltos totales de su agua.

El sodio es uno de los elementos más abundantes de la Tierra y su contenido depende de las condiciones geológicas (Chapman, 1996). La concentración determinada en el agua es natural de la quebrada puede ser utilizado como referencia para monitorear variaciones por descargas de aguas geotérmicas o emisiones volcánicas (Cuadro 2.).

La situación anterior se puede aplicar para el potasio, aunque la concentración de este es menor que la del sodio, ya que su abundancia natural en la Tierra es baja (Chapman, 1996). Sin embargo, sus sales son ampliamente usadas en fertilizantes para la agricultura (Chapman, 1996). De haber uso de ellos en los terrenos aledaños, los efectos de estos se reflejan por un incremento importante en su concentración como consecuencia de los arrastres de la tierra. De ahí que, el potasio puede ser un indicador de contaminación.

Desde el punto de vista de salud, los iones de sodio y potasio son elementos esenciales para los organismos de todos los seres vivos, por lo que la ingestión de pequeñas cantidades constituye nutrientes esenciales para una vida saludable y sustentar la biota acuática (Chapman, 1996).

6.1.2.6 Calcio, magnesio y dureza del agua

La concentración media anual de calcio en el agua de la quebrada es de 18,9 ppm con mínima de 6 ppm (sitio 14, segundo muestreo de la época lluviosa) y máxima de 25 ppm (sitio 7, primer muestreo de la época lluviosa).

Los resultados de calcio en el agua de los sitios evaluados en presentan en el Cuadro 27.

Cuadro 27. Concentración de calcio del agua de los sitios de la red de muestreo de la microcuenca de la quebrada Victoria, Curubandé, Guanacaste, Costa Rica, en función de la época de muestreo 2007-2008.

Sitio	Época / Calcio (ppm)					Media (ppm)
	I-E.Iluviosa	II-E.Iluviosa	I-E.Seca	II-E.Seca	Transición S-LI	
1	21	18	21	23	21	21
2	21	19	22	23	21	21
3	21	18	22	23	21	21
4	21	18	21	22	22	21
5	22	18	21	22	22	21
6	22	18	21	22	21	21
7	25	21	24	24	24	24
8	20	17	20	20	19	19
9	17	16	21	21	17	18
10	18	19	20	21	16	19
11	24	20	22	22	22	22
12	12	9	13	15	13	12
13	20	15	17	18	17	18
14	7	6	8	8	7	7
15	20	16	17	17	17	18

1-15: sitios de muestreo según cuadro 15. I: primer muestreo; II: segundo muestreo; S-LI: época de transición de seca a lluviosa.

La concentración media anual de magnesio en el agua de la quebrada fue de 5,5 ppm con mínima de 3,2 ppm (sitio 14, segundo muestreo de la época lluviosa) y máxima de 7,6 ppm (sitio 11, primer muestreo de la época lluviosa).

Los resultados de magnesio en el agua de los sitios evaluados se presentan en el Cuadro 28.

Cuadro 28. Concentración de magnesio del agua de los sitios de la red de muestreo de la microcuenca de la quebrada Victoria, Curubandé, Guanacaste, Costa Rica, en función de la época de muestreo 2007-2008.

Sitio	Época / Magnesio (ppm)					Media (ppm)
	I-E.Iluviosa	II-E.Iluviosa	I-E.Seca	II-E.Seca	Transición S-LI	
1	6,0	5,2	5,1	6,5	5,5	5,7
2	6,0	5,1	5,1	6,1	5,5	5,6
3	5,3	4,6	4,7	5,5	5,0	5,0
4	5,3	4,5	4,4	5,2	5,0	4,9
5	5,3	4,4	4,5	5,1	5,0	4,9
6	6,7	5,5	5,4	6,3	5,7	5,9
7	6,3	5,1	4,9	5,8	5,5	5,5
8	6,5	5,4	5,5	6,5	5,7	5,9
9	5,5	4,5	5,2	6,0	5,1	5,3
10	6,3	5,7	5,6	6,7	5,5	6,0
11	7,6	6,1	5,8	6,8	6,8	6,6
12	5,3	4,1	4,7	5,8	5,1	5,0
13	6,9	5,2	5,3	6,4	5,9	5,9
14	3,9	3,2	3,6	4,1	3,4	3,6
15	7,2	6,0	5,5	6,4	6,5	6,3

1-15: sitios de muestreo según cuadro 15. I: primer muestreo; II: segundo muestreo; S-LI: época de transición de seca a lluviosa.

La concentración media anual de la dureza total, considerando el calcio y magnesio como principales iones contribuyentes, como carbonato de calcio en el agua de la quebrada es de 70 ppm con mínima de 28 ppm (sitio 14, segundo muestreo de la época lluviosa) y máxima de 91 ppm (sitio 11, primer muestreo de la época lluviosa).

Los resultados de la dureza total del agua de los sitios evaluados se presentan en el Cuadro 29.

Cuadro 29. Dureza total como CaCO_3 del agua de los sitios de la red de muestreo de la microcuenca de la quebrada Victoria, Curubandé, Guanacaste, Costa Rica, en función de la época de muestreo 2007-2008.

Sitio	Época / Dureza total como CaCO_3 (ppm)					Media (ppm)
	I-E.Iluviosa	II-E.Iluviosa	I-E.Seca	II-E.Seca	Transición S-LI	
1	77	66	74	84	76	76
2	77	68	75	83	75	76
3	74	64	75	80	73	73
4	74	64	71	76	75	72
5	77	63	72	76	75	72
6	83	68	75	81	75	76
7	88	73	80	84	82	82
8	77	65	72	77	70	72
9	65	59	73	77	64	68
10	71	71	74	80	62	72
11	91	75	78	83	84	82
12	52	39	53	61	53	52
13	78	59	65	71	68	68
14	34	28	35	37	31	33
15	80	65	66	69	70	70

1-15: sitios de muestreo según cuadro 15. I: primer muestreo; II: segundo muestreo; S-LI: época de transición de seca a lluviosa.

La concentración media anual de la dureza de magnesio es de 22,5 ppm con mínima de 13,2 ppm (sitio 14, segundo muestreo de la época lluviosa) y máxima de 31,3 ppm (sitio 11). Según este parámetro, el agua de la quebrada es apta para consumo humano con tratamiento simple, ya que la dureza de magnesio está por debajo del límite máximo definido para una calidad de clase 1 (< 30 ppm). La concentración media anual (27,2 ppm) de esta dureza del sitio 11 también está por debajo de este límite, por lo que su agua es adecuada aunque hubo un muestreo que lo sobrepasó (31,3 ppm, primer muestreo de la época lluviosa).

Los resultados de la dureza de magnesio en el agua de los sitios evaluados se presentan en el Cuadro 30.

Cuadro 30. Dureza de magnesio como CaCO₃ del agua de los sitios de la red de muestreo de la microcuenca de la quebrada Victoria, Curubandé, Guanacaste, Costa Rica, en función de la época de muestreo 2007-2008.

Sitio	Época / Dureza de magnesio como CaCO ₃ (ppm)					Media (ppm)
	I-E.Illuviosa	II-E.Illuviosa	I-E.Seca	II-E.Seca	Transición S-LI	
1	24,7	21,4	21,0	26,7	22,6	23,3
2	24,7	21,0	21,0	25,1	22,6	22,9
3	21,8	18,9	19,3	22,6	20,6	20,7
4	21,8	18,5	18,1	21,4	20,6	20,1
5	21,8	18,1	18,5	21,0	20,6	20,0
6	27,6	22,6	22,2	25,9	23,5	24,4
7	25,9	21,0	20,2	23,9	22,6	22,7
8	26,7	22,2	22,6	26,7	23,5	24,4
9	22,6	18,5	21,4	24,7	21,0	21,6
10	25,9	23,5	23,0	27,6	22,6	24,5
11	31,3	25,1	23,9	28,0	28,0	27,2
12	21,8	16,9	19,3	23,9	21,0	20,6
13	28,4	21,4	21,8	26,3	24,3	24,4
14	16,0	13,2	14,8	16,9	14,0	15,0
15	29,6	24,7	22,6	26,3	26,7	26,0

1-15: sitios de muestreo según cuadro 15. I: primer muestreo; II: segundo muestreo; S-LI: época de transición de seca a lluviosa. Clase 1 (< 30 ppm) según cuadro 7.

Desde el punto de vista de la calidad natural del agua, las concentraciones de calcio y magnesio encontradas son características de la quebrada, ya que estos cationes son abundantes en la naturaleza y se originan de la disolución de los minerales en contacto con el medio acuoso (Chapman, 1996).

En cuanto a la biota, el calcio es un elemento esencial para los organismos y es incorporado dentro de las estructuras de algunos invertebrados acuáticos, así como dentro de los huesos de los vertebrados (Chapman, 1996). La ingesta de pequeñas cantidades constituye un nutriente esencial para la vida en general.

Las sales de calcio y magnesio son responsables de la dureza del agua (Chapman, 1996). El grado de dureza comúnmente se clasifica según el Cuadro 31. El agua de la quebrada se considera blanda y ligeramente dura.

Cuadro 31. Clasificación del grado de dureza total del agua como carbonato de calcio.

Concentración en mg/L como CaCO ₃	Grado de dureza total
0 – 75	Blanda
75 -150	Moderadamente dura
150 -300	Dura
> 300	Muy dura

Fuente: Sawyer *et al.* 2001.

La dureza refleja la naturaleza de las formaciones geológicas con las que el agua ha estado en contacto. Las aguas duras se originan en áreas que contiene piedra caliza; mientras que está dispersa o ausente en las blandas (Sawyer *et al.* 2001).

Las aguas duras son tan satisfactorias para el consumo humano como las aguas blandas. Sin embargo, no son adecuadas para fines de limpieza por sus efectos adversos sobre los jabones (Sawyer *et al.* 2001).

6.1.2.7 Bicarbonato

La concentración media anual de bicarbonato en el agua de la quebrada es de 15 ppm con mínima de menos de 0,7 ppm (la mayoría de los sitios 1 a 7) y máxima de 47 ppm (sitio 15, segundo muestreo de la época seca). La media anual de los sitios del 1 al 7 es baja (< 10 ppm), mientras que la de los sitios 8 a 15 está comprendida entre 15 y 47 ppm.

Los resultados de bicarbonato del agua de los sitios evaluados se presentan en el Cuadro 32.

Cuadro 32. Concentración de bicarbonato del agua de los sitios de la red de muestreo de la microcuenca de la quebrada Victoria, Curubandé, Guanacaste, Costa Rica, en función de la época de muestreo 2007-2008.

Sitio	Época / Bicarbonato (ppm)					Media (ppm)
	I-E.Iluviosa	II-E.Iluviosa	I-E.Seca	II-E.Seca	Transición S-LI	
1	2,0	2,9	1,5	<0,7	0,7	1,8
2	2,9	5,4	1,2	2,0	0,7	2,5
3	<0,7	<0,7	<0,7	<0,7	0,7	0,7
4	<0,7	1,0	0,7	<0,7	1,0	0,9
5	1,0	1,0	1,0	<0,7	2,0	1,3
6	11,0	9,8	10,3	8,3	6,3	9,1
7	<0,7	<0,7	1,0	<0,7	0,7	0,9
8	18,0	13,7	17,6	16,1	13,7	15,8
9	20,0	13,7	10,0	7,8	11,0	12,5
10	21,0	14,2	19,3	16,8	19,5	18,2
11	15,0	12,7	18,1	20,0	12,4	15,6
12	26,0	24,0	28,0	29,0	23,0	26,0
13	34,0	31,0	32,0	34,0	34,0	33,0
14	29,0	28,0	29,0	28,0	25,0	27,8
15	44,0	45,0	45,0	47,0	46,0	45,4

1-15: sitios de muestreo según cuadro 15. I: primer muestreo; II: segundo muestreo; S-LI: época de transición de seca a lluviosa.

El bicarbonato es la forma más común del carbono inorgánico que se encuentra entre pH de 6 y 8,2 y se deriva parcialmente de la disolución de minerales carbonatadas. Cuando en el río no hay rocas carbonatas, el contenido de HCO_3^- se origina principalmente del dióxido de carbono (CO_2) en el suelo y de la respiración biológica (Chapman, 1996).

La naciente de la quebrada Victoria se diferencia de las demás en cuanto a su cobertura vegetal, la cual posiblemente aumenta el aporte de CO_2 producto de la respiración biológica, lo que explica el aumento de la concentración de bicarbonato aunque su pH medio anual (5,93) es menor que la de la naciente Cementerio Indígena (pH de 6,82 y $[\text{HCO}_3^-]$ de 28 ppm), por ejemplo.

6.1.2.8 Cloruro

La concentración media anual de cloruro en el agua de la quebrada es de 10,5 ppm con mínima de 4,2 ppm (sitio 14, segundo muestreo de la época lluviosa) y máxima de 18,7 ppm (sitio 12, segundo muestreo de la misma época). Según este parámetro, el agua es apta para consumo humano con tratamiento simple, ya que presenta un contenido por debajo del límite definido (<100 ppm) para una calidad de clase 1. Los resultados de cloruro en el agua de los sitios evaluados se presentan en el Cuadro 33.

Cuadro 33. Concentración de cloruro del agua de los sitios de la red de muestreo de la microcuenca de la quebrada Victoria, Curubandé, Guanacaste, Costa Rica, en función de la época de muestreo 2007-2008.

Sitio	Época / Cloruro (ppm)					Media (ppm)
	I-E.Iluviosa	II-E.Iluviosa	I-E.Seca	II-E.Seca	Transición S-LI	
1	12,0	11,2	11,4	12,8	12,9	12,1
2	13,0	11,6	11,4	11,4	12,2	11,9
3	12,0	9,6	11,3	12,8	11,2	11,4
4	12,0	9,8	11,7	11,4	11,6	11,3
5	11,0	8,9	10,2	11,4	11,5	10,6
6	14,0	11,8	10,9	11,3	12,6	12,1
7	11,0	8,6	10,0	10,5	11,6	10,3
8	12,0	10,9	10,4	10,6	12,4	11,3
9	7,6	7,2	8,0	9,5	8,1	8,1
10	15,0	10,8	9,9	10,1	13,7	11,9
11	15,0	9,5	9,4	10,2	11,1	11,0
12	17,0	18,7	12,8	12,1	15,1	15,1
13	9,1	6,8	7,6	8,2	8,5	8,0
14	5,8	4,2	5,7	5,7	5,1	5,3
15	8,3	6,2	6,9	7,7	8,2	7,5

1-15: sitios de muestreo según cuadro 15. I: primer muestreo; II: segundo muestreo; S-LI: época de transición de seca a lluviosa. Clase 1 (< 100 ppm) según cuadro 7.

El cloruro no se oxida ni se reduce en aguas naturales (Custodio y Díaz, 2001). Más de 300 ppm produce un sabor salado al agua de ingesta, pero no es perjudicial por lo menos hasta

algunos miles de ppm; es esencial para la vida (Custodio y Díaz, 2001). La concentración de cloruro en aguas geotérmicas es alta (entre 5000 y 6000 ppm, Cuadro 2.), por lo que los resultados obtenidos pueden servir de referencia para monitorear la descarga o infiltración de aguas geotérmicas.

6.1.2.9 Sulfato

La concentración media anual de sulfato en el agua de la quebrada es de 67 ppm con mínima de 11,2 ppm (sitio 14, segundo muestreo de la época lluviosa) y máxima de 107 ppm (sitio 7, época de transición seca a lluviosa). Según este parámetro, el agua es apta para consumo humano con tratamiento simple, ya que presenta un contenido por debajo del límite definido (<150 ppm) para una calidad de clase 1.

Los resultados de sulfato en el agua de los sitios evaluados se presentan en el Cuadro 34.

Cuadro 34. Concentración de sulfato del agua de los sitios de la red de muestreo de la microcuenca de la quebrada Victoria, Curubandé, Guanacaste, Costa Rica, en función de la época de muestreo 2007-2008.

Sitio	Época / Sulfato (ppm)					Media (ppm)
	I-E.Iluviosa	II-E.Iluviosa	I-E.Seca	II-E.Seca	Transición S-LI	
1	80,0	68,0	83,0	88,0	92,0	82,2
2	81,0	70,0	84,0	86,0	92,0	82,6
3	87,0	78,0	96,0	99,0	95,0	91,0
4	94,0	84,0	97,0	99,0	98,0	94,4
5	96,0	84,0	94,0	98,0	106,0	95,6
6	74,0	64,1	71,0	80,0	83,0	74,4
7	104,0	93,0	100,0	104,0	107,0	101,6
8	60,0	54,0	61,5	65,0	66,0	61,3
9	55,0	57,2	67,0	78,0	67,0	64,8
10	51,0	61,1	59,0	73,0	49,0	58,6
11	78,0	68,0	66,0	70,0	82,0	72,8
12	27,0	18,4	29,3	35,9	34,0	28,9
13	52,0	40,9	44,1	46,6	49,0	46,5
14	14,0	11,2	13,7	15,0	14,0	13,6
15	44,0	31,4	33,8	34,3	41,0	36,9

1-15: sitios de muestreo según cuadro 15. I: primer muestreo; II: segundo muestreo; S-LI: época de transición de seca a lluviosa. Clase 1 (< 150 ppm) según cuadro 7.

Las fuentes naturales del sulfato son las deposiciones atmosféricas y la disolución de minerales sulfatadas o sulfuradas (Chapman, 1996). Su concentración en las aguas naturales está comprendida entre 2 y 80 mg/L (Chapman, 1996). La mayoría de los resultados obtenidos están dentro de este ámbito, a excepción del sitio 7 en donde se ha encontrada óxido de hierro con un pH bajo (4,48), lo que favorece la disolución de minerales y explica su alta concentración en relación a los demás.

6.1.2.10 Fluoruro

La concentración media anual de fluoruro en el agua de la quebrada es de 0,3 ppm con mínima de menos de 0,06 ppm (sitio 14, segundo muestreo de la época lluviosa) y máxima de 0,57 ppm (sitio 1, primer muestreo de la misma época). Según este parámetro, el agua es apta para consumo humano con tratamiento simple, ya que presenta una concentración por debajo del límite definido para una calidad de clase 1 (< 1,0 ppm).

Los resultados de fluoruro en el agua de los sitios evaluados se presentan en el Cuadro 35.

Cuadro 35. Concentración de fluoruro del agua de los sitios de la red de muestreo de la microcuenca de la quebrada Victoria, Curubandé, Guanacaste, Costa Rica, en función de la época de muestreo 2007-2008.

Sitio	Época / Fluoruro (ppm)					Media (ppm)
	I-E.Illuviosa	II-E.Illuviosa	I-E.Seca	II-E.Seca	Transición S-LI	
1	0,57	0,42	0,44	0,34	0,25	0,40
2	0,55	0,47	0,40	0,32	0,27	0,40
3	0,24	0,18	0,20	0,20	0,16	0,20
4	0,20	0,16	0,18	0,19	0,14	0,17
5	0,19	0,16	0,17	0,17	0,13	0,16
6	0,53	0,43	0,40	0,40	0,43	0,44
7	0,27	0,21	0,22	0,21	0,19	0,22
8	0,43	0,34	0,38	0,45	0,35	0,39
9	0,45	0,38	0,36	0,35	0,39	0,39
10	0,32	0,35	0,40	0,47	0,28	0,36
11	0,51	0,38	0,46	0,47	0,52	0,47
12	0,17	0,10	0,21	0,22	0,16	0,17
13	0,29	0,24	0,29	0,29	0,25	0,27
14	0,55	<0,06	0,07	0,07	0,07	0,19
15	0,27	0,21	0,26	0,24	0,22	0,24

1-15: sitios de muestreo según cuadro 15. I: primer muestreo; II: segundo muestreo; S-LI: época de transición de seca a lluviosa. Clase 1 (< 1,0 ppm) según cuadro 7.

Dean realizó un estudio en 1938 en los Estados Unidos en donde encontró una correlación entre la caries dental y los niveles de fluoruro en las aguas públicas (Figura 13). A partir de esta investigación surgió la siguiente hipótesis: para una óptima salud dental es deseable un nivel de aproximadamente 1 mg/L de fluoruro en las aguas para consumo humano; a niveles menores, la caries dental se convierte en un problema serio y a niveles mayores el problema es la fluorosis (Sawyer *et al.* 2001).

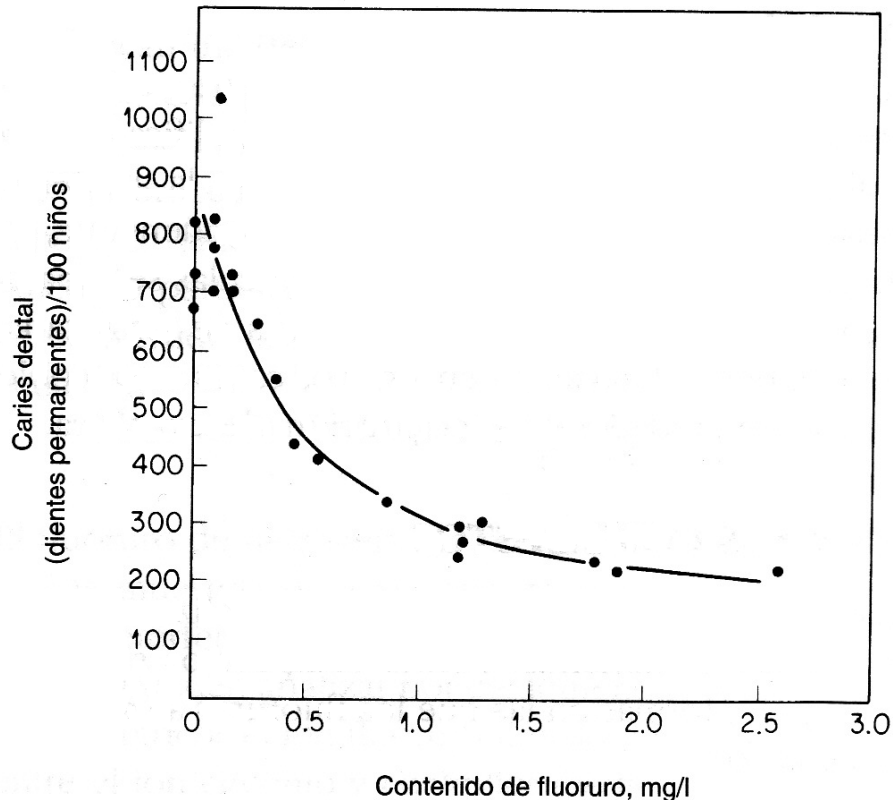


Figura 13. Correlación entre la caries dental y los niveles de fluoruro en aguas para consumo humano.

Fuente: Dean citado por Sawyer *et al.* 2001.

Las caries dentales en dientes permanentes presentan una asociación significativa con el “consumo de agua fluorurada”, constituyendo el acceso a esta agua un “factor de protección”, es decir, que los niños que la consumen tienen menos riesgos de caries que aquellos que no tienen acceso a ella (Piris da Motta *et al.* 2003). La concentración de fluoruro presente en el agua de la quebrada no representa un riesgo para la salud, sino que podría proteger a los consumidores de la aparición de caries dentales. No obstante, la ingestión de agua contaminada con fluoruro (> 1,5 ppm) conlleva a la fluorosis dental y esquelética.

6.1.2.11 Boro

Según este parámetro, el agua de la quebrada es apta para consumo humano con un tratamiento simple, ya que su concentración está por debajo de 0,1 ppm, el cual es el límite establecido para una calidad de clase 1. Este resultado sirve de referencia para monitorear cualquier descarga o infiltración de aguas geotérmicas (entre 50 y 60 ppm, Cuadro 2.).

6.1.2.12 Sílice

La concentración media anual de sílice en el agua de la quebrada es de 79 ppm con mínima de 65 ppm (sitio 9, segundo muestreo de la época lluviosa) y máxima de 91 ppm (sitio 15, segundo muestreo de la época seca). Esta concentración sirve de referencia para monitorear cualquier descarga o infiltración de aguas con contenido de sílice, como las geotérmicas (entre 600 y 650 ppm, Cuadro 2.).

La sílice es un elemento esencial para algunas plantas acuáticas (principalmente diatomeas). Esta sustancia es captada durante el crecimiento celular y liberada durante la descomposición, lo que puede provocar aumentos en su concentración en el medio en que se encuentra (Chapman, 1996).

Los resultados de sílice en el agua de los sitios evaluados se presentan en el Cuadro 36.

Cuadro 36. Concentración de sílice del agua de los sitios de la red de muestreo de la microcuenca de la quebrada Victoria, Curubandé, Guanacaste, Costa Rica, en función de la época de muestreo 2007-2008.

Sitio	Época / Sílice (ppm)					Media (ppm)
	I-E.Iluviosa	II-E.Iluviosa	I-E.Seca	II-E.Seca	Transición S-LI	
1	79	72	81	88	79	80
2	81	73	81	86	79	80
3	76	71	77	83	73	76
4	77	72	78	83	75	77
5	78	73	77	83	76	77
6	84	74	82	88	81	82
7	82	74	81	87	80	81
8	83	72	81	89	81	81
9	71	65	74	82	72	73
10	83	74	81	90	80	82
11	86	75	82	90	82	83
12	82	71	80	89	81	81
13	85	77	80	89	82	83
14	78	69	77	86	72	76
15	87	79	81	91	85	85

1-15: sitios de muestreo según cuadro 15. I: primer muestreo; II: segundo muestreo; S-LI: época de transición de seca a lluviosa.

6.1.2.13 Hierro

La concentración de hierro en el agua de la quebrada es menor a 0,07 ppm, a excepción del sitio 4 (paja del hotel Guachipelín) que durante la época seca fue de 0,2 ppm. Cuando este elemento entra en contacto con el oxígeno del aire, se oxida produciendo una coloración café-rojizo, por lo que se observa que el agua parece turbia y visualmente inaceptable. El hierro interfiere con los procesos de lavado, ya que tiñen las tuberías y causan dificultades en los sistemas de distribución al permitir crecimiento de bacterias del hierro (OMS, 2004).

La concentración de hierro del sitio 4 es concordante con la acidez de su agua (pH de 4), lo que favorece la disolución de sus minerales; éstas existen en suelos principalmente como óxido férrico insoluble y sulfuro de hierro (Sawyer *et al.* 2001).

6.1.3 Parámetros bacteriológicos

El agua es un elemento transmisor que a través de la bebida, baños y alimentos puede incorporar al ser humano aquellos gérmenes patógenos procedentes de la vía intestinal (Custodio y Díaz, 2001). Las heces contienen una variedad de microorganismos y formas de resistencia que son un riesgo para la salud pública. Los parámetros bacteriológicos de los grupos coliformes, *Escherichia coli* y *Salmonella* son indicadores de contaminación fecal.

6.1.3.1 Coliformes fecales

La cantidad de coliformes fecales encontradas en los sitios evaluados durante las tres épocas de muestreo se presentan en el Cuadro 37.

Cuadro 37. Cantidad de coliformes fecales en el agua de los sitios de la red de muestreo de la microcuenca de la quebrada Victoria, Curubandé, Guanacaste, Costa Rica, en función de la época de muestreo 2007-2008.

Sitio	Época / Coliformes fecales (NMP / 100 mL)					Media (NMP / 100 mL)
	I-E.Iluviosa	II-E.Iluviosa	I-E.Seca	II-E.Seca	Transición S-LI	
1	43	21	4	Negativo	36	21
2	23	43	9	Negativo	Negativo	15
3	150	210	23	Negativo	290	135
4	460	4600	23	Negativo	240	1065
5	Negativo	4	23	Negativo	93	24
6	43	430	23	4	23	105
7	9	Negativo	Negativo	Negativo	43	10
8	28	1500	23	350	240	428
9	15	1500	23	75	93	341
10	11	430	23	4600	290	1071
11	460	430	150	240	240	304
12	20	*	93	430	2400	736
13	9	43	43	93	4600	958
14	36	93	240	93	390	170
15	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo

1-15: sitios de muestreo según cuadro 15. (*): no hay dato. I: primer muestreo; II: segundo muestreo; S-LI: época de transición de seca a lluviosa. Clase 1 (< 20 NMP/100 mL), clase 2 (20 a 1000 NMP/100 mL), clase 3 (1000 a 2000 NMP/100 mL), clase 4 (2000 a 5000 NMP/100 mL) y clase 5 (> 5000 NMP/100 mL) según cuadro 7.

En el primer muestreo de la época lluviosa, el agua de los sitios 5, 7, 9, 10, 13 y 15 son adecuadas para consumo humano con tratamiento simple, ya que se clasifican como clase 1; mientras que el resto como 2. Posteriormente, en el siguiente muestreo de la época lluviosa, los sitios 5, 7 y 15 conservaron la misma calidad; la de los sitios 8 y 9 se deterioró pasando de la clase 2 a clase 3; finalmente, el agua de la paja del hotel Guachipelín (sitio 4) pasó de clase 2 a clase 4, lo cual hace que no sea utilizable para el consumo humano según el cuadro 7.

El segundo muestreo de la época lluviosa se realizó en noviembre del 2007, justamente después de la tormenta tropical Noel que ocurrió en octubre (Sánchez, 2007a). Se observó erosión considerable en la mayoría de los bordes del sitio 4, tal como se observa en la Figura 14, lo que explica el aumento de 10 veces en el contenido de coliformes fecales. Los resultados indican que la calidad del agua se deteriora por la escorrentía superficial y arrastres del suelo, que impactan sobre su calidad bacteriológica (Oliver *et al.* 2005).



Figura 14. Erosión en los bordes del sitio 4.

Autora: Bi Yun Zhen Wu, 2007.

Además, se observó cárcavas (Figura 15) antes de la naciente del PGP-05 en el segundo muestreo de la época lluviosa, lo que indica que hubo arrastre de sedimentos del suelo hacia el agua del mencionado sitio. Adicionalmente, se encontraron en el suelo estiércol (Figura 16), el cual puede contener metales, compuestos nitrogenados y patógenos latentes (Cuadro 38), que son arrastrados por escorrentía superficial hacia la naciente. Esta observación puede explicar el

aumento de 100 veces en la cantidad de coliformes fecales de este muestreo (1500 NMP/ 100 MI) en comparación con el primero (15 NMP/100 mL). Por lo que se puede deducir que el aumento de la escorrentía superficial deteriora considerablemente la calidad bacteriológica del agua.



Figura 15. Cárcavas encontradas antes de la Naciente PGP-05 durante el muestreo de la época lluviosa.

Autora: Bi Yun Zhen Wu, 2007.



Figura 16. Estiércol en la vereda desde Naciente PGP-05 hacia Casas de Máquina del campo geotérmico Las Pailas.

Autora: Bi Yun Zhen Wu, 2008.

Cuadro 38. Composición química y microbiológica del estiércol.

Elemento o compuesto químico	Composición (kg / 1000 kg de estiércol)
N	3,5 a 8
P ₂ O ₅	1 a 2
K ₂ O	3,5 a 8,5
MgO	0
CaO	5
B	0,004
Organismos patógenos	Puede contener en estado latente

Fuente: Gross 1971 citado por (Custodio y Díaz, 2001).

En el primer muestreo de la época seca, el agua de los sitios 1, 2, 7 y 15 son adecuadas para consumo humano, ya que se clasifican como clase 1; mientras que la del resto como clase 2. Posteriormente, en el segundo muestreo de esa misma época, la calidad del agua de los sitios 1, 2, 7 y 15 se mantuvo; la de los sitios del 3 hasta el 6 mejoró sustancialmente, pasando de clase 2 a clase 1; la de los demás sitios se mantuvo en clase 2 con la excepción del sitio 10 que pasó de clase 2 a clase 4, lo que hace que ya no sea utilizable para el consumo humano. Durante el muestreo que se realizó en febrero del 2008, se observó la presencia de congos u otros animales en árboles aledaños al sitio 10, lo que es probable que estos animales hayan aportado heces en el agua antes o durante el muestreo aumentando considerablemente la

cantidad de coliformes fecales. Es importante considerar esta observación, ya que el muestreo al ser puntual refleja que en el momento del muestreo hubo una fuente sustancial de contaminación fecal.

En la época de transición, el agua de los sitios 2 y 15 son adecuadas para consumo humano, ya que se clasifican como clase 1; los demás como clase 2 con la excepción de los sitios 12 y 13 que se deterioran a clase 4.

Se observó tala de árboles (Figura 17) en sus alrededores de la naciente El Higuerón (sitio 13) así como poca cobertura vegetal, lo que favorece la erosión del suelo (Figura 18). Esto provoca que la materia fecal y sedimentos del suelo sean arrastrados con mayor facilidad hacia el manantial por la escorrentía superficial, reflejándose en un aumento sustancial en los niveles de bacterias coliformes. El contenido en la época de transición (4600 NMP/100 mL) fue de 50 veces en comparación con el muestreo anterior de la época seca (93 NMP/100 mL). Estos resultados indican que las precipitaciones impactan en la calidad bacteriológica del agua.



Figura 17. Tala de árbol en el sitio 13, naciente El Higuerón, de la red de muestreo de la microcuenca de la quebrada Victoria, Curubandé, Guanacaste, Costa Rica.

Autora: Bi Yun Zhen Wu, 2008.



Figura 18. Erosión hacia el sitio 13, nacimiento El Higuerón, de la red de muestreo de la microcuenca de la quebrada Victoria, Curubandé, Guanacaste, Costa Rica.

Autora: Bi Yun Zhen Wu, 2008.

La nacimiento de la quebrada Victoria (sitio 15) es el único sitio que no se detectaron coliformes fecales (Cuadro 37) durante las tres épocas de muestreo evaluadas. Este resultado indica que no hay contaminación fecal en ella. Por otra parte, este manantial se caracteriza por estar cubierto de vegetación de bosque secundario y en su parte alta hay áreas dedicadas al pastoreo. El área de cobertura con bosque secundaria de esta nacimiento (sitio 15) es de 56556 m² (Figura 19). La no detección de bacterias coliformes en ella es indicio que la cobertura vegetación constituye una barrera natural que impide el acceso de ganado, el cual puede aportar materia fecal en el suelo que posteriormente es arrastrada hasta la nacimiento por escorrentía superficial.

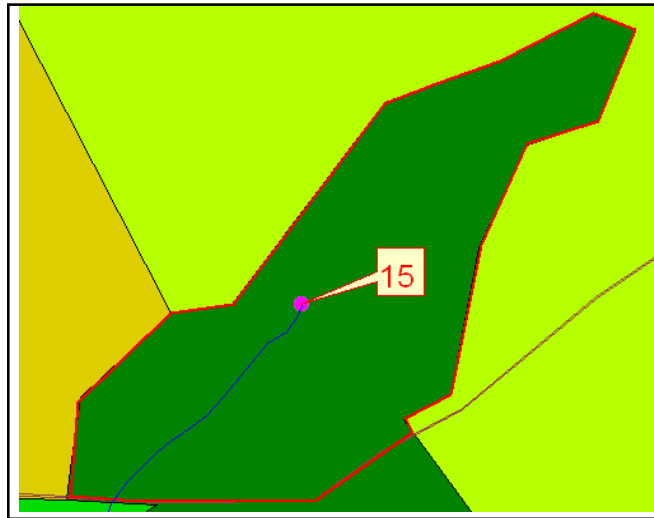


Figura 19. Área de cobertura con bosque secundaria de la naciente de la quebrada Victoria (sitio 15) del 2008.

Fuente: Hoja de Curubandé, 3148 III, INGCR 1991.

6.1.3.2 *Escherichia coli*

La concentración de *E. coli* en los sitios de la red evaluados durante las tres épocas de muestreo se presentan en el Cuadro 39.

Cuadro 39. Concentración de *Escherichia coli* en el agua de los sitios de la red de muestreo de la microcuenca de la quebrada Victoria, Curubandé, Guanacaste, Costa Rica, en función de la época de muestreo 2007-2008.

Sitio	Época / <i>Escherichia coli</i> (NMP/ 100 mL)					Media (NMP/ 100 mL)
	I-E.Iluviosa	II-E.Iluviosa	I-E.Seca	II-E.Seca	Transición S-LI	
1	43	21	4	Negativo	36	26
2	9	43	9	Negativo	Negativo	15
3	150	210	23	Negativo	290	168
4	75	290	23	Negativo	240	157
5	Negativo	4	23	Negativo	93	40
6	43	430	23	Negativo	23	104
7	9	Negativo	Negativo	Negativo	43	17
8	28	1500	23	150	240	388
9	7	1500	23	75	93	340
10	11	430	4	4600	290	1067
11	460	430	150	240	240	304
12	20	*	93	430	2400	736
13	4	43	43	93	4600	957
14	4	93	240	93	240	134
15	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo

1-15: sitios de muestreo según cuadro 15. (*): no hay dato. I: primer muestreo; II: segundo muestreo; S-LI: época de transición de seca a lluviosa.

Los resultados del análisis de *Escherichia coli* demuestran que no hay contaminación fecal en la naciente de la quebrada, ya que no fueron detectados (negativos, Cuadro 39) en ninguno de los muestreos efectuados. Por otra parte, en los demás sitios de muestreo se obtienen resultados positivos para *E.coli*, los cuales en algunos casos indican alta contaminación fecal, pero sin seguir un patrón determinado.

Los sitios más contaminados bacteriológicamente son sitio 11 (del primer muestreo en la época lluviosa con 460 NMP/100 mL), sitios 8 y 9 (del segundo en la lluviosa con 1500 NMP/100 mL para ambos), sitio 14 (del primero en la seca con 240 NMP/100 mL), sitio 10 (del segundo en la seca con 4600 NMP/100 mL) y sitio 13 (de la época transición seca a lluviosa con 4600 NMP/100 mL).

6.1.3.3 *Salmonella*

En relación a los análisis de *Salmonella* en los sitios de la red de muestreo durante los cuatro muestreos realizados fueron negativos.

Desde el punto de vista de salud pública es muy importante cuando se realizan estudios que involucren agua de consumo humano, el análisis específico de un patógeno, de preferencia que sea de los más comúnmente encontrados en el país, por eso la escogencia del género *Salmonella*, dado que estas bacterias han demostrado su circulación en Costa Rica, pero no solo en las personas, sino también en el ambiente en el agua proveniente principalmente de ríos. Estos resultados se han obtenido al realizar los análisis del agua en lugares asociados a brotes de diarrea. Por lo tanto, al no encontrar el patógeno escogido, se tienen buenos indicios de que por el momento los niveles de patógenos en el agua de la quebrada Victoria, son bajos o inexistentes. Razón de peso para mantener una comunidad organizada que de manera sostenible mantenga los programas de vigilancia de la calidad del agua en la zona (Valiente, com. pers. 2008).

6.2 Características hidrológicas y climáticas de la microcuenca de la Quebrada Victoria

En esta sección se analizan y discuten las mediciones de caudal medio del agua de los sitios de la red y las condiciones climáticas de la microcuenca.

6.2.1 Caudal medio del agua

El caudal medio anual de la quebrada es de 0,173 m³/s. La variación del caudal de los puntos de muestreo en función de la época de muestreo se presenta en el Cuadro 40.

Cuadro 40. Caudal de agua de los sitios de la red de muestreo de la microcuenca de la quebrada Victoria, Curubandé, Guanacaste, Costa Rica, en función de la época de muestreo 2007-2008.

Sitio	Época / Caudal (m ³ /s)					Media
	I-E.Iluviosa	II-E.Iluviosa	I-E.Seca	II-E.Seca	Transición S-LI	
1	0,646	0,824	0,362	0,370	0,647	0,570
2	0,612	0,726	0,364	0,394	0,513	0,522
3	0,115	0,208	0,118	0,115	0,197	0,151
4	0,201	0,111	0,024	0,033	0,110	0,096
5	0,120	0,089	0,100	0,112	0,096	0,103
6	0,425	0,702	0,268	0,223	0,484	0,420
7	0,050	0,019	0,012	0,018	0,014	0,023
8	0,199	0,397	0,142	0,192	0,144	0,215
9	0,029	0,040	0,006	0,015	0,021	0,022
10	0,157	0,415	0,092	0,156	0,115	0,187
11	0,125	0,208	0,078	0,107	0,061	0,116
12	0,060	0,098	0,025	0,043	0,043	0,054
13	0,034	0,031	0,018	0,016	0,018	0,023
14	0,026	0,050	0,007	0,017	0,025	0,025
15	0,086	0,123	0,045	0,060	0,022	0,067

I: primer muestreo; II: segundo muestreo; S-LI: época de transición de seca a lluviosa. El caudal del sitio 15 es el flujo remanente, ya que esta naciente está siendo captada por el hotel Guachipelín.

El caudal de la toma de agua de Curubandé (sitio 1) en la primera medición de la época lluviosa fue de 0,646 m³/s. Con la llegada de la tormenta tropical Noel en octubre de ese año aumentó considerablemente en más de 100 litros. La mayoría de los sitios medidos presentaron un aumento con las fuertes precipitaciones ocasionadas por esta anomalía atmosférica, a excepción de los sitios 4, 5 y 7, y la naciente El Higuero (sitio 13) permaneció sin variación. El del sitio 4 disminuyó a la mitad, ya que se observó que se estaba extrayendo agua para el riego de cultivos por parte del hotel Guachipelín.

Con la llegada de la época seca, los caudales de la mayoría de los sitios de la red disminuyeron considerablemente. Una observación muy importante que es destacar que los caudales

medidos en el segundo muestreo de la época seca aumentaron, pero no hubo precipitaciones fuertes que provocara la escorrentía superficial. Esta apreciación se debe a que durante esta segunda medición los vientos fueron muy fuertes y estos aumentaron la corriente del agua, sin que necesariamente haya incrementado el caudal, y provocaron un error positivo en la medición de caudal, la cual se realizó con un molinete. Además, este método indirecto tiene un 10% de error, y aunado al movimiento del agua ocasionado por el viento, se considera que no hubo variación considerable en la segunda medida de caudal de esta época.

La naciente con menor caudal de los sitios de la red evaluada en la época seca es la PGP-05 (sitio 9) con 6 L/s, seguida de la naciente Cementerio Indígena (sitio 14) con 7 L/s, luego de la naciente El Mall (sitio 7) con 12 L/s, posteriormente de la naciente El Higuerón (sitio 13) con 18 L/s y finalmente la naciente de la quebrada Victoria que tiene un caudal remanente de 45 L/s. El caudal medido del sitio 15 (naciente de la quebrada Victoria) corresponde al caudal remanente, ya que esta naciente está siendo captada y utilizada para consumo humano por parte del Hotel Guachipelín, cuyo consumo no se pudo medir por no contar con el visto bueno del dueño de la empresa.

Con las fuertes precipitaciones ocasionadas por la tormenta tropical ALMA a finales de mayo marca el inicio de la época de transición seca a lluviosa (Stolz, 2008), lo que provocó un aumento significativo en el caudal del agua de los sitios de la red de muestreo.

Según los resultados de las cinco mediciones de caudal efectuadas se observa que a partir del sitio 6 hay un aumento considerable del caudal, lo que supone que en las áreas ubicadas justamente cuenca arriba de este sitio hay recarga acuífera a los nacientes y a la quebrada.

Es importante resaltar que estas mediciones de caudal corresponden a un año hidrológico (2007-2008) y sus resultados deben ser analizados en relación a las condiciones meteorológicas de ese año, ya que la medición de caudal varía en función de muchos factores, tales como la cantidad de precipitación, escorrentía superficial, recarga acuífera, intensidad de los vientos y el método de medición de caudal empleado.

6.2.2 Condiciones climáticas durante los muestreos

Las condiciones climáticas durante los días de muestreo y medición de caudal en las tres épocas muestreadas fueron las siguientes:

Época lluviosa: en el primer muestreo realizado en setiembre del 2007 en la época lluviosa, tanto en el día de muestreo como los días de medición de caudal, el cielo estuvo nublado en

horas de la mañana después del mediodía estuvo despejado. No hubo precipitaciones ni vientos. El segundo muestreo se programó para el siguiente mes de octubre, no obstante, se presentó la tormenta tropical Noel, por lo que se reprogramó para el siguiente mes. En el segundo muestreo realizado en noviembre del 2007, tanto en el día de muestreo como en los días de medición de caudal, el cielo estuvo nublado en horas de la mañana y se fue aclarando al acercarse el mediodía, y en la tarde, después de las 15:00, el cielo estuvo despejado pero acompañado de vientos moderados.

Época seca: en los dos muestreos realizados en la época seca (finales de enero y de febrero del 2008), tanto en los días de muestreo como los de medición de caudal, en horas de la mañana el cielo estuvo despejado y después del mediodía se presentó vientos moderados a fuertes.

Época de transición seca a lluviosa: en el muestreo realizado en la época de transición de seca a lluviosa realizado en junio del 2008, tanto en los días de muestreo como los de medición de caudal, el cielo estuvo despejado en horas de la mañana y en horas de la tarde, después de las 13:00, aumentó la nubosidad.

En octubre del 2007 se presentaron anomalías atmosféricas que hicieron de este mes uno de los más lluviosos en los últimos años. Los factores atmosféricos que conjugaron fueron: una presión atmosférica muy por debajo de sus valores promedio, por lo que los vientos del oeste fueron persistentes aumentando la humedad atmosférica; el dipolo térmico transoceánico entre el Pacífico y el Caribe, por un lado el océano Pacífico frío debido al fenómeno de "La Niña", y por el otro, el mar Caribe cálido, favoreció una mayor actividad lluviosa; un sistema de baja presión sobre Belice y la tormenta tropical Noel generaron condiciones de temporal sobre el país durante gran parte de octubre; y la oscilación de Madden-Julian, en su fase divergente, predominó durante la mayor parte del mes (Sánchez, 2007a). El frente frío de principios de enero del 2008, causó menos precipitaciones, así como temperaturas más bajas que las normales debido al efecto atenuador del fenómeno de la Niña (IMN, 2008a). Este fenómeno continuó durante el primer semestre del 2008 ocasionando sequía en algunas regiones del país, principalmente en la Zona Norte y la Región Caribe (IMN, 2008b). Esta situación también se dio en región de la microcuenca de la quebrada Victoria, que se caracterizó por un déficit significativo de las precipitaciones durante los primeros meses del año, hasta la llegada de la tormenta tropical ALMA a finales de mayo (Stolz, 2008), que ocasionaron fuertes aguaceros dando inicio a la época de transición seca a lluviosa. Por lo que, se realizó el muestreo correspondiente a este periodo en junio del 2008.

6.3 Análisis estadístico

Según los histogramas de frecuencia relativa (gráficos 1a a 20b, en anexo 3) y los gráficos de relación de datos observaciones en función de la normal (valor r del gráfico Q-Q, Cuadro 41), la mayoría de los parámetros evaluados no presentan distribución normal.

Además, según los resultados obtenidos de la prueba de Shapiro-Wilks modificado, hay evidencias para rechazar el supuesto de distribución normal ($p < 0,05$) de los parámetros: 2 a 10, 11 a 14, 16 a 17, 20 y 21 (Cuadro 41). Además, el coeficiente de correlación del gráfico de probabilidad Q-Q confirman que la distribución de los datos de los mencionados parámetros no son normales ($r < r$ crítico al 5% de significación). Mientras que, para los parámetros: temperatura de la muestra, magnesio, cloruro, sílice y caudal, hay evidencias de que los datos provienen de una misma población ($p > 0,05$ y $r > 0,9831$).

Los resultados de la evaluación de la normalidad de los datos aplicando la prueba de Shapiro-Wilks modificado se presentan en el Cuadro 41.

Cuadro 41. Resultados de la prueba de Shapiro-Wilks modificado y correlación de gráfico de probabilidad (Q-Q).

No.	Parámetro	Prueba de Shapiro-Wilks		Gráfico Q-Q
		W	Valor-p	r
1	Temperatura de la muestra	0,97	0,5752	0,989
2	pH	0,84	<0,0001	0,935
3	Conductividad	0,94	0,0060	0,975
4	Color verdadero	0,73	<0,0001	0,688
5	Turbiedad	0,81	<0,0001	0,809
6	Sólidos disueltos totales	0,94	0,0060	0,976
7	Oxígeno disuelto	0,78	<0,0001	0,914
8	Sodio	0,95	0,0195	0,961
9	Potasio	0,89	<0,0001	0,951
10	Calcio	0,84	<0,0001	0,924
11	Magnesio	0,98	0,7388	0,993
12	Dureza total	0,85	<0,0001	0,923
13	Dureza Mg	0,88	<0,0001	0,778
14	Bicarbonato	0,86	<0,0001	0,941
15	Cloruro	0,97	0,3578	0,986
16	Sulfato	0,92	0,0010	0,978
17	Fluoruro	0,96	0,1655	0,989
18	Sílice	0,97	0,3131	0,991
19	Caudal	0,81	<0,0001	0,876
20	Coliformes fecales	0,46	<0,0001	0,618
21	<i>Escherichia coli</i>	0,47	<0,0001	0,593

Prueba de Shapiro-Wilks modificado: n=75 con la excepción de los parámetros de coliformes fecales y *Escherichia coli* (n=74). Valor de r crítico al 5% de significación: 0,9831 para n=75.

Fuente: resultados obtenidos con InfoStat 2002.

Según el análisis de varianza que se realizó al valor absoluto de los residuos, la mayoría de los errores de los datos no son homocedásticos, es decir, sus varianzas son heterogéneas. La principal fuente de heterogeneidad de las observaciones es el sitio de muestreo ($p < 0,05$, Cuadro 42) con la excepción de los parámetros de color, turbiedad, oxígeno disuelto, sílice, coliformes fecales y *E.coli*; seguida de la época de muestreo ($p < 0,05$) y el número de muestra por época afectó levemente su homogeneidad. Por lo que, se puede inferir que las varianzas de los parámetros de sílice, coliformes fecales y *Escherichi coli* son homogéneas y su heterogeneidad no es afectada por ninguna de las variables de clasificación estudiadas. Los resultados de la prueba de Levene se presentan en el Cuadro 42.

Cuadro 42. Resultados del análisis de varianza para la prueba de Levene empleando el valor absoluto de los residuos de los parámetros como variable dependiente.

No.	Parámetro (valor absoluto de los residuos)	Variable de clasificación					
		Época		Sitio		No. Muestra	
		F	Valor-p	F	Valor-p	F	Valor-p
1	Temperatura de la muestra	1,66	0,1996	12,80	<0,0001	0,93	0,3396
2	pH	0,18	0,8349	67,85	<0,0001	0,56	0,4558
3	Conductividad	0,26	0,7703	14,74	<0,0001	1,86	0,1777
4	Color verdadero	26,30	<0,0001	1,38	0,1964	0,01	0,9400
5	Turbiedad	11,91	<0,0001	0,89	0,5777	0,001	0,9743
6	Sólidos disueltos totales	0,17	0,8455	14,32	<0,0001	2,56	0,1154
7	Oxígeno disuelto	7,44	0,0013	31,21	<0,0001	5,01	0,0291
8	Sodio	5,86	0,0049	9,03	<0,0001	1,44	0,2355
9	Potasio	0,98	0,3808	16,16	<0,0001	0,24	0,6255
10	Calcio	0,35	0,7082	27,92	<0,0001	2,98	0,0899
11	Magnesio	1,55	0,2202	3,45	0,0005	0,11	0,7467
12	Dureza total	2,22	0,1176	19,35	<0,0001	0,63	0,4306
13	Dureza Mg	193,12	<0,0001	0,76	0,7073	0,45	0,5067
14	Bicarbonato	4,97	0,0103	115,92	<0,0001	1,19	0,2796
15	Cloruro	5,85	0,0049	7,61	<0,0001	0,04	0,8417
16	Sulfato	3,62	0,0333	39,67	<0,0001	1,23	0,2718
17	Fluoruro	2,34	0,1060	4,48	<0,0001	0,19	0,6634
18	Sílice	1,51	0,2300	1,05	0,4192	0,04	0,8328
19	Caudal	24,64	<0,0001	18,78	<0,0001	2,21	0,1425
20	Coliformes fecales	1,52	0,2275	0,70	0,7683	2,26	0,1381
21	<i>Escherichia coli</i>	3,11	0,0523	0,78	0,6856	1,52	0,2230

n=75 con la excepción de los parámetros de coliformes fecales y *Escherichia coli* (n=74). 5% de significación. Fuente: resultados obtenidos con InfoStat 2002.

La mayoría de los datos obtenidos no siguen una distribución normal (histograma asimétrica con respecto a la normal, probabilidad calculado $< 0,05$ de la prueba de Shapiro-Wilk modificado por Mahibbur y Govindarajulu; coeficiente de correlación lineal $< 0,9831$) y/o sus variancias no son homogéneas. Por lo que, no es adecuada la aplicación de un análisis de varianza. De ahí que se realizó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis, empleando como variable dependiente los parámetros evaluados y variable independiente la época de muestreo (seca, lluviosa y transición seca a lluviosa). Los resultados de esta se presentan en el Cuadro 43.

Cuadro 43. Resultados de la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis.

No.	Parámetro	H	Valor-p
1	Temperatura de la muestra	3,16	0,2045
2	pH	0,93	0,6275
3	Conductividad	5,51	0,0635
4	Color verdadero	4,76	0,0335
5	Turbiedad	9,56	0,0084
6	Sólidos disueltos totales	1,63	0,4430
7	Oxígeno disuelto	6,18	0,0450
8	Sodio	2,99	0,2225
9	Potasio	1,33	0,5128
10	Calcio	5,39	0,0670
11	Magnesio	0,09	0,9575
12	Dureza total	3,23	0,1979
13	Dureza Mg	5,33	0,0673
14	Bicarbonato	0,06	0,9694
15	Cloruro	2,68	0,2620
16	Sulfato	1,96	0,3745
17	Fluoruro	2,48	0,2896
18	Sílice	18,56	0,0001
19	Caudal	5,64	0,0596
20	Coliformes fecales	6,30	0,0414
21	<i>Escherichia coli</i>	6,75	0,0328

n=75 con la excepción de los parámetros de coliformes fecales y *Escherichia coli* (n=74).

Fuente: resultados obtenidos con InfoStat 2002.

Según los resultados obtenidos de la prueba de Kruskal-Wallis, hay evidencias para rechazar la hipótesis nula para los parámetros: color verdadero, turbiedad, sílice, coliformes fecales y *Escherichia coli* (p calculado $< 0,05$, Cuadro 43); mientras que, se acepta para los demás parámetros al 5% de significación. Por lo que, se puede inferir que la mayoría de los parámetros de calidad del agua de la quebrada no difieren significativamente con un nivel de confianza del 95%.

Según un estudio realizado por Wayland *et al.* (2003), se han encontrado con un nivel de confianza del 95% diferencias significativas en la composición química del agua a excepción del sodio y cloruro. Esta variabilidad química está relacionada con las diferencias en el flujo y las descargas locales durante cada muestreo así como por los efectos de la época (Clow *et al.* 1996 y Puckett y Bricker 1992, citado por Wayland *et al.* 2003). En el caso de la quebrada Victoria, no se encontró descargas puntuales (se analizan detalladamente más adelante) que pudieran modificar considerablemente su calidad, lo que explica los resultados estadísticos obtenidos en la mayoría de los parámetros físico-químicos.

Los resultados de los parámetros bacteriológicos (coliformes fecales y *E. coli*) aumentaron significativamente después de las tormentas tropicales Noel y ALMA (noviembre del 2007 y mayo del 2008, respectivamente), lo que explica las diferencias significativas entre las épocas de muestreo debido al incremento en el flujo.

Oliver *et al.* (2005) encontró una correlación fuerte entre las colonias de bacteria de *Escherichia coli* y el flujo (Figura 20), debido a que al aumentar el caudal de agua hay mayor aportes de sedimentos que incrementa la concentración de bacterias (Oliver *et al.* 2005). Además, encontró que en los terrenos, tanto pastoreados como no pastoreados, que presentaban concentraciones altos de *E. coli* coincidían con la época lluviosa, ya que la *E. coli* es físicamente movilizada por el agua y no diluida como ocurre con el nitrato. Una posible explicación es que la remoción de células de la materia se requiere de caudales grandes de agua en la superficie del suelo y así arrastrarlas hasta un cuerpo de agua receptor (Oliver *et al.* 2005).

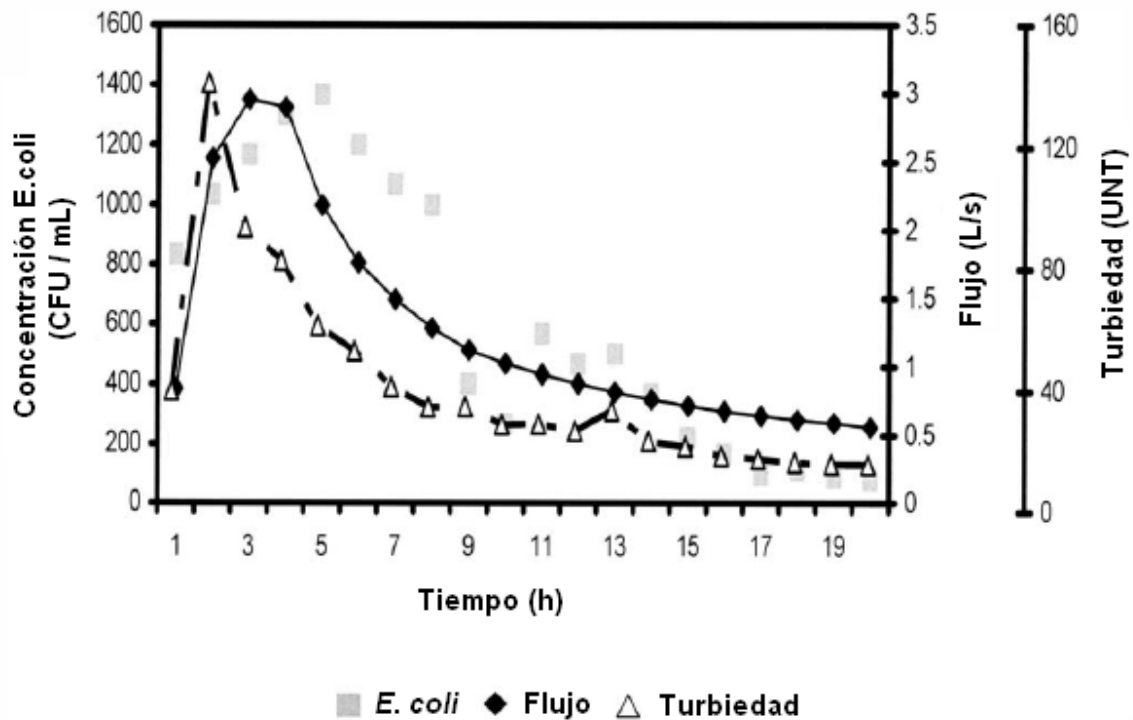


Figura 20. Hidrograma de relación de la concentración de *E. coli* y turbiedad de la época de invierno.

Fuente: Oliver *et al.* 2005.

Por otra parte, se demostró que en un terreno utilizado para el pastoreo, después de varios meses de haber abandonado esta actividad, la cantidad de *Escherichia coli* persiste en el suelo (Oliver *et al.* 2005). Esta situación la había notado Evans y Owens en 1972, quienes concluyeron que la *Escherichia coli* de las descargas pueden sobrevivir en o sobre el pasto por lo menos cuatro meses (Oliver *et al.* 2005). Por lo que, estas actividades son las que contribuyen significativamente en los aumentos de la concentración de bacterias en la época lluviosa y transición seca a lluviosa.

Además, la escorrentía superficial es el medio por el cual se transportan los sedimentos del suelo hasta la quebrada, reflejándose en los aumentos de la turbiedad y color después de fuertes precipitaciones o tormentas tropicales.

6.4 Hipótesis

A continuación se presentan el análisis de las hipótesis:

6.4.1. **Hipótesis 1:** la calidad físico-química del agua de la microcuenca de la quebrada Victoria no cumple con los parámetros establecidos para el consumo humano.

Se acepta la hipótesis 1, ya que el parámetro de pH del agua de los sitios 1 a 7 de la quebrada Victoria no cumple con los límites establecidos para el agua de uso y consumo humano (clases 1, 2 y 3) del Reglamento costarricense para la Clasificación y la Evaluación de la Calidad de Cuerpos de Agua Superficiales del en las épocas: lluviosa del 2007, lluviosa y de transición seca a lluviosa del 2008; además, los parámetros de color verdadero del agua de los sitios 10, 12 y 14, y de turbiedad del sitio 14, no cumplen con los límites establecidos para el agua de uso y consumo humano con tratamiento simple y desinfección (clase 1) en la época de transición seca a lluviosa del 2008.

6.4.2. **Hipótesis 2:** la calidad bacteriológica del agua de la microcuenca de la quebrada Victoria no cumple con los parámetros establecidos para el consumo humano.

Se acepta la hipótesis 2, ya que el parámetro de coliformes fecales del agua de los sitios 4, 10, 12 y 13 no cumplen con los límites establecidos para el agua de uso y consumo humano (clases 1, 2 y 3) del Reglamento costarricense para la Clasificación y la Evaluación de la Calidad de Cuerpos de Agua Superficiales del 2007, en las épocas: lluviosa del 2007, lluviosa y de transición seca a lluviosa del 2008.

6.4.3. **Hipótesis 3:** no hay diferencias en la calidad físico-química y bacteriológica del agua de la quebrada Victoria entre las épocas seca, lluviosa y de transición seca a lluviosa.

Se rechaza la hipótesis 3, ya que los parámetros de color verdadero, turbiedad, oxígeno disuelto, sílice, coliformes fecales y *Escherichia coli*, difieren significativamente ($p < 5\%$) entre las épocas de muestreo: lluviosa del 2007, lluviosa y de transición seca a lluviosa del 2008.

6.5 Fuentes puntuales y no puntuales de contaminación

La calidad de las aguas superficiales es afectada por la atmósfera, la naturaleza del suelo, la vegetación sobre la cual el agua de superficie escurre y por el grado de actividad humana en la cuenca (Henry y Heinke, 1999). Por lo tanto, la identificación de las fuentes puntuales y no puntuales de contaminación es necesaria para evaluar el impacto de estas presiones sobre los parámetros indicadores de calidad del agua y los riesgos asociados a enfermedades de transmisión hídrica (Ruza y Puig, 2004).

6.5.1 Fuentes puntuales de contaminación

Las fuentes puntuales de contaminación del agua identificadas en la microcuenca de la quebrada son: el generador de electricidad que emplea agua de la paja para su producción (código "A" en Figura 21, Foto 17 en anexo 5), paja del hotel Guachipelín (código "B", Foto 4, es el sitio 4 de la red de muestreo, este afluyente descarga al sitio y ambas aguas descargan posteriormente a la quebrada), la porqueriza (código "C", Foto 16), el puente antes de la naciente PGP-05 (código "D", Foto 18) y el puente después de la naciente de la quebrada (código "E", Foto 19).

Se observó la presencia de actividad en la porqueriza hasta el segundo muestreo de la época seca. Según el gerente del hotel, se eliminaría la porqueriza por recomendación del personal del Ministerio de Salud en una inspección realizada a raíz de la denuncia (Mateo Fournier, com.pers. 2008).

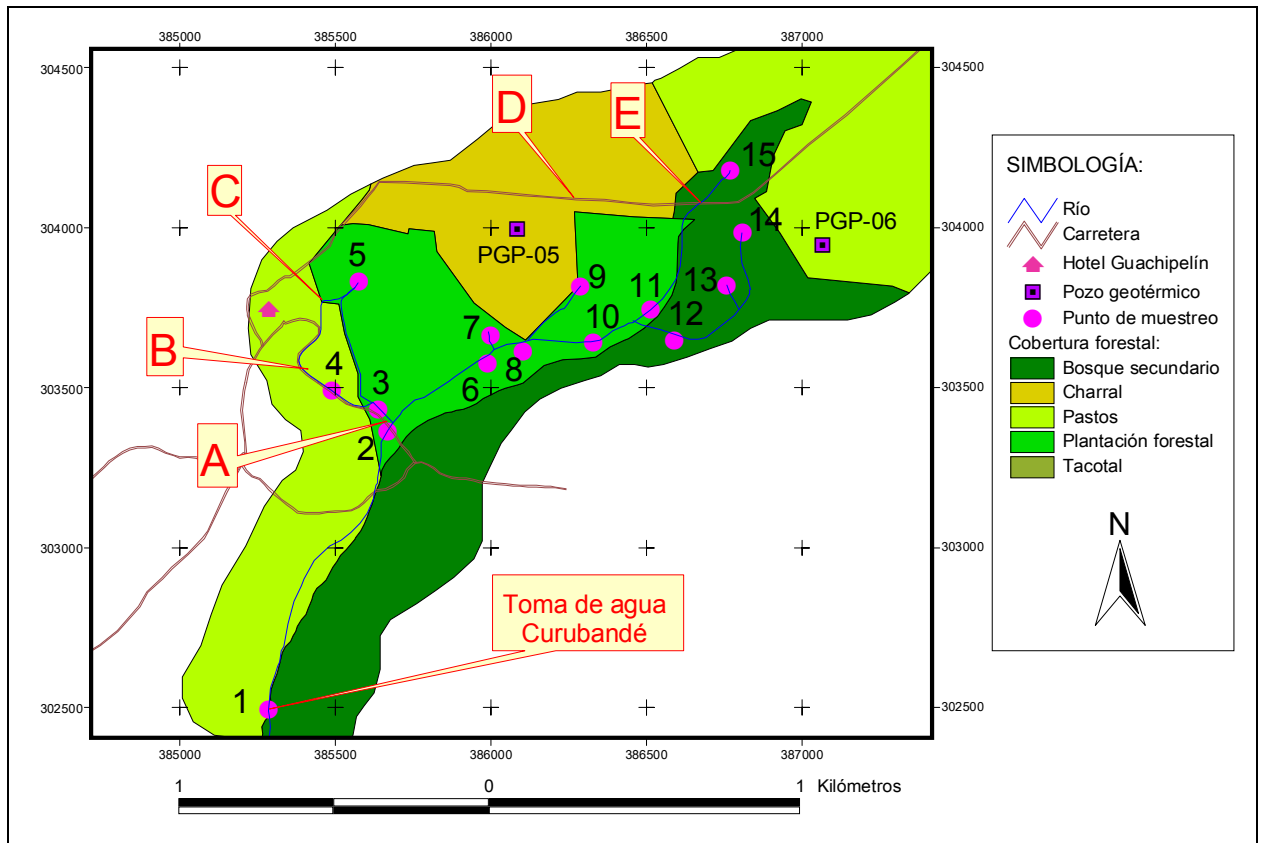


Figura 21. Ubicación de fuentes puntuales de contaminación de la microcuenca de la quebrada Victoria, Curubandé, Guanacaste, Costa Rica, de setiembre del 2007 a junio del 2008.

A: generador de electricidad; B: paja, C: porqueriza; D: puente antes de nacimiento PGP-05 y E: puente después de nacimiento. Fuente: Hoja de Curubandé, 3148 III, escala 1:50 000, INGCR 1991 e información recolectada en el campo.

Además, existen cinco senderos (a, b, c, d y e, Figura 22), que atraviesan la quebrada o están en las áreas aledañas a alguna nacimiento, que constituyen fuentes puntuales de contaminación. El camino "a" es de tipo lastre y permite el paso tanto de vehículos como de ganado; cruza la quebrada entre los sitios 1 y 2. El sendero "b" colinda la paja del hotel Guachipelín; el "c" comienza en el puente ubicado en la carretera hacia el Parque Nacional Rincón de la Vieja. El sendero "d" une el pozo 5 (PGP-05) con la bodega del pozo 6 (PGP-06); cruza la quebrada entre el sitio 11 y la nacimiento de la quebrada (sitio 15). Finalmente, el "e" comienza desde el área de charral del PGP-05, cuya entrada puede ser cualquier punto a lo largo del sitio 9, cruza la quebrada entre los sitios 10 y 11 y se comunica con las casas de máquinas del campo geotérmico Las Pailas que se están construyendo el ICE.

Se encontró cárcavas justamente antes de la naciente PGP-05 (sitio 9) en el sendero (c), en la época de transición y lluviosa, por lo que es probable que los sedimentos fueran arrastrados por escorrentía superficial hacia el manantial y posteriormente hacia la quebrada. Asimismo, en las áreas aledañas a este sitio hay corta de árboles, lo que favorece la erosión del suelo y por ende el aumento de sedimentos.

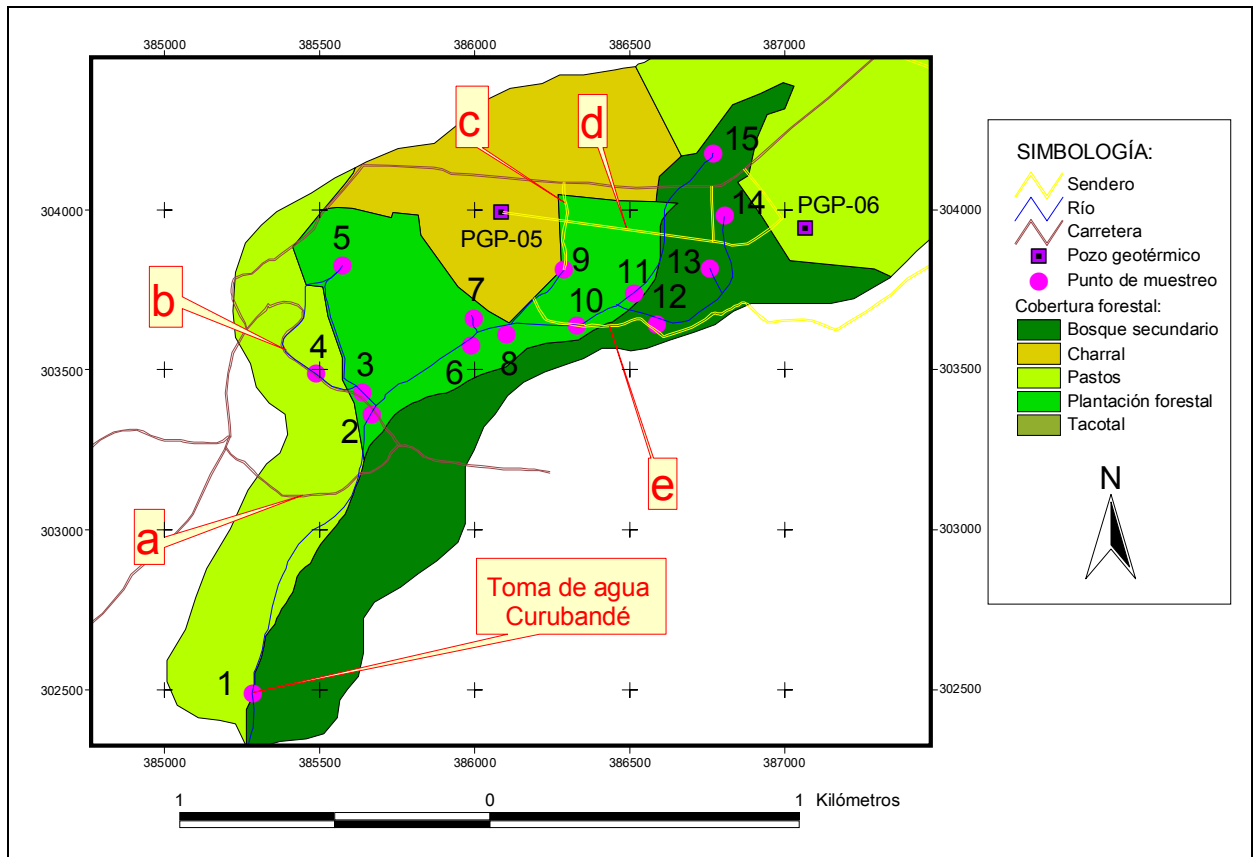


Figura 22. Ubicación de senderos de la parte baja y media de la microcuenca de la quebrada Victoria, Curubandé, Guanacaste, Costa Rica, de setiembre del 2007 a junio del 2008.

a: sendero entre sitio 1 y 2, b: sendero que colinda a la paja, c: sendero antes de la naciente PGP-05, d: sendero unión PGP-05 y bodega del PGP-06, e: sendero unión naciente PGP-05 y casas de máquinas. Fuente: Hoja Curubandé, 3148-III, escala 1:50 000, IGNCR 1991 e información recolectada en el campo.

6.5.2 Fuentes no puntuales de contaminación

Las fuentes no puntuales de contaminación identificadas en la microcuenca de la quebrada son áreas destinadas: al cultivo de hortalizas detrás del hotel Guachipelín (área 1 de 2,6 hectáreas, Figura 23, Foto 24 en anexo 5), al pastoreo antes de la naciente PGP-05 (área 2 de 18,5 hectáreas, Foto 25), que colinda con la carretera en la parte media de la cuenca (área 3 de 26 hectáreas) y antes de la naciente de la quebrada Victoria (área 4 de 31 hectáreas, Foto 26) y para la construcción de las casas de máquinas del campo geotérmico Las Pailas (área 5 de 8 hectáreas, Foto 27).

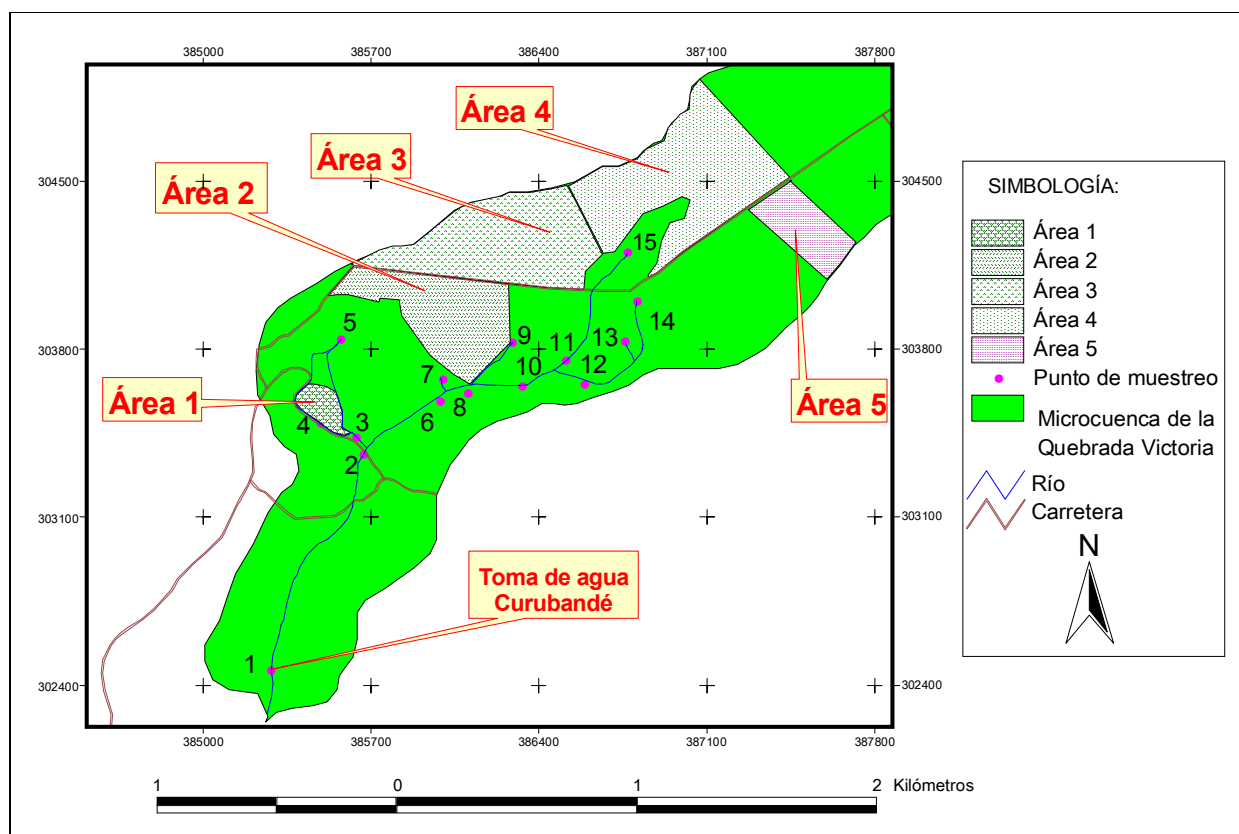


Figura 23. Ubicación de áreas de fuentes no puntuales de contaminación de la microcuenca de la quebrada Victoria, Curubandé, Guanacaste, Costa Rica, de setiembre del 2007 a junio del 2008.

Area 1, 2, 3 y 4. Fuente: Hoja Curubandé, 3148-III, escala 1:50 000, IGNCR 1991 e información recolectada en el campo.

La pendiente de las nacientes de la quebrada es menos de 5 grados (sitios 5, 7, 9, 13, 14 y 15, Figura 24). Se observa que las áreas alrededor del sitio 14, 9 y 3 tienen mayor pendiente (entre 5 y 9 grados) que el cauce de la quebrada, por lo que favorece el arrastre de sedimentos por escorrentía superficial.

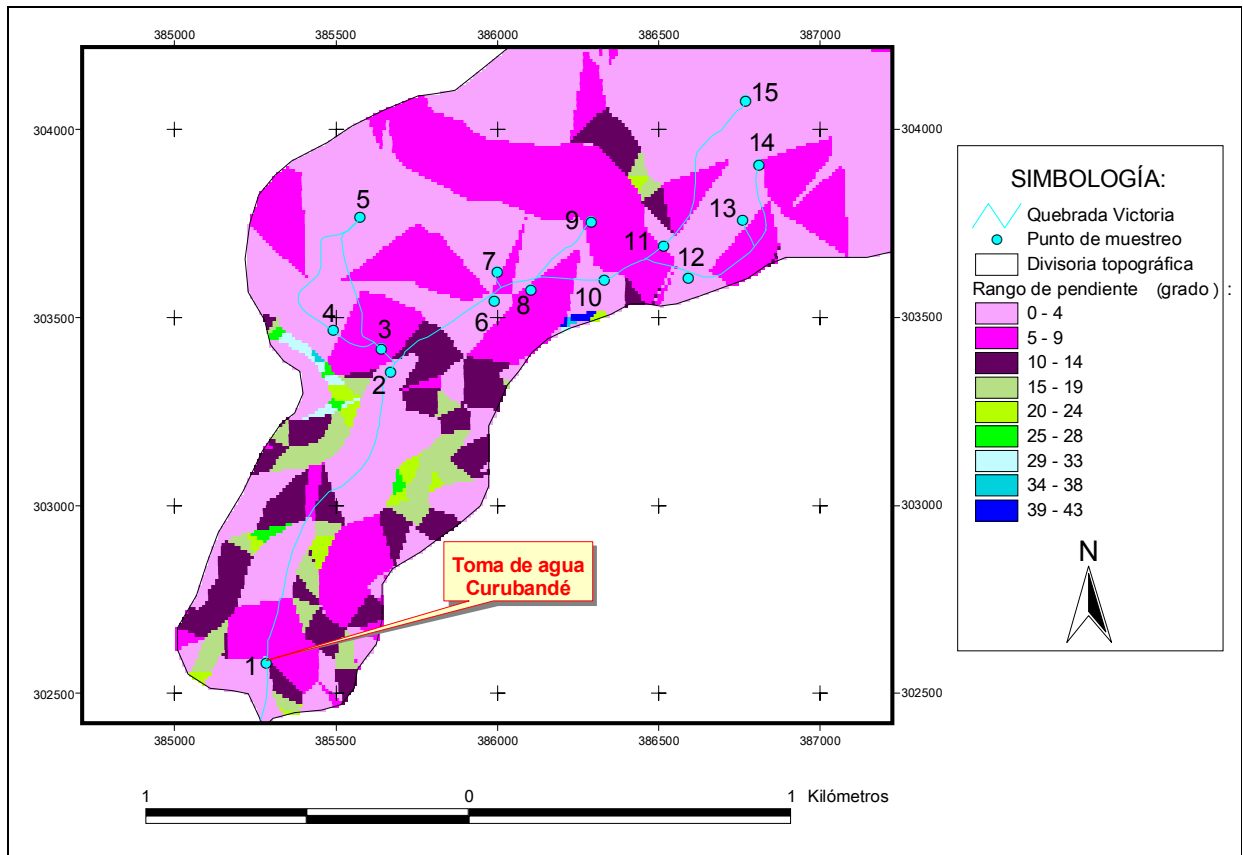


Figura 24. Pendientes de la microcuenca de la quebrada Victoria, Curubandé, Guanacaste, Costa Rica.

Fuente: Hoja Curubandé, 3148-III, escala 1:50 000, IGNCR 1991 e información recolectada en el campo.

6.6 Análisis de índices de calidad del agua

Los índices de calidad del agua son instrumentos de diagnóstico previo que pueden ayudar a determinar el alcance espacial, causalidad, naturaleza e intensidad de los efectos causados por los contaminantes. La calidad no es un concepto absoluto y debe estar en relación con un uso concreto predeterminado; por ello, el cálculo de los índices ha de tener en cuenta esta condición previa (Orozco *et al.* 2005). A continuación se analizan los resultados de dos índices: el de calidad de agua de la NSF y el del Sistema Holandés de Valoración de la calidad físico-química del agua para cuerpos receptores y sus relaciones con las fuentes de contaminación.

6.6.1 Índice de calidad del agua de la NSF

Los índices de calidad del agua de la NSF de los sitios de la red de muestreo del estudio se presentan en el Cuadro 44.

Cuadro 44. Índices de calidad del agua de la Fundación de Sanidad Nacional de los sitios de la red de muestreo de la quebrada Victoria, Curubandé, Guanacaste, Costa Rica, 2007-2008.

Época de muestreo	I-E.Iluviosa		II-E.Iluviosa		I-E.seca		II-E.seca		E.Transición	
	Índice	NC	Índice	NC	Índice	NC	Índice	NC	Índice	NC
1	79	B	84	B	86	B	87	B	78	B
2	80	B	82	B	84	B	87	B	85	B
3	73	B	75	B	79	B	85	B	73	B
4	72	B	70	M	79	B	85	B	73	B
5	76	B	74	B	70	M	75	B	64	M
6	81	B	78	B	83	B	86	B	80	B
7	78	B	84	B	84	B	84	B	76	B
8	85	B	79	B	88	B	81	B	81	B
9	86	B	74	B	82	B	66	M	78	B
10	87	B	80	B	86	B	76	B	79	B
11	79	B	79	B	82	B	80	B	77	B
12	86	B	*	*	85	B	82	B	78	B
13	82	B	79	B	78	B	76	B	69	B
14	86	B	84	B	83	B	83	B	78	B
15	83	B	86	B	82	B	82	B	80	B

(*): no hay dato. Referencia para la clasificación del nivel de calidad del agua: Cuadro 4. B: buena; M: media; NC: nivel de calidad del agua.

La calidad del agua de todos los sitios de la red evaluada fue buena (rango de puntaje entre 71 y 90 puntos) en el primer muestreo de la época lluviosa del 2007, según el índice de la NSF. Posteriormente, en el siguiente muestreo de la época lluviosa efectuado en noviembre, únicamente el sitio 4 bajó su calidad al nivel medio. El parámetro que contribuyó considerablemente en su deterioro fue los coliformes fecales que aumentaron en 10 veces (pasando de 460 NMP/100 mL a 4600 NMP/100 mL).

Con la entrada de la época seca, el agua del sitio 4 retoma su calidad inicial, buena; mientras que, el agua del sitio 5 se deteriora de calidad buena a calidad media. El parámetro que aportó considerablemente en su deterioro fue los coliformes fecales, los cuales aumentaron siete veces (pasando de 3,6 NMP/100 mL a 23 NMP/100 mL). Posteriormente, en el siguiente muestreo se observa que la calidad del agua del sitio 9 se deteriora de buena a media, nuevamente el parámetro que influyó en su deterioro fue los coliformes fecales que se duplicó (pasando de 23 NMP/100 mL a 75 NMP/100 mL).

Con la entrada de la época de transición, la calidad del agua de los sitios 4 y 5 descendieron un nivel, mientras que el sitio 9 retomó su estado inicial. Los dos parámetros que contribuyeron a su deterioro fueron los coliformes fecales y el pH. Aunque éste se mantuvo relativamente estable en relación al último muestreo, la cantidad de coliformes fecales aumentaron considerablemente (pasando de cero a más de 200 NMP/100mL). Es importante resaltar que aunque la calidad del sitio 9 mejoró debido a un aumento en el pH, la cantidad de coliformes fecales aumentó en 20 NMP/100 mL. Por lo que, se evaluará con el nivel de contaminación bacteriana más adelante.

El parámetro que más contribuye a este índice es el porcentaje de saturación del oxígeno disuelto (17%), seguida de los coliformes fecales (16%) y los demás alrededor del 10%. Según los resultados obtenidos, el que más aportó a estos índices fueron los coliformes fecales, ya que los demás no variaron considerablemente durante los muestreos efectuados.

6.6.2 Índice holandés de calidad del agua

El grado de contaminación de los sitios de la red de muestreo se determinó con los índices holandeses de calidad del agua en el cuadro 45. Este se evaluó considerando únicamente los parámetros del porcentaje de saturación del oxígeno disuelto, la demanda bioquímica de oxígeno de cinco días y el nitrógeno amoniacal.

Cuadro 45. Índices holandés de calidad del agua de la quebrada Victoria, Curubandé, Guanacaste, Costa Rica, 2007-2008.

Época de muestreo	I-E.Iluviosa		II-E.Iluviosa		I-E.seca		II-E.seca		E.Transición		
	Sitio	Punto	GC	Punto	GC	Punto	GC	Punto	GC	Punto	GC
1	4	CI	3	SC	3	SC	3	SC	3	SC	SC
2	4	CI	3	SC	3	SC	3	SC	3	SC	SC
3	4	CI	3	SC	3	SC	3	SC	3	SC	SC
4	4	CI	3	SC	3	SC	3	SC	4	CI	CI
5	5	CI	5	CI	5	CI	5	CI	5	CI	CI
6	4	CI	3	SC	4	CI	4	CI	4	CI	CI
7	4	CI	4	CI	4	CI	4	CI	4	CI	CI
8	4	CI	3	SC	3	SC	3	SC	3	SC	SC
9	4	CI	4	CI	4	CI	4	CI	4	CI	CI
10	4	CI	3	SC	3	SC	3	SC	3	SC	SC
11	4	CI	3	SC	3	SC	3	SC	4	CI	CI
12	4	CI	3	SC	3	SC	3	SC	3	SC	SC
13	5	CI	4	CI	5	CI	4	CI	5	CI	CI
14	4	CI	3	SC	4	CI	3	SC	4	CI	CI
15	5	CI	5	CI	5	CI	5	CI	6	CI	CI

CG: Grado de contaminación; SC: sin contaminación, CI: contaminación incipiente. Referencia para la clasificación: Cuadro 6..

El grado de contaminación es incipiente para todos los sitios de la red evaluada en el primer muestreo de la época lluviosa. Posteriormente, en el siguiente muestreo la calidad mejoró a lo largo de la quebrada, con la excepción de las nacientes (sitios 5, 7, 9, 13 y 15). El parámetro que contribuyó fue el aumento del porcentaje de saturación de oxígeno disuelto. Esto se debe a que la presencia de rocas aumenta la turbulencia, lo que provoca una sobresaturación de oxígeno disuelto.

6.6.3 Nivel de riesgo de la contaminación bacteriana

El nivel de riesgo para la salud de la contaminación bacteriana del agua de los sitios de la red de muestreo se presenta en el Cuadro 46.

Cuadro 46. Nivel de riesgo debido a la contaminación bacteriana del agua de los sitios de la red de muestreo de la quebrada Victoria, Curubandé, Guanacaste, Costa Rica, 2007-2008.

Época de muestreo	I-E.Iluviosa		II-E.Iluviosa		I-E.seca		II-E.seca		E.Transición	
	Grado	Nivel de riesgo	Grado	Nivel de riesgo	Grado	Nivel de riesgo	Grado	Nivel de riesgo	Grado	Nivel de riesgo
1	C	RI	C	RI	B	RB	A	RN	C	RI
2	C	RI	C	RI	C	RI	A	RN	A	RN
3	D	RA	D	RA	C	RI	A	RN	D	RA
4	D	RA	E	RMA	C	RI	A	RN	D	RA
5	A	RN	B	RB	C	RI	A	RN	D	RA
6	C	RI	D	RA	C	RI	B	RB	C	RI
7	C	RI	A	RN	A	RN	A	RN	C	RI
8	C	RI	E	RMA	C	RI	D	RA	D	RA
9	C	RI	E	RMA	C	RI	C	RI	C	RI
10	C	RI	D	RA	C	RI	D	RA	D	RA
11	D	RA	D	RA	D	RA	D	RA	D	RA
12	C	RI	*	*	C	RI	D	RA	D	RA
13	C	RI	C	RI	C	RI	C	RI	D	RA
14	C	RI	C	RI	D	RA	C	RI	D	RA
15	A	RN	A	RN	A	RN	A	RN	A	RN

RN: riesgo nulo; RB: riesgo bajo; RI: riesgo intermedio; RA: riesgo alto; RMA: riesgo muy alto.

Referencia para la clasificación: Cuadro 9. (*): no hay muestra.

El riesgo de los sitios 5 y 15 fue nulo en el primer muestreo de la época lluviosa (Figura 25), los sitios 3, 4 y 11 fue alto y los demás presentaron un nivel de riesgo intermedio. El uso de los coliformes fecales como indicador de contaminación reciente indica que los aportes de los sitios 3, 4 y 11 representan un riesgo alto para la salud.

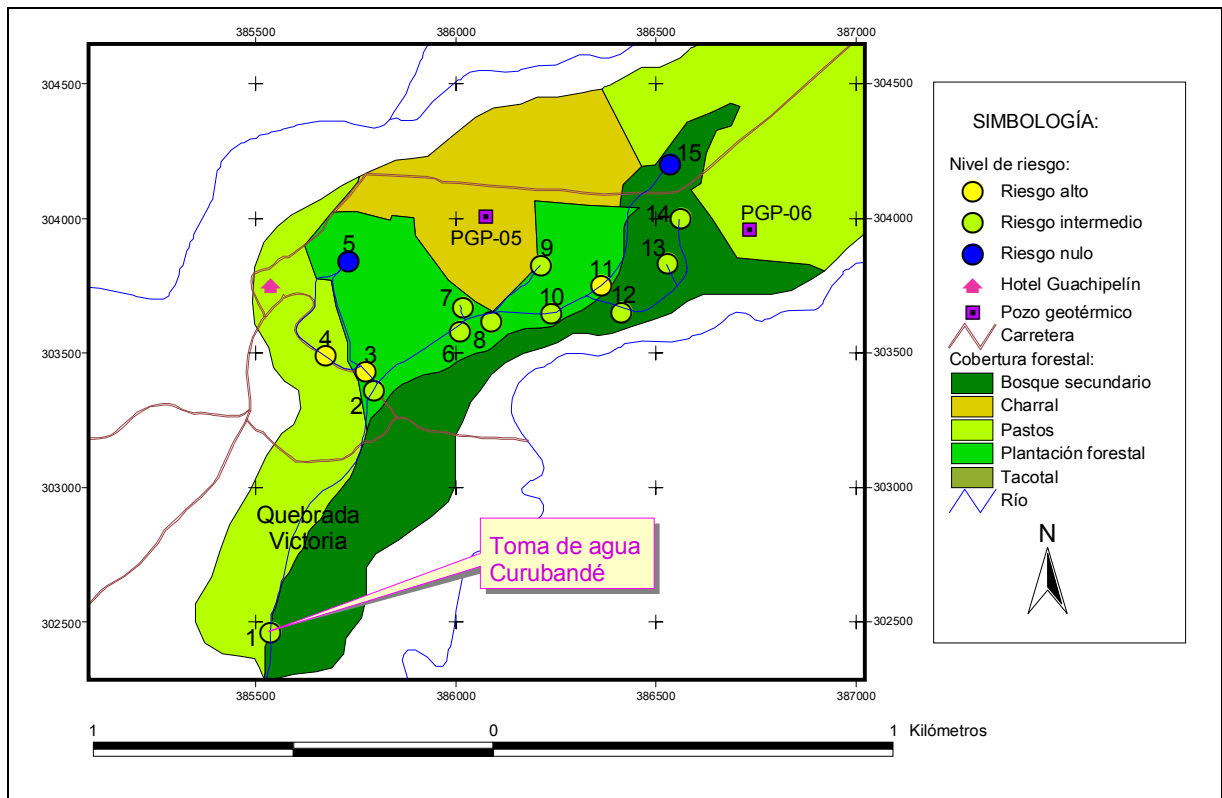


Figura 25. Nivel de riesgo para la salud según la contaminación bacteriana del agua del primer muestreo de la época lluviosa de setiembre del 2007 de la microcuenca de la quebrada Victoria, Curubandé, Guanacaste, Costa Rica.

Fuente: Hoja de Curubandé, 3148 III, escala 1:50 000, INGCR 1991 e información recolectada en el campo.

El segundo muestreo de la época lluviosa se efectuó después de la tormenta tropical Noel y el riesgo para salud aumentó considerablemente en los sitios 4, 8 y 9 (pasando de alto a muy alto e intermedios a muy alto, respectivamente, Figura 26); en los sitios 6 y 10 de intermedio a alto; en el sitio 5 de nulo a bajo; y los demás mantuvo el mismo nivel.

El alto contenido de coliformes fecales y *Escherichia coli* en el sitio 4 (4600 NMP/100 mL para ambos parámetros), confirma la existencia de contaminación fecal reciente en el segundo muestreo de la época lluviosa. Se observó cultivos de hortalizas cerca de la paja (Foto 24 en anexo 5) y además existe un sendero (B, Figura 22) que es utilizado por su personal para el tránsito. Estas pueden aportar materia fecal en el suelo que son arrastradas al sitio 4 y posteriormente a la quebrada por escorrentía superficial.

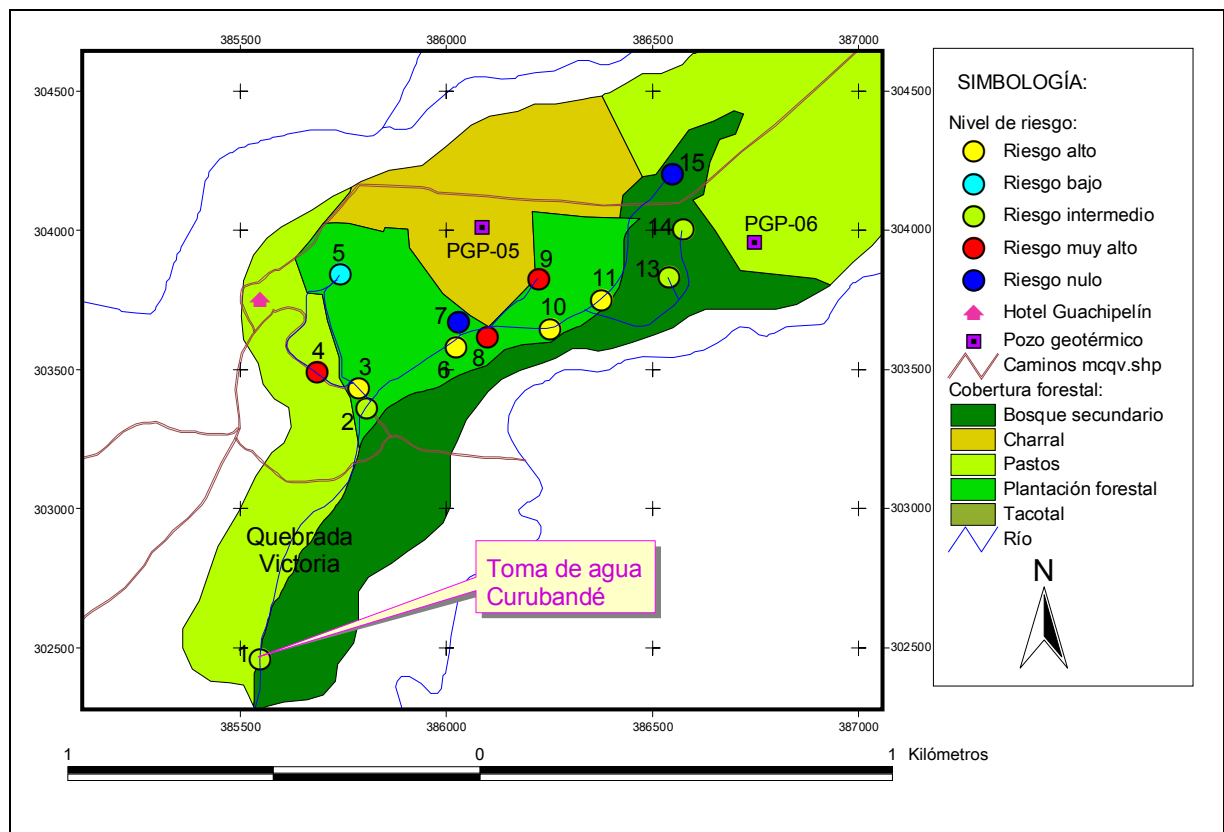


Figura 26. Nivel de riesgo para la salud según la contaminación bacteriana del agua del segundo muestreo de la época lluviosa del noviembre del 2007 de la microcuenca de la quebrada Victoria, Curubandé, Guanacaste, Costa Rica.

Fuente: Hoja de Curubandé, 3148 III, escala 1:50 000, INGC 1991 e información recolectada en el campo.

Con la entrada de la época seca, el nivel de riesgo de la contaminación bacteriana disminuyó (pasando de riesgo muy alto o alto a intermedio, Cuadro 46) considerablemente en los sitios 1, 3, 4, 6, 8, 9 y 10 (Figura 27). Nuevamente, las nacientes 7 y 15 son las únicas con riesgo nulo y consideradas aptas para el consumo humano.

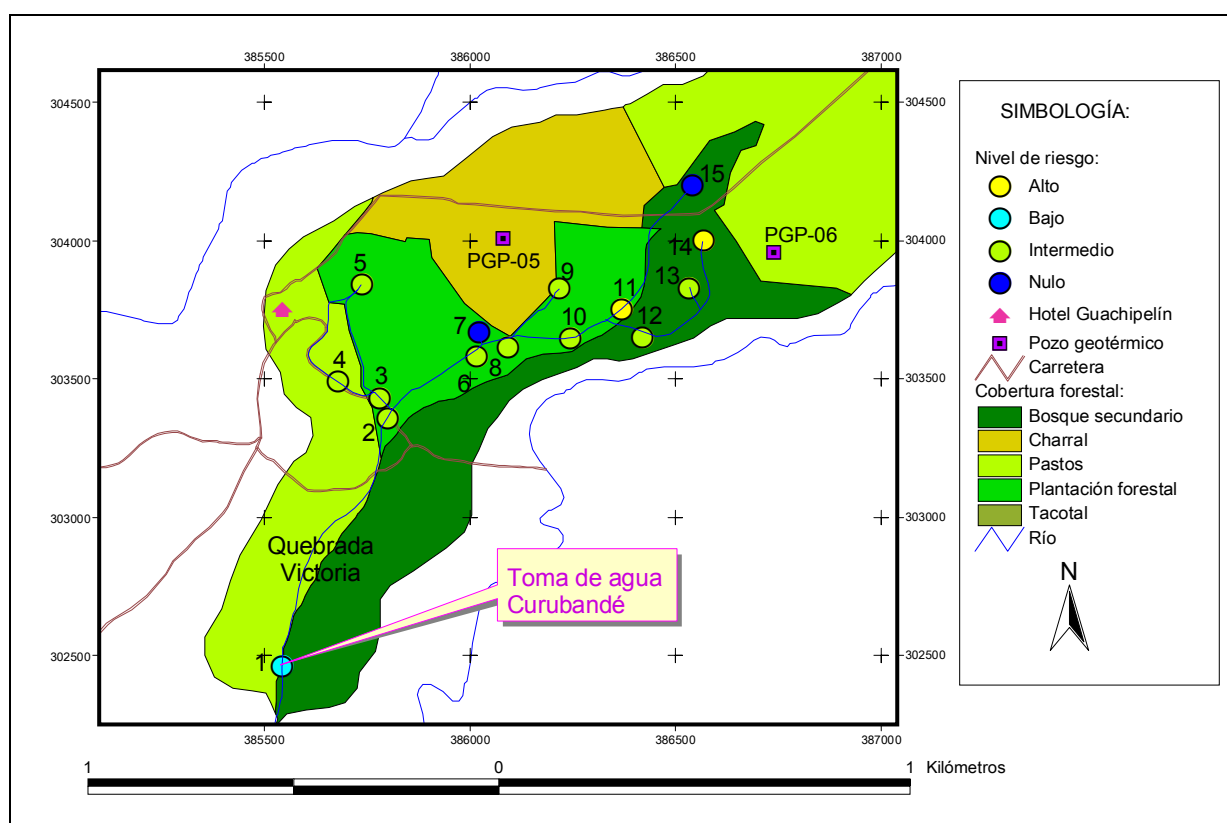


Figura 27. Nivel de riesgo para la salud según la contaminación bacteriana del agua del primer muestreo de la época seca de febrero del 2008 de la microcuenca de la quebrada Victoria, Curubandé, Guanacaste, Costa Rica.

Fuente: Hoja de Curubandé, 3148 III, escala 1:50 000, INGCR 1991 e información recolectada en el campo.

El nivel de riesgo es nulo o bajo (Figura 28) desde el sitio 7 hasta aguas cuenca abajo en el segundo muestreo de la época seca; mientras que, por el contrario desde ese sitio hacia aguas cuenca arriba el nivel de riesgo aumentó, con la excepción del sitio 15 que es la naciente de la quebrada Victoria.

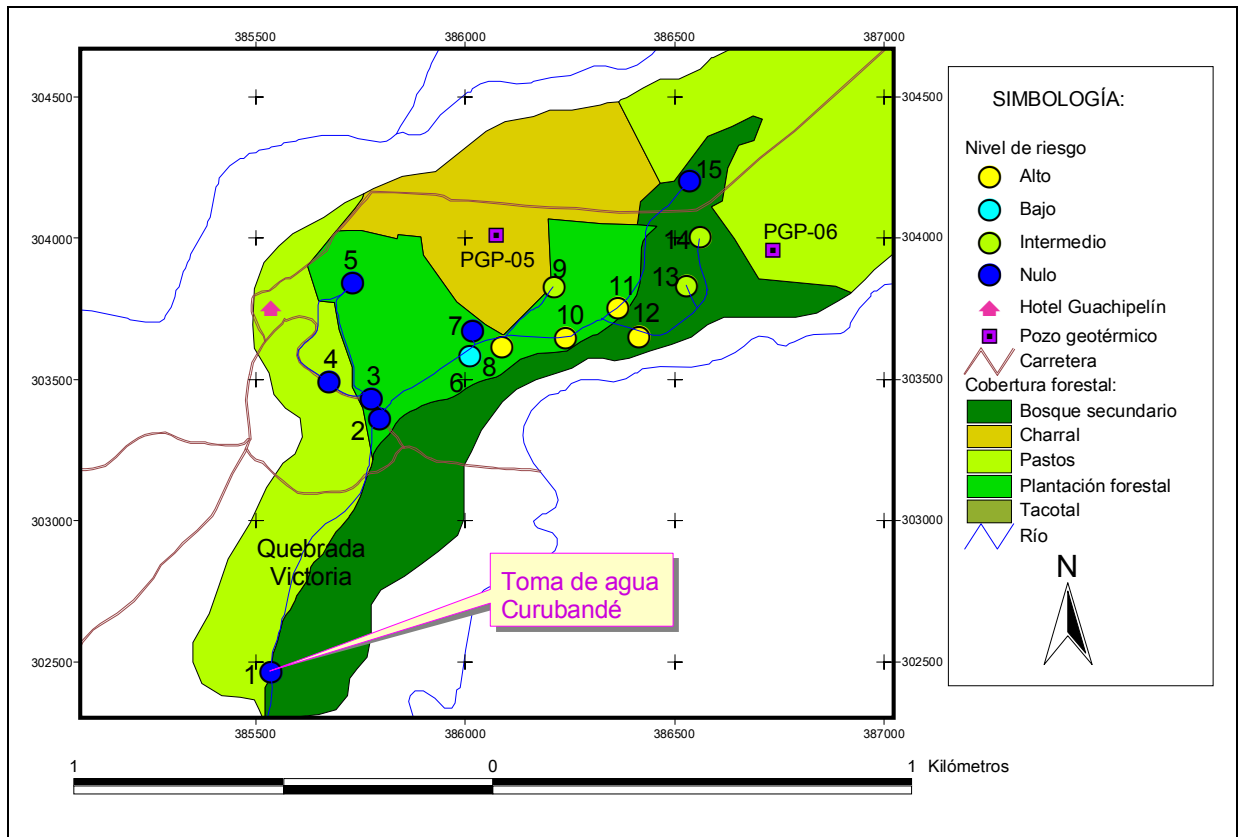


Figura 28. Nivel de riesgo para la salud según la contaminación bacteriana del agua del segundo muestreo de la época seca de marzo del 2008 de la microcuenca de la quebrada Victoria, Curubandé, Guanacaste, Costa Rica.

Fuente: Hoja de Curubandé, 3148 III, escala 1:50 000, INGCR 1991 e información recolectada en el campo.

Con la entrada de la época de transición seca a lluviosa y después de la tormenta tropical ALMA, el nivel de riesgo de la contaminación bacteriana en la mayoría de los sitios evaluados fue alto (Figura 29, aumentó en dos a tres categorías) a excepción de los sitios 2 y 15.

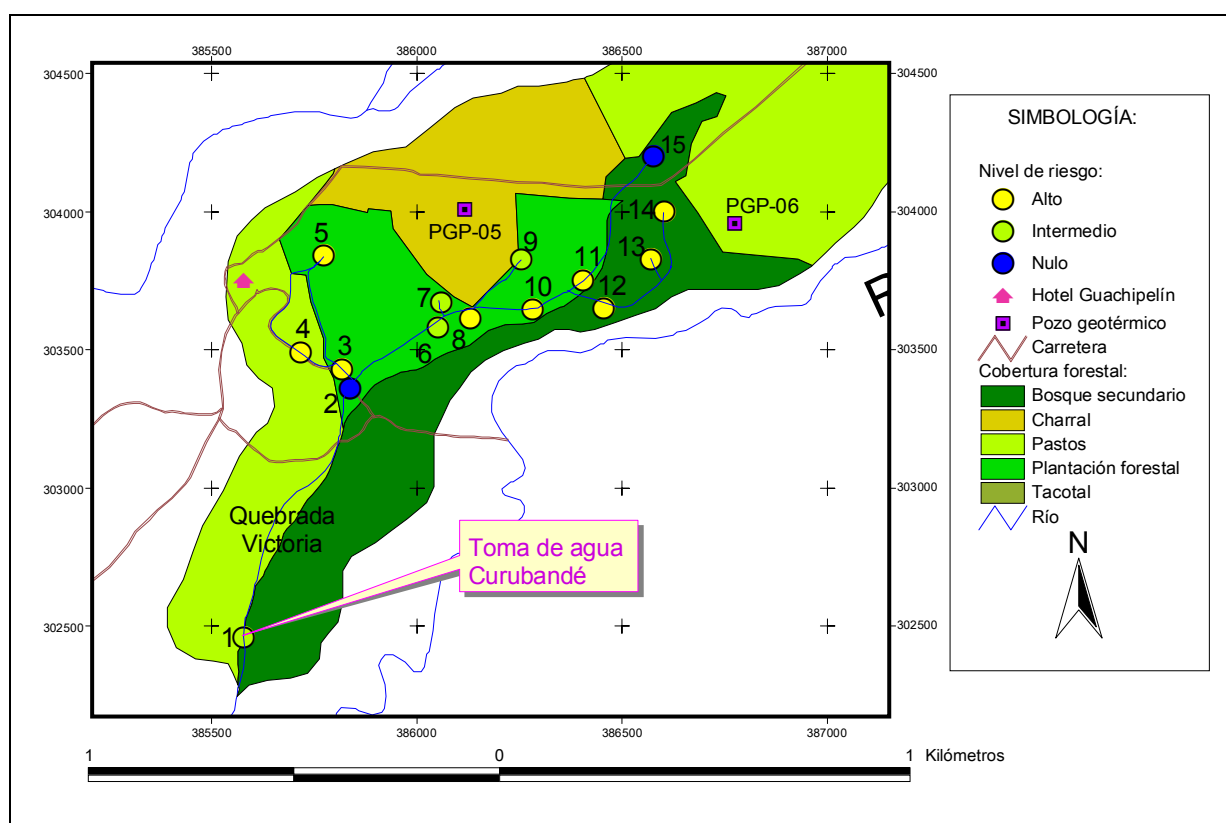


Figura 29. Nivel de riesgo para la salud según la contaminación bacteriana del agua de la época de transición seca a lluviosa de junio del 2008 de la microcuenca de la quebrada Victoria, Curubandé, Guanacaste, Costa Rica.

Fuente: Hoja de Curubandé, 3148 III, escala 1:50 000, INGCR 1991 e información recolectada en el campo.

En la figura 30, se observa un aumento significativo en el nivel de riesgo desde el primer muestreo de la época lluviosa (gráfico I) hasta el segundo (gráfico II), el cual se caracterizó por fuertes precipitaciones ocasionadas por la tormenta tropical Noel. Con la entrada de la época seca, el nivel nulo disminuye en un 33 % (gráficos III y IV), pero con la de transición se incrementa el nivel alto en un 33% (gráficos IV y V).

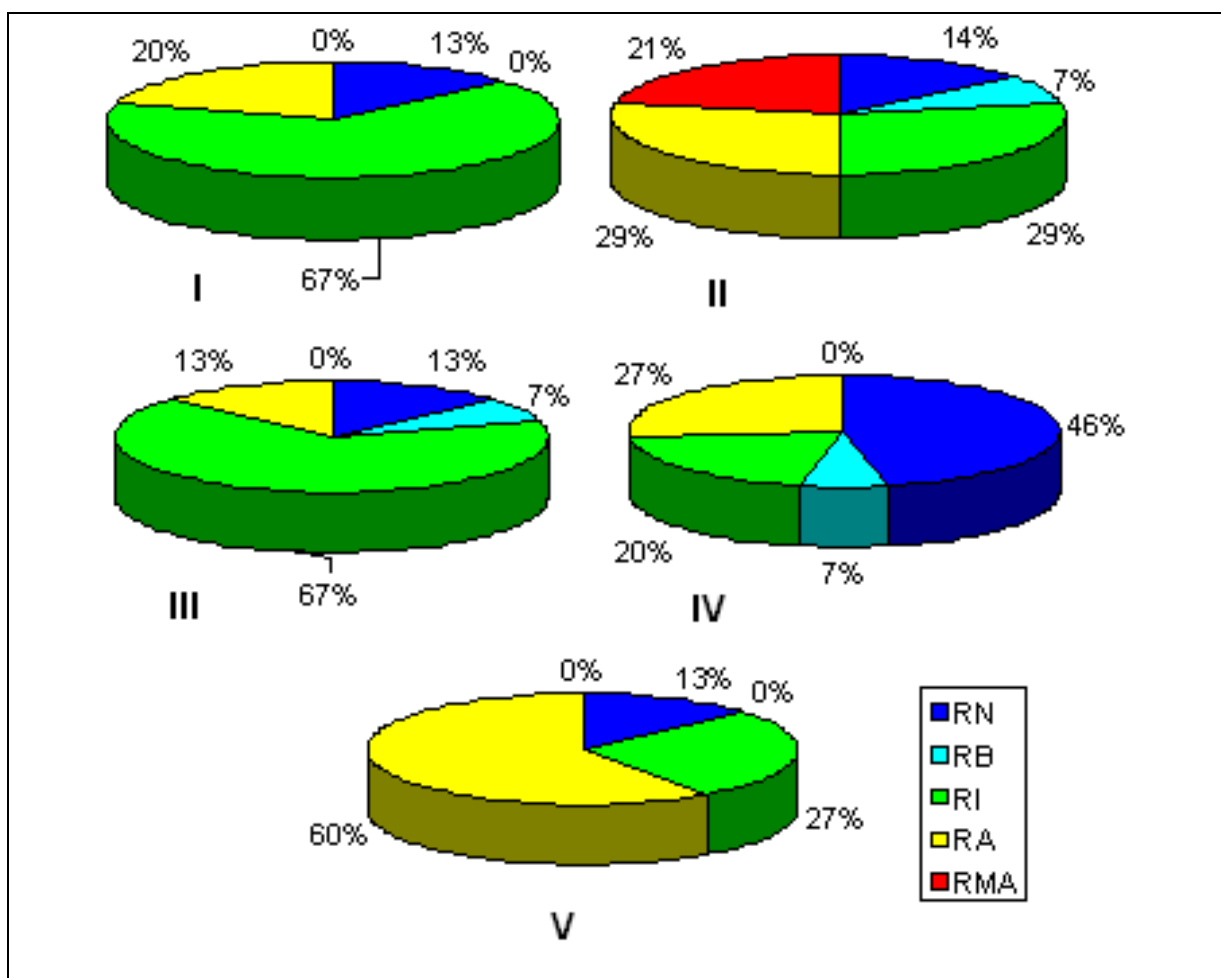


Figura 30. Porcentajes de nivel de riesgo de contaminación del agua de la microcuenca de la quebrada Victoria durante un año hidrológico.

I: primer muestreo de la época lluviosa; II: segundo muestreo de la época lluviosa; III: primer muestreo de la época seca; IV: segundo muestreo de la época seca; V: época de transición seca a lluviosa. RN: riesgo nulo; RB: riesgo bajo; RI: riesgo intermedio; RA: riesgo alto; RMA: riesgo muy alto.

6.6.4 Análisis integral de los índices de calidad del agua

Todos los índices de calidad son complementarios entre sí, y especialmente cuando hay pocas variables, los pequeños cambios individuales no son detectados en el valor del índice, por lo que el uso de más parámetros en su determinación genera una mejor aproximación del estado de un curso de agua.

En el Cuadro 47 se presenta una comparación de los tres índices de calidad para todos los sitios de la red evaluada.

Cuadro 47. Comparación de índices de calidad del agua y nivel de riesgo para la salud por contaminación bacteriana.

Época de muestreo	I-E.Iluviosa			II-E.Iluviosa			I-E.Seca			II-E.Seca			Epoca de transición S-LI		
	F	H	B	F	H	B	F	H	B	F	H	B	F	H	B
1	B	CI	RI	B	SC	RI	B	SC	RB	B	SC	RN	B	SC	RI
2	B	CI	RI	B	SC	RI	B	SC	RI	B	SC	RN	B	SC	RN
3	B	CI	RA	B	SC	RA	B	SC	RI	B	SC	RN	B	SC	RA
4	B	CI	RA	M	SC	RMA	B	SC	RI	B	SC	RN	B	CI	RA
5	B	CI	RN	B	CI	RB	M	CI	RI	B	CI	RN	M	CI	RA
6	B	CI	RI	B	SC	RA	B	CI	RI	B	CI	RB	B	CI	RI
7	B	CI	RI	B	CI	RN	B	CI	RN	B	CI	RN	B	CI	RI
8	B	CI	RI	B	SC	RMA	B	SC	RI	B	SC	RA	B	SC	RA
9	B	CI	RI	B	CI	RMA	B	CI	RI	M	CI	RI	B	CI	RI
10	B	CI	RI	B	SC	RA	B	SC	RI	B	SC	RA	B	SC	RA
11	B	CI	RA	B	SC	RA	B	SC	RA	B	SC	RA	B	CI	RA
12	B	CI	RI	*	SC	*	B	SC	RI	B	SC	RA	B	SC	RA
13	B	CI	RI	B	CI	RI	B	CI	RI	B	CI	RI	B	CI	RA
14	B	CI	RI	B	SC	RI	B	CI	RA	B	SC	RI	B	CI	RA
15	B	CI	RN	B	CI	RN	B	CI	RN	B	CI	RN	B	CI	RN

(*): no hay datos. F: índice de la Fundación de Sanidad de los Estados Unidos; H: índice holandés de calidad de agua; B: nivel de riesgo de contaminación bacteriana. Abreviatura de clasificación de los índices: cuadros 4, 6 y 9.

En el primer muestreo de la época lluviosa, los índices de calidad de la NSF determinaron que el agua en todos los sitios era buena, y según el índice del sistema holandés detectó una contaminación incipiente también en todos; no obstante, con la clasificación bacteriana se determinó un riesgo alto en los sitios 3, 4 y 11, y el resto en intermedio a excepción de las nacientes 5 y 15. Por otra parte, al evaluar los resultados de *Escherichia coli* de los sitios 3, 4 y 11 fueron 100 %, 19% y 100 de los coliformes fecales, respectivamente; lo que indica que hay contaminación fecal reciente relacionada con las descargas de aguas residuales, principalmente en los sitios 3 y 11.

Posteriormente, en el siguiente muestreo de la época lluviosa, solamente el agua del sitio 4 se deteriora en un nivel bajando de buena a media según el índice de la NSF, mientras que el índice holandés indica que la calidad en la mayoría de los sitios mejoró. Esta última tendencia contrasta con el riesgo de contaminación bacteriana, el cual indica que aumentó en un nivel para los sitios 4, 8 y 9 (pasando de alto a muy alto); este mismo comportamiento se presentó también en el sitio 10; mientras que los sitios 3 y 11 permanecen con riesgo alto.

En relación al índice holandés de calidad del agua es importante destacar que un parámetro que contribuye considerablemente es el porcentaje de saturación de oxígeno disuelto, el cual puede aumentar por un incremento en el caudal en un sitio rocoso y disminuir en las nacientes con protección boscosa. Esta situación genera una percepción falsa sobre la calidad, la cual no es buena para la vida acuática cuando hay deficiencia de oxígeno, pero para el consumo humano el agua proveniente de una naciente con cobertura vegetal y sin contaminación bacteriana es de alta calidad. De ahí que, este índice hay que analizarlo en relación al uso que se destina y distinguir si el sitio evaluado es una naciente o un río, y si tiene o no rocas.

Según los resultados de *E. coli*, el sitio más contaminado por materia fecal reciente es la naciente del PGP-05 (sitio 9), cuya relación de esta bacteriana y los coliformes fecales fue de uno. También se detectó contaminación fecal reciente en los sitios 11, 10 y 6 de igual magnitud (430 NPM/100 mL a 45 °C), y en menor grado el sitio 3 con 210 NPM/100 mL a 45 °C. Mientras que, en el sitio 4, solamente el 7 % de los coliformes fecales corresponde a *E. coli*.

En el primer muestreo de la época seca, el índice de la NSF detectó que la calidad de la naciente del sitio 5 bajó un nivel, desde buena a media. Esta naciente se caracterizó en este muestreo por ser el sitio más ácido (pH de 3,90). El índice holandés detectó un ligero deterioro de la calidad de los sitios 6 y 14. Por otra parte, según la contaminación bacteriana detectó un riesgo alto para la salud en los sitios 11 y 14, siendo este último el más contaminado por materia fecal reciente.

En el segundo muestreo de la época seca, el índice de la NSF detectó un deterioro en la calidad del sitio 9 en un nivel, desde buena a media. El parámetro que contribuyó más en este índice fue el pH, el cual fue de 5,36, el más bajo en todo el año evaluado. Mientras que, el índice holandés detecta que la calidad en la mayoría de los sitios mejoró, desde una contaminación incipiente a un grado sin contaminación. No obstante, el nivel de riesgo de contaminación bacteriana es nulo desde el sitio 7 hacia cuenca abajo, y prácticamente alto en los sitios 10, 12 y 11, en orden descendente. Los resultados de *E. coli* indica que hubo contaminación fecal reciente.

Con la entrada de la época de transición seca a lluviosa, el índice de la NSF detectó que el sitio 4 bajó la calidad al mismo deterioro que tenía en el primer muestreo de la época seca, y la causa es la misma expuesta, el pH. Según la contaminación bacteriana, la naciente con mayor riesgo es El Higuérón (sitio 13), seguida de la naciente Cementerio Indígena (sitio 14) y luego por la corriente es arrastrada hasta aguas cuenca abajo. Los sitios 3 y 4 presentan riesgo alto también. Los resultados de *E. coli* confirman que hubo contaminación fecal reciente en los sitios mencionados.

Los índices de calidad es una herramienta que ayuda la gestión de la calidad del agua (Cude, 2001), pero puede evaluar todos los riesgos. Todos los índices deben complementarse con un análisis de otras variables espaciales, como las fuentes de contaminación, con la finalidad de monitorear el deterioro del recurso hídrico en la microcuenca.

6.7 Análisis de presiones e impactos en la calidad del agua de la microcuenca

La evaluación del impacto de las presiones que ejercen las actividades que se desarrollan en una cuenca sobre las aguas superficiales, permite identificar las masas de agua en riesgo y definir las estrategias para el manejo de sus recursos naturales a corto, mediano y largo plazo. El análisis integral de los índices de calidad permitió identificar los sitios con mayores riesgos para la salud y sus respectivas presiones significativas: fuentes puntuales, no puntuales y actividades, con la finalidad de evaluar el impacto en la calidad del agua (Cuadro 48).

Cuadro 48. Análisis de presiones e impactos de los sitios con mayores riesgos para la salud en la microcuenca de la quebrada Victoria, Curubandé, Guanacaste, Costa Rica.

Sitio	Nombre	Presiones: fuentes de contaminación			Impacto en la calidad del agua
		Puntual	No puntual / uso de la tierra	Actividades	
15	Naciente de la Quebrada Victoria	No hay	Área de pastoreo cuenca arriba de la naciente	Pastoreo	Vulnerabilidad de contaminación del área de recarga acuífera
14	Naciente Cementerio Indígena	No hay	No hay	Cárcavas; suelo con pendiente erosionado	Arrastre de sedimentos por escorrentía superficial; deterioro en la calidad física y bacteriológica del agua
13	Naciente El Higuerón	No hay	No hay	Tala; erosión del suelo	Deterioro en la calidad física y bacteriológica del agua
11	Después de la Naciente Quebrada Victoria	Puente cuenca arriba; carretera de lastre	No hay	No hay	Arrastre de sedimentos de la carretera al agua
9	Naciente PGP-05	Puente antes de la naciente; sendero	Área de pastoreo cuenca arriba de la naciente	Pastoreo; cárcavas	Arrastre de materia fecal y sedimentos por escorrentía superficial al agua
5	Naciente Paja Hotel Guachipelín	No hay	Área de pastoreo cuenca arriba de la naciente	Pastoreo	Vulnerabilidad de contaminación del área de recarga acuífera
4	Paja Hotel Guachipelín	No hay	No hay	Actividad comercial del hotel	Arrastre de sedimentos por escorrentía superficial; deterioro en la calidad bacteriológica del agua
3	Después de Paja Hotel Guachipelín	Porqueriza	Cultivos de hortalizas	Pastoreo	Arrastre de materia fecal y sedimentos por escorrentía superficial; deterioro en la calidad bacteriológica del agua
1	Toma de agua Curubandé	No hay	No hay	Actividades en cuenca arriba	Deterioro en la calidad física y bacteriológica del agua por los efectos de las actividades de cuenca arriba

Fuente: elaboración propia de la autora.

Según el análisis del Cuadro 48, el mayor impacto en la calidad del agua es el deterioro en su calidad física y bacteriológica debido al arrastre de sedimentos y materia fecal de pastoreo por escorrentía superficial, la cual es favorecida por la tala de árboles, erosión y pendiente del suelo. Por lo tanto, todos los efectos de las actividades que se desarrollan en cuenca arriba impactan en la calidad cuenca abajo, como el caso de la toma de Curubandé.

6.8 Áreas de protección en la microcuenca

El ICE está desarrollando el campo geotérmico Las Pailas, cuyos trabajos de perforación y construcción comenzaron en mayo del 2007 y desde entonces ha implementado un programa de reforestación en sus terrenos (mapa A de la Figura 31) desde el PGP-06 hacia cuenca arriba, exceptuando las áreas alrededor del PGP-05, con bosque primario (franjas de protección) o secundario y terrenos reforestados hace muchos años (Jesús Vásquez, com.pers. 2008).

La siembra de árboles forestales se inició en julio del 2007 y se extendió hasta setiembre del 2008. No es propiamente reforestación, sino un método que se denomina “enriquecimiento”, que consiste en la siembra de muchas especies combinadas y en una distribución al azar, con el objetivo de incrementar la composición de la sucesión natural, llámese charral, tacotal y pastizal abandonado, entre otros. La cantidad sembrada fue de 18 020 árboles, abarcando un área estimada de 90 hectáreas, y las especies plantadas han sido (Jesús Vásquez, com.pers. 2008): cortés amarillo (*Tabebuia ochacea*), cortés negro (*Tabebuia impetiginosa*), guachipelín (*Diphysa americana*), roble sabana (*Tabebuia rosea*), lorito (*Acacia centralis*), Guanacaste (*Enterolobium cyclocarpum*), cirrí (*Tapiria brenesii*), cenízaro (*Samanea saman*), cedro amargo (*Cedrela odorata*), caoba (*Swetenia macrophylla*), aceituno (*Simarouba glauca*), surá (*Terminalia oblonga*), carao (*Cassia grandis*), vainillo (*Tecoma stans*), saíno (*Caesalpinia eriostachys*), guanijiquil (*Inga marginata*), Guayaquil (*Albizia guachipele*), gallinazo (*Schizolobium parahyba*), guapinol (*Hymenaea courbaril*), guaba (*Inga sp.*), sotacaballo (*Zyngia longifolia*), quebracho (*Lysiloma sp.*), laurel (*Cordia alliodora*), sangrillo (*Pterocarpus sp.*), cocobolo (*Dalbergia retusa*), almendro (*Andira enermis*), hule (*Castilla elástica*) y ojoche (*Brosimum alicatrum*). Todas las especies son nativas o comunes en la región.

En el 2009 se planea sembrar solamente árboles que produzcan fruto en una cantidad de 2000 a 3000, y con esto concluiría el programa de siembra de árboles (Jesús Vásquez, com.pers. 2008).

El 35% de la microcuenca es propiedad del ICE y corresponde a 144 hectáreas, de las cuales el 12% (17 hectáreas) se destina: a la construcción de pozos geotérmicos (Foto 28 en anexo 5) y

lagunas de sedimentación (Foto 29 en anexo 5), plazoleta para las casas de máquinas, comedor y bodegas provisiones, cuya vida útil es entre 8 y 10 años. El restante 88% (127 hectáreas, de estas seis hectáreas corresponden a tacotal) está resforestándose (Vásquez, com.pers. 2008), lo que aumentaría la cobertura forestal de la microcuenca (mapa B de la Figura 31) en un 29% (121 hectáreas, Cuadro 49).

Cuadro 49. Distribución de la cobertura vegetal en la microcuenca de la quebrada Victoria.

Tipo	Sin reforestación (Mapa A, figura 31)		Con reforestación (Mapa B, figura 31)			
	Ha	%	Sin reforestar (ha)	A reforestar (ha)	Área total reforestada (ha)	Área total reforestada (%)
Pastos	218	52,7	101	117	101	24,4
Bosque secundario	99	23,9	99	0	99	23,9
Charral	45	10,9	41	4	41	9,9
Plantación forestal	45	10,8	45	0	166	40,2
Tacotal	6	1,5	6	0	6	1,4
Entrada al PNRV	1	0,3	1	0	1	0,2
Total	414	100	293	121	414	100

Fuente: elaboración propia del autor, utilizando la herramienta de geo-análisis del Arcview 3.3.

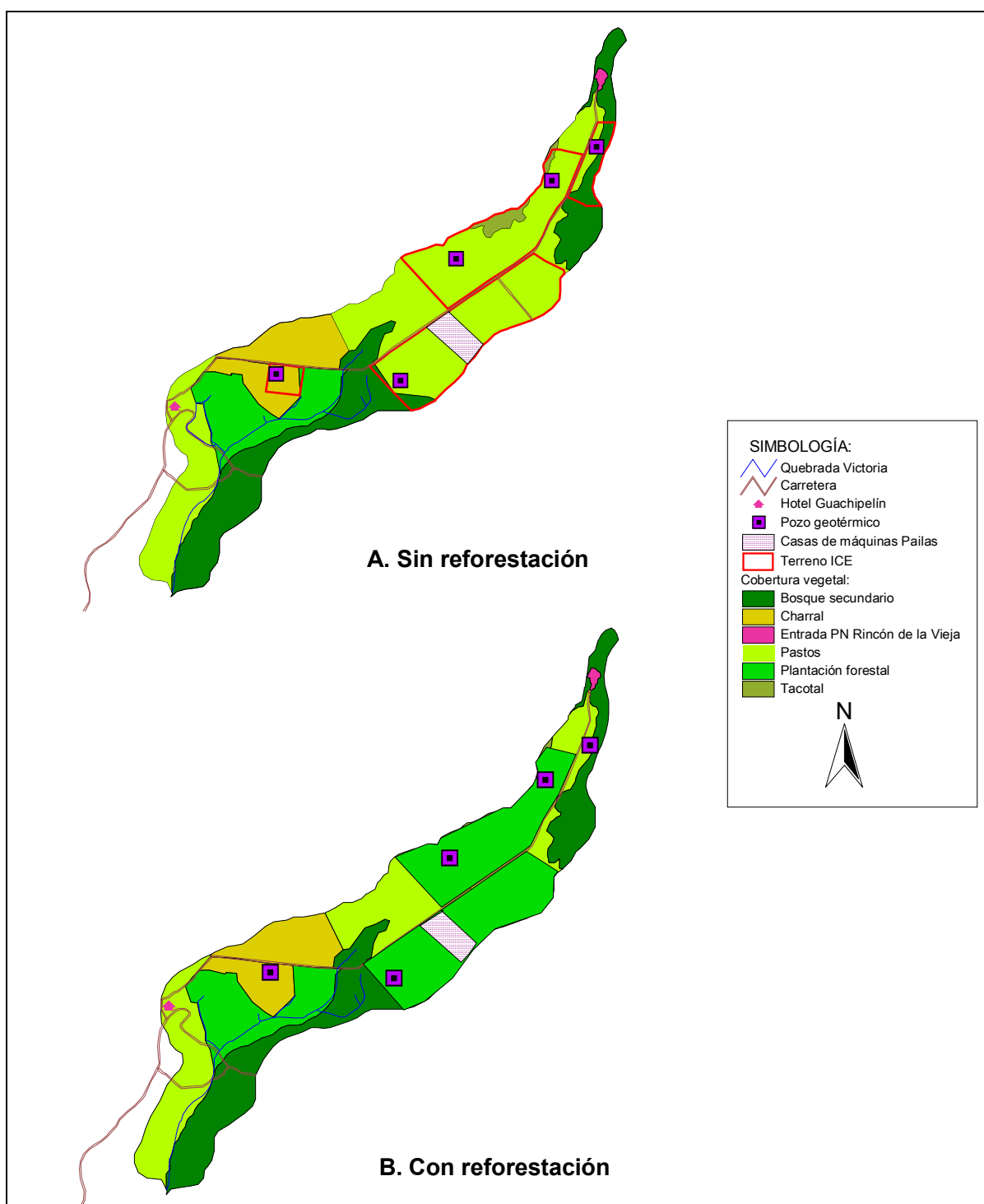


Figura 31. Uso de la tierra del 2008 (A) y cobertura vegetal debido a reforestación en terreno del ICE (B) de la microcuenca de la quebrada Victoria, Curubandé, Guanacaste, Costa Rica.

Fuente: Hoja de Curubandé, 3148 III, escala 1:50 000, INGCR 1991.

6.9 Plan de acción para la cogestión del recurso hídrico en la microcuenca

Los actores locales claves identificados en la microcuenca de la quebrada Victoria son los representantes legales del hotel Guachipelín y la Unidad de Gestión Ambiental del Proyecto Geotérmico Las Pailas del ICE y municipalidad de Liberia, la ASADA y Asociación de Desarrollo Integral y los vecinos del distrito de Curubandé y representantes del AyA.

A continuación se presentan los resultados de las actividades realizadas para la elaboración de la propuesta del plan de acción.

6.9.1 Primera actividad: Reunión informativa

Los resultados de la primera actividad realizada con la participación de 38 personas se presentan en el Cuadro 50.

Cuadro 50. Resultados de la primera actividad informativa, 2007.

Aspecto	Contenido
Título:	Presentación del proyecto de investigación titulado “Evaluación de la Calidad físico-química y bacteriológica del agua para consumo humano de la microcuenca de la quebrada Victoria, Guanacaste, Costa Rica”.
Fecha de realización:	28 de noviembre del 2007.
Lugar:	Salón comunal de Curubandé, Liberia, Guanacaste.
Tipos de participantes:	<ul style="list-style-type: none"> a. Encargado de la Unidad de Gestión Ambiental del ICE. b. Miembros de la ASADA c. Miembros de la Asociación de Desarrollo de Curubandé d. Vecinos de la Comunidad de Curubandé
Objetivo de la reunión:	Informar a los actores claves de la microcuenca de la quebrada Victoria sobre el proyecto de investigación de tesis que se está desarrollando en la microcuenca.
Desarrollo de la reunión:	<p>La presentación del proyecto tuvo una duración de 30 minutos y la sección de comentarios y preguntas fue de 30 minutos.</p> <ul style="list-style-type: none"> a. Presentación de los asistentes. b. Exposición sobre el tema del proyecto de investigación, donde se trataron los siguientes subtemas: <ul style="list-style-type: none"> i. Situación y perspectiva del agua ii. Enfermedades de transmisión hídrica iii. Situación y perspectiva de enfermedades de transmisión hídrica

Cuadro 50. Continuación.

Desarrollo de la reunión. Continuación.	<ul style="list-style-type: none"> iv. Enfermedades relacionadas con ingesta de agua con alto contenido de sustancias químicas v. Áreas de influencia a la microcuenca de la quebrada Victoria vi. Presentación de los objetivos, área de estudio, metodología, presupuesto y resultados esperados del proyecto. vii. Importancia, objetivos, finalidad y resultados esperados de una propuesta de plan de acción para el manejo del recurso hídrico en la microcuenca en estudio. <ul style="list-style-type: none"> c. Comentarios y preguntas de los asistentes d. Refrigerios
Principales inquietudes de los participantes:	<ul style="list-style-type: none"> a. Pobladores: El agua es importante ya que la población crece. Destacó que hubo un muerto de hace unos años, al cual se sospechó que su causa de muerte era causada por el agua. Se han observado que el agua está muy turbia y se sospecha de que esté contaminada, así como las descargas de otras aguas a la quebrada. b. Gestión ambiental del ICE: resaltó la importancia del estudio ya que aunque se está trabajando en la perforación de pozos para el abastecimiento de agua potable a la comunidad, destacó que el estudio es complementario, ya que se mantendrá la toma de agua de la quebrada Victoria. c. ASADA: destacó la preocupación del agua ya que se ha observado que el agua ha estado turbia, y la importancia del estudio para la comunidad. Además, se encargó de preparar y donar el refrigerio de la actividad.
Conclusiones o seguimiento:	<p>Se les motivó a participar en el taller que se desarrollará cuando se tengan los resultados de la evaluación de la calidad del agua. Para dicha actividad se utilizará la metodología de invitación formal con cartas de solicitud a los actores de instituciones públicas y empresas privadas; y repartición de volantes de invitación a los vecinos de la comunidad.</p>
Anexos	<p>Lista de participante (Cuadro 58) Foto de la actividad (Foto 30).</p>

Fuente: elaboración propia de la autora con los resultados obtenidos durante la actividad.

6.9.2 Segunda actividad: Taller participativo

Los resultados de la segunda actividad realizada con la participación de 16 personas se presentan en el Cuadro 51.

Cuadro 51. Resultados del taller participativo, 2008.

Aspecto	Contenido
Título:	Taller participativo para la elaboración de la propuesta de manejo del recurso hídrico de la microcuenca de la quebrada Victoria.
Fecha de realización:	7 de agosto del 2008.
Lugar:	Salón comunal de Curubandé, Liberia, Guanacaste.
Tipos de participantes:	<ul style="list-style-type: none"> a. Unidad de Gestión Ambiental del ICE. b. Miembros de la ASADA c. Miembros de la Asociación de Desarrollo de Curubandé d. Escuela de Curubandé e. Vecinos de la comunidad de Curubandé
Objetivo de la reunión:	Integrar los actores clave; presentar los resultados obtenidos de la evaluación de calidad físico-química y bacteriológica del agua de la quebrada Victoria; recolectar insumos de los actores claves para una propuesta de plan de acción (lluvias de ideas con tarjetas); analizar y discutir las propuestas de los actores clave y conformar el grupo responsable de su ejecución.
Desarrollo de la reunión:	<p>La presentación tuvo una duración de dos horas.</p> <p>Primera parte: Presentación de los resultados físico-químicos y bacteriológicos del agua de la quebrada Victoria.</p> <ul style="list-style-type: none"> a. Analizar las fuentes puntuales y no puntuales de contaminación de agua de la microcuenca de la quebrada Victoria y relacionarlas con los resultados de la evaluación de la calidad del agua. b. Analizar el uso de la tierra de la microcuenca de la quebrada Victoria y su impacto en la calidad del agua. c. Analizar la vulnerabilidad de la naciente de la quebrada Victoria. <p>Segunda parte: Presentación de propuestas de los participantes</p> <ul style="list-style-type: none"> a. Presentación de propuesta por parte de los participantes empleando las tarjetas que se les entregaron. b. Análisis y discusión de todas las propuestas de los participantes. c. Conformación del grupo responsable de la ejecución de la propuesta del plan de acción de manejo del recurso hídrico de la microcuenca de la quebrada Victoria.

Cuadro 51. Continuación.

Propuestas de los participantes:	<ul style="list-style-type: none"> a. Evaluar la posibilidad de adquirir terrenos alrededor de las fuentes de agua de mayor potencial. b. Brindar protección de las áreas aledañas a las nacientes o cauces con la construcción de cercas y reforestarlos. c. Realizar acuerdos interinstitucionales con AyA, ICE, MAG, propietario de la finca y comunidad para implementar un programa de reforestación en las nacientes. d. Valorar la posibilidad de llevar la captación a las fuentes de mayor potencial en cantidad y calidad. e. Mejorar el manejo de aguas pluviales en los terrenos en la parte alta de la toma de agua. f. Considerar la posibilidad de implementar tratamiento a la fuente actual para hacerla potable. g. Captar el agua para consumo humano en la naciente de la quebrada Victoria como una solución a corto plazo. h. Controlar las formas actuales de contaminación y mejorar las condiciones naturales de la parte alta de la microcuenca. i. Incluir un programa de concientización y de reforestación en la escuela de Curubandé. j. Implementar un programa de educación ambiental y concientización en la comunidad en general. k. Establecer un programa de divulgación del uso del recurso hídrico en la comunidad y grupos organizados. l. Plantear un proyecto escolar y comunal de limpieza y reforestación en la quebrada Victoria. m. Grupo responsable de la implementación de la propuesta del plan de acción: miembros de la ASADA, director de la escuela de Curubandé, la vocal de la Asociación de Desarrollo de Curubandé y el encargado de Gestión Ambiental del ICE.
Conclusiones o seguimiento:	Se les motivó a seguir participando en la próxima reunión para la validación de la propuesta del plan de manejo del recurso hídrico de la microcuenca de la quebrada Victoria.
Anexos	<p>Lista de participante (Cuadro 59).</p> <p>Foto de la actividad (Foto 31y Foto 32)</p>

Fuente: elaboración propia de la autora con los resultados obtenidos durante la actividad.

6.9.3 Tercera actividad: Validación y presentación de la propuesta del plan

Los resultados de la tercera actividad realizada con la participación de 20 personas se presentan en el Cuadro 52.

Cuadro 52. Resultados del taller participativo, 2008.

Aspecto	Contenido
Título:	Presentación y validación de la propuesta de cogestión del recurso hídrico de la microcuenca de la quebrada Victoria.
Fecha de realización:	3 de setiembre del 2008.
Lugar:	Salón comunal de Curubandé, Liberia, Guanacaste.
Tipos de participantes:	<ul style="list-style-type: none"> a. Encargado de la Unidad de Gestión Ambiental del ICE: Jesús Vásquez Vásquez b. Miembros de la ASADA c. Miembros de la Asociación de Desarrollo de Curubandé d. Vecinos de la comunidad de Curubandé
Objetivo de la reunión:	Presentar y validar la propuesta del plan de acción para la cogestión del recurso hídrico en la microcuenca de la quebrada Victoria, Curubandé, Guanacaste, Costa Rica.
Desarrollo de la reunión:	<p>La presentación del proyecto tuvo una duración de 40 minutos y la sección de comentarios y preguntas fue de 20 minutos.</p> <p>Exposición sobre el tema del proyecto de investigación, donde se trataron los siguientes subtemas:</p> <ul style="list-style-type: none"> a. Etapas del proyecto de investigación b. Sitios de la red de muestreo c. Resultados de la evaluación de la calidad físico-química y bacteriológica del agua d. Análisis de la fuentes de contaminación del agua de los sitios más críticos e. Análisis de los riegos para la salud por contaminación bacteriana f. Análisis de las fuentes no puntuales de contaminación del agua g. Presentación de los componentes del plan de acción h. Presentación de los programas del plan con su respectivo contenido i. Entrega de un resumen de la propuesta del plan a cada uno de los

Cuadro 52. Continuación.

Desarrollo de la reunión. Continuación.	<p>participantes</p> <p>j. Entrega de tarjeta para escribir comentario, sugerencia o aportes al plan</p> <p>k. Comentarios y preguntas de los asistentes.</p> <p>l. Refrigerios</p>
Inquietudes de los participantes:	<p>a. Agradecimiento por este proyecto de investigación</p> <p>b. Supervisar la implementación del plan de acción con la ayuda de los actores claves</p> <p>c. Resaltaron la importancia y utilidad de la investigación.</p> <p>d. Resaltaron la claridad de la presentación de los resultados así como el contenido del plan de acción.</p> <p>e. Consideraron el plan propuesta es una herramienta valiosa para complementar otros planes de mejoramiento del acueducto que tiene la ASADA.</p> <p>La mayoría validó los componentes del plan de acción y se motivaron a unirse más como pueblo para ejecutar las diferentes actividades del plan de acción.</p>
Conclusiones o seguimiento:	<p>a. Los participantes comprendieron los problemas asociados al agua que están consumiendo y se motivaron a unirse más como comunidad para colaborar en la implementación y ejecución de las actividades de los diferentes programas de la propuesta del plan.</p> <p>b. Los participantes se concientizaron sobre la problemática del recurso hídrico y validaron los componentes de los programas del plan.</p>
Anexos	<p>Lista de participante (Cuadro 60).</p> <p>Foto de la actividad (Foto 33)</p>

Fuente: elaboración propia de la autora con los resultados obtenidos durante la actividad.

6.9.4 Propuesta del plan de acción

El plan de acción formulado en este documento se realizó con base en los insumos aportados por los participantes (representantes de la ASADA, Asociación de Desarrollo y director de la escuela de Curubandé, vecinos de la comunidad y representantes del ICE) en un taller participativo que se efectuó el 7 de agosto en el salón comunal de Curubandé, Guanacaste. Para el planteamiento de los componentes de este plan se tomó como línea base cuantitativa la evaluación de la calidad físico-química y bacteriológica del agua para consumo humano de la

quebrada Victoria, diagnosticada durante un año hidrológico (setiembre del 2007 a junio del 2008) y en la cual se identificaron las fuentes puntuales y no puntuales de contaminación.

Los componentes de esta propuesta se presentan en el Cuadro 53.

Cuadro 53. Componentes de la propuesta del plan de acción.

Componente	Contenido
Justificación:	<p>Toda actividad humana, con frecuencia, genera impactos en los recursos naturales y el ambiente. Los cambios en el uso de la tierra, el crecimiento de la población, la eliminación o destrucción de los ecosistemas naturales, influyen de forma significativa en la calidad y cantidad de los caudales de agua, y son los factores de mayor impacto sobre la sostenibilidad de los recursos hídricos naturales.</p> <p>Lo que se hace en la parte alta de una cuenca, genera un efecto en su parte baja. Los usuarios aguas abajo están sujetos a la acción de los usuarios río arriba. En este sentido, la suma de los efectos de las actividades que se desarrollan cuenca arriba de la microcuenca de la quebrada Victoria, tales como la remoción de tierra para la construcción de carreteras y obras, el pastoreo, la tala de árboles y las actividades turísticas, deterioran su calidad en la toma de Curubandé, que está ubicada aguas cuenca abajo.</p> <p>Las iniciativas de planificación requieren apoyo, tanto político como administrativo, en la medida en que hay que resolver conflictos y lograr el consenso entre partes e intereses, a veces, enfrentados entre sí. Lograr una distribución más justa de los recursos y gestionar los riesgos, conservando al mismo tiempo los ecosistemas naturales, son un desafío y una responsabilidad a todos los niveles de la sociedad. Todos y cada uno de nosotros tenemos la responsabilidad individual de actuar y lograr algo, no sólo en beneficio de la sociedad, sino también de las generaciones venideras.</p>
Objetivos del plan:	<p>Los objetivos de este plan de acción se presentan a continuación:</p> <p>Objetivo a largo plazo: garantizar la sostenibilidad de la calidad del recurso hídrico de la microcuenca de la quebrada Victoria, Curubandé, Guanacaste, Costa Rica.</p> <p>Objetivo del plan: promover la cogestión participativa en el planteamiento de soluciones a los problemas relacionados con los recursos hídricos en la microcuenca de la quebrada Victoria.</p> <p>Objetivos específicos:</p> <p>Objetivo 1: Promover la cogestión participativa del recurso hídrico para consumo humano en la microcuenca de la quebrada Victoria.</p>

Objetivos del plan. Continuación.	<p>Objetivo 2: Fortalecer la cogestión local de la ASADA para el mejoramiento continuo del acueducto rural y el abastecimiento de agua de calidad a la comunidad de Curubandé.</p> <p>Objetivo 3: Promover la implementación de prácticas sostenibles para la conservación, protección y manejo del recurso hídrico en la microcuenca de la quebrada Victoria a corto, mediano y largo plazo.</p> <p>Objetivo 4: Monitorear los impactos que generan las actividades de la microcuenca de la quebrada Victoria sobre la calidad del agua de la toma de agua de Curubandé.</p>
Estrategia del plan:	<p>Las estrategias para llevar a cabo este plan de acción son los siguientes:</p> <ol style="list-style-type: none"> Desarrollar e implementar un plan de ordenamiento territorial participativo en la microcuenca, con visión de largo plazo y con viabilidad social. Desarrollo de alianzas estratégicas entre instituciones y organizaciones afines para la implementación de las diferentes acciones tendientes al logro de los objetivos del plan de manejo del recurso hídrico de la microcuenca. Promoción de la participación de los diferentes grupos de interés de la comunidad y beneficiarios. Fortalecimiento de las capacidades locales para la gestión integral de los recursos naturales de la microcuenca a través de programas de educación ambiental en los centros educativos, productivos y comerciales. Gestión de los recursos financieros con los entes cooperantes.
Perfil:	<p>El perfil de este plan de acción es: "Calidad y cantidad de agua para consumo humano en la microcuenca de la quebrada Victoria".</p>
Componentes:	<p>Este plan está constituido por cuatro componentes que presentan en las siguientes secciones.</p>
Grupo responsable de implementación:	<p>Al final de la propuesta se presenta el grupo responsable de la implementación de plan así como el coordinador de cada uno de los programas específicos.</p>

Este plan está constituido por cuatro componentes que presentan a continuación.

El componente 1 se denomina: “Programa de Educación Ambiental para la gestión sostenible del recurso hídrico en la microcuenca de la quebrada Victoria, Curubandé, Guanacaste, Costa Rica”. El contenido de este programa se presenta en el cuadro 54.

Cuadro 54. Contenido del programa 1 de la propuesta del plan de acción.

Programa:	Programa de educación ambiental para la cogestión del recurso hídrico en la microcuenca de la quebrada Victoria, Curubandé, Guanacaste, Costa Rica.
Coordinador:	Director de la escuela de Curubandé
Ubicación:	Distrito de Curubandé y microcuenca de la quebrada Victoria.
Población meta:	Estudiantes escolares, vecinos de la comunidad de Curubandé, grupos organizados, visitantes del Parque Nacional Rincón de la Vieja, instituciones públicas y empresas.
Justificación:	El desconocimiento de los problemas asociados a los recursos hídricos así como de los impactos de las actividades que desarrollan cuenca arriba sobre la calidad del agua cuenca abajo, genera indiferencia, insensibilidad y falta de conciencia en los usuarios del agua.
Problema a resolver:	Falta de conciencia y sensibilidad sobre los problemas asociados a los recursos hídricos y de la problemática de la microcuenca.
Beneficiarios:	Todos los usuarios del agua y la población meta.
Beneficios:	Valorar y manejar responsable y sosteniblemente los recursos hídricos y los recursos naturales de la microcuenca.
Estrategia:	Desarrollo de acuerdos entre el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) a través de su oficina de Gestión Ambiental, la escuela de Curubandé (apoyándose del Ministerio de Educación, MEP), el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA) de Liberia y con el apoyo de la ASADA de Curubandé.
Intervención:	Se presentan los proyectos que se pueden realizar para obtener los resultados esperados a fin de cumplir con los objetivos del programa.

Cuadro 54. Continuación.

Proyecto:	1	2
Objetivo:	Concientizar y sensibilizar a la población estudiantil, comunidad, empresas, turistas, instituciones y usuarios del agua.	Divulgar sobre la calidad del agua para consumo humano y la problemática de los recursos hídricos.
Resultado esperado:	Grupos sociales más responsables y conscientes de los problemas relacionados con los recursos hídricos y recursos naturales de la cuenca.	Mayor apoyo y colaboración de los usuarios del agua en la solución de los problemas.
Actividad:	<p>a. Promover la incorporación en los programas de estudio de preescolar y cuarto grado escolar, los conceptos y conocimientos de recursos hídricos por medio de material didáctico.</p> <p>b. Realización de charlas de concientización y sensibilización sobre los recursos hídricos y naturales de la cuenca para los vecinos de la comunidad, así como para los empleados de las empresas y turistas.</p> <p>c. Implementación de programa de separación, reciclaje y reutilización de desechos sólidos en las escuelas, comunidades, parques nacionales, empresas privadas e instituciones públicas.</p>	<p>a. Elaboración de informes de calidad de agua e informar a los usuarios de los resultados.</p> <p>b. Realización de charlas de divulgación e información sobre la problemática asociada a los recursos hídricos y de la cuenca en general.</p> <p>c. Realización de campañas de limpieza a lo largo de la quebrada Victoria con grupos estudiantiles y comunales antes de la entrada de la época de transición seca a lluviosa (mayo de cada año).</p>

Fuente: elaboración propia de la autora con los insumos de los participantes del taller participativo.

El componente 2 se denomina: “Programa de mejoramiento del acueducto de Curubandé en la microcuenca de la quebrada Victoria, Curubandé, Guanacaste, Costa Rica”. El contenido de este programa se presenta en el cuadro 55.

Cuadro 55. Contenido del programa 2 de la propuesta del plan de acción.

Programa:	Programa de mejoramiento del acueducto de Curubandé en la microcuenca de la quebrada Victoria, Curubandé, Guanacaste, Costa Rica.
Coordinador:	ASADA de Curubandé
Ubicación:	Microcuenca de la quebrada Victoria, del distrito de Curubandé, cantón de Liberia y provincia de Guanacaste, Costa Rica.
Población meta:	ASADA de Curubandé e Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados de Liberia y vecinos del distrito de Curubandé.
Justificación:	La poca capacidad local de la ASADA y la falta de apoyo del AyA han generado abandono y deterioro de las condiciones adecuadas del acueducto, lo que ha dificultado el suministro de agua de calidad y apta para consumo humano al pueblo de Curubandé.
Problema a resolver:	Poca capacidad local de la ASADA y falta de apoyo del AyA.
Beneficiarios:	Usuarios del agua del distrito de Curubandé.
Beneficios:	Agua de mejor calidad físico-química y bacteriológica.
Estrategia:	Fortalecimiento de la capacidad local de la ASADA de Curubandé a través del apoyo de la comunidad de Curubandé y del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados de Liberia y del Instituto Costarricense de Electricidad.

Cuadro 55. Continuación.

Intervención: Se presentan los proyectos que se pueden realizar para obtener los resultados esperados a fin de cumplir con los objetivos del programa.

Proyecto:	1	2	3
Objetivo:	Implementar un sistema de filtración del acueducto.	Desinfectar agua con cloración	Implementar el Programa Bandera Azul del AyA
Resultado esperado:	Agua potable de mejor calidad físico-química*	Agua potable de mejor calidad bacteriológica*	Condiciones de infraestructura del acueducto mejoradas
Actividad:	a. Colocación de filtros eficientes y tanques de almacenamiento en condiciones adecuadas a fin de garantizar la calidad físico-química del agua.	a. Colocación de sistema de cloración para el agua filtrada a fin de inactivar bacterias presentes en el agua y disminuir el riesgo para la salud.	a. Inscripción en el AyA del programa y solicitar presupuesto para mejorar las condiciones de infraestructura del acueducto. b. Mejoramiento de la infraestructura del acueducto. c. Implementación de un programa de mantenimiento preventivo en el acueducto.

Fuente: elaboración propia de la autora con los insumos de los participantes del taller participativo. (*): esta agua tratada debe cumplir con los requisitos físico-químicos y bacteriológicos establecidos en el Reglamento para la Calidad del Agua Potable (Cuadro 61) para que sea potable y no ocasiona ningún riesgo significativo para la salud.

El componente 3 se denomina: “Programa de protección de nacientes y afluentes de la microcuenca de la quebrada Victoria, Curubandé, Guanacaste, Costa Rica”. El contenido de este programa se presenta en el cuadro 56.

Cuadro 56. Contenido del programa 3 de la propuesta del plan de acción.

Programa:	Programa de protección de nacientes y afluentes de la microcuenca de la quebrada Victoria, Curubandé, Guanacaste, Costa Rica
Coordinador:	ASADA de Curubandé
Ubicación:	Distrito de Curubandé y microcuenca de la quebrada Victoria.
Población meta:	Estudiantes escolares, vecinos de la comunidad de Curubandé, grupos organizados (ASADA, Asociación de Desarrollo), instituciones públicas (AyA, ICE, MINAE) y empresas (hotel Guachipelín).
Justificación:	La contaminación de las aguas superficiales por arrastres de sedimentos de la carretera y la transferencia de materia fecal por escorrentía a los cuerpos de agua, deteriora la calidad físico-química y bacteriológica del agua de la quebrada Victoria. Las nacientes que se encuentran ubicada cuenca abajo de las áreas de pastoreo son vulnerables a la contaminación por el uso de la tierra a medio y largo plazo.
Problema a resolver:	Contaminación de las aguas superficiales de la quebrada Victoria por escorrentía, favorecida por las precipitaciones, la erosión y tala de árboles, y vulnerabilidad de las aguas de las nacientes por contaminación no puntuales (áreas de pastoreo ubicadas cuenca arriba).
Beneficiarios:	Usuarios del agua.
Beneficios:	Agua de mejor calidad físico-química y bacteriológica; un mayor bienestar social por cantidad y calidad de agua de una manera equitativa sin comprometer la conservación de los ecosistemas vitales; salvaguardar la calidad del agua.
Estrategia:	Gestión y participación local de los actores clave e interesados de la microcuenca a fin de disponer suficientes recursos económicos para la adquisición de terrenos para la conservación y protección de los recursos naturales de la microcuenca, por medio del apoyo y asesoría legal de instituciones gubernamentales rectores, tales como el AyA y el MINAE. Desarrollo de capacidad de negociación entre grupos interesados, tales como el hotel Guachipelín y la ASADA, a fin de lograr la obtención de terrenos para la protección de las nacientes y afluentes de mayores riesgos para la salud y más vulnerables a la contaminación.

Estrategia: Aplicar el artículo 31 de la Ley de Aguas 276 de 27 de agosto de 1942 y el 7 de la Ley de Tierras y Colonización 2825 de 14 de octubre de 1961, con la finalidad de definir el área de protección del sitio de captación, las nacientes permanentes y la quebrada Victoria.

Intervención: Se presentan los proyectos que se pueden realizar para obtener los resultados esperados a fin de cumplir con los objetivos del programa.

Proyecto:	1	2	3
Objetivo:	Proteger todas las nacientes y afluentes desde la naciente de la quebrada Victoria (sitio 15) hasta la toma de agua de Curubandé (sitio 1).	Proteger las áreas de destinadas al pastoreo	Implementar prácticas sostenibles para la conservación y protección de los recursos hídricos
Resultado esperado:	Agua de mejor calidad físico-química y bacteriológica.	Agua superficial de mejor calidad físico-química y bacteriológica	Recursos hídricos conservados, protegidos y sostenibles a corto, mediano y largo plazo
Actividad:	<p>a. Reforestación de las áreas de protección de los cauces (160 hectáreas) desde la naciente de la quebrada Victoria hasta la toma de agua de Curubandé.</p> <p>b. Reforestación a orillas de la carretera en la cuenca media a fin de minimizar el arrastre de sedimentos a la quebrada.</p> <p>c. Colocación de cercas y rótulos de información en las áreas protegidas.</p> <p>d. Expansión de los alcantarillados de los dos puentes ubicados en la cuenca media a fin de minimizar el arrastre de sedimentos de la carretera hacia el agua de la quebrada.</p> <p>e. Reubicación de senderos y veredas que cruzan la quebrada a fin de limitar el acceso de ganado y turistas.</p>	<p>a. Adquisición de terrenos dedicados al pastoreo que se encuentran cuenca arriba de las nacientes con el fin de reforestarlos.</p> <p>b. Reforestación en las áreas cuenca arriba con el fin de minimizar la erosión del suelo y arrastres de materia fecal hacia cuenca abajo.</p>	<p>a. Negociación de la reubicación de la paja del hotel Guachipelín, en caso de mantener la toma de agua de Curubandé cuenca abajo de este afluente.</p> <p>b. Implementación de lagunas de sedimentación con lirios u otros en las pendientes bajas a lo largo del sitio 3 del hotel Guachipelín con el fin de descontaminar cualquier arrastre de aguas pluviales y residuales por escorrentía desde las partes altas.</p>

Fuente: elaboración propia de la autora con los insumos de los participantes del taller participativo.

El componente 4 se denomina: “Programa de monitoreo y seguimiento de la calidad del agua la microcuenca de la quebrada Victoria, Curubandé, Guanacaste, Costa Rica”. El contenido de este programa se presenta en el Cuadro 57.

Cuadro 57. Contenido del programa 4 de la propuesta del plan de acción.

Programa:	Programa de monitoreo y seguimiento de la calidad del agua la microcuenca de la quebrada Victoria, Curubandé, Guanacaste, Costa Rica.
Coordinador:	ASADA de Curubandé
Ubicación:	Microcuenca de la quebrada Victoria.
Población meta:	Instituto Costarricense de Electricidad, Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados y ASADA de Curubandé.
Justificación:	Este proyecto de investigación tiene como objetivo el establecer una línea base a fin de que las instituciones públicas, empresas privadas y la ASADA la utilicen para elaborar sus programas de monitoreo y seguimiento de la calidad del agua que alimenta la toma de agua del acueducto de Curubandé, y así tomar medidas preventivas y/o correctivas.
Problema a resolver:	La falta de una línea base de la calidad del agua dificulta la toma de decisiones adecuadas sobre el control y monitoreo de su calidad, y darle el seguimiento adecuado a los impactos que generan las diferentes actividades que se desarrollan en la microcuenca, para así detectar cualquier deterioro en su calidad físico-química y bacteriológica.
Beneficiarios:	Todos los usuarios del agua
Beneficios:	Estar a tiempo para actuar ante cualquier posible contaminación del agua.
Estrategia:	Desarrollo de convenios entre el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE), el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA) y la ASADA de Curubandé.

Cuadro 57. Continuación.

Intervención: Se presentan los proyectos que se pueden realizar para obtener los resultados esperados a fin de cumplir con los objetivos del programa.

Proyecto:	1	2
Objetivo:	Monitorear y dar seguimiento a la calidad físico-química del agua de la quebrada Victoria	Monitorear y dar seguimiento a la calidad bacteriológica del agua de la quebrada Victoria
Resultado esperado:	Posible contaminación físico-química del agua por fuentes puntuales detectada	Posible contaminación del agua por materia fecal detectada
Actividad:	<p>a. Implementación de un proyecto de monitoreo de la calidad físico-química del agua. Incluir como parámetros temperatura, color, turbiedad, pH, oxígeno disuelto, conductividad y cloruro.</p> <p>b. Inspecciones en el campo a lo largo de la quebrada Victoria con el fin de detectar nuevas fuentes puntuales de contaminación físico-química del agua.</p>	<p>a. Implementación de un proyecto de monitoreo de la calidad bacteriológica del agua. Incluir como parámetros básicos: coliformes fecales y <i>Escherichia coli</i>.</p> <p>b. Inspecciones en el campo a lo largo de la quebrada Victoria con el fin de detectar nuevas fuentes puntuales de contaminación bacteriana del agua.</p>

Fuente: elaboración propia de la autora con los insumos de los participantes del taller participativo.

La responsabilidad principal de liderar y coordinar el proceso para la implementación del plan de acción será el organismo de cuenca constituido por: la ASADA, la Asociación de Desarrollo Integral y escuela de Curubandé, así como del ICE, según se muestra en la Figura 32. Se recomienda nombrar como coordinador de este organismo a la ASADA para la articulación e integración de esfuerzos de todos los miembros participantes.

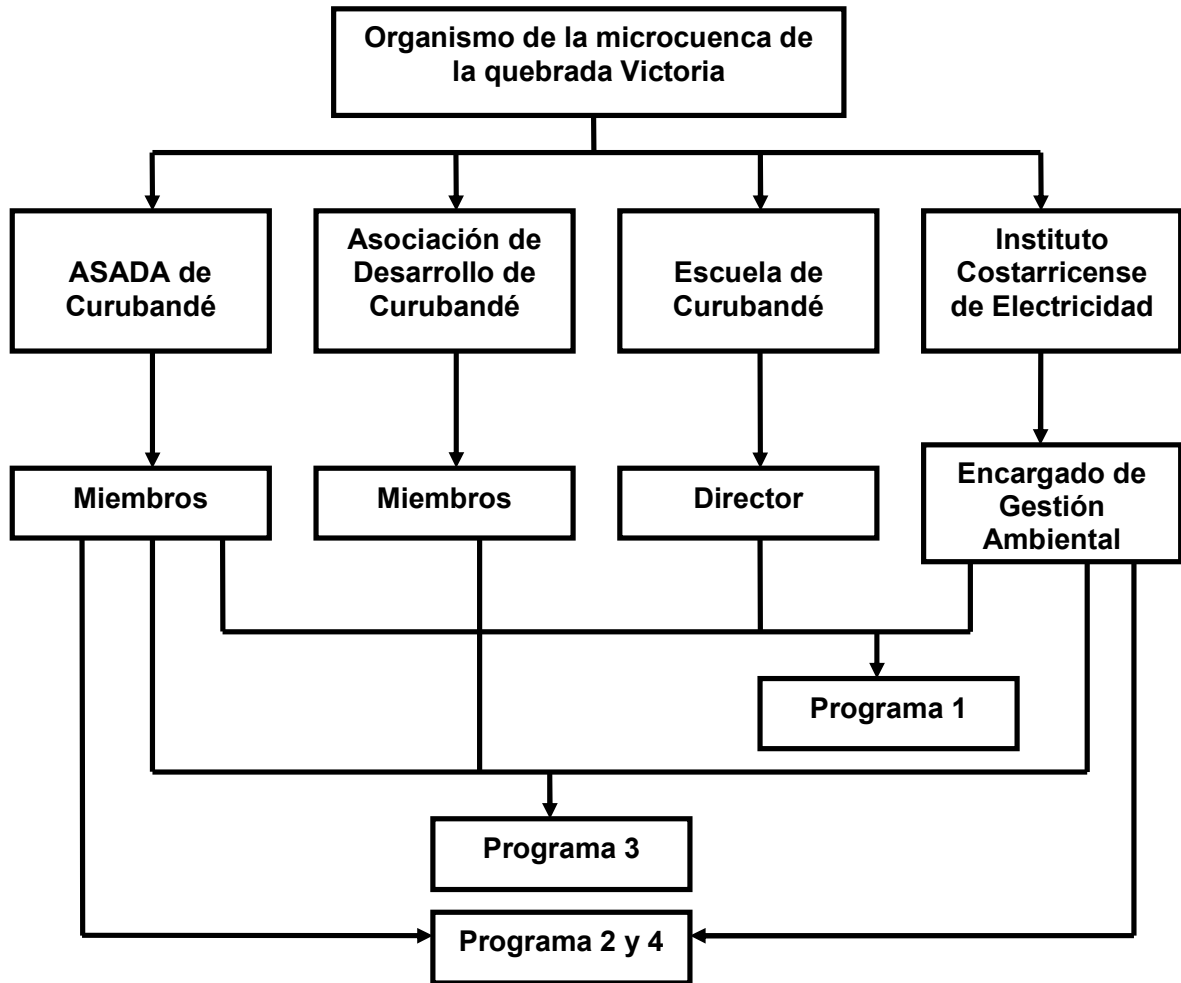


Figura 32. Diagrama de la propuesta de asignación de responsables para la implementación del plan de acción para la cogestión del recurso hídrico en la microcuenca quebrada Victoria.

Este plan fue entregado a los actores claves: ASADA, Asociación de Desarrollo Integral y director de la escuela de Curubandé, coordinador de acueductos rurales del AyA de Liberia, encargado de la Unidad de Gestión Ambiental de la municipalidad de Liberia y del ICE, dueño del hotel Guachipelín y encargado del parque nacional Rincón de la Vieja. Los beneficiados de este plan, principalmente los vecinos de Curubandé, son los primeros actores vigilantes de la ejecución y seguimiento del plan, con el fin de garantizar la sostenibilidad de la calidad del recurso hídrico de la microcuenca a corto, mediano y largo plazo.

7 CONCLUSIONES

Las conclusiones de este proyecto de investigación son:

- 7.1. El agua de la parte alta (sitios 8 a 15) de la quebrada Victoria se caracterizó por ser ligeramente neutra (pH medio de 6,5) y de la parte baja (sitios 1 a 7) ácida (pH medio de 4,7).
- 7.2. El agua de los sitios 8 hasta el 15 de la quebrada Victoria, exceptuando los sitios 12 y 13 en la época de transición seca a lluviosa del 2008, es apta para consumo humano con tratamiento simple y desinfección; mientras que, el agua de los sitios 1 hasta el 7 (que se caracterizan por ser ácida con un pH medio de 4,7) de la quebrada Victoria, exceptuando el sitio 4 en la época lluviosa del 2007, es apta para consumo humano con tratamiento que incluya el ajuste de pH (entre 6,5 y 8,5) y desinfección.
- 7.3. La calidad física del agua del sitio 14 de la quebrada Victoria, que tiene áreas aledañas con suelos erosionados, arcillosos y pendientes mayor de cinco grados, se deterioró en la época de transición seca a lluviosa del 2008, debido al aumento de los parámetros de color (> 10 U-Pt-Co) y turbiedad (> 25 UNT).
- 7.4. La calidad bacteriológica del agua de los sitios 4, 12 y 14 de la quebrada Victoria, ante fuertes precipitaciones como las ocasionadas por la tormenta tropical Noel del 2007 y en la época de transición seca a lluviosa del 2008, se deterioró debido al aumento de coliformes fecales (> 2000 NPM/100 mL); asimismo, el agua de los sitios 12 y 13 de la quebrada Victoria presentó contaminación fecal en la época de transición seca a lluviosa del 2008, debido al aumento de *Escherichia coli* (> 2000 NPM/100 mL), por lo que estas fuentes no son utilizables para el consumo humano.
- 7.5. Según el análisis estadístico, los parámetros de calidad del agua de la quebrada Victoria: color, turbiedad, oxígeno disuelto, sílice, coliformes fecales y *Escherichia coli*, difieren significativamente con un nivel de significancia del 5% entre las épocas de muestreo: lluviosa del 2007, seca y de transición seca a lluviosa del 2008.

- 7.6. El caudal de la quebrada Victoria aumentó en 75% su flujo a partir del sitio 6 hasta cuenca abajo durante el año hidrológico setiembre del 2007 a junio del 2008.
- 7.7. El agua del 60% de los sitios evaluados de la quebrada Victoria presentaron un nivel de riesgo alto para la salud debido a la contaminación bacteriana en la época de transición seca a lluviosa del 2008 deteriorando su calidad bacteriológica.
- 7.8. La problemática del recurso hídrico como elemento que integra a los actores locales de la microcuenca de la Quebrada Victoria: miembros de la ASADA, Asociación de Desarrollo Integral, Escuela y vecinos de Curubandé y el Instituto Costarricense de Electricidad, hizo posible la elaboración conjunta de la propuesta de acciones para asegurarse la calidad del agua para consumo humano.

8 RECOMENDACIONES

Las recomendaciones de esta investigación son:

- 8.1. Nombrar a la ASADA de Curubandé como coordinador de la propuesta del plan de acción para ejecutar sus programas.
- 8.2. Ejecutar la propuesta del plan de acción para la cogestión del recurso hídrico de la microcuenca de la quebrada Victoria por medio de los coordinadores de los programas con el fin de garantizar la sostenibilidad de la calidad del agua a corto, mediano y largo plazo.
- 8.3. Solicitar al MINAE aplicar el Canon de Aprovechamiento de Aguas tomando como referencia este proyecto de investigación que demuestra que la microcuenca de la quebrada Victoria dispone de agua permanente para consumo humano del distrito de Curubandé.
- 8.4. Establecer un Programa de Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Agua de los sitios 13, 14 y 15 por parte del Instituto Costarricense de Electricidad con la finalidad de monitorear los impactos de los fluidos geotérmicos de los pozos geotérmicos que se encuentran cuenca arriba de la microcuenca de la quebrada Victoria.
- 8.5. Establecer en el acueducto de Curubandé un Programa de Control de Calidad del Agua considerando el número de usuarios (para una población entre 2000 y 5000 habitantes: efectuar muestreos trimestrales) y monitorear los cambios en su calidad tomando como línea base los resultados generados en este estudio, por parte de la ASADA.
- 8.6. agregar en el acueducto de Curubandé procesos unitarios mínimos como el tratamiento simple (con ajuste de pH en caso de ser necesario) y la desinfección, por parte de la ASADA
- 8.7. Implementar en el acueducto de Curubandé el “Programa de Vigilancia Sanitaria para Acueductos”, desarrollado y establecido por el Laboratorio Nacional de Aguas de Acueductos y Alcantarillados (Valiente, 1999), que incluye la evaluación con fichas de campo de la vulnerabilidad del acueducto y la contaminación microbiológica existente que dará como resultado el grado de riesgo para la salud de los usuarios.

- 8.8. Realizar un estudio hidrogeológico para la determinación de las áreas de recarga y los acuíferos de los manantiales de la microcuenca de la quebrada Victoria con el fin de declararlas áreas de protección.
- 8.9. Realizar un estudio de monitoreo de la calidad del agua de la quebrada Victoria empleando indicadores biológicos, tales como los plecópteros del género *Anacroneuria*, los cuales son muy sensibles a la contaminación, con la finalidad de completar la evaluación de la calidad de su agua.

9 BIBLIOGRAFÍA

9.1 Referencias citadas

Alvarado, I. G. 2000. Los volcanes de Costa Rica: geología, historia y riqueza natural. 2 ed. San José, Costa Rica, EUNED, 55-67.

APHA (American Public Health Association, US); AWWA (American Water Works Association, US); WPCF (Water Pollution Control Federation, US). 1995. Métodos Normalizados para el análisis de aguas potables y residuales. Madrid, Díaz de Santos, S.A., 2-1 a 2-105, 3-1 a 3-186, 4-1 a 4-235, 9-1 a 9-179.

Appelo, C.A.J.; Postma, D. 1994. Geochemistry, groundwater and pollution. Rotterdam, Netherlands, Balkema. 536 p.

Auquilla, R.C.; Astorga, Y.; Jiménez, F. 2006. Influencia del uso del suelo en la calidad del agua en la subcuenca del río Jabonal, Costa Rica. Recursos Naturales y Ambiente 48: 81-92.

Avvannavar, S.; Shrihari, S. 2008. Evaluation of water quality index for drinking purposes for river Netravathi, Mangalore, South India. Environ. Monit. Assess. 143: 279-290.

AyA (Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados). 2007. Manual de Calidad. Laboratorio Nacional de Aguas. Versión 3. San José, Costa Rica, 36 pp.

Berger, A.R. 1998. Environmental Change, Geoindicators, and the Autonomy of Nature (en línea). GSA TODAY, January 1998. Consultado 8 jul. 2007. Disponible en <http://www.lgt.lt/geoin/files/ARBGSAToday.pdf>

Berger, T. 2005. Rapid landscape change and its human effects. Weathering Change. Newsletter of the Northern Climate Change (en línea). Summer 2005. Consultado 8 jul 2007. Disponible en http://www.lgt.lt/geoin/files/weathering_change_nltr-1.pdf

Borrego, J.; Morales, J.A.; De la Torre, M.L.; Grande, J.A. 2002. Geochemical Characteristics of Heavy Metal Pollution in Surface Sediments of the Tinto and Odiel River Estuary (Southwestern Spain). Environmental Geology 41: 785-796.

CCT (Centro Científico Tropical, CR) / MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería, CR). 1993. Zonas de vida de Costa Rica según la clasificación de Holdridge, L. R. San José, Costa Rica, Escala 1:200 000. 1 Shape.

Center for Environmental Quality, US. 2007. Calculating NSF Water Quality Index (en línea). Pennsylvania, US, Wilkes University. Consultado 27 jul. 2008. Disponible en <http://www.water-research.net/watrqualindex/index.htm>

Chapman, D. 1996. Water Quality Assessment. A guide to use of biota, sediments and water in environmental monitoring. 2 ed. London, UNESCO/WHO/UNEP. 626 p.

Chavarría, L.; Mora, P.; Hakanson, E.; Molina, F.; Vega, E.; Torres, Y.; Vallejos, O.; Yock, A.; Lezama, G.; Castro, S. 2006. Miravalles Consulting Panel Meeting Development Strategies of the Pailas Geothermal Field. Guayabo, Costa Rica, Instituto Costarricense de Electricidad. 79 p.

Chevalier, J.M. 2007. La Identificación Nominal. En: La Guía Sistemas de Análisis Social (SAS) (en línea). Consultado 10 may. 2008. Disponible en <http://www.sas2.net/index.php?mact=News,cntnt01,detail,0&cntnt01articleid=10&cntnt01origid=99&cntnt01returnid=85>

Chica-Olmo, M.; Carpintero-Salvo, I.; García-Soldado, M.J.; Luque-Espinar, J.A.; Pardo Igúzquiza, E.; Rigor Sánchez, J.P. 2005. Una aproximación geoestadística al análisis espacial de la calidad del agua subterránea. *GeoFocus* no. 5: 79-93.

Chow, V.T.; Maidment, D.R.; Mays, L.W. 1994. *Hidrología Aplicada*. M. E. Suárez R. Ed. J. G. Saldarriaga. Trad. Santafé de Bogotá, Colombia, McGraw-Hill Interamericana, S.A. 584 p.

CIRA-UAEM (Centro Interamericano de Recursos del Agua-Universidad Autónoma del Estado de México, MX). 2005. Recursos Hídricos. Conceptos básicos y estudios de caso en Iberoamérica. Eds. C.D. Delgado; M.V. Esteller; F. López-Vera. Montevideo / Toluca, Piriguazú Ediciones. 747 p.

Cortés-Lara, M.C. 2003. Importancia de los coliformes fecales como indicadores de contaminación en la Franja Litoral de Bahía de Banderas, Jalisco-Nayarit. *Rev. Biomed* 14: 121-123.

Cude, C.G. 2001. Oregon Water Quality Index: A tool for evaluating Water Quality Management Effectiveness. *Journal of the American Water Resources Association* 37(1): 125-137.

Custodio, E.; Díaz, E. 2001. Sección 18: Calidad del agua subterránea. *En: Hidrología Subterránea*. Eds. E. Custodio; M.R. Llamas. 2 ed. Tomo II. Barcelona, España, Omega. P. 18.28-18.31.

Deering, C.D. 2005. Petrogenesis of Distinct Silicic Magma Types from the Lower Pleistocene Guachipelín Caldera, NW Costa Rica: Extensive Magma Mixing and Protracted Subvolcanic Residence. Thesis M.Sc. Michigan, USA, Michigan State University, 199 p.

Eaton, A.D.; Clesceri, L.S.; Rice, E.W.; Greenberg, A.E. 2005. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 21 ed. Estados Unidos, Centennial Edition. 167 pp.

ESRI (Environmental Systems Research Institute, Inc.). 2000. ArcView GIS. (Programa de cómputo). Versión 3,3. New Delhi, India. 1 disco compacto, 13 cm.

Fallas, J. 2004. Configuración de receptores Garmin Lambert Norte, Sur y CRTM. Costa Rica, Universidad Nacional. 2 p.

Fallas, J.; Valverde, C. 2008. Manejo y Priorización de Cuencas Hidrográficas. Principios, criterios e indicadores. Costa Rica, Universidad Nacional. 54 p.

Fawell, J.; Nieuwenhuijsen, M.J. 2003. Contaminants in Drinking Water. *British Medical Bulletin* 68:199-208.

Focazio, M.J.; Welch, A.H.; Watkins, S.A.; Helsel, D. R.; Horn, M.A. 2000. A Retrospective Analysis on the Occurrence of Arsenic in Ground-Water Resobres of the United Status and Limitations in Drinking-Water-Supply Characterizations (en línea). USGS (U.S. Geological Survey, US) / EPA (Environmental Protection Agency, US). *Water-Resources Investigations Report 99-4279*: 1-27. Consultado 14 oct. 2006. Disponible en <http://water.usgs.gov/nawqa/trace/pubs/wrir-99-4279/>

Foster, S.; Hirata, R.; Gomes, D.; D'Elia, M.; Paris, M. 2003. Protección de la Calidad del Agua Subterránea. México D.F., Ediciones Mundi-Prensa, 127 p.

Gamez, L. 2002. Agua transparente...deuda invisible. En Octavo Informe del Estado de la Nación en Desarrollo Humano Sostenible. San José, Costa Rica, Litrografía e imprenta Lil, S.A., 40 p.

García, L.A. 1998. Manejo Integrado de los Recursos Hídricos en América Latina y el Caribe (en línea). Washington, D.C., USA, Banco Interamericana de Desarrollo. Consultado 1 jul. 2007. Disponible en <http://www.iadb.org/sds/doc/ENV-123S.pdf>

Geotecnologías. 2000. Mapa de la división político-administrativa de Costa Rica. San José, Costa Rica, Escala 1:200 000. 1 Shape.

Gherardi, F.; Panichi, C.; Yock, A.; Gerardo-Abaya, J. 2002. Geochemistry of the Surface and Deep Fluids of the Miravalles Volcano Geothermal System (Costa Rica). *Geothermics* 31: 91-128.

Gómez, A. 2002. Monitoreo y atención de intoxicación con arsénico en El Zapote, Municipio de San Isidro, Departamento de Matagalpa, Nicaragua (en línea). Nicaragua, UNICEF. Consultado 18 nov. 2006. Disponible en <http://www.cepis.ops-oms.org/bvsacd/arsenico/monitoreo.pdf>

Hem, J.D. 1985. Study and Interpretation of the Chemical Characteristic of Natural Water (en línea). 3 ed. USA, U.S. Geological Survey Water Supply Paper 2254. 225 p. Consultado 16 may. 2007. Disponible en <http://pubs.usgs.gov/wsp/wsp2254/html/pdf.html>

Henry, J.G.; Heinke, G.W. 1999. Ingeniería Ambiental. México, Prentice Hall. 283-284.

Hounslow, A. W. 1995. Water Quality Data. New York, USA, CRC Lewis Publishers. 49-59.

Hudson, N.W. 1997. Medición sobre el Terreno de la Erosión del Suelo y de la Escorrentía. Roma, Departamento de Agricultura y Protección del Consumidor / Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Ganadería. Boletín de Suelos de la FAO – 68, capítulo 4, s.p. (en línea). Consultado 5 jun. 2007. Disponible en <http://www.fao.org/docrep/T0848S/t0848s06.htm>

IAEA (International Atomic Energy Agency, VE). 2003. A Compilation of Laboratory Procedures for the Chemical Analysis of Geothermal Water Samples. Vienna, Isotope Hydrology Section, IAEA, 148 p.

ICE (Instituto Costarricense de Electricidad, CR). 2000. Delimitación de 22 cuencas hidrográficas en el territorio nacional. San José, Costa Rica, Escala 1:200 000. 1 Shape.

ICE (Instituto Costarricense de Electricidad, CR). 2005. Estudio de Impacto Ambiental Proyecto Geotérmico Las Pailas. Tomo I. San José, Costa Rica. Expediente de la SETENA No. 788-04. Cap. 3, 129 p.

IGNCR (Instituto Geográfico Nacional de Costa Rica). 1991. Hoja de Curubandé 3148-III. 3 ed. San José, Costa Rica, Instituto Geográfico Nacional. Escala 1:50 000. 1 p. Color.

IMN (Instituto Meteorológica Nacional, CR). 2008a. EL 2008 nuevamente será muy lluvioso en el Pacífico. San José, CR. Boletín del ENOS. 2008, No. 8. Consultado 29 mar. 2008. Disponible en: <http://www.imn.ac.cr/publicaciones/boletin8nina2008.html>

IMN (Instituto Meteorológico Nacional, CR) / MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería, CR) / IGN (Instituto Geográfico Nacional, CR) / DGE (Dirección General Forestal, CR). 1996. Atlas del Cambio de Cobertura de la Tierra en Costa Rica 1979-1992. Costa Rica. 2 p.

IMN (Instituto Meteorológico Nacional, CR). 2008b. La Niña causa sequía agrícola en la zona norte y Limón. Boletín del ENOS 11. Consultado 29 may. 2008. Disponible en <http://www.imn.ac.cr/publicaciones/boletin11nina2008.html>

INEC (Instituto Nacional de Estadística y Censos, CR). 2002. IX Censo Nacional de Población: Características Sociales y Demográficas. 9 ed. San José, Costa Rica: INEC. p. 307.

InfoStat. 2002. InfoStat/Profesional. Version 1.1. FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.

Jiménez, F. 2007. Curso de Maestría. Manejo de Cuencas Hidrográficas I. Turrialba, Costa Rica, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. 66 pp.

Jiménez, F. 2008. Curso de Maestría. Manejo y Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas I. Guía para elaborar planes de gestión de cuencas hidrográficas. Turrialba, CR, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. 66 pp.

Jouravlev, A. 2004. Los servicios de agua potable y saneamiento en el umbral del siglo XXI. Serie Recursos Naturales e Infraestructura (en línea). Series CEPAL no. 74: 71 p. Santiago, Chile, División de Recursos Naturales e Infraestructura, CEPAL. Consultado 20 nov. 2006. Disponible en http://www.eclac.org/cgi-bin/getProd.asp?xml=/drni/agrupadores_xml/aes14.xml&xsl=/agrupadores_xml/agrupa_listado.xsl

Kempton, K.A. 1997. Geologic Evolution of the Rincón de la Vieja Volcanic Complex, Northwestern Costa Rica. Thesis Ph. D. Universidad of Texas, USA. 212 p.

Kiely, G. 1999. Ingeniería Ambiental. Fundamentos, entornos, tecnologías y sistemas de gestión. Madrid, España, Mc Graw-Hill. P. 91.

Madigan, M.T.; Martinko, J.M.; Parker, J. 2004. Biología de los microorganismos. Ed. I Capella. Trad. MG Fernández; T González; C Rodríguez; R Guerrero; M Sánchez; J Jiménez. 10 ed. España, Pearson Prentice Hall. 943-953.

Mora, A.D. 2003. Agua para consumo humano y disposición de excretas: situación de Costa Rica en el contexto de América Latina y el Caribe - 1960/2000 (en línea). Rev. Costarric. Salud Pública. 12(21): 31-46. Consultado 03 Sep. 2006. Disponible en: http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1409-14292003000100007&lng=es&nrm=iso

NSF (National Sanitation Foundation, US). 2007. Water Quality Index (en línea). Michigan, US. Consultado 1 jul. 2007. Disponible en: http://www.nsf.org/consumer/just_for_kids/wqi.asp

Oliver, D.M.; Heathwaite, L; Haygarth, P.M.; Clegg, C.D. 2005. Transfer of Escherichia coli to Water from Drained and Undrained Grassland after Grazing. J. Environ. Qual. 34: 918-925.

Ometo, J. P.; Martinelli, L.A.; Ballester, M.V.; Gessner, M.V.; Krusche, A.V.; Victoria, R.L.; Williams, M. 2000. Effects of Land Use on Water Chemistry and Macroinvertebrates in two streams of the Piracicaba River Basin, South-east Brazil. Freshwater Biology 44: 327-337.

OMS (Organización Mundial de la Salud, US). 1995. Guías para la calidad del agua potable. Recomendaciones. 2 ed. Ginebra: OMS. V. 1, 195 p.

OMS (Organización Mundial de la Salud, US). 1998. Guías para la calidad del agua potable. Vigilancia y control de los abastecimientos de agua a la comunidad. 2 ed. Ginebra: OMS. V. 3, 255 p.

OMS (Organización Mundial de la Salud, US). 1999. Guías para la calidad del agua potable. Addendum al volumen 1 Recomendaciones. 2 ed. Ginebra: OMS. 40 p.

OMS (Organización Mundial de la Salud, US). 2004. Guías para la calidad del agua potable. 3 ed. Ginebra: OMS. 515 p.

OMS (Organización Mundial de la Salud, US). 2006. Agua, saneamiento y salud: Enfermedades relacionadas con el agua (en línea). Consultado 20 oct. 2006. Disponible en http://www.who.int/water_sanitation_health/diseases/diseasefact/es/index.html

Ongley, E.D. 1997. Lucha contra la contaminación agrícola de los recursos hídricos. En: Estudios FAO: Riego y drenaje - 55 1997 W2598/S (en línea). Canadá, Departamento de Agricultura. Consultado 28 jul. 2007. Disponible en <http://www.fao.org/docrep/W2598S/w2598s05.htm>

OPS (Organización Panamericana de la Salud, US). 2003. Calidad del Agua Potable en Costa Rica: Situación actual y perspectiva. San José, C.R., OPS. 40 p.

OPS (Organización Panamericana de la Salud, US). 2004. Salud y Agua (en línea). Consultado 18 nov. 2006. Disponible en <http://www.cor.ops-oms.org/TextoCompleto/configuredList.asp?catid=6&cattitle=Salud+y+Ambiente>

Orozco, B.C.; Pérez, S.A.; González, D.M.N.; Rodríguez, V.F.; Alfayate, B.J.M. 2005. Contaminación Ambiental. Una visión desde la Química. Madrid, España, Thomson. 97-100.

ORSANCO (Ohio River Valley Water Sanitation Commission, US). 2007. Index Water Quality: Q-Value (en línea). Consultado 1 jul 2007. Disponible en: <http://www.orsanco.org/riverwatchers/documents/Q-value.pdf>

Pacheco Avila, J.; Pat Canul, R.; Cabrera Sansores, A. 2002. Análisis del ciclo de nitrógeno en el medio ambiente con relación al agua subterránea y su efecto en los seres vivos. México. Ingeniería Revista Académica 6(3): 73-81.

Perdomo, C.H.; Casanova, O.N.; Ciganda, V.S. 2001. Contaminación de Aguas Subterráneas con Nitratos y Coliformes en el Litoral Sudoeste del Uruguay. Agrociencia 5(1): 10-22.

Piris da Motta, M.R.; Zacharzewski, C.; Miño, J.; Bordenave, M.; Rinaldi, L.; Iurinic, P.D.; Piaggio, A.; Morchio, M.; Montiel, M.; Alberto, M.C.; Bracco, S.; Koziarski, M.; Kempski, J.C.; Kuhlmann, S.; Freitag, G.; Okulovich, G.; Santader, L. 2003. Influencia de factores socioeconómicos y culturales en la asociación entre índices de caries dental y la fluoración del agua potable. Buenos Aires, AIDIS. Congreso Argentino de Saneamiento y Medio Ambiente, 13: 1-3.

Presidencia de la República y Ministerio de Salud de Costa Rica. 2005. Reglamento para la Calidad del Agua Potable. Decreto No. 32327-S. La Gaceta No. 84, 3 may 2005, revisado 1 jul 2005. No. 84: 1-16.

Presidencia de la República, Ministerio de Salud y de Ambiente y Energía de Costa Rica. 2007. Reglamento para la evaluación y clasificación de la calidad de cuerpos de agua superficiales. La Gaceta No. 178. 7 pp.

Programa Estado de la Nación, CR. 2006. Armonía con la naturaleza. En: Undécimo Informe Estado de la Nación en Desarrollo Humano Sostenible. 2 ed. San José, CR, Litrografía e imprenta Lil, S.A. p. 205-211.

Rivera, N.R.; Encina, F.; Muñoz-Pedrerros, A.; Mejia, P. 2004. La Calidad de las Aguas en los Ríos Cautín e Imperial, IX Región-Chile (en línea). Inf. Tecnol. 15(5): 89-101. Consultado 21 feb. 2007.. Disponible en http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642004000500013&lng=es&nrm=iso

Rojas, R. 2002. Guía para la Vigilancia y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano. Lima, Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (OPS/CEPIS). 353 p.

Romero, R.J.A. 1999. Calidad del Agua. 2 ed. México, Alfaomega Grupo Editor, S.A. 176 p.

Ruza, R.J.; Puig, I.A. 2004. Manual para el Análisis de Presiones e Impactos relacionados con la Contaminación de las Masas de Aguas Superficiales. Madrid, España, Ministerio de Medio Ambiente. 49 p.

Sánchez, M. 2007a. Comentario Meteorológico de Octubre del 2007 (en línea),. Instituto Meteorológico Nacional de Costa Rica. San José, CR. Boletimn Meteorológico 2007 No. 5, 2-21. Consultado 8 ene. 2008. Disponible en: <http://www.imn.ac.cr/publicaciones/BMET102007.pdf>

Sánchez, M. 2007b. Comentario Meteorológico de Noviembre del 2007 (en línea). Instituto Meteorológico Nacional de Costa Rica. San José, CR. Boletimn Meteorológico 2007, No. 6, 2-21. Consultado 8 ene. 2008. Disponible en: <http://www.imn.ac.cr/publicaciones/BMET102007.pdf>

Sawyer, C.N.; McCarty, P.L.; Parking, G.F. 2001. Química para ingeniería ambiental. Trad. LA De García. 4 ed. Colombia, McGraw-Hill. 715 p.

Sharpley, A.N.; Daniel, T.; Sims, T.; Lemunyon, J.; Stevens, R.; Parry, R. 2003. Agricultural Phosphorus and Eutrophication. 2 ed. Washington, D.C., USA, United Status Department of Agriculture. 43 pp.

Soto, G. J.; Alvarado, G.E.; Goold, S. 2003. Erupciones < 3800 a.P. del volcán Rincón de la Vieja, Costa Rica. Revista Geológico de América Central, 29: 67-86.

Stolz, W. 2008. Informe Tormenta Tropical ALMA. Instituto Meteorológico Nacional, San José, CR. Consultado 29 may. 2008. Disponible en <http://www.imn.ac.cr/alertas/index.html>

Tassi, F.; Vaselli, O.; Capaccioni, B.; Giolito, C.; Duarte, E.; Fernandez, E.; Minissale, A.; Magro, G. 2005. They Hydrothermal-volcanic System of Rincon de la Vieja Volcano (Costa Rica): A Combined (inorganic and organic) Geochemical approach to understanding the origin of the fluid discharges and its possible application to volcanic surveillance. Journal of Volcanology and Geothermal Research 148: 315-333.

U.S.G.S. (United States Geological Survey). 2006. National field manual for the collection of water-quality data: U.S. Geological Survey Techniques of Water-Resources Investigations (en línea). Ed. F.D. Wilde. Versión 2.1, Libro 9, capítulo A6. Consultado 1 jul. 2007. Disponible en <http://pubs.water.usgs.gov/twri9A>.

UNA (Universidad Nacional de Costa Rica). 2008. Seminario Enfoques y Aprendizajes en el Manejo y la Gestión de Cuencas Hidrográficas (1, 2008, Heredia, Costa Rica). 2008. Manejo de Cuencas Hidrográficas: Experiencias (diapositivas). J. Faustino. CR. 38 diapositivas, color.

Valiente, C. 1999. Vigilancia sanitaria del agua: un nuevo enfoque para municipalidades de Costa Rica (en línea). *Rev. Costarric. Salud Pública* 8 (15): 73-85. Consultado 20 feb. 2007. Disponible en http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1409-14291999000200008&lng=pt&nrm=iso

Valiente, C.; Mora, D. 2002. El papel del agua para consumo humano en los brotes de diarrea reportados en el período 1999 - 2001 en Costa Rica (en línea) *Rev. Costarric. Salud Pública*. 11(20): 26-40. Consultado 19 Nov. 2006. Disponible en http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1409-14292002000100005&lng=pt&nrm=iso

Vergara, M.S. 2001. Índices de calidad de agua como indicador de contaminación y su distribución espacio-temporal en el Río Rocha (en línea). Tesis Maestría Profesional en Levantamiento de Recursos Hídricos, Manejo y Conservación de Cuencas. Bolivia, Universidad Mayor de San Simón. 64 pp. Consultado 1 jul 2007. Disponible en www.umss.edu.bo/epubs/earts/downloads/72.pdf

Wayland, K.G.; Long, D.T.; Hyndam, D.W.; Pijanowski, B.C. 2003. Identifying Relationships between Baseflow Geochemistry and Land use with Synoptic Sampling and R-Mode Factor Analysis. *J. Environ. Qual.* 32: 180-190.

WHO (World Health Organization, US). 2001. WHO Highlights Global Impact of Unsafe Water. Reuters Health Information (en línea). Consultado 5 jun. 2007. Disponible en <http://id.medscape.com/reuters/prof/2001/03/03.23/20010322publ002.html>

WWAP (Programa Mundial de evaluación de los Recursos Hídricos, FR). 2003. Primer Informe de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo. Resumen Ejecutivo. Agua para Todos, Agua para la Vida (en línea). Consultado 12 oct. 2006. Disponible en http://www.unesco.org/water/wwap/index_es.shtml.

WWAP (Programa Mundial de evaluación de los Recursos Hídricos, FR). 2006. Segundo Informe de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo.

9.2 Comunicaciones personales

Fournier, P. M. 2008. Comunicación personal. Gerente, Hotel Guachipelín. Guanacaste, Costa Rica.

López Sánchez, A. 2008. Comunicación personal. Presidente, Asociación Administradora de Acueductos y Alcantarillados de Curubandé, Guanacaste, Costa Rica.

Valiente, C. 2008. Comunicación personal. Microbióloga. Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. San José, Costa Rica.

Vásquez Vásquez, J. 2008. Comunicación personal. Ingeniero forestal, Instituto Costarricense de Electricidad, San José, Costa Rica.

Watson Céspedes, W. 2008. Comunicación personal. Director, Escuela de Curubandé, Guanacaste, Costa Rica.

10 ANEXOS

En esta sección se presentan los cuadros, cálculos, estadísticos, material utilizado en los trabajos de campo y fotografías tomadas.

10.1 Anexos 1. Cuadros

Cuadro 58. Lista de participantes de la primera actividad realizada el 28 de noviembre del 2007 en el Salón Comunal de Curubandé.

No.	Nombre
1	María Angelina Juárez M.
2	Henry Ramírez Elizondo
3	Carolina Amador Solís
4	Felipe De La O M.
5	Carmen Juárez M.
6	M. E. Jiménez De La O.
7	M. Esther Jiménez
8	Yakira Montiel Jiménez
9	María F. Jiménez De La O.
10	Enid Juárez M.
11	Yanori Traña Carmona
12	Olga Chavarría
13	Natalia León Cubillo
14	Julio Juárez M.
15	Aracello Traña Martínez
16	Olga Traña Martínez
17	Viviana Martínez Chavarría
18	Gilber Duarte Ordñez
19	Alejandro Díaz
20	Kristyn Martínez Juárez
21	Martín Martínez
22	María Doris Muñiz
23	Doris L.
24	Victoria Jiménez Ch.
25	Lidia Chavarría M.
26	Melissa Montero Chavarría

27	Anabelis Montero Soto
28	Adrián Jiménez
29	Javier Villalobos Cortés
30	Dunia Patricia Ramírez
31	Juan José García
32	Edgar Díaz Cordero
33	Anabel Elizondo Vega
34	Karla Amador Solís
35	Donald Palma Villegas
36	Alvaro López Sánchez
37	Jesús Vásquez Vásquez
38	Gabriela Zeledón

Cuadro 59. Lista de participantes de la segunda actividad realizada el 7 de agosto del 2008 en el Salón Comunal de Curubandé.

No.	Nombre
1	Carolina Amador Solís (Secretaria de la ASADA)
2	María Angelina Juárez Miranda (Vocal de la Asociación de Desarrollo de Curubandé)
3	Alvaro López Sánchez (Presidente de la ASADA)
4	Gipsy López A. (vecino de Curubandé)
5	Juan José García Zelaya (Vocal de la ASADA)
6	Amabelis Montero Soto (vecino de Curubandé)
7	Danubio Quirós Picado (Fiscal de la ASADA)
8	Jesús Vásquez Vásquez (Encargado de Unidad de Gestión Ambiental del ICE)
9	Damaris Traña (vecino de Curubandé)
10	Gabriela Martínez Ch. (vecino de Curubandé)
11	María Nelly A.M. (vecino de Curubandé)
12	William Watson Céspedes (director de la Escuela de Curubandé)
13	Martha Traña Martínez (vecino de Curubandé)
14	Ana Maria León Montero (Profesora de la Escuela de Curubandé)
15	Mario Gabriela Zeledón (vecino de Curubandé)
16	Yolanda González S. (Relaciones Públicas del ICE)

Cuadro 60. Lista de participantes de la tercera actividad realizada el 3 de setiembre del 2008 en el Salón Comunal de Curubandé.

No.	Nombre
1	Zaido Lorena Viales Cavaría (Asociación de Desarrollo)
2	Manuel Navarro S.
3	Mailenis Chavarría G.
4	María Fidencia Jiménez D.
5	Carmen Juárez Martínez
6	Julia J. Chavarría
7	Aurelia Jiménez Chavarría
8	Danubio Quirós Picado (Fiscal de la ASADA)
9	María Angelina Juárez Miranda
10	Maikel Juárez Ch.
11	Martha Paíz
12	Bisnar Antonio López
13	Yanareth Carmona Palma
14	Edgar Día Castro
15	Victoria Jiménez Chavarría
16	Juan José García
17	Wagner Venegas
18	Álvaro López Sánchez (Presidente de la ASADA)
19	Jesús Vásquez Vásquez (Encargado de Gestión Ambiental del ICE)
20	María Gabriela Zeledón Angulo

Cuadro 61. Límites recomendados y máximos admisibles de los parámetros de calidad del agua del Reglamento Costarricense para la Calidad del Agua Potable.

No	Nivel 1		Límite recomendado	Límite máximo admisible
	Parámetro (unidad)			
1	Coliforme fecal (NMP/100 mL o UFC/100 mL)		Ausente	Ausente
2	Escherichia coli (NMP/100 mL o UFC/100 mL)		Ausente	Ausente
3	Color aparente (mg/L U - Pt-Co)		5	15
4	Turbidez (UNT)		<1	5
5	Olor		Aceptable	Aceptable
6	Sabor		-	-
7	Temperatura (°C)		18	30
8	pH		6,5	8,5
9	Conductividad (μS/cm)		400	-
10	Cloro Residual Libre (mg/L)		0,3	0,6
11	Cloro Residual (mg/L)		1,0	1,8
Nivel 2				
12	Dureza Total (mg/L CaCO ₃)		400	500
13	Cloruro (mg/L)		25	250
14	Fluoruro (mg/L) ^a		-	0,7 a 1,5
15	Nitrato (mg/L)		25	50
16	Sulfato (mg/L)		25	250
17	Aluminio (mg/L)		0,2	-
18	Calcio (mg/L)		100	-
19	Magnesio (mg/L)		30	50
20	Sodio (mg/L)		25	200
21	Potasio (mg/L)		-	10
22	Hierro (mg/L)		-	0,3
23	Manganeso (mg/L)		0,1	0,5
24	Zinc (mg/L)		-	3,0
25	Cobre (mg/L)		1,0	2,0
26	Plomo (mg/L)		-	0,01
Nivel 3				
27	Nitrito (mg/L) ^b		-	0,1 a 3,0
28	Amonio (mg/L)		0,05	0,5
29	Arsénico (mg/L)		-	0,01
30	Cadmio (mg/L)		-	0,003
31	Cromo (mg/L)		-	0,05
32	Mercurio (mg/L)		-	0,001
33	Níquel (mg/L)		-	0,02
34	Antimonio (mg/L)		-	0,005
35	Selenio (mg/L)		-	0,01
Nivel 4				
36	Sólidos totales disueltos (mg/L)		-	-
37	Sulfuro de Hidrógeno (mg/L)		-	0,05

Notas: (-): no indica. (a): 1,5 mg/L para temperaturas de 8 a 12 °C y 0,7 mg/L para temperaturas de 25 a 30 °C. (b): el valor es 0.1 si el nitrito se evalúa en forma independiente del nitrato; es 0,3 si se evalúa junto con el nitrato. Nivel 1 a 4: Nivel de Control de Calidad del agua. Fuente: Presidencia de la República y Ministerio de Salud de Costa Rica. 2005.

10.2 Anexo 2. Cálculos

Ejemplo 1. Cálculo de la dureza del agua del sitio 1 del 13 de setiembre del 2007, empleando las concentraciones de calcio y magnesio determinadas por medio de análisis.

Siendo la concentración de calcio de 21 mg/L y la de magnesio de 6 mg/L, la dureza del agua se calcula con la ecuación 3 dando una concentración de 77 mg/L de CaCO₃, tal como se muestra a continuación:

$$\text{Dureza} = 21 * 50 / 20 + 6 * 50 / 12,15 = 77 \text{ mg/L de CaCO}_3$$

La dureza del agua considerando solamente el magnesio como principal ión contribuyente, se calcula tal como se muestra a continuación:

$$\text{Dureza} = 6 * 50 / 12,15 = 25 \text{ mg/L de CaCO}_3$$

Ejemplo 2. Cálculo del caudal del agua del sitio 2 del 13 de setiembre del 2007, empleando el molinete marca Seba D-87600 Kaufbeuren, Nr. F1 2169, modelo Z6, Alemana.

Sección	No. Vueltas durante 120 segundo				n		Velocidad (cm/s)		Velocidad media (cm/s)	Profundidad (cm)	Ancho sección (cm)	Área (cm ²)	CAUDAL		
	0,8 P		0,2 P		0,8 P	0,2 P	0,8 P	0,2 P					cm ³ /s	L/s	m ³ /s
A	266	269	239	242	2,23	2,00	71,63	64,42	68,03	58	85	4930	335384	335	0,335
B	266	264	216	224	2,21	1,83	70,97	59,08	65,02	50	85	4250	276339	276	0,276
Ancho del área transversal (cm):											170	Caudal total:	612	0,612	

Ejemplo 3. Cálculo del índice de calidad del agua de la NSF del sitio 1 del 13 de setiembre del 2007.

Parámetro	Resultados	Valor-Q	Factor de ponderación	Subtotal
Oxígeno disuelto (% SO)	85	91	0,17	15,47
Coliformes fecales (colonias/100 mL)	43	54	0,16	8,64
pH (unidades)	5.6	44	0,11	4,84
Demanda Bioquímica de oxígeno (mg/L)	0,45	98	0,11	10,78
Fosfatos totales (mg/L PO ₄ ³⁻ -P)	0	100	0,1	10
Nitratos (mg/L NO ₃ ⁻)	0,1	97	0,1	9,7
Turbiedad (NTU)	7,55	81	0,08	6,48
Sólidos totales (mg/L)	226	69	0,07	4,83
Índice de calidad del agua (9 parámetros):				66
Índice de calidad del agua (8 parámetros):				79
Calidad del agua:				Buena

Ejemplo 4. Cálculo del índice de grado de contaminación del agua según el HICA del sitio 1 del 13 de setiembre del 2007.

Parámetro	Resultado	Puntaje
Oxígeno disuelto (% SO)	85	2
Demanda Bioquímica de oxígeno (mg/L)	<2	1
Nitrógeno amoniacal (mg/L NH ₄ ⁺ -N)	<0,09	1
Total de puntos:		4
Grado de contaminación:		Incipiente

10.3 Anexo 3. Estadística

En esta sección se presentan los cálculos estadísticos realizados.

10.3.1 Gráficos

Los histogramas de la frecuencia relativa y la relación de los datos observados en función de la normal se presentan a continuación.

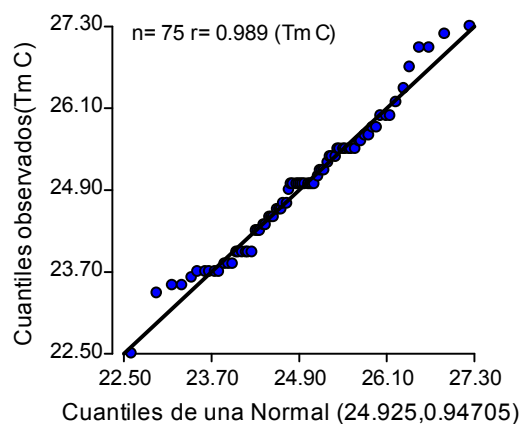
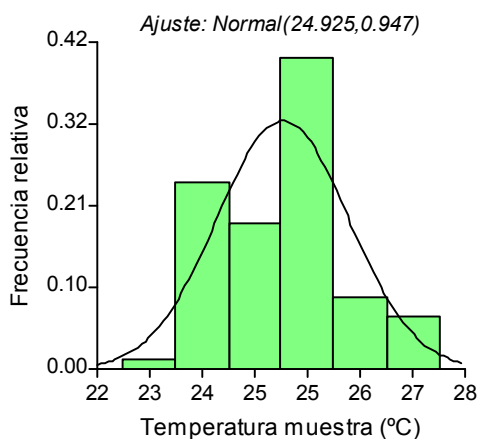


Gráfico 1a: Histograma de frecuencia relativa de temperatura de muestra.

Gráfico 1b: Relación de datos observados en función de la normal de la temperatura de muestra.

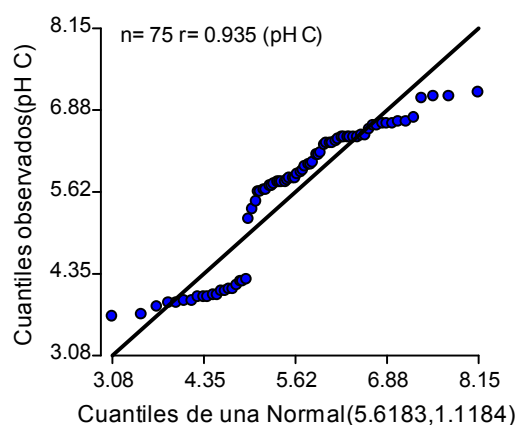
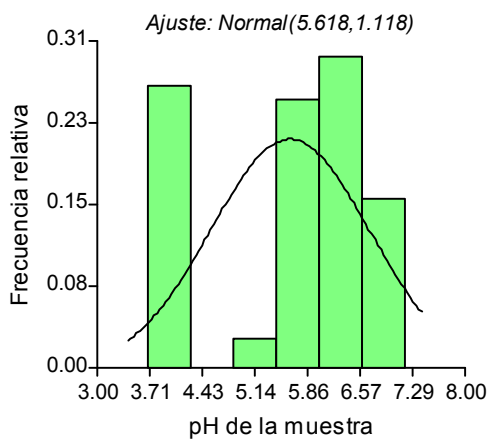


Gráfico 2a: Histograma de frecuencia relativa del pH de la muestra.

Gráfico 2b: Relación de datos observados en función de la normal del pH.

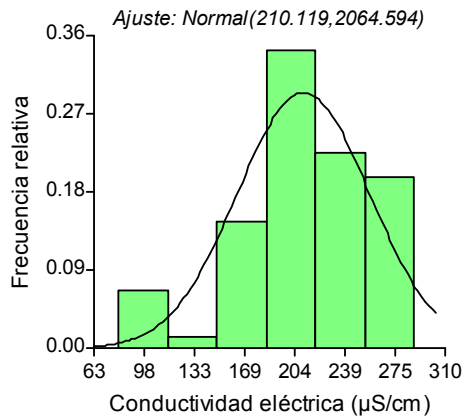


Gráfico 3a: Histograma de frecuencia relativa de la conductividad.

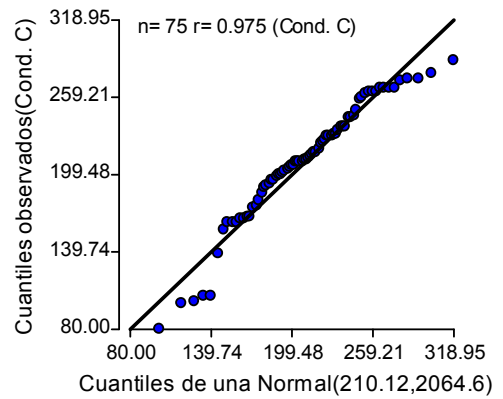


Gráfico 3b: Relación de datos observados en función de la normal de la conductividad.

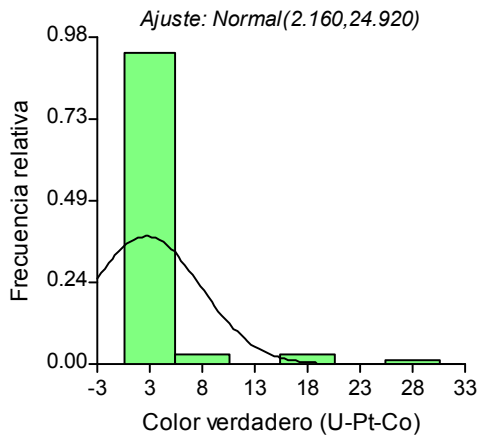


Gráfico 4a: Histograma de frecuencia relativa del color verdadero.

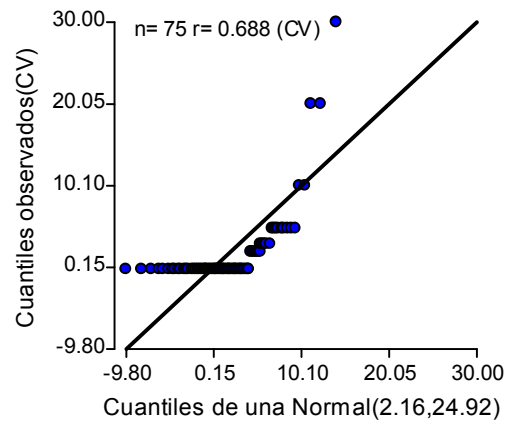


Gráfico 4b: Relación de datos observados en función de la normal del color verdadero.

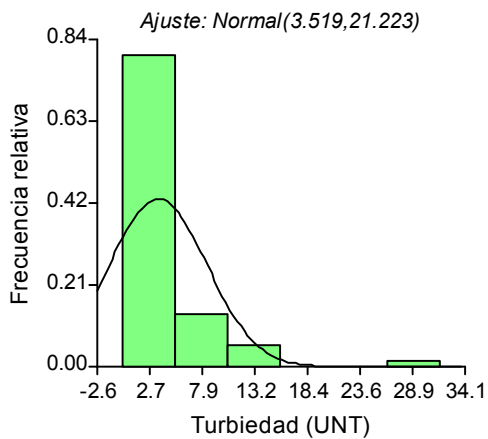


Gráfico 5a: Histograma de frecuencia relativa de la turbiedad.

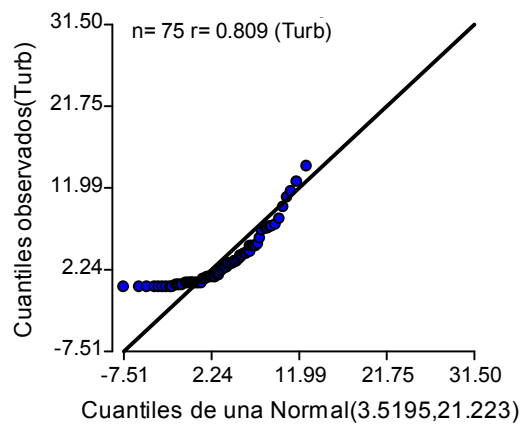


Gráfico 5b: Relación de datos observados en función de la turbiedad.

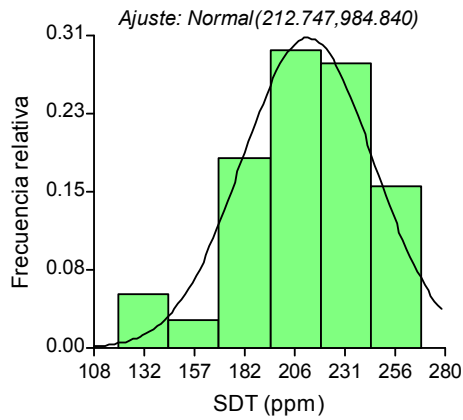


Gráfico 6a: Histograma de frecuencia relativa de la concentración de SDT.

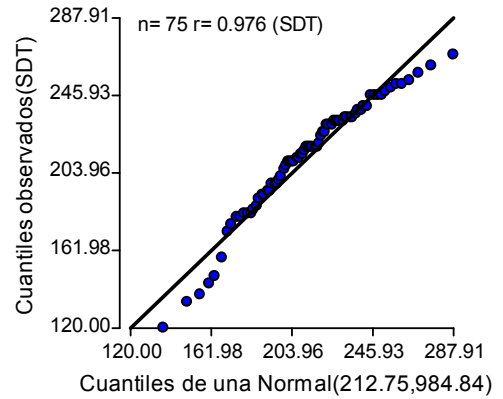


Gráfico 6b: Relación de datos observados en función de la normal de SDT.

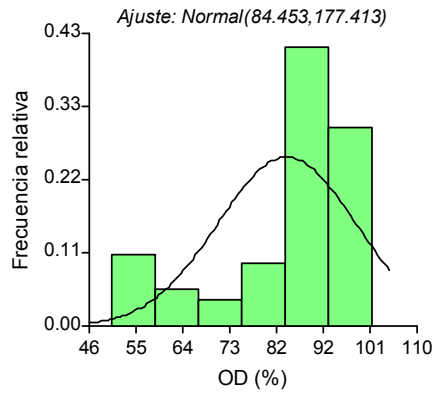


Gráfico 7a: Histograma de frecuencia relativa del oxígeno disuelto.

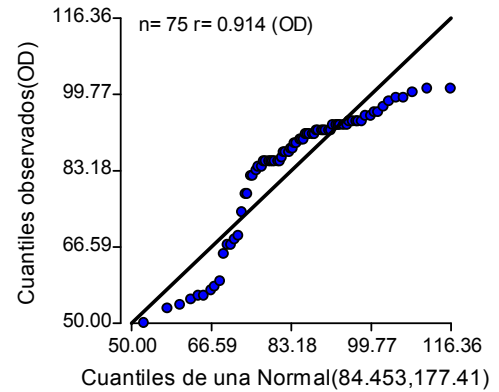


Gráfico 7b: Relación de datos observados en función de la normal del oxígeno disuelto.

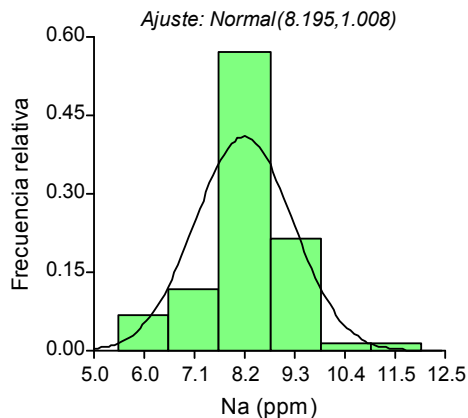


Gráfico 8a: Histograma de frecuencia relativa del sodio.

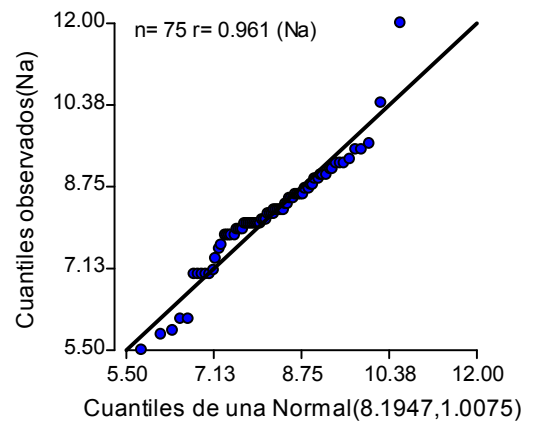


Gráfico 8b: Relación de datos observados en función de la normal del sodio.

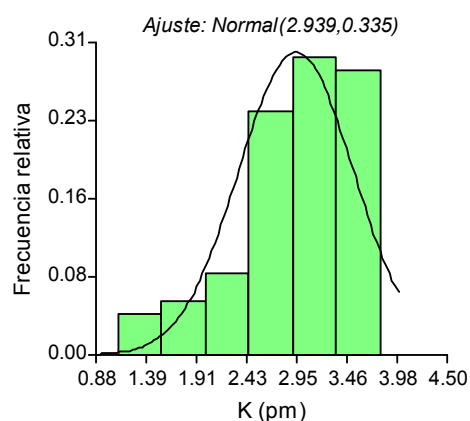


Gráfico 9a: Histograma de frecuencia relativa del potasio.

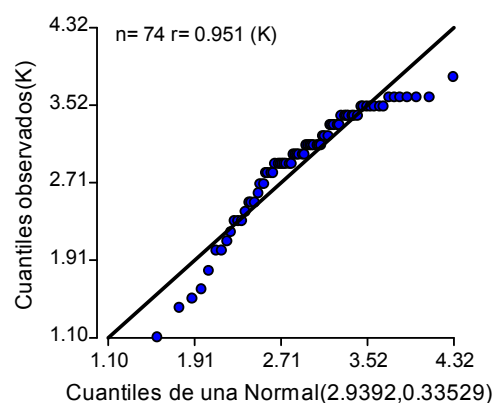


Gráfico 9b: Relación de datos observados en función de la normal del potasio.

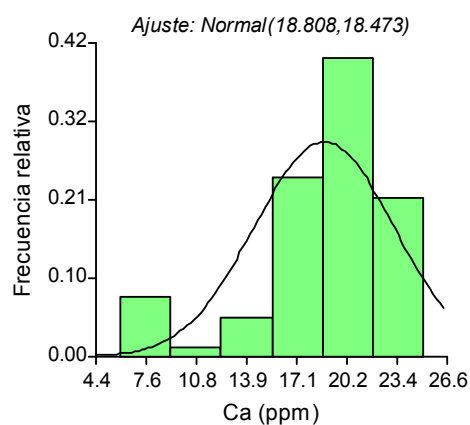


Gráfico 10a: Histograma de frecuencia relativa del calcio.

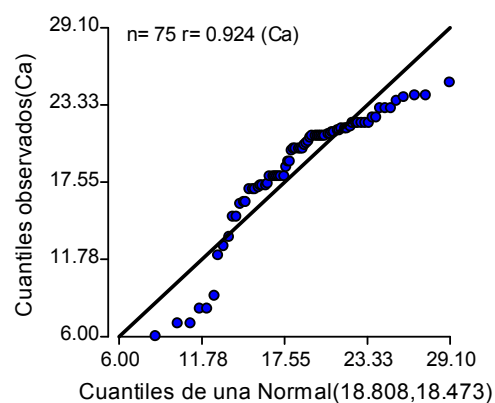


Gráfico 10b: Relación de datos observados en función de la normal del calcio.

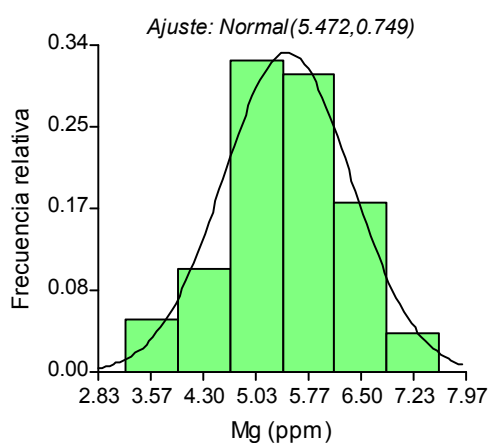


Gráfico 11a: Histograma de frecuencia relativa del magnesio.

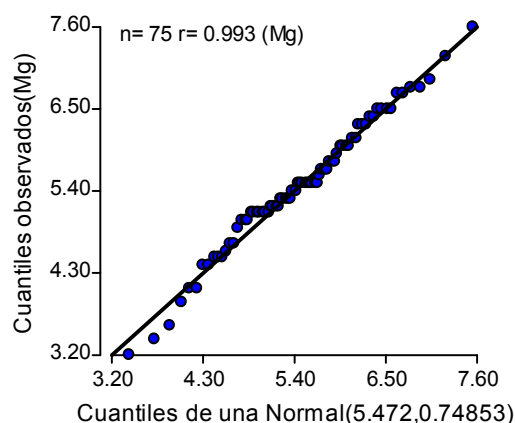


Gráfico 11b: Relación de datos observados en función de la normal del magnesio.

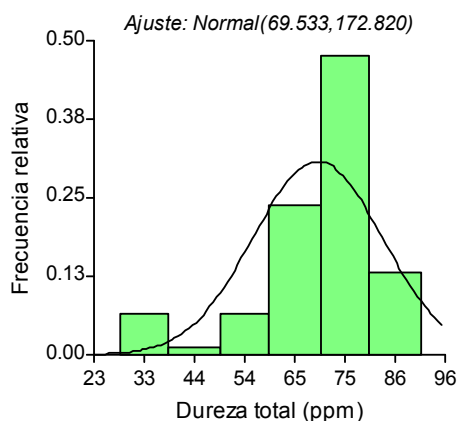


Gráfico 12a: Histograma de frecuencia relativa de la dureza.

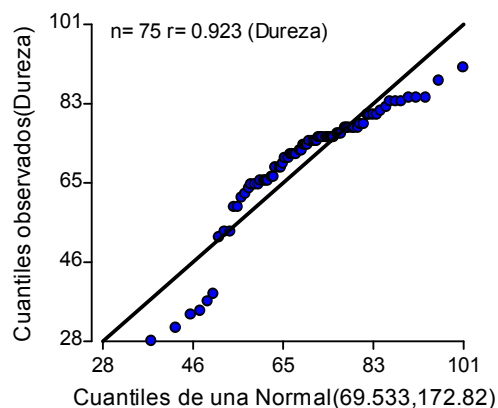


Gráfico 12b: Relación de datos observados en función de la normal de la dureza.

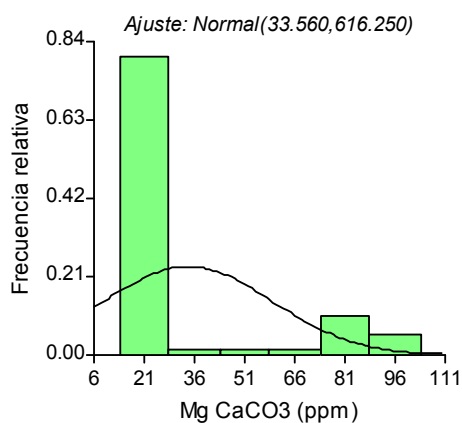


Gráfico 13a: Histograma de frecuencia relativa de la dureza del magnesio.

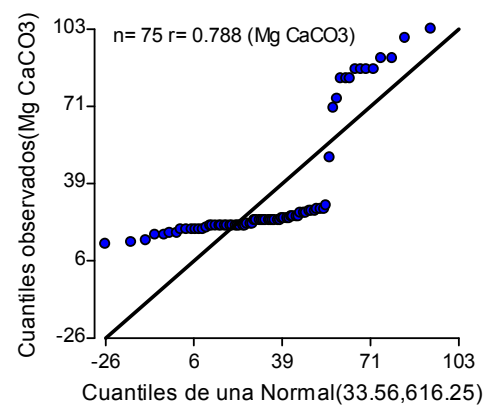


Gráfico 13b: Relación de datos observados en función de la normal de la dureza del Mg.

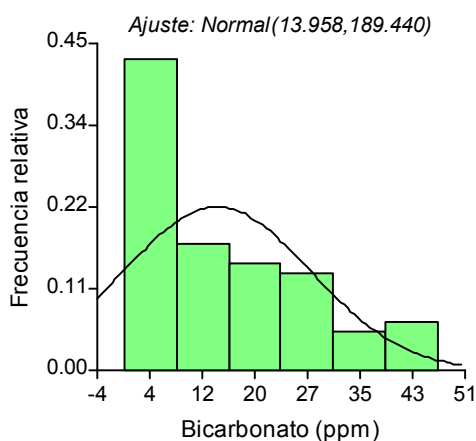


Gráfico 14a: Histograma de frecuencia relativa del bicarbonato.

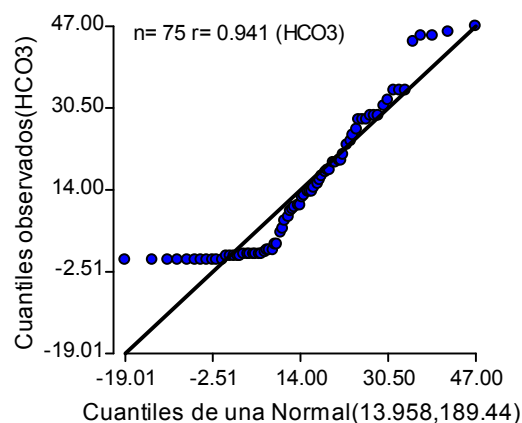


Gráfico 14b: Relación de datos observados en función de la normal del bicarbonato.

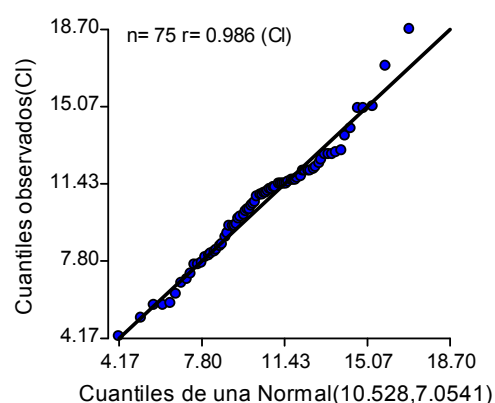
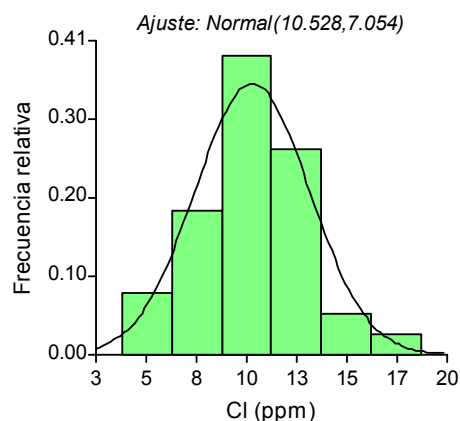


Gráfico 15a: Histograma de frecuencia relativa del cloruro.

Gráfico 15b: Relación de datos observados en función de la normal del cloruro.

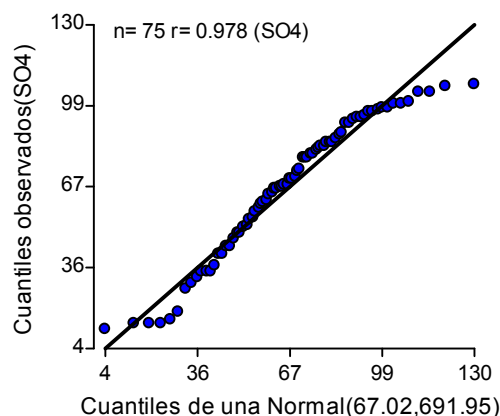
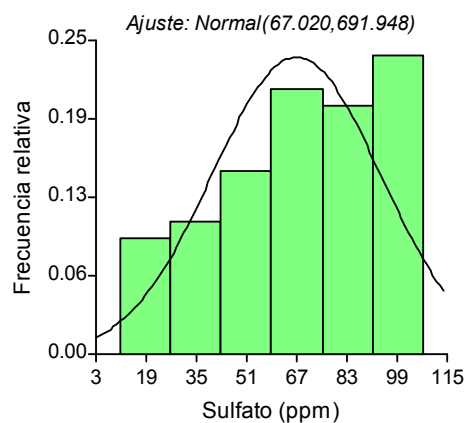


Gráfico 16a: Histograma de frecuencia relativa del sulfato.

Gráfico 16b: Relación de datos observados en función de la normal del sulfato.

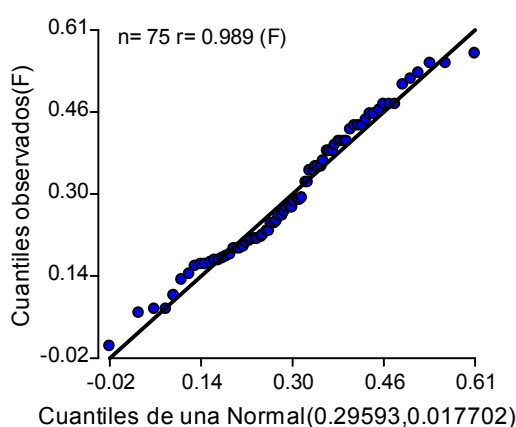
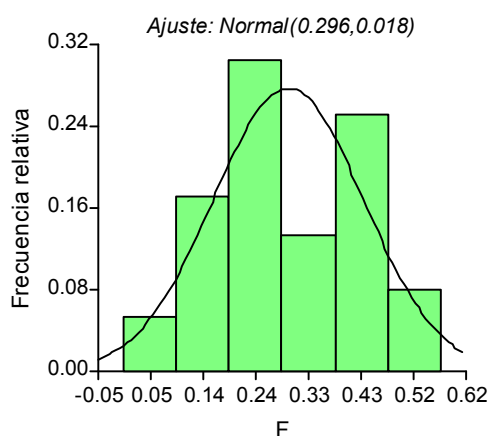


Gráfico 16a: Histograma de frecuencia relativa del fluoruro.

Gráfico 16b: Relación de datos observados en función de la normal del fluoruro.

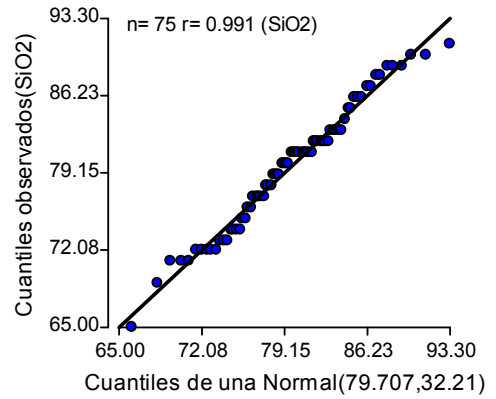
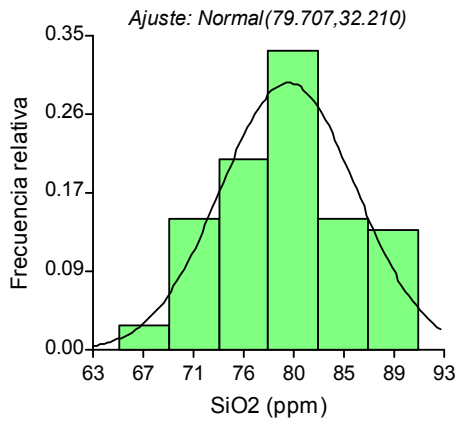


Gráfico 17a: Histograma de frecuencia relativa de la sílice.

Gráfico 17b: Relación de datos observados en función de la normal de la sílice.

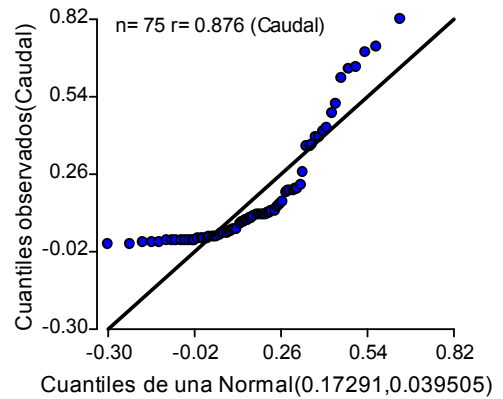
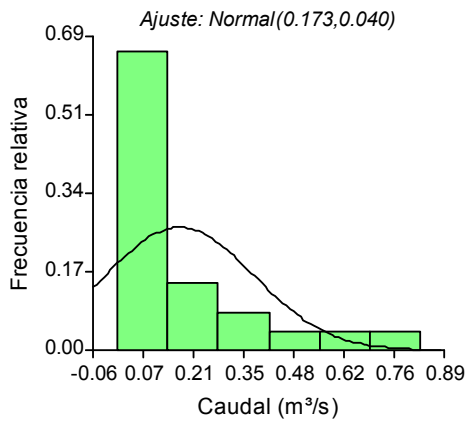


Gráfico 18a: Histograma de frecuencia relativa del caudal.

Gráfico 18b: Relación de datos observados en función de la normal del caudal.

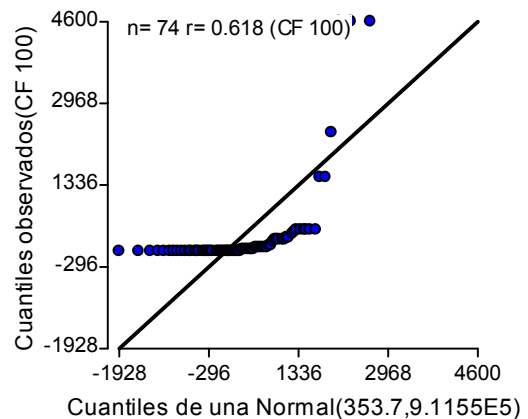
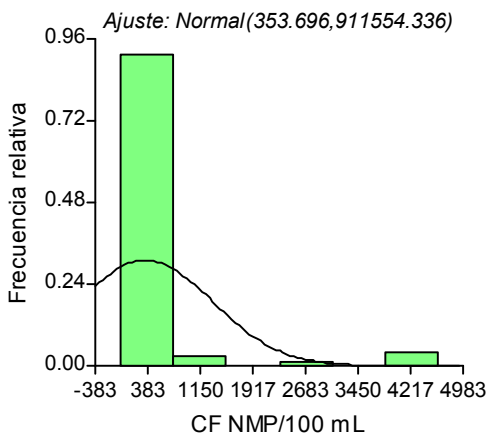


Gráfico 19a: Histograma de frecuencia relativa de los coliformes fecales.

Gráfico 19b: Relación de datos observados en función de la normal de los CF.

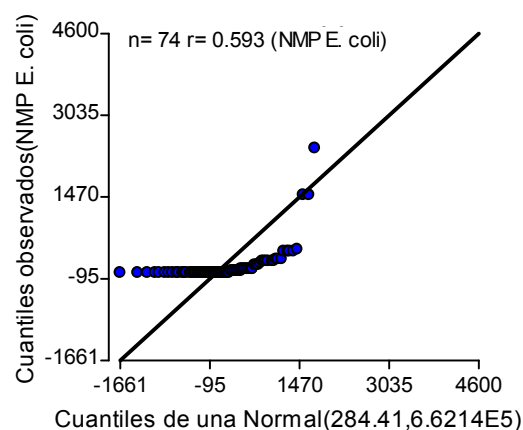
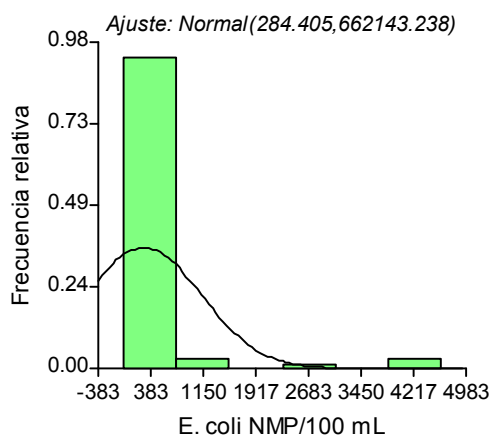


Gráfico 20a: Histograma de frecuencia relativa de la *Escherichia coli*.

Gráfico 20b: Relación de datos observados en función de la normal de la *E. coli*.

Fuente: InfoStat 2002.

10.3.2 Pruebas estadísticas

10.3.2.1 Prueba de Shapiro-Wilks modificado

Se presentan ejemplos de la prueba de Shapiro-Wilks modificado que se aplicaron.

Cuadro 62. Resultados de Shapiro-Wilks modificado de la temperatura de la muestra.

Variable	n	Media	D.E.	W	p (una cola)
Residuo Tm	75	0,00	0,96	0,97	0,5752

D.E.: desviación estándar. Tm: temperatura de la muestra. Fuente: InfoStat 2002.

Cuadro 63. Resultados de Shapiro-Wilks modificado de los coliformes fecales.

Variable	n	Media	D.E.	W	p (una cola)
Residuo CF	74	0,00	944,34	0,46	< 0,0001

D.E.: desviación estándar. CF: coliformes fecales. Fuente: InfoStat 2002.

10.3.2.2 Análisis de la varianza para la prueba de Levene

Se presenta un ejemplo del análisis de varianza que se realizó para aplicar la prueba de Levene utilizando el valor absoluto de los residuos de los parámetros.

Cuadro 64. Análisis de la varianza (SC tipo I) de la temperatura.

F.V.	SC	gl	CM	F	Valor-p
Modelo	20,05	17	1,18	10,79	< 0,0001
Época	0,36	2	0,18	1,66	0,1996
Sitio	19,59	14	1,14	12,80	< 0,0001
Muestra 1-2	0,10	1	0,10	0,93	0,3396
Error	6,23	57	0,11	-	-
Total	26,29	74	-	-	-

F.V.: Variable; SC: suma de los cuadrados; gl: grado de libertad; CM: cuadrado medio, F: valor F; (-): no dato. Fuente: InfoStat 2002.

10.3.2.3 Prueba de Kruskal-Wallis

Se presentan ejemplos de la prueba de Kruskal-Wallis que se aplicó a los resultados de los parámetros.

Cuadro 65. Resultados de la prueba de Kruskal-Wallis del pH.

Variable	Epoca	Mediana	D.E.	gl	H	Valor-p
pH	Lluviosa	6,05	1,08	2	0,93	0,6275
	Seca	5,80	1,05			
	Transición	5,81	1,09			

D.E.: desviación estándar. Fuente: InfoStat 2002.

Cuadro 66. Resultados de la prueba de Kruskal-Wallis de la turbiedad.

Variable	Epoca	Mediana	D.E.	gl	H	Valor-p
Turbiedad	Lluviosa	3,18	2,98	2	9,56	0,0084
	Seca	1,38	1,37			
	Transición	6,90	8,18			

D.E.: desviación estándar. Fuente: InfoStat 2002.

10.4 Anexo 4. Volantes y carta

El contenido de los volantes que se repartieron en las casas del distrito de Curubandé por parte de la ASADA para la invitación a las actividades se presenta a continuación.

Cuadro 67. Contenido de volante o carta.

Actividad	Contenido del volante o carta
Volante para la primera actividad informativa:	Les invitamos a participar en la reunión de presentación del proyecto de investigación sobre la “Evaluación de la calidad físico-química y bacteriológica del agua para consumo humano de la microcuenca de la quebrada Victoria, Guanacaste, Costa Rica”, que se celebrará en el Salón Comunal de Curubandé de Liberia el 28 de noviembre del 2007 a las 6 p.m. Habrá refrigerios al finalizar las actividades.
Contenido de la carta de invitación a los actores clave para el taller participativo:	<p>La señorita Bi Yun Zhen Wu, estudiante de la Maestría de Manejo de Recursos Naturales de la UNED, está desarrollando una investigación de tesis titulada “Evaluación de la calidad físico-química y bacteriológica del agua para consumo humano de la quebrada Victoria, Curubandé, Guanacaste, Costa Rica”.</p> <p>Se entrega un informe con los resultados obtenidos de esta evaluación, con la finalidad de que sean utilizados como línea base para desarrollar un plan de acción para el manejo sostenible de esta microcuenca, para lo cual les invitamos a participar en un taller que se desarrollará el jueves 7 de agosto del 2008 a las 1:30 p.m. en el Salón Comunal de Curubandé de Liberia, Guanacaste.</p> <p>Estamos seguros que los insumos que aportará cada uno de ustedes en ese taller, serán valiosos para desarrollar de manera conjunta y concertada un plan de acción para el manejo y uso sostenible del recurso hídrico de esta quebrada y evitar así en el futuro cualquier conflicto.</p> <p>Esperamos contar con su valiosa participación en el mencionado taller.</p> <p>Se adjunta el cronograma del taller.</p>
Volante para la actividad final:	¿Le interesa saber sobre el agua que estás consumiendo? Asista a la reunión que se llevará a cabo el miércoles 3 de setiembre en el salón comunal de Curubandé a las 5:30 pm. Habrá refrigerios al finalizar la actividad. ¡Muchas gracias por su interés, participación y colaboración! ¡Un esfuerzo conjunto por el manejo sustentable del agua para las presentes y futuras generaciones!

10.5 Anexo 5. Fotos

En esta sección se presentan las fotografías tomadas para este proyecto de investigación.

10.5.1 Sitios de la red de muestreo



Foto 1. Sitio 1, toma de agua del distrito de Curubandé, de la red de muestreo de la microcuenca de la quebrada Victoria, Guanacaste, Costa Rica.

Autora: Bi Yun Zhen Wu, 2008.



Foto 2. Sitio 2, unión de los sitios 3 y 4, de la red de muestreo de la microcuenca de la quebrada Victoria, Guanacaste, Costa Rica.

Autora: Bi Yun Zhen Wu, 2008.



Foto 3. Sitio 3 de la red de muestreo de la microcuenca de la quebrada Victoria, Guanacaste, Costa Rica.

Autora: Bi Yun Zhen Wu, 2008.



Foto 4. Sitio 4 de la red de muestreo de la microcuenca de la quebrada Victoria, Guanacaste, Costa Rica.

Autora: Bi Yun Zhen Wu, 2008.



Foto 5. Sitio 5 de la red de muestreo de la microcuenca de la quebrada Victoria, Guanacaste, Costa Rica.

Autora: Bi Yun Zhen Wu, 2008.



Foto 6. Sitio 6 de la red de muestreo de la microcuenca de la quebrada Victoria, Guanacaste, Costa Rica.

Autora: Bi Yun Zhen Wu, 2008.



Foto 7. Sitio 7 de la red de muestreo de la microcuenca de la quebrada Victoria, Guanacaste, Costa Rica.

Autora: Bi Yun Zhen Wu, 2008.



Foto 8. Sitio 8 de la red de muestreo de la microcuenca de la quebrada Victoria, Guanacaste, Costa Rica.

Autora: Bi Yun Zhen Wu, 2008.



Foto 9. Sitio 9 de la red de muestreo de la microcuenca de la quebrada Victoria, Guanacaste, Costa Rica.

Autora: Bi Yun Zhen Wu, 2008.



Foto 10. Sitio 10 de la red de muestreo de la microcuenca de la quebrada Victoria, Guanacaste, Costa Rica.

Autora: Bi Yun Zhen Wu, 2008.



Foto 11. Sitio 11 de la red de muestreo de la microcuenca de la quebrada Victoria, Guanacaste, Costa Rica.

Autora: Bi Yun Zhen Wu, 2008.



Foto 12. Sitio 12 de la red de muestreo de la microcuenca de la quebrada Victoria, Guanacaste, Costa Rica.

Autora: Bi Yun Zhen Wu, 2008.



Foto 13. Sitio 13 de la red de muestreo de la microcuenca de la quebrada Victoria, Guanacaste, Costa Rica.

Autora: Bi Yun Zhen Wu, 2008.



Foto 14. Sitio 14 de la red de muestreo de la microcuenca de la quebrada Victoria, Guanacaste, Costa Rica.

Autora: Bi Yun Zhen Wu, 2008.



Foto 15. Sitio 15 de la red de muestreo de la microcuenca de la quebrada Victoria, Guanacaste, Costa Rica.

Autora: Bi Yun Zhen Wu, 2008.

10.5.2 Fuentes puntuales de contaminación



Foto 16. Porqueriza del hotel Guachipelín que colinda a la paja.

Autora: Bi Yun Zhen Wu, 2008.



Foto 17. Generador de electricidad de la paja del hotel Guachipelín.

Autora: Bi Yun Zhen Wu, 2008.



Foto 18. Puente antes de la naciente PGP-05 para el drenaje de aguas pluviales de la carretera.

Autora: Bi Yun Zhen Wu, 2008.



Foto 19. Puente antes de la toma del sitio 11 y después de la naciente de la quebrada Victoria.
Autora: Bi Yun Zhen Wu, 2008.

10.5.3 Senderos de la microcuenca



Foto 20. Sendero antes del sitio 1 y después del sitio 2. Autora: Bi Yun Zhen Wu, 2008.



Foto 21. Sendero antes de la naciente PGP-05 (sitio 9).

Autora: Bi Yun Zhen Wu, 2008.



Foto 22. Sendero desde el PGP-05 hasta la bodega del PGP-06.

Autora: Bi Yun Zhen Wu, 2008.



Foto 23. Sendero desde el PGP-05 hasta la Casa de Máquina del campo geotérmico Las Pailas.
Autora: Bi Yun Zhen Wu, 2008.

10.5.4 Fuentes no puntuales de contaminación

En esta sección se presentan las fotografías de las fuentes no puntuales de contaminación.



Foto 24. Cultivos de hortalizas detrás del hotel Guachipelín.
Autora: Bi Yun Zhen Wu, 2007.



Foto 25. Área de pastoreo antes de la naciente de PGP-05.

Autora: Bi Yun Zhen Wu, 2008.



Foto 26. Área de pastoreo antes de la naciente de la quebrada Victoria (sitio 15).

Autora: Bi Yun Zhen Wu, 2008.



Foto 27. Remoción de tierra para la construcción de la Casa de Máquina del campo geotérmico Las Pailas.

Autora: Bi Yun Zhen Wu, 2008.

10.5.5 Campo geotérmico Las Pailas



Foto 28. Pozo geotérmico profundo construido (PGP-03).

Autora: Bi Yun Zhen Wu, 2008.



Foto 29. Laguna de sedimentación para descarga de agua geotérmica (PGP-04).
Autora: Bi Yun Zhen Wu, 2008.

10.5.6 Actividades desarrolladas para la elaboración de la propuesta del plan de acción



Foto 30. Reunión informativa abierta en el Salón Comunal de Curubandé, celebrada el 28 de noviembre del 2007.
Autora: María Gabriela Zeledón Angulo, 2007.



Foto 31. Taller participativo realizado el 7 de agosto del 2008 con actores clave para la elaboración de la propuesta del plan de acción para el manejo de recurso hídrico de la microcuenca de la quebrada Victoria.

Autora: María Gabriela Zeledón Angulo, 2008.



Foto 32. Análisis y discusión de propuestas de los participantes empleando tarjetas en el taller participativo para la elaboración de la propuesta del plan de acción para el manejo de recurso hídrico de la microcuenca de la quebrada Victoria.

Autora: María Gabriela Zeledón Angulo, 2008.



Foto 33. Reunión para la presentación y validación de la propuesta del plan de acción celebrada el 3 de setiembre del 2008.

Autora: María Gabriela Zeledón Angulo, 2008.