

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

**DETERMINACIÓN DEL EFECTO DEL USO DEL SUELO (INFLUENCIA ANTROPOGÉNICA)
SOBRE LA CALIDAD DE AGUA DE LAS FUENTES DE ABASTECIMIENTO DE LA
POBLACIÓN EN LA CUENCA DEL RÍO SARAPIQUÍ**

Tesis sometida 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 académico de:

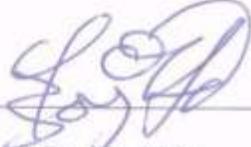
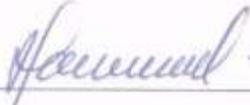
Magíster Scientiae en Manejo de Recursos Naturales

Manuel Guerrero Hernández

San José, Costa Rica
2011

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 ÉNFASIS EN
GESTIÓN AMBIENTAL**

 _____ Wagner Peña, Ph.D. Representante Directora del sistema de Estudios de Postgrado	 _____ Germán Obando Vargas, M. Sc. Director de Tesis
 _____ Oscar Bonilla, M.Sc. Representante Director de la Escuela de Ciencias Exactas y Naturales	 _____ Jorge Faustino, Ph. D. Lector
 _____ Zaidett Barrientos Llosa, M. Sc. Coordinadora del Programa de Maestría en Manejo de Recursos Naturales	 _____ Wilfredo Segura López, M. Sc. Lector
 _____ Manuel Francisco Guerrero Hernández Estudiante	

Dedicatoria

Dedico este trabajo a mi esposa Jenny Gómez Segura, a mi hija Dahlia Vallesia Guerrero Gómez y mi hijo Andrés Elías Guerrero Gómez, que durante todo el proceso de la maestría estuvieron incondicionalmente a mi lado y siempre apoyándome en todo, a mis padres Manuel Guerrero B, MD. y Rosa María Hernández, a mis hermanos, mis abuelos, mi tío y demás familiares que de alguna manera me apoyaron en el proceso, sea en la lectura y aporte de ideas para el documento final.

De igual manera dedico este proyecto a la máxima creación de Dios la madre tierra que por sí misma es un ente perfecto y que nos da vida gracias a ese líquido precioso y cristalino que corre por sus venas, el cual por mucho tiempo hemos aprovechado, pensando que es un recurso inagotable, y por consiguiente no le prestamos la atención suficiente al deterioro, contaminación y disminución que ha sufrido dicho recurso natural en los últimos tiempos.

Agradecimientos

Es un placer para mi poder agradecer sinceramente a las siguientes instituciones y personas que en algún momento del proceso de esta investigación me brindaron su ayuda, debo empezar por citar a mi tutor Germán Obando, M. Sc. Director del Departamento de Ciencia y Tecnología de FUNDECOR, gracias por creer en el proyecto y por su apoyo intelectual, moral y financiero para poder llegar a este punto, gracias a mis dos lectores de Tesis, Jorge Faustino Ph. D, del Programa de postgrado de Manejo Integrado de Cuencas del CATIE que fue mas que un lector de mi tesis fue un profesional de gran altura y siempre se mostró accesible a consultas las cuales fueron muy valiosas y acertadas. A mi otro lector Wilfredo Segura, M. Sc. Profesor de la maestría en Manejo de Recursos Naturales de la UNED, que estuvo siempre anuente a consultas, de igual manera debo agradecer a Don Franz Tattenbach, a Don Carlos Herrera Director Ejecutivo de FUNDECOR y a la señora Ivannia Vargas Directora del programa de Educación Ambiental de FUNDECOR por el tiempo cedido que me permitió elaborar este documento y el apoyo de ambos desde el principio, además de los demás miembros de FUNDECOR que en algún momento del proceso me prestaron su ayuda, el Ing. Pedro González, la Ingeniera Patricia Barrantes del Departamento de Operaciones Sarapiquí y a Johnny Rodriguez M. Sc. del CyT.

No puedo dejar de lado a las siguientes personas, por parte del MINAET a Luis Fernando Salas Jefe de la Sub Región Norte del ACCVC, a Fainier Guzmán y Rodolfo Cubero por el tiempo que tomaron para acompañarme a las giras de campo en la caracterización de las nacientes, al señor Darner Mora, Gabriela Catarinella, Ph. D y al Lic. Marco Sequeira del Laboratorio Nacional de Aguas del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AYA) que estuvieron siempre anuentes a consultas y por la prontitud de la entrega de los resultados solicitados además del préstamo del material de colecta necesario para los análisis bacteriológicos y físico-químicos además de la capacitación para poder hacer los muestreos, igualmente debo agradecer a Manuel Spinola Ph. D. profesor de estadística del Instituto de Vida Silvestre de la UNA, por sus consejos en la parte estadística y sus comentarios tan acertados y concisos, gracias.

Debo mencionar de igual manera al Ing. Moisés Bermúdez del AYA y compañero de maestría que estuvo siempre presente y dispuesto a brindar la ayuda necesaria, a Roberto Ramírez Hidrólogo del SENARA por sus comentarios personales, y por último a Zaidett Barrientos, M. Sc. Directora de la Maestría en Manejo de Recursos Naturales de la UNED que siempre estuvo preocupada por el avance del proyecto.

Índice

	Página
Dedicatoria	iii
Agradecimientos	iv
Índice	v
Índice de Cuadros	x
Índice de Figuras	xi
Índice de Anexos	xii
Lista de Abreviaturas	xiv
Resumen	1
Abstract	3
1. Introducción	4
1.1 <i>Antecedentes</i>	5
1.2 <i>Justificación</i>	6
2. Marco Teórico	9
2.1 El Suelo	9
2.1.1 Características del suelo	9
2.1.1.1 <i>La porosidad</i>	9
2.1.1.2 <i>La textura</i>	9
2.1.1.3 <i>La estructura</i>	9
2.1.1.4 <i>La profundidad</i>	9
2.2 Erosión	10
2.2.1 Procesos Erosivos	10
2.2.1.1 <i>Desprendimiento</i>	10
2.2.1.2 <i>Transporte</i>	10
2.2.1.3 <i>Sedimentación</i>	10
2.2.2 Factores biofísicos que afectan la erosión	10
2.2.2.1 Pendiente o topografía	10
2.2.2.2 Cobertura vegetal	11
2.2.3 Factores para determinar la pérdida del Suelo	13
2.2.3.1 Factor R	14
2.2.3.2 Factor K	14
2.2.3.3 Factor LyS	15
2.2.3.4 Factor C	16
2.2.3.5 factor P	16

	Página	
2.3	Ciclo hidrológico	16
2.4	Calidad del agua	18
2.5	Factores antropogénicos y la contaminación del recurso hídrico	20
2.5.1	Contaminación del recurso hídrico por factores agrícolas	21
2.5.2	<i>La urbanización y la presión sobre el recurso hídrico</i>	22
2.5.3	Contaminación del recurso hídrico por un origen de tipo industrial	23
2.5.4	Factores determinantes de la calidad del recurso hídrico.	23
2.5.4.1	<i>Sólidos totales, suspendidos, disueltos y la conductividad</i>	23
2.5.4.2	<i>Color Verdadero</i>	24
2.5.4.3	<i>Turbiedad</i>	24
2.5.4.4	<i>Coliformes Fecales</i>	24
2.5.4.5	<i>Temperatura</i>	24
2.5.4.6	<i>El pH y la alcalinidad</i>	25
2.5.4.7	<i>Fluoruro</i>	25
2.5.4.8	<i>Dureza total</i>	25
2.5.4.8.1	<i>Tipos de Dureza</i>	25
2.5.4.9	<i>Escherichia coli</i>	26
2.6	Ordenamiento Territorial y la protección del recurso hídrico	26
2.7	Sistemas de Información Geográfica (SIG)	27
2.7.1	Los SIG como una herramienta para la toma de decisiones en los países en desarrollo	27
2.7.2	Asociación de pesos de forma cuantitativa a variables	27
2.7.2.1	<i>Evaluación de las capacidades de uso de territorio</i>	27
2.7.3	SIG e iniciativas en Costa Rica	28
2.8	Leyes y decretos	30
6	Objetivo General	31
3.1	Objetivos específicos	31
3.2	Hipótesis nula	31
3.3	Problema	31
4	Metodología	32
4.1	Ubicación del área de estudio	32

	Página
4.2 Materiales y Métodos	34
4.2.1 Toma de datos y elaboración de los modelos	34
4.2.1.1 Establecimiento de los puntos de muestreo	34
4.2.2 Caracterización de las nacientes	35
4.2.3 Establecimiento de las variables fisicoquímicas y bacteriológicas que determinan la calidad del agua	36
4.2.4 Metodología establecida para realizar los muestreos fisicoquímicos que determinan la calidad del agua	37
4.2.4.1 Tipos de envase necesarios para la toma de muestras Físico-Químicas	37
4.2.4.2 Envases para la recolección de muestras para análisis microbiológicos	38
4.2.4.3 Muestreo de cursos de una corriente de agua (nacientes)	38
4.2.5 Determinación de la pérdida de suelo en la Cuenca del Río Sarapiquí	39
4.2.5.1 Factor R	40
4.2.5.2 Factor K	40
4.2.5.3 Factores L y S	42
4.2.5.4 Factor C	42
4.2.5.5 Factor P	43
4.2.5.6 Modelo FUPS en IDRISI	43
4.2.6 Estadística	44
4.2.6.1 Análisis de Varianza de los extractos de la FUPS a partir de los buffer versus el uso del suelo	44
4.2.6.2 Establecimiento de la relación entre uso del suelo, el estado de la captación y la calidad del agua	44
4.2.6.2.1 Análisis multivariado de varianza (MANOVA) y Análisis de Conglomerados (Clusters) del uso del suelo y el estado de la captación versus los análisis físico-químicos y bacteriológicos de las nacientes	44

	Página
4.2.6.2.2	45
4.2.6.2.3	45
4.2.6.2.4	45
5	46
5.1	46
5.2	49
5.2.1	52
5.3	54
5.3.1	54
5.3.2	55
5.3.3	56
5.3.4	57
5.3.5	58
5.3.6	59
5.3.7	61
5.4	62
5.4.1	62
5.4.2	62

	Página	
5.4.3	<p>Análisis multivariado de conglomerados de las variables de calidad de agua versus el uso del suelo y el Tipo (estado de la captación)</p>	63
5.4.4	<p>Análisis de varianza para cada variable determinante de la calidad del agua versus el Uso del suelo y el estado de la captación</p>	65
5.4.5	<p>Índice de Correlación entre variables Físico-Químicas y Bacteriológicas que determinan la calidad del agua.</p>	67
5.4.6	<p>Análisis multivariado canónico discriminante de las variables de calidad del agua para Uso y Tipo (Estado de la captación)</p>	69
6.	Discusión.	74
6.1	<p>Calidad del agua determinada a partir de las categorías de uso del suelo y el estado de la captación, mantenimiento que se les da a las captaciones y la pérdida del suelo asociada a cada naciente</p>	74
6.2	<p>Diagnóstico general de los resultados obtenidos en el levantamiento de los datos de campo en las nacientes utilizadas para consumo humano en la cuenca del Río Sarapiquí</p>	77
6.2.1	<p>Diagnostico de la calidad del agua en la zona de Sarapiquí de acuerdo a los datos del AyA</p>	79
6.3	<i>E.coli</i> y Coliformes fecales en los sitios de muestreo.	80
6.4	El pH presente en las muestras de agua	82
6.5	<p>Las leyes y regulaciones de nuestro país y situación real del recurso hídrico en la región de la cuenca del Río Sarapiquí</p>	84
6.6	<p>Iniciativas para la protección de zonas de recarga acuífera y áreas de protección de manantiales</p>	91
7.	Conclusiones	93
8.	Recomendaciones	96
9.	Limitaciones de la investigación	98
10.	Alcances de la Investigación	99
11.	Referencias	100
11.1	Comunicaciones Personales.	107
	ANEXOS	108

Índice de Cuadros

	Página.
Cuadro 1. Ejemplos de aumento de erosión dependiendo del tipo de cobertura	12
Cuadro 2. Parámetros para medir la calidad del agua dependiendo de su composición química y orgánica	19
Cuadro 3. Cuadro de uso potencial por tratamiento requerido	20
Cuadro 4. Lista de nacientes captadas y no captadas	46
Cuadro 5. Clasificación de las nacientes según clase de calidad de agua basado en los decretos N° 32327-s del 2005 y N° 33903-MINAE-S publicada en el diario oficial la Gaceta en el año 2007 y el factor limitante para que obtenga la clase para consumo humano	53
Cuadro 6. Extracción de los valores medios de la Rusle para cada naciente	61
Cuadro 7. Valor Anual equivalente para diferentes actividades competitivas para el uso del suelo al 12%, 9%, 5% en dólares por hectárea por año	88

Índice de Figuras

	Página
Figura 1. Nomograma para la determinación de la erodabilidad de los suelos expresados por el factor K. Fuente: (Wischmeier & Smith, 1978)	15
Figura 2. Ciclo Hidrológico	18
Figura 3. Mapa de Ubicación del ACCVC en Costa Rica	33
Figura 4. Orden de las nacientes que determinan el punto de muestreo	34
Figura 5. Mapa de Ubicación de las nacientes en la cuenca del Río Sarapiquí	47
Figura 6. Porcentajes de las nacientes de acuerdo a la clasificación del decreto del 2005 para los años 2004-2008	50
Figura 7. Porcentaje de las nacientes de acuerdo a la clasificación del decreto 2007 para los años 2004-2008	52
Figura 8. Valores del Factor R asociados a la Cuenca del Río Sarapiquí	54
Figura 9. Valores de K para la cuenca del Río Sarapiquí	55
Figura 10. Modelo de elevación digital de la cuenca	56
Figura 11. Datos de Cobertura del Factor C	57
Figura 12. Valores para la Cuenca del factor P	58
Figura.13. FUPS expresada en Tons/Hect/Año para la cuenca	59
Figura 164 Clasificación de la Erosión en SEIS categorías Baja (1), Moderada (2), Media (3), Alta (4), Muy Alta (5), Crítica (6)	60
Figura 15. Análisis de conglomerados por encadenamiento completo (Euclidea) para el Uso del Suelo según las variables de calidad del agua	63
Figura 16. Análisis de conglomerados por medio de encadenamiento completo (Euclidea) para el Tipo (Estado de la captación) de acuerdo a las variables de calidad de agua	64
Figura 17. Análisis de varianza de la variable pH contra el uso del suelo	65
Figura 18. Análisis de varianza de la variable pH contra el estado de la captación	66
Figura 19. Análisis de la varianza del color contra el estado de la captación	66
Figura 20. Análisis de la varianza de la turbiedad contra el estado de la captación	67
Figura 21. Índice de correlación entre las variables de calidad de agua	68
Figura 22. Análisis canónico discriminante para el Uso del suelo	70
Figura 23. Análisis canónico discriminante del estado	71
Figura 24. Análisis canónico discriminante del estado de la captación en 3D	72

Índice de Anexos

	Página
Anexo 1. Leyes y decretos	109
Anexo 2. Formulario de Ubicación y caracterización de los manantiales	140
Anexo 3. Fotos de caracterización de Nacientes	142
Anexo 4. Formulario de colecta de muestras de agua del AyA	145
Anexo 5. Fotografías del proceso de colecta de muestras bacteriológicas y físico-químicas de las nacientes en el proyecto	147
Anexo 6. Datos de las estaciones del Instituto Metereológico Nacional y valores del factor R	151
Anexo 7. Datos de las muestras de suelo de las fincas sometidas a reforestación bajo el Programa de Fundecor y valores del factor K para cada Gran Grupo de Suelo	152
Anexo 8. Valores asignables al Factor C	153
Anexo 9. Valores del Factor P	154
Anexo 10. Datos Caracterización de las nacientes captadas y no captadas de la cuenca del Río Sarapiquí	155
Anexo 11. Mapas detallados de las nacientes en estudio	163
Anexo 12. Datos Colectados para algunas de las Nacientes establecidas para el muestreo de Calidad de Agua por el AyA del 2004 al 2008	171
Anexo 13. Datos Colectados por FUNDECOR para las Nacientes establecidas para el muestreo de Calidad de Agua	180
Anexo 14. Resumen estadístico y análisis de varianza del extracto de la FUPS para las nacientes en estudio versus el uso del suelo	182
Anexo 15. Análisis multivariado de varianza de los datos de calidad de agua versus el uso del suelo y el tipo de captación asociado y si la fuente de agua esta captado o no captada	184
Anexo 16. Análisis de conglomerados Euclidea para demostrar la similitud entre categorías de uso de acuerdo a las variables de calidad de agua	187
Anexo 17. Análisis de conglomerados Euclidea para demostrar la similitud entre el tipo de captación de acuerdo a las variables de calidad de agua	189

	Página
Anexo 18. Análisis de varianza para cada variable de la calidad del agua por separado versus el uso del suelo	191
Anexo 19. Análisis de varianza para cada variable de la calidad del agua versus el estado de la captación	200
Anexo 20. Análisis Canónico Discriminante por Estado de la Captación (Tipo).	209
Anexo 21. Análisis canónico discriminante por Uso del Suelo	210
Anexo 22. Fotos de huellas de mamíferos grandes en las captaciones cercanas o dentro de parches de bosque	211
Anexo 23. Fotografías de nacientes sin los 100 y 200 metros de radio que deberían tener por Ley	212
Anexo 24. Fotografías que muestran divergencias en la legislación con respecto a la protección del Recurso Hídrico	213
Anexo 25. Alcance del proyecto	217

Lista de Abreviaturas

ACCVC	Área de Conservación Cordillera Volcánica Central
ACOSA	Área de Conservación Osa
ANAVA	Análisis de Varianza
APHA	Asociación Americana para la Salud Pública (siglas en Inglés)
ARESEP	Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos
ASADAS	Asociaciones Administradoras de Acueductos y Alcantarillados
AYA	Acueductos y Alcantarillados
CaCl₂	Cloruros de Calcio
CaCo₃	Carbonato de Calcio
CCT	Centro Científico Tropical
CCU	Costo de Oportunidad y Clasificación por Clases de Capacidad de Uso
Co₃⁻²	Carbonatos
COT	Costo de Oportunidad
CYTED	Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo
DBO₅	Demanda Biológica de Oxígeno
<i>E. coli</i>	<i>Escherichia coli</i>
EGIRH	Estrategia para la Gestión Integrada del Recurso Hídrico
ESPH	Empresa de Servicios Públicos de Heredia
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación (Siglas en Inglés)
FONAFIFO	Fondo Nacional de Financiamiento Forestal
FUNDECOR	Fundación para el Desarrollo de la Cordillera Volcánica Central
FUPS	Fórmula Universal de Pérdida del Suelo
GAM	Gran Área Metropolitana
GPS	Sistema de Posicionamiento Global (siglas en Inglés)
H+	Hidrogeniones
HCLO	Ácido hipocloroso
ICE	Instituto Costarricense de Electricidad
INB	Instituto Nacional de Bosques
INEC	Instituto Nacional de Estadística y Censo
IPS	Instituto de Políticas para la Sostenibilidad
ITCR	Instituto Tecnológico de Costa Rica
LNA	Laboratorio Nacional de Aguas

MAG	Ministerio de Agricultura y Ganadería
MANOVA	Análisis Multivariado de Varianza
Mg/l	Miligramos por litro
MgCl₂	Magnesio
MINAET	Ministerio de Ambiente Energía y Telecomunicaciones
MO	Materia Orgánica
NH₄	Nitrógeno Amoniacal
NO₃	Nitratos
OET	Organización de Estudios Tropicales
OMS	Oficina Mundial de la Salud
PNUMA	Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente
ProDus	Programa de Investigación en Desarrollo Urbano Sostenible (UCR)
PSA	Pago de Servicios Ambientales
PSO	Porcentaje de Saturación de Oxígeno Disuelto
RIPDA	Red Iberoamericana de Potabilización y Depuración del Agua
RUSLE	Rivised Universal Soil Loss Equation
SENARA	Sistema Nacional de Aguas Subterránea, Riego y Avenamiento
SIG	Sistemas de Información Geográfica
SINAC	Sistema Nacional de Áreas de Conservación
SO₄⁻²	Sulfatos
UNCHS	United Nations Comission for Human Settlements
UNEP	United Nations Environment Programme
UNESCO	Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (siglas en Inglés)
UNT	Unidades de Turbiedad
USLE	Fórmula Universal de Pérdida del Suelo (siglas en Inglés)

Determinación del efecto del uso del suelo (influencia antropogénica) sobre la calidad de agua de las fuentes de abastecimiento de la población en la cuenca del Río Sarapiquí

Manuel Guerrero Hernández, Maestría Académica en Manejo de Recursos Naturales, Universidad Estatal a Distancia, Costa Rica. Correo electrónico mguerrero@fundecor.org

Resumen

Los diferentes cambios en el uso del suelo en los últimos años han deteriorado nuestros recursos naturales, en especial el recurso hídrico. El sector de la cuenca del Río Sarapiquí no es una excepción. Por eso, el presente estudio analizó como el uso del suelo (bosque, pasto, regeneración, cultivos y urbano) circundante y el estado de la captación (muy buena, buena, regular, mala y sin captar) afectan la calidad en las fuentes de abastecimiento de agua de la población de la cuenca del río Sarapiquí. Mediante la Fórmula Universal de Pérdida del Suelo (FUPS) se identificaron seis estratos en los que ocurre algún tipo de erosión. Posteriormente, se realizó una extracción de fragmentos de la FUPS para las zonas búfer de las nacientes con el fin de establecer el grado de erosión asociado a las nacientes y determinar la relevancia de la erosión para cada naciente.

Se estableció la relación existente entre los usos del suelo (bosque, regeneración, pasto, cultivos y urbano); el estado de la captación (muy bueno, bueno, regular, malo y sin captar) y el deterioro de la calidad del agua en las fuentes que se utilizan para consumo humano en esta cuenca para cada una de las nacientes. Esto se logró mediante diversas pruebas de laboratorio (análisis de color, turbiedad, coliformes fecales, *E. coli*, fluoruro, conductividad, alcalinidad, pH, dureza total), un análisis de varianza para cada variable y un análisis de varianza multivariado junto con gráficos de conglomerados y análisis canónicos discriminantes.

Se estableció que las variables que más influyen en la calidad del agua de la región son la turbiedad, el color verdadero, el pH, los coliformes fecales y *Escherichia coli* (*E. coli*) - los cuales están muy ligados al estado de la captación y a su mantenimiento y no tanto al uso del suelo.

Si se entregara el agua inmediatamente después de captada, sólo 5.467 de los 33.898 habitantes estarían recibiendo agua apta para consumo humano, del 75,87% de los 10.638 hogares (según el Instituto Nacional de Estadística y Censos “INEC”) que reciben dicho servicio

por medio de las 12 Asociaciones Administradoras de Acueductos y Alcantarillados (ASADAS) y sus 37 nacientes.

Finalmente, el hecho de que los coliformes fecales y *E. coli* puedan sobrevivir en las deposiciones de los animales hasta por tres meses y trasladarse hasta las nacientes con facilidad, parece ser una de las principales causas de contaminación, y deja en evidencia que las aguas contaminadas por este factor tienen menos de 120 días de haber sido infiltradas al suelo. Si ocurre un cambio climático que agudice una temporada seca a la hora de trabajar con las reservas al filo del agua, las poblaciones que dependen de dicho recurso se verán perjudicadas.

El período de toma de datos fue durante todo el 2008, el cual incluye la caracterización de las nacientes, los análisis de laboratorio y los análisis estadísticos.

Palabras clave: Calidad del agua, nacientes, coliformes fecales, *E. coli*, pH, dureza total, conductividad, alcalinidad, color, turbiedad, fluoruro, FUPS, MANOVA, ANAVA, bosque, regeneración, pasto, urbano, cultivo, estado de la captación.

Abstract

During the past few years, change in the land's use has deteriorated the land's natural resources, especially hydrologically. The basin of the Sarapiquí River is no exception. Hence, this study analyzed how the use of the land (forest, pastry, regeneration, crops and urban), and the infrastructure quality (very good, good, regular, bad, and no infrastructure) affects the quality of the sources that are used for human consumption in the Sarapiquí basin. Using the Universal Soil Loss Equation (USLE), six different erosion strata were identified. A USLE fragment extraction of the buffer zones was made to establish the erosion parameters associated to the water springs and to determine the erosion for each water spring.

A relation was established between the land use, and the infrastructure quality (very good, good, regular, bad, and no infrastructure), with the water quality damaging the water springs used for human consumption in this basin. This was achieved by means of laboratory testing (color, turbidity, fecal coliforms, *E. coli*, fluoride, electrical conductivity, alkalinity, pH, and general hardness) and statistical analyses as variance analysis, various analysis of variance, with conglomerate graphs and canonical selective analysis.

The variables that influence the water quality in the region are turbidity, color, pH, fecal coliforms, *E.coli*. These are highly related to the use of the land, infrastructure quality, and the maintenance of the infrastructure.

If the water was delivered immediately after it was collected from the water spring, only 5.467 of the 33.898 inhabitants, were receiving usable water for human consumption (data obtained from the INEC "Instituto Nacional de Estadística y Censos" in Spanish, 75.87% of the 10.638 homes that received this service from 12 Asociaciones de Acueductos y Alcantarillados "ASADAS" in Spanish with their 37 water springs).

The sampling data was created in 2008, and that included the water spring description, laboratory test, and statistics analysis.

Key words: Water quality, water springs, fecal coliforms, *E.coli*, pH, general hardness, conductivity, alkalinity, color, turbidity, fluoride, USLE, MANOVA, ANOVA, forest, regeneration, pastry, urban, crops, infrastructures quality.

1. Introducción

En los últimos años la extinción de especies y la reducción de cobertura boscosa por causa de las actividades humanas ha venido en aumento (Razola *et al.* 2006). Esto ha permitido que muchos recursos dependientes del bosque, como el recurso hídrico, se vean menguados.

Por mucho tiempo no se dio la debida importancia a las decisiones que afectan el uso del suelo o a la gestión de los recursos naturales en un espacio geográfico determinado. Tampoco se ha hecho una valoración previa en la que se integren los factores abióticos, bióticos y antropogénicos que en él concurren. (Martínez *et al.* 2003).

Por otra parte, se ha determinado que uno de los mayores contaminantes de los recursos de tipo hídrico está ligado al uso del suelo y a la utilización de químicos en áreas en donde la erosión y la escorrentía contaminan dichas fuentes hídricas (UNEP 2007). El manejo de los recursos naturales demanda una manipulación de grandes cantidades de información. En la mayoría de los casos, esa información debe de manejarse de una manera inmediata y espacialmente visualizada para apoyar el proceso de toma de decisiones. (Solano *et al.* 1996)

Debido a estas necesidades, se han buscado alternativas para poder categorizar dichas intervenciones. Los sistemas de información geográfica se convierten en una herramienta fundamental, pues están orientados a sintetizar gran número de variables, a proporcionar modelos y a suministrar informes e instrumentos para el análisis, diagnóstico y ordenación del territorio. (Martínez *et al.* 2003, Fallas 1998)

En Costa Rica, según Astorga y Coto en Reynolds Ed. 1996, los problemas relacionados con el recurso hídrico son graves, porque ha sido considerado como un recurso gratuito e inagotable por mucho tiempo, tanto en calidad como en cantidad.

Las aguas superficiales, lejos de considerarse ecosistemas vivos, más bien han sido vistas como una fuente de aprovechamiento para el bienestar del ser humano, con un uso intensivo para la evacuación de desechos, producción de energía eléctrica, agua potable, riego y procesos industriales.

Un aspecto que ha influido en la calidad y cantidad de agua en el Área de Conservación Cordillera Volcánica Central (ACVC) es el aprovechamiento de las aguas subterráneas para solventar la demanda que se ha venido agravando en el Gran Área Metropolitana (GAM). Dicha

necesidad fue provocada, en un principio, por las erupciones del Volcán Irazú (Gómez 1996). Además, el rápido proceso de concentración de la población en el Valle Central, la escasez de planes de ordenamiento territorial y el poco cumplimiento de los existentes han causado una presión sobre los recursos hídricos. (Reynolds y Fraile 2002)

Es un hecho que el uso del suelo determina el grado de evapotranspiración y capacidad de infiltración de las zonas de recarga hídrica. Los cambios más importantes en cuanto al uso del suelo han sido por muchos años, en lo que compete al manejo del recurso hídrico, la intensificación de la agricultura, la deforestación o la eliminación de la cobertura boscosa que en cierta forma acelera la erosión y deposición de sedimentos, y al aumento de áreas urbanas e industriales (Hoeks en Reynolds Ed.1996). Esto ha permitido que haya un contacto directo de las zonas de recarga y nacientes o afloramiento de agua con el ingreso de contaminantes (non point source) tales como: los sedimentos suspendidos, nutrientes como nitrógeno y fósforo, pesticidas y agentes consumidores de oxígeno (UNEP 2007).

1.1 Antecedentes

Desde la promulgación de la ley de aguas en 1942, se ha iniciado una serie de actividades en relación con conservación del recurso hídrico. Dicha ley plantea directrices técnicas muy claras sobre una serie de campos de desarrollo del recurso agua, desde su definición de aguas como recurso público hasta las diversas formas de aprovechamiento, abastecimiento, protección, utilización y explotación de las diversas modalidades. Además, incluyen rubros de protección de riveras de ríos, cañones, arroyos y quebradas – que se diferencian entre sí por el tipo de pendiente y el caudal que transportan (Brenes 1996).

Otro aporte importante para la protección del recurso hídrico se encuentra integrado en el artículo 33 de la Ley Forestal, la cual establece la necesidad de proteger las áreas que bordeen nacientes permanentes. Estas se definen en un rango de cien metros de radio a nivel horizontal; una franja de diez metros en una zona urbana y quince en una rural en la ribera de ríos, arroyos y quebradas en zonas planas y de cincuenta metros horizontales si es terreno quebrado, al igual que en riberas de lagos o embalses que sean de tipo público (Zeledón 1999).

A pesar de contar con esta ley y otras complementarias, hemos visto un crecimiento desmedido e incontrolado de los asentamientos urbanos y actividades comerciales, industriales, turísticas, agrícolas, sociales, culturales y recreativas, tanto a nivel urbano como rural. Dichas actividades

provocan gran presión sobre el recurso hídrico y recurso suelo asociados a estas áreas y sus cercanías (Brenes 1996).

En el año 2005, según el *XII Informe del Estado de la Nación*, se mencionan algunos esfuerzos por generar y sistematizar la información referente al tema agua. Ese mismo año también se presentó la *Estrategia para la Gestión Integrada del Recurso Hídrico* (EGIRH), la cual responde a los compromisos asumidos por Costa Rica en la Cumbre del Milenio (2000) y la Cumbre Mundial del Desarrollo Sostenible (Johannesburgo 2002) entorno al mejoramiento de la gestión y de cobertura de los servicios de saneamiento y agua potable.

Dentro de tal estrategia se crea la Política Hídrica Nacional, que incorpora principios rectores de la gestión de ese recurso: el agua como un bien de dominio público, inembargable e inalienable; la función del agua como fuente de vida y supervivencia de todas las especies y ecosistemas; el reconocimiento del valor económico y social del agua; y que integra la participación de los interesados en su gestión a nivel de la cuenca hidrográfica como una unidad de planificación y gestión según la EGIRH 2005.

De igual manera, este mismo año, la comisión de Asuntos Ambientales dictaminó positivo el proyecto de Ley del Recurso Hídrico. Sin embargo, se ha avanzado muy poco en lo referente al tema.

Por último, el hecho más relevante del 2005 según el *XII Informe del Estado de la Nación* es la aprobación del “canon de aprovechamiento” ambientalmente ajustado con el fin de determinar la viabilidad técnica, legal y política para la efectividad de este mecanismo.

Dicho de otra manera, todos los entes públicos y usuarios privados del agua deberán pagar este canon. Los fondos generados contribuirán a la sostenibilidad financiera de la gestión del recurso hídrico, mediante el pago de servicios ambientales para la protección del agua en 117 millones de hectáreas privadas y otro tanto en áreas protegidas estatales, y además se fortalecerá la infraestructura local de control de caudales y acueductos rurales.

1.2 Justificación

Las distintas actividades que generan la degradación del suelo –como su uso intensivo, las actividades de tipo extensivas (como la agricultura y ganadería tradicional), el crecimiento demográfico y el aumento en la actividad industrial– han redundado en las pérdidas de suelo

orgánico. También ha afectado la pérdida de nutrientes, de ecosistemas, y en la capacidad de almacenamiento de agua, así como su contaminación directa por fuentes generadas por estas actividades (UNEP 2007).

La vulnerabilidad del recurso hídrico ha debilitado las zonas de recarga hídrica y afloramiento o nacientes en el ACCVC, tanto a nivel subterráneo como superficial. Su constante contaminación ha afectado la calidad y cantidad de recurso disponible para el abastecimiento en zonas pobladas, así como la producción de energía mediante el proceso hidroeléctrico y la disminución del caudal para la captación de sistemas de riego en el sector agropecuario. (Astorga y Coto 2002).

Existe una gran iniciativa por parte del Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones (MINAET) en crear nuevas áreas de protección como parques, reservas forestales y zonas protectoras. Además, en el 2008, dicha institución impulsó el Proyecto de Caracterización y Georeferenciación de Nacientes del Programa de Manejo del Recurso Hídrico en el Área de Conservación Cordillera Volcánica Central. Esta investigación se ha convertido en una parte esencial para dicho proyecto, especialmente en la zona de Sarapiquí.

Tales iniciativas han permitido minimizar la vulnerabilidad hídrica en ciertas áreas. Sin embargo, todavía existen sitios no contemplados dentro del Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC), o bien, que no se encuentran protegidas con el esquema de Sistema de Pago de Servicios Ambientales (PSA) a pesar de estar en un corredor biológico (Estado de la Nación, 2006). De los 2.03 millones de hectáreas designadas como áreas de importancia hídrica, un 22% (448 092 ha) forman parte de alguna Área Silvestre Protegida. No obstante, sólo el 8.3% (167352 ha) está en propiedad estatal. Los parques nacionales, las reservas forestales, las zonas protectoras y las reservas biológicas conforman el 93% de las áreas declaradas como zonas de importancia hídrica (Fallas 2006).

La falta de normativa legal para mantener el recurso hídrico de una manera vigente y sostenible ha permitido que actividades como la ganadería y la agricultura tradicional –desarrolladas cerca de las nacientes y que incumplen con lo establecido en la ley forestal y la de aguas –, dificulten las prácticas para impulsar la protección de fincas privadas por parte de los propietarios. Aparte de proteger este recurso, las medidas tomadas les genera ingresos de una manera sostenible y amigable con el ambiente, perpetuando así la calidad y cantidad del recurso por un mayor tiempo.

En conjunto, las razones mencionadas anteriormente dan inicio una investigación de tipo exploratorio para establecer una línea base en lo referente a la calidad del recurso hídrico en la cuenca del Río Sarapiquí. Esto permitirá identificar los diferentes factores que influyen directamente sobre la calidad del agua en los manantiales utilizados por la comunidad para consumo humano o que tienen potencial para su utilización.

2. Marco Teórico

2.1 El suelo

El suelo es la capa más fina y fértil que constituye la capa terrestre, por lo que las condiciones físicas de los suelos determinan su susceptibilidad a la erosión. El hombre puede disminuir esta susceptibilidad a través de prácticas adecuadas al manejo del suelo (FAO-MAG 1996). Según Wischmeier y Mannering, (1971) citado por Bermúdez (1980), se han identificado 24 características del factor suelo de acuerdo a contenido, que pueden influir o no en la erosión. Dentro de las características más conocidas están el contenido de arcilla, materia orgánica y arena, así como la estructura, el espesor, la permeabilidad y la infiltración.

2.1.1 Características del suelo

La cantidad de agua contenida en el suelo, así como su absorción, dependen mucho de algunas características de suelo, por lo que resulta necesario conocerlas (Reyes 2006):

2.1.1.1 La porosidad: El suelo está constituido por partículas sólidas de distinto tamaño, que dejan entre si unos espacios, o poros, ocupados por aire y agua. Por lo general, el aire ocupa una gran parte del espacio de los poros grandes, mientras que el agua ocupa los poros más pequeños. Su valor suele oscilar entre el 40 y el 60% del volumen total del suelo.

2.1.1.2 La textura: Es la proporción que tiene el suelo de arena, limo y arcilla. Un suelo franco es aquel que formado por una mezcla de estos tres elementos en proporciones equilibradas. En otras palabras, no predomina una partícula sobre la otra.

2.1.1.3 La estructura: Es la forma como se unen las partículas de arena, limo y arcilla de un determinado tipo de suelo. Un suelo con buena estructura contiene abundancia de poros grandes y pequeños. Esto permite que el agua, el aire y las raíces se muevan libremente en el suelo, y al mismo tiempo retiene una apreciable cantidad de agua en las partículas sólidas.

2.1.1.4 La profundidad: Es la parte del suelo explorada por las raíces y que varía según la existencia de capas permeables o impermeables. Es el espacio del suelo que facilita el paso del agua.

2.2 Erosión

La erosión es la acción de desprendimiento de las partículas del suelo, las cuales son transportadas por el agua que se escurre sobre el terreno. Cuando no existe más energía para el transporte, ocurre lo que se conoce como sedimentación (FAO-MAG 1996).

La erosión afecta, en primer lugar, al suelo superficial o capa arable - capa que determina la fertilidad de muchos suelos. Si se pierde dicha capa, se disminuye la capacidad de retención e infiltración del suelo. Un suelo manejado de manera inadecuada presentará síntomas de degradación, los cuales se representan en términos de toneladas por año (FAO-MAG 1996).

2.2.1 Procesos Erosivos

Según lo expone FAO-MAG (1996), dentro de los procesos erosivos se puede encontrar los siguientes:

2.2.1.1 Desprendimiento: Es el impacto causado por las gotas de lluvia al colisionar con el terreno descubierto que produce una desagregación de los componentes del suelo. Esto permite un desprendimiento de partículas del mismo.

2.2.1.2 Transporte: Si la cantidad de lluvia sobrepasa la capacidad de infiltración del suelo, se produce un escurrimiento superficial que arrastra las partículas desprendidas por la acción de las gotas de lluvia. Cuando en flujo del agua alcanza la velocidad erosiva, ocurre un desprendimiento acelerado de los agregados del suelo que provoca la erosión en surcos o cárcavas.

2.2.1.3 Sedimentación: Se da cuando el poder de escurrimiento disminuye. Sucede en partes planas del terreno o cerca del cauce de los ríos – especialmente en lugares con obstáculos, en represas y en el mar.

2.2.2 Factores biofísicos que afectan la erosión

2.2.2.1 Pendiente o topografía

Conforme aumenta el grado de la pendiente, la velocidad y el volumen del agua de escorrentía así como el poder erosivo, incrementa. Mientras sube el largo de la pendiente, el volumen de agua de escorrentía crece y, por consiguiente, dicho poder.

2.2.2.2 Cobertura vegetal

Es comúnmente aceptado que la cobertura vegetal – como los bosques– ayudan a regular el caudal y a reducir la escorrentía. Aunque esto es cierto, los ecosistemas utilizan y requieren mucho del recurso mencionado anteriormente (FAO 2003).

Aunque varios autores reconocen que la cobertura forestal disminuye caudales anuales, Stadtmüller (1994) indica que el bosque garantiza lo siguiente: estabiliza el flujo subsuperficial y brinda una adecuada protección al suelo. Este es un aspecto muy importante, sobre todo en áreas tropicales y subtropicales, donde la norma general es contar con precipitaciones de intensidades muy erosivas (INB 2003).

Según el Instituto Nacional de Bosques (INB) en Guatemala (2003), la estructura de los suelos forestales, en combinación con la ausencia de un uso intensivo, condiciona altas capacidades de infiltración. En este sentido, aún durante precipitaciones de intensidad extrema, la mayoría del agua se infiltra en el suelo y la escorrentía superficial ocurre sólo en áreas cercanas a los cauces (zonas de ribera) durante eventos de precipitación prolongados. Así pues, las áreas cercanas a los ríos son las de mayor potencial para aportar sedimentos a los ríos.

Por otra parte, el manejo y cuidado especial de estas áreas puede absorber o anular los impactos negativos – principalmente la sedimentación de cuerpos de agua ocasionados por diversas razones – hasta reducirlos a un nivel aceptable (Anderson y Burt 1990; Bruijnzeel 1990; Pritchett 1986; Stadtmüller 1994 todos los autores en INB 2003). Entre las causas se incluyen el uso agrícola del suelo, intervenciones silviculturales u operaciones forestales en zonas más alejadas. Brown (1985) en INB (2003) afirma que las zonas de ribera deben ser consideradas en la planificación como unidades de manejo especial que requieren un tratamiento particular, especialmente en el control del impacto hidrológico de las actividades forestales.

En este sentido es importante reconocer tres tipos de impacto hidrológico del manejo forestal:

- a. El de la tala, el cual puede ser mínimo si se siguen criterios técnicos adecuados.
- b. El impacto de la extracción, que asciende del 20 al 40 % del total.
- c. Impacto de los caminos y pistas de arrastre, que comprende de un 60 a un 80 % del total (Stadtmüller 1994).

El aumento producido en el caudal de los ríos al deforestar o al convertir un bosque a pastizal (o a otro tipo de cultivo) puede explicarse en función del efecto que tiene el dosel de la vegetación sobre los componentes del balance hídrico. El agua en el bosque se pierde a la atmósfera por evapotranspiración. Al mismo tiempo, los pastizales (con menores índices de área foliar y pérdidas por evapotranspiración) pasan directamente al suelo para alimentar la escorrentía. Si esta salida de agua aumenta al tiempo que disminuyen la vegetación y el contenido de agua del suelo, el retorno de agua a la atmósfera por evapotranspiración local disminuirá a largo plazo. Por ende, también se reduce la precipitación, especialmente cuando es de tipo convectivo (Cavelier y Vargas 2002).

Con la intercepción de la lluvia y la reducción de la velocidad del agua de escorrentía, la vegetación juega un papel primordial en la protección del suelo contra la erosión. El tipo de vegetación determina el grado de protección de la tierra (FAO-MAG 1996, ver cuadro 1).

Cuadro 1. Ejemplos de aumento de erosión dependiendo del tipo de cobertura.

<i>Tipo de Cobertura</i>	<i>Aumento de Erosión</i>
Bosque	1
Pasto Mejorado o de Corte	16
Vegetación Natural Baja	24
Cacao	80
Banano	124
Café con Sombra	140
Café sin Sombra	220
Caña de Azúcar	553
Tomate o Chile Dulce	1004
Maíz	1060
Papa-Zanahoria	1170
Papa-Cebolla	1370

Fuente: FAO-MAG 1996.

2.2.3 Factores para determinar la pérdida del Suelo mediante la FUPS

La Formula Universal de Pérdida del Suelo (FUPS) es un modelo diseñado para predecir la pérdida de suelos de un campo de cultivo y de sistemas de manejo específico (Wischmeier y Smith, 1978). Dicha fórmula ha sido utilizada en muchos países tropicales (Rocha 1977; Vahrson 1990 y 1991; Mora 1987; Arana 1992; Castillo 1992; Bacchi *et al.* 2000) con resultados que sobreestiman los niveles de erosión cuando se comparan con parcelas de escorrentía (Rocha 1977; Vahrson 1990 y 1991, Palacios y Alfaro 1993) u otros métodos (Bacchi *et al.* 2000).

Ante esta diferencia, se han realizado estudios para cada factor de la ecuación. Incluso se plantea la RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation) como una modificación a los factores de la USLE (Universal Soil Loss Equation) (Renard *et al.* 1996). Por último, se utilizan los resultados del análisis de factores no a nivel de cantidad, sino de estratos como una herramienta para identificar en el área de estudio el grado de erosión ya sea alto, medio o bajo.

Algunos autores consideran que la aplicación tanto de la USLE como la RUSLE en áreas fuera del rango donde fueron calibradas, o incluso en el ámbito de cuencas, requiere de un ajuste a los factores. Uno de los factores más importante es la longitud de la pendiente "LS" (Vahrson 1991, Nearing 1997; Barrios 2000) el cual, como objeto de estudio, ha dado lugar a diferentes formas de estimarlo (Moore y Burch 1986). Sin embargo, muchos autores coinciden que con la aplicación de los Sistemas de Información Geográfica se puede estimar de mejor manera el factor y acercar más los resultados a la realidad (Barrios 2000; Engel 1999).

Por último, el FUPS es un modelo matemático de tipo paramétrico que integra variables reconocidas como de singular significación en el fenómeno de la erosión hídrica. La fórmula universal de pérdida de suelo (Wischmeier & Smith, 1978), revisada por (Nearing *et al.* 1989), está planteada de la siguiente manera:

$$E=RKLSCP$$

Donde:

E: Pérdida de suelo estimada como promedio anual.

R: Factor de erosividad.

K: Factor de erodabilidad de suelo.

L y S: Longitud y pendiente.

C: Factor cultivo.

P: Prácticas de manejo.

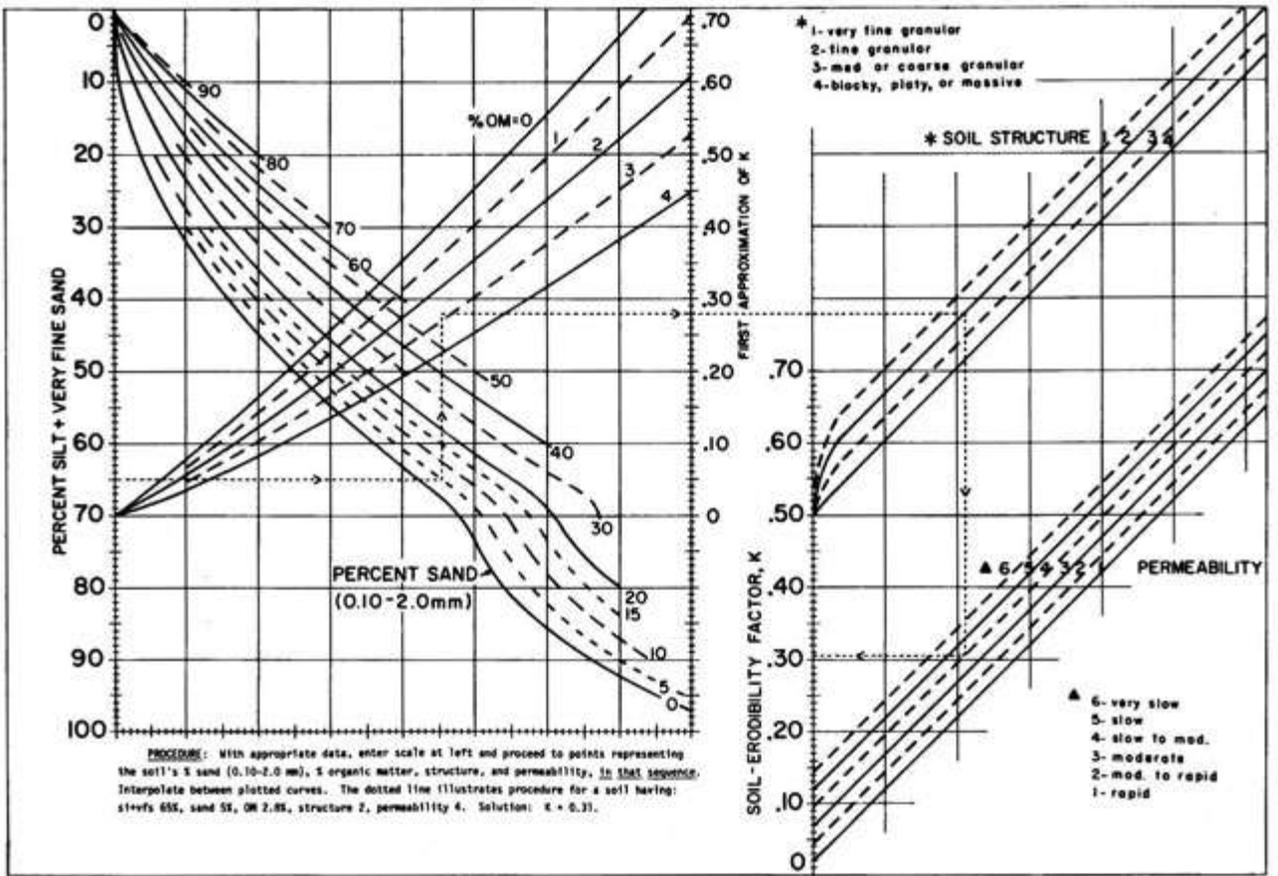
2.2.3.1 Factor R

R es el factor que representa a la variable lluvia. Representa el Índice de erosividad o la capacidad erosiva de la lluvia. Es el producto de la energía cinética y su máxima intensidad en 30 minutos (I30).

2.2.3.2 Factor K

El factor K o la erodabilidad expresa la vulnerabilidad por erosión hídrica de un suelo. De acuerdo a Wischmeier & Smith (1978), los factores que poseen una influencia importante en la disposición erosiva de un suelo son:

- El contenido [%] limo + arena muy fina (0.002-0.1mm).
- El contenido [%] de arena + arena fina (0.1-2mm).
- El contenido de materia orgánica [%].
- La clase de agregación.
- La permeabilidad.



—The soil-erodibility nomograph. Where the silt fraction does not exceed 70 percent, the equation is $100 K = 2.1 M^{1.13} (10^{-4}) (12 - a) + 3.25 (b - 2) + 2.5 (c - 3)$ where $M = (\text{percent sil} + \text{vfs}) (100 - \text{percent s})$, $a = \text{percent organic matter}$, $b = \text{structure code}$, and $c = \text{profile permeability class}$.

Fig. 1. Nomograma para la determinación de la erodabilidad de los suelos expresados por el factor K.

Fuente: (Wischmeier & Smith 1978)

Este factor se calcula con la fórmula citada anteriormente, basada en los datos obtenidos con el Nomograma establecido por (Wischmeier & Smith 1978) (Fig. 1).

2.2.3.3 Factores L y S

Estos factores representan una pendiente (S) como el largo de la pendiente (L) y son estimados mediante la incorporación de un modelo de elevación digital de la zona en el programa IDRISI Andes. El propósito central de estos cálculos consta en incluir el factor topográfico en el modelo de pérdida de suelo.

2.2.3.4 Factor C

Al analizar la influencia de la cubierta vegetal sobre la erosión del suelo, todos los estudios parecen coincidir en que es éste el factor fundamental a modificar si se pretende conseguir una eficaz protección contra los procesos erosivos (Moreira 1991).

El factor C indica la protección que la cobertura vegetal presta al suelo a la hora de interceptar las gotas de lluvia y amortiguar su energía de impacto y de escorrentía, lo cual disminuye el efecto erosivo. El valor de este factor es una relación entre las pérdidas de suelo fértil con la cobertura vegetal actual y las que tendría si estuviese en barbecho continuo.

2.2.3.5 Factor P

El factor P de prácticas de cultivo incluye modalidades como el cultivo a nivel o el cultivo en fajas. Cuando no existen o no es posible determinar el conocimiento de estas prácticas de control de la erosión ni de manejo de las actividades productivas, el factor P se considera 1.

2.3 Ciclo hidrológico

Según Sánchez (2004), se denomina Ciclo Hidrológico al movimiento general del agua: ascendente por evaporación y descendente, primero por las precipitaciones y después en forma de escorrentía superficial y subterránea. Fassbender (1993) lo define como el movimiento constante del líquido desde la atmósfera hacia la tierra; pasando por los ecosistemas de vegetación, animales, suelos, corteza terrestre, océanos y de nuevo hacia la atmósfera.

Existen diferentes formas del movimiento del agua en el suelo. En primer lugar, el agua de la precipitación que toca el suelo por primera vez puede filtrarse parcialmente a través del mantillo, mientras la otra se desplaza horizontalmente. Después de la infiltración por los primeros horizontes del suelo, puede ocurrir un movimiento horizontal al chocar con una capa impermeable o al llegar a una capa freática lo cual ocasiona el drenaje (Fassbender 1993).

El proceso por el que pasa el agua en su sistema se define, según Sánchez (2004), de la siguiente manera (Fig. 2):

a) *Evaporación*. Una parte se evapora desde la superficie del suelo (“charcos”) o si ha quedado retenida sobre las hojas de los árboles. A este último fenómeno se le denomina **intercepción**. En lluvias de corta duración sobre zonas de bosque, es posible devolver a la atmósfera una gran parte del agua precipitada sin haber tocado el suelo.

b) *Infiltración*. El agua infiltrada puede, a su vez, seguir estos caminos:

b1) *Evaporación*. Se evapora desde el suelo húmedo, sin relación con la posible vegetación.

b2) *Transpiración*. Las raíces de las plantas absorben el agua infiltrada en el suelo, una pequeña parte es retenida para su crecimiento y la mayor parte es transpirada.

La suma de b1) y b2) se estudia conjuntamente: es la *evapotranspiración*.

b3) *Escorrentía subsuperficial o hipodérmica*. El agua termina aflorando a la superficie tras un corto recorrido lateral, antes de llegar a la superficie freática.

b4) Si no es evaporada ni atrapada por las raíces, la gravedad continuará llevando el agua hacia abajo, hasta la superficie freática. Allí aún puede ser atrapada por las raíces de las plantas “freatófitas” (chopos y álamos, por ejemplo), cuyas raíces profundas buscan el agua del medio saturado, a diferencia de otras plantas.

b5) Finalmente, el agua restante da lugar a la *escorrentía subterránea*.

c) *Escorrentía superficial*. El agua de las precipitaciones que no es evaporada ni infiltrada, escurre superficialmente. Aún le pueden suceder varias cosas:

c1) Parte es evaporada: desde la superficie de ríos, lagos y embalses.

c2) Otra parte puede quedar retenida como nieve o hielo o en lagos o embalses. (“Escorrentía superficial diferida”)

c3) Finalmente, una parte importante es la escorrentía superficial rápida que sigue su camino hacia el mar.

Escorrentía directa es la que llega a los cauces superficiales tras la precipitación en un período de tiempo corto. Normalmente engloba la escorrentía superficial (c3) y la subsuperficial (b3). En

la mayoría de los casos es imposible hacer una diferenciación entre ambas: una gran parte de lo que parece escorrentía superficial (por el aumento de los caudales que sigue a las precipitaciones) ha estado infiltrada subsuperficialmente.

La *escorrentía básica* alimenta los cauces superficiales en los estiajes durante los períodos sin precipitaciones, concepto que engloba la Escorrentía Subterránea (b5) y la superficial diferida (c2).

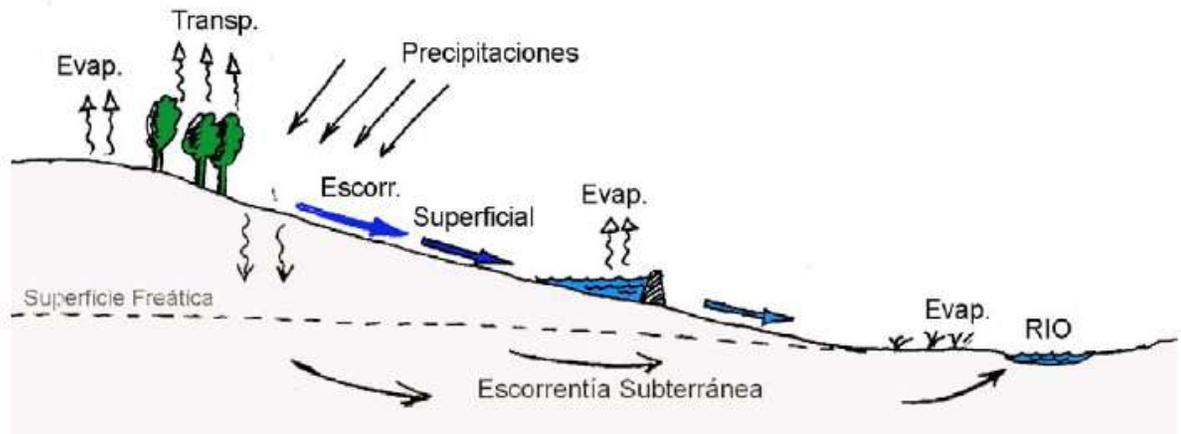


Fig. 2. Ciclo Hidrológico. Tomado de Sánchez (2004)

2.4 Calidad del agua

La calidad del agua en los sistemas de abastecimiento está amenazada por el manejo deficiente del recurso hídrico, el cual incluye las descargas de aguas residuales sin tratamiento adecuado, las limitaciones en la infraestructura de tratamiento y la distribución del agua para consumo humano (Reyes 2006). La calidad del agua está determinada por la presencia y la cantidad de contaminantes, factores físico-químicos tales como pH y conductividad, cantidad de sales y de la presencia de fertilizantes, plaguicidas, hidrocarburos, metales pesados y contaminación biológica (materia fecal, entre otros) (Reyes 2006). Los seres humanos tienen una gran influencia en todos estos factores. Ellos depositan residuos en el agua y añaden toda clase de sustancias y contaminantes que no están presentes de forma natural (OMS 1993).

Según el nuevo reglamento publicado en el diario oficial del gobierno, *La Gaceta* (edición 178 del año 2007), se establecen los valores determinantes de las diferentes clases de aguas para

consumo con el propósito de evaluar y clasificar la calidad de agua de cuerpos superficiales. (Ver Cuadro 2).

Cuadro 2. Parámetros para medir la calidad del agua dependiendo de su composición química y orgánica.

Parámetros Complementarios (Unidades)	Clase I	Clase II	Clase III	Clase IV	Clase V
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 - (mg N /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 (mg/L)	ND	ND	ND	ND	15 a 25
Sustancias activas al azul de metileno (mg/L)	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 (mg CN- /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 MgCO ₃ / L	<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
Sumatoria de los Compuestos Organoclorados (mg/L)	ND	ND	ND	0,01	0,01
Sumatoria de los Compuestos Organofosforados (mg/L)	ND	ND	ND	0,01	0,01
Coliformes Fecales (NMP/100 ml)	< 20	20 a 1000	1000 a 2000	2000 a5000	>5000

Fuente: Gobierno de Costa Rica La Gaceta # 178. (2007) ND: No detectable por el método utilizado. NA: No aplicable (1) Natural o que no afecte el uso indicado

Con base en estas categorías o clases, el siguiente cuadro clasifica los cuerpos de agua según su uso potencial y tratamiento que requiera (ver Cuadro 3).

Cuadro 3. Cuadro de uso potencial por tratamiento requerido.

Usos	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: Gobierno De Costa Rica. La Gaceta # 178. (2007)

2.5 Factores antropogénicos y la contaminación del recurso hídrico

Se define la contaminación del agua como cualquier cambio químico, físico o biológico en la calidad de esta, y que tiene un efecto dañino en quien consuma dicho líquido (Lenntech 2007).

2.5.1 Contaminación del recurso hídrico por factores agrícolas

Según Sargadoy (1993), se pueden establecer tres tipos de contaminantes del recurso: sólidos en suspensión, organismos vivos y componentes químicos. Los sólidos en suspensión provienen de los procesos de malas prácticas agrícolas que acentúan la erosión de los suelos tales como el arado, la labranza, la deforestación, el sobrepastoreo, entre otras.

Los elementos químicos provienen de la fertilización, la aplicación de plaguicidas y las aguas de riego. Algunos de estos elementos pueden fijarse en el suelo y, dependiendo de su concentración, estos pueden presentar un problema para su uso posterior (Sargadoy 1993).

Los granjeros utilizan los pesticidas y fertilizantes con el fin de maximizar su producción. Sin embargo, estos pueden ser diluidos y transportados por el suelo mediante la lluvia, y depositados en los ríos y otras fuentes de aguas. Si una gran cantidad de fertilizantes son drenados a los ríos, las concentraciones de nitratos y fósforo aumentan. Esto desencadena un crecimiento desmedido de ciertas algas y provoca la eutrofización (Lennetech 2007).

Finalmente, los residuos de los procesos de la agroindustria y algunos procesos de cosecha, también pueden aportar una cantidad considerable de materia orgánica que afecta la calidad del recurso. Asimismo, el riego con aguas servidas y no tratadas actúa como un diseminador de agentes patógenos (Sargadoy 1993).

Dentro de estos cuerpos se encuentran agentes contaminadores inorgánicos solubles en agua, tales como los ácidos, sales y metales tóxicos. En grandes cantidades, dichos agentes hacen que el agua sea inapropiada para el consumo y causan la muerte de la vida acuática (Lennetech 2007). Por otro lado, los desechos industriales son contaminantes de las fuentes de agua, e incluyen contaminantes como el zinc, el cobre, el cianuro, el mercurio y el cadmio. En muchos casos, las altas concentraciones de tales metales acaban con la fauna en los cuerpos de agua (Lennetech 2007). Por último, los principales causantes de enfermedades incluyen a las bacterias, virus, protozoos y los gusanos parásitos que se incorporan desde los sistemas de agua residuales sin tratar.

La siguiente categoría de agentes contaminantes son los consumidores de oxígeno que descomponen residuos. Por ello, cuando la población de bacterias es muy grande, la falta de

oxígeno provoca la muerte de organismos superiores (Lenntech 2007). Los sedimentos son contaminantes porque causan una disminución en la absorción de la luz por parte el agua. Sumado a esto, las partículas de estos sedimentos separan compuestos peligrosos, como los pesticidas. (Lenntech 2007).

Los contaminantes químicos, incluyendo los agrotóxicos e insumos agrícolas como nitrógeno y fosfatos, están asociados a los sedimentos. La erosión y el transporte de sedimentos en el paisaje y en los ríos son las principales formas de transferencia de contaminantes en el medio ambiente. Los contaminantes absorbidos son acarreados en partículas finas, lo cual establece una asociación de problemas causados directamente por los sedimentos, entre ellos el aumento en la turbidez. El transporte y la sedimentación van ligados al tamaño y densidad de las partículas; entre más grandes y pesadas, mas rápido se sedimentan (Andreoli 1993).

2.5.2 La urbanización y la presión sobre el recurso hídrico

Los asentamientos humanos como poblados, ciudades pequeñas y medianas, metrópolis y megalópolis se construyen y se configuran modificando o transformando la naturaleza. La tierra, el aire, el agua, la flora y la fauna sirven de soporte a estas transformaciones y son, en sí, transformados por ellas. El producto de las mismas es un nuevo entorno construido, un ambiente "natural" nuevo que combina lo social con lo natural bajo patrones de alta centralidad y densidad: "un medio ambiente urbano". Tal medio ambiente es la expresión concreta y dinámica de aquellas unidades físico espaciales y eco demográficas que denominamos "ciudades" (UNCHS 1995).

Las principales causas de la contaminación puntual son el establecimiento de los tanques sépticos y las acumulaciones de desechos que proceden de granjas porcinas o avícolas. Otro tipo de contaminación puntual son los vertederos de residuos urbanos y fugas de tuberías de alcantarillado sanitario, las cuales se infiltran en el terreno (Glynn y Gary 1999).

En muchos países, gran parte de los desechos sólidos domésticos e industriales son acumulados, prácticamente sin procesar ni separar, en depósitos de basura, que constituyen la forma de manejo tradicional más económica. Sin embargo, muchas sustancias derivadas de la descomposición de los materiales depositados están sujetas a la lixiviación provocada por el agua de lluvia. Dichas sustancias son transportadas a través del suelo, hasta alcanzar los acuíferos y otras fuentes de agua superficiales (Glynn y Gary 1999).

2.5.3 Contaminación del recurso hídrico por un origen de tipo industrial

Los contaminantes contenidos en aguas de origen industrial son innumerables, y dependen del tipo de producción. Generalmente, la contaminación se debe a la presencia de materia inorgánica en suspensión o en solución, así como la existencia de sustancias orgánicas como los desechos químicos, fenólicos, orgánicos fermentables y desechos tóxicos. Los detergentes contenidos en las aguas naturales provienen, en su mayoría, por descargas industriales (Repetto y Morán 1991).

2.5.4 Factores determinantes de la calidad del recurso hídrico

2.5.4.1 Sólidos totales, suspendidos, disueltos y la conductividad: La medida de sólidos totales incluye sólidos disueltos y sólidos suspendidos. Los materiales disueltos u orgánicos incluyen calcio, bicarbonato, nitrógeno, hierro, sulfato y otros átomos encontrados en el agua. Un nivel constante de estos materiales es esencial para el mantenimiento adecuado de la vida acuática. Por otro lado, los sólidos suspendidos incluyen partículas de sedimento, barro de las corrientes de tierra, plancton y desechos industriales y de drenaje (García 2003).

La alta concentración de sólidos totales ocasiona una baja calidad de agua y problemas de balance para algunos organismos. Una gran cantidad de sólidos disueltos puede llevar efectos laxantes en el agua de consumo y provocar un mal sabor mineral (García 2003).

Las aguas naturales, contaminadas o no, contienen una gran variedad de sustancias en disolución y en suspensión. Muchas de las sustancias disueltas son compuestos que producen partículas eléctricamente cargadas (iones), por lo que la conductividad es tenida en cuenta durante las mediciones (Roldán 1992).

La unidad de la conductividad es medida en microsiemen por centímetro ($\mu\text{s}/\text{cm}$). La conductividad es la actividad eléctrica de los iones en una disolución y esto se calcula por medio de un conductímetro (APHA *et al.* 2005).

En cuanto a la conductividad, la mayoría de las sales inorgánicas, ácidos y bases se separan o dividen en iones dentro del agua. A pesar que no se refiere a sustancias de manera particular,

los cambios en la conductividad pueden indicar procesos de intrusión salina y otras fuentes de contaminación (OMS 1993).

Por último, la relación entre la conductividad y la concentración de sólidos disueltos es usualmente lineal para la mayoría de las aguas naturales. Las variaciones en esta relación indican cambios en las proporciones de diferentes sales y por lo tanto, en las fuentes de sustancias disueltas que ingresan a la masa de agua (OMS 1993). Los sólidos en suspensión disminuyen la transparencia del agua y dificulta los procesos fotosintéticos. Si se sedimentan y se forma el fango, se producirán cambios en el ecosistema béntico del río (Sagastizado 2001).

2.5.4.2 Color Verdadero: El color verdadero es el resultado de las sustancias disueltas una vez eliminada la turbiedad. Se mide en unidades de platino cobalto (U-Pt-Co), basadas en 1 mg/L de Pt. Esta medida es determinada por la presencia de materias orgánicas y el hierro (OMS 1998).

2.5.4.3 Turbiedad: Es la medida de la materia en suspensión ocasionada por materiales como la arcilla, la materia orgánica e inorgánica, compuestos orgánicos solubles coloreados y microorganismos. Se expresa en unidades nefelométricas de turbiedad (UNT) (OMS 1998).

2.5.4.4 Coliformes fecales: Se componen por bacterias alojadas en el intestino de los animales de sangre caliente – incluido el ser humano–. Debido a que habita en las heces de los mismos, se convierte en un foco de transmisión latente. Una de las bacterias más conocidas y utilizadas dentro de los parámetros de calidad del agua es *Escherichia coli*. Los coliformes, específicamente los termotolerantes o coliformes fecales, se utilizan para evaluar el efecto de la desinfección en procesos de tratamiento de aguas residuales. Sin embargo, estos se convierten un modelo inadecuado para evaluar la inactivación de virus humanos, dado que es más resistente a la inactivación (RIPDA-CYTED 2003).

2.5.4.5 Temperatura: La temperatura del agua es crítica, porque regula todas las actividades metabólicas. Por esta razón, al haber incremento de temperatura, las tasas de respiración aumentan; la solubilidad del oxígeno disminuye; sube la tasa de mineralización de la materia orgánica y, por ende, el consumo de oxígeno. Dicho de otra manera, la calidad del agua es alterada (FAO 2001).

2.5.4.6 El pH y la alcalinidad: El pH (el potencial de hidrogeniones (H⁺)) indica la concentración de iones en el agua, el cual puede alterarse durante la degradación de la materia orgánica. En aguas naturales no contaminadas, la alcalinidad del agua está íntimamente ligada a las cantidades de dióxido de carbono presente. Dichos factores determinan el grado de acidez del agua. El pH es un criterio importante para evaluar la calidad del agua porque limita la posibilidad de vida acuática y de muchos usos del agua (OMS 1993).

2.5.4.7 Fluoruro: Este compuesto, en cantidades admisibles (0,7 a 1,5 mg/L) según lo establecido en el decreto publicado en *La Gaceta* en el 2005, puede prevenir caries. Un exceso de dicho compuesto en el agua puede producir fluorosis o dolor en las articulaciones y los músculos (APHA *et al.* 2005).

2.5.4.8 Dureza total: Este concepto se define como la suma de la dureza temporaria y la permanente, expresado en mg/L.

Agua blanda: Contiene poca caliza y forma abundante espuma con el jabón. Es decir, se trata de agua predominantemente libre de iones de calcio y magnesio.

Agua dura: Posee un exceso de sales y forma poca espuma con el jabón. Ya que contiene iones de calcio y magnesio, es inadecuada para algunos usos domésticos e industriales.

La dureza del agua se expresa como mg/l de carbonato de calcio (CaCO₃).

2.5.4.8.1 Tipos de Dureza

Dureza temporaria o dureza de carbonatos (CO₃⁻²): Constituido por carbonato ácido de calcio o magnesio. Estos bicarbonatos se precipitan cuando se calienta el agua, transformándose en carbonatos insolubles.

Dureza permanente: Se le denomina "dureza permanente" a aquellas aguas con un gran contenido de sulfatos (SO₄⁻²), nitratos (NO₃⁻), cloruros de calcio (CaCl₂) y magnesio (MgCl₂). Esas sales no precipitan por ebullición.

Las aguas duras traen aparejada una serie de inconvenientes fundamentalmente económicos: mayor consumo de jabón, incrustaciones en cañerías y tanques de agua, baja calidad de las infusiones, aumento de costos en las industrias debido a la necesidad de efectuar tratamientos para ablandar el agua, etc. Asimismo, las incrustaciones en cañerías e instalaciones en general, promueven la formación de biofilms (membranas orgánicas) que alojan organismos patógenos (bacterias, etc.) (LAROUSSE 1987) (APHA *et al.* 2005).

2.5.4.9 *Escherichia coli*: Esta bacteria pertenece a la familia Enterobacteriaceae, la cual forma parte de la flora normal intestinal de los animales de sangre caliente. Estas, aparte de formar colonias circulares, convexas y lisas con bordes definidos, producen enfermedades como diarreas e infecciones urinarias. En algunos casos, la bacteria puede llegar a la sangre y producir sepsis y meningitis, una enfermedad similar a la shigelosis (Brooks *et al.* 1995).

2.6 Ordenamiento territorial y la protección del recurso hídrico

El ordenamiento territorial es concebido por algunos como la planificación física a escala regional subregional y local con énfasis en el uso y ocupación del territorio. Otros lo entienden como escenario de desarrollo vinculado, estrechamente, con la planificación económica y social con el objetivo de garantizar el equilibrio regional. Por otra parte, hay quienes lo conciben como una política estatal y proceso de planificación integral y concertada con la que se pretende configurar la organización del territorio de acuerdo a los objetivos de desarrollo sostenible para el mejoramiento de la calidad de vida de sus habitantes (Aguilar 2006).

El fin del ordenamiento de cuencas hidrográficas es la compatibilización entre la aptitud ecológica u oferta ambiental y las actividades socioeconómicas o demanda social. De esta manera, es posible lograr un balance entre el hombre y la naturaleza a partir de la identificación de áreas de ocupación y uso de los espacios físicos, previamente concebidos y caracterizados en la fase del diagnóstico analítico (SOGREAH INGENIERIE *et al.* 1999).

Dicha etapa presenta un enfoque político, al mirar la realidad basada en la aplicabilidad de las orientaciones políticas nacionales y regionales, así como la percepción que las comunidades tienen de ella. Todo esto aplicado al conocimiento de la estructura y funcionamiento dado por las diferentes disciplinas científicas comprometidas en el estudio. De esta manera y con base en una imagen objetiva o paradigma de desarrollo para la cuenca, se establecen las líneas divisorias de hoy y del mañana dentro de la espacialidad territorial objeto de transformación y cambio (SOGREAH INGENIERIE *et al.* 1999).

La reflexión sobre el uso de los factores físicos, bióticos, humanos y ambientales es necesaria para la recuperación de los sitios atacados por erosión hídrica. . Esto ayudaría diseñar un aprovechamiento racional de todos los recursos disponibles para obtener un rendimiento sostenido de ellos y el mejoramiento de las condiciones de vida del pastizal y del hombre

(Gaspari 2007). El mejoramiento de la calidad de vida presenta dos fases: una que hace referencia a la lucha por la supervivencia de las especies vegetales y animales en sitios degradados por la erosión durante los primeros años de vida hasta su adaptación definitiva; y otra posibilita de uso en forma sostenida de los recursos naturales por parte del hombre (Gaspari 2007).

2.7 Sistemas de Información Geográfica (SIG)

2.7.1 Los SIG como una herramienta para la toma de decisiones en los países en desarrollo

Los sistemas de información geográfica le ofrecen al usuario la capacidad de sobreponer una variedad de tipos de mapas, dentro de un sistema que facilita el proceso de decisión sobre los recursos base sobrepuestos. Mediante esto, es posible valorar de forma diferente factores asociados con algunas de las capas del mapa, creando diferentes escenarios dependiendo de los pesos asociados a las variables (Savitsky 1999).

Dicho de otra manera, la objetividad asociada a los SIG tiene un potencial con el cual provee información racional en el campo de la planificación (Savitsky 1999).

La tecnología SIG es una parte esencial de la historia del éxito de cada región en crecimiento de un país. Es más, esta puede convertirse en la piedra angular de una nueva estructura de trabajo para una determinada región. Es importante visualizar la región donde se piensa trabajar y analizar los sistemas que se desarrollan, sean de tipo biótico o abiótico. Si se tiene identificada la región y sus variables, no se puede obviar la intervención o introducción de diferentes expertos en el área para que realicen la toma de decisiones (Moll *et al.* 2007).

2.7.2 Asociación de pesos de forma cuantitativa a variables

2.7.2.1 Evaluación de las capacidades de uso de territorio

En la elaboración de planes de ordenamiento territorial, se determinan las capacidades de recibir algún tipo de actividad humana en cada punto de una región. Para ello se establece una valoración cuantitativa de la capacidad de cada punto de la región estudiada para recibir una actividad concreta (Barredo 1996).

La consecución de este resultado exige concretar dos cosas: las actividades humanas que se desean instalar en la región y las variables consideradas influyentes sobre la posible localización de cada una de las actividades en un punto (Bosque 1997).

Es importante generar una base de datos que contenga una serie de estratos iniciales de información con el propósito de determinar cuáles son las condiciones existentes en el momento presente en la región en estudio. Algunas de las condiciones pueden ser la topografía, la litología, los tipos de suelo, las precipitaciones y temperatura, la vegetación natural y la ocupación humana del suelo en el presente, etc. La elección concreta de estas capas temáticas depende, desde luego, de las variables que se han considerado influyentes en las actividades a localizar (Bosque 1997).

Con el conjunto de procedimientos de análisis SIG es posible obtener, a partir de la información inicial, las variables concretas que resultan necesarias para el posterior análisis de capacidades. Por ejemplo, de la topografía se puede obtener un mapa de pendientes y orientaciones. Es posible, igualmente, calcular distancias y accesibilidades a distintos elementos. Mediante la combinación de diversos tipos de datos iniciales (pendientes, cultivos y vegetación natural) es fácil determinar la pérdida potencial del suelo en cada punto (Erosión) (Lee 1985).

2.7.3 SIG e iniciativas en Costa Rica

Existen iniciativas que van de la mano en lo que se refiere a la inclusión de los SIG como herramientas de monitoreo y toma de decisiones. Entre ellas se puede citar la investigación llevada a cabo para la Fundación para el Desarrollo de la Cordillera Volcánica Central (FUNDECOR) por Grégoire Leclerc y Johnny Rodríguez en el año de 1997, la cual utiliza los SIG para determinar áreas críticas en el ACCVC. En dicha investigación se identificaron ciertos indicadores que eran posibles amenazas. Una vez identificadas, se priorizaron mediante una metodología conocida como el método Saati, implementado en el módulo de pesos del programa IDRISI.

Mediante este método, se asegura que los pesos resultantes son aquellos que minimizan la distorsión en la concepción de estos factores. Cuando ya están establecidos los pesos y variables, se genera un mapa para representar los índices de criticidad para las variables de población, caminos y carreteras, pendientes, áreas de aprovechamiento.

Otra iniciativa en SIG fue elaborada por Jorge Fallas en el 2002, con la cual logró determinar áreas vulnerables en relación con el recurso hídrico, La investigación describelos resultados obtenidos al aplicar una adaptación del índice DRASTIC para evaluar la vulnerabilidad a la contaminación que tiene el agua subterránea en Costa Rica. El modelo genera un índice o puntuación que indica la vulnerabilidad a la contaminación del agua subterránea; mientras valores pequeños indican una baja vulnerabilidad, los valores altos muestran una alta vulnerabilidad.

El estudio se realizó a nivel nacional y por tanto el objetivo principal fue delinear aquellas zonas en donde el recurso agua subterránea podría ser más susceptible a la contaminación. En el estudio se utilizó el mapa geológico de Costa Rica, el registro de pozos del Sistema Nacional de Aguas Subterránea, Riego y Avenamiento (SENARA), el mapa de subgrupos de suelos de Costa Rica, un modelo digital de elevación elaborado a partir de cartografía 1:200.000 y datos sobre escorrentía y recarga. Según esta investigación, el 25.5% del territorio costarricense posee una vulnerabilidad moderada, en tanto que el 51.5% posee una vulnerabilidad alta y un 22.3% una vulnerabilidad muy alta.

El sistema de áreas protegidas de Costa Rica provee una protección para el 19.9% y el 36.7%, respectivamente de las zonas clasificadas como de alta y muy alta vulnerabilidad a la contaminación. A nivel provincial, Limón, Alajuela y Puntarenas poseen los porcentajes más altos de áreas con una vulnerabilidad muy alta, alta y moderada. No existe información confiable ni actualizada sobre la extensión de los principales acuíferos del país. Por esta razón, los mapas generados deben considerarse como preliminares y utilizarse para la toma de decisiones a escala regional (Fallas 2002).

A nivel de divulgación y representación de la problemática que se ha vivido en cuanto al recurso hídrico, la PhD. Jenny Reynolds Vargas explora el tema por medio de dos libros. El primero, publicado en 1996 con el título de *Utilización y Manejo Sostenible de los Recursos Hídricos*, recopila información relevante en cuanto a la legislación con la que contaba el país en esos años. Aparte de estudiar el estado de los recursos hídricos en el país y su administración, se analizaron las problemáticas en las cuencas que abastecen los diferentes acueductos, además de los problemas existentes a nivel de aguas continentales y costeras y la vulnerabilidad de las aguas subterráneas.

En su segunda entrega para el año 2002, la PhD. Reynolds recopila una serie de artículos asociados a la problemática actual del recurso agua a nivel subterráneo. Dicho documento resalta temas como la contaminación por químicos, agentes microbiológicos, estudios específicos de acuíferos. Aunado a esto, presenta la elaboración de modelos para representar el grado de vulnerabilidad de las aguas y que deja un apartado para recopilar artículos referentes a la legislación del agua.

2.8 Leyes y decretos

Las leyes establecidas para regir y velar en lo que concierne al recurso hídrico elaboradas por el Gobierno de Costa Rica (1942, 1953, 1996, 1997, 1998a, 1998b, 2005, 2007, 2009) han recopiladas en el Código Ambiental elaborado por Zeledón (1999), exceptuando las leyes o decretos posteriores a su publicación y que están adjuntas a este documento en el Anexo 1.

Es necesario tener claro cuáles de estas leyes y decretos poseen algún artículo que permita la protección del recurso hídrico. Esto permite estudiar el tipo de protección y manejo que se le debe dar al suelo con relación al tipo de uso actual que se esté desarrollando. Asimismo, es posible determinar, mediante la legislación existente, en qué se basa la diferenciación en el tipo de prácticas, si es que las hay.

3. Objetivo General

Determinar el efecto del uso del suelo (influencia antropogénica) sobre la calidad del agua de las fuentes de abastecimiento en la cuenca del Río Sarapiquí durante el 2008.

3.1 Objetivos específicos

- Identificar las principales variables biofísicas que determinan la calidad de agua cercana a las nacientes en el área de estudio.
- Determinar el rango de variación de la susceptibilidad a la erosión del área de estudio mediante la fórmula universal de pérdida del suelo.
- Evaluar la calidad del agua en fuentes de abastecimiento de agua, asociadas a diferentes grados de influencia antropogénica (uso del suelo) y a las diferentes variables que determinan la calidad del agua en los rangos de susceptibilidad a la erosión presentes en el área de estudio.

3.2 Hipótesis nula

El uso del suelo circundante a las fuentes de abastecimiento no afecta la calidad del agua que consume la población de la cuenca del Río Sarapiquí.

3.3 Problema

En la legislación nacional, se da por sentado que toda actividad antropogénica tiene el mismo nivel de impacto sobre el recurso hídrico. El conocimiento científico evidencia la diferenciación del nivel de impacto en función del tipo de actividades a la cual se encuentre asociada una fuente de agua: actividades industriales, asentamientos humanos, cultivos agrícolas del suelo expuesto, ganadería, turismo, plantaciones forestales y protección de bosque. De esta manera, se necesita una mayor especialidad en la legislación actual con el propósito de enfocar el escaso recurso para el control y protección del agua en las actividades de mayor impacto y liberar aquellas actividades que no evidencien impacto alguno.

4. Metodología

4.1 Ubicación del área de estudio

El área de estudio se encuentra dentro del Área de Conservación Cordillera Volcánica Central (Fig. 3), que es la zona más poblada del país (cuenta con un 54% de la población total (INEC 2001), específicamente en la cuenca del Río Sarapiquí. En dicha cuenca están presentes los siguientes cantones: Pococí de Limón, Vásquez de Coronado en San José, San Rafael, Sarapiquí, Heredia, y Alfaro Ruiz en la Provincia de Heredia y los cantones de Alajuela, San Carlos, Grecia, Poás y Valverde Vega en la Provincia de Alajuela.

Dentro de las características geobiofísicas de la cuenca se puede resaltar, que mide 1 923 km² (INBio 2008) y que la temperatura oscila entre 6 °C y los 25 °C, dependiendo de la elevación del terreno y la época del año. Su altitud va de los 2682 m.s.n.m a los 100 m.s.n.m y con una precipitación media anual de 3997 mm. Además, la cuenta posee una red fluvial muy grande y compleja, representada por el Río Sarapiquí como su principal afluente. Otros afluentes importantes son el Río Puerto Viejo, el Río la Paz, el Río Chirripó, el Río Toro y el Río Sucio.

Esta zona presenta una gran biodiversidad, contenida en sus zonas de vida, entre las cuales se pueden citar el bosque tropical muy húmedo, bosque muy húmedo, bosque pluvial premontano, bosque pluvial montano bajo, bosques muy húmedo montano bajo y el bosque pluvial montano (ITCR 2004).

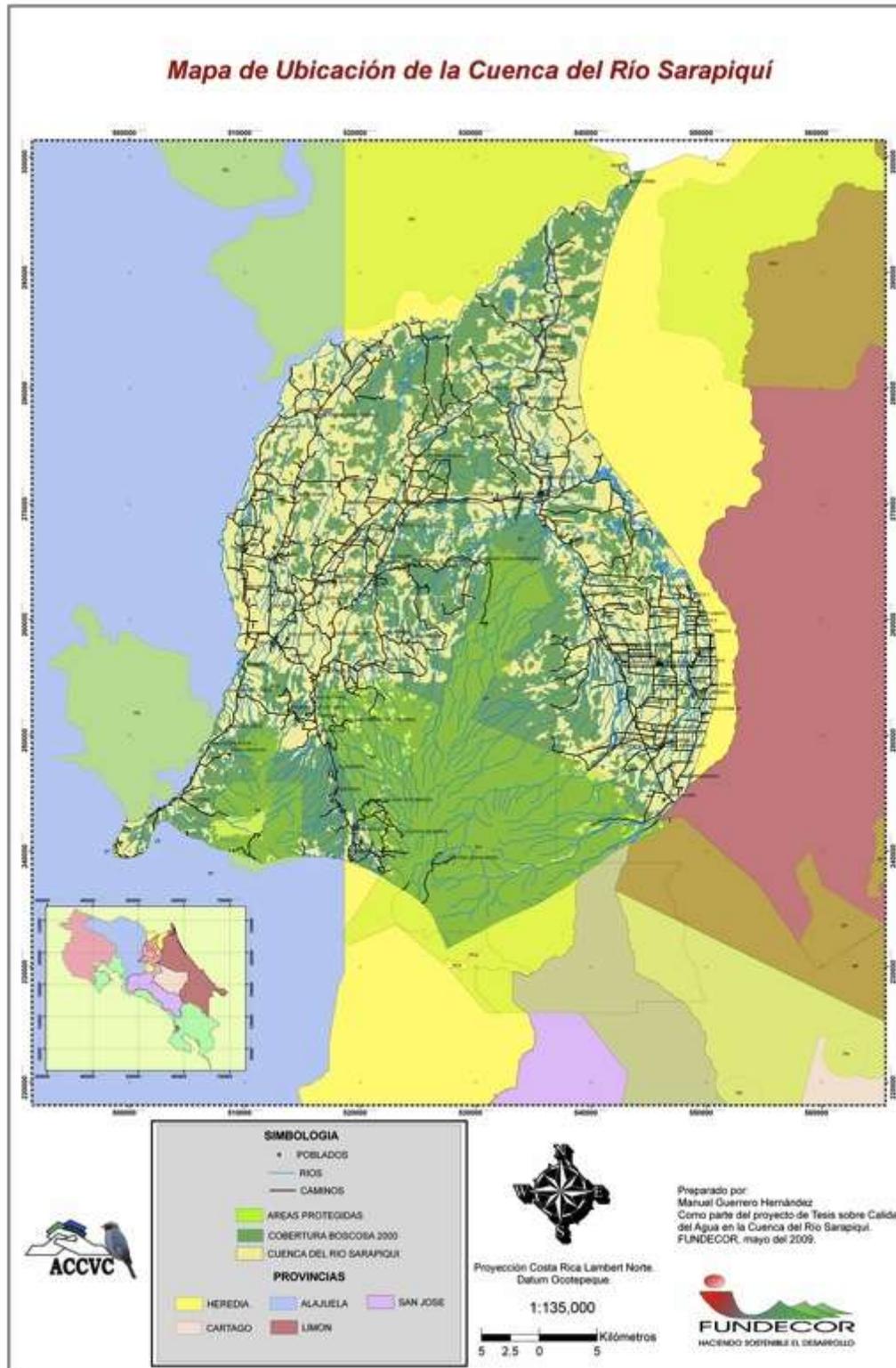


Fig. 3. Mapa de Ubicación del cuenca del río Sarapiquí en Costa Rica (Elaboración propia).

4.2 Materiales y Métodos

4.2.1 Toma de datos y elaboración de los modelos

La toma de datos y elaboración de los modelos de estimación de pérdida del suelo, al igual que los análisis estadísticos se realizaron durante todo el año del 2008.

4.2.1.1 Establecimiento de los puntos de muestreo

Para establecer los puntos de muestreo, fue necesario realizar un censo de las nacientes utilizadas por todas las Asociaciones Administradoras de Acueductos y Alcantarillados (ASADAS) que pertenecen a la Asociación de ASADAS de Sarapiquí. Se analizaron las nacientes que presentaban algún interés de explotación para consumo humano por estas ASADAS, las cuales fueron geoposicionadas mediante un Sistema de Posicionamiento Global (GPS, por sus siglas en inglés).

Se establecieron 37 puntos de muestreo (31 nacientes para consumo humano y 6 nacientes sin captar). Estos puntos fueron ubicados exactamente en las nacientes o sus tomas de agua a un nivel de orden 1 (Fig. 4), lo cual significa que cada punto de muestreo debe de estar donde se encuentre la toma de agua. Con esto se asegura que existirá una interacción entre los factores biofísicos y la calidad del agua.

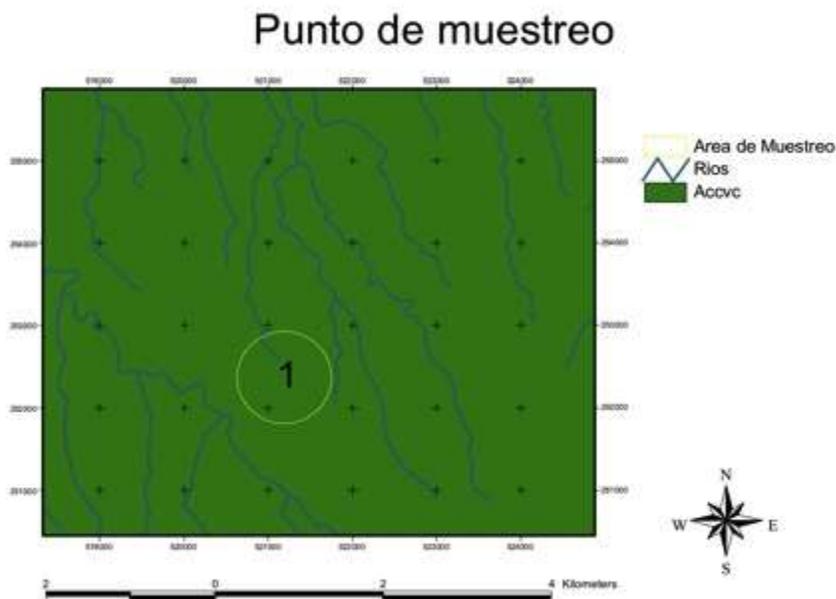


Fig. 4. Orden de las nacientes que determinan el punto de muestreo (Elaboración propia).

4.2.2 Caracterización de las nacientes

La caracterización de las nacientes se llevó a cabo en los meses de agosto a noviembre del 2008, en las nacientes utilizadas por todas las ASADAS que pertenecen a la Asociación de ASADAS de Sarapiquí. También se estudiaron las nacientes que presentaban algún interés de explotación para consumo humano por las ASADAS.

En cada naciente se levantó información de campo basada en el formulario 1.3 del Proyecto de Caracterización y Georeferenciación de Nacientes del Programa de Manejo del Recurso Hídrico en el Área de Conservación Cordillera Volcánica Central, planteado en el 2008 por el MIANET en el ACCVC. Por medio de dicho documento se pudo determinar ciertas variables de interés para el estudio en caso, las cuales se encuentran especificadas en el Anexo 2. Entre los factores que se consideraron, están algunos factores biofísicos como el uso del suelo circundante, partiendo del punto de muestreo en la toma de agua, en un radio de 200 m si es de consumo humano y de 100 m si no está siendo utilizada.

Además, se estudiaron las áreas fuera del perímetro del punto de muestreo, al igual que la pendiente. Se determinó si el estado de la captación era muy bueno (malla de protección con candado, con tapa, candado en la tapa, captación de cemento, sin fugas, pintada, caudal ecológico, desviación de aguas pluviales, rotulación y limpio de basura), bueno (con tapa, con candado, captación de cemento, sin fugas y con desviación de aguas pluviales), regular (con tapa y captación de cemento), malo (captación rústica y sin seguridad) o estaba sin captar. Por último, era importante averiguar a quién pertenece el terreno donde se encuentra el manantial o naciente y cuáles son sus vecinos inmediatos; si es administrado por la ASADA, a cuales pueblos abastece y el número de abonados; las especies forestales presentes, el rumbo del agua y su dirección; las coordenadas geográficas, el error, la altitud, el nombre de la naciente entre otras (Anexo 2 y 3),

De igual manera se solicitó al AyA los datos existentes sobre calidad del agua en la región (Anexo 12). Se realizó una interpretación de los datos brindados con el fin de establecer una línea base la cual fue determinada con los decretos publicados en el diario oficial *La Gaceta* en los años 2005 y 2007. Es importante destacar que, en lo relacionado al consumo humano (según el decreto N° 32327-s del 2005) hay dos categorías (aceptable e inaceptable) en el momento de ser ingerida. En lo referente al decreto N° 33903-MINAE-S, publicado en el 2007, hay cinco categorías: Clase 1 (Tratamiento Simple con Desinfección), Clase II (Tratamiento

Convencional), Clase III (Tratamiento Avanzado), Clase IV (No Utilizable) y Clase V (No Utilizable). Las primeras tres pueden ser utilizadas para el consumo humano, de acuerdo a los parámetros establecidos, y siempre y cuando sea tratada antes de ser ingerida por los usuarios (Anexo 1).

Se utilizaron los criterios mencionados anteriormente por las siguientes razones: con la legislación del 2007 se pudo establecer reglamentos para las categorías de calidad de agua y la determinación de los tratamientos necesarios para convertir al agua potable. Por otro lado, con el decreto del 2005 es posible ver los parámetros finales permisibles para el consumo humano.

4.2.3 Establecimiento de las variables fisicoquímicas y bacteriológicas que determinan la calidad del agua

Establecido el punto para cada nacimiento, se procedió a tomar las muestras de agua para cada uno de los 37 manantiales en un período de ocho días hábiles que iban del 8 al 12 de diciembre y del 15 al 17 de diciembre del 2008. Se midió el grado de turbidez del agua, la presencia de coliformes fecales, el color verdadero, pH, alcalinidad, *E. coli*, la conductividad eléctrica, el olor y el sabor (estas dos últimas variables cualitativas). Tales cualidades están comprendidas en el nivel N1 (nivel básico de control), mientras que la dureza total y fluoruro pertenecen al nivel N2 (nivel básico de control ampliado) del decreto n° 32327-s, establecido en el 2005 y a algunas de las variables complementarias del decreto 2007 (Anexo 1).

Al tener establecidas estas variables, se hizo una solicitud formal al Instituto Nacional de Acueductos y Alcantarillados (AyA) sobre los datos obtenidos en la región durante los años anteriores al muestreo (2004-2008) para tener un marco de referencia (Anexo 12). Partiendo de los datos existentes para cada nacimiento o, en el caso de que hubiera varios años de muestreo para cada nacimiento, se tomaron los años más recientes para llenar los datos. La información recopilada por parte del AyA para las nacientes fue inconstante. Es más, para algunos años se realizaron análisis físico-químicos de manera constante; en otras ocasiones, la evaluación fue anual y otras, no se realizaron del todo. A partir del 2006 y hasta el 2008 solamente se realizaron los análisis de *E. coli*.

4.2.4 Metodología establecida para realizar los muestreos fisicoquímicos que determinan la calidad del agua

Los protocolos seguidos para recolectar las muestras de agua y llevar a cabo los análisis correspondientes se establecieron por el Laboratorio Nacional de Aguas (LNA) del AyA en el muestreo simple instantáneo de aguas (AYA-PT-019-3). Dichas directrices fueron elaboradas por el Licenciado Marco Sequeira en el 2007 con base en las siguientes publicaciones: OMS (1998) y APHA *et al.* (2005). Este protocolo ha sido adaptado para el presente proyecto de investigación.

Para realizar el muestreo fue necesario llenar una hoja de custodia de muestras establecida por el AyA con el propósito de verificar el seguimiento apropiado de la toma de las muestras. Tales directrices siguieron lo descrito por el protocolo de muestreo simple instantáneo de aguas (AYA-PT-019-3) (Anexo 4).

4.2.4.1 Tipos de envase necesarios para la toma de muestras físico-químicas

- Para el primer envase (FQ–1) se consideró lo siguiente: debía ser plástico, de un litro, con tapa blanca e identificada con números entre 900 a 1400. El envase se enjuagó tres veces con el agua a recolectar antes de almacenar la muestra final. Antes de tapar el envase, se dejaron 2 centímetros de burbuja de aire. El sello plástico y la tapa de color blanco se colocaron inmediatamente después de recolectar cada muestra. Posteriormente, las muestras fueron almacenadas en la hielera para facilitar su transporte y custodia hasta el laboratorio.
- El envase (FQ–2) es de plástico, de un litro, con tapa roja e identificado con números entre 200 a 600. Dicho recipiente no puede enjuagarse porque lleva ácido nítrico como preservante. La tapa del recipiente debe removerse con cuidado porque los vapores de ácido nítrico pueden quemar la ropa, la piel o dañar los ojos. El envase FQ–2 se llenó con el recipiente FQ–1 para evitar el derrame del ácido que contiene. Antes de tapar el envase, se dejaron 2 centímetros de burbuja de aire. Para finalizar, el sello plástico y la tapa de color rojo inmediatamente fueron colocadas después que cada muestra es recolectada. Las muestras fueron almacenadas en la hielera para facilitar su transporte y custodia hasta el laboratorio.

4.2.4.2 *Envases para la recolección de muestras para análisis microbiológicos*

- Corresponde a recipientes de vidrio transparente, identificados con números de 1 a 1.200.
- Ninguno de los envases para muestras microbiológicas (MICRO-1, MICRO-2, MICRO-3, MICRO-4) debe ser enjuagado en el sitio de muestreo.
- Los envases para muestras microbiológicas contienen 0,3 ml de disolución de EDTA al 15%.
- Estos recipientes deben mantener las condiciones de esterilidad. Por lo tanto, se debe manipular de la siguiente manera:
 - a) El envase de muestreo se sujeta, con una mano, por su parte inferior.
 - b) Con la otra mano, se levanta cuidadosamente el papel de aluminio que cubre la tapa y el cuello del recipiente de muestreo, de manera que se vea el cuello del mismo para abrir el envase.
 - c) Se abre el envase de muestreo sin quitar el papel de aluminio de la tapa.
 - d) Se coloca el envase bajo el chorro del agua o contracorriente, según sea el caso, manteniendo la tapa en la otra mano.
 - e) A la hora de llenar el recipiente, es importante dejar un espacio (aproximadamente 2,5 cm) de aire para facilitar la agitación de la muestra antes del análisis.
 - f) La tapa del envase se coloca inmediatamente después de haber recolectado la muestra, asegurándose que el papel de aluminio quedó bien ajustado a la tapa.

Bajo ninguna circunstancia los sellos y las tapas deben de tener contacto con superficies ajenas o contaminantes.

4.2.4.3 *Muestreo de cursos de una corriente de agua (nacientes)*

En el caso de las nacientes, fue necesario seleccionar el punto central de un tramo recto y de flujo homogéneo. Este no podía estar cerca de las orillas, en lugares que presenten sedimentos, cerca del fondo o en situaciones donde haya estancamiento del agua.

En la recolección de estas muestras, se respetaron los tiempos de retención establecidos entre cada etapa del tratamiento, según protocolo del AyA (2007).

Para recolectar la muestra, se sumergió el envase con el cuello ligeramente inclinado hacia abajo, hasta una profundidad entre 15 a 30 cm, con el fin de evitar desechos flotantes. Poco

después, el recipiente fue enderezado, de manera que el cuello estuviese colocado hacia arriba y la boca en dirección contraria a la corriente para evitar que el agua tocara la mano antes de entrar en la botella. Cuando no había corriente, la botella horizontalmente fue desplazada a través del agua de forma horizontal, llevando el envase de muestreo hasta los hombros. Si el envase se llenaba completamente, era importante descartar un poco para dejar un espacio de aire (aproximadamente 2 cm) para facilitar la agitación de la muestra antes del análisis (Anexo 5).

Las muestras de tipo bacteriológico fueron transportadas en una hielera aparte. Ambas hieleras poseían rejillas separadoras para prevenir el contacto entre los recipientes. Aparte de esto, un sustrato de hielo se encargaba de mantener la temperatura de la hielera menor a 10 grados Celsius y menor a 4 grados Celsius para cada envase. Los recipientes debían entregarse antes de 24 horas de haber realizado el muestreo para ser analizadas por el laboratorio nacional de aguas del AyA

4.2.5 Determinación de la pérdida de suelo en la Cuenca del Río Sarapiquí

La determinación de la pérdida de suelo se hizo mediante un modelo elaborado en el programa IDRISI Andes, el cual utiliza la fórmula universal de pérdida de suelo (Wisheimeier & Smith 1978) revisada por (Nearing *et al.*1989).

$$E=RKLSCP$$

Donde:

E: Pérdida de suelo estimada como promedio anual.

R: Factor de erosividad.

K: Factor de erodabilidad de suelo.

L y S: Longitud y pendiente.

C: Factor cultivo.

P: Prácticas de manejo.

Cada variable cuenta con un valor establecido o que se puede calcular mediante toma de datos o con datos ya existentes. A partir de la información obtenida, se elaboraron capas digitales (mapas) con los programas Arc Gis 9.2, ArcView 3.3 e IDRISI Andes.

4.2.5.1 Factor R

Este factor se refiere a la fuerza de erosividad causada por la lluvia que golpea el suelo en el proceso de precipitación. El cálculo del valor de erosividad de la lluvia es difícil de realizar en territorios como el nuestro, ya que es necesario disponer de información detallada de las precipitaciones. Se requiere de un registro continuo de las variaciones de intensidad de la lluvia durante los diferentes aguaceros.

Por otro lado, en Costa Rica, la red de pluviógrafos existente es escasa y se encuentra distribuida irregularmente. Por estos motivos, para poder realizar este tipo de estudios con base en la información existente, se han elaborado índices de erosividad obtenidos con volúmenes de precipitación. Los más conocidos son el índice de agresividad climática de Fournier (1960), en su formulación original o en la versión modificada (MFI) por Arnoldus (1978).

Para calcular el factor R se utilizó una ecuación establecida por Fournier (1960) como el índice de agresividad:

$$R = p^2/P$$

Donde:

P: es la precipitación anual (en mm).

p: es la precipitación del mes más lluvioso (en mm).

Mediante la georeferenciación se creó una capa digital de los puntos en donde se encuentran las estaciones meteorológicas del Instituto Meteorológico Nacional (I.M.N) que monitorean alrededor y dentro del área de estudio. Con estos valores (Anexo 6) se realizó una interpolación de los datos para generar una capa de tipo raster de 30x30 con los valores correspondientes de R y así poder hacer uso del modelo en el programa IDRISI.

4.2.5.2 Factor K

El factor K expresa la vulnerabilidad por erosión hídrica de un suelo. De acuerdo a Wischmeier (1978), las características que tienen un impacto importante a la disposición erosiva de un suelo son:

- El contenido [%] limo + arena muy fina (0.002-0.1mm).
- El contenido [%] de arena + arena fina (0.1-2mm).

- El contenido de materia orgánica [%].
- La clase de agregación.
- La permeabilidad.

Con este principio, el cálculo del factor K se determinó utilizando el algoritmo:

$$100K = 2.1M^{1.14} (10^{-4})(12 - a) + 3.25(b - 2) + 2.5(c - 3)$$

Donde:

K: Factor K

M: (% limo + % arena muy fina) * (% limo + % arena - % arena fina)

a: Contenido de materia orgánica (%)

b: Clase de agregación según la clasificación de suelos

c: Clase de permeabilidad

Se utilizó la fórmula anteriormente citada y el nomograma para calcular los valores de 11 grandes grupos de suelos mediante los valores obtenidos de 16 estudios de suelos realizados en fincas sometidas a un proceso de reforestación en los años del 2003 al 2006 bajo el Programa de Reforestación establecido por FUNDECOR en la zona. Cada estudio de suelos contaba con varias repeticiones que van de dos a doce, pues dependían del tamaño de la finca a reforestar. Posteriormente, se obtuvo un promedio de los valores calculados en los estudios de suelos realizados, de los cuales se extrajeron los porcentajes de arcilla, limo, arena, arena muy fina, fina y materia orgánica (MO).

A los valores MO que superaron el 4% se les dio el mayor valor asignable según la fórmula ósea 4%. La permeabilidad y estructura se calculó mediante el manual de uso del suelo de Acón (1991), el cual está asociado al mapa de suelos del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) elaborado por el mismo autor en 1990; y el mapa de suelos del Atlas 2004 del Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR), utilizado para asignar los grandes grupos de suelos.

Para los valores de k de los EUTROPEPT, TROPOFIBRIST, TROPORTHENT, TROPODULT, VITRANDEPT – representados por áreas relativamente pequeñas y que carecían de valores existentes en los análisis de suelos realizados por FUNDECOR - se asignaron valores por medio de los polígonos adyacentes, los cuales poseían una mayor representación alrededor de la figura estimada. Con estos datos se generó una capa digital de tipo raster de 30x30 con el propósito de incorporarla al modelo RUSLE de IDRISI (Anexo 7).

4.2.5.3 Factores L y S

El factor S hace referencia a la pendiente o grado de inclinación del terreno en estudio. Por otro lado, el factor L se refiere específicamente al largo de la pendiente en el terreno.

Estos factores se estimaron mediante la incorporación de un modelo de elevación digital (Capa de tipo Raster de 30x30) de la zona al programa generador de modelos RUSLE en IDRISI Andes. Este modelo se generó a partir de curvas de nivel mediante la interpolación de la información. El producto final es una capa digital de tipo raster que compile la información espacial en X, Y, Z.

4.2.5.4 Factor C

Incluye la cobertura vegetal existente en el sitio de estudio en la FUPS, el cual clasifica la cobertura desde suelo desnudo; pasando por cultivos, pastizales y cuerpos de agua hasta el bosque primario.

Al analizar la influencia de la cubierta vegetal sobre la erosión del suelo, todos los estudios parecen coincidir en que es éste el factor fundamental a modificar si se pretende conseguir una eficaz protección contra los procesos erosivos (Moreira 1991).

Para la asignación de índices del factor C, se utilizó un mapa digital de cobertura elaborado por FUNDECOR a partir de fotos del Proyecto Carta 2005. Se extrajo la porción correspondiente al área de estudio con el propósito de asignar un valor a cada categoría mediante tablas ya establecidas por *David 1987, Roose 1977, Margolis y Campos Filho 1981, Leihner et al., 1996* en FAO 2001 (Anexo 8). Estas tablas se obtienen a partir de una serie de índices tabulados, cuyo valor depende de la tipología de la cobertura vegetal. Con esta información se generó un raster de 30x30 con los valores asignados de C para correr el modelo en IDRISI.

4.2.5.5 Factor P

Este factor se encarga de caracterizar de forma numérica las prácticas de manejo existentes en el área de estudio, tales como cultivos en terrazas, cultivos en hileras, bosque, etc.

Se emplearon valores del P tomados de Wischmeier & Smith 1978 (Anexo 9) utilizando la pendiente, el rango altitudinal del cultivo y el valor del cultivo a nivel y la capa obtenida para el factor C. Con la ayuda de estos datos se generó el raster de 30x30 con fin de correr el modelo en IDRISI.

4.2.5.6 Modelo Universal de Pérdida del Suelo en IDRISI

El mapa digital de pérdida del suelo se obtuvo a partir de la conjunción de cada uno de los raster de 30x30 generados para cada factor de la FUPS, el cual da valores de pérdida de suelo en toneladas métricas por año. Además, se establecieron los siguientes parámetros basados en recomendaciones establecidas por el modelo, el parámetro (slope-length-threshold) largo de pendiente se estableció en 121.92 metros, la dirección de la pendiente fue de 0 grados y el tamaño del parche más pequeño fue de 900 metros cuadrados (30x30) y el grado de pendiente de 21%.

Por esta razón, fue necesario dividir cada capa en 22 cuadrantes para poder correr el modelo, ya que el programa tiene un límite de 32000 parches o segmentos por cada mapa de 900 metros cuadrados.

Una vez establecida la capa digital, se realizó una extracción de fragmentos de la FUPS utilizando zonas búfer para cada nacimiento. En el caso de las nacientes captadas, se creó un búfer con un radio de 200 metros. Para las nacientes no captadas, se creó un búfer de 100 metros de radio en donde se extrajo los valores medios correspondientes para cada nacimiento mediante el programa IDRISI Andes. De esta manera se puede determinar si la pérdida del suelo en las regiones circundantes o zonas de protección de las nacientes es un factor influyente en la calidad del agua de dichos manantiales.

4.2.6 Estadística

Todos los análisis estadísticos realizados – Análisis Multivariado de varianzas (MANOVAS), Análisis de varianzas (ANAVAS) y sus gráficos (Gráficos de los Análisis canónicos discriminantes, ANOVAS y Análisis de Conglomerados) al igual que las correlaciones entre variables de la calidad del agua y los análisis canónicos discriminantes – fueron elaborados mediante los programas InfoStat 2008, R 2.8.1 y Excel 2003 de Microsoft.

4.2.6.1 Análisis de Varianza de los fragmentos extraídos de la FUPS a partir de los búfer versus el uso del suelo

Se procedió a calcular las varianzas de cada grupo de uso del suelo (bosque, reforestación, pasto y urbano-cultivos) para comprobar la existencia de una igualdad de varianza. Dichos cálculos permitían establecer una contraposición con los fragmentos extraídos de la fórmula universal del suelo. Por medio de esto, se podía verificar los valores de cada búfer y comprobar que no hay problemas de erosión en las áreas circundantes a las nacientes.

4.2.6.2 Establecimiento de la relación entre uso del suelo, el estado de la captación y la calidad del agua

4.2.6.2.1 Análisis multivariado de varianza (MANOVA) y Análisis de Conglomerados (clusters) del uso del suelo y el estado de la captación versus los análisis físico-químicos y bacteriológicos de las nacientes

Para establecer la relación entre el estado de la captación, el uso del suelo y la calidad del agua fue necesario realizar un análisis de varianza multivariado con las variables biofísicas (uso del suelo) asociadas al área búfer de cada naciente y el estado de la captación (tipo I: muy buena, tipo II: es buena, regular y mala; tipo III: es sin captar) contrapuestos a los resultados encontrados en los análisis físico-químicos realizados a las muestras tomadas en los 37 manantiales comprendidos dentro de la cuenca hidrográfica. Una vez realizado el MANOVA, se procedió a elaborar un gráfico cluster a partir de un análisis de conglomerados con una distancia euclídea de los valores de calidad del agua contrapuestos al uso y el estado de la captación. El gráfico permitió representar, de manera gráfica, las similitudes y diferencias entre grupos de uso y estado.

4.2.6.2.2 Análisis de Varianza (ANAVA) de cada variable que determina la calidad del agua versus el uso del suelo y el estado de la captación

Este análisis se llevó a cabo mediante la normalización de los datos obtenidos en el muestreo de aguas de cada nacimiento y se logró establecer cuáles de las variables mencionadas anteriormente son las responsables de establecer la diferenciación entre los grupos de uso del suelo y el estado de la captación contra la calidad del agua.

4.2.6.2.3 Correlación entre variables que determinan la calidad del agua

Se realizó un análisis de correlación entre las variables que determinan la calidad del agua (coliformes fecales, *E. coli*, dureza total, conductividad, alcalinidad, turbiedad, color, pH, fluoruro) con el fin de establecer la afinidad entre variables, su relación intervariable y su dependencia entre ellas. El propósito de tales cálculos consistía en identificar dichas variables para expresarlas gráficamente en los análisis obtenidos en los MANOVAS de uso del suelo y tipo (estado de la captación) mediante Análisis Canónicos Discriminantes.

4.2.6.2.4 Establecimiento gráfico de las variables de calidad del agua contra el Uso y el Tipo (Estado de la captación) de las captaciones mediante un análisis canónico discriminante de los MANOVAS

De acuerdo con los datos obtenidos en los MANOVAS, se procedió a generar gráficos a partir de un análisis canónico discriminante que permitía representar visualmente el comportamiento de las variables determinantes para la calidad del agua con respecto a las categorías establecidas por el MANOVA. En cuanto al uso del suelo y el tipo de captación (estado de la captación), se emplearon los resultados obtenidos del análisis de correlaciones entre variables para determinar si éstas generaban algún patrón permisible en el gráfico a la hora de fijar los vectores para cada variable.

5. Resultados

5.1 Ubicación y caracterización de las nacientes

Se lograron establecer 31 puntos referentes a nacientes captadas, las cuales son utilizadas por las 12 ASADAS para consumo humano en la Cuenca del Río Sarapiquí. Seis nacientes no captadas en diferentes estratos de la cuenca que cuentan con potencial para consumo humano por parte de las ASADAS (Cuadro 4 y Fig. 5); a los cuales se les tomaron los datos con base en la información requerida para completar el formulario establecido en el Anexo 2. La información total se presenta en el Anexo 10.

Cuadro 4. Lista de nacientes captadas y no captadas.

Nombre	Aprovechamiento	Uso
Altar	ASADA de Horquetas	Uso Humano
Caobillas	ASADA de Horquetas	Uso Humano
Cariblanco	ASADA de Cariblanco	Uso Humano
Colmena 1	ASADA de Horquetas	Uso Humano
Colmena 2	ASADA de Horquetas	Uso Humano
Colmena 3	ASADA de Horquetas	Uso Humano
Cristo Rey	ASADA de Cristo Rey	Uso Humano
Cristo Rey 2	No hay	Indeterminado
El Tucán	ASADA de Horquetas	Uso Humano
Estero Grande 1	ASADA de Estero Grande	Uso Humano
Estero Grande 2	No hay	Indeterminado
Gallo	ASADA de Horquetas	Uso Humano
Gemelas	ASADA de Horquetas	Uso Humano
Guácimo	ASADA de Puerto Viejo	Uso Humano
Guácimo 2	No hay	Indeterminado
Huetares 1	ASADA de Huetares	Uso Humano
Huetares 2	ASADA de Huetares	Uso Humano
José León	ASADA de Horquetas	Uso Humano
La Virgen	ASADA de la Virgen	Uso Humano
Llorona 1	ASADA de la Llorona	Uso Humano
Llorona 2	ASADA de la Llorona	Uso Humano
Llorona 3	ASADA de la Llorona	Uso Humano
Llorona 4	ASADA de la Llorona	Uso Humano
Murillo1	ASADA de Horquetas	Uso Humano
Murillo 2ABC	ASADA de Horquetas	Uso Humano
Oropéndola	ASADA de Horquetas	Uso Humano
La Delia 1	ASADA de La Delia	Uso Humano
La Delia 2	ASADA de La Delia	Uso Humano
Pablo Presbere	ASADA de Pablo Presbere	Uso Humano
Pablo Presbere 2	No hay	Indeterminado
Pablo Presbere 3	No hay	Indeterminado
Pablo Presbere 4	No hay	Indeterminado
San Bernardino	ASADA de San Bernardino	Uso Humano
San Miguel	ASADA de San Miguel	Uso Humano
Sector B	ASADA de Horquetas	Uso Humano
Sn Ramón-Virgen	ASADA San Ramón la Virgen	Uso Humano
Tres Volcanes	No hay	Indeterminado

Se puede observar como la mayoría de las tomas de agua y nacientes están en las partes medias y bajas de la cuenca (Fig. 5) para más detalle de cada nacimiento ver anexo 11.

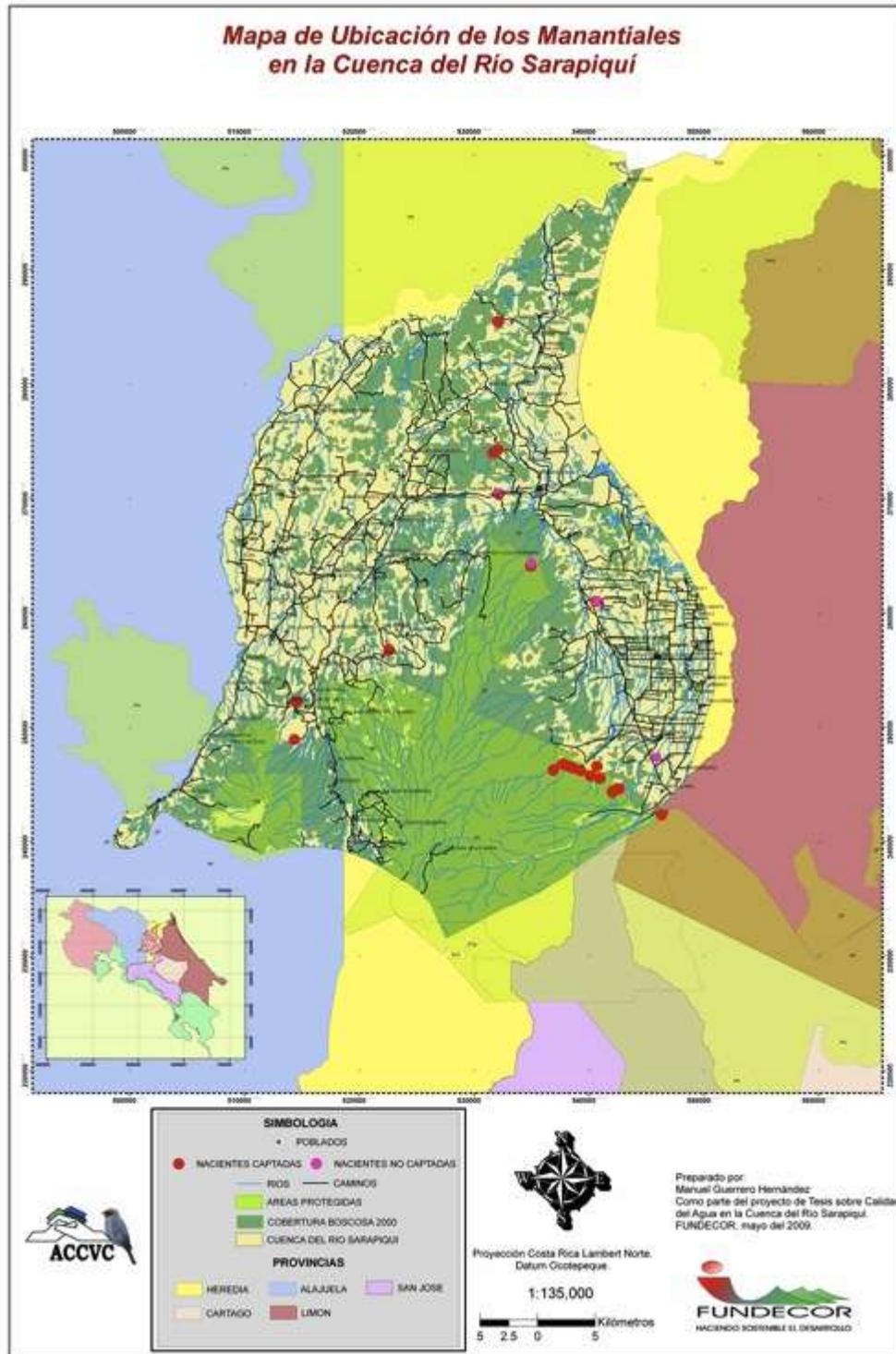


Fig. 5. Mapa de Ubicación de las nacientes en la cuenca del Río Sarapiquí (Elaboración propia).

Se clasificó a cada naciente de acuerdo al uso del suelo dentro de su área búfer (200 metros en caso de manantiales que se utilizan para consumo humano y de 100 metros para las que no están siendo utilizadas con este fin). Se encontró que 24 de estos manantiales presentaban un uso del suelo de tipo bosque (64.86%), 4 de las nacientes estaban ubicadas en parches de regeneración (10.81%), 6 de las nacientes se encontraban rodeadas de pasto (16.21%) 2 en zonas urbanas (5.40%) y 1 ubicada en zonas de cultivos (2.70%).

De igual manera, el uso del suelo circundante fue establecido fuera de estas áreas búfer. Se encontró que un 45.94% de las nacientes poseen bosque fuera de su área búfer; un 10.81% tiene algún tipo de regeneración; hay un 27.02% con pasto, otro 10.81% con cultivos alrededor y 5.40% están en zonas urbanas. Estos datos son importantes a la hora de comparar el porcentaje de nacientes con bosque en su búfer, pues que el valor del bosque fuera del búfer disminuye en un 18.92%. Dichas tierras, al ser ocupadas para otros propósitos – como cultivos o pasto – generan mayor presión sobre los parches de bosque y evitan la gestión de medidas de recuperación en propiedades privadas.

De las áreas búfer que protegen a las nacientes, solamente 27.02% son propiedad de la ASADA. El 72.97% restante está en manos privadas, lo cual previene cuidar apropiadamente muchas áreas, además del búfer que deben mantenerse sin alteración alguna y con bosque y en la mayoría de los casos no se cumple. Solamente el 10.81% de las nacientes poseen terrenos alrededor del búfer que pertenecen a las ASADAS; un 37.83% están en manos privadas; un 8.11% están en manos del estado, sea porque son propiedad del Instituto Costarricense de Electricidad (ICE), o porque están incluidos dentro del Parque Nacional Braulio Carrillo. Por otra parte, un 5.40% se encuentra en manos de la Organización de Estudios Tropicales (OET), 5.40% colindan directamente con la carretera y un 32.43% no se tiene claro a quién pertenecen las tierras circundantes.

En cuanto al estado de las captaciones asociadas a las nacientes, se encontraron 2 captaciones en muy buen estado, 10 en un buen estado, 14 con una clasificación de regular, 5 en mal estado y 6 sin captar (no aptas para consumo humano). Por otro lado, se establecieron los riesgos de amenaza asociados al entorno de estas nacientes, sus captaciones y el uso de la tierra circundante, tomando en consideración la pendiente y el tipo de cobertura. De esta manera, fue posible establecer que 9 de las nacientes no presentan riesgo alguno, 24 presentan algún riesgo de contaminación, 11 con algún riesgo por derrumbes y 2 riesgo de inundación.

En las 37 nacientes caracterizadas, el 24.32% presentó en una o varias de su laderas pendientes que superaban los 30 grados de pendiente. Aunque las pendientes restantes estaban por debajo de ese valor, esto se convirtió en indicador de posible escorrentía superficial y arrastre de material en una escala baja o media.

Las nacientes empleadas para consumo humano abastecen a 8071 abonados. De todas las nacientes analizadas, sólo 24 de ellas utiliza algún sistema de purificación del agua (desde cloradores de agua rústicos hasta eléctricos) en algún sector más abajo de la naciente. De las 13 nacientes restantes, hay 6 que no se utilizan para consumo humano y otras 7 que no reciben ningún sistema de cloración o purificación del agua.

De las 31 nacientes utilizadas para consumo humano, solamente a 24 se les realiza un mantenimiento periódico de limpieza en la captación que varía de acuerdo a la ASADA y que puede ir en periodos de cada 6 meses hasta mensualmente. A las 7 restantes no se les práctica ningún mantenimiento (Anexo 10).

5.2 Análisis físico-químicos y bacteriológicos de las 37 nacientes en los años del 2004 al 2008 según AyA

Los datos de la calidad del agua existentes para algunas de las nacientes comprendidas en este proyecto fueron recolectados por el AyA en la región para los años 2004-2008 interrumpidamente (Anexo 12 y la Fig. 6) según decreto del 2005. Aparte de las variables estudiadas en este estudio, también se analizaron cloruros, nitratos, hierro, magnesio, sodio y potasio. De acuerdo a los propósitos centrales del presente estudio, las variables mencionadas anteriormente no se tomaron en cuenta por carecer de parámetros de comparación con las muestras tomadas por FUNDECOR, una caracterización adecuada de acuerdo con ambos decretos y factores limitantes de calidad claramente establecidos.

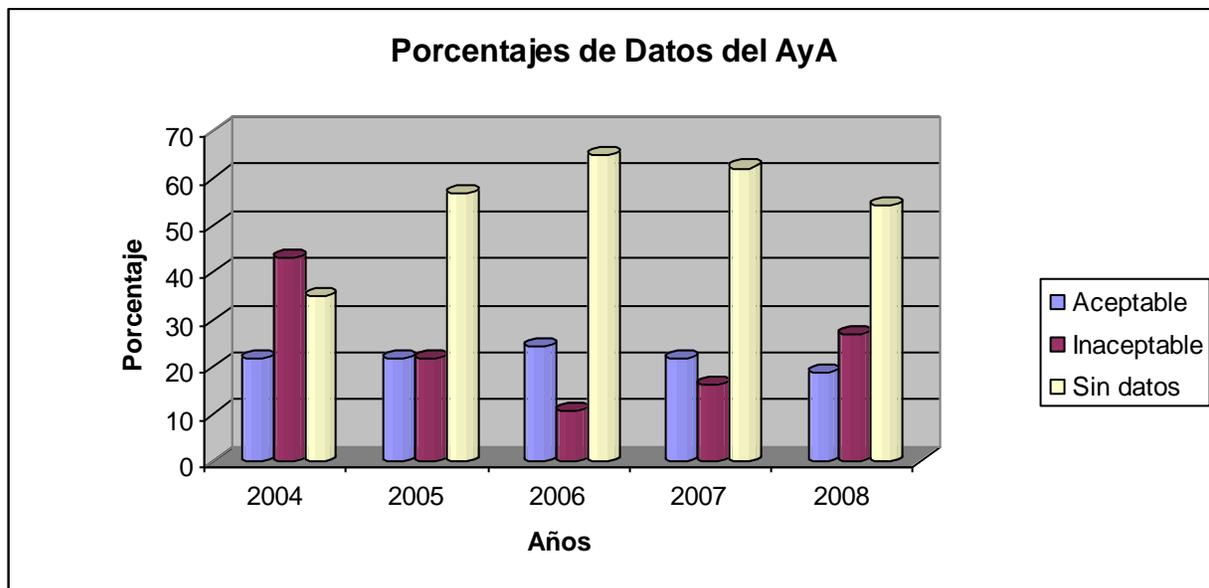


Fig. 6. Porcentaje de las nacientes de acuerdo a clasificación del decreto 2005 para los años 2004-2008.

En la figura anterior se puede observar que de las 37 nacientes estudiadas en esta investigación – y consideradas de importancia para la asociación de ASADAS de Sarapiquí durante los años del 2004 al 2008 –, la gran mayoría cuenta con algún tipo de análisis sea bacteriológico, o físico-químico. Por ejemplo, en un 64.86% (24) de las nacientes en el año 2004, 43.24% (16) en el 2005, 35.13 % (13) en el 2006, 37.83% (14) en el 2007 y 45.94 (17) en el 2008 presentan estudios de algún tipo; estos no son análisis realizados de una manera continua en el tiempo, sino interrumpidamente a lo largo de los años. A partir del 2007 solamente se realizaron los análisis correspondientes a *E. coli* o coliformes fecales, lo cual hace a esta serie de datos poco confiable para ser utilizados como referencia historial de las nacientes (Fig. 6).

De los 24 manantiales que cuentan con alguna información, se puede observar que el año donde más nacientes fueron aceptables, según el decreto del 2005, fue el año 2006 con 9 nacientes (que corresponde a un 24.32% del total de nacientes estudiadas). Para el 2004, 2005 y 2007, solamente 8 nacientes fueron consideradas aceptables – una cifra equivalente a un 21.62% del total. Finalmente, en el 2008, 7 nacientes (igual a un 18.91%) se catalogaron como aceptables. Las nacientes que no cumplieron con los requisitos permisibles para consumo humano alcanza el 43.24% (16) en el 2004 y 21.62% (8) en el 2005 (Fig. 6).

La presencia de coliformes fecales y pH se convirtieron en el principal factor limitante para el un 10.81% (4) de las nacientes en el 2006; 16.21% (6) para el 2007 y 27.02% (10) en el 2008. De acuerdo con los decretos estudiados, el agua no debe presentar coliformes fecales al momento de ser consumida. No obstante, en el 2004, las nacientes sin datos o estudios no superaron el 50% (35.13%). Para los años 2005 – 2008, las nacientes sin datos de monitoreo alguno van desde 54% hasta 64.86%. Sin embargo, es importante mencionar que durante los años 2007 y 2008 se realizaron solamente análisis bacteriológicos (Fig. 6).

Mientras que según el decreto N° 33903-MINAE-S publicado en el 2007 (Anexo 1); para el año 2004 hay un 40.53% (15) de las nacientes estudiadas que pueden ser utilizadas para consumo humano. Dichas nacientes pueden entrar en la categoría 1 (tratamiento simple de desinfección) y 2 (tratamiento convencional de desinfección) siempre y cuando sean tratadas antes de llegar a los usuarios. El 18.91% (7) de las nacientes se ubican en clase 3 pues ocupan un tratamiento avanzado. Para finalizar, un 5.40% (2) de las nacientes en clase 4 que no pueden ser utilizadas para consumo humano debido a factores como el pH; un 35.13% (13) de las nacientes no poseen datos (Fig. 7).

Para el 2005, 27% (10) de las nacientes pueden ser utilizadas para consumo humano y que están en las clases 1 y 2 mientras que en clase 3, hay un 13.5% (5) de las nacientes y en clase 4 una sola naciente que equivale a un 2.70% y un 56.75% (21) de las nacientes no cuenta con datos registrados (Fig. 7).

De las 13 nacientes que cuentan con análisis de laboratorio en el 2006, 11 de ellas – que corresponden a un 29.72%– están en la clase 1. Las 2 restantes se ubican en la clase 4, lo cual deja a un 64.86% de las nacientes sin datos (Fig. 7).

En el caso del 2007, hay 14 registros de análisis de nacientes – correspondientes a un 37.83% – que pueden ser utilizadas para consumo humano con tratamientos simples. Del número anterior, un 35.13% (13 nacientes) están en la clase 1 y una naciente en clase 2. En cuanto a los datos obtenidos durante el 2008, hay 17 (45.94%) nacientes dentro de las categorías 1 y 2: lo cual significa que, con tratamientos simples de desinfección, su consumo es apto para los seres humanos. Para finalizar, 20 manantiales, o un 54.05%, no posee datos (Fig. 7). Conforme pasan los años, existe una tendencia de mejora en la calidad del agua al haber un aumento en la cantidad de nacientes clase 1, aunque hay gran cantidad de nacientes sin datos.

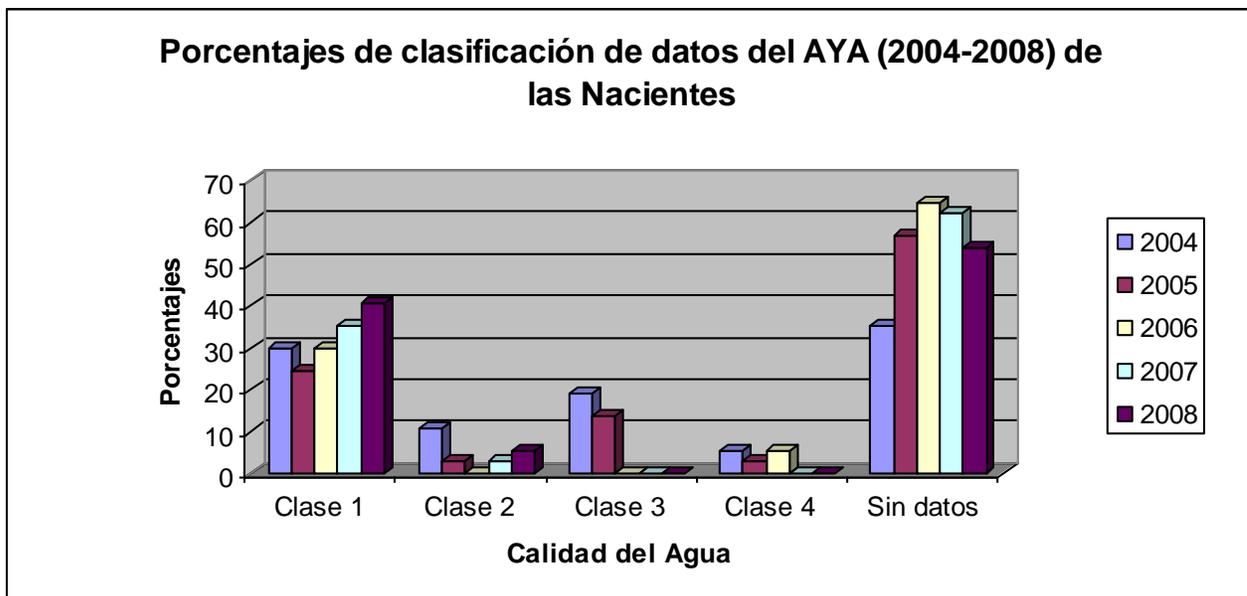


Fig. 7. Porcentaje de las nacientes de acuerdo a clasificación del decreto N° 33903-MINAE-S para los años 2004-2008.

5.2.1 Análisis realizados por FUNDECOR en las 37 nacientes

Los resultados obtenidos del muestreo realizado en las 37 nacientes en el mes de diciembre del 2008 presentan un sabor y olor aceptable para todas las nacientes. Los datos y valoraciones de color, alcalinidad, dureza, conductividad, turbiedad y fluoruro se encuentran dentro de los límites aceptables. Se presentan relevancias o incumplimientos para 31 nacientes (Anexo 13 y cuadro 5) que no cumplen con lo establecido por el decreto N° 32327-s del 2005 (Anexo 1) para consumo humano con variables como el pH, *E. coli* y coliformes fecales., Solo 6 nacientes cumplen con lo establecido para su uso adecuado.

Mientras que el decreto N° 33903-MINAE-S (Anexo 1) publicada en el diario oficial La Gaceta en el año 2007 hay 11 de los manantiales en la clase 1, de los cuales 6 no presentan limitante alguno y 5 necesitan un tratamiento de desinfección simple debido a *E. coli* (menor a 20). En la clase 2 tenemos 5 nacientes con problemas de coliformes (menos de 1000), los cuales se soluciona con un tratamiento convencional de desinfección. De las nacientes restantes, hay 15 en clase 3 con el limitante del pH, el cual es todavía utilizable pero con un tratamiento avanzado. Finalmente, existen 6 manantiales en clase 4 con limitante de pH y que no serían aprovechables para consumo humano según este decreto.

Cuadro 5. Clasificación de las nacientes según clase de calidad del agua basado en los decretos N° 32327-s del 2005 y N° 33903-MINAE-S publicada en el diario oficial la Gaceta en el año 2007 y el factor limitante para que obtenga la clase para consumo humano.

Naciente	Clasificación según decreto 2007*	Factor Limitante según decreto 2007	Clasificación según decreto 2005	Factor limitante según decreto 2005
Altar	3	pH, color, coliformes	Inaceptable	<i>E.coli</i> y pH
Caobillas	3	pH	Inaceptable	<i>E.coli</i> y pH
Cariblanco	4	pH menor a 5.5	Inaceptable	<i>E.coli</i> y pH
Colmena 1	2	<i>E. coli</i>	Inaceptable	<i>E.coli</i>
Colmena 2	2	<i>E. coli</i>	Inaceptable	<i>E.coli</i>
Colmena 3	2	<i>E. coli</i>	Inaceptable	<i>E.coli</i>
Cristo Rey 1	4	pH < a 5.5	Inaceptable	<i>E.coli</i> y pH
Cristo Rey 2	4	pH < a 5.5	inaceptable	<i>E.coli</i> y pH
Delia 1	3	pH 6.42 <i>E.coli</i> 130	Inaceptable	<i>E.coli</i>
Delia 2	2	coliformes	Inaceptable	<i>E.coli</i>
El Tucán	1		Aceptable	
Estero grande 1 (Tres Rosales 1)	3	pH 6.11	Inaceptable	<i>E.coli</i> y pH
Estero grande 2 (Tres Rosales 2)	1		Inaceptable	<i>E.coli</i>
Gallo	3	pH 6.36	Inaceptable	pH y alcalinidad
Gemelas	1		Inaceptable	<i>E.coli</i>
Guácimo	3	pH	Inaceptable	pH
Guácimo 2	4	pH < a 5.5	Inaceptable	pH
Huetares 1	1		Aceptable	
Huetares 2	1		Inaceptable	<i>E.coli</i>
José León	4	pH < a 5.5	Inaceptable	<i>E.coli</i> y pH
La Virgen	1		Aceptable	
Llorona 1	2	coliformes	Inaceptable	<i>E.coli</i>
Llorona 2	3	pH	Inaceptable	pH
Llorona 3	3	pH	Inaceptable	<i>E.coli</i>
Llorona 4	3	pH	Inaceptable	<i>E.coli</i> y pH
Murillo 1	1		Inaceptable	<i>E.coli</i>
Murillo 2	3	pH y Conductividad	Inaceptable	<i>E.coli</i> y pH
Oropéndola	3	pH y <i>E.coli</i>	Inaceptable	<i>E.coli</i> y pH
Pablo Presbere 2	1		Aceptable	
Pablo Presbere 3	1		Inaceptable	<i>E.coli</i>
Pablo Presbere 4	3	pH	Inaceptable	pH
Pablo Presbere 1	1		Aceptable	
San Bernardino	3	pH	Inaceptable	pH
San Miguel	4	pH a 5.78	Inaceptable	pH
Sector B	1		Aceptable	
Sn Ramón La Virgen	3	pH	Inaceptable	pH
Tres Volcanes	3	pH	Inaceptable	<i>E.coli</i> y pH

- Decreto N° 33903-MINAE-S publicado en el 2007 hay cinco categorías: Clase 1 (Tratamiento Simple con Desinfección), Clase II (Tratamiento Convencional), Clase III (Tratamiento Avanzado), Clase IV (No Utilizable) y Clase V (No Utilizable).

5.3 Determinación de la Fórmula Universal del Pérdida del Suelo

Con el fin de establecer la Formula Universal de Pérdida de Suelo (FUPS) para la cuenca y establecer las toneladas métricas por hectárea por año de pérdida de suelo en la región y para las áreas búfer de las nacientes fue necesario determinar cada uno de los factores por separado.

5.3.1 Factor R

El factor R se determina a partir de los valores de precipitación anual y los valores del mes más lluvioso para cada estación, realizando una interpolación de los puntos más cercanos como los puntos comprendidos dentro de la cuenca mediante el programa ArcView. De esta manera, se obtuvo una capa digital con valores que van de 51 a 99.615 (Fig. 8 y Anexo 6).

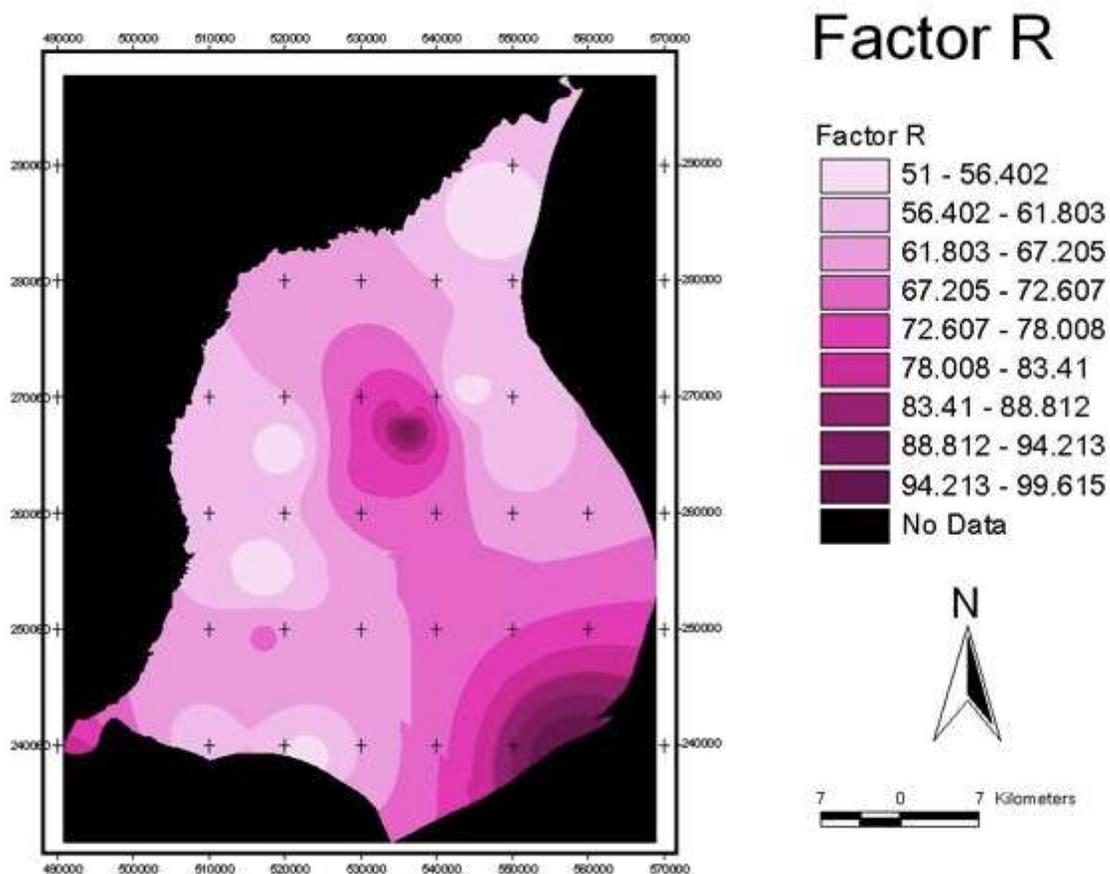


Fig. 8. Índice de erosividad (Factor R) en mm. asociados a la Cuenca del Río Sarapiquí. Proyección Lambert Norte, Datum Ocotepeque. (Elaboración propia).

5.3.2 Factor K

Los datos obtenidos a partir de la fórmula antes propuesta utilizaron las pruebas de suelos existentes en la región y la literatura correspondiente para calcular dichos valores. Se observan valores que van desde 0.006 hasta 0.418 (Fig. 9 y Anexo 7).

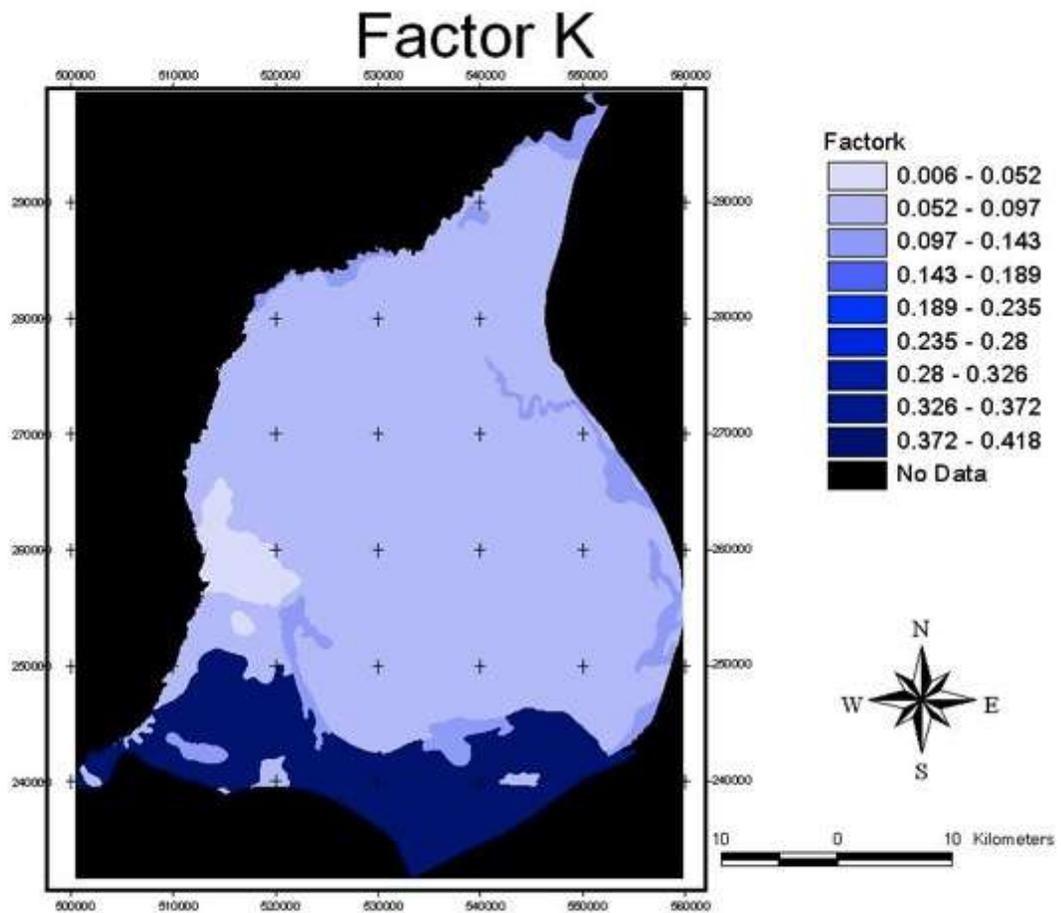


Fig. 9. Erodabilidad o vulnerabilidad por la erosión hídrica (factor K) para la cuenca del Río Sarapiquí expresada en $[t./ha.MJ*ha/mm*hr]$. Proyección Lambert Norte, Datum Ocotepeque. (Elaboración propia).

5.3.3 Factor L y S

El modelo de elevación digital resultante nos presenta variabilidad en los pisos altitudinales. Estos valores van desde los 10 m.s.n.m en las zonas mas bajas – ubicadas hacia el norte de la cuenca y que colindan con el Río San Juan – y altitudes de 2894 m.s.n.m. en las áreas circundantes a los Parques Nacionales Volcán Poás y Braulio Carrillo (Sector Barva) (Fig. 10).

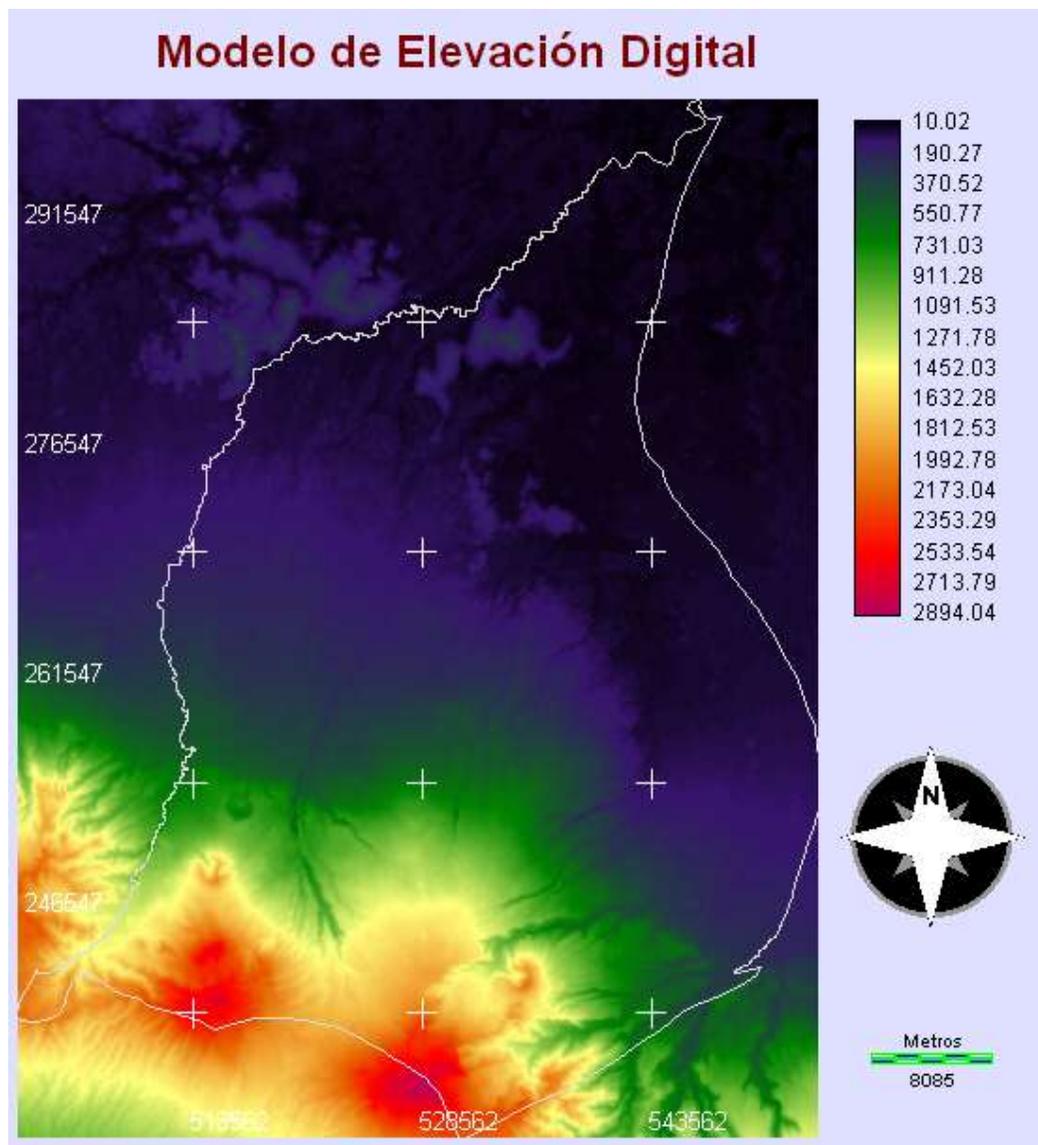


Fig. 10. Modelo de elevación digital de la cuenca del Río Sarapiquí expresado en m.s.n.m. Proyección Lambert Norte, Datum Ocotepaque. (Elaboración propia).

5.3.4 Factor C

Los valores obtenidos en el factor C (Anexo 8) muestran una gran variabilidad en el territorio. Existen sectores con cobertura boscosa que presentan valores de 0 y áreas con cuerpos de agua, suelo totalmente descubierto o con nubes, las cuales presentan el valor más alto de impacto (1). (Fig. 11)

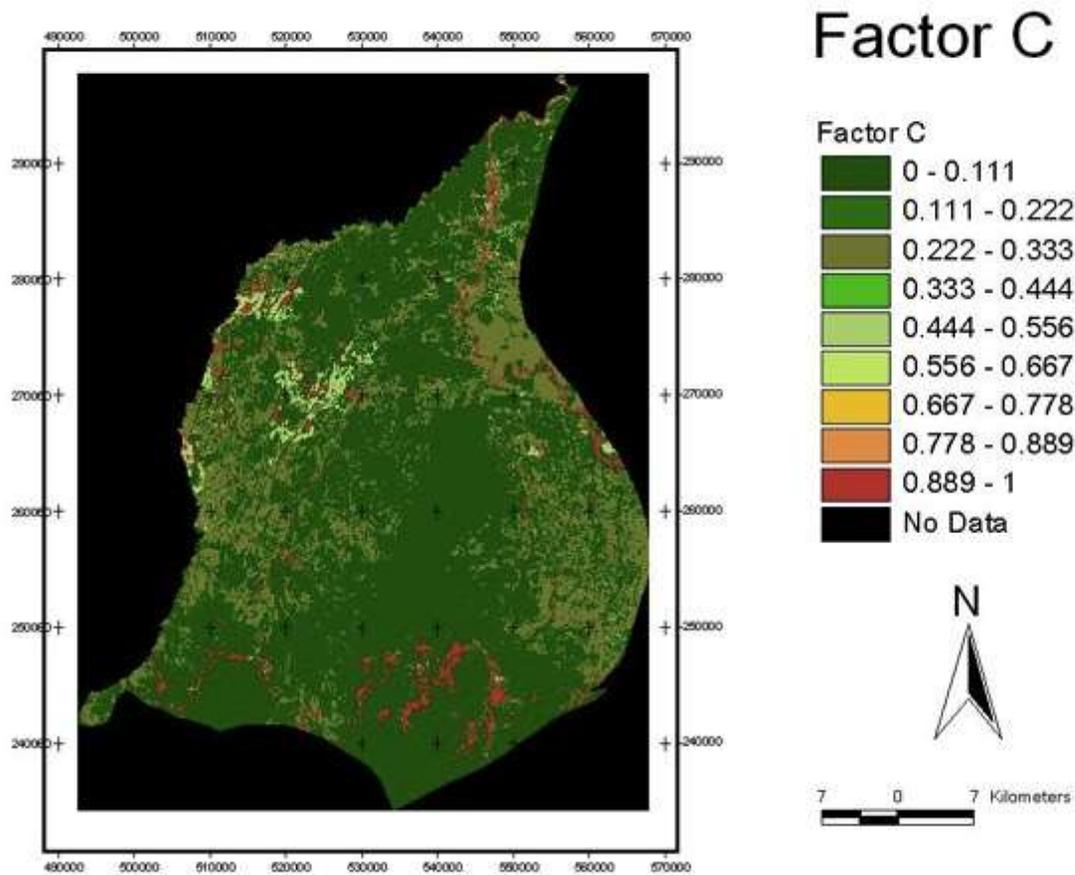


Fig. 11. Datos de Cobertura vegetal (Factor C) para la Cuenca del Río Sarapiquí, donde 0 equivale a bosque y 1 a suelo desnudo. Proyección Lambert Norte, Datum Ocatepeque. (Elaboración propia).

5.3.5 Factor P

En el siguiente mapa, el cual presenta el (Fig. 12 y Anexo 9) factor p, se les asigna el valor de 0.001 a las zonas de bosque y espejos de agua. Los demás usos del suelo van a presentar valores diferentes de acuerdo a la pendiente asociada y el tipo de cultivo presente. Por esta razón, vemos variaciones que van desde 0.111 hasta 1, rescatando las zonas con nubes se tomaron con valores de 1.

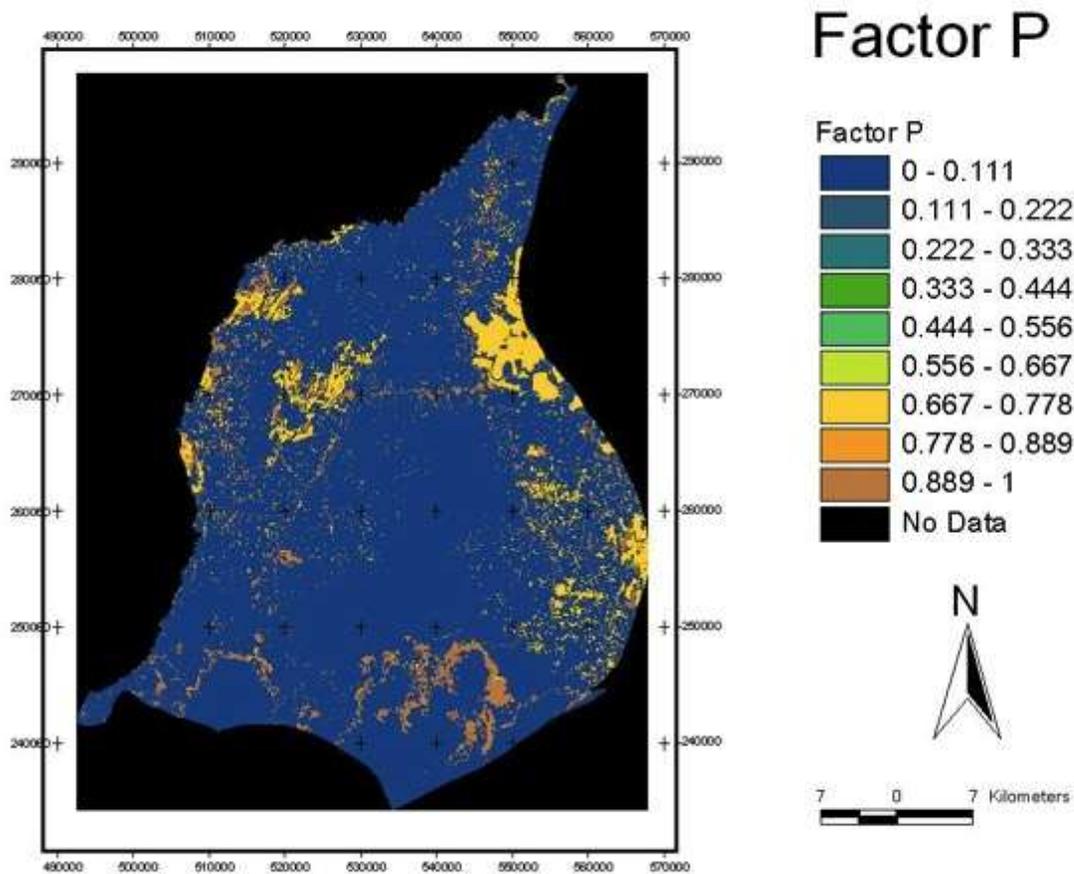


Fig. 12. Valores de las prácticas de manejo de los cultivos (factor P) para la Cuenca del Río Sarapiquí, donde 0 es el menor impacto en prácticas de manejo y 1 el mayor impacto causado por dichas prácticas. Proyección Lambert Norte, Datum Ocotepé. (Elaboración propia).

5.3.6 Fórmula Universal de Pérdida del Suelo

El resultado final de la conjunción de todas las capas analizadas anteriormente tiene como resultado el mapa Universal de Pérdida del Suelo de la Cuenca del Río Sarapiquí, expresado en toneladas métricas por hectárea por año. Los valores presentados van de 0 hasta 16.53 ton/Hect./año; aquellas cifras superiores a eso se encuentran directamente asociados a los valores de nubes en los factores C y P. (Fig. 13.)

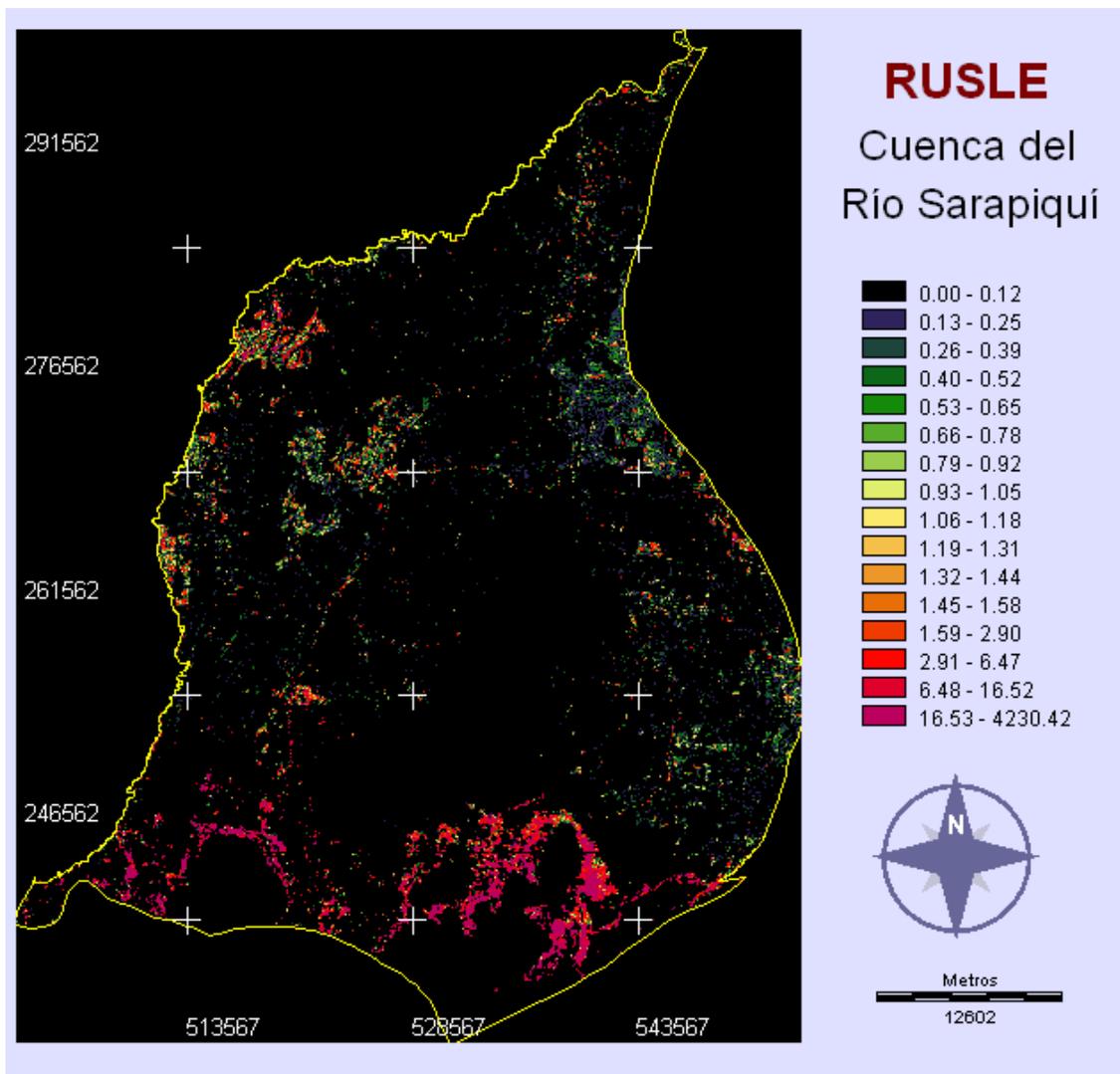


Fig.13. FUPS expresada en Tons/Hect/Año para la cuenca del Río Sarapiquí. Proyección Lambert Norte, Datum Ocatepeque. (Elaboración propia).

Los datos obtenidos en la FUPS fueron reclasificados a partir de los diferentes factores, distribuidos en seis categorías: baja o nula, moderada, media, alta, muy alta y crítica. La

primera categoría va de 0 a 5 ton/Hect./año en esta categoría hay 187 900 ha; la segunda abarca de 5 a 25 ton/Hect./año y hay 2 241 ha; la tercera, de 25 a 50 ton./Hect./año que contiene 805 ha; la cuarta, de 50 a 100 ton./Hect./año y en la cual hay 654 ha; la quinta, de 100 a 200 ton./Hect./año con 379 ha y la última categoría cuenta con mas de 200 ton./Hect./año y 374 ha de la cuenca. Tales categorías están basadas en la clasificación propuesta por Sánchez *et al.* 2003. y aquella establecida por la FAO-UNESCO-PNUMA en 1980 (Fig. 14)

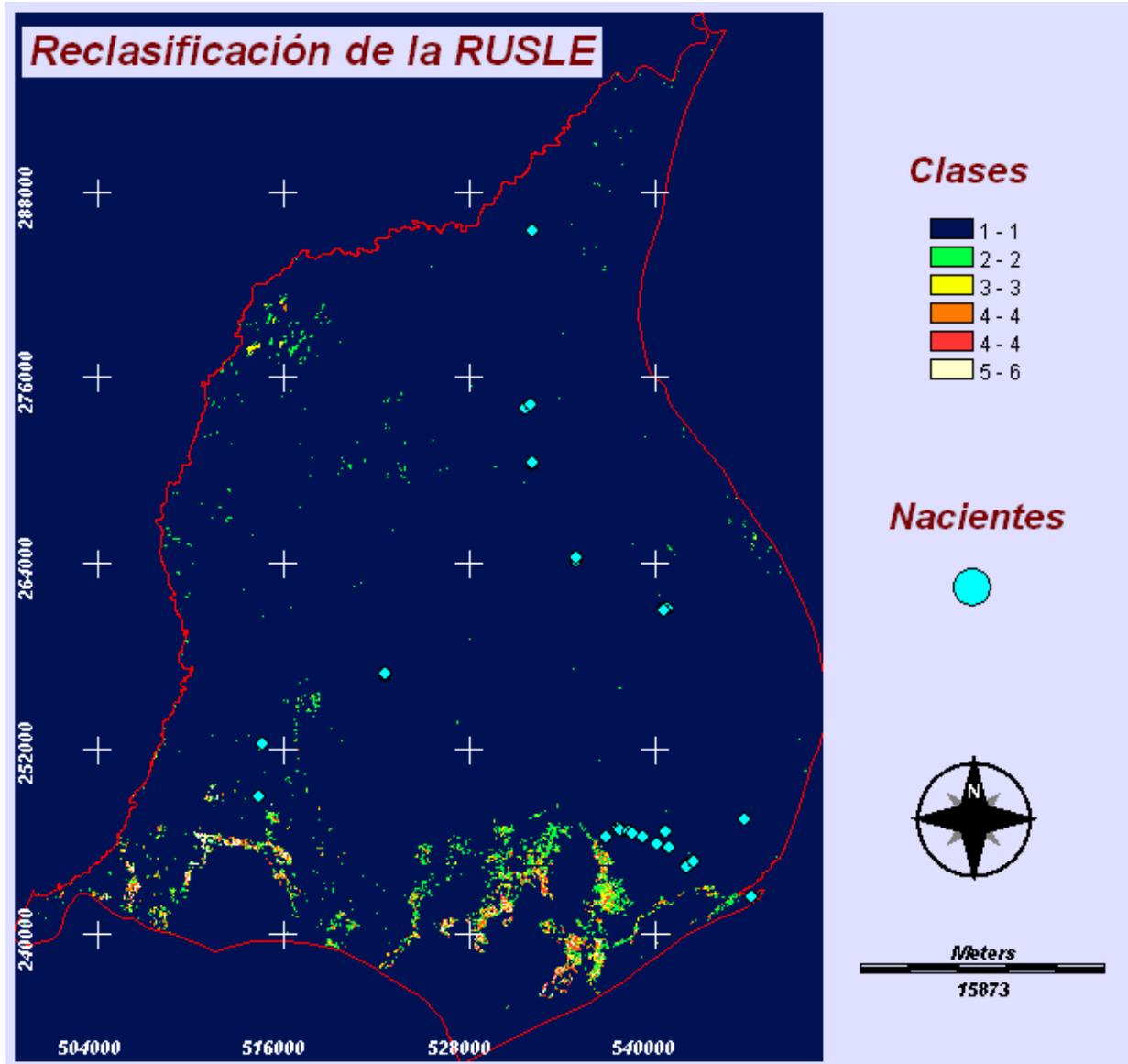


Fig. 14. Reclasificación de la FUPS en seis categorías baja (1), moderada (2), media (3), alta (4), muy alta (5) y crítica (6) para la Cuenca del Río Sarapiquí. Proyección Lambert Norte, Datum Ocotepeque. (Elaboración propia).

5.3.7 Extrapolación de las zonas búfer de cada nacimiento contra la capa digital de la FUPS en la cuenca del Río Sarapiquí

Al extraer el fragmento de los valores medios de la FUPS mediante los búfer en cada nacimiento se obtuvieron resultados menores a 0.5 toneladas métricas por año en todas las nacientes caracterizadas y georeferenciadas (Cuadro 6).

Cuadro 6. Extracción de fragmentos de los valores medios de la FUPS para cada nacimiento.

Naciente	Fragmentos de la FUPS
Altar	0
Caobillas	0.002181
Cariblanco	0
Colmena 1	0.178062
Colmena 2	0.178062
Colmena 3	0.178062
Cristo Rey 1	0.062228
Cristo Rey 2	0.002795
Delia 1	0
Delia 2	0
El Tucán	0
Estero grande 1 (Tres Rosales 1)	0
Estero grande 2 (Tres Rosales 2)	0.020332
Gallo	0
Gemelas	0
Guácimo	0
Guácimo 2	0
Huetares 1	0
Huetares 2	0
José León	0.197953
La Virgen	0
Llorona 1	0
Llorona 2	0.006044
Llorona 3	0
Llorona 4	0.07721
Murillo 1	0
Murillo 2	0.127687
Oropéndola	0.121825
Pablo Presbere 2	0.129851
Pablo Presbere 3	0.332864
Pablo Presbere 4	0.327429
Pablo Presbere 1	0.129851
San Bernardino	0
San Miguel	0.49167
Sector B	0
Sn Ramón La Virgen	0
Tres Volcanes	0.050375

La información anterior muestra una pérdida del suelo muy baja o nula en las áreas circundantes a los manantiales estudiados y las cuales se utilizan para el abastecimiento de la población en la cuenca del Río Sarapiquí.

5.4 Análisis estadísticos

5.4.1 Análisis de Varianza (ANAVA) de los fragmentos extraídos de la FUPS para cada nacimiento, según el uso del suelo asociado al búfer establecido en los manantiales

El ANAVA realizado para cada búfer de las nacientes –con los valores de pérdida de suelo representado en toneladas métricas por hectárea por año –, contrapuesto a los usos de bosque, regeneración, pasto, cultivos y urbano (test de Tukey, $n=37$, $R^2= 0.26$, $CV= 148.2$ $p= 0.0184$) presentaron una diferencia significativa entre la regeneración (B) y los demás usos (A) (Anexo 14). Esto se debe a que los índices de pérdida de suelo en regeneración tienden a ser más altos que las otras categorías. En otras palabras, se rechaza la hipótesis nula, pues ésta plantea una igualdad en las varianzas y sin que exista una significancia asociada a valores de p menores a 0.05. Al extrapolar los datos anteriores con otros puntos de la cuenca, se obtienen valores bajos (a nivel general de la cuenca) y que sobrepasan las 5 toneladas métricas por año. La información analizada de los datos procesados llega hasta valores críticos de erosión. Sin embargo, cabe constatar que la tendencia que impera es la de valores bajos de erosión, por lo que (Fig. 14) se puede asegurar que no existen problemas graves de erosión asociados a esta región.

5.4.2 Análisis multivariado de varianzas (MANOVA) de las variables de calidad del agua versus el uso del suelo circundante a cada nacimiento y el Tipo (estado de la captación)

Según el análisis realizado en InfoStat 2008 para las variables de calidad del agua contra el uso del suelo (Bosque, Pasto, Regeneración, Cultivos y Urbano) (Wilks, Hotelling y Roy $p= <0.0001$ y Pillai $p= 0.0027$) (Anexo 15), el estudio permite asegurar una diferencia significativa entre Bosque, Regeneración y Pasto (bloque C), y los Cultivos (A) y el Urbano (B). Por otro lado y según el estado de la captación (Wilks, Hotelling y Roy $p= <0.0001$ y Pillai $p= 0.0002$) (Anexo 15), se presentaron diferencias significativas entre Malo, Regular y Bueno (Tipo II), sin captar (Tipo III) y muy bueno (Tipo I) (Anexo 15).

De acuerdo con las razones mencionadas en el texto, se prueba la nulidad de la hipótesis porque no existe diferencia entre los grupos de variables nominales (Uso y Tipo [Estado]). De los cuatro estadistas utilizados (Wilks, Pillai, Lawley-Hotelling y Roy), tres de ellos presentaron valores de $p <0.0001$ para ambas categorías (Uso y Tipo). Solamente Pillai discrepó en

relación con los otros en ambas categorías, lo cual deja tres estadistas, recomendados según la literatura, que rechacen la hipótesis planteada (Johnson y Wichern 1998) (Anexo 15).

5.4.3 Análisis multivariado de conglomerados de las variables de calidad de agua versus el Uso del suelo y el Tipo (estado de la captación)

Al comprobar una agrupación de categorías de uso del suelo entre bosque, pasto y regeneración por parte del MANOVA, es posible diferenciar la primera agrupación con respecto a las otras dos. Su consecuente separación, la cual ubica al cultivo en una categoría aparte y urbano como otra, generó un análisis de conglomerados por encadenamiento completo con cálculos de distancia euclidiana (correlación cofenética= 0.764) (Anexo 16) para obtener una representación gráfica de los resultados obtenidos en el MANOVA para uso del suelo (Fig. 15).

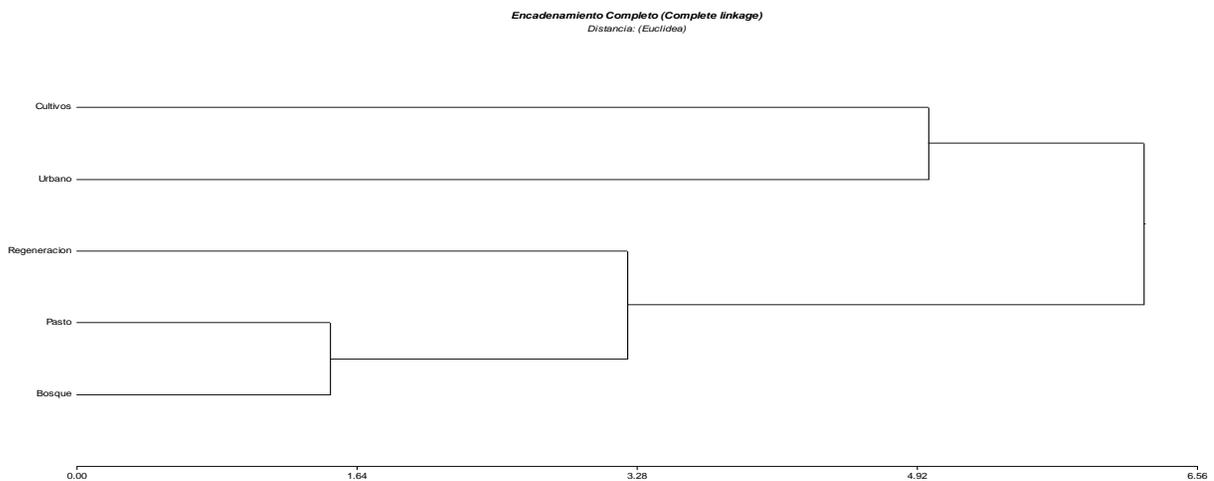


Fig. 15. Análisis de conglomerados por encadenamiento completo (Euclídea) para el Uso del Suelo según las variables de calidad del agua.

En la figura anteriormente citada es perceptible que hay una distancia euclídea entre el bosque y el pasto de 1.48, entre la regeneración y el bosque de 3.11 que es muy similar a la que existe entre el pasto y la regeneración con un distancia de 3.22, mientras que al ver la distancia entre el bosque y los cultivos obtenemos 3.68 la cual aumenta y aumenta aún más al obtener un 4.32 de distancia con la categoría de urbano; mientras que la regeneración presenta una distancia mas amplia de 5.48 con urbano y un 6.24 con cultivos respectivamente; para las distancia entre el pasto, urbano y cultivos tenemos respectivamente un valor de 3.63 y de 4.29, y entre el urbano y el cultivo hay una distancia de 4.99.

De igual manera, se generó un gráfico para representar el MANOVA para el Tipo (estado de la captación) (Fig. 16) a partir de una ecuación euclídea de encadenamiento completo (correlación cofenética= 0.969). Dichos cálculos permitían mostrar, gráficamente, la diferenciación entre los tres tipos del estado de la captación (Anexo 17): la distancia euclídea presentada en el gráfico es de 4.93 entre el Tipo I (Muy Bueno) y el Tipo II (Bueno, Malo, Regular); de 3.12 entre el Tipo II (Bueno, Malo, Regular) y el Tipo III (Sin captar); y de 4.47 entre el Tipo I (Muy Bueno) y el Tipo III (Sin captar).

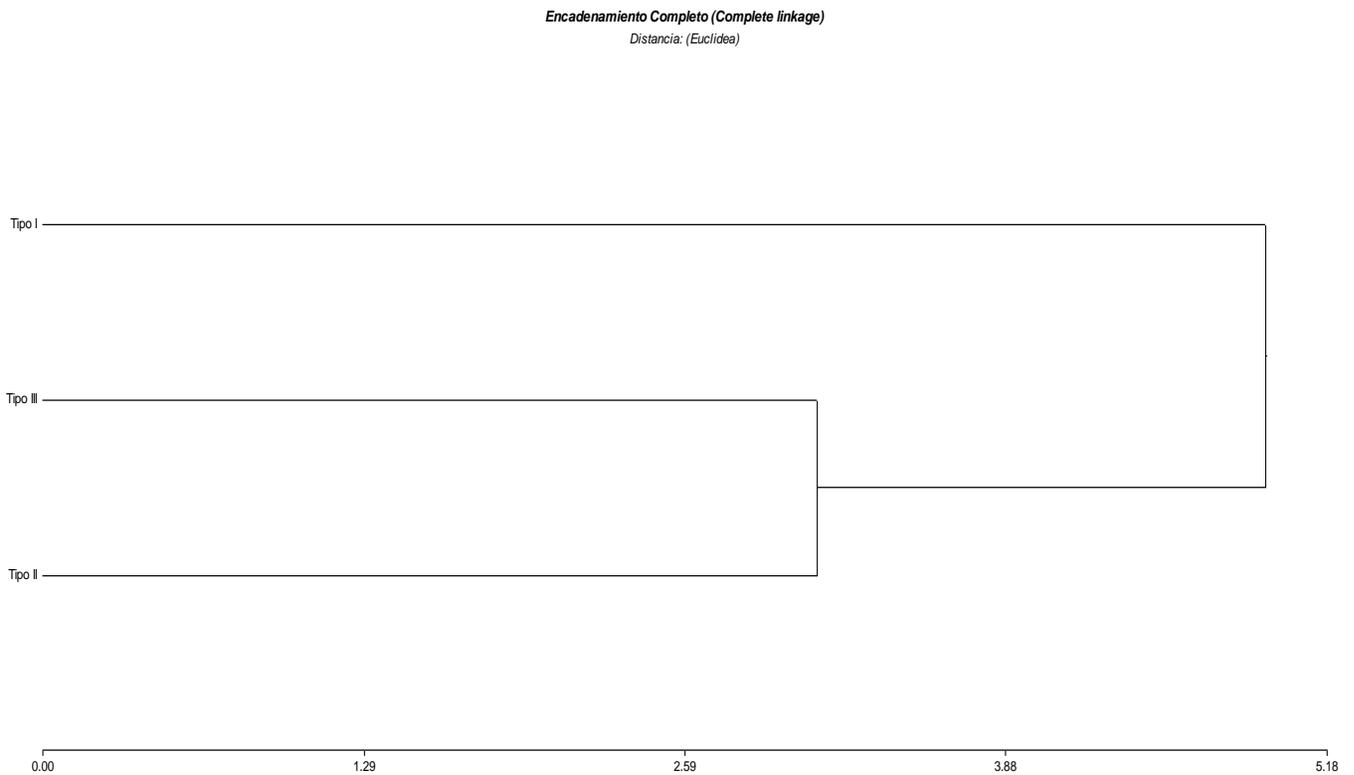


Fig. 16. Análisis de conglomerados por medio de encadenamiento completo (Euclídea) para el Tipo (Estado de la captación) de acuerdo a las variables de calidad de agua.

5.4.4 Análisis de varianza para cada variable determinante de la calidad del agua versus el Uso del suelo y el estado de la captación

Se realizaron análisis de varianza para cada variable que determina la calidad del agua por separado, tanto para el Uso del Suelo y el Estado de la captación, con el fin de establecer diferencias significativas en las diferentes categorías de Uso (Anexo 18) y de estado de la captación (Anexo 19). En el caso del análisis de varianza que contempla al Uso del Suelo como variable de clasificación, sólo el pH (Fig. 17) ($n= 37$, $R^2= 0.32$, $CV= 8.5$, $p= 0.00116$) – realizado con el test de Tukey – presentó una significancia diferenciada en el Uso Urbano (B) con respecto a todos los demás (A), rechazando la H_0 en este caso específico y no para todas las variables (Anexo 18).

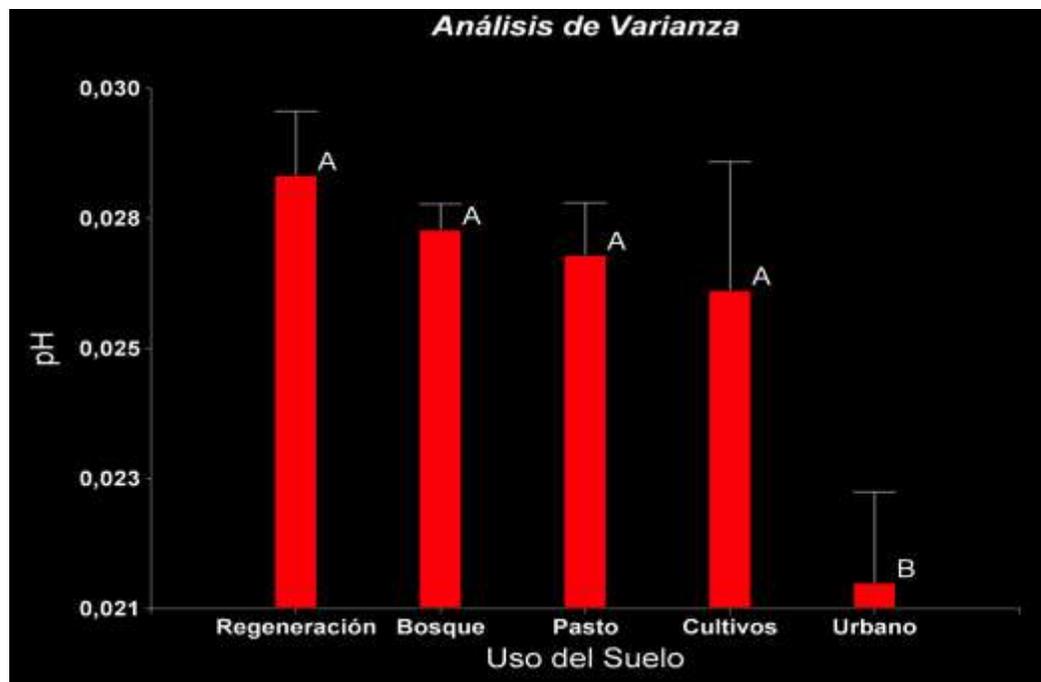


Fig. 17. Análisis de varianza de la variable pH contra el Uso del suelo.

Para los casos donde la variable de clasificación fue tanto el estado de la captación como el pH (Fig. 18) ($n=37$, $R^2= 0.14$, $CV= 9.62$, $p= 0.005$). Se evidenciaron diferencias significativas mediante el test de Tukey, donde se agruparon de acuerdo a los siguientes criterios: bueno (A), malo, regular, bueno en (AB) y sin captar en (B) (Anexo19).

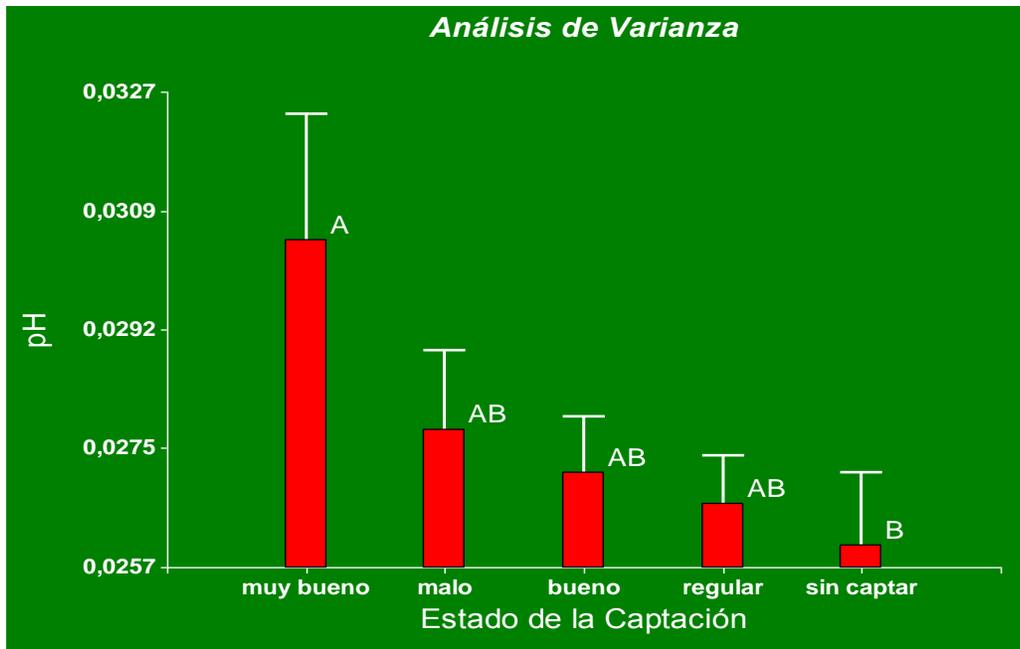


Fig. 18. Análisis de varianza de la variable pH contra el Estado de la captación.

Las otras dos variables que presentaron una significancia en cuanto al estado de la captación fueron: el color verdadero (Fig. 19) ($n=37$, $R^2= 0.27$, $CV= 140$, $p= 0.0354$) –el cual presentó diferencias significativas entre malo (A), sin captar (AB), bueno (AB), muy bueno (AB) y regular (B) (Anexo 19) – y la turbiedad. (Fig. 20) ($n=37$, $R^2= 0.36$, $CV= 177.49$, $p= 0.005$) donde hay diferencia significativa entre malo (A) y el resto de los estados (B) (Anexo 19).

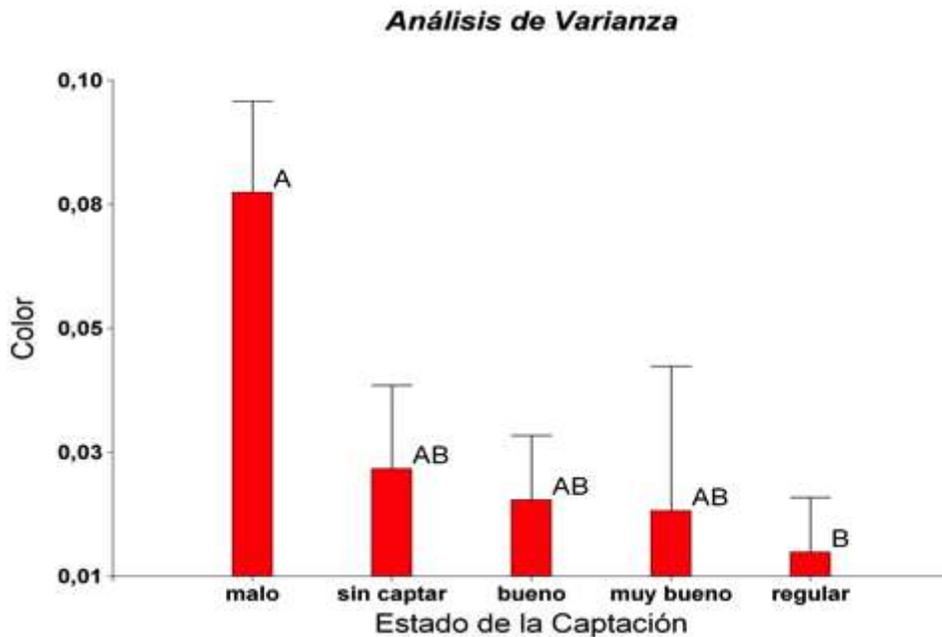


Fig. 19. Análisis de varianza de la variable color verdadero contra el estado de la captación.

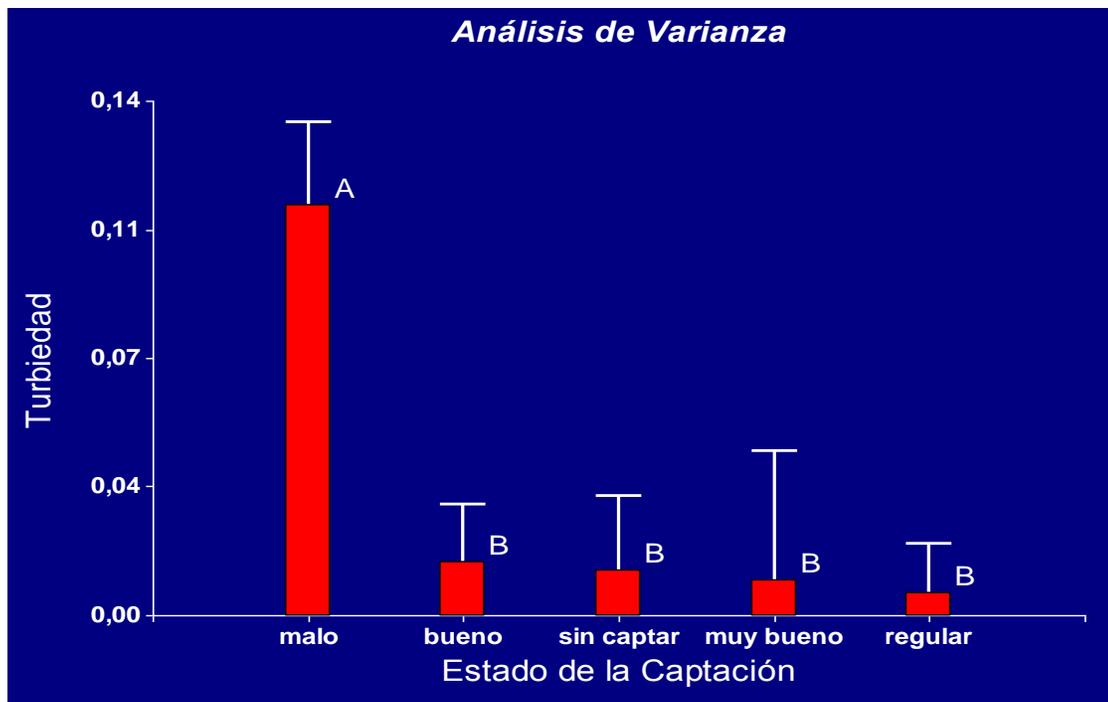


Fig. 20. Análisis de varianza de la variable turbiedad contra el Estado de la captación.

No es posible rechazar la hipótesis nula con base en el resto de la información tomada de las variables porque, según los resultados obtenidos, hay una igualdad de varianzas. No importa el uso del suelo circundante o el estado en que se encuentre la captación. A pesar de esto, existe una diferenciación entre las distintas categorías de uso y estado de la captación en cada variable que no es demostrable numéricamente debido a que la variabilidad de las variables per se (conductividad, *E. coli*, coliformes, dureza total, fluoruro y alcalinidad), lo cual no deja representar esa variación (Anexos 18 y 19). Esto se debe al comportamiento de dichas variables que puede variar en gran manera dependiendo de los factores externos que trabajen en el área (tales como asentamientos urbanos, cultivos, pasto, fauna asociada, precipitación, escorrentía, tipo de suelo y el tipo de bosque).

5.4.5 Índice de correlación entre variables físico-químicas y bacteriológicas que determinan la calidad del agua

Se realizó un índice de correlación entre variables para determinar si existía alguna afinidad o dependencia entre variables y si éstas, a su vez, estaban estrechamente relacionadas. Entre las variables que presentaron una correlación R^2 muy están *E. coli*-los coliformes fecales, dureza total- conductividad- alcalinidad y color-turbiedad (Fig. 21).

Es apreciable que el grupo de *E. coli* y coliformes tiene un 0.99, al igual que la conductividad con la dureza total. La alcalinidad, con los dos anteriores, presenta un 0.98. Por último, vemos que la relación entre color y turbiedad del agua es de 0.94. Existe una afinidad o relación mas baja entre la turbiedad y los coliformes- *E. coli*, la cual llega a un 0.63. Los datos obtenidos con el color y los coliformes fecales presentaron una correlación de 0.61; y con *E. coli*, se obtuvo un 0.59. El Fluoruro y el pH no presentaron correlación alguna con las otras variables o entre sí. Tales análisis se realizaron con el fin de establecer el comportamiento de las variables en un gráfico de análisis canónico discriminantes de las variables versus el uso del suelo y estado de la captación.

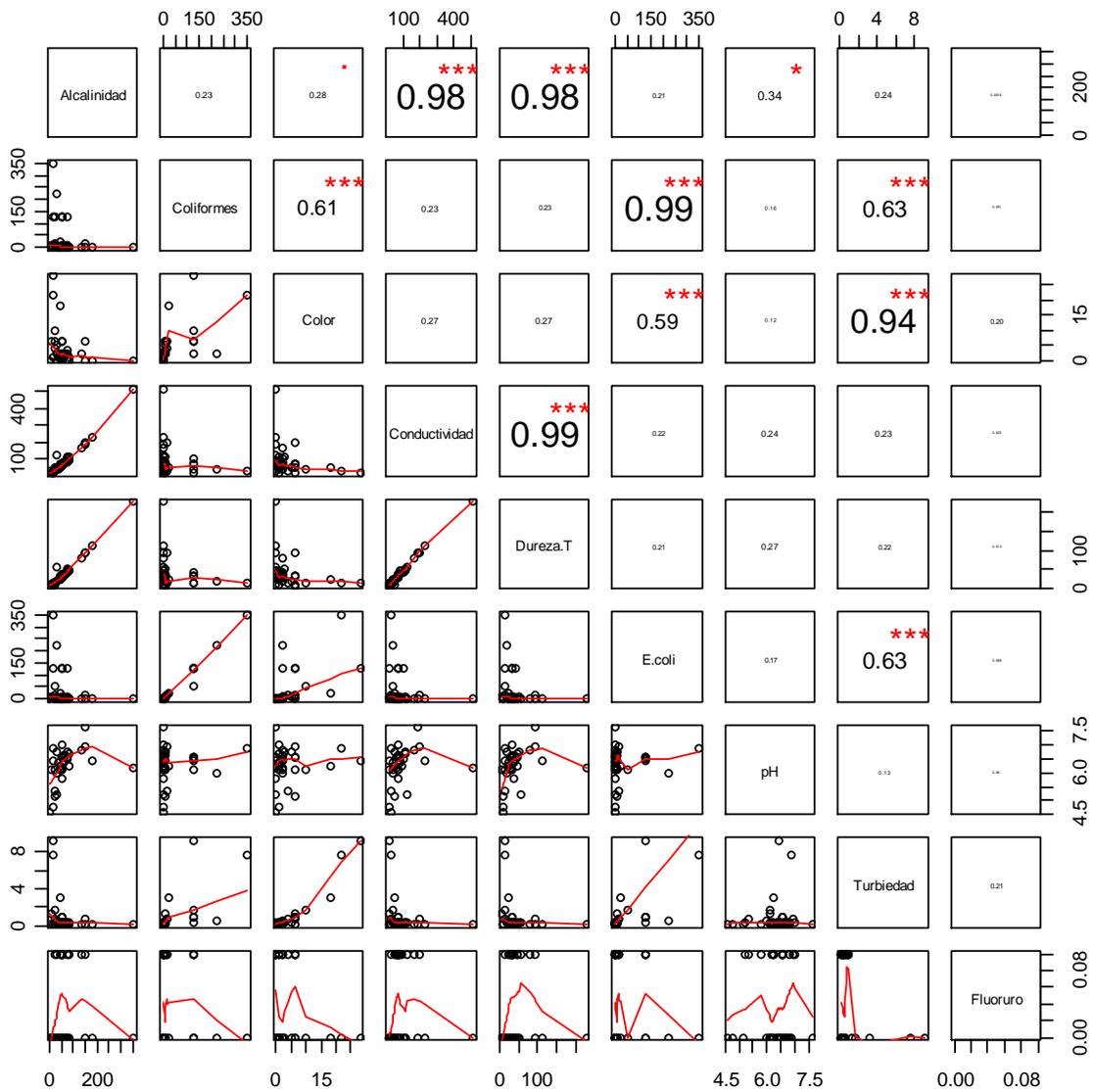


Fig. 21. Índice de correlación entre las variables que determinan la calidad de agua.

5.4.6 Análisis multivariado canónico discriminante de las variables de calidad del agua para Uso del suelo y Tipo (Estado de la captación)

Para la categoría de Uso es apreciable que el bosque, la regeneración y el pasto se encuentran dentro del rango circundante del uso; el cual, a su vez, está por fuera del error del resultado del MANOVA. Por otro lado, los datos urbanos están por fuera del elipse, mientras que los cultivos marcan la diferencia entre los grupos mencionado anteriormente quedando totalmente aislado de los otros usos del suelo (Fig. 22).

El 99.6 % de la variabilidad entre grupos va ligada al espacio canónico, primero establecido básicamente por la distancia existente entre los cultivos y las otras categorías. Se aprecia que la estructura de las medias de los grupos es en una dimensión, ya que ese 99.6% de la variación entre las variables se debe a las largas diferencias entre categorías por las mismas variables (Fig. 22).

De igual manera, se puede observar como hay una tendencia de aumento en la turbiedad y los coliformes, al igual que de *E. coli* y el color (las cuales están altamente relacionadas con las dos variables anteriores según el gráfico de correlación) (Fig. 21) cuando se acerca a la categoría de urbano y que presentan una significancia en los ANAVAS de las variables versus el estado de la captación. Se presenta un aumento en la alcalinidad, pH, conductividad, dureza total y fluoruro; que van en dirección de los bosques, pastos y hacia la regeneración. Los cultivos, al encontrarse tan separados, se le puede establecer una línea perpendicular desde punto de los cultivos hacia las variables de color, turbiedad, *E. coli* y coliformes. Estas líneas, en algún punto se cruzarían, demostrando que los cultivos también tienden a aumentar en los valores de las variables (Fig. 22) (Anexo 20).

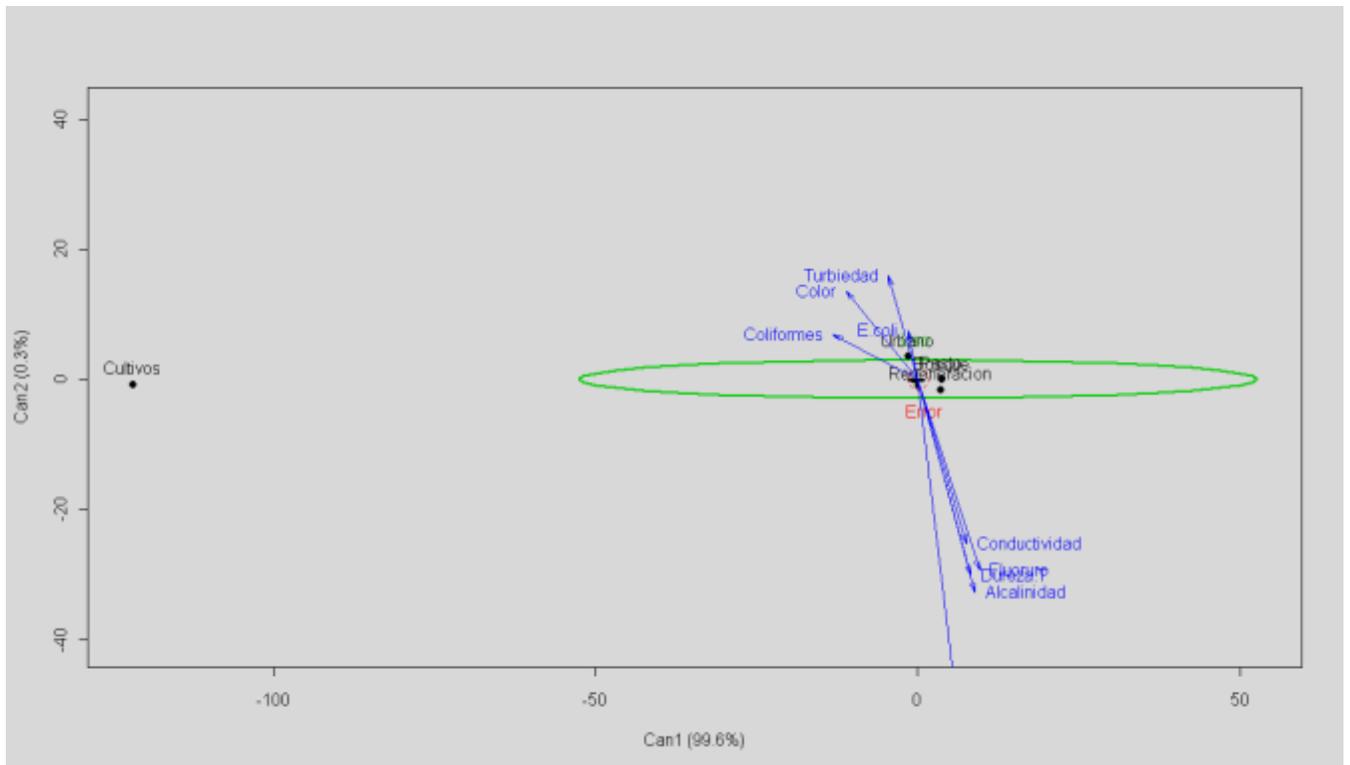


Fig. 22. Análisis canónico discriminante para las variables de calidad del agua en relación con el Uso del Suelo.

Es importante resaltar que, para este análisis canónico discriminante, se representó en dos ejes y no en tres. Los índices del primer y segundo eje suman, en este caso, 99.9% de la información obtenida, lo cual es muy acertado y demuestra que no se está dejando de lado una gran cantidad de información. Es importante mencionar que tipo de gráficos resulta más accesible para su interpretación, por lo que su uso es fundamental (Friendly 2007).

Para el estado de la captación se realizó el mismo ejercicio con el mismo grupo de variables. Vemos una clara tendencia del aumento del valor de las variables coliformes, *E. coli*, color y turbiedad hacia las nacientes sin captar y con un estado malo de captación y un aumento en la conductividad, la dureza total, la alcalinidad (éstas tres variables altamente correlacionadas entre sí según el gráfico de la Fig. 21), pH, y el fluoruro en las captaciones muy buenas, buenas y regulares (Fig. 23) (Anexo 21).

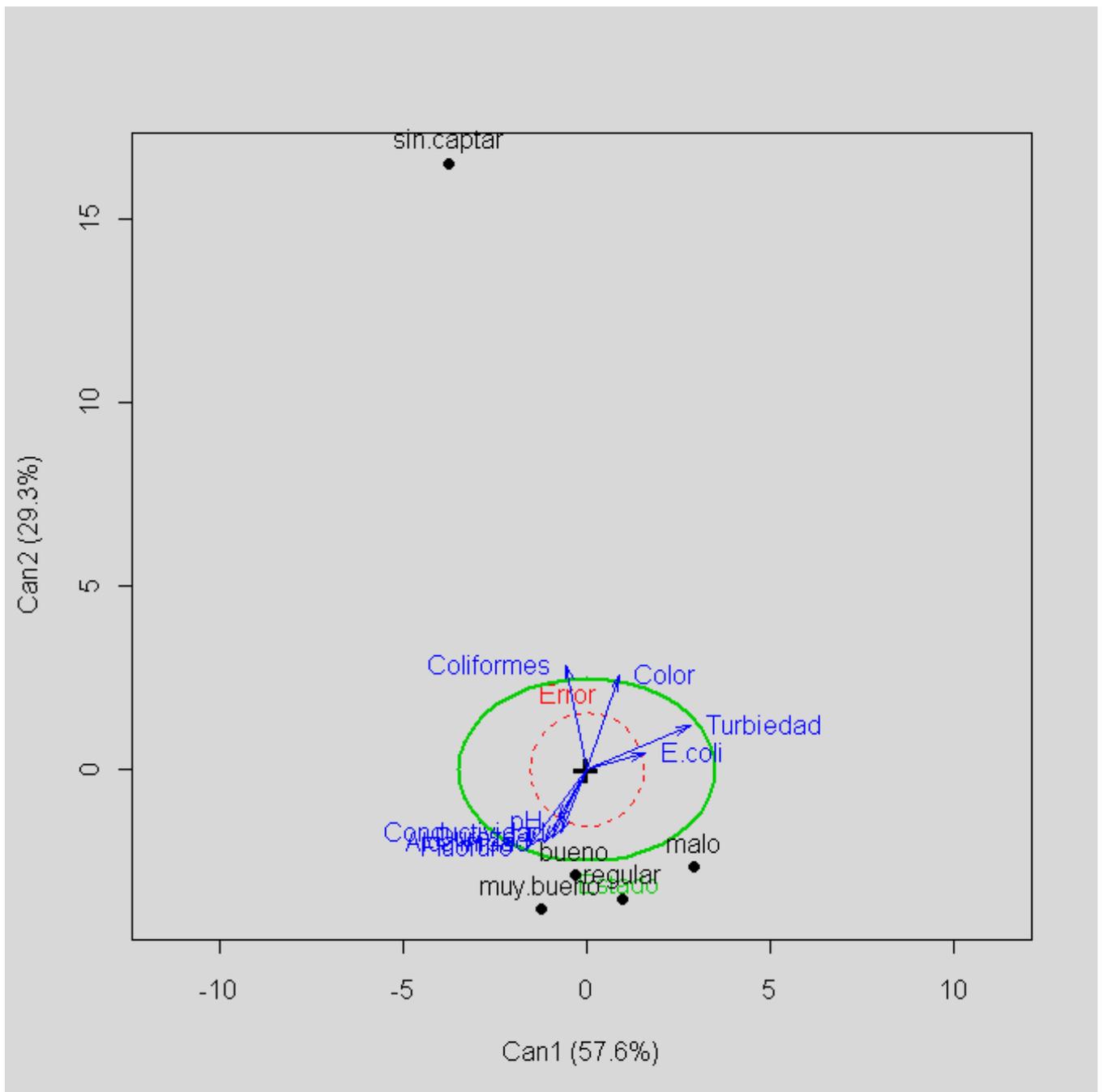


Fig. 23. Análisis canónico discriminante de las variables de calidad del agua con relación al estado de la captación en las nacientes.

Del gráfico anterior se rescata que el 57.6% asociado al primer eje canónico discriminante se debe a la diferenciación entre las nacientes sin captar (Tipo III). Las captaciones malas pertenecientes al Tipo II según el MANOVA realizado, al igual que el 29.3%, fortalece una diferenciación entre grupos. De esta forma, se sitúa en el extremo inferior el Tipo I (muy bueno); seguidamente el Tipo II (bueno, malo y regular) y en el extremo superior, el Tipo III (sin

captar) (Fig. 23). Al observar que la suma de los ejes canónicos 1 y 2 suman un 86.9% de la información suministrada por el MANOVA (Anexo 21), se procedió a elaborar un gráfico 3D para incorporar el 9.4% correspondiente al tercer eje con el fin de obtener el 96.3% de la información suministrada por el MANOVA (Fig. 24).

En este caso, es posible ver que (Fig. 24) las nacientes sin captar tienden a tener un aumento en cuanto a *E. coli* y turbiedad. Las captaciones en mal estado tienden a tener un aumento a los valores del pH, mientras que las demás variables si se comportan igual que en la Fig. 23. (Anexo 21).

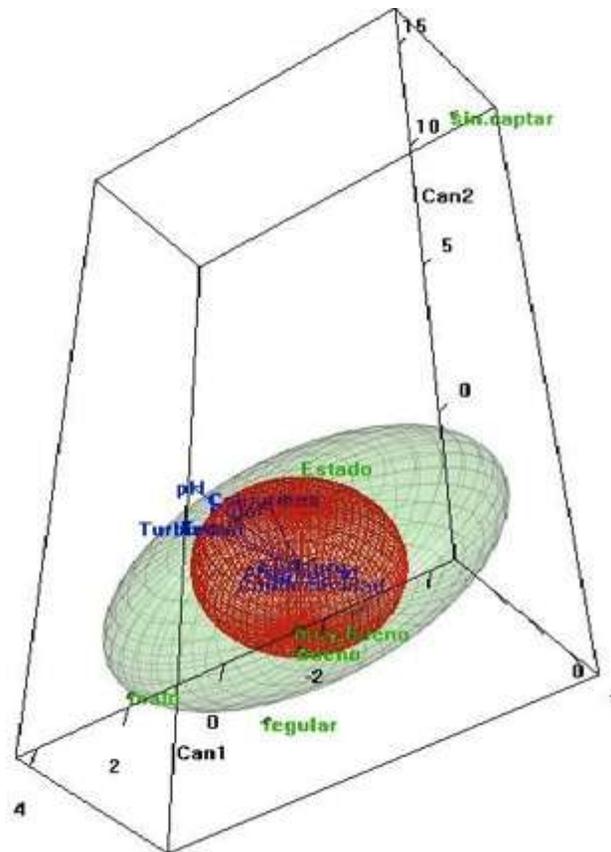


Fig. 24. Análisis canónico discriminante de las variables de calidad del agua con relación al estado de la captación en 3D.

En ambos casos en donde se realizó el análisis canónico discriminante, tanto para uso del suelo como para el tipo (estado de la captación), se rechazó la hipótesis nula que propone establecer los valores de las correlaciones canónicas eran iguales a cero, lo cual no se cumplió en ninguno de los dos casos. El elipse verde (matriz H correspondiente a la hipótesis) se sobrepone al círculo rojo (matriz E correspondiente al error), presentando así una gran significancia en los

valores de P para los de los dos primeros ejes canónicos en ambos casos (USO y ESTADO) y en un tercer eje canónico para el estado (Anexos 20 y 21).

En todos los gráficos realizados sobre el MANOVA de análisis canónico discriminante, los valores de z no están correlacionados. Por esta razón, los dos o tres ejes están representados en dimensiones canónicas. Además, cuando los valores de z están estandarizados – como es nuestro caso –, la forma de la matriz E (error) tiene una forma circular. El orden y separación de los grupos significan en cada variable canónica, como esa combinación lineal de las respuestas, se discrimina entre los grupos. De igual manera, los ejes sirven para correlacionar las variables observadas con la dimensión canónica. Los ángulos entre los vectores indican la correlación entre las diferencias significativas de los grupos, basado en la matriz H (elipsoide verde), proyectada en el espacio de la dimensión canónica (Friendly 2007).

6. Discusión

6.1 Calidad del agua determinada a partir de las categorías de uso del suelo y el estado de la captación, mantenimiento que se les da a las captaciones y la pérdida del suelo asociada a cada nacimiento

Según un estudio realizado por Sánchez *et al.* en el 2004, se pudo identificar que en la cuenca del río Sarapiquí no hay agentes naturales que influyeran de manera negativa la calidad del agua a nivel de aguas superficiales. Si esas causas obedecen a factores antropogénicos – como vertido de desechos, aguas residuales, transporte fluvial, actividades agropecuarias y desechos agroindustriales– esto queda ratificado al analizar los datos obtenidos a partir de la FUPS.

Los resultados, que dan hasta 16.53 ton/Hect./año en la cuenca del Río Sarapiquí, están muy por debajo del promedio estimado de pérdida del suelo que obtuvo Reyes en el 2002 con dos escenarios y una situación base distinta. En primer lugar, se realizó un estudio de valoración económica del agua en la cuenca del río Volcán en la parte alta de nuestra cuenca, el cual estimaba hasta 77.73 ton/Hect./año en cultivos perennes. En otras palabras, los datos dejan claro lo siguiente: la recuperación de la cobertura boscosa y programas conjuntos de PSA ayudan a la minimización de la pérdida del suelo en dicha cuenca.

Por esta razón, los factores que influyen directamente sobre la calidad del agua en las nacientes identificadas; como el uso del suelo, el grado de pérdida del suelo asociado a la escorrentía superficial, el estado de la captación y el mantenimiento que se le da a dicha captación, no pueden ser analizados por separado. De ser así, dichos factores no jugarían un papel determinante en la calidad, a excepción del estado de la captación y su mantenimiento, cuya influencia permite su establecimiento y manipulación por parte de las ASADAS para prevenir la influencia de otros factores sobre la calidad del agua en las nacientes en estudio.

En el caso del factor uso del suelo establecido, se acepta que la cobertura vegetal como bosque ayuda a regular el caudal y reduce la escorrentía. Aunque dicho dato es cierto los ecosistemas utilizan y requieren mucho de este recurso (FAO 2003). Aunado a esto, Stadtmüller (1994) indica que el bosque garantiza, al más bajo costo, una alta calidad del agua mediante la regulación de sedimentos, turbidez, temperatura y oxígeno disuelto; la estabilización del flujo subsuperficial y una protección adecuada al suelo. Por otro lado, al tener una

evapotranspiración en pasto menor, pues el agua que no es captada a los cuerpos de escorrentía superficial aumenta los caudales de los cuerpos de agua y la erosión en los lugares (Cavelier y Vargas 2002).

A la hora de contraponer los datos de investigaciones anteriores con los resultados obtenidos en este estudio, vemos que los análisis estadísticos clasifican al bosque, la regeneración y el pasto como usos del suelo que dan una calidad del agua parecida. De acuerdo con Stadtmüller (1994), se podría decir, en nuestro caso, que esto se cumple para el uso bosque y el pasto. La calidad del agua en estos tipos de uso es influenciada por factores como el estado de la captación y el mantenimiento de las nacientes; lo cual demuestra la existencia de cierto grado de erosión de acuerdo a los fragmentos tomados de la FUPS para cada naciente, una vez establecidas las áreas (Fig. 14 y cuadro 6).

Al comprobar una afinidad directa con alta correlación (Fig. 21) entre el color verdadero y la turbiedad del agua y que además presentan significancia en el ANAVA (Figs. 19 y 20) del estado de la captación. Lo cuál hace referencia indirecta a depósitos de sedimento en los cuerpos de agua producto de la erosión, los cuales presentan una correlación con la proliferación de coliformes y *E. coli* que más adelante se desarrolla en el apartado 6.3. Por esta razón, se puede asegurar que, al tener una captación en buen estado y con un mantenimiento periódico, es posible mantener una buena calidad del recurso hídrico para consumo humano.

La naciente Pablo Presbere 1 es un ejemplo de la afirmación anterior, ya que se encuentra en un uso del suelo de pasto con una pérdida de suelo de 0.129851 ton/met/año. A pesar de esto, cuenta con una captación muy buena y un mantenimiento periódico bien marcado, lo cual se refleja en una calidad del agua aceptable según el decreto del 2005 o de calidad 1 de acuerdo con el decreto 2007 (Cuadro 5 y Anexo 10 y 13). De igual manera, si se analiza la otra naciente (San Miguel) – que cuenta con una captación muy buena pero presenta un mantenimiento menos constante (cada 6 meses) – vemos que un bosque con mayor pérdida de suelo (0.49167 ton/Hect./año), aunado a la falta de mantenimiento, permite la influencia por parte del suelo (suelos ácidos, Anexo 7) en el pH del agua (ver apartado 6.4). La calidad del agua se ve deteriorada, y como consecuencia, es catalogada como inaceptable según el decreto del 2005 o clase 4 de acuerdo con el decreto del 2007.

Para las cinco nacientes que resultaron aceptables – de acuerdo con el decreto 2005 y presentan calidad de agua 1 según el del 2007–, vemos que la presencia de una infraestructura tipo II o incluso, la ausencia de una (Pablo Presbere 2), por no estar siendo utilizada en este momento para consumo humano. Todas las nacientes se caracterizan por la ausencia de la erosión y por un mantenimiento periódico riguroso: una vez al mes para todos los manantiales con excepción de La Virgen, que es cada dos meses. Asimismo, el hecho que todas las nacientes se encuentran en bosque asegura la falta de pérdida de suelo en caso de infiltración. Tampoco hay deposición de material y el mantenimiento mantiene libre de proliferación de microorganismos.

En el resto de los casos en que se presenta un tipo de captación II (bueno, regular y malo) según las pruebas estadísticas y que presentan limitantes de pH o *E. coli* (en otras palabras, son inaceptables según el decreto del 2005), 8 de ellas están en bosque, 2 en regeneración, una en urbano y 4 en pasto. Aquellas fuentes que presentan problemas de pH están asociadas al suelo según apartado 6.4 y, a su vez, a la presencia de *E. coli*. A pesar de una pérdida del suelo baja o nula y un mantenimiento regular en todos los casos (exceptuando a Cariblanco); las dos nacientes de la Delia, San Bernardino, Cristo Rey y las dos nacientes de Estero Grande que no se les da mantenimiento tienen algún problema de infiltración el cual permite que los agentes limitantes de calidad del agua estén presentes en estas nacientes.

A pesar que se ha logrado demostrar que la capacidad de infiltración varía, de acuerdo al uso del suelo circundante (ProDus 2006), el hecho de tener factores similares permite y demuestra que el suelo se comporte de manera parecida. Algunos de los factores determinantes son: la presencia de mamíferos en distintos usos del suelo, los cuales depositan sus desechos en estas áreas; y una capa de materia orgánica de nula a poco densa en los suelos de bosque, pasto y regeneración, la cual compite con la cantidad de precipitación que cae en el lugar. Tales factores influyen la calidad del agua en estos tres tipos de uso del suelo, de manera que su comportamiento sea similar, según lo demuestra el MANOVA.

En el resto de las nacientes que están catalogadas dentro del Tipo III (sin captar) no tienen ningún tipo de mantenimiento. Es de esperar que no hayan sido catalogadas como aceptables para consumo humano porque no existe impedimento alguno para que el material arrastre microorganismos hacia las nacientes, inutilizando a las mismas. Sin embargo, al estar sin ningún tipo de captación permite que haya mayor fluidez y transporte de materiales río abajo

presentando mejor una mejor turbiedad y color que las nacientes que se encuentran con una captación en mal estado (Figs 19 y 20).

Al contraponer nuestra situación de la calidad del agua a las áreas de priorización de manejo de la cuenca del Río Sarapiquí, en la que tales fuentes muestran que la categoría *Muy alta prioridad* es inexistente y la *Alta prioridad* alcanza apenas un 0,4%, que representa 810 ha del área total de la cuenca - según lo planteado por Sánchez *et al.* en el 2004 – se puede aseverar que los factores como la infraestructura asociada y el mantenimiento que se le dé a las captaciones son los determinantes de esa calidad y no factores como el tipo de cobertura, como lo concluye Sánchez *et al.* 2004 que la predominancia de cobertura forestal en la cuenca determinó bajos valores de riesgo sobre las condiciones de calidad del agua, el criterio de prioridad de Uso actual del suelo al tener asociada la infraestructura muy buena en las nacientes y su mantenimiento regular no causa mayor diferenciación entre la calidad del agua en sectores de bosque, regeneración y pasto como lo presentan los ensayos estadísticos.

6.2 Diagnóstico general de los resultados obtenidos en el levantamiento de los datos de campo en las nacientes utilizadas para consumo humano en la cuenca del Río Sarapiquí

Por medio de todas la nacientes utilizadas por las 12 ASADAS, se le brinda servicio de agua a 8071 abonados u hogares. De acuerdo con datos del INEC (2001), cada hogar en la región esta compuesto por un promedio de 4.2 habitantes por familia. De los 10 638 hogares, que conforman una población promedio de 44 680 personas, se les brinda el servicio a 33 898 habitantes (75.87 %) del total de la población censada.

De estos 33 898 habitantes y de acuerdo a los resultados obtenidos en los muestreos realizados por FUNDECOR en las 37 nacientes (cuadro 5) y según decreto del 2005, solamente 5 nacientes (captadas) y 1 no-captada son aptas para el consumo humano. Si el líquido fuera tomado directamente de la fuente y entregado a los usuarios de una manera inmediata, sólo 5 467 habitantes atendidos por las ASADAS de la región se verían beneficiados, con agua potable.

Al comparar estos números con los datos obtenidos en la caracterización de las nacientes, se puede observar que de las 31 nacientes que están siendo utilizadas para consumo humano, el 96.77% están en la categoría bosque-pasto-regeneración y cuentan con una calidad de agua

similar. Sólo el 3.22% se encuentra en la categoría de zona urbana, lo cual indica que alrededor de 32 803 personas están recibiendo agua proveniente de estos tres tipos de uso del suelo y 1 095 personas; una calidad proveniente de la captación ubicada en zona urbana.

De las 31 nacientes empleadas para consumo humano, solamente el 6.45% se encuentra dentro de la categoría de tipo I (muy buena) y un 93.54 % de la nacientes en el tipo II (buena, regular y mala). En otras palabras, hay 2 186 habitantes que están recibiendo agua de nacientes con un muy buen estado en su infraestructura y hay un 31 712 habitantes que reciben agua de captaciones ubicadas dentro de una categoría más baja.

De acuerdo a esto, la calidad de agua que recibe la población de la naciente de Cristo Rey (en zona urbana) es mucho menor que la del resto de la población a la que se le da el servicio de “agua potable” debido a que ésta se encuentra en la categoría de tipo II (mala). Las poblaciones que están siendo abastecidas por las nacientes de San Miguel y Pablo Presbere reciben mejor calidad del agua asociada, básicamente, al tipo de captación con el que cuentan que es de tipo I (muy buena). No importa que se encuentren en bosque y pasto respectivamente, ya que ambos presentan la misma calidad del agua según las estadísticas realizadas.

Las nacientes con captaciones muy buenas y ubicadas en categoría de bosque-pasto-regeneración no presentan contaminación por coliformes fecales. Por otro lado, las fuentes localizadas en zona urbana sí presentan contaminación. Esto establece que, cuanto mejor es la captación, existe una menor posibilidad de contaminación por coliformes siempre y cuando se le de un mantenimiento adecuado a dicha infraestructura con el fin de evitar la sedimentación en las captaciones (que son, al mismo tiempo, propiciadores de la reproducción de coliformes y que influye en el aumento de la turbiedad y del color verdadero) según veremos más adelante. Por otro lado, un 35.48% (12 027 habitantes) de la población que recibe el servicio podría quedarse sin agua para consumo humano por causa de derrumbes, un 54.83% (18 582 habitantes) están sujetos a algún tipo de contaminación asociado, básicamente, al estado de la captación o áreas circundantes fuera del búfer. Finalmente, de las 31 nacientes, hay 7 que no cuentan con ningún tipo de tratamiento, lo cual incide directamente sobre un 22.58% de la población (7 654 habitantes) que recibe el agua tal cual es captada.

De las 6 nacientes que no se están utilizando pero que hay interés por parte de las ASADAS para su aprovechamiento, vemos solamente 1 que podría utilizarse para consumo humano según el decreto 2005 ya que no presenta limitantes. Las demás no podrían usarse porque

existen 2 con limitantes de pH, 2 por presentar limitantes en pH y *E. coli* y 1 más con solo *E. coli* de limitante. No obstante, en contraste con el decreto del 2007, todas serían aptas si se les aplica diferentes tratamientos. Es decir, infraestructura asociada a las captaciones, el mantenimiento y plantas de tratamiento es determinante en la calidad del agua, ya que un tipo de captación (muy buena-mala) puede ser en un mismo tipo de uso del suelo beneficioso como perjudicial ante la falta de mantenimiento y limpieza del recinto. De igual manera valores limitantes en las nacientes no son tan altos como para no poder ser tratados con plantas de cloración y sistemas que permitan regular el pH, asegurando así la potabilidad al 100% de la población que es asistida por las ASADAS de la región.

6.2.1 Diagnostico de la calidad del agua en la zona de Sarapiquí de acuerdo a los datos del AyA

De acuerdo con los datos que fueron facilitados por AyA, no es posible establecer una línea histórica viable para comparar estos datos con los realizados y encontrados en este proyecto. Sin embargo es visible una tendencia a mejorar en la calidad del agua conforme pasan los años y según el decreto del 2007. Al verlo a la luz del decreto del 2005, (Figs. 6 y 7) se mantiene entre el 18% y el 24% de las nacientes (Figs. 8 y 9).

A pesar de que no hubo continuidad en los registros dados por el AyA (Anexo 12) es posible determinar de forma puntual para ese período – que abarca del 2004 al 2008 en el que se realizaron muestreos por parte del LNA del AyA–, que 12 de las nacientes que fueron catalogadas como aceptables en algunos años, hay tres que de estas que no se les realizó *E. coli* y 7 que fueron aceptables solo en 2006. Es decir, no tenían registros 2007 o 2008 o fallaron en estos años y dos que fallaron en el 2007, además de 8 nacientes sin registro y el resto fue inaceptable por algún parámetro.

Al contraponer lo antes citado con los datos obtenidos a partir de los análisis físico-químicos y bacteriológicos realizados por FUNDECOR en el 2008 (Cuadro 5 y Anexo 13), vemos que 6 de estas nacientes fueron consideradas como aceptables. Esto demuestra que en la mayoría de los muestreos, el número de nacientes con características aceptable para considerarse el agua como de buena calidad es siempre bajo en comparación con la cantidad de nacientes inaceptables. Si presenta un alto número en los distintos muestreos realizados, tanto por AyA como por FUNDECOR, los datos dejan en evidencia que la influencia tanto del uso del suelo como el estado de la captación y su mantenimiento son influyentes en la calidad del agua.

6.3 *E. coli* y coliformes fecales en los sitios de muestreo

Los resultados obtenidos a partir de la prueba de FUPS (Figs. 15 y 16) muestran que, en general, no hay problemas graves de erosión en la cuenca y que los problemas de erosión se presentan en áreas muy puntuales. Se podría pensar que en general la pérdida del suelo no es un determinante en la calidad del agua de las nacientes. Sin embargo, al ver los fragmentos de la FUPS en cada naciente (Cuadro 6) y el análisis estadístico (Anexo 14), vemos podrían ser causantes en la proliferación de Coliformes fecales y *E. coli* en dichas captaciones, a pesar de ser valores tan bajos. Lo cuál se reafirma con el ANAVA del estado de la captación que dio significativo (Figs. 19 y 20) y con la correlación de los coliformes con la turbiedad de 0.63, y con color verdadero de 0.61 y 0.59 (Fig. 21).

Los problemas de tenencia de la tierra asociados a estas nacientes o manantiales, o la ausencia de una completa autonomía por parte de las ASADAS para poder establecer prácticas de manejo o estrategias que propicien una buena calidad del agua tanto dentro de las áreas búfer como en las áreas circundantes a los 100 y 200 metros de radio, ejerce presiones sobre el recurso y genera problemas como escorrentía superficial, arrastre de material (materia orgánica y fecal). Esto genera precipitación de sedimentos en las captaciones que permiten cierto grado de infiltración (con lo cual queda claro que el tipo de captación es influyente en la calidad del agua). También se ha demostrado que la materia orgánica y acumulación de sedimentos no solo influyen en el porcentaje de crecimiento bacteriano, también afectan el transporte microbiano en el agua subterránea, dado a que altera el tamaño celular y la hidrofobicidad. Se sabe que en presencia de diferentes concentraciones de nutrientes, las bacterias presentan diferente tamaño. También se describe que las condiciones de inanición pueden incrementar la hidrofobicidad de las células (RIPDA-CYTED 2003).

Los primeros 5 a 10 cm de suelo son los más importantes para la infiltración y recarga de las aguas subterráneas, ya que definen, según la intensidad de la lluvia, los porcentajes de lluvia que se infiltra o se escurre superficialmente sobre el suelo. Estos primeros centímetros de suelo son también los más afectados por el uso del suelo, ya que son los que pueden perderse por erosión o compactarse según la actividad (ProDus 2006).

Oliver et al. (2005) encontró una correlación directa entre *E. coli* y el flujo de agua. Al haber mayor flujo, aumenta el grado de sedimentos y esto incrementa la concentración de bacterias.

Encontró que, en zonas de pastoreo como de no pastoreo, las cuales se caracterizan por tener altas concentraciones de *E. Coli*, coincidían con un aumento en la cantidad de agua (época lluvioso). De igual manera lo comprobó ProDus (2006) que en suelos de pastoreo la compactación es mayor, disminuyendo la infiltración del agua y recarga hídrica de los manantiales, aumentando la escorrentía y propiciando la erosión.

Aunque ProDus (2006) logró establecer que el nivel de infiltración de los pastos es 80 veces menor que el de los bosques para esta región, es sabido que la *E. coli* es movida por el flujo y no diluida, como ocurre con algunos compuestos como el nitrato. Esto es lo único que se ocupa para obtener grandes caudales de agua sobre el suelo que arrastren y se remuevan estas células y sean transportadas hasta algún cuerpo de agua receptor (manantiales) (Oliver et al 2005). Lo cual quedó evidenciado en un estudio de calidad de aguas realizado en la microcuenca de la Quebrada La Victoria en Guanacaste, en donde en la época lluviosa se deteriora la calidad del agua debido al arrastre de material el cual propicio el aumento en los valores de turbiedad, color, coliformes y *E. coli* (Zhen et al. 2010). Tal es el caso de nuestro sitio de estudio, que posee una época lluviosa muy alargada con pocos meses secos (menos de tres) y con precipitaciones de hasta 4000 mm por año y con suelos que van desde lo arcilloso hasta lo franco pasando por los franco-arenosos (Anexo 7).

Según antecedentes de la literatura, la retención de bacterias por el suelo es producida principalmente por filtración, la cual es favorecida por el tamaño de las partículas. Por otro lado, los virus son adsorbidos por el suelo, lo cual se relaciona con la porosidad y superficie de contacto (Gerba et al. 1991, Bitton et al. 1992, Bitton 1999).

Se ha llegado a demostrar que en terrenos que en algún momento fueron utilizados para pastoreo y que luego se abandonaron, el *E. coli* es persistente en este tipo de uso del suelo (Oliver et al 2005). Evans y Owens, en 1972, determinaron que *E. coli* podía estar sobre el suelo hasta por 120 días sobre el pasto (Oliver et al 2005). Lo mismo puede suceder con animales presentes en el bosque (tales como jaguares, monos, dantas, chanchos de monte, pavas, etc.) (Anexo 22), que sean de sangre caliente y que depositen sus desechos sobre el suelo; conteniendo *E. coli* en sus restos y siendo arrastrados por la escorrentía superficial hasta ser depositados en captaciones o manantiales.

Aunque en la mayoría se contaba con cobertura boscosa y que poseían un bajo grado de erosión; la existencia de fauna asociada a los sitios de captación, una escorrentía superficial

que admite el transporte de la materia fecal y las captaciones permitían la infiltración de estas aguas superficiales en las nacientes. Debido a los sedimentos que se acumulan en dichas captaciones, tendremos siempre un escenario más que apto para la proliferación de coliformes fecales en estas nacientes utilizadas para consumo humano. Esto establece de manera clara la estrecha relación que existe entre la erosión asociada a un sitio, los sedimentos que esta produce (aumentando los valores de color y turbiedad) y el estado de la captación en la proliferación de *E. coli* y la contaminación de las nacientes.

La presencia de coliformes fecales como de *E. coli* en los distintos manantiales hace hincapié y apunta que las aguas afloradas en estas nacientes son aguas muy recientes y con menos de 120 días de infiltración (com pers. Roberto Ramírez Hidrólogo 2009). Por consiguiente, es un hecho es que se esta trabajando con reservas al filo del agua con las cuales abastecemos a las poblaciones adyacentes y reciben el servicio por parte de estas ASADAS. Sin embargo, no sólo se trata con problemas de calidad del agua. En caso de algún cambio en el clima que produzca una estacionalidad de la temporada seca más marcada (como fue el caso de la Región Norte de San Carlos en el 2008), estas fuentes de abastecimiento se ven afectadas o disminuidas en cantidad de recurso disponible para el abastecimiento de las poblaciones en cuestión.

6.4 El pH presente en las muestras de agua

El pH asociado a nuestros sitios de muestreo está ligado básicamente a la acidez del suelo circundante, que por defecto en esta región tiende a ser de corte ácido. Tales datos fueron observados en las muestras de suelo realizadas por FUNDECOR en las zonas que se someterían a reforestación durante los años 2003-2006 (Anexo 7). Los valores asociados a estas pruebas de suelo van de 4 y no llegan a 6 lo cual cataloga a estos suelos como muy ácidos.

De acuerdo con los análisis de varianza de las variables físico-químicas realizadas en las nacientes, solamente el pH dio significativo para uso y el estado de la captación, lo cual se refleja muy bien al clasificar los cuerpos de agua mediante ambos decretos (2005 y 2007). Las características físico-químicas del agua pueden tener un efecto significativo en el aumento y reversibilidad de la adsorción microbiana sobre las superficies sólidas. El pH del agua subterránea influye en la adherencia de los microorganismos a superficies sólidas. En general, parece ser más eficaz cuando las superficies son ligeramente ácidas (RIPDA-CYTED 2003).

El pH es un factor esencial que permite o no la vida acuática dependiendo de los valores presentes en el agua. Las aguas ácidas, por ejemplo, limitan la cantidad de organismos y las aguas alcalinas permiten el establecimiento de macroinvertebrados (Kiely 1999). El pH es importante en los procesos químicos, como la desinfección del agua por medio del cloro, el cual necesita estar entre 5,5 y 9.5 para que el procedimiento tenga efecto. Muchos tratamientos necesitan regular el pH con el fin de que predomine el HClO, el ingrediente activo que actúa como inactivador de microorganismos patógenos (Chapman 1996).

El mecanismo por el cual los niveles elevados de pH causan mayor alteración en coliformes fecales así como la capacidad de inactivación por longitudes de onda larga no es muy claro. Sin embargo existen dos posibilidades: que el pH disminuya la resistencia de los microorganismos a los efectos de la radiación solar, o que incremente la producción de formas tóxicas de oxígeno e induzca cambios en la ionización o configuración de algunas moléculas implicadas en este complejo proceso. La alteración en las membranas hace pensar que, frente a un aumento en el pH, puede generarse flujo de iones hidroxilos, los cuales incrementan el pH interno de coliformes fecales o enterococos y alteran su funcionamiento (RIPDA-CYTED 2003).

De acuerdo a lo citado anteriormente las nacientes o manantiales que tendrían algún problema para tratar sus aguas en caso de que presenten Coliformes fecales o *E. coli* serían San Miguel con Cariblanco que posee un pH de 5.2, Cristo Rey 1 con un 4.61 y Cristo Rey 2 con 5.18, además de Guácimo 2 con 4.78 y José León con un pH de 5.35 de las cuales en los análisis realizados solamente Guácimo 2 no presentó Coliformes o *E. coli*.

Por lo expuesto anteriormente, las nacientes que cuentan con valores de pH menores a los aceptables por los dos decretos 2005 y 2007 son catalogadas como no aceptables para consumo humano. Este tipo de acidez puede propiciar oxidación en las partes de la tubería que sean metálicas y generar algún tipo de óxido ferroso que perjudique la salud humana. Además, si por alguna razón se ingiere el agua, el estómago humano secreta bicarbonato por la células epiteliales de la superficie mucosa gastroduodenal en el gel mucoso. Este fenómeno formaría un gradiente que oscila entre 1 y 2 de pH a nivel de la superficie de la luz gástrica y alcanza 6 a 7 de pH a lo largo de la superficie celular epitelial (Kasper *et al.* 2005).

Sin embargo, la utilización del agua con valores de pH menores a 6 podrían generar problemas de caries en los dientes, úlceras o irritaciones en la boca y esófago (algo parecido a una esofagitis por reflujo, mismo caso que ocurre con las personas bulímicas que devuelven el

bolo alimenticio con jugo gástrico con un pH de 5) la cual presenta un dolor torácico quemante (pirosis). Aparte de esto, el uso de agua con valores de pH bajos sería perjudicial para las personas con alguna afectación gastrointestinal (gastritis, úlceras), ya que podrían terminar en una metaplasia duodenal gástrica (cáncer en el estómago) (McPhee *et al.* 2003) y hasta podría generar irritación en ojos, quemaduras leves y descamación de la piel (com pers. MD. Manuel Guerrero Barrantes 2009).

6.5 Las leyes y regulaciones de nuestro país y situación real del recurso hídrico en la región de la cuenca del Río Sarapiquí

De acuerdo a los decretos de calidad de agua publicados en el 2005 y 2007, hay contradicciones en cuanto a clasificación de estos cuerpos de agua. En el decreto del 2007, un cuerpo de agua – como un manantial que tenga coliformes – hasta menos de 20 coliformes es clasificada en un agua clase 1, utilizable para consumo humano. De acuerdo con el decreto del 2005, este dato debe de tener valor de 0 para que sea consumible por un ser humano. No obstante, la realidad en la región es que, dependiendo de la naciente, el estado de la captación, mantenimiento de dicha captación y del uso circundante, así puede ser el grado de contaminación por coliformes encontrado en dicho manantial.

Por esta razón, debe considerarse la clasificación de acuerdo al decreto del 2007 en cuanto a dicho punto (naciente o captación). No obstante, en los tanques de almacenamiento y plantas de tratamiento y hasta al momento de ser entregada el agua a cada usuario, se debe clasificar de acuerdo al decreto del 2005 (ambos en el Anexo 1), el cual acata los distintos tratamientos según ambos decretos para convertir este recurso en agua potable. Es necesario llegar a un concilio por parte de las autoridades encargadas de formular, modificar y de velar por el cumplimiento de dichos decretos. Si analizamos las metodologías utilizadas en ambos decretos, se puede rescatar fortalezas y deficiencias en ambos documentos. En conjunto, tales decretos podrían eliminar dichas deficiencias y fortalecer la metodología del control de la calidad del agua.

Mientras que el decreto del 2005 tiene una metodología de control de la calidad del agua basada en el sistema clásico (físico-químico y bacteriológico), el del 2007 tiene una metodología de tipo integral (biológico y físico-químico). El primero es muy detallado y estricto en su base físico-química, mientras que el del 2007 solamente utiliza el DBO₅ (demanda biológica de oxígeno), PSO (Porcentaje de saturación de oxígeno disuelto) y el NH₄ (Nitrógeno amoniacal

presente en cuerpos de agua con valores de pH mayores a 9); y cita a los demás análisis físico-químicos como complementarios. Lo curioso de esto es que los tres análisis recomendados por el decreto del 2007 no los ofrece el Laboratorio Nacional de Aguas (LNA) del AyA, ente encargado de realizar los análisis de calidad de agua para las fuentes de abastecimiento de nuestro país.

Por otro lado el decreto del 2007 hace énfasis en la caracterización de cuerpos de agua mediante identificación de macroinvertebrados bentónicos, los cuales permiten tener una secuencia o historialidad en el comportamiento de la calidad del cuerpo de agua. Dichos organismos tienen ciclos de vida definidos, lo que permite trazar tiempos de calidad del agua (y que tampoco los ofrece el LNA). Por último, no se pueden hacer con los análisis físico-químicos planteados por el decreto 2005 pues éstos varían de acuerdo a los factores meteorológicos, edáficos, estacionales y regionales.

También es necesario establecer cuáles de estos parámetros son esenciales para determinar la calidad del agua y crear un nuevo documento que englobe las fortalezas de ambos escritos. Resulta, al mismo tiempo, importante determinar la regularidad de los muestreos necesarios para generar un registro fiable de la calidad del agua de todo el país. Aunado a esto, el ente encargado de realizar dichos estudios y muestreos debe tener la capacidad de realizar cada uno de los análisis de laboratorio para cada parámetro.

Con esto se asegura confiabilidad en los datos y una metodología estructurada para la toma de los mismos, lo cual no es el caso con la información brindada por el LNA del AyA (Anexo 12) y que no presentan una continuidad en el tiempo. Por su falta de regularidad en los años del 2004 al 2006 en las diferentes nacientes y del 2006 al 2008, el solamente determinar la calidad del agua mediante los parámetros de *E. coli* y coliformes convierte a estos datos en una fuente poco fidedigna y aprovechable para generar más datos a partir de ellos.

En el caso del radio de protección de las nacientes estipulado en las leyes 276 (aguas) y 7575 (forestal) se encontró que, en el caso de manantiales captados para consumo humano y permanentes, se debe establecer al menos 200 de radio alrededor de la naciente según la ley de aguas de 1942 (276) Art 31. Para los que están sin captar se debe establecer un radio de 100 metros a la redonda (según el Art 33 de la ley forestal) de las nacientes protegidas por bosque como medida precautoria, esperando que estos búfers contribuyan de alguna manera en la calidad del agua y la cantidad. Es importante mencionar que éste búfer o radio ampliable

se puede realizar en caso de comprobarse peligro de contaminación de las nacientes según el Art 32 de la Ley de Aguas.

Los artículos 145, 146, 147, 149 y 150 de la Ley de Aguas y el artículo 34 de la Ley Forestal prohíben la tala de árboles en pendientes, en los alrededores de las nacientes (60 metros) y en la riveras de los ríos (5 metros), debido a que estos son causantes de la disminución del recurso hídrico (Anexo 1). Se propone mediante el Art 148 que, en caso de incumplimiento de los artículos anteriores, se deben reponer o sembrar las áreas degradadas. Los artículos 53 y 54 de la ley de biodiversidad proponen la restauración de los ecosistemas comprometidos.

Con la información anterior en mente, los resultados obtenidos según los análisis del MANOVA y las pruebas estadísticas posteriores lograron demostrar que el tipo bosque, regeneración y pasto van a mantener una calidad del agua muy parecida, y que se encuentra muy ligada al estado de la captación de la naciente. Al comparar esto con nuestra realidad y lo que se debería hacer de acuerdo a las leyes, cabe resaltar que hay una contraposición entre las leyes y la realidad. En tales áreas, como medida precautoria según la ley y para no intervenir en la calidad del agua, se debería de tener nacientes con la cobertura boscosa protegiendo su afloramiento. Sin embargo, dicha recomendación no ocurre (Anexo 23).

El costo de oportunidad de la tierra con lo cual se estimó el pago de PSA por parte del Gobierno mediante fondos administrados por el Fondo Nacional de Financiamiento Forestal (FONAFIFO) – establecido en el decreto N° 25828-MINAE publicado en *La Gaceta* en 1997 y basado en un estudio del Centro Científico Tropical (CCT) en 1996 – calculó los valores de costo de oportunidad del bosque de la siguiente manera: el valor de uso del bosque en \$48 por hectárea y por año para los bosques primarios. Para los bosques secundarios, el valor estimado es de \$41,76. Dichos costos están compuestos por \$38 por ha/año por fijación de carbono de bosque primarios; \$29,26 por ha/año para secundarios; \$5 por ha/año por protección de aguas de los bosques primarios y \$2,5 por ha/año para secundarios. En cuanto a protección de la diversidad y fuente de investigación se estableció la suma de \$10 por ha/año en bosques primarios y unos \$7,5 por ha/año para bosques secundarios. Por último, se estableció para reforestación, unos 120 000 colones por ha/año durante período de 15 años y pagadero por adelantado en los primeros 5 años (establecido en el Artículo 1 de dicho decreto). Tales cifras competirían con el uso inmediato de la tierra en ese momento, que sería cambiar el uso de bosque y arrendar este terreno a otra persona para que lo utilice para la cría de ganado. Esto no competiría con el costo de oportunidad de la tierra en otros usos alternativos al bosque o pasto.

Junto a estas iniciativas y con la estipulación de la prohibición del cambio de uso del suelo mediante la ley 7575, fue posible ver el aumento en la cobertura boscosa de nuestro país. Para el 2000 ya alcanzaba un 45% según el mapa de cobertura boscosa elaborado por la Universidad de Alberta y el CCT para FONAFIFO (2002) y para el 2005 alcanzando un 48% de cobertura boscosa según FONAFIFO (2007). Sin embargo, las actividades agrícolas siguen siendo, en algunos casos, más atractivas para los productores con tierra que tienen vocación forestal. Esto se debe a que, en muchos casos, el producto agrícola se cosecha en períodos más cortos y les permite tener un flujo de dinero en menos tiempo. Tal actividad permite velar por el bienestar de su familia y suplir sus necesidades básicas, mientras que con un sistema de reforestación – a pesar de obtener PSA por parte del gobierno a lo largo de cinco años– el dinero solamente cubre el establecimiento de la plantación y otros gastos asociados. El propietario no vea las divisas de dicha plantación y, en el mejor de los casos, en no período menor a los 15 años.

Este panorama ha sido el mismo en los últimos años. Para el 2009, según el decreto N° 35159-MINAET establece que para protección de bosque se pagará \$ 320; para protección del recurso hídrico US\$ 400; en el caso de protección de bosque por vacíos de conservación \$ 375; mientras que para reforestación es de \$ 980 y \$ 205 para áreas de reforestación no prioritaria (estos dos últimos por períodos de 15 años desembolsados por adelantado en los primeros 5 años). También se asignó un monto de \$ 320 para zonas de recuperación de áreas mediante regeneración natural en pastos y potreros que hayan sido deforestados antes de 1989. Finalmente, se dará, de acuerdo con el decreto en cuestión, \$ 1.30 para árboles en sistemas agroforestales durante un plazo de tres años.

Con esto se esperaba un escenario de la siguiente manera:

PSA ≥ COT

Dicho de otra manera, el pago de servicios ambientales debe ser mayor o igual al costo de oportunidad (COT) de la tierra. Este principio contempla la lógica privada y lo denominamos principio de viabilidad financiera privada. La idea central es servir como incentivo real de mercado para la conservación, por lo que el pago de servicios ambientales debe contemplar el costo de oportunidad del cambio de uso de la tierra. Este principio es considerado en el proceso de definición de políticas como una ley de hierro (Tattenbach *et al.* 2006).

Dicha fórmula es creada con el fin de consolidar las áreas silvestres protegidas y el fortalecimiento de las reservas privadas y núcleos de producción forestal sostenible mediante el reconocimiento de los servicios ambientales y la priorización de las áreas de protección del recurso hídrico. Sin embargo, al igual que el panorama establecido por el decreto de 1997, el costo de oportunidad de la tierra para otras actividades siempre es más alto que el del bosque.

Así lo demuestra un estudio elaborado por el Instituto de Políticas para la Sostenibilidad (IPS) para el proyecto de Bioindicadores en el 2002 y que tiene por título **DETERMINACIÓN DEL COSTO DE OPORTUNIDAD Y CLASIFICACIÓN por clases de capacidad de uso (CCU)** en la zona de Osa. Dicho estudio muestra que el costo de oportunidad de la tierra (cuadro 7) en cualquier caso es mucho mayor que los incentivos planteados por el gobierno en PSA para, reforestación, protección del recurso hídrico, etc.

Cuadro 7. Valor Anual equivalente para diferentes actividades competitivas por el uso el suelo al 12%, 9% y 5%, en \$ por hectárea por año.

Actividad	Area en 1996	Rentab.(12%)	Rentab.(9%)	Rentab.(5%)
Aguacate	614	2,394	2,725	3,191
Arroz	40,967	194	190	186
Banano	52,000	1,313	1,340	1,340
Bosque manejado	200,000	111	88	64
Café	108,000	604	831	1,216
Caña de azúcar	48,000	817	818	820
Coco	3,000	729	830	969
Frijol	33,245	377	377	377
Ganadería de carne	980,000	-43	53	178
Ganadería de leche	500,000	328	569	880
Ganadería doble prop.	520,000	422	535	683
Limón mecino	800	274	360	481
Maiz	13,304	≤0	≤0	≤0
Mango	7,945	-54	-1	73
Maracuyá	36	2,525	2,500	2,462
Melón	4,371	345	339	331
Naranja	23,500	567	679	838
Ñame	849	3,401	3,340	3,264
Palma Africana	27,239	736	784	849
Palmito Pejibaye	4,500	1,219	1,293	1,293
Papa	2,794	320	320	320
Piña	8,195	4,831	4,831	4,831
Plantación Forestal	100,000	188	203	335
Plátano	7,000	3,309	3,252	3,181
Sandía	677	4,181	4,106	4,013
Tiquisque	1,608	2,698	2,649	2,589
Tomate	211	2,220	2,220	2,220
Yuca	5,469	1,209	1,209	1,209

Tomado de IPS 2002.

El estudio de IPS establece que la clase A se subdivide en las clases II, III y IV. La I no tiene rentabilidad promedio pues no hay cultivos en Osa cuyas condiciones sean tan estrictas que solamente se puedan desarrollar en terrenos CCU I. No obstante, para las 3809 ha que están en clase I, se le deberían asignar el costo de oportunidad de la clase II dado a lo inaccesible y lo poco representativo que es esta clase dentro del Área de Conservación Osa (ACOSA). La clase II tiene un costo de oportunidad de \$3 350/ha/año, mucho mayor a las otras dos (\$671/ha/año y \$652/ha/año respectivamente).

Se encontró que tierras de vocación forestal para manejo de bosque (clases VF y VII) tienen un costo de oportunidad de \$ 155/ha/año. Las que permiten manejo y plantaciones forestales (clase VI) \$ 152/ha/año. Si el terreno es clase VIII, la renuncia sería a desarrollar actividades turísticas y/o venderla al gobierno, lo que arroja un costo de oportunidad de \$ 47/ha/año.

Existe otro estudio de cuatro cuencas (Reventazón, Pejibaye, Savegre y Peñas Blancas) de Rivera *et al.* 2002 que presenta COT para el café al 9.8% y 6.2% con valores de \$74 y \$102 por hectárea por año respectivamente para la Cuenca del río Reventazón, \$214 y \$ 295 para el río Pejibaye y de \$776 y \$1068 en el río Savegre. Para la ganadería de leche, los valores de COT son de \$320 y \$440 en el río Reventazón. En la cuenca del río Peñas Blancas para ganado de doble propósito es de \$142 y \$196 respectivamente. Al igual que el ejemplo anterior, se concluye que estas actividades generan más entradas de divisas que el PSA por protección.

El escenario poco llamativo de los PSA y el costo de oportunidad de la tierra en un sector como Osa tiene remesas muy similares en la producción agropecuaria de Sarapiquí, pues es posible alcanzar hasta \$4 831 por año por hectárea sembrada. Al tener propietarios con terrenos que poseen nacientes en pasto, cultivos y hasta urbanos, así como propietarios con otros usos fuera del búfer de las nacientes, muchos ni siquiera consideran como una opción estas alternativas (PSA) para el uso del suelo circundante a las nacientes. En el mejor de los casos, obtienen la rentabilidad de \$64 por hectárea, por lo que dejan de percibir las ganancias de un área equivalente a 3.14 ha en el caso de las nacientes no captadas y en el caso de las captadas 12.56 ha. Para ellos, resulta más rentable actividades como la piña, palmito, ñame y otros productos comunes en la región (Anexo 24).

En el caso de que el propietario tenga una connotación ambiental y decidiera, de igual manera, entrar en el proceso de pago de servicios ambientales porque tiene pasto y el ganado de carne

no les daría grandes insumos, ellos no podrían hacerlo. Según la ley forestal #7575 y las citadas anteriormente (Anexo 1), no se puede hacer cambio de uso del suelo en este tipo de áreas, perjudicando así a las fuentes de ingreso de las familias que poseen terrenos en donde existen ríos, quebradas, nacientes y otras fuentes de agua.

Para actividades como en la reforestación con fines comerciales, no es posible aprovechar las áreas cercanas a las nacientes y fuentes de agua como ríos, quebradas, etc., según los artículos anteriormente nombrados de las diferentes leyes. Lo cual presenta algo todavía mucho más contradictorio plantaciones forestales de tipo comercial a un lado de la rivera del río que no puede aprovechar el recurso madera y el otro lado de la rivera totalmente degradada por cultivos, o áreas totalmente descubiertas y sin ningún tipo de control por parte de las autoridades; y mientras que los sistemas de producción de carbono y recursos maderables son vedados para su aprovechamiento por parte de las autoridades (Anexo 24) beneficiando a propietarios y actividades menos amigables con el ambiente.

Este escenario permite ver que la ley es aplicada de una manera inconstante y sin ningún nivel de priorización de acuerdo a los usos del suelo que de verdad perjudican la calidad del agua en este caso cultivos y uso urbano, según los datos obtenidos a partir de esta investigación. Al observar que calidad del agua, tanto en bosques como en regeneración y pasto, se comporta de la misma manera (siendo esto una ventaja en caso de permitir el aprovechamiento de los recursos naturales – como la madera – dentro de las áreas circundantes a la protección del recurso hídrico), resulta importante saber que la cantidad del agua es perjudicada en muchos casos por coberturas boscosas o proyectos de reforestación que se encargan de absorber agua para su desarrollo (Donovan 2007). No obstante, esto no es una justificante para llevar a la deforestación y mal manejo forestal de estas áreas, las cuales podrían ocasionar inundaciones y muertes (FAO 2005).

Es importante tomar en cuenta que la calidad del agua no va a variar si hay un uso del suelo, de bosque, pasto y regeneración según lo anteriormente demostrado en la investigación. Si hay variación en relación a cultivos y urbano y es sabido que la calidad del agua depende mucho del tipo de captación asociado y su mantenimiento, es necesario obviar el principio precautorio de las zonas de protección del recurso hídrico relacionadas a las áreas búfer. Hay que empezar por determinar las zonas que de verdad se deben proteger según lo establecido en el artículo 21 de la Ley de Suelos y el artículo 33 inciso d de la Ley Forestal (Anexo 1) que en este caso serían las zonas de recarga acuífera.

6.6 Iniciativas para la protección de zonas de recarga acuífera y áreas de protección de manantiales

Nuestro país ha venido desarrollando iniciativas que presentan un escenario interesante para los propietarios de tierra con vocación forestal y que ofrecen alguno o todos los servicios ambientales del bosque. El ejemplo mas claro fue el expuesto anteriormente y que en muchos casos no es tan atractivo a nivel de generación de divisas como otras actividades. Por esta razón es que se han venido desarrollando distintos modelos de mercado para asegurar que estas tierras con importancia de tipo hídrica puedan proteger dicho recurso, su calidad y cantidad para futuras generaciones.

Se han realizado encuestas en distintos puntos de nuestro país, como es el caso de la propuesta de Alízar y Madrigal 2005. Ellos realizaron un sondeo en el cantón de Esparza para valorar económicamente los servicios ambientales hídricos en sistemas intervenidos. Alízar y Madrigal concluyeron que la población estaría dispuesta a pagar hasta 530.5 colones en una población de hasta 4134 usuarios, lo cual generaría hasta **26 317 044 de colones anualmente**. Si se asume que la población de la cuenca del Río Sarapiquí que recibe el servicio por parte de las ASADAS estuviera dispuesta a pagar dicho monto, sería posible percibir alrededor de **51 378 986 de colones** en un año. Dicha suma podría utilizarse para la compra de propiedades con zonas de recarga y con nacientes. Además, el dinero puede orientarse a la mejora en la infraestructura de las captaciones y redes de distribución, asegurando una mejor calidad del agua para las comunidades a las que se les ofrece dicho servicio.

La iniciativa que se cita es puesta en práctica actualmente por la Empresa de Servicios Públicos de Heredia (ESPH), en la cual se cobra una tarifa hídrica que corresponde a 1.90 colones por metro cúbico fijado por la Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos (ARESEP). De acuerdo con estudio realizado por Barrantes y Castro en 1999, se logra invertir en la compra de terrenos que corresponden a las zonas de recarga acuífera y zonas de protección de las nacientes utilizadas para consumo humano en la región de Heredia. Asimismo, se logra financiar el pago por servicio ambiental hídrico en la modalidad de conservación, reforestación, regeneración natural.

En el caso de que también se lograra incluir alguna modalidad en la que el propietario pudiera establecer en las áreas que tiene con nacientes alguna actividad forestal como la reforestación, se puede citar lo que se ha logrado en el caso específico de una finca que tenía Chanco o Cebo, (*Vochisia guatemalensis*) una madera suave que se utiliza en construcción para formaleta y plantillas de cielo raso con una edad de doce años. FUNDECOR, mediante sistemas de subasta, logró que el propietario recibiera hasta **\$15 000** por hectárea (com pers. Pedro González, Ingeniero Forestal 2010). Si lo dividimos en doce años de producción, el propietario recibió hasta **\$1 250** por año por hectárea. Esta suma es mucho más rentable que solamente someter el área a protección, por lo cual también serviría de incentivo para que el propietario decida volver a reforestar estas áreas de protección. La táctica anterior aseguraría la mantención de la cobertura por períodos de hasta 20 años, dependiendo de la especie con la que decida reforestar. Al mismo tiempo, el recurso hídrico se podría conservar mediante actividades que le generen ingresos al propietario.

Es un hecho que tanto el Gobierno de la República y la Municipalidad del Sarapiquí, como las Asociaciones de Desarrollo y las ASADAS de la región deben de establecer mecanismos similares a estos propuestos anteriormente para asegurar estos terrenos asociados a zonas de recarga hídrica prioritariamente y zonas de captación de nacientes mediante la compra de los terrenos o iniciativas más atractivas para los propietarios. Tales actividades tendrían el fin de mantener la calidad y cantidad del recurso hídrico para las futuras generaciones. Por otro lado, se deberían facilitar los procesos si se desea establecer modelos mixtos de protección y aprovechamiento de los recursos forestales en estas áreas para mejorar la competencia de los sistemas forestales e incentivos de PSA ante los usos alternativos del agro en áreas vulnerables.

7. Conclusiones

- Se puede asegurar que la cuenca, en general, no cuenta con problemas de erosión. La mayoría del territorio se encuentra en categoría baja, según la clasificación establecida por FAO-UNESCO-PNUMA en 1980, al no superar las 16.53 ton/hect/año. En un estudio realizado por Reyes en el 2002, la parte alta de la misma cuenca provee datos hasta por 77 ton/hect/año para la microcuenca del río volcán. Esto deja en evidencia la recuperación de cobertura boscosa desde 1996 hasta el 2005 y su influencia en la disminución en la pérdida del suelo en dicha cuenca.
- A pesar de que el análisis de varianza en cuanto a la susceptibilidad a la erosión demostró diferencias entre la regeneración y los otros usos, esta es mínima (0.5 ton/hect/año) en las zonas de protección de las nacientes según lo establecido por la ley. Tales datos fueron comparados con los rangos de erosión asociados a otras áreas dentro de la cuenca que llegan hasta las 16.53 ton/hect/año. Si ligamos la erosión asociada a las áreas de protección con el estado de la captación y el mantenimiento que se le da a cada captación y con cuanta periodicidad, se puede concluir que la erosión es un problema que limita o afecta directamente la calidad del agua en la región, específicamente en la proliferación de coliformes fecales como *E. Coli* y en la coloración y turbiedad del agua.
- Las variables que determinan la calidad del agua por sí mismas y separadas muestran una variabilidad muy amplia. A pesar de que existe una visible tendencia en los gráficos – relacionados con la existencia de diferencias significativas en los usos del suelo y el estado de la captación –, no es posible determinar estos datos de manera estadística para cada variable estudiada. La única excepción es el pH, que sí presenta una diferenciación en ambos casos propuestos.
- Por otra parte, al analizar estas variables de una manera conjunta y mediante el uso del MANOVA, se puede apreciar que el bosque, el pasto y la regeneración se comportan de manera similar en los cultivos y las zonas urbanas. Además, al presentar diferencias en los tres tipos de captación reclasificados (estado de la captación: sin captar, mala, regular, buena y muy buena) cada grupo de categorías de uso del suelo se encargó de una calidad del agua determinada o influenciada por el tipo o estado de la captación y el mantenimiento dado.

- Se puede asegurar que el tipo de cobertura asociado directamente al área donde se encuentra la naciente no influye de manera significativa en la calidad del agua del bosque, el pasto o la regeneración. Dicho fenómeno sí ocurre, en cierta medida, en las áreas con cultivos y en zonas urbanas esto por factores como la infraestructura y el mantenimiento de esta. Es preferible enfocarse en la protección de las zonas de recarga acuífera y no directamente donde afloran los manantiales.
- La legislación nacional no cuenta con herramientas para establecer las áreas de protección de recurso hídrico en lo referente a manantiales, pues es costoso e inefectivo cumplir con la ley existente. Por consiguiente, se debe valorar que actividades son más perjudiciales para estos manantiales y las que medidas a tomar con el fin de permitir actividades que no perjudiquen directamente la calidad del agua.
- El control sobre la calidad del agua que lleva a cabo el gobierno no cuenta con una consistencia o continuidad en los análisis. Este fenómeno es contraproducente para las variables de calidad del agua propensas a variaciones que dependen de los factores climatológicos, geográficos, y antropogénicos. Se debería seguir analizando periódicamente con el fin de determinar patrones de variabilidad en la calidad del agua de la región y no únicamente en los estudios sobre Coliformes fecales.
- Aunque los coliformes fecales, *E. coli* y el pH son variables de calidad del agua determinantes para establecer la viabilidad en el consumo humano de las nacientes, no se deben obviar las demás variables para futuros monitoreos en la zona.
- La presencia de Coliformes fecales y *E. coli* en los distintos manantiales indica que las aguas afloradas en estas nacientes son muy recientes y con menos de 120 días de infiltración. Por consiguiente, estamos trabajando con reservas muy recientes con las cuales abastecemos a las poblaciones adyacentes.
- Debido a que tanto las nacientes encontradas en pastos (6) como en bosques (24) y regeneración (4) tienen influencia de coliformes y *E. coli* por parte de animales de sangre caliente como vacas, jaguares, dantas, monos y otros, el estado de la

captación es importante para evitar el establecimiento de estos organismos en las fuentes de abastecimiento de la población.

- El estado de la captación y su mantenimiento, son los que establecen las diferencias en las nacientes aprovechables para consumo humano en la región.
- Las iniciativas como el PSA – a pesar de ser estrategias que han ayudado tanto a recuperar y mantener cobertura boscosa como al reconocimiento de servicios (fijación de carbono, biodiversidad, belleza escénica y recurso hídrico) –, todavía no es un sistema competitivo contra el costo de oportunidad de la agricultura comercial.
- Es necesario crear herramientas que involucren más a los beneficiarios directos del recurso en el proceso de reconocimiento del servicio que están prestando los propietarios de fincas que cuentan con nacientes. Tales actividades, realizadas mediante el cobro de un monto fijo en cada recibo por parte de la ESPH, han generado divisas. En la cuenca del río Sarapiquí, según la proyección que se hizo, hasta se podría percibir una suma de 51 378 986 de colones según lo propuesto por Alpízar y Madrigal en el 2005.

8. Recomendaciones

- Es necesario contar con un constante monitoreo de las distintas nacientes, elaborar un registro año a año de las variables analizadas y crear una base de datos para futuras investigaciones.
- La realización de estudios de monitoreo de mamíferos en las áreas circundantes a las nacientes es recomendable. De esta forma, es posible identificar de manera precisa las especies que pueden ser fuente de contaminación del recurso hídrico para consumo humano por coliformes fecales y *E. coli*.
- El Estado debería de tomar en cuenta este estudio y otros futuros con el fin de actualizar y modificar los artículos referentes a la protección de recurso hídrico. Así, es posible centrar esfuerzos y leyes en las áreas ligadas a la calidad y cantidad del agua que realmente necesitan protegerse, como es el caso las zonas de recarga acuífera.
- Es necesario llegar a una conjunción entre los decretos – emitidos por el gobierno en el 2005 y 2007 – con el fin de fortalecer sus debilidades y crear un mecanismo que permita establecer la calidad del agua de una manera efectiva.
- Es necesario priorizar las áreas de protección mediante el establecimiento de los tubos de flujo de cada naciente. Por otro lado, resulta importante delimitar las zonas de recarga acuífera de cada una de ellas.
- Resulta importante incorporar la infraestructura necesaria (plantas de cloración y mejoras en las captaciones existentes) en las redes de distribución del agua de las ASADAS que no cuenten con ello. Por medio de tales medidas, se puede controlar y mantener a la calidad del agua que indica la legislación de nuestro país para consumo humano.
- Las ASADAS deberían establecer un sistema de monitoreo interno que permita mantener la calidad del agua y determinar cuáles son las nacientes que presentan mayor variación en las variables determinantes de la calidad del agua. Tal medida pretende controlar esta variabilidad y mantener la calidad esperada por los consumidores.

- Se considera importante realizar estudios de la misma índole con nacientes sin captar y que cuenten igual número de muestras por tipo de uso del suelo.
- Hay que establecer un mantenimiento de las nacientes más estricto y periódico con el fin de asegurar una buena calidad del agua. Al mismo tiempo, se deben identificar las fallas relacionadas con la infraestructura asociada a las nacientes y contar con un plan de acción y corrección de dichas faltas.
- Incorporar un sistema de pago por parte de los consumidores (como el ESPH) para captar recursos e invertirlos en infraestructura y compra de propiedades en las zonas de recarga acuífera de cada nacimiento. El dinero recaudado puede utilizarse tanto para mejorar la calidad del servicio existente como para asegurar la permanencia de dicho recurso para futuras generaciones.
- Es necesario establecer una estrategia que permita a los PSA colocarse de una manera competitiva ante el costo de oportunidad de la tierra para que logre competir con actividades mucho más rentables como la piña. De esta forma, los dueños de fincas tienen propuestas y opciones más interesantes que les permitan la protección de zonas de recarga, tubos de flujos, nacientes y hasta cauces de ríos. Con lo cual, se pretende dar alternativas viables de aprovechamiento para generar divisas de una manera sostenible y sin comprometer la viabilidad ambiental de las nacientes y sus zonas de recarga.
- En cuanto a las nacientes captadas que se encuentran en las categorías de “malo, regular y bueno”, es de suma importancia que las ASADAS se comprometan a realizar las mejoras necesarias para evitar contaminaciones por factores externos.

9. Limitaciones de la investigación

- Al ser una investigación de tipo puntual y carecer de registros históricos viables para su utilización, este trabajo adquiere un carácter exploratorio y sirve para establecer una línea de referencia en futuras investigaciones.
- Aunque se trabajó con un censo de las nacientes utilizadas para consumo humano por la asociación de ASADAS de Sarapiquí y se estudiaron las nacientes no captadas que presentaban alguna cualidad para su aprovechamiento por parte de las ASADAS, el conjunto de datos con relación al tipo de uso del suelo no fue balanceado, ya que en el caso de las zonas de cultivos y urbanos, existían muy pocos sitios de muestreo.
- Debido a la falta de presupuesto, solo se pudo trabajar a un nivel N1 y N2 en los análisis físico-químicos de las nacientes. Además, el Laboratorio Nacional de Aguas no tenía la capacidad instalada para realizar algunos de los ensayos requeridos en los niveles N3 y N4 que indica el decreto del 2005. Los análisis establecidos por el decreto 2007 como es el DBO, PSO y nitrógeno amoniacal, además de la identificación de macroinvertebrados no eran realizables debido a las mismas razones. Por esta razón, se trabajó con el sistema clásico sin utilizar los análisis complementarios.

10. Alcances de la Investigación

- Los datos de campo (Anexo 10) y mapas (Fig. 5 y Anexo 11) generados a partir de esta investigación fueron utilizados para elaborar el documento oficial por parte de la Sub Región Norte del ACCVC-SINAC-MINAET del Programa de Manejo del Recurso Hídrico titulado *Ubicación y caracterización de los manantiales permanentes captados y no captados ubicados en la región de Sarapiquí- ACCVC* (Anexo 25).
- Los mapas generados a partir de este trabajo (Fig. 5 y Anexo 11) fueron entregados a la Municipalidad de Sarapiquí para que funcionaran como instrumento en el ordenamiento territorial de la zona y como base para la elaboración del plan regulador de la región.

Los mapas (Fig. 5 y Anexo 11) y análisis de calidad de agua (Anexo 13) creados se entregaron a las ASADAS para ser empleadas como marco de referencia y ubicación de sus nacientes.

11. Referencias

- Acón L. 1991. **Mapa de clasificación de suelos de Costa Rica Escala 1:200000**. Elaborado para el MAG. 1 shp. (ArcView). San José, Costa Rica.
- Aguilar F. 2006. **Síntesis de Tesis de Ordenamiento Territorial en la Subcuenca del Río Matahambre ciudad Turística Valle de Ángeles, Honduras**. Turrialba, Costa Rica. 16p.
- Alpízar F, Madrigal R. 2005. **Valoración económica de beneficios ambientales hídricos en paisajes intervenidos, cantón de Esparza, Costa Rica. Versión preliminar**. Grupo SEBSA. Turrialba, Costa Rica. CATIE. 12p.
- APHA, WEF, AWWA (American Public Health Association, Water Environment Federation, and American Water Works Association). 2005. **Standard Methods for the Examination of the Water and Wastewater, 21st**. Edition: 2005 – Hardback. U.S.A. 1368 pp.
- Andreoli C. 1993. **Influencias de la agricultura en la calidad del agua**. En FAO. Prevención de la contaminación del agua por la agricultura y actividades afines. Roma, Italia. p. 59-74. (Informe sobre temas hídricos no.1)
- Arana L. 1992. **Análisis espacial para evaluar la erosión hídrica en la subcuenca del río Pensativo, Guatemala**. Tesis M. Sc. Turrialba, C.R. CATIE. 116 p.
- Arnoldus H. M. 1978. “. En: De Boodst, M., y Gabriels, D., (eds.) *Assessment of erosion*: 127-132. John Wiley y Sons, Inc. Chichester, Gran Bretaña.
- Astorga Y, Coto J. 1996. **Situación de los recursos hídricos en Costa Rica**. p 127-132. En J. Reynolds (ed.) **Utilización y manejo de los Recursos Hídricos**. Editorial Fundación UNA. Heredia, Costa Rica. 256p
- Bacchi O; Reichard K; Spavorek G; Raneiri S; 2000. **Soil erosion evaluation in a small watershed in Brazil trough fallout redistribution analysis and conventional models**. Acta geológica hispánica 358(3-4): 251-259.
- Barrantes G.; Castro E. 1999. **“Estructura tarifaria hídrica ambientalmente ajustada: internalización de variables ambientales”**. Empresa de Servicios Públicos de Heredia S.A. Heredia, Costa Rica. 102p.
- Barredo J. 1996. **Evaluación multicriterio y sistemas de información geográfica en la ordenación del territorio**. Editorial RA-MA. Madrid, España. 264p
- Barrios R, A. 2000. **Distribución espacial del factor LS (FUPS) usando procedimientos SIG compatibles con IDRISI: aplicación de una microcuenca andina**. Venezuela. Revista forestal Venezuela 44 (1): 57-64.
- Bermúdez M. 1980. **Erosión hídrica y escorrentía superficial en el sistema de café**. Tesis M. Sc. Turrialba, C.R. CATIE. 74 p.

- Bitton G. y Harvey R.W. 1992. **Transport of pathogens through soils and aquifers**, In: *Mitchell R.(ed) Environmental Microbiology*. Wiley-Liss Inc. N.Y.USA, pp.103-124.
- Bitton G. 1999. **Wastewater Microbiology**. 2nd ed. J. Wiley-Liss. N.Y. USA.
- Bosque J. 1997. **Sistemas de Información Geográfica**. 2 Ed. Ediciones Rialp, S.A. Madrid, España. 451p.
- Brenes J. 1996. **Problemas urbanos costeros relacionados con el recurso hídrico en Costa Rica**. p 99-106. En J. Reynolds (ed.) **Utilización y manejo de los Recursos Hídricos**. Editorial Fundación UNA. Heredia, Costa Rica. 256p
- Brooks G, Butel J, Ornston L. 1995. **Microbiología médica de JAWETZ, MELNICK Y ADELBERG**. 15 ED. De la 20 ed. en inglés. Editorial Manual Moderno. México. 807p.
- Castillo A. 1992. **Estimación de la erosión del suelo a nivel de cuenca utilizando análisis espacial y percepción remota en El Salvador**. Tesis M. Sc. Turrialba, CR. CATIE. 70p.
- Cavelier J; Vargas G. 2002. **Procesos hidrológicos**. In Guariguata, MR; Kattan, GH. Comps. *Ecología y conservación de bosques neotropicales*. 1ª. ed. Cartago, CR. Ediciones LUR. p. 145-165.
- CCT. 1996. **Valoración de los Servicios Ambientales del Bosque**. San José, ODA, MINAE. Costa Rica. 78 p.
- Chapman D. 1996. **Water quality assessment. A guide to use of biota, sediments and water in environmental monitoring**. 2 ed. London, UNESCO-WHO-UNEP. United Kingdom, London. 626p.
- Donovan D. 2007. **El agua, los bosques y el informe mundial sobre el desarrollo de los Recursos Hídricos**. *Unasylva* 229.vol 58. 2007. p 62-63. <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/010/a1598s/a1598s14.pdf>
- Engel B. 1999. **Estimating soil erosion using FUPS (Revised Universal Soil Loss Equation) using ArcView**. Purdue University. West Lafayette, USA. 10 p.
- Estado de la Nación. 2006. **Duodécimo Informe del Estado de la Nación. Un desarrollo humano sostenible. Año 2005**. Programa Estado de la Nación. San José, Costa Rica. 432p.
- Evans R. Owens J. 1972. **Factors Affecting the Concentration of Faecal Bacteria in Land Drainage Water**. *J. of General Microbiology*, 71:477-485. Escocia. Reino Unido.
- Fallas J, 1998. **¿Qué es un Sistema de Información Geográfica?** TELESIG. UNA. Heredia, Costa Rica. 23p.
- Fallas J, 2002. **Evaluación de la vulnerabilidad a la contaminación del agua subterránea en Costa Rica: Una aproximación utilizando el modelo DRASTIC y Sistemas de Información Geográfica**. TELESIG. UNA. Heredia, Costa Rica. 16p.

- Fallas J, 2006. **Identificación de zonas de importancia hídrica y estimación de ingresos por canon de aguas para cada zona. INFORME FINAL. Documento preparado para FONAFIFO.** San José, Costa Rica. 99p.
- FAO-PNUMA-UNESCO 1980. **Metodología provisional para la evaluación de la degradación de suelos.** Publicaciones FAO. Roma, Italia.86p.
- FAO-MAG. 1996. **Manual de manejo Y Conservación de Suelos y Aguas.** Cubero D. (ed). 1996.MAG-FAO-UNED. Editorial UNED. San José, Costa Rica. 278p.
- FAO 2001. **An Assessment of the Impact of Cassava Production and Processing on the Environment and Biodiversity. Volume 5. Strategic Environmental Assessment.** Rome, Italy.138p.<http://www.fao.org/docrep/007/y2413e/y2413e00.htm#Contents>
- FAO 2003. **State of the World's Forests.** Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. Italy. <http://www.fao.org/docrep/005/y7581e/y7581e00.htm>
- FAO 2005. **Forest and Floods.** CIFOR.Italy. Rome. 40p.
- Fassbender H. 1993. **Modelos edafológicos de sistemas agroforestales.** CATIE. GTZ. Turrialba, Costa Rica.493p.
- FONAFIFO 2002. **Mapa de Cobertura Boscosa 2000. Escala 1:50000.** Universidad de Alberta, CCT. 1 shp. (ArcView)
- FONAFIFO 2007. **Mapa de Cobertura Boscosa 2005. Escala 1:50000.** Universidad de Alberta, CCT. 1 shp. (ArcView)
- Fournier F. 1960. **Climat et érosion.** Presses Universitaires de France, Paris.201 p.
- Friendly M. 2007. **HE plots for multivariate linear models.** Journal of computational and graphical statistics. Vol 16, Number 2. pp. 421-444.
- García L. 2003. **Indicadores Técnicos y evaluación de la influencia del uso de la tierra en la calidad del agua, subcuenca del Río Tascalapa Yoro, Honduras.** Tesis M. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 164 p.
- Gaspari F. 2007. **Plan de ordenamiento territorial en Cuencas serranas degradadas utilizando sistemas de información geográfica (SIG).** Universidad internacional de Andalucía. Buenos Aires. Argentina. 147p.
- Gerba C, Powelson D.K., Yahya M.T., Wilson L.G. y Amy G.L. 1991.**Fate of viruses in treated sewage effluent during SAT treatment designed for wastewater reclamation and reuse.** Wat. Sci. Tech. 24(9): 95-102.
- Glynn J; Gary H. 1999. **Ingeniería Ambiental.** Editorial Prentice Hall. México D.F. México.
- Gobierno de la República de Costa Rica. 1942. **Ley de aguas.** #276.San José, Costa Rica. 46p.
- Gobierno de la República de Costa Rica. 1953. **Ley de Agua Potable.** #1634. San José, Costa Rica. 3p.

- Gobierno de la República de Costa Rica. 1996. **Ley Forestal**. #7575. San José, Costa Rica. 28p.
- Gobierno de la República de Costa Rica. 1997. **Decreto N° 25828-MINAE**. San José, Costa Rica. 1p
- Gobierno de la República de Costa Rica. 1998. **Decreto, uso, manejo y conservación de suelos**. #7779. San José, Costa Rica. 10p.
- Gobierno de la República de Costa Rica. 1998. **Ley de Biodiversidad**. #7788. San José, Costa Rica. 36p.
- Gobierno de la República de Costa Rica. 2005. **Decreto N° 32327-S**. San José, Costa Rica. 4p.
- Gobierno de la República de Costa Rica. 2007. **Decreto N° 33903-MINAE-S**. San José, Costa Rica. 5p.
- Gobierno de la República de Costa Rica. 2009. **Decreto N° 35135-MP**. San José, Costa Rica. 4p
- Gómez A. 1996. **Condiciones hidrogeológicas de Costa Rica**. p 117-127. En J. Reynolds (ed.) **Utilización y manejo de los Recursos Hídricos**. Editorial Fundación UNA. Heredia, Costa Rica. 256p
- Hoeks J. 1996. **Development of Decision support Tools for Water Management**. p 63-80. En J. Reynolds (ed.) **Utilización y manejo de los Recursos Hídricos**. Editorial Fundación UNA. Heredia, Costa Rica. 256p
- INBio 2008. **Proyecto de Bioalfabetización en Cuenca del Río Frío**. Heredia, Costa Rica. En Línea. <http://www.inbio.ac.cr/papers/riofrio/es/ubicacion-demografia.html>
- INEC. 2001. **IX Censo Nacional de Población y V de Vivienda del 2000. Resultados Generales**. Instituto nacional de estadística y censos. San José, Costa Rica. <http://www.inec.go.cr>
- INB. 2003. **Consideraciones Técnicas y Propuesta de Normas de Manejo Forestal para la Conservación de Suelo y Agua**. Instituto Nacional de Bosques. GUATEMALA. Editado en Guatemala, 34 p.
- IPS. 2002. **DETERMINACIÓN DEL COSTO DE OPORTUNIDAD Y CLASIFICACIÓN por clases de capacidad de uso (CCU)**. Proyecto de Bioindicadores. "Decision-making models for evaluating cost-effectiveness of conservation priorities using alternative biodiversity indicators" NIVA NOTAT N-03/012. INBIO, NIVA, NINA. San José, Costa Rica. 38p.
- ITCR. 2004. **Atlas de Costa Rica. Capas digitales**. Cartago, Costa Rica. 1 DC. 8mm.
- Johnson R, Wirchen D. 1998. **Applied Multivariate Statistical Analysis**. Fourth Edition. Prentice Hall. New Jersey, USA. 816p.
- Kasper D, Braunwald E, Fauci A, Hauser S, Longo D, Jameson L. 2005. **Harrison. Principios de Medicina Interna**. 16 ed. McGraw Hill. México. 2872 p.

- Kiely G.1999. Ingeniería ambiental. **Fundamentos, entornos, tecnologías y sistemas de gestión**. Madrid. España. McGraw Hill. 91 p.
- La Gaceta. 2007. **Reglamento para la Evaluación y Clasificación de la Calidad de Cuerpos de Agua Superficiales. Setiembre 17. Número 178**. San José, Costa Rica. 76 p.
- LAROUSSE. 1987. **Diccionario Ilustrado de las Ciencias**. Librairie Larousse. Paris.1800p.
- Lee T. 1985. **Implementing LESA on a geographic system. A Case of Study: Photogrammetric engineering and remote sensing**, vol 51, núm 12. Kansas, USA.1932-1932 p.
- Leclerc G, Rodriguez J. 1999. **Using GIS to determinate critical areas in the Central Volcanic Cordillera Conservation Area**. p 108-126. en B. Savitsky y T. Lacher (ed). 1999. **GIS methodologies for developing conservation strategies. Tropical forest recovery and wildlife management in Costa Rica**. Columbia University Press. U.S.A.241p.
- Lenntech. 2007. **River Water Quality and Pollution**. Delft. Holanda. (En línea). Consultado el 18 de Dic. 2007. Disponible en <http://www.lenntech.com/rivers-pollution-quality.htm>
- Martínez J, Martín M y Romero R.2003. **Valoración en al zona especial de protección de aves carrizales y sotos de Aranjuez (comunidad de Madrid)** Instituto de Economía y Geografía (CSIC). *GeoFocus (Artículos)*, nº 3, p. 1-21. ISSN: 1578-5157. Madrid, España.
- McPhee S, Lingappa V, Ganong W. 2003. **Fisiopatología médica: Una introducción a la medicina clínica**. Manual Moderno. Industria Editorial Mexicana. México D.F. 792p.
- MINAET. 2008. **PROGRAMA MANEJO DEL RECURSO HÍDRICO EN EL ÁREA DE CONSERVACIÓN CORDILLERA VOLCÁNICA CENTRAL. Elaborado por:** Aurelia Víquez, Coordinadora de Recurso Hídrico, Oscar Zúñiga, Subregión Occidental Ramiro Jiménez, Coordinador de Proyectos. MINAET. SINAC. ACCVC. San José, Costa Rica. 17p.
- Moll G, Gallis M, Millar H. 2007. **Nature and human Network, and the role of GIS**. ARC NEWS. ESRI. USA. Vol. 28. No 4. 6-7p.
- Moore I; Burch G. 1986. **Physical basis of the length-slope factor in the universal soil loss equation**. Soil Science Society of America Journal 50:1294-1298. USA.
- Mora, C. 1987. **Evaluación de la pérdida de suelo mediante la ecuación universal (EUPS); aplicación para definir acciones de manejo en la cuenca del Río Pejibaye, vertiente atlántica, Costa Rica**. Tesis M. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 104 p.
- Moreira J. 1991: **“Capacidad de uso y erosión de suelos: Una Aproximación a la evaluación de tierras en Andalucía”**. Agencia de Medio Ambiente. Consejería de Cultura y Medio Ambiente. Junta de Andalucía. *España*. 259 p.
- Nearing M. A., Foster, G. R., Lane L. J. Finker S.C. 1989. **A Process-based soil erosion model for USDA Water Erosion Prediction Project Technology**. American Society of Agricultural Engineers. USA.7p.

- Nearing M. 1997. **A single, continuous function for slope steepness influence on soil loss.** Soil Science Society of America, Madison, WI, ETATS-UNIS .U.S.A. (1976) (Revue). 1997, vol. 61, n°3, pp. 917-919 (11 ref.).
- OMS (Organización Mundial de la Salud). 1993. **Guidelines for drinking water quality: Recommendations. 2ed. Geneva, SE 1.** USA. 188 p. (En línea). Consultado el 18 de Dic. 2007. Disponible en http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/2edvol1i.pdf
- OMS 1998. **Guías para la calidad del agua potable. Segunda Edición. Volumen 3. Vigilancia y control de los abastecimientos de agua a la comunidad.** Ginebra. Suiza. 101p.
- Oliver D, Heathwaite L, Haygarth P. 2005. **Transfer of Escherichia coli to water from drained and undrained grassland after grazing.** J. Environ. Qual. 34: 918-925. Sheffield, United Kingdom.
- Palacios A. Alfaro S. 1993. **El modelo USLE en Costa Rica. In. FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, CL). Erosión de suelos en América Latina (en línea).** Santiago, Chile. Disponible en <http://www.fao.org/docrep/t2351s/t2351S00.htm>
- Perry J y Vanderklein E, 1996. **Water quality: management of natural resources.** Blackwell Science. England. 607p.
- ProDus 2006. **Estudio hidrogeológico en el cantón de Pococí y las partes altas al sur del cantón de Guácimo, alrededores de la zona protegida Guácimo y Pococí.** COBODES-UCR. San José, Costa Rica. 150 p.
- Razola I, Rey J, de la Montaña E, Cayuela L, 2006. **Selección de áreas relevantes para la conservación de la biodiversidad.** *Ecosistemas*. 2006/2. Madrid, España. 8p.
- Renard K; Foster G; Weesies G; McCool D; Yoder D. 1996. **Predicting soil by water: a guide to conservation planning with the revised universal soil loss equation (RUSLE).** United States Department of Agriculture. USA. 384 p. (Agriculture Handbook No. 703).
- Repetto G, Morán A. 1991. **Apuntes sobre la calidad de las aguas de uso potable.** (Cooperación Italiana) / MSPAS (Ministerio de salud pública y asistencia social SV). Italia. Roma. 64p.
- Reyes K. 2006. **Análisis del estado de las fuentes de agua para consumo humano y funcionamiento de los acueductos rurales en la cuenca del río la Soledad, Honduras.** Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 227p.
- Reyes V. 2002. **Valoración Económica del Agua en la Cuenca de Río Volcán.** AMBIENTICO. Revista mensual sobre actualidad ambiental. #108. Septiembre 2002. Heredia, Costa Rica. <http://www.ambientico.una.ac.cr/108/Reyes-108.htm>
- Reyes V, Fallas J, Miranda M, Segura O, Sánchez R. 2002. **Parámetros para la valoración del servicio ambiental hídrico brindado por los bosques y plantaciones en Costa Rica. Serie de Documentos de Trabajo 008-2002.** FONAFIFO, Centro Internacional de Política Económica para el Desarrollo Sostenible. San José, Costa Rica. 28p.

- Reynolds J, Fraile J. 2002. **Presente y futuro de las aguas subterráneas en el valle central.** p 19-32. En J. Reynolds (ed.). 2002. **Manejo Integrado de las Aguas Subterráneas un reto para el futuro.** Editorial UNED. San José, Costa Rica. 325p.
- RIPDA-CYTED. 2003. **Agua potable para comunidades rurales, reuso y tratamientos avanzados de aguas residuales domésticas.** Buenos Aires, Argentina. / LIBRO DIGITAL. <http://tierra.rediris.es/hidrored/ebooks/ripda/#>
- Rocha J. 1977. **Erosión de suelos de pendientes cultivadas con maíz y frijol con diferentes grados de cobertura viva dentro de una plantación forestal.** Tesis M. Sc. Turrialba, CR. UCR-CATIE. 182 p.
- Roldán P. 1992. **Fundamentos de limnología neotropical.** Universidad de Antioquia, Medellín. 529p.
- Sagastizado M. 2001. **Impacto del uso de la tierra sobre la calidad del agua en la cuenca del río Talnique, El Salvador.** Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 185p.
- Sánchez R; Garatuza J; Sánchez S. 2003. **APLICACIÓN DE LA ECUACIÓN UNIVERSAL DE PÉRDIDA DE SUELO (RUSLE) EN LA CUENCA DEL YAQUI.** Depto. Ciencias del Agua y Medio Ambiente, Instituto Tecnológico de Sonora. ESTUDIOS HIDROLÓGICOS Y GEOHIDROLÓGICOS, CARACTERIZACIÓN Y MANEJO DE CUENCAS. GEOS, Vol. 23, No. 2, Noviembre, 2003. Sonora, México. 6p.
- Sánchez J. 2004. **Ciclo Hidrológico.** Dpto. Geología--Univ. Salamanca (España). <http://web.usal.es/javisan/hidro>. 9p.
- Sánchez K, Jiménez F, Velásquez S, Piedra M, Romero E. 2004. **Metodología de análisis multicriterio para la identificación de áreas prioritarias de manejo del recurso hídrico en la cuenca del río Sarapiquí, Costa Rica.** Comunicación técnica. Recursos Naturales y Ambiente. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 88-95pp.
- Sargadoy J. 1993. **Una visión global de la contaminación del agua por la agricultura.** En FAO. Prevención de la contaminación del agua por la agricultura y actividades afines. Roma, Italia. p. 19-26. (Informe sobre temas hídricos no.1)
- Savitsky B. 1999. **GIS.** p 41-47. en B. Savitsky y T. Lacher (ed). 1999. **GIS methodologies for developing conservation strategies. Tropical forest recovery and wildlife management in Costa Rica.** Columbia University Press. U.S.A. 241p.
- SOGREAH INGENIERIE SNC – GOMEZ, CAJIAO Y ASOCIADOS S.A. – SINERGIA 69 S.A. 1999. **Plan General de Ordenamiento Territorial del Río Reventazón.** Gobierno De Costa Rica. San José, Costa Rica. 149p.
- Solano M, Robinson T, Morera C. 1996. **Sistemas de Información geográfica como herramienta para análisis especial de los recursos hídricos.** p 225-232. En J. Reynolds (ed.) **Utilización y manejo de los Recursos Hídricos.** Editorial Fundación UNA. Heredia, Costa Rica. 256p
- Stadmüller T. 1994. **Impacto Hidrológico del manejo forestal de bosques naturales tropicales: medidas para mitigarlo.** Una revisión bibliográfica. CATIE. Turrialba, C.R. Colección Silvicultura y Manejo de Bosques Naturales No. 10. 62 p

- Tattenbach F, Obando G, Rodríguez J, 2006. **The macrometrics of environmental services payment in Costa Rica (Informe de consultoría)**. FONAFIFO. San José, Costa Rica. 38p.
- United Nations Commission for Human Settlements (UNHCS). 1995. Nueva York.USA. en www.unchcs.org
- UNEP. 2007. **Global Environment Outlook. GEO₄. Environment for development**. Progress Press Ltd. Malta. 540p.
- Vahrson, W. 1990. **El potencial erosivo de la lluvia en Costa Rica**. Agronomía costarricense 14 (1): 15-24. San José, Costa Rica.
- Vahrson, W. 1991. **Taller de Erosión de Suelos: Resultados, Comentarios y Recomendaciones**. San José, Costa Rica. Agronomía costarricense 15 (1/2): 197-203.
- Wischmeier W, Smith D. 1978. **Predicting Rainfall Erosion Losses – A Guide to Conservation Planning**. USDA. U.S.A. 69p.
- Zeledón R. 1999. **Código Ambiental**. Fondo Jurídico. Editorial Porvenir. San José. Costa Rica. 321p
- Zhen B, Valverde C, Valiente C, Jiménez F. 2010. **Evaluación de la calidad del agua como base para la formulación del plan de cogestión del recurso hídrico en la microcuenca de la quebrada Victoria, Costa Rica**. Comunicación Técnica. Recursos Naturales y Ambiente/no.56-57: 134-142. San José, Costa Rica.

11.1 Comunicaciones Personales.

- González Chaverri P. 2010. Comunicación personal. Ingeniero Forestal. Director del Departamento de Operaciones Sarapiquí FUNDECOR. Heredia, Costa Rica.
- Guerrero Barrantes M. 2009. Comunicación personal. Médico General. Medicina Mixta. CCSS. San José, Costa Rica.
- Ramírez Roberto. 2009. Comunicación personal. Hidrólogo. SENARA. San José, Costa Rica

ANEXOS

Anexo 1

Leyes y decretos.

A continuación se presenta los artículos en las leyes que hacen alguna referencia al recurso hídrico, su protección y manejo:

Según nuestra ley de aguas #276 se define lo siguiente:

Artículo 1°.- Son aguas del dominio público:

- I.- Las de los mares territoriales en la extensión y términos que fija el derecho internacional;
- II.- Las de las lagunas y esteros de las playas que se comuniquen permanente o intermitentemente con el mar;
- III.- Las de los lagos interiores de formación natural que estén ligados directamente a corrientes constantes;
- IV.- Las de los ríos y sus afluentes directos o indirectos, arroyos o manantiales desde el punto en que broten las primeras aguas permanentes hasta su desembocadura en el mar o lagos, lagunas o esteros;
- V.- Las de las corrientes constantes o intermitentes cuyo cauce, en toda su extensión o parte de ella, sirva de límite al territorio nacional, debiendo sujetarse el dominio de esas corrientes a lo que se haya establecido en tratados internacionales celebrados con los países limítrofes y, a falta de ellos, o en cuanto a lo no previsto, a lo dispuesto por esta ley;
- VI.- Las de toda corriente que directa o indirectamente afluyan a las enumeradas en la fracción V;
- VII.- Las que se extraigan de las minas, con la limitación señalada en el artículo 10;
- VIII.- Las de los manantiales que broten en las playas, zonas marítimas, cauces, vasos o riberas de propiedad nacional y, en general, todas las que nazcan en terrenos de dominio público;
- IX.- Las subterráneas cuyo alumbramiento no se haga por medio de pozos; y
- X.- Las aguas pluviales que discurren por barrancos o ramblas cuyos cauces sean de dominio público.

Artículo 2°.- Las aguas enumeradas en el artículo anterior son de propiedad nacional y el dominio sobre ellas no se pierde ni se ha perdido cuando por ejecución de obras artificiales o de aprovechamientos anteriores se alteren o hayan alterado las características naturales.

Cont. Anexo 1. Leyes y decretos que hacen referencia al recurso hídrico.

Exceptúanse las aguas que se aprovechan en virtud de contratos otorgados por el Estado, las cuales se sujetarán a las condiciones autorizadas en la respectiva concesión.

Artículo 4°.- Son aguas de dominio privado y pertenecen al dueño del terreno:

I.- Las aguas pluviales que caen en su predio mientras discurren por él. Podrá el dueño, en consecuencia, construir dentro de su propiedad, estanques, pantanos, cisternas o aljibes donde conservarlas al efecto, o emplear para ello cualquier otro medio adecuado, siempre que no cause perjuicio al público ni a tercero;

II.- Las lagunas o charcos formados en terrenos de su respectivo dominio, siempre que no se esté en el caso previsto en la Sección II del artículo 1°.

Los situados en terrenos de aprovechamiento comunal, pertenecen a los pueblos respectivos;

III.- Las aguas subterráneas que el propietario obtenga de su propio terreno por medio de pozos; y

IV.- Las termales, minerales y minero-medicinales, sea cual fuere el lugar donde broten. Dichas aguas quedaran bajo el control de la Secretaría de Salubridad cuando sean declaradas de utilidad pública.

Artículo 5°.- El propietario de un terreno en donde brote un manantial de aguas que han sido por él utilizadas antes de la promulgación de la presente ley, podrá seguir aprovechándolas libremente en los volúmenes y forma en que lo haya hecho con anterioridad a la fecha indicada. Si hubiere celebrado convenios con anterioridad a la misma fecha con quienes realizan el aprovechamiento, deberán ser respetados dichos convenios. Más, si esa agua o parte de ella llegare a necesitarse para los fines que determina la ley N°16 de 20 de octubre de 1941, podrá limitarse ese aprovechamiento en la cantidad necesaria para llenar dichos fines, sin perjuicio de la indemnización a que tuviere derecho el propietario si la limitación que se le impone le causare perjuicio. En igual forma se limitarán esos aprovechamientos en los casos que determina el Capítulo VII de la presente ley.

Artículo 30.- Las aguas potables de los ríos y vertientes, en cualquier parte del territorio nacional donde se encuentren, estarán afectas al servicio de cañería en las poblaciones, según lo disponga el Poder Ejecutivo.

Artículo 31.- Se declaran como reserva de dominio a favor de la Nación:

Cont. Anexo 1. Leyes y decretos que hacen referencia al recurso hídrico.

a) Las tierras que circunden los sitios de captación o tomas surtidoras de agua potable, en un perímetro no menor de doscientos metros de radio;

b) La zona forestal que protege o debe proteger el conjunto de terrenos en que se produce la infiltración de aguas potables, así como el de los que dan asiento a cuencas hidrográficas y márgenes de depósito, fuentes surtidoras o curso permanente de las mismas aguas.

Artículo 32.- Cuando en un área mayor de la anteriormente señalada exista peligro de contaminación ya sea en las aguas superficiales o en las subterráneas, el Poder Ejecutivo, por medio de la Sección de Aguas Potables a que alude el artículo siguiente, dispondrá en el área dicha las medidas que juzgue oportunas para evitar el peligro de contaminación.

Artículo 56.- Las aguas públicas concedidas a los propietarios de beneficios de café, trapiches, fábricas y otras empresas industriales para el desarrollo de fuerzas hidráulicas o hidroeléctricas, no pueden ser empleadas en el laboreo de sus productos, sin una concesión especial para ese fin. No obstante, los usuarios que en la fecha de la promulgación de la presente ley estuvieren aprovechando aguas públicas en esos menesteres, podrán continuar su aprovechamiento, quedando sujetos a las restricciones que determina el Capítulo VII y a las obligaciones que determina el Artículo 21.

Artículo 57.- Los usuarios o concesionarios deberán sujetarse a los reglamentos de policía y de salubridad en cuanto a las aguas sobrantes que son devueltas a los manantiales para evitar contaminaciones o fetidez. Los que no cumplan los reglamentos perderán el derecho al aprovechamiento de las aguas, fuera de las sanciones de carácter penal.

Artículo 140.- En los casos de escasez de agua, se establecen los siguientes principios:

I.- Las aguas se aplicarán de preferencia a los usos domésticos, servicios públicos, abrevaderos, baños, lecherías y abastecimiento de sistemas de transporte;

II.- Si satisfechos los anteriores usos quedan aguas sobrantes, pero no en la cantidad necesaria para surtir a todos los aprovechamientos, se distribuirán proporcionalmente a sus necesidades entre los siguientes: riego de terrenos en una superficie que no exceda de cinco hectáreas por cada propietario; usos industriales y fuerza motriz para empresas de servicios públicos, cuando la paralización de las industrias o de las plantas de fuerza motriz ocasionen graves perjuicios de orden social o económico a la colectividad;

Cont. Anexo 1. Leyes y decretos que hacen referencia al recurso hídrico.

III.- Si una vez cubiertas por completo las necesidades de los aprovechamientos que antes se mencionan, quedan aguas sobrantes, se distribuirán así: riego de terrenos mayores de cinco hectáreas y fuerza motriz para servicios particulares y usos industriales; y

IV.- Si satisfechos los aprovechamientos anteriores, quedan aguas sobrantes se cubrirán las demás necesidades.

Artículo 145.- Para evitar la disminución de las aguas producida por la tala de bosques, todas las autoridades de la República procurarán, por los medios que tengan a su alcance, el estricto cumplimiento de las disposiciones legales referentes a la conservación de los árboles, especialmente los de las orillas de los ríos y los que se encuentren en los nacimientos de aguas.

Artículo 146.- Es prohibido destruir en los bosques nacionales los árboles que estén situados en las pendientes, orillas de las carreteras y demás vías de comunicación, lo mismo que los árboles que puedan explotarse sin necesidad de cortarlos, como el hulero, el chicle, el liquidámbar, el bálsamo y otros similares.

Artículo 147.- Las autorizaciones que confiere el Poder Ejecutivo para explotar bosques nacionales en la forma prevista en el artículo 549 del Código Fiscal deberán contener, expresamente, la prohibición de cortar los árboles a que aluden el artículo anterior y siguiente.

Artículo 148.- Los propietarios de terrenos atravesados por ríos, arroyos, o aquellos en los cuales existan manantiales, en cuyas vegas o contornos hayan sido destruidos los bosques que les servían de abrigo, están obligados a sembrar árboles en las márgenes de los mismos ríos, arroyos o manantiales, a una distancia no mayor de cinco metros de las expresadas aguas, en todo el trayecto y su curso, comprendido en la respectiva propiedad.

Artículo 149.- Se prohíbe destruir, tanto en los bosques nacionales como en los de particulares, los árboles situados a menos de sesenta metros de los manantiales que nazcan en los cerros, o a menos de cincuenta metros de los que nazcan en terrenos planos.

Cont. Anexo 1. Leyes y decretos que hacen referencia al recurso hídrico.

Artículo 150.- Se prohíbe destruir, tanto en los bosques nacionales como en los terrenos particulares, los árboles situados a menos de cinco metros de los ríos o arroyos que discurran por sus predios.

Artículo 154.- Queda en absoluto prohibido a las Municipalidades enajenar, hipotecar o de otra manera comprometer las tierras que posean o que adquieran en las márgenes de los ríos, arroyos o manantiales o en cuencas u hoyas hidrográficas en que broten manantiales o en que tenga sus orígenes o cabeceras cualquier curso de agua de que se surta alguna población. En terrenos planos o de pequeño declive, tal prohibición abrazará desde luego una faja de cien metros a uno y otro lado de dichos ríos, arroyos y manantiales; y en las cuencas u hoyas hidrográficas, doscientos cincuenta metros a uno y otro lado de la depresión máxima, en toda la línea, a contar de la mayor altura inmediata.

Artículo 155.- Queda asimismo prohibido a las Municipalidades dar en arriendo o a esquilmo, o prestar o por su propia cuenta explotar tales tierras, cuando para ese fin hubieren de descuajarse montes o destruirse árboles. Podrán, sí, autorizar u ordenar la corta o poda de árboles y utilizar las leñas o maderas, siempre que esto se ejecute en forma prudente y no perjudique la población forestal.

Se establece mediante la ley de agua potable en 1943 que:

Artículo 2°- Son del dominio público todas aquellas tierras que tanto el Ministerio de Obras Públicas como el Ministerio de Salubridad Pública, consideren indispensables para construir o para situar cualquiera parte o partes de los sistemas de abastecimiento de aguas potables, así como para asegurar la protección sanitaria y física, y caudal necesario de las mismas. Corresponde al Ministerio de Salubridad Pública conocer de las solicitudes formuladas para construcción, ampliación y modificación de los sistemas de agua potable y recomendar al Ministerio de Obras Públicas la construcción, ampliación o modificación de aquellas de mayor necesidad, previo estudio de índices de mortalidad, parasitismo y otros.

Cont. Anexo 1. Leyes y decretos que hacen referencia al recurso hídrico.

Artículo 3°- Corresponde al Ministerio de Salubridad Pública seleccionar y localizar las aguas destinadas al servicio de cañería, tipo de tratamiento de las mismas y tipo de sistema de agua potable a construir. Tendrá además la responsabilidad por las recomendaciones que se deban impartir desde el punto de vista sanitario comprendiendo el diseño, construcción, operación y mantenimiento de los sistemas de agua potable.

Artículo 4°- Corresponde al Ministerio de Obras Públicas, por medio del Departamento de Obras Hidráulicas, la construcción de los nuevos sistemas de aguas potables, así como realizar las reparaciones y extensiones que fuere necesario hacer en las ya existentes, siempre y cuando las respectivas Municipalidades no estén técnica y administrativamente capacitadas para efectuar tales trabajos por sí mismas. El Ministerio de Obras Públicas, o la Municipalidad en su caso, llevará a cabo estos trabajos acatando las indicaciones de carácter sanitario que indique el Ministerio de Salubridad Pública, según el artículo 3°.

Artículo 5°- Las Municipalidades tendrán a su cargo la administración plena de los sistemas de abastecimiento de aguas potables que estén bajo su competencia.

Artículo 6°- Las Municipalidades respectivas estarán obligadas a acatar todas aquellas recomendaciones técnicas de construcción, operación y mantenimiento de los sistemas de abastecimiento de aguas potables a su cargo, que indiquen los Ministerios de Obras Públicas y de Salubridad Pública, a través de sus Departamentos especializados. Igualmente quedan facultados los Ministerios citados para vigilar la operación de todas las obras de abastecimiento de agua potable y para recomendar las adiciones, instalaciones y adaptaciones necesarias para garantizar el mejor servicio de agua, tanto en calidad como en cantidad, cuando se trata de obras construidas total o parcialmente con fondos del Erario u otra forma de garantía del Gobierno de la República.

Artículo 7°- El Ministerio de Obras Públicas, por medio del Departamento de Obras Hidráulicas, o la respectiva Municipalidad en su caso, podrá construir fuentes públicas en los sistemas de abastecimiento de aguas potables a fin de ofrecer un servicio gratuito al público.

Cont. Anexo 1. Leyes y decretos que hacen referencia al recurso hídrico.

Artículo 16°.- Se prohíben las instalaciones, edificaciones, o labores comprendidas en las zonas cercanas a fuentes de abastecimiento, plantas purificadoras, o cualquiera otra parte del sistema, que perjudique en forma alguna los trabajos de operación o distribución, o bien las condiciones físicas, químicas o bacteriológicas del agua; estas zonas serán fijadas por los Ministerios de Obras Públicas y Salubridad Pública.

Según la ley forestal 7575 se define en el siguiente artículo en el inciso L lo siguiente:

ARTÍCULO 3.- Definiciones

Para los efectos de esta ley, se considera:

I) Áreas de recarga acuífera: Superficies en las cuales ocurre la infiltración que alimenta los acuíferos y cauces de los ríos, según delimitación establecida por el Ministerio del Ambiente y Energía por su propia iniciativa o a instancia de organizaciones interesadas, previa consulta con el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, el Servicio Nacional de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento u otra entidad técnicamente competente en materia de aguas.

(Así adicionado este inciso por el artículo 114, de la Ley No.7788 del 30 de abril 1998)

De igual manera se establecen en esta ley ciertas áreas de protección citados en los siguientes artículos.

ARTÍCULO 33.- Áreas de protección

Se declaran áreas de protección las siguientes:

- a)** Las áreas que bordeen nacientes permanentes, definidas en un radio de cien metros medidos de modo horizontal.
- b)** Una franja de quince metros en zona rural y de diez metros en zona urbana, medidas horizontalmente a ambos lados, en las riberas de los ríos, quebradas o arroyos, si el terreno es plano, y de cincuenta metros horizontales, si el terreno es quebrado.
- c)** Una zona de cincuenta metros medida horizontalmente en las riberas de los lagos y embalses naturales y en los lagos o embalses artificiales construidos por el Estado y sus instituciones. Se exceptúan los lagos y embalses artificiales privados.

Cont. Anexo 1. Leyes y decretos que hacen referencia al recurso hídrico.

d) Las áreas de recarga y los acuíferos de los manantiales, cuyos límites serán determinados por los órganos competentes establecidos en el reglamento de esta ley.

ARTÍCULO 34.- Prohibición para talar en áreas protegidas

Se prohíbe la corta o eliminación de árboles en las áreas de protección descritas en el artículo anterior, excepto en proyectos declarados por el Poder Ejecutivo como de conveniencia nacional.

Los alineamientos que deban tramitarse en relación con estas áreas, serán realizados por el Instituto Nacional de Vivienda y Urbanismo.

Según la ley de biodiversidad se establece que:

ARTÍCULO 49.- Mantenimiento de procesos ecológicos

El mantenimiento de los procesos ecológicos es un deber del Estado y los ciudadanos. Para tal efecto, el Ministerio del Ambiente y Energía y los demás entes públicos pertinentes, tomando en cuenta la legislación específica vigente dictará las normas técnicas adecuadas y utilizarán mecanismos para su conservación, tales como ordenamiento y evaluaciones ambientales, evaluaciones de impacto y auditorías ambientales, vedas, permisos, licencias ambientales e incentivos, entre otros.

ARTÍCULO 50.- Normas científico técnicas

Las actividades humanas deberán ajustarse a las normas científico-técnicas emitidas por el Ministerio y los demás entes públicos competentes, para el mantenimiento de los procesos ecológicos vitales, dentro y fuera de las áreas protegidas; especialmente, las actividades relacionadas con asentamientos humanos, agricultura, turismo e industria u otra que afecte dichos procesos.

Cont. Anexo 1. Leyes y decretos que hacen referencia al recurso hídrico.

ARTÍCULO 52.- Ordenamiento territorial

Los planes o las autorizaciones de uso y aprovechamiento de recursos minerales, suelo, flora, fauna, agua y otros recursos naturales, así como la ubicación de asentamientos humanos y de desarrollos industriales y agrícolas emitidos por cualquier ente público, sea del Gobierno central, las instituciones autónomas o los municipios, considerarán particularmente en su elaboración, aprobación e implementación, la conservación de la biodiversidad y su empleo sostenible, en especial cuando se trate de planes o permisos que afecten la biodiversidad de las áreas silvestres protegidas.

ARTÍCULO 53.- Restauración, recuperación y rehabilitación

La restauración, recuperación y rehabilitación de los ecosistemas, las especies y los servicios ambientales que brindan, deben ser fomentadas por el Ministerio del Ambiente y Energía y los demás entes públicos, mediante planes y medidas que contemplen un sistema de incentivos, de acuerdo con esta ley y otras pertinentes.

ARTÍCULO 54.- Daño ambiental

Cuando exista daño ambiental en un ecosistema, el Estado podrá tomar medidas para restaurarlo, recuperarlo y rehabilitarlo. Para ello, podrá suscribir todo tipo de contratos con instituciones de educación superior, privadas o públicas, empresas e instituciones científicas, nacionales o internacionales, con el fin de restaurar los elementos de la biodiversidad dañados. En áreas protegidas de propiedad estatal, esta decisión deberá provenir del Sistema Nacional de Áreas de Conservación del Ministerio del Ambiente y Energía. Para la restauración en terrenos privados se procederá según los artículos 51, 52 y 56 de esta ley.

Lo establecido en la ley 7779 de uso, manejo y conservación de suelos con respecto a la recuperación de este recurso es lo siguiente.

Cont. Anexo 1. Leyes y decretos que hacen referencia al recurso hídrico.

Prácticas de manejo, conservación y recuperación de los suelos.

Artículo 19.-Las prácticas de manejo, conservación y recuperación de los suelos que se planificarán y aplicarán en los planes por áreas, deberán basarse en los aspectos agroecológicos y socioeconómicos específicos del área considerada y deberán cubrir, por lo menos, los siguientes campos de acción:

- a) Labranza y mecanización agroecológica.
- b) Uso y manejo de coberturas vegetales.
- c) Uso racional de riego.
- d) Sistemas agroforestales y silvopastoriles.
- e) Prácticas estructurales de drenaje y evacuación de escorrentía.
- f) Prácticas estructurales y agronómicas de infiltración de aguas.
- g) Manejo de fertilizantes y agrotóxicos, según recomendación técnica del Ministerio de Agricultura y Ganadería.
- h) Fertilización orgánica.
- i) Manejo de lixiviados y desechos de origen vegetal y animal.
- j) Control de erosión en obras de infraestructura vial.

Para aplicar las medidas tendientes a lograr las acciones precitadas, tanto el Ministerio de Agricultura y Ganadería como el Ministerio del Ambiente y Energía incluirán, en sus presupuestos, las partidas necesarias para tal fin.

Artículo 20.-En las áreas previamente declaradas como críticas, según el artículo 16 de esta ley, ya sean de dominio privado o público, los dueños de los terrenos deberán aplicar forzosamente todas las medidas y prácticas que conlleven la recuperación del suelo y preservación del ambiente en general.

Artículo 21.-En materia de aguas, el Ministerio de Agricultura y ganadería deberá coordinar, con el Servicio Nacional de Riego y Avenamiento y cualquier otra institución competente, la promoción de las investigaciones hidrológicas, hidrogeológicas y agrológicas en las cuencas hidrográficas del país, así como en las prácticas de mejoramiento conservación y protección de los suelos en las cuencas hidrográficas según las competencias del Servicio mencionado, definidas en los incisos a) y g) del artículo 4^á y otros de la Ley de Creación del Servicio Nacional de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento, N° 6877 del 18 de julio de 1983.

Cont. Anexo 1. Leyes y decretos que hacen referencia al recurso hídrico.

Artículo 22.-Las concesiones para el aprovechamiento de aguas destinadas a cualquier uso, deberán incluir la obligación del usuario de aplicar las técnicas adecuadas de manejo de agua para evitar la degradación del suelo, por erosión, revenimiento, salinización, hidromorfismo u otros efectos perjudiciales.

Artículo 23.-Toda persona física o jurídica, pública o privada, que construya obras de infraestructura vial deberá coordinar con el Ministerio de Agricultura y Ganadería y los Comités por áreas, cuando sea pertinente, la realización de tales obras, con el fin de proteger los suelos de los efectos nocivos de las escorrentías. Estas personas serán responsables penal y civilmente por cualquier daño que su acción ocasione, para lo que se aplicarán las disposiciones legales vigentes tanto del Código Penal como de la Ley General de la Administración Pública y demás leyes conexas. La única excepción a esta regla serán las declaratorias de emergencia nacional.

Artículo 29.-El Ministerio del Ambiente y Energía y el Ministerio de Agricultura y Ganadería, coordinados por el Ministerio de Salud, deberán investigar, divulgar y recomendar prácticas de manejo de suelos que eviten en ellos la lixiviación y acumulación de agrotóxicos y lixiviados industriales, pecuarios y urbanos; para esto se autoriza a las instituciones mencionadas para que incluyan, en sus presupuestos, las partidas necesarias para ejecutar adecuadamente esta norma.

Artículo 33.-El Ministerio del Ambiente y Energía y el Ministerio de Agricultura y Ganadería, coordinados por el Ministerio de Salud, deberán dictar las medidas y los criterios técnicos para manejar los residuos de los productos de fertilización y agrotóxicos, procurando, especialmente, que se cumpla con lo siguiente:

- a) El depósito de los residuos sólidos en lugares seguros que eviten contaminación.
- b) El lavado de herramientas y maquinaria contaminadas con residuos químicos, en lugares seguros que impidan la contaminación.
- c) La disposición de residuos de fertilización, acorde con medidas de manejo que no permitan la lixiviación.

En el reglamento de esta ley, deberán establecerse los indicadores ambientales que permitan clasificar cualquier suelo en forma específica y con base en los niveles de contaminación; asimismo, deberán estipularse las medidas correctivas.

Cont. Anexo 1. Leyes y decretos que hacen referencia al recurso hídrico.

Artículo 41. Toda persona física o jurídica, pública o privada, estará obligada a fomentar, contribuir y ejecutar todas las prácticas y actividades necesarias para el manejo, la conservación y la recuperación de suelos. Por tanto, es obligatorio cooperar y acatar las medidas que el Ministerio de Agricultura y Ganadería, en coordinación con el Ministerio del Ambiente y Energía, dicta con el fin de manejar, conservar y recuperar el suelo.

Artículo 42.-Es obligación y derecho de toda persona, física o jurídica, vigilar y controlar el cumplimiento de la legislación en materia de suelos; así como sus reglamentos y demás disposiciones.

DECRETO 2005:

N° 32327-S

EL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA Y LA MINISTRA DE SALUD

En ejercicio de las facultades que les confieren los artículos 140 incisos 3), 18) y 146) de la Constitución Política; 28 inciso b) de la Ley General de Administración Pública; 1, 2, 4, 7, 264, 265, 266, 267 y siguientes y concordantes de la Ley General de Salud (Ley N° 5395 del 30 de octubre de 1973).

Considerando:

I.—Que es deber del Estado, a través de sus instituciones, de velar por la salud pública.

II.—Que por tal razón se hace necesario y oportuno, dictar las normas relacionadas con la calidad del agua de consumo humano.

III.—Que las entidades públicas y privadas, que funjan como operadores de acueductos de agua potable, deberán sujetarse a lo establecido en el presente reglamento a fin de garantizar la calidad del agua.

IV.—Que el Ministerio de Salud, al tener como misión velar por la salud pública, debe regular vía reglamento, la calidad del agua y así prevenir enfermedades en los seres humanos originadas por contaminación del agua.

Por tanto:

DECRETAN:

Reglamento para la Calidad del Agua Potable

Cont. Anexo 1. Leyes y decretos que hacen referencia al recurso hídrico.

CAPÍTULO I

De las disposiciones generales y definiciones

Artículo 1º—**Objetivo y Alcances.** El presente reglamento tiene por objetivo establecer los niveles máximos que deben tener aquellos componentes o características del agua que pueden representar un riesgo para la salud de la comunidad e inconvenientes para la preservación de los sistemas de abastecimiento de agua en beneficio de la salud pública.

Artículo 2º—**Definiciones y Unidades.** Para una mejor comprensión del presente reglamento, se establecen las siguientes definiciones y tabla de unidades:

- a) **Acreditación:** Procedimiento por el cual un ente autorizado otorga reconocimiento formal de que un organismo o persona es competente para llevar a cabo tareas específicas.
- b) **Agua potable:** Agua tratada que cumple con las disposiciones de valores recomendables o máximos admisibles estéticos, organolépticos, físicos, químicos, biológicos y microbiológicos, establecidos en el presente reglamento y que al ser consumida por la población no causa daño a la salud.
- c) **Agua superficial:** La que se origina a partir de precipitaciones atmosféricas, afloración de aguas subterráneas (ríos, manantiales, lagos, quebradas).
- d) **Agua subterránea:** La que se origina de la infiltración a través de formaciones de una o más capas subterráneas de rocas o de otros estratos geológicos que tienen la suficiente permeabilidad para permitir un flujo significativo aprovechable sosteniblemente para su extracción.
- e) **Agua tratada:** Agua subterránea o superficial cuya calidad ha sido modificada por medio de procesos de tratamiento que incluyen como mínimo a la desinfección en el caso de aguas de origen subterráneo. Su calidad debe ajustarse a lo establecido en el presente reglamento.
- f) **Control de calidad del agua potable:** evaluación continua y sistemática de la calidad del agua desde la fuente, planta de tratamiento, sistemas de almacenamiento y distribución, según programas específicos que deben ejecutar los organismos operadores a fin de cumplir las normas de calidad.
- g) **Desinfección del agua:** corresponde a un proceso físico químico unitario cuyo objetivo es garantizar la inactivación o destrucción de los agentes patógenos en el agua a utilizar para consumo humano.

El proceso químico de la desinfección no corresponde a una esterilización.

Cont. Anexo 1. Leyes y decretos que hacen referencia al recurso hídrico.

h) **Inspección sanitaria:** corresponde a las visitas, como componente de la vigilancia de la calidad del agua potable, para la aplicación de fichas de campo que permitan revisar el estado de las diferentes estructuras (captaciones, almacenamiento, distribución) de un sistema de suministro de agua para consumo humano y de las áreas de influencia a las captaciones, para identificar los riesgos que pueden afectar su calidad.

i) **Muestra de agua:** Es una porción de agua que se recolecta de tal manera que resulte representativa de un volumen mayor de líquido.

j) **OPS / OMS:** Organización Panamericana de la Salud / Organización Mundial de la Salud.

k) **Entes operadores:** instituciones, empresas, asociaciones administradoras o entidades en general públicas o privadas, directamente encargadas de la operación, mantenimiento y administración de sistemas de suministro de agua potable.

l) **Redesinfección del agua:** aplicación de un desinfectante al agua en uno o varios puntos del sistema de distribución tales como: red, almacenamiento y estación de bombeo después de un tratamiento previo con el desinfectante para cumplir con los valores establecidos en el en el cuadro del artículo 12 del capítulo V.

m) **Valor máximo admisible:** corresponde a aquella concentración de sustancia o densidad de bacterias a partir de la cual existe rechazo del agua por parte de los consumidores o surge un riesgo inaceptable para la salud. El sobrepasar estos valores indicados en las tablas contenidas en el Anexo 1 implica la toma de acciones correctivas inmediatas.

n) **Valor recomendado:** corresponde a aquella concentración de sustancia o densidad de bacterias que implica un riesgo mínimo o aceptable para la salud de los consumidores del agua potable.

ñ) **Vigilancia de la calidad del agua potable:** es la evaluación permanente desde el punto de vista de salud pública, efectuada por el Ministerio de Salud, sobre los organismos operadores, a fin de garantizar la seguridad, inocuidad y aceptabilidad del suministro de agua potable desde el área de influencia de la fuente hasta el sistema de distribución.

mg/L Miligramos por litro

ppm Partes por millón

µg/L Microgramos por litro

µS/cm Micro siemens por centímetros

PH Potencial de iones hidrógeno

U Pt-Co Unidades de platino cobalto (para Color)

UNT Unidades Nefelométricas de Turbiedad

Cont. Anexo 1. Leyes y decretos que hacen referencia al recurso hídrico.

°C Grados Celsius

NMP/100mL Número más Probable de bacterias en 100 mililitros de agua, por el método de tubos múltiples de fermentación

UFC/100mL Unidades formadoras de colonias en 100 mililitros de agua, por el método de membrana filtrante

UFC/ mL Unidades formadoras de colonias en un mililitro de agua

Artículo 3º—Para efectos del ámbito de aplicación de este reglamento, se establece que el nivel de vigilancia de la calidad del agua potable, corresponde al Ministerio de Salud y los niveles de administración, control y ejecución a los organismos operadores.

Artículo 4º—En este reglamento se establecen los requisitos básicos que debe contener el agua potable que suministran los entes operadores.

CAPÍTULO II

Del ámbito de aplicación

Artículo 5º—Para todos los efectos de regulaciones en la calidad del agua potable abastecida, los organismos operadores se sujetarán a este reglamento que contiene los valores para los parámetros físicos, químicos, biológicos y microbiológicos en sus aspectos estéticos, organolépticos y de significado para la salud establecidos en los cuadros 1, 2, 3, 4, 5, 6 y 7 del anexo 1.

Artículo 6º—En este reglamento se establecen cuatro niveles de Control de Calidad del Agua (ver Anexo 2 cuadro A):

6.1 Nivel Primero (N1): corresponde al programa de control básico junto con la inspección sanitaria, para evaluar la operación y mantenimiento en la fuente, el almacenamiento y la distribución del agua potable. Los parámetros en este nivel son: coliformes termotolerantes (fecales), Escherichia coli, color aparente, turbiedad, olor, sabor, temperatura, pH, conductividad, y cloro residual libre o combinado. Los valores recomendados y máximos admisibles se indica en el cuadro1 del anexo 1. Si la inspección sanitaria establece otros riesgos de contaminación, deberán adicionarse al programa de control básico, los parámetros necesarios.

Cont. Anexo 1. Leyes y decretos que hacen referencia al recurso hídrico.

6.2 Nivel Segundo (N2): corresponde al programa de control básico ampliado (N1), el análisis de tendencias temporales de variaciones de calidad en las fuentes de abastecimiento, a ser aplicado en muestras de agua potable en la fuente, su almacenamiento y distribución. Los parámetros en esta etapa de control son todos los establecidos en el nivel N1, ampliados con: dureza total, cloruro, fluoruro, nitrato, sulfato, aluminio, calcio, magnesio, sodio, potasio, hierro, manganeso, zinc, cobre, plomo. Los valores recomendados y admisibles se indican en el cuadro 2 del anexo 1.

6.3 Nivel Tercero (N3): corresponde al programa de control avanzado del agua potable. Comprende la ejecución de los parámetros del nivel N2 ampliados con: nitrito, amonio, arsénico, cadmio, cromo, mercurio, níquel, antimonio, selenio y residuos de plaguicidas.

Los valores recomendados y máximos admisibles se indican en los cuadros 3 y 4 del anexo 1.

6.4 Nivel Cuarto (N4): corresponde a programas ocasionales ejecutados por situaciones especiales, de emergencia o porque la inspección sanitaria identifica un riesgo inminente de contaminación del agua. Los parámetros a analizar según sea la situación identificada pueden ser: sólidos totales disueltos, sulfuro de hidrógeno, cianuros, sustancias orgánicas de significado para la salud, desinfectantes y subproductos de la desinfección. Los valores recomendados y máximos admisibles se indican en los cuadros 5, 6 y 7 del anexo 1. Otros parámetros como: *Siguella* sp, *Salmonella* sp., *Streptococos* fecales, *Vibrio cholerae* 01 toxigénico, *Aeromonas hydrophila*, nemátodos, *Entamoeba hystolytica*, *Cryptosporidium*, Virus de Hepatitis A. Enterovirus y cianobacterias tóxicas, deben estar ausentes en las muestras analizadas. Como indicadores e vulnerabilidad de un sistema pueden utilizarse los coliformes totales.

El Ministerio de Salud o el ente operador, podrán ampliar los parámetros de control requeridos para cada situación. El ente operador enviará los resultados del control de calidad del agua potable al Ministerio de Salud.

Artículo 7º—Las entidades públicas y privadas que fungen como operadores de servicios públicos, deben tomar las acciones requeridas para que se cumpla:

7.1 El programa de control hasta el nivel primero en todos los acueductos del país

7.2 El programa de control hasta nivel segundo en todos los acueductos con población abastecida superior a 10.000 habitantes

Cont. Anexo 1. Leyes y decretos que hacen referencia al recurso hídrico.

7.3 El programa de control hasta el nivel tercero en todos los acueductos con población abastecida superior a 50.000 habitantes

Artículo 8º—De los Métodos de Análisis y Laboratorios.

8.1 Preferiblemente los métodos de referencia para análisis son los indicados en la última edición de los Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater y los métodos de ensayos acreditados conforme lo establece la ley N° 8279 de 2 de mayo del 2002, (Sistema Nacional para la Calidad) Publicado en el Diario Oficial *La Gaceta* N° 96 de 21 de mayo del 2002.

8.1 Los laboratorios que realicen análisis de agua contemplados en este reglamento deberán tener permiso de funcionamiento otorgado por el Ministerio de Salud según Decreto 30465-S. (Reglamento General para el Otorgamiento de Permisos de Funcionamiento por parte del Ministerio de Salud) del nueve de mayo del dos mil dos, publicado en el Diario Oficial *La Gaceta* N° 102 del día 29 de mayo del dos mil dos.

Artículo 9º—Cuando se sobrepase el valor máximo admisible es necesario que el ente operador proceda a:

9.1 Efectuar una inspección sanitaria con remuestreo, para identificar las causas del cambio de calidad y ejecutar las acciones correctivas.

9.2 Consultar a las autoridades nacionales responsables: Ministerio de Salud, A y A, para que proporcionen asesoramiento sobre el grado de riesgo y la prioridad de las acciones correctivas.

9.3 Las entidades públicas y privadas que funjan como operadores, de acuerdo con el grado de riesgo, deben presentar ante el Ministerio de Salud, el informe de acciones correctivas ejecutadas y un plan de actividades para evitar que el evento no vuelva a ocurrir.

CAPÍTULO III

Del programa de control de calidad

Artículo 10.—Para implementar el Programa de Control de Calidad del Agua, el ente operador debe cumplir como mínimo con:

10.1 Identificar la zona de abastecimiento.

10.1a La zona de abastecimiento corresponde al área geográfica del sistema, de características homogéneas en relación con la fuente y sus componentes relacionados: almacenamiento y sector de la red de distribución.

Cont. Anexo 1. Leyes y decretos que hacen referencia al recurso hídrico.

10.1b En sistemas con más de una fuente, la recolección de muestras debe ser realizada teniendo en cuenta el número de habitantes abastecido con cada fuente.

10.2 Puntos de recolección de muestras.

10.2a Los puntos de recolección de muestras deben ser seleccionados de modo que sean representativos de las zonas de abastecimiento; iniciando con la fuente, almacenamiento y terminando en la red de distribución. El grifo de muestreo debe estar ubicado lo más próximo a la conexión domiciliar controlada por el operador, libre de la influencia de la cisterna, tanque elevado o cualquier otro tipo de almacenamiento intradomiciliar de agua.

10.2b Deben ser uniformemente distribuidos en cada zona de abastecimiento.

10.2c El número de muestras bacteriológicas y físico-químicas, en la red de distribución, debe ser proporcional al número de habitantes atendidos en cada zona de abastecimiento.

10.2d Deben ser ubicados: a la salida de la planta de tratamiento, salida de tanques de almacenamiento, salida de las fuentes subterráneas (pozos, manantiales, galerías de infiltración, etc.), en la red primaria y secundaria de distribución.

10.3 Frecuencia de recolección de muestras

Con la finalidad de asegurar que el agua de abastecimiento satisface los requisitos de este Reglamento, es necesario recolectar las muestras con la periodicidad que establece el cuadro B del anexo 2.

10.4 Programa de control de riesgo y vulnerabilidad.

10.4a Realizar la inspección sanitaria, a cada uno de los elementos del acueducto, una vez al año, durante una recolección de muestras del programa de control de calidad.

10.4b Evaluar los resultados de la inspección sanitaria, en conjunto con el último año de datos de análisis, obtenidos en el programa de control de calidad.

10.4c Definir el grado de riesgo para la salud, en cada uno de los elementos del sistema, así como la priorización de acciones correctivas.

CAPÍTULO IV

Del programa de vigilancia sanitaria de la calidad del agua

Artículo 11.—Corresponde al Ministerio de Salud, a través de los diferentes niveles de gestión, efectuar la evaluación del ente operador, desde el punto de vista operativo y su capacidad para implementar mejoras, con el fin de disminuir el grado de riesgo, para la salud de la población y la vulnerabilidad de los sistemas.

Cont. Anexo 1. Leyes y decretos que hacen referencia al recurso hídrico.

CAPÍTULO V

Desinfección

Artículo 12.—**Utilización de la desinfección.** El proceso de desinfección se utiliza como parte de una serie de operaciones y procesos de tratamiento unitario en una planta. En su forma mas simple se aplica como único tratamiento de aguas naturales de excelente calidad (aguas subterráneas o de manantial) para garantizar ausencia de indicadores de contaminación fecal entre el punto de aplicación y el punto de entrega al usuario. La desinfección deberá aplicarse además para mantener un nivel residual, según lo indicado en el artículo 13, que garantice la calidad del agua de contaminaciones eventuales a través de todo el sistema de distribución.

Artículo 13.—**Dosis de desinfectante.** La dosis de desinfectante corresponde a la cantidad en partes por millón (mg/L) que se aplica al agua. La dosis que debe aplicarse varía con la demanda de cada agua en particular.

13.1 Desinfección con cloro

Es función del tipo de residual que se tenga. Se recomienda, para la destrucción de bacterias indicadoras el mínimo de cloro, en la red de distribución, dependiendo del pH del agua y tiempo mínimo de contacto dado en el siguiente cuadro.

Valor del pH	Cloro residual libre (mg/L) Tiempo mínimo de Contacto de 20 minutos	Cloro residual combinado (mg/L) Tiempo mínimo de Contacto de 60 minutos
6.0 – 7.0	0.3	1.0
7.1 – 8.0	0.5	1.5
8.1 – 9.0	0.6	1.8

13.2 Desinfección con ozono

Para desinfectar un metro cúbico de agua se utiliza en la práctica, de 0.5 a 2 gramos de ozono, dependiendo de la calidad del agua tratada. El residual en el punto de aplicación debe ser de 0.3 a 0.4 mg/L, durante 3 a 4 minutos de tiempo de contacto mínimo.

Cont. Anexo 1. Leyes y decretos que hacen referencia al recurso hídrico.

Artículo 14.—**Puntos de dosificación**

14.1 Los puntos de adición de los desinfectantes son a la salida de los procesos de tratamiento de las plantas, asegurándose que exista el periodo de contacto adecuado antes de que el agua entre al sistema de distribución.

14.2 Puntos de redesinfección: Estos puntos de aplicación pueden ser:

14.2a Al final de una línea larga de alimentación dentro del sistema de distribución.

14.2b En un punto donde una tubería principal deriva agua hacia otra comunidad próxima.

14.2c En un punto del sistema donde exista una estación de bombeo, en el tanque de almacenamiento.

CAPÍTULO VI

De las disposiciones finales

Artículo 15.—Todo ente operador, de sistemas de abastecimiento de agua, está obligado a entregar copia de los informes de su programa de Control de la Calidad del Agua al Ministerio de Salud.

Artículo 16.—En caso de emergencia calificada como tal por las autoridades sanitarias de acuerdo con el presente reglamento, el ente operador debe:

16.1 Suspender el servicio de abastecimiento.

16.2 Asegurar el suministro de agua por otra vía.

16.3 Aplicar las acciones correctivas correspondientes.

16.4 Entrar a operar el sistema, una vez asegurada la calidad del agua.

Artículo 17.—No se debe introducir agua superficial, sin tratamiento respectivo, en los sistemas de abastecimiento de agua potable. El ente operador debe asegurar la calidad sanitaria del agua dentro del sistema de almacenamiento y distribución, durante todo el año.

Artículo 18.—Los Anexos 1 y 2 a que se hace alusión en artículos anteriores forman parte integral del presente reglamento.

Artículo 19.—Este reglamento entrará en vigencia ocho días después de la fecha de su publicación en el Diario Oficial *La Gaceta*.

Artículo 20.—El presente Decreto deroga el Decreto Ejecutivo N° 25991-S, del 14 de abril de 1997, publicado en *La Gaceta* el 27 de mayo de 1997.

Dado en la Presidencia de la República.—San José, a los diez días del mes de febrero del dos mil cinco.

Publíquese.—ABEL PACHECO DE LA ESPRIELLA.—La Ministra de Salud Dra. María del Rocío Sáenz Madrigal.—1 vez.—(O. C. N° 184).—C-189250.—(D32327-31743).

Cont. Anexo 1. Leyes y decretos que hacen referencia al recurso hídrico.

CUADRO 1. PARÁMETROS DE CALIDAD DEL AGUA
- PRIMER NIVEL DE CONTROL - N1

Parámetro	Unidad	Valor Recomendado	Valor Máximo Admisible
Coliforme fecal	NMP/100 mL o UFC/100 mL	Ausente	Ausente
<u>Escherichia coli</u> ^a	NMP/100 mL o UFC/100 mL	Ausente	Ausente
Color aparente	mg/L (U - Pt-Co)	5	15 ^b
Turbiedad	UNT	<1	5 ^b
Olor	--	Debe ser aceptable	Debe ser aceptable
Sabor	--	Debe ser aceptable	Debe ser aceptable
Temperatura	°C	18	30
pH ^c	Valor pH	6,5	8,5
Conductividad	µS/cm	400	
Cloro Residual Libre	mg/L	0,3	0,6
Cloro Residual Combinado	mg/L	1,0	1,8

CUADRO 2. PARÁMETROS DE CALIDAD DEL AGUA
- SEGUNDO NIVEL DE CONTROL - N2

Parámetro	Unidad	Valor Recomendado	Valor Máximo Admisible
Dureza Total	mg/L CaCO ₃	400	500
Cloruro	mg/L Cl ⁻	25	250
Fluoruro	mg/L F ⁻		0,7 a 1,5 ^a
Nitrato	mg/L NO ₃ ⁻	25	50
Sulfato	mg/L SO ₄ ⁻²	25	250
Aluminio	mg/L Al ⁺³	0,2	
Calcio	mg/L Ca ⁺²	100	
Magnesio	mg/L Mg ⁺²	30	50
Sodio	mg/L Na ⁺	25	200
Potasio	mg/L K ⁺		10
Hierro	mg/L Fe		0,3

- a El indicador bacteriológico más preciso de contaminación fecal es la Escherichia coli.
- b VMA en no más del 10% de las muestras analizadas durante el año.
- c Las aguas deben ser estabilizadas de manera que no produzcan efectos corrosivos ni incrustantes en los acueductos o en los utensilios domésticos, utilizados para calentar o hervir el agua.

Cont. Anexo 1. Leyes y decretos que hacen referencia al recurso hídrico.

Parámetro	Unidad	Valor Recomendado	Valor Máximo Admisible
Manganeso	mg/L Mn	0,1	0,5
Zinc	mg/L Zn		3,0
Cobre	mg/L Cu	1,0	2,0
Plomo	mg/L Pb		0,01

^a 1,5 mg/L para temperaturas de 8 a 12 °C y 0,7 mg/L para temperaturas de 25 a 30 °C

**CUADRO 3. PARÁMETROS DE CALIDAD DEL AGUA
-TERCER NIVEL DE CONTROL- N3**

Parámetro	Unidad	Valor Recomendado	Valor Máximo Admisible
Nitrito	mg/L NO ₂ ⁻		0,1 o 3,0 ^a
Amonio	mg/L NH ₄ ⁺	0,05	0,5
Arsénico	mg/L As		0,01
Cadmio	mg/L Cd		0,003
Cromo	mg/L Cr		0,05
Mercurio	mg/L Hg		0,001
Níquel	mg/L Ni		0,02
Antimonio	mg/L Sb		0,005
Selenio	mg/L Se		0,01

^a — VMA de 0.1, si el nitrito se evalúa en forma independiente del nitrato.

— VMA de 3.0, cuando el nitrito se evalúa en conjunto con el nitrato. En este caso, la suma de la razón de concentración de cada uno respecto a su valor máximo admisible no debe ser superior a 1,0.

$$\frac{[\text{NO}_3]^{-1}}{\text{V.M.A. NO}_3^{-1}} + \frac{[\text{NO}_2]^{-1}}{\text{V.M.A. NO}_2^{-1}} \leq 1$$

Nota: V.M.A. = Valor Máximo Admisible.

Cont. Anexo 1. Leyes y decretos que hacen referencia al recurso hídrico.

CUADRO 4. PARÁMETROS DE CALIDAD PARA RESIDUOS DE PLAGUICIDAS
-TERCER NIVEL DE CONTROL- N3

Parámetro Ingrediente activo ISO, BSI, ANSI	Nombre Químico IUPAC	Valor Máximo Admisible µg/L
Alachlor	2-cloro-2,6-dietil-N-(metoximetil)acetanilida	20
Aldicarb	2-metil-2-(metiltio)propionaldehído-O-(metilcarbamoil) oxima.	10
Aldrin/dieldrin	(1R,4S,4aS,5S,8R,8aR)-1,2,3,4,10,10-hexacloro-1,4,4a,5,8,8a-hexahidro-1,4:5,8-dimetanonaftaleno.	0,03
Atrazine	6-cloro-N ² -etil-N ⁴ -isopropil-1,3,5-triazina-2,4-diamina.	2
Bentazone	3-isopropil-1H-2,1,3-benzotiadiazin-4(3H)-ona-2,2-dióxido.	300
Carbofuran	2,3-dihidro-2,2-dimetil-7-benzofuranil-metil-carbamato.	7
Chlordane	1,2,4,5,6,7,8,8-octacloro-2,3,3 ^a ,4,7,7a-hexahidro-4,7-metanoindeno.	0,2
2,4-D	Ácido-2,4-diclorofenoxiacético.	30
2,4-DB	Ácido-4-(2,4-diclorofenoxi)butírico.	90
DDTa	Dicloro-difenil-tricloroetano.	2
Dibromocloropropano	1,2-dibromo-3-cloropropano.	1
Dichloropropene	1,3-dicloropropeno.	20
Dichloroprop	Ácido (RS)-2-(2,4-diclorofenoxi)propiónico.	100
Heptachlor + epoxide	1,4,5,6,7,8,8-heptacloro-3a,4,7,7a-tetrahidro-4,7-metanoindeno.	0,03
Isoproturon	3-(4-isopropilfenil)-N',N'-dimetilurea	9
Lindane	Isómero gama de 1,2,3,4,5,6-hexacloro-ciclohexano	2
MCPA	Ácido (4-cloro-2-metilfenoxi)acético.	2
Mecroprop	Ácido (RS)-2-(4-cloro-2-metilfenoxi)propiónico.	10
Methoxychlor	2,2-bis(p-metoxifenil)-1,1,1-tricloroetano.	20
Metolachlor	2-cloro-N-(2-etil-6-metilfenil)-N-(2-metoxi-1-metiletil) acetamida.	10
Molinate	S-etil hexahidro-1H-azepina-1-carbiotota	6
PCP	Pentaclorofenol	9
Pendiméthaline	N-(1-etilpropil)-3,4-dimetil-2,6-dinitobenzamina.	20
Permethrin	3-fenoxibenzil (1RS)-cis, trans-3-(2,2-diclorovinil)-2,2 dimetilciclopropanocarboxilato.	20
Propanil	N-(3,4-diclorofenil)propionamida.	20
Pyridate	O-(6-cloro-3-fenil-4-piridazin) S-octil carbono tiota.	100
Simazine	2-cloro-4,6-bis(etilamino)-s-triazina.	2
2,4,5-T	Ácido-2,4,5-triclorofenoxi-acético.	9
Trifluraline	α,α,α-Trifluoro-2,6-dinitro-N,N-dipropil-p-toluidina.	20

^a Corresponde a la suma de todos los isómeros.

Cont. Anexo 1. Leyes y decretos que hacen referencia al recurso hídrico.

**CUADRO 5 PARÁMETROS DE CALIDAD PARA SUSTANCIAS
ORGÁNICAS DE SIGNIFICADO PARA LA SALUD, EXCEPTO
PLAGUICIDAS PARA EL CUARTO NIVEL: N4**

Parámetro	Valor Máximo Admisible, µg/L
Alcanos Clorados	
Tetracloruro de carbono	2
Diclorometano	20
1,2-dicloroetano	30
1,1,1-tricloroetano	2000
Parámetro	Valor Máximo Admisible, µg/L
Etenos Clorados	
Cloruro de Vinilo	5
1,1-dicloroetano	30
1,2-dicloroetano	50
Tricloroetano	70
Tetracloroetano	40
Hidrocarburos Aromáticos	
Tolueno	700
Xilenos	500
Etilbenceno	300
Estireno	20
Benzo-alfa-pireno	0,7
Bencenos Clorados	
Monoclorobenceno	300
1,2-diclorobenceno	1000
1,4-diclorobenceno	300
Triclorobencenos	20
Otros Compuestos Orgánicos	
di (2-etilhexil) adipato	80
di (2-etilhexil) ftalato	8
Acrilamida	0,5
Epiclorohidrina	0,4
Hexaclorobutadieno	0,5
EDTA	200
Acido nitriloacético	200
Oxido de tributilestano	2
Hidrocarburos policíclicos aromáticos totales	0,2
Bifenilos policlorados totales	0,5

Cont. Anexo 1. Leyes y decretos que hacen referencia al recurso hídrico.

**CUADRO 6. PARÁMETROS DE CALIDAD DEL AGUA
- CUARTO NIVEL - N4**

Parámetro	Unidad	Valor Recomendado	Valor Máximo Admisible
Sólidos totales disueltos	mg/L		1000
Amonio	mg/L NH ₄ ⁺	0,05	0,5
Sulfuro de Hidrógeno	mg/L H ₂ S		0,05

**CUADRO 7. PARÁMETROS PARA DESINFECTANTES Y
SUBPRODUCTOS DE LA DESINFECCIÓN
PARA EL CUARTO NIVEL: N4**

Parámetro	Valor Máximo Admisible, µg/L
Desinfectantes	
Monocloramina	4000
Subproductos de la desinfección	
Bromato	25
Clorito	200
a- Clorofenoles	
2,4,6-triclorofenol	200
Formaldehido	900
b- Trihalometanos	
Bromoformo	100
Dibromoclorometano	100
Bromodiclorometano	60
Cloroformo	200
c- Ácidos Acético Clorados	
Ác. Dicloroacético	50
ác. Tricloroacético	100
tricloroacetaldehído/cloralhidrato	100
d- Haloacetoneitrilos	
Dicloroacetoneitrilo	90
Dibromoacetoneitrilo	100
Tricloroacetoneitrilo	11
e- Cloruro de cianógeno (como CN⁻)	70

Cont. Anexo 1. Leyes y decretos que hacen referencia al recurso hídrico.

NIVELES DE CONTROL, FRECUENCIA Y NÚMERO DE MUESTRAS

CUADRO A. NIVELES DE CONTROL Y PARÁMETROS ¹

Parámetros a incluir	Nivel Primero (N1)	Nivel Segundo (N2)	Nivel Tercero (N3)	Nivel Cuarto (N4)
a. Parámetros Organolépticos	- Color Aparente - Turbiedad - Olor ² - Sabor ²	Análisis (N1) +	Análisis (N2) +	
b. Parámetros físico-químicos	- Temperatura ³ - pH - Conductividad - Cloro residual libre ⁴	Dureza total - - Cloruro - Nitrato - Sulfato - Aluminio		Sólidos totales - disueltos

Parámetros a incluir	Nivel Primero (N1)	Nivel Segundo (N2)	Nivel Tercero (N3)	Nivel Cuarto (N4)
	- Cloro residual combinado ⁴	- Calcio - Magnesio - Sodio - Potasio - Zinc - Cobre		
c. Parámetros para sustancias inorgánicas con significado a la salud y plaguicidas		- Hierro - Manganeso - Fluoruro	- Amonio - Nitrito	- Sulfuro de hidrógeno
d. Parámetros Tóxicos(orgánicos e inorgánicos).		- Nitrato - Plomo	- Arsénico - Cadmio - Cromo - Mercurio - Níquel - Antimonio - Selenio - Residuos de Plaguicidas	- Subproductos de la desinfección - Cianuros - Desinfectantes - Sustancias orgánicas con significado para la salud
e. Parámetros biológicos y microbiológicos	-Coliforme fecal - E. Coli ⁵			Los indicados, en el inciso 6.4, del artículo 6.

Cont. Anexo 1. Leyes y decretos que hacen referencia al recurso hídrico.

RECOMENDACIONES: Se recomienda además adicionar un análisis (llamado primer análisis), que sobre todo ha de llevarse a cabo antes de la puesta en marcha del sitio de muestreo. Los parámetros a tomar en cuenta serían los del análisis de control normal, a los cuales podrían agregarse, entre otros, con base en el riesgo detectado por la inspección sanitaria, diferentes sustancias tóxicas no deseadas. La lista será definida por el Ministerio de Salud, en consulta con el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados.

NOTAS:

- ¹ El Ministerio de Salud y el A y A podrán utilizar otros parámetros diferentes a los mencionados en el Anexo si es que surgen situaciones especiales o de emergencia, o debido a factores que incidan negativamente sobre la calidad del agua potable suministrada.
- ² Valoración cualitativa.
- ³ Excepto para agua en depósitos cerrados.
- ⁴ U otras sustancias, en caso de tratamiento con cloro.
- ⁵ Confirmación en caso de que se detecte la presencia de Coliforme Fecal.

CUADRO B. FRECUENCIA MÍNIMA DE ANÁLISIS Y NÚMERO DE MUESTRAS ¹

Población abastecida (base del cálculo: 200 litros por habitante y por día)	<u>Análisis N1 ^a</u>		<u>Análisis N2 ^b</u>	<u>Análisis N3 ^c</u>
	Frecuencia/ N° de muestras en	Frecuencia/N° de muestras	Frecuencia/N° de muestras	Frecuencia/N° de muestras
	Fuentes	Redes		
Menos de 2 000	Semestral	Semestral/3	Anual/1	Anual/1
2 001 a 5 000	Trimestral	Trimestral/3	Anual/1	Anual/1
5 001 a 10 000	Mensual	Mensual/3	Semestral/1	Anual/1
10 001 a 15 000	Mensual	Quincenal/3	Semestral/1	Anual/1
15 001 a 20 000	Mensual	Quincenal/6	Semestral/1	Anual/1
más de 20 000	Mensual	Quincenal/ ^d	Trimestral/1	Semestral/1
más de 100 000	Mensual	Diario/ ^e	Trimestral/1	Semestral/1

¹ La frecuencia y número de muestras para los análisis del nivel 4, serán establecidos de acuerdo a cada situación particular (brotes de enfermedades de origen hídrico, contaminaciones accidentales, otros).

^a En cada visita, se deberá recolectar muestras bacteriológicas en las fuentes y el almacenamiento y la red de distribución. Los puntos de análisis físico-químicos, en la red de distribución, son los mismos de los bacteriológicos, pero con frecuencia semestral o trimestral, cuando se tenga identificada la línea base de calidad. El procedimiento de recolección de muestras en estructuras de almacenamiento debe asegurar la representatividad de la muestra.

^{b,c} En estos niveles solamente, se recolectan muestras en las fuentes de abastecimiento, a no ser que la inspección sanitaria lo establezca, para la red de distribución.

^d una muestra adicional, por cada 5 000 habitantes.

^e una muestra adicional por cada 10 000 habitantes

Cont. Anexo 1. Leyes y decretos que hacen referencia al recurso hídrico.

CONTENIDO		Pág N°
PODER EJECUTIVO		
Decretos		2
Acuerdos		6
DOCUMENTOS VARIOS		7
TRIBUNAL SUPREMO DE ELECCIONES		
Edictos		27
Avisos		28
CONTRATACIÓN ADMINISTRATIVA		
REMATES		40
INSTITUCIONES DESCENTRALIZADAS		
RÉGIMEN MUNICIPAL		41
AVISOS		42
NOTIFICACIONES		65

PODER EJECUTIVO

DECRETOS

N° 33903-MINAE-S

EL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA
EL MINISTRO DE AMBIENTE Y ENERGÍA
Y LA MINISTRA DE SALUD

De conformidad con los artículos 50 y 140, incisos 3) y 18) de la Constitución Política; 64 y 65 de la Ley Orgánica del Ambiente N° 7554 del 4 de octubre de 1995; 49 de la Ley de Biodiversidad N° 7788 del 30 de abril de 1998; 2ª de la Ley General de Salud N° 5395 del 30 de octubre de 1973; 17 de la Ley de Aguas N° 276 de 27 de agosto de 1943 y 27, inciso 1) de la Ley General de Administración Pública N° 8227 del 2 de mayo de 1978.

Considerando:

1ª—Que la protección del recurso hídrico incide positivamente en la salud humana y los ecosistemas; lo cual es un elemento sustancial para alcanzar el desarrollo sostenible del país.

2ª—Que la calidad de algunos cuerpos de agua superficial del país han sufrido un deterioro progresivo, poniendo en riesgo a las especies originarias de los ecosistemas acuáticos continentales.

3ª—Que dado el grado de contaminación citado en el considerado anterior, se hace imposible, en muchos casos, el uso de esta agua para diferentes fines como lo son el consumo domiciliar, industrial, el riego, la pesca y la recreación.

4ª—Que la calidad de algunos tramos de ríos de Costa Rica puede perjudicar la salud pública de las poblaciones adyacentes.

5ª—Que muchas de las especies originarias de los ecosistemas acuáticos continentales del país están en alto riesgo por la calidad del ambiente acuático.

6ª—Que es necesario definir un control para la contaminación de los cuerpos de agua basado en una clasificación del agua, fundamentada en la prioridad de su uso.

7ª—Que los organismos del bentos son uno de los grupos de vida acuática más representativos de las aguas tropicales, fáciles de muestrear y de identificar.

8ª—Que es imperativo recuperar y conservar la integridad física, química y biológica de los cuerpos de agua superficiales de Costa Rica, con el fin de que estas aguas puedan ser utilizadas para diferentes fines sociales, económicos y ambientales que contribuyan al desarrollo del país, asegurando una mejor calidad de vida para todos sus ciudadanos.

9ª—Que es urgente desarrollar estrategias, con el fin de alcanzar la recuperación y conservación de los cuerpos de agua en función de los diferentes usos definidos en el presente Reglamento y según la clasificación dada a las cuencas respectivas por el organismo encargado.

10.—Que resulta imperativo lograr una mejoría significativa en la calidad del agua que se desemboca en la zona costera. Por tanto,

DECRETAN:

El siguiente:

Reglamento para la Evaluación y Clasificación de la Calidad de Cuerpos de Agua Superficiales

CAPÍTULO I

Aspectos generales

Artículo 1º—**Objetivos.** El presente Decreto tiene como objetivo fundamental reglamentar los criterios y metodología que serán utilizados para la evaluación de la calidad de los cuerpos de agua superficiales y que esta permita su clasificación para los diferentes usos que pueda darse a este bien.

Artículo 2º—**Ámbito de aplicación.** La metodología y criterios de evaluación y clasificación contemplados en este reglamento, se aplicará a todos los cuerpos de agua superficiales del país.

Artículo 3º—**Definiciones.** Se establecen las siguientes definiciones para la mejor interpretación del presente Reglamento:

- ANÁLISIS BIOLÓGICO:** Se refiere a los resultados del análisis microbiológico y de organismos bentónicos.
- BENTOS:** Flora o fauna que vive en el fondo de cualquier ecosistema acuático de agua dulce, salobre o salado. Puede arrastrarse, socavar o mantenerse atado sobre cualquier sustrato.
- CAUDAL ECOLÓGICO:** Caudal de mantenimiento, es el caudal que hay que dejar en un río aguas abajo de cada aprovechamiento de regulación o derivación (modificación del régimen natural) para que se mantenga un nivel admisible de desarrollo de la vida acuática.
- COLIFORME FECAL:** Bacilo gramnegativo no esporulado, que puede desarrollarse en presencia de sales biliares u otros agentes tensioactivos con propiedades similares de inhibición de crecimiento; no tienen citocromo oxidasa y fermentan la lactosa con producción de ácido, gas y aldehído a temperaturas de 44 o 44,5 °C, en un periodo de 24 a 48 horas. También se les designa como Coliformes Termoresistentes o Termotolerantes.
- 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.
- DBO5:** Demanda Bioquímica de Oxígeno, es una medida aproximada de la cantidad de materia orgánica bioquímicamente degradable presente en una muestra de agua, se define por la cantidad de oxígeno requerido por los microorganismos aeróbicos presentes en la muestra para oxidar la materia orgánica a una forma inorgánica estable. Debe ser medido a los cinco días y a 20 grados centígrados.
- DQO:** Demanda Química de Oxígeno, es una medida equivalente al oxígeno requerido para oxidar la materia orgánica, en una muestra de agua que es susceptible a oxidación por un oxidante químico fuerte como el dicromato (en medio ácido y en presencia de una fuente de calor).
- ENTE COMPETENTE:** Ministerio de Ambiente y Energía, (MINAE)
- HABITAT:** Es el espacio físico o lugar de condiciones muy propias. Es el lugar donde vive o el lugar donde se buscaría un organismo.
- MACROINVERTEBRADO BENTÓNICO:** Organismo acuático perteneciente al grupo de los invertebrados que vive adherido al sustrato y con un tamaño tal que puede ser observado sin necesidad de equipo óptico de aumento.

CAPÍTULO II

Clasificación y monitoreo de los cuerpos de agua superficiales

Artículo 4º—**Parámetros físicos-químicos para la clasificación inicial o reclasificación.** Se establecen como parámetros físicos-químicos de análisis requeridos para la clasificación inicial o reclasificación de un cuerpo de agua, el porcentaje de saturación de Oxígeno, la Demanda Bioquímica de Oxígeno y el Nitrogeno Amomiacal, parámetros contemplados en el Índice Holandés de Valoración de la Calidad para los cuerpos de agua superficiales.

Artículo 5º—**Parámetros físicos y químicos complementarios.** Además de los parámetros mencionados en el artículo anterior, se establecen como parámetros físicos, químicos y biológicos de análisis complementario, junto con sus valores, los referidos en el Cuadro 1. Estos parámetros se deberán analizar en aquellos casos en que el Ministerio de Ambiente y Energía o el Ministerio de Salud, lo consideren necesario en resguardo del medio ambiente y/o la salud humana.

Cuadro 1. Parámetros complementarios para la determinación de la calidad de las aguas de cuerpos superficiales para las clases establecidas en el presente Reglamento.

Parámetros Complementarios (Unidades)	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 (mg N/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

Cont. Anexo 1. Leyes y decretos que hacen referencia al recurso hídrico.

Usos	Clase 1	Clase 2	Clase 3	Clase 4	Clase 5
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

Pese a las limitaciones que puedan surgir: se deberá tomar en cuenta el análisis de los parámetros complementarios para su definición.

Artículo 8º.—**De otros usos.** Para cualquier otro uso no especificado en el cuadro anterior o en casos particulares que sean debidamente justificados por el interesado, el Ministerio de Ambiente y Energía podrá definir los usos apropiados a una calidad específica, en tanto se haga la consulta al Comité Técnico de Revisión que se crea en el artículo 21 de este Reglamento, quien emitirá su recomendación al respecto.

Artículo 9º.—**Modificación en la asignación.** Cuando la protección de la Salud Pública y del Medio Ambiente así lo requiera, y con la debida justificación técnica, el Ministerio del Ambiente y Energía podrá modificar la asignación de uso de un cuerpo de agua de una calidad determinada.

CAPÍTULO IV

De la metodología para toma de muestras de agua

Artículo 10.—**Métodos analíticos físico-químicos y microbiológicos.** Para los efectos de este Reglamento, los métodos de referencia para la toma de muestras y para los análisis de aguas superficiales serán los contenidos en la última edición de los "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater", según decreto Nº 25018-MEIC, publicado en el Diario Oficial *La Gaceta* Nº 59 del 25 de marzo de 1996.

CAPÍTULO V

Del monitoreo biológico

Artículo 11.—**Clasificación biológica de la calidad de los cuerpos de agua superficiales.** El presente Reglamento establece como organismos indicadores de la calidad del agua a los grupos representativos de los macro invertebrados bentónicos.

Artículo 12.—**Del responsable del muestreo y del análisis.** El responsable de la toma y el análisis de la muestra de organismos bentónicos deberá ser un profesional en Biología incorporado al Colegio de Biólogos.

Artículo 13.—**Metodología de muestreo.** El presente Reglamento define tres metodologías de muestreo en función de las características físicas de los cuerpos de agua, y una metodología alternativa en caso de duda de los resultados obtenidos, habiendo aplicado las metodologías "a" y "b". Las metodologías son:

- a. Ríos y quebradas con profundidades iguales o menores a 1 metro, y ancho igual o menor a 15 metros.
 - i. Técnica: Red de mano con malla de 500 µm. y apertura de 20 a 25 cm.
 - ii. Zona de muestreo: Diferentes micro-hábitats dentro del río.
 - iii. Mecanismo de muestreo: muestra compuesta de tres sub-muestras con red de mano, cada una recolectada en un tiempo de 5 minutos. El muestreo se realiza con el desplazamiento por los micro-hábitats identificados en el sitio, removiendo el fondo del río y colectando el material removido en la red. En caso de que el volumen de la muestra resulte inmanejable, se podrá proceder a una división aleatoria de la muestra, en la cual cada submuestra será representativa de la muestra total.
 - iv. Preservación de la muestra: con etanol de 96º; preservación de los organismos: en etanol de 70º.
- b. Ríos y quebradas con profundidades mayores a 1 metro, y ancho mayor a 15 metros.
 - i. Técnica: Red de mano con malla de 500 µm. y apertura de 20 a 25 cm.
 - ii. Zona de muestreo: Orillas hasta 1 metro de profundidad, ubicando diferentes micro-hábitats dentro del río, removiendo el fondo del río y colectando el material removido en la red.
 - iii. Mecanismo de muestreo: Muestra compuesta de tres sub-muestras con red de mano, cada una recolectada en un tiempo de 5 minutos. El muestreo se realiza con el desplazamiento por los micro-hábitats identificados en el sitio, removiendo el fondo del río y colectando el material removido en la red. En caso de que el volumen de la muestra resulte inmanejable, se podrá proceder a una división aleatoria de la muestra, en la cual cada submuestra será representativa de la muestra total.
 - iv. Preservación de la muestra: Utilización de etanol de 96º; preservación de los organismos: en etanol de 70º.
- c. Ríos y quebradas de difícil acceso o donde no se pueda utilizar Red de Mano

- i. Técnica: Sustrato artificial consistente en adoquines dentro de mallas de plástico, según el protocolo de muestreo del Apéndice II.
- ii. Número de sustratos por punto de muestreo: 4.
- iii. Distancia entre sustratos: 10 metros.
- iv. Zona de muestreo: Diferentes micro-hábitats dentro del río.
- v. Tiempo de exposición: Mínimo 30 días entre la colocación y la recolección.
- vi. Mecanismo de muestreo: Recolección de los sustratos artificiales, limpieza y concentración del material (ver protocolo de muestreo).
- vii. Preservación de la muestra: Utilización de etanol de 96º; preservación de los organismos: en etanol de 70º.

En caso de duda de los resultados del muestreo realizado con las metodologías "a" y "b", se deberá recurrir al método de la colecta directa, basado en el muestreo manual con pinzas, por un tiempo de 120 minutos. Se hace una colecta de todo tipo de sustratos encontrados en los diferentes micro-hábitats, tales como piedras, hojarasca, madera. Con los sustratos de gran tamaño, se podrán recolectar los organismos directamente haciendo uso de las pinzas y con los sustratos pequeños (piedras pequeñas, hojas por ejemplo), se colocarán dentro de una bandeja blanca, de fondo plano que contiene agua a un nivel que apenas cubra la superficie del fondo. Los organismos en la bandeja con agua, empezarán a moverse, lo que facilita su observación y recolección. Todos los organismos recolectados se colocan en un vial con alcohol de 70º, debidamente rotulado.

Artículo 14.—**Del análisis de las muestras bentónicas.** Para el análisis de las muestras de organismos macro invertebrados bentónicos se deberá seguir la metodología establecida en la última edición de los "Rapid Assessment Biological Protocols" de la Agencia de Protección Ambiental (EPA) de los Estados Unidos de América.

Artículo 15.—**De la identificación de los organismos bentónicos.** Todos los organismos bentónicos recolectados deberán ser identificados hasta el máximo nivel taxonómico posible. El mínimo nivel que se aceptará es el de familia, con excepción del Filo Arnelida.

Artículo 16.—**Presentación de los resultados bentónicos.** Los resultados del análisis de las muestras de organismos bentónicos deberán ser presentados en forma cuantitativa y cualitativa, detallando:

- a. Lista taxonómica de los organismos encontrados
- b. Número total de organismos – Abundancia
- c. Número total de taxa – Riqueza biológica
- d. Valor de Índice Biológico: BMWP-CR ("Biological Monitoring Working Party" modificado para Costa Rica), calculado con base en la Metodología descrita en el Apéndice III.

Artículo 17.—**De la colección de las muestras biológicas.** Todas las muestras biológicas recolectadas en los monitoreos deberán ser entregadas al Museo de Zoología de la Escuela de Biología de la Universidad de Costa Rica o al Museo Nacional.

CAPÍTULO VI

De los resultados

Artículo 18.—**Acerca del contenido de los reportes de calidad.** Los reportes de calidad de aguas superficiales deberán contener la información solicitada en el protocolo de campo del Apéndice IV y los resultados de los Índices Físico-Químico y Biológico.

Artículo 19.—**Determinación de la calidad del agua.** La calidad físico-química y biológica de un cuerpo de agua superficial se establecerá haciendo uso del Índice de Clasificación Holandés de Valoración y el Índice Biológico (BMWP-CR).

Artículo 20.—**Compatibilidad en los resultados de los índices.** En aquellos casos en que el valor del Índice de Clasificación Holandés y el valor del Índice Biológico presenten una diferencia de más de una clase entre ellos, el muestreo se deberá repetir por una vez, en un periodo no mayor a 30 días naturales. En caso de que se mantenga la diferencia de clases se clasifica en la de menor calidad.

Cont. Anexo 1. Leyes y decretos que hacen referencia al recurso hídrico.

CAPÍTULO VII

De las competencias

Artículo 21.—**Comité Técnico de Revisión.** Créase el Comité Técnico de Revisión del Reglamento para la Evaluación y Clasificación de la Calidad de los Cuerpos de Agua Superficiales, el cual estará integrado por un máximo de dos representantes, titular y suplente, y de orientación técnica afin al contenido del presente Reglamento, cada uno de ellos proveniente de las siguientes instituciones:

- Ministerio de Ambiente y Energía
- Ministerio de Salud
- Ministerio de Agricultura y Ganadería
- Representación de los Gobiernos Locales a través del IFAM
- Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados
- Otros Entes administradores de Alcantarillado Sanitario (EAAS)
- Instituto Costarricense de Electricidad
- Consejo Nacional de Rectores
- Colegio de Químicos de Costa Rica
- Colegio de Microbiólogos y Químicos Clínicos de Costa Rica
- Colegio de Biólogos de Costa Rica
- Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos
- Unión Costarricense de Cámaras y Asociaciones de la Empresa Privada
- Cámara de Agricultura y Agroindustria
- Organizaciones no Gubernamentales

Artículo 22.—**Funciones Comité Técnico de Revisión.** Serán funciones del Comité Técnico de Revisión:

- Asesorar a las entidades competentes en todo lo relativo a la aplicación de este Reglamento.
- Revisar y proponer modificaciones al presente Reglamento.
- Deliberar, proponer y justificar técnicamente la incorporación de parámetros adicionales al Índice Físico-Químico de Clasificación para los Cuerpos de Agua Superficiales.

La organización interna de este comité se regirá según lo contemplado en los artículos 49 y siguientes de la Ley General de la Administración Pública.

Artículo 23.—**Ente competente.** El Ministerio de Ambiente y Energía en coordinación con el Ministerio de Salud, será el responsable de:

- Aplicar el presente Reglamento
- Mantener a disposición de cualquier interesado las actualizaciones de los métodos, parámetros e índices incluidos en el presente Reglamento.
- Disponer y resolver sobre el dominio, aprovechamiento, utilización, gobierno o vigilancia de las aguas de dominio público.
- Coordinar y buscar financiamiento para la realización de los análisis científicos que sean necesarios para lograr la clasificación y re-clasificación programadas.
- Realizar las acciones necesarias para que la evaluación y clasificación de los cuerpos de agua sea informado y difundido a todas las instancias responsables de toma de decisiones, relacionadas con el recurso hídrico.
- Convocar y coordinar al Comité Técnico de Revisión del Presente Reglamento con una periodicidad no mayor de tres años.

CAPÍTULO VIII:

Disposiciones finales

Artículo 24.—**Vigencia.** Rige a partir de su publicación.

Transitorio único.—Dentro del plazo de un año a partir de la publicación del presente Reglamento, el Comité Técnico Revisor deberá considerar otros parámetros adicionales para incorporar al Índice Físico-Químico de Clasificación para los Cuerpos de Agua Superficiales en el que considere los parámetros más representativos del cuadro 1, con el fin de lograr un Índice que permita evaluaciones con resultados más realistas sobre la calidad hídrica del recurso.

APÉNDICE I

METODOLOGÍA DEL SISTEMA HOLANDÉS DE VALORACIÓN DE LA CALIDAD FÍSICO-QUÍMICA DEL AGUA

El Sistema Holandés de Clasificación para la Calidad del Agua permite trasladar información de concentraciones de las variables de mayor importancia en la valoración de la contaminación orgánica en una corriente de agua, como es la Demanda Bioquímica de Oxígeno, el Nitrógeno Amoniacal y el Oxígeno disuelto convertido en Porcentaje de saturación de Oxígeno por medio del Oxígeno Real *In Situ* y el valor teórico dado por la temperatura y la presión atmosférica en el sitio de estudio, a un código de colores asignado a cada clase.

Este modelo de clasificación desde el punto de vista espacial, permitirá situar a un tramo particular del río, en una clasificación específica y temporalmente dependiente, ya que la clasificación obtenida en época lluviosa no se corresponderá con la observada durante el estiaje. El organismo competente a su vez deberá definir la época en la cual tendrán que realizarse las clasificaciones, así como garantizar la permanencia en el cauce de un caudal ecológico.

Para clasificar un agua superficial se requiere sumar los puntos correspondientes en cada uno de los ámbitos respectivos, de cada una de las variables de acuerdo al siguiente cuadro.

Cuadro 3. Cuadro de asignación de puntajes según el Sistema Holandés de Valoración de la Calidad Físico-Química del Agua para cuerpos receptores.

PUNTOS	PSO (%)	DBO (mg/L)	N-NH ⁴ (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

* Nitrógeno amoniacal

PSO: Porcentaje de Saturación de Oxígeno Disuelto, O.D. Se obtiene de la relación entre el O.D. real obtenido en el sitio de medición y el O.D. teórico correspondiente a la condición de agua limpia a la presión atmosférica y la temperatura en el mismo sitio de medición.

DBO₅: Demanda Bioquímica de Oxígeno, obtenida en condiciones estándar de 20°C e incubación durante 5 días.

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 siguiente cuadro. 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.

Cuadro 4. Cuadro de asignación de clases de calidad del agua según el Sistema Holandés de codificación por colores, basado en valores de PSO, DBO y nitrógeno amoniacal.

Clase	Sumatoria de puntos	Código de Color	Interpretación de Calidad
1	3	Azul	Sin contaminación
2	4 - 6	Verde	Contaminación incipiente
3	7 - 9	Amarillo	Contaminación moderada
4	10 - 12	Anaranjado	Contaminación severa
5	13 - 15	Rojo	Contaminación muy severa

APÉNDICE II

METODOLOGÍA DE LOS SUSTRATOS ARTIFICIALES

1. Colocación y Tiempo de Exposición

- En cada estación de muestreo se coloca un juego de sustratos artificiales consistente en cuatro adoquines, cada uno dentro de una malla de plástico suave; las medidas de los adoquines son 0,1 m de alto, 0,2 m de largo y 0,08 m de ancho lo que representa un área total de 0,088 m²/adoquín.
- Los sustratos artificiales se ubican en el lecho del canal o quebrada, atados unos a otros por medio de una cuerda no degradable y con una distancia mínima de 10 m uno del otro.
- C)Este juego de sustratos permanece dentro del agua por un periodo de un mes antes de su recuperación.

2. Colecta

- Se recupera el conjunto malla-adoquín del agua de forma rápida y segura, depositándolo inmediatamente en un contenedor plástico.
- Se extrae el adoquín de la malla plástica y se limpia suavemente con un cepillo o brocha de cerdas suaves.
- Se limpia la malla agitándola vigorosa pero cuidadosamente en el agua contenida en el contenedor, hasta que todos los organismos que se encontraban adheridos a la superficie se depositen en el contenedor.
- Posterior al lavado del sustrato, cada una de las muestras resultantes se hace pasar por un filtro de malla de 250 µm, dentro del cual se lava para eliminar todo el material particulado fino.
- El material retenido en la malla luego del lavado se trasvasa a un recipiente plástico de 500 ml y se preserva con etanol al 96% (puro).

APÉNDICE III

ÍNDICE BMWP-CR

El BMWP-CR (*Biological Monitoring Working Party modificado para Costa Rica por Astorga, Martínez, Springer y Flowers*) es un índice que se calcula sumando las puntuaciones asignadas a los distintos taxones encontrados en las muestras de macro invertebrados y que se citan en el listado del Cuadro 5. La puntuación se asigna en función del grado de sensibilidad a la contaminación.

Cont. Anexo 1. Leyes y decretos que hacen referencia al recurso hídrico.

Cuadro 5. Puntajes para las familias identificadas en Costa Rica.

9	O D E P T	Polythoridae Blepharicidae; Athericidae Heptageniidae Perlidae Lepidostomatidae; Odontoceridae; Hydrobiosidae; Ecnomidae
8	E O T B	Leptophlebiidae Cordulegastriidae; Corduliidae; Aeshmidae; Perlodidae Limnephilidae; Calamoceratidae; Leptoceridae; Glossosomatidae Blaberidae
7	C O T Cr	Philodactylidae; Psephenidae; Lutrochidae Gomphidae; Lestidae; Megapodagrionidae; Protonetidae; Platystictidae Philopotamidae Talitridae; Gammaridae
6	O M T E	Libellulidae Corydalidae Hydrophilidae; Polycentropodidae; Xiphocentronidae Euthyplocidae; Isonychidae
5	L T C E Cr Tr	Pyralidae Hydropsychidae; Helicopsychidae Dryopidae; Hydraenidae; Elmidae; Limnichidae Leptohyphidae; Oligoneuridae; Polymatarcyidae; Baetidae Crustacea Turbellaria
4	C D H O E Hi	Chrysomelidae; Curculionidae; Haliplidae; Lampyridae; Staphylinidae; Dytiscidae; Gyrinidae; Scirtidae; Noteridae Dixidae; Simuliidae; Tipulidae; Dolichopodidae; Empididae; Muscidae; Sciomyzidae; Ceratopogonidae; Stratiomyidae; Tabanidae Belostomatidae; Corixidae; Naucoridae; Pleidae; Nepidae; Notonectidae Calopterygidae; Coenagrionidae Caenidae Hidracarina
3	C D Mo A Cr	Hydrophilidae Psychodidae Valvatidae; Hydrobidae; Lymnaeidae; Physidae; Planorbidae; Bithyniidae; Bythynellidae; Sphaeriidae Harudinea; Glossiphoniidae; Harudidae; Erpobdellidae Asellidae
2	D	Chironomidae; Culicidae; Ephydriidae
1	D A	Syrphidae Oligochaeta (todas las clases)

Nota: D: Diptera; E: Ephemeroptera; P: Plecoptera; T: Trichoptera; O: Odonata; C: Coleoptera; M: Megaloptera; H: Hemiptera; L: Lepidoptera; B: Blattodea; Tr: Tricladida; Cr: Crustacea; A: Annelida; Mo: Molusco.

La clasificación de las aguas según este índice adquiere valores comprendidos entre 0 y un máximo indeterminado que, en la práctica no suele superar 200.

En función de este puntaje se establecen 6 niveles de Calidad para el Agua (los dos primeros pertenecen al grupo de aguas no contaminadas).

Cuadro 6. Clasificación de la Calidad del Agua en Función del Puntaje Total Observado

NIVEL DE CALIDAD	BMP*	Color Representativo
Agua de calidad excelente	<10	Azul
Agua de calidad buena, no contaminada o no afectada de manera sensible	10-150	Azul
Agua de calidad regular, sana, contaminación moderada	81-500	Verde
Agua de calidad mala, contaminada	16-60	Amarillo
Agua de calidad mala, muy contaminada	16-33	Naranja
Agua de calidad muy mala, contaminación contaminada	<15	Rozo

APENDICE IV
PROTOCOLO DE CAMPO DEL MUESTREO
1. Localización.
2. Municipalidad.
3. Nombre del cuerpo de agua.
4. Sitio de muestreo.

5. Hoja Cartográfica:
6. Función (uso) del curso de agua/sitio de muestreo:
7. Responsable del muestreo:
8. Fecha:
9. Hora:
10. Tipología del curso de agua
 - A. Tipo: curso inicial-medio-bajo-desembocadura.
 - B. Río/quebrada (tierra baja, montaña), canal, estanques, laguna, lago, otros _____.
 - C. Ancho: _____ m. Profundidad: _____ m. Pendiente: _____.
 - D. Velocidad del agua: rápido, moderado, lento, estancado (_____ m/s).
 - E. Nivel de agua en función de: marea, precipitación, estación de bombeo, inundación _____.
 - F. Estructura del banco: natural, pedregoso, gavión, crecimiento a través de piedras, concreto _____.
 - G. Tipo de sustrato: concreto (____%), piedras-arena gruesa (____%), arena (____%), arcillo-lodoso (____%), limoso (____%).
 - H. Condición del sustrato: limpio, cubierto con material orgánico, precipitación de lodo o sedimento.
 - I. Presencia de materia orgánica: Si _____ No _____.
a) Descripción del tipo de materia orgánica: Paquetes de hojarasca, particulado fino.
 - J. Trabajos de ingeniería: canalizado, regulado, extracción de material _____.
- Vegetación**
 - K. Exposición: abierta, semi-abierta, cubierta (____% de superficie iluminada).
 - L. Vegetación tica: _____.
 - M. Vegetación en el banco: _____.
11. **Ambiente en los alrededores:** agrícola, industrial, residencial, otros.
 - Estado de la contaminación.**
 - A. Caracterización visual: ninguna, mediana, moderada, contaminada, muy contaminada.
 - B. Presencia de: desechos orgánicos, espumas, aceites, organismos muertos, desechos sólidos.
 - C. Fuentes de contaminación: doméstica, industrial, agrícola, otras.
 - D. Presencia de peces: _____.
 - E. Observación personal: _____.
 - F. Referencia: _____.
 - G. Color del agua: _____ Olor: _____.
 - H. Transparencia: clara, turbia, muy turbia, no transparente (_____ cm. Secchi).
12. **Muestreo.**
 - A. **Técnica de muestreo:**
 - I. Red de mano: _____.
 - II. Sustrato Artificial: _____.
12.A.II.1. Número de muestras: _____ Tiempo de exposición: _____
12.A.II.2. Fecha de instalación: _____ Fecha de recolección: _____.
 - III. Draga: _____.
12.A.III.1. Número de muestras: _____.
 - B. **Condiciones ambientales:**
 - I. Antes del muestreo: _____.
 - II. Durante el muestreo: _____.
 - C. **Otros comentarios:** _____.

13. **Figura del sitio de muestreo:** (Hacer el croquis del sitio de muestreo)

Dado en la Presidencia de la República, a los nueve días del mes de marzo del dos mil siete.

ÓSCAR ARIAS SÁNCHEZ.—El Ministro del Ambiente y Energía, Roberto Dobles Mora, La Ministra de Salud, María Luisa Ávila Agüero.—1 vez.—(Solicitud N° 38781).—C-42759000.—(D33903-79174).

Fuente: Gobierno de Costa Rica. 1942. **Ley de aguas.** #276. 46p. Gobierno de Costa Rica. 1953. **Ley de Agua Potable.** #1634. 3p.
Gobierno de Costa Rica. Gobierno de Costa Rica. 1996. **Ley Forestal.** #7575. 28p. Gobierno de Costa Rica. 1998. **Decreto, uso, manejo y conservación de suelos.** #7779.10p. Gobierno de Costa Rica. 1998. **Ley de Biodiversidad.** #7788. 36p. Gobierno de Costa Rica. 2005. **Decreto N° 32327-S.** 4p. Gobierno de Costa Rica. 2007. **Decreto N° 33903-MINAE-S.** 5p.



Anexo 2

MINISTERIO DE AMBIENTE Y ENERGÍA

SISTEMA NACIONAL DE ÁREAS DE CONSERVACIÓN
ÁREA DE CONSERVACIÓN CORDILLERA VOLCÁNICA CENTRAL

SUBREGIÓN _____ Nº Oficio _____

Formulario 1.3

Ubicación y caracterización de los manantiales

A. Fecha: Hora Inicio:..... Final:.....

B. Datos recolectados por:

C. Nombre de los acompañantes:

D. Número de la naciente: Nombre de la naciente:

E. Coordenadas Lambert: Vertical: Horizontal:.....Hoja cartográfica:

F. Altitud:.....m.s.n.m. Rumbo:.....grados. Distancia: Error:.....

G. Lugar visitado: _____
Provincia Cantón Distrito Caserío

Dirección exacta

H. Naciente: Captada () No captada ()

I. Uso Actual del Agua: Consumo Humano () Agropecuario () Agroindustrial () Riego () Industrial () Comercial () Otro: _____

J. Concesionada: SI () NO () En trámite () Nº concesión: _____

K. ¿A quién pertenece el terreno donde se ubica la naciente?

ASADAS () Municipalidad () Privados () Gobierno () Especifique:

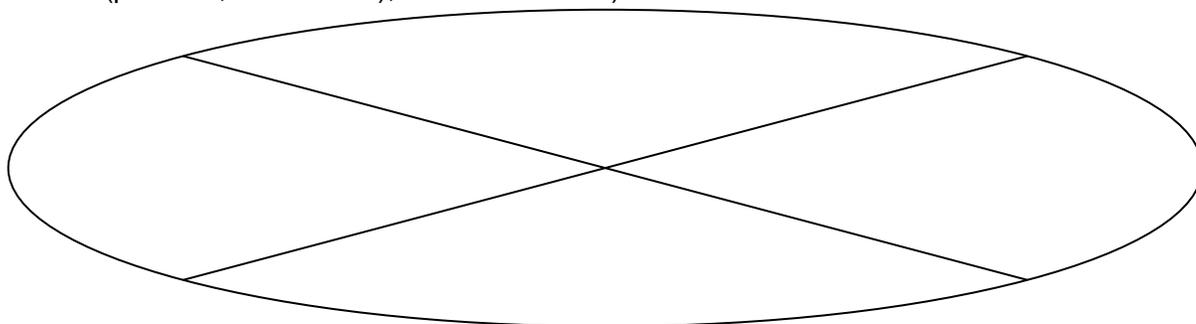
L. ¿Quién administra el agua de esta naciente?

ASADAS () Municipalidad () Privados () Gobierno () Especifique:

M. Abastece al poblado de: Número de abonados:

N. Dirección del flujo de agua de la naciente: De..... a.....

Ñ. Determine la distancia de la naciente a cultivos, bosque, pasto, infraestructura u otros, dentro de los 100 metros de radio. Especifique el uso (café, caña, helechos, chile, bosque (primario, secundario), tacotal o charral).



O. Otros propietarios dentro del radio de 100 metros de la naciente: Si () No ()

Norte: -----

Sur: -----

Este: -----

Oeste: -----

P. ¿En qué condición se encuentra la captación de la naciente?

() MUY BUENO (Malla de protección con candado, con tapa, candado en la tapa, captación de cemento, sin fugas, pintada, caudal ecológico, desviación de aguas pluviales, rotulación preventiva y de vigilancia, área alrededor limpia de basura)

() BUENO (Con tapa, candado en la tapa, captación de cemento, sin fugas, desviación de aguas pluviales)

() REGULAR (Con tapa, captación de cemento)

() MALO (Captación rústica sin seguridad)

Q. La Naciente presenta riesgo de:

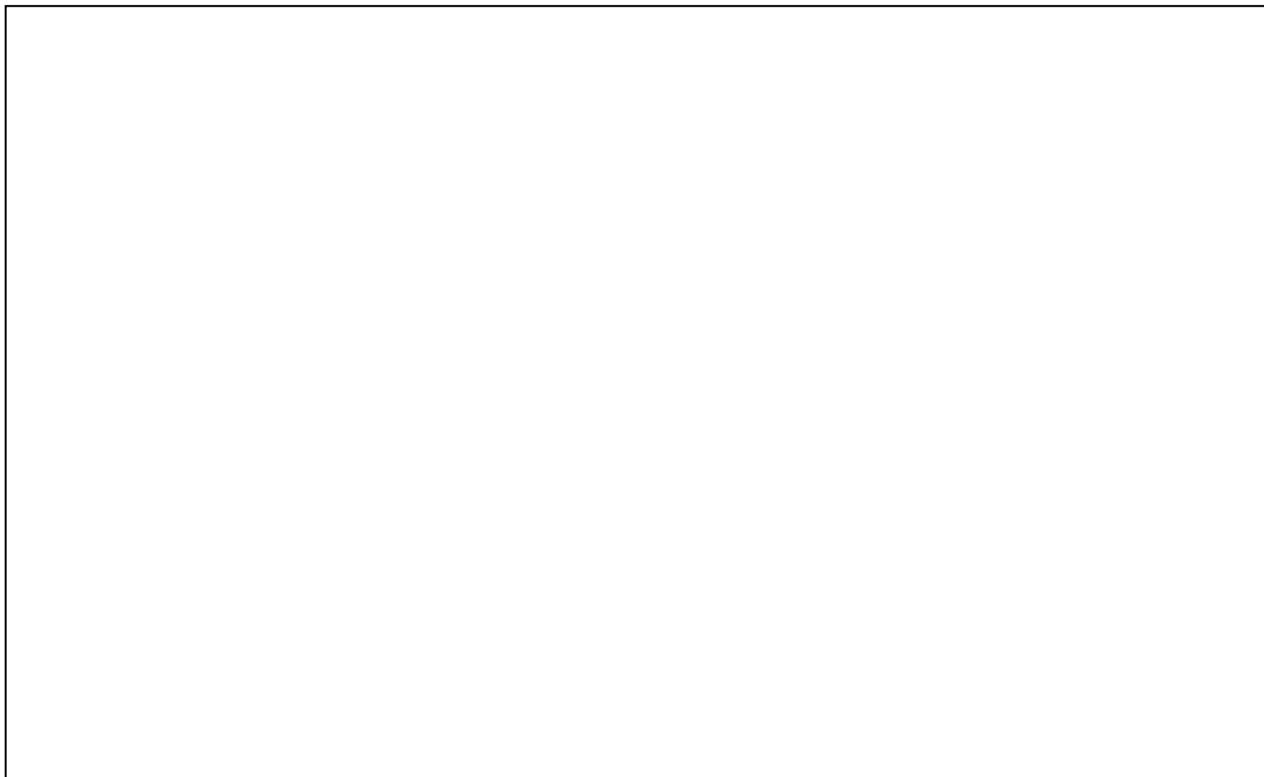
Inundación () Derrumbes () Avalanchas () Contaminación () Erupciones volcánicas ()

Otros _____

R. Especies forestales presentes:

S. Sugerencias o comentarios

T, Croquis de Ubicación.



Anexo 3. Fotos de caracterización de Nacientes.

Anexo 3. Fotos de caracterización de Nacientes.



Foto 1. Toma de datos de la captación



Foto 2. Captación de la Asada de Cariblanco.

Cont. Anexo 3. Fotos de caracterización de Nacientes.



Foto 3. Inspección de la Naciente de la Virgen (tipo de captación Bueno).



Foto 4. Caracterización de la Naciente Murillo (tipo de captación Bueno).

Cont. Anexo 3. Fotos de caracterización de Nacientes.



Foto 5. Toma de agua de la Naciente 3 de la Llorona (Mala)



Foto 6. Infraestructura de captación en la naciente San Miguel (Muy Buena)

Anexo 5. Fotografías del proceso de colecta de muestras bacteriológicas y físico-químicas de las nacientes en el proyecto.



Foto 1. Hielera para transportar los análisis bacteriológicos.



Foto 2. Recipiente para análisis bacteriológicos.

Cont. Anexo 5. Fotografías del proceso de colecta de muestras bacteriológicas y físico-químicas de las nacientes en el proyecto.



Foto 3. Hielera para transportar los análisis FQ. (1y2)



Foto 4. Limpieza de recipiente FQ1.

Cont. Anexo 5. Fotografías del proceso de colecta de muestras bacteriológicas y físico-químicas de las nacientes en el proyecto.



Foto 5. Muestra de agua para análisis FQ1.



Foto 6. Colecta de muestra de agua para análisis FQ2.

Cont. Anexo 5. Fotografías del proceso de colecta de muestras bacteriológicas y físico-químicas de las nacientes en el proyecto.



Foto 7. Colecta de muestra de agua en una naciente no captada.

Anexo 6. Datos de las estaciones del Instituto Metereológico Nacional y valores del factor R.

NOMBRE	PERIODO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	P ANUAL	P MENSUAL	(PM) ²	FACT R
PTO VIEJO	1975-2003	244	145	112	93	387	352	372	389	397	435	401	366	3694	435	189399	51
VARA BLANCA	1970-1988	228	131	94	127	328	380	380	408	378	438	422	394	3707	438	191932	52
SAN MIGUEL	1960-2006	360	238	177	209	367	448	541	490	399	463	493	458	4642	493	242753	52
CHILAMATE	1966-1971	297	186	194	326	334	451	470	556	467	354	448	602	4684	602	362043	77
CHATO	1978-1984	570	378	276	325	471	559	797	677	513	764	770	615	6714	797	635050	95
LOS LLANOS	1958-1985	154	112	73	102	213	381	403	356	310	340	334	280	3057	403	162328	53
LA SELVA	1995-2006	290	245	175	194	484	435	467	372	275	382	393	489	4202	489	238632	57
RIO ANGELES	1978-1990	311	198	179	192	416	518	489	558	480	567	457	398	4763	567	321943	68
SABALO	1973-2003	317	181	102	99	303	468	478	479	456	508	438	463	4291	479	229441	53
PITAL	1973-2006	159	117	91	108	276	383	423	372	317	338	327	268	3177	423	178506	56
TIRIMBINA	1977-2000	240	183	154	167	334	424	544	463	376	406	359	345	3993	544	295827	74
BOCA TAPADA	1995-2002	321	163	97	142	288	427	491	398	287	343	443	396	3796	491	240786	63
CERRO ZURQUI	1989-1993	458	340	463	342	513	385	650	548	52	583	648	753	5735	753	566557	99
QUEB. GONZALEZ	1988-1993	312	274	373	382	756	762	850	804	744	711	613	583	7162	850	721990	101
RIO CUARTO	1995-2006	309	176	127	193	404	458	473	447	337	389	469	446	4226	473	223351	53
AGROVERDE	1996-2006	429	263	172	179	515	557	539	480	429	474	582	516	5134	582	339073	66
LA REBUSCA	1999-2006	396	216	174	180	333	452	438	355	248	337	447	493	4068	493	243345	60
LA MOLA	1980-2006	296	197	158	197	421	374	472	417	282	343	401	439	3996	472	223067	56
TICABAN	1995-2004	248	215	165	210	457	400	485	428	219	383	551	582	4344	582	338840	78
FRAIJANES	1976-2006	116	68	62	123	393	414	332	369	493	495	305	169	3339	495	245322	73
LA LUISA	1963-2006	14	8	12	66	353	455	326	456	548	545	236	42	3061	548	300414	98
VOLCAN POAS	1971-1991	190	102	70	105	370	420	364	446	463	436	375	286	3628	463	214276	59
LA GIRALDA	1998-06	239	109	69	117	437	410	308	295	509	527	426	248	3694	527	277308	75

Anexo 7. Datos de las muestras de suelo de las fincas sometidas a reforestación bajo el Programa de Fundecor y valores del factor K para cada Gran Grupo de Suelo.

Nombre Finca	Tipo de suelo	Tipo de suelo	pH	Arena	Arcilla	Limo	MO	Arena Fina	Arena muy Fina	Variable b	Variable c	Factor K	Gran Grupo
Agropecuaria Río Peje	U008	Arcilloso	4.8- 5	6.6	80	13.4	3.75	4.04	2.56	2	3	0.01239667	HUMITROPEPT
Arboleda la Esperanza	I069	Franco Arenoso	5.3- 5.9	54.76	33.25	11.98	12.09	44.24	10.52	3	3	0.10275412	DYSTROPEPT
Arnobio Sánchez	I057	Arcilloso	4.3- 4.9	6.85	80.15	13	4.66	4.19	2.66	2	3	0.01166323	TROPOHUMULT, TROPAQUEPT
Buena Ceba	U008	Arcilloso	4.3- 4.7	2.45	80.82	16.72	3.83	1.5	0.95	2	3	0.01314433	HUMITROPEPT,DYSTRANDEPT
Carlos Herra	I071	Arcilloso	4.8- 5.4	13.68	71.2	14.1	3.39	7.73	5.95	3	3	0.05949598	DYSTROPEPT
Elida Castro	I071	Arcilloso	4.6- 5.4	13	70.16	15	6	7.73	5.95	3	3	0.05758337	DYSTROPEPT
Elisinio Flores	I069	Arcilloso	4.81- 5.85	13.58	72	16.15	6.29	7.73	5.95	3	3	0.05758337	DYSTROPEPT
Fabio Molina	I083	Arcilloso	4.6- 5	9.1	64.7	26.2	9.08	5.8	3.3	2	2	0.07127746	TROPOHUMULT
Finca Pan Bon	U008	Arcilloso	4.5- 4.7	5	76.25	18.75	3.59	3.06	1.94	2	3	0.02066516	DYSTRANDEPT
Finca Plywood	I071-U009	Franco Arenoso	4.64- 5.39	40.22	32.19	27.58	4.95	32.49	7.73	2	3	0.11956045	TROPOHUMULT, TROPAQUEPT
Hansy Rodríguez	U008	Franco Arcilloso	4.1- 5.4	23.71	55.46	20.81	5.3	18.6	5.11	2	3	0.05205092	DYSTRANDEPT,HUMITROPEPT
Hermanas Gamboa	U007	Franco Arenoso	4.78- 5.57	61.18	28.78	10.03	10.33	52.98	8.2	2	3	0.05950759	DYSTRANDEPT,DYSTROPEPT
Isaías Arguedas	B	Franco	5- 5.3	25	10	65	4.19	20	5	3	2	0.41771145	HYDRANDEPT
Juvenal Vargas	I069	Franco Arenoso	5.4- 5.6	61.05	18.35	20.9	7.36	52.87	8.18	2	3	0.11842324	DYSTRANDEPT,HUMITROPEPT
Manuel Moya	U008	Arcilloso	5.6- 5.7	10.82	70.9	18.25	2.42	8.73	2.09	3	3	0.06160334	DYSTROPEPT
Mayela Pérez	U009	Arcilloso	4.6- 4.8	5.74	78.64	15.61	3.5	3.51	2.23	2	3	0.01563053	TROPAQUEPT

FACTOR K PROMEDIO	GRAN GRUPO
0.057583369	EUTROPEPT
0.119560452	TROPOFIBRIST
0.10275412	TRPORTHENT
0.119560452	TROPODULT
0.417711445	VITRANDEPT
0.049003790	HUMITROPEPT
0.066421294	DYSTROPEPT
0.067500382	TROPOHUMULT
0.005953418	TROPAQUEPT
0.052758248	DYSTRANDEPT
0.119560452	TROPAQUEPT
0.417711445	HYDRANDEPT

Anexo 8. Valores asignados al Factor C.

Categoría	Factor C
Agua Río	1
Agua Lago	0.001
Banano	0.3
Borde Nubes	1
Bosque	0.001
Bosque Intervenido	0.003
Bosque Secundario	0.006
Otros Cultivos	0.4
Café	0.3
Café +Sombra	0.12
Caña	0.5
Reforestación	0.07
Charral	0.15
Nubes	1
Palma	0.3
Palmito	0.3
Pasto	0.3
Piña	0.5
Pasto+Árboles	0.15
Zarán	0.01
Sombra de Nubes	1
Suelo Desnudo	1
Suelo Desnudo/Cultivo reciente	1
Urbano	1
Urbano/Rural	0.2

Tomado de: 1) David, 1987, for watersheds in the Philippines. 2) Data from Roose, 1977. 3) Data from Margolis and Campos Filho, 1981, for Pernambuco, Brazil. 4) Data from Leihner et al., 1996, for Cauca, Colombia todos en FAO 2001.

Anexo 9. Valores del Factor P.

Categoría	Factor P
<i>Agua Río</i>	0.001
<i>Agua Lago</i>	0.001
<i>Banano</i>	0.7
<i>Borde Nubes</i>	1
<i>Bosque</i>	0.001
<i>Bosque Intervenido</i>	0.001
<i>Bosque Secundario</i>	0.001
<i>Otros Cultivos</i>	0.5
<i>Café</i>	1
<i>Café +Sombra</i>	1
<i>Caña</i>	0.7
<i>Reforestación</i>	0.001
<i>Charral</i>	0.001
<i>Nubes</i>	1
<i>Palma</i>	0.7
<i>Palmito</i>	0.7
<i>Pasto</i>	0.5
<i>Piña</i>	0.7
<i>Pasto+Árboles</i>	0.5
<i>Zarán</i>	0.001
<i>Sombra de Nubes</i>	1
<i>Suelo Desnudo</i>	1
<i>Suelo Desnudo/Cultivo reciente</i>	1
<i>Urbano</i>	1
<i>Urbano/Rural</i>	1

Tomado de Wischmeier & Smith, 1978.

Anexo 10.

Datos Caracterización de las nacientes captadas y no captadas de la cuenca del Río Sarapiquí.

Naciente	Situación	ELEVATION	NUMERO	PROVINCIA	CANTÓN	DISTRITO	CASERIO	ERROR	ALTITUD	ABONADOS	DIRECCIÓN	USO DEL AGUA	PROPIETARIO
Altar	Captada	474	5	Heredia	Sarapiquí	Horquetas	Cujubuquí	7m	474	3200	Cujubuquí	Consumo Humano	Rogelio González
Caobillas	Captada	461	6	Heredia	Sarapiquí	Horquetas	Cujubuquí	8m	461	3200	Cujubuquí	Consumo Humano	Rogelio González
Cariblanco	Captada	1099	1	Alajuela	Central	Sarapiquí	Cariblanco	4m	1099	310	Finca Romana	Consumo Humano, Industrial, Agro, Comercial, Riego	Gobierno
Colmena 1	Captada	427	1	Heredia	Sarapiquí	Horquetas	Cujubuquí	5m	427	3200	Cujubuquí	Consumo Humano	Rogelio González
Colmena 2	Captada	429	2	Heredia	Sarapiquí	Horquetas	Cujubuquí	6m	432	3200	Cujubuquí	Consumo Humano	Rogelio González
Colmena 3	Captada	432	3	Heredia	Sarapiquí	Horquetas	Cujubuquí	6m	432	3200	Cujubuquí	Consumo humano	Rogelio González
Cristo Rey 1	Captada	103	1	Heredia	Sarapiquí	Pto Viejo	Cristo Rey	5m	75	102	Carretera la virgen, frente entrada CR	Consumo Humano	Familia Alfaro
Cristo Rey 2	No captada	75	2	Heredia	Sarapiquí	Pto Viejo		5m	75	n/a	Carretera la Virgen	n/a	Familia Alfaro
Delia 1	Captada	51	1	Heredia	Sarapiquí	Pto Viejo	La Delia	6m	51	30	En la Delia	Consumo Humano	Álvaro Paniagua
Delia 2	Captada	54	2	Heredia	Sarapiquí	Pto Viejo	La Delia	6m	54	30	En la Delia	Consumo Humano	Álvaro Paniagua
El Tucán	Captada	598	1	Heredia	Sarapiquí	Horquetas	Cujubuquí	7m	600	3200	Cujubuquí	Consumo Humano	P.N. Braulio
Estero grande 1 (Tres Rosales 1)	Captada	97	1	Heredia	Sarapiquí	Pto Viejo	Estero Grande	6m	86	86	2 Km. Antes de Estero Grande	Consumo humano	Franklin Arias
Estero grande 2 (Tres Rosales 2)	Captada	74	2	Heredia	Sarapiquí	Pto Viejo	Estero Grande	4m	75	86	2 Km. Antes de Estero Grande	Consumo Humano	Franklin Arias
Gallo	Captada	435	7	Heredia	Sarapiquí	Horquetas	Horquetas	7m	435	3200	Finca Privada	Consumo Humano	Asada
Gemelas	Captada	495	4	Heredia	Sarapiquí	Horquetas	Cujubuquí	6m	495	3200	Cujubuquí	Consumo Humano	Rogelio González
Guácimo	Captada	95	1	Heredia	Sarapiquí	Pto Viejo	Pto Viejo	5.5m.	84	800	OET	Consumo Humano	OET
Guácimo 2	No captada	117	2	Heredia	Sarapiquí	Pto Viejo		5m	117	n/a	oet	n/a	OET
Huetares 1	Captada	376	1	Heredia	Sarapiquí	Horquetas	Esperanza	6m	379	300	Esperanza	Consumo Humano	Asada

Cont. Anexo 10.

Datos Caracterización de las nacientes captadas y no captadas de la cuenca del Río Sarapiquí.

<i>Naciente</i>	<i>Situación</i>	<i>ELEVATION</i>	<i>NUMERO</i>	<i>PROVINCIA</i>	<i>CANTÓN</i>	<i>DISTRITO</i>	<i>CASERIO</i>	<i>ERROR</i>	<i>ALTITUD</i>	<i>ABONADOS</i>	<i>DIRECCIÓN</i>	<i>USO DEL AGUA</i>	<i>PROPIETARIO</i>
Huetares 2	Captada	381	2	Heredia	Sarapiquí	Horquetas	Esperanza	7m	382	300	Esperanza	Consumo Humano	Asada
José León	Captada	357	8	Heredia	Sarapiquí	Horquetas	Horquetas	5m	357	3200	Finca Privada	Consumo Humano	Asada
La Virgen	Captada	485	2	Heredia	Sarapiquí	La Virgen	San Ramón	5m	485	1465	pend	Consumo Humano	Familia Guido
Llorona 1	Captada	413	1	Heredia	Sarapiquí	Horquetas	Esperanza	7m	413	193	La Esperanza	Consumo Humano	Asada
Llorona 2	Captada	415	2	Heredia	Sarapiquí	Horquetas	Esperanza	5m	414	193	La Esperanza	Consumo Humano	Asada
Llorona 3	Captada	541	3	Heredia	Sarapiquí	Horquetas	Esperanza	7m	541	193	La Esperanza	Consumo Humano	Luis Guerrero
Llorona 4	Captada	550	4	Heredia	Sarapiquí	Horquetas	Esperanza	5m	550	193	La Esperanza	Consumo Humano	Luis Guerrero
Murillo 1	Captada	440	1	Heredia	Sarapiquí	Horquetas	Cujubuquí	7m	439	3200	Cujubuquí	Consumo Humano	Edwin Murillo
Murillo 2	Captada	455	1	Heredia	Sarapiquí	Horquetas	Cujubuquí	7m	454	3200	Cujubuquí	Consumo Humano	Edwin Murillo
Oropéndola	Captada	458	1	Heredia	Sarapiquí	Horquetas	Cujubuquí	5m	458	3200	Cujubuquí	Consumo Humano	Edwin Murillo
Pablo Presbere 2	No captada	69	2	Heredia	Sarapiquí	Horquetas		5m	69	n/a	Carretera Horquetas	n/a	Asada
Pablo Presbere 3	No captada	72	3	Heredia	Sarapiquí	Horquetas		5m	72	n/a	Carretera Horquetas	n/a	Asada
Pablo Presbere 4	No captada	65	4	Heredia	Sarapiquí	Horquetas		5m	65	n/a	Carretera Horquetas	n/a	Asada
Pablo Presbere 1	Captada	61	1	Heredia	Sarapiquí	Horquetas	Pablo Presbere	4,7m	60		Dentro de la finca (Piñera)	consumo humano	Asada
San Bernardino	Captada	389	1	Limón	Guápiles	Unión	San Bernardino	8m	400	180	Río Frío	Consumo humano	José Fernández
San Miguel	Captada	894	1	Alajuela	Central	Sarapiquí	Pata de Gallo	4m	869	565	De la entrada cariblanco 4 Km. al oeste	Consumo Humano, Industrial, Agro, Comercial	ICE (donación)
Sector B	Captada	483	9	Heredia	Sarapiquí	Horquetas	Cujubuquí	10m	483	3200	Cujubuquí	Consumo Humano	Edwin Murillo
Sn Ramón La Virgen	Captada	482	1	Heredia	Sarapiquí	La Virgen	San Ramón	5m	479	300	pend	Consumo Humano	Familia Guido
Tres Volcanes	No captada	210	1	Heredia Sarapiquí	Horquetas			3m	210	n/a	carretera horquetas	n/a	Wally Owen

Cont. Anexo 10.

Datos Caracterización de las nacientes captadas y no captadas de la cuenca del Río Sarapiquí.

Naciente	ADMINISTRA	POBLADO	DIRECCIÓN DE FLUJO	NORTE USO	SUR USO	ESTE USO	OESTE USO	Uso General	Uso fuera del búfer	PENDIENTE SUR	PENDIENTEESTE
Altar	Asada	Horquetas	Suroeste a noreste	Bosque	Bosque	Bosque	Bosque	Bosque	Bosque	40.00%	-25.00%
Caobillas	Asada	Horquetas	Norte a Sur	Bosque	Bosque	Bosque	Bosque	Bosque	Bosque	50.00%	0.00%
Cariblanco	Asada	Cariblanco	Oeste a este	Pasto	Pasto	Pasto	Pasto	Pasto	Pasto	30.00%	-15.00%
Colmena 1	Asada	Horquetas	Noroeste a Sureste	Bosque	Bosque	Bosque	Bosque	Bosque	Bosque	25.00%	-5.00%
Colmena 2	Asada	Horquetas	Norte a sur	Bosque	Bosque	Bosque	Bosque	Bosque	Bosque	20.00%	-10.00%
Colmena 3	Asada	Horquetas	Oeste a este	Bosque	Bosque	Bosque	Bosque	Bosque	Bosque	30.00%	-17.00%
Cristo Rey 1	Asada	Cristo Ray	Suroeste a noreste	B Secundario	Carretera	Carretera	Carretera	Urbano	Urbano	50.00%	35.00%
Cristo Rey 2			Suroeste a noreste	Bosque	Carretera	Carretera	Carretera	Urbano	Urbano	50%	35%
Delia 1	Comité	La Delia	Noroeste a sureste	Bosque	Bosque	Bosque	Bosque	Bosque	Pasto	50%	5%
Delia 2	Comité	La Delia	Noroeste a Sureste	Bosque	Bosque	Bosque	Bosque	Bosque	Pasto	65%	32%
El Tucán	Asada	Cujubuquí	Noroeste a noreste	Bosque	Bosque	Bosque	Bosque	Bosque	Bosque	100%	-30%
Estero grande 1 (Tres Rosales 1)	Asada	Estero Grande, Tres Rosales	Noroeste a Sureste	Regeneración	Regeneración	Regeneración	Regeneración	Regeneración	Regeneración	45.00%	-10.00%
Estero grande 2 (Tres Rosales 2)	Asada	Tres Rosales	Norte a Sur	Pasto	Pasto	Pasto	Pasto	Pasto	Pasto	-5.00%	15.00%
Gallo	Asada	Horquetas	Noroeste a sureste	bosque	Bosque	Bosque	Bosque	Bosque	Bosque	20%	-35%
Gemelas	Asada	Horquetas	Este a Oeste	Bosque	Bosque- Río	Bosque	Bosque	Bosque	Bosque	-10.00%	10.00%
Guácimo	Asada	Pto Viejo, la Guaría y Cristo Rey.	Noreste a Suroeste	Bosque	Bosque y Río Guácimo	Río Guácimo	Bosque	Bosque	Bosque	0.00%	3.00%
Guácimo 2			Suroeste a noreste	Bosque	Bosque	Bosque	Bosque	Bosque	Bosque	50%	-25%
Huetares 1	Asada	Huetares, esperanza, Las Vegas	Noreste a Suroeste	Bosque	Bosque	Bosque	Bosque	Bosque	Bosque	15%	55%

Cont. Anexo 10.

Datos Caracterización de las nacientes captadas y no captadas de la cuenca del Río Sarapiquí.

<i>Naciente</i>	<i>ADMINISTRA</i>	<i>POBLADO</i>	<i>DIRECCIÓN DE FLUJO</i>	<i>NORTE USO</i>	<i>SUR USO</i>	<i>ESTE USO</i>	<i>OESTE USO</i>	<i>Uso General</i>	<i>Uso fuera del búfer</i>	<i>PENDIENTE SUR</i>	<i>PENDIENTEESTE</i>
Huetares 2	Asada	Huetares, esperanza, Las Vegas	Sureste a Noroeste	Bosque	Bosque	Bosque	Bosque	Bosque	Bosque	30%	55%
José León	Asada	Horquetas	Oeste a este	Pasto	Pasto	Pasto	pasto	Pasto	Pasto	0%	-10%
La Virgen	Asada	La virgen	Sureste a Noroeste	Bosque	Bosque	Bosque	Bosque	Bosque	Regeneración	20.00%	25.00%
Llorona 1	Asada	Esperanza y la Isla	Suroeste a Noreste	Bosque	Bosque-Pasto	Bosque Pasto	Bosque	Bosque	Pasto	45.00%	25.00%
Llorona 2	Asada	Esperanza y la Isla	Suroeste a Noreste	Bosque	Bosque-Pasto	Bosque Pasto	Bosque	Bosque	Pasto	45.00%	25.00%
Llorona 3	Asada	Esperanza y la Isla	suroeste a Noreste	Bosque	Bosque	Bosque	Bosque	Bosque	Bosque	25.00%	-15.00%
Llorona 4	Asada	Esperanza y la Isla	Suroeste a Noreste	Bosque	Bosque	Bosque	Bosque	Bosque	Bosque	-5.00%	-15.00%
Murillo 1	Asada	Cujubuquí	Suroeste a noreste	Pasto	Bosque	Pasto	Bosque	Pasto	Pasto	20%	0%
Murillo 2	Asada	Cujubuquí	Oeste a este	Bosque	bosque	Bosque	Bosque	Bosque	Pasto	45%	-5%
Oropéndola	Asada	Cujubuquí	Oeste a este	Pasto	Pasto	Pasto	Pasto	Pasto	Bosque	20%	0%
Pablo Presbere 2			Sureste a noroeste	Regeneración	Regeneración	Regeneración	Regeneración	Regeneración	Cultivos	0.00%	0.00%
Pablo Presbere 3			Noreste a sureste	Regeneración	Regeneración	Regeneración	Regeneración	Regeneración	Cultivos	0.00%	0.00%
Pablo Presbere 4			Sureste a noroeste	Regeneración	Regeneración	Regeneración	Regeneración	Regeneración	Cultivos	0.00%	0.00%
Pablo Presbere 1	Asada	El Tigre	Noreste a Suroeste	Pasto Zona Verde	Pasto	Pasto	Pasto	Pasto	Pasto	0.00%	0.00%
San Bernardino	Asada	Río Frío	Sureste a Noroeste	Bosque	Bosque	Bosque	Bosque	Bosque	Bosque	100%	100%
San Miguel	Asada	Sn Miguel, Corazón de Jesús, Paraíso, Sardina	Suroeste a noroeste	Bosque	Bosque	Bosque	Bosque	Bosque	Regeneración	45.00%	-19.00%
Sector B	Asada	Cujubuquí	Sur a norte	Bosque	Bosque	Bosque	Bosque	Bosque	Bosque	75%	25%
Sn Ramón La Virgen	Asada	La virgen- San Ramón	Sureste a Noroeste	Bosque	Bosque	Bosque	Bosque	Bosque	Regeneración	25.00%	10.00%
Tres Volcanes				cultivos	cultivos	cultivos	cultivos	Cultivos	Cultivos	5%	5%

Cont. Anexo 10.

Datos Caracterización de las nacientes captadas y no captadas de la cuenca del Río Sarapiquí.

<i>Naciente</i>	<i>PENDIENTE OESTE</i>	<i>PENDIENTE NORTE</i>	<i>PEND N GR</i>	<i>PEND S GR</i>	<i>PEND E GR</i>	<i>PEND O GR</i>	<i>Fragmento FUPS</i>	<i>RUMBO GRADOS</i>	<i>PROPIETARIO 1</i>	<i>PROPIETARIO 2</i>	<i>PROPIETARIO 3</i>	<i>PROPIETARIO 4</i>
<i>Altar</i>	35.00%	40.00%	-10.00	22.00	-15.00	19.00	0	Norte 60 este	Rogelio G.	Rogelio G	Rogelio G	Rogelio G
<i>Caobillas</i>	-10.00%	50.00%	24.00	30.00	0.00	-5.00	0.002181	Norte 45 oeste	Rogelio G.	Rogelio G	Rogelio G	Rogelio G
<i>Cariblanco</i>	17.00%	30.00%	17.00	17.00	-9.00	17.00	0	Sur 80 este	no	no	no	no
<i>Colmena 1</i>	20.00%	25.00%	6.00	14.00	-3.00	11.00	0.178062	Norte 80 este	Rogelio G.	Rogelio G	Rogelio G	Rogelio G
<i>Colmena 2</i>	40.00%	20.00%	11.00	11.00	-5.00	18.00	0.178062	Sur 40 Este	Rogelio G.	Rogelio G	Rogelio G	Rogelio G
<i>Colmena 3</i>	35.00%	30.00%	3.00	17.00	-10.00	19.00	0.178062	Sur 85 Este	Rogelio G.	Rogelio G	Rogelio G	Rogelio G
<i>Cristo Rey 1</i>	20.00%	50.00%	17.00	26.00	19.00	11.00	0.062228	Norte 45 este	no	no	no	no
<i>Cristo Rey 2</i>	20%	50%	17.00	26.00	19.00	11.00	0.002795	Norte 45 este	no	no	no	no
<i>Delia 1</i>	26%	50%	19.00	26.00	3.00	13.00	0		Álvaro Paniagua	Álvaro Paniagua	Álvaro Paniagua	Álvaro Paniagua
<i>Delia 2</i>	20%	65%	19.00	33.00	17.00	11.00	0		Álvaro Paniagua	Álvaro Paniagua	Álvaro Paniagua	Álvaro Paniagua
<i>El Tucán</i>	100%	100%	-22.00	90.00	-17.00	90.00	0	Norte 35 este	no	no	no	no
<i>Estero grande 1 (Tres Rosales 1)</i>	30.00%	45.00%	3.00	24.00	-7.00	17.00	0	Norte 45 este	no	no	no	no
<i>Estero grande 2 (Tres Rosales 2)</i>	20.00%	-5.00%	19.00	-3.00	8.50	11.50	0.020332	Sur 30 oeste	no	no	no	no
<i>Gallo</i>	60%	20%	21.00	11.00	-20.00	29.00	0	Sur 85 este	Asada	Asada	Asada	Asada
<i>Gemelas</i>	0.00%	-10.00%	11.00	-5.00	0.00	4.00	0	Sur 5 este	Rogelio G.	Rogelio G	Rogelio G	Rogelio G
<i>Guácimo</i>	60.00%	0.00%	24.00	0.00	1.00	31.00	0	Sur 45 oeste	OET	OET	OET	OET
<i>Guácimo 2</i>	10%	50%	26.00	26.00	-14.00	6.00	0	Norte 80 este	oet	oet	oet	oet
<i>Huetares 1</i>	-15%	15%	5.00	8.00	29.00	-8.00	0	Sur 90 oeste	no	no	no	no

Cont. Anexo 10.

Datos Caracterización de las nacientes captadas y no captadas de la cuenca del Río Sarapiquí.

Naciente	PENDIENTE OESTE	PENDIENTE NORTE	PEND N GR	PEND S GR	PEND E GR	PEND O GR	Fragmento FUPS	RUMBO GRADOS	PROPIETARIO 1	PROPIETARIO 2	PROPIETARIO 3	PROPIETARIO 4
Huetares 2	-25%	30%	8.00	17.00	28.00	-14.00	0	Norte 40 oeste	no	no	no	no
José León	0%	0%	6.00	0.00	-6.00	0.00	0.197953	Norte 90 este	José León	José León	José León	José León
La Virgen	30.00%	20.00%	-6.00	8.50	11.00	17.00	0	Norte 30 oeste	no	no	no	no
Llorona 1	25.00%	45.00%	-6.00	24.00	14.00	14.00	0	Norte 45 este	Víctor Varela	Luis Guerrero	Víctor Varela	Luis Guerrero
Llorona 2	25.00%	45.00%	-6.00	24.00	14.00	14.00	0.006044	Norte 45 este	Víctor Varela	Luis Guerrero	Víctor Varela	Luis Guerrero
Llorona 3	60.00%	25.00%	-3.00	14.00	-7.00	31.00	0	Norte 80 este	Luis Guerrero	Luis Guerrero	Luis Guerrero	Luis Guerrero
Llorona 4	60.00%	-5.00%	39.00	-3.00	-8.00	31.00	0.07721	Sur 30 este	Luis Guerrero	Luis Guerrero	Luis Guerrero	Luis Guerrero
Murillo 1	10%	20%	3.00	9.00	0.00	4.00	0	Norte 35 este	no	no	no	no
Murillo 2	10%	45%	3.00	24.00	3.00	6.00	0.127687	Norte 85 este	no	no	no	no
Oropéndola	10%	20%	0.00	11.00	0.00	6.00	0.121825	Sur 80 este	no	no	no	no
Pablo Presbere 2	0.00%	0.00%	0.00	0.00	0.00	0.00	0.129851	Norte 45 este	Asada	Asada	Asada	Asada
Pablo Presbere 3	0.00%	0.00%	0.00	0.00	0.00	0.00	0.332864	Sur 70 este	Asada	Asada	Asada	Asada
Pablo Presbere 4	0.00%	0.00%	0.00	0.00	0.00	0.00	0.327429	Norte 45 oeste	Asada	Asada	Asada	Asada
Pablo Presbere 1	5.00%	0.00%	0.00	0.00	0.00	3.00	0.129851	Sur 30 oeste	Finca	Finca	Finca	Finca
San Bernardino	50%	100%	-14.00	70.00	70.00	36.00	0	Norte 25 oeste	no	no	no	no
San Miguel	60.00%	45.00%	17.00	24.00	-11.00	30.00	0.49167	Norte 35 este	no	no	no	no
Sector B	36%	75%	-19.00	40.00	12.00	19.00	0	Norte 25 este	no	no	no	no
Sn Ramón La Virgen	30.00%	25.00%	-7.50	14.00	6.00	17.00	0	Norte 30 oeste	no	no	no	no
Tres Volcanes	5%	5%	2.00	2.00	2.00	2.00	0.050375	Norte 35 oeste	no	no	no	no

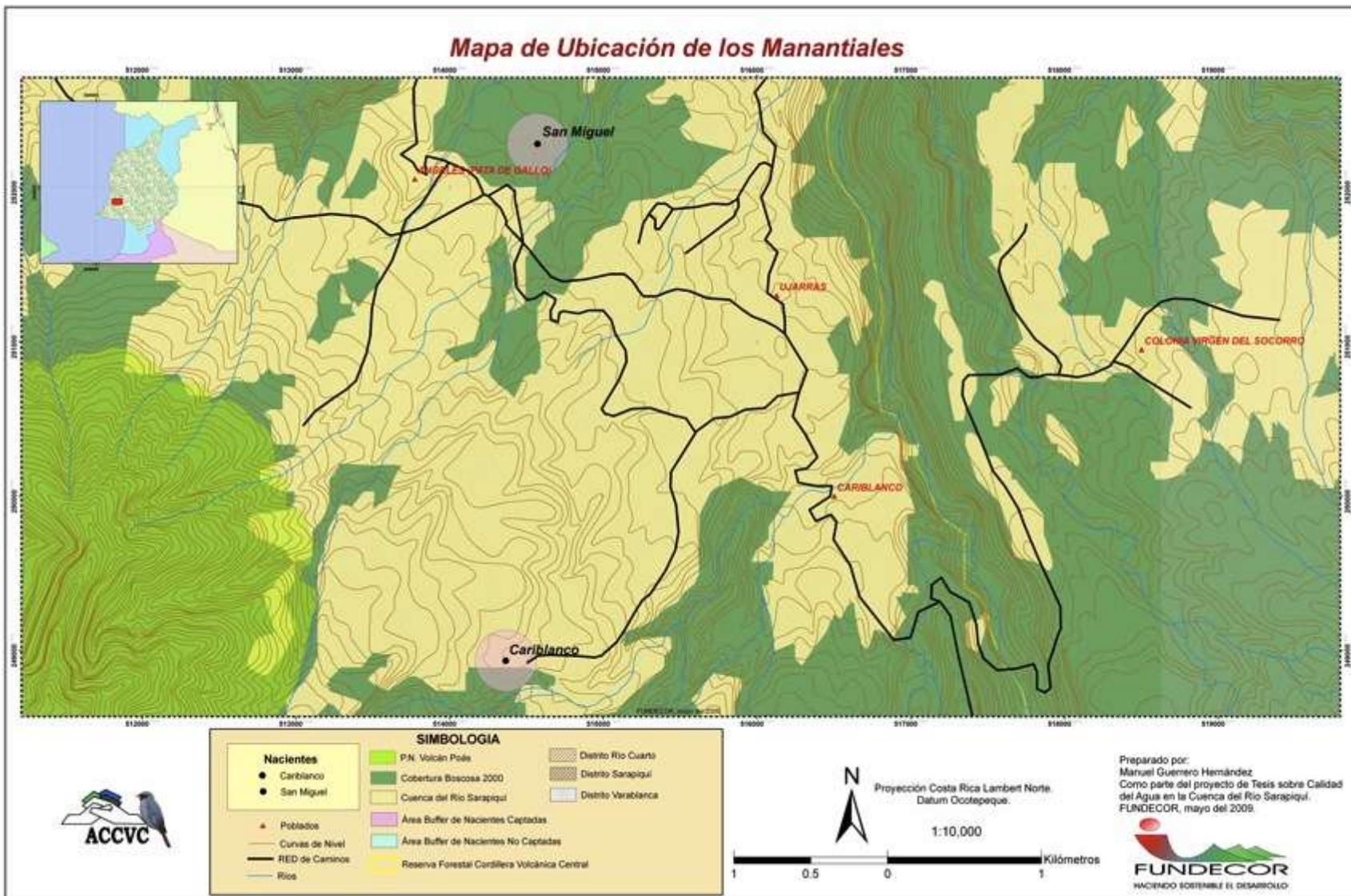
Cont. Anexo 10. Datos Caracterización de las nacientes captadas y no captadas de la cuenca del Río Sarapiquí.

Naciente	ESTADO	CLASIFIC DEL ESTADO	RIESGO	ESPECIES	COMENTARIO	MANTENIMIENTO	CLORACIÓN	X_COORD	Y_COORD
Altar	Bueno	Tipo II	No Hay	Candelillo, palmas, Caobilla, Burío, Vainillo	En pendiente muy pronunciada hacia el Río.	Una vez al mes	Clora en tanque de captación	538544.82	246475.82
Caobillas	Bueno	Tipo II	Derrumbes, Avalanchas	Los mismo que El Altar	En pendiente igualmente pronunciada.	Una vez al mes	Clora en tanque de captación	538594.36	246470.95
Cariblanco	Regular	Tipo II	Derrumbes, contaminación	Guaba, Helechos arborescentes, Psychotria sp, piper sp, yos, lengua de vaca	Chanchera el lado sur este como a 1 Km. por encima de la naciente	No hay		514363.54	248933.80
Colmena 1	Bueno	Tipo II	No hay	Caobilla, helechos, cola de gallo, heliconias, guarumo y candelillo	Lo que se capta es muy poco por eso necesitan de varias captaciones para suplir la demanda.	Una vez al mes	Clora en tanque de captación	538381.03	246588.71
Colmena 2	Bueno	Tipo II	No hay	Lo mismo que Colmena 1	Lo mismo que colmena1	Una vez al mes	Clora en tanque de captación	538390.11	246568.85
Colmena 3	Regular	Tipo II	Contaminación	Mismo que Colmena 1	En las tres colmenas se recoge el agua mediante la inserción de tubos dentro de la tierra para captar la pequeña cantidad de agua que se recolecten en las tres tomas.	Una vez al mes	Clora en tanque de captación	538395.34	246569.90
Cristo Rey 1	Regular	Tipo II	Contaminación, Derrumbes	Gavilán, guarumo,	Se capta de una manera no muy segura, muy cercana a zonas urbanas, posible contaminación del agua, se clora en tanque de almacenamiento	No hay	Clora en parte baja	532136.88	270368.99
Cristo Rey 2	Sin captar	Tipo III	no hay	Gavilán, guarumo		No hay		532146.00	270478.00
Delía 1	Malo	Tipo II	Contaminación	Gavilán, guarumo, heliconias	Se capta 35 mts después de aflorar. Represa	No hay	No se clora	532055.59	285472.32
Delía 2	Malo	Tipo II	Contaminación	ídem	Se capta 35 mts después de aflorar. Represa	No hay	No se clora	532114.28	285455.76
El Tucán	Regular	Tipo II	Derrumbes	Bosque maduro		Una vez al mes	Se clora	536891.55	246259.41
Estero grande 1 (Tres Rosales 1)	Malo	Tipo II	Derrumbes, contaminación	Gavilán aceituno, bottarrama, balsa	Posee una captación de cemento pero no exactamente donde esta la naciente sino 10 a 15m de distancia y se capta por medio de tubos enterrados en dirección a la naciente esta es	No hay	Clora e naciente con cloro los conejos	531683.91	273996.77
Estero grande 2 (Tres Rosales 2)	Regular	Tipo II	Contaminación	Cebos, Guarumo, Palmas, Ortigas, Virola, Mano de tigre, candelillos	Cloran el agua en la captación con cloro líquido, tienen captación con desvíos de aguas pero con fugas.	No hay	Clora en naciente con cloro los conejos	532042.02	274243.25
Gallo	Regular	Tipo II	Contaminación	Especies pioneras		Una vez al mes	Se clora	540120.05	245775.02
Gemelas	Bueno	Tipo II	No Hay	Los Mismo que las Colmenas	Muy cerca del Río.	Una vez al mes	Clora en tanque de captación	538405.60	246558.94
Guácimo	Regular	Tipo II	Contaminación	Caobilla, Zopilote, guácimo. Gavilán, Balsa.	Una pendiente pronunciada por encima de la toma de agua.	Cada 2 meses	Clora en tanque de captación	534944.37	264095.48
Guácimo 2	Sin captar	Tipo III	Contaminación	Bosque maduro		No hay		534984.38	264316.80
Huetares 1	Regular	Tipo II	Contaminación	Caobilla, palmas, etc.		Una vez al mes	No se clora	540954.34	245544.15

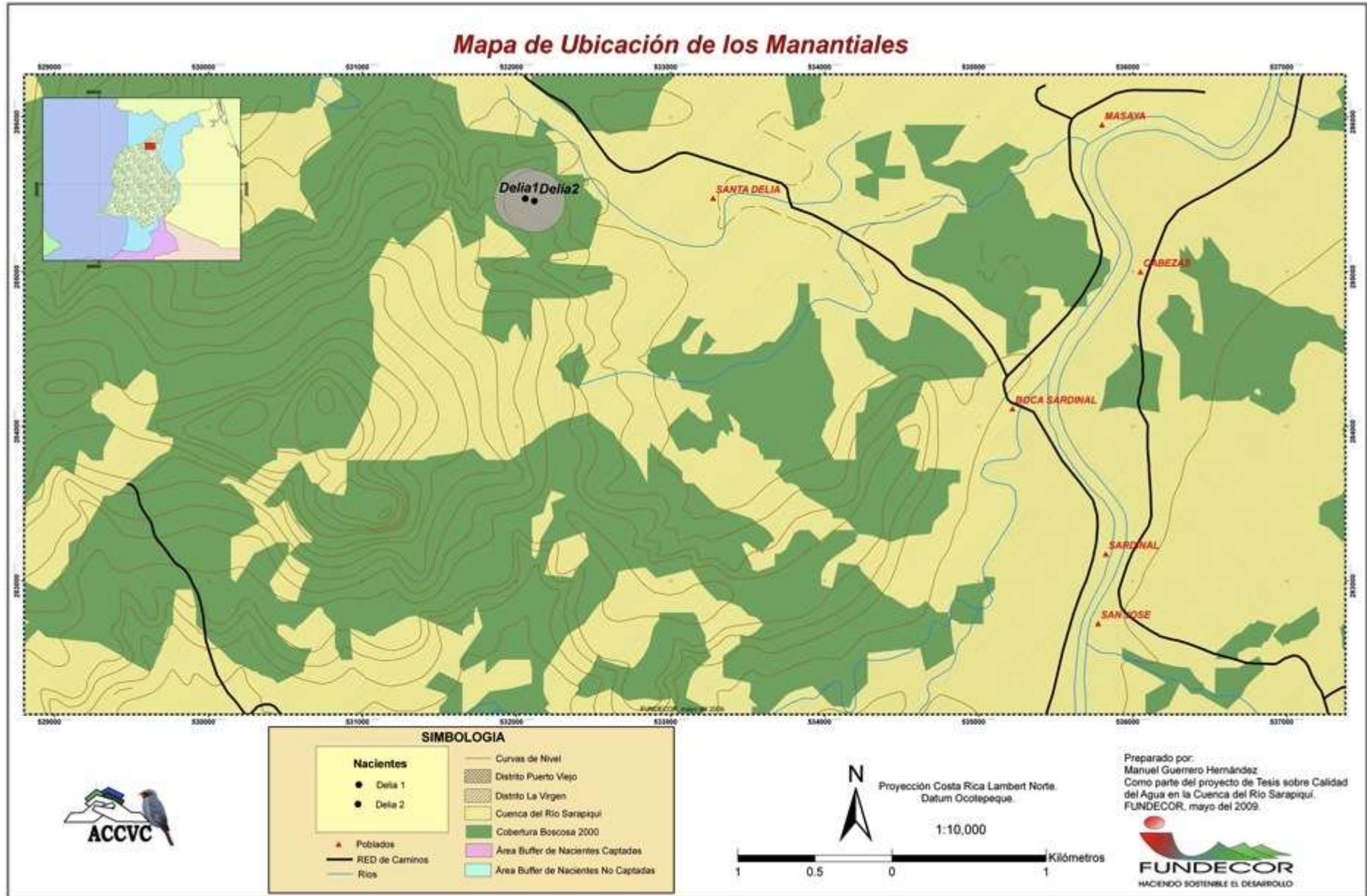
Cont. Anexo 10. Datos Caracterización de las nacientes captadas y no captadas de la cuenca del Río Sarapiquí.

<i>Naciente</i>	<i>ESTADO</i>	<i>CLASIF DEL ESTADO</i>	<i>RIESGO</i>	<i>ESPECIES</i>	<i>COMENTARIO</i>	<i>MANTENIMIEN TO</i>	<i>CLORACIÓN</i>	<i>X_COORD</i>	<i>Y_COORD</i>
Huetares 2	Regular	Tipo II	derrumbes, contam.	caobilla, helechos, piper, etc.		Una vez al mes	No se clora	540940.67	245544.74
José León	Regular	Tipo II	Contaminación	Especies pioneras		Una vez al mes	Se clora	540695.99	246602.49
La Virgen	Bueno	Tipo II	Contaminación	Pilón, Protium, Heliconia sp, Socrateas	Raíces presentes dentro de la captación, alrededor de las 3ha de bosque lo que hay es pastoreo	Cada 2 meses	Clora en parte baja	522577.21	256802.57
Llorona 1	Regular	Tipo II	Contaminación	Pilón, Caobilla, Gavilán, fruta Dorada.	Pasa Ganado por donde esta la naciente. se compro el clorador ese día	Una vez al mes	Instalado el clorador el día 10 del 7 2008	542586.27	244625.57
Llorona 2	Regular	Tipo II	Contaminación, inundación	Pilón, Caobilla, Gavilán, fruta Dorada.	Igual a Llorona 1	Una vez al mes	Instalado el clorador el día 10 del 7 2008	542564.92	244636.38
Llorona 3	Malo	Tipo II	Contaminación, Derrumbe	Caobilla, Socrateas, Sainillo.	Igual a Llorona 1	Una vez al mes	Instalado el clorador el día 10 del 7 2008	542040.85	244334.85
Llorona 4	Malo	Tipo II	Contaminación, Inundación y derrumbes	Guarumo, Botarrama, papayo, ireatheas, Socrateas.	Igual a Llorona 1	Una vez al mes	Instalado el clorador el día 10 del 7 2008	542065.31	244419.94
Murillo 1	Bueno	Tipo II	No Hay	Pilón, Caobilla, Gavilán.		Una vez al mes	Se clora	537817.13	246751.39
Murillo 2	Bueno	Tipo II	No hay	Helechos, bromelias, candelillo, aráceas		Una vez al mes	Se clora	537850.63	246723.48
Oropéndola	Bueno	Tipo II	No hay	Charral	Tiene un pequeño parche de charral.	Una vez al mes	Se clora	537711.99	246793.23
Pablo Presbere 2	sin captar	Tipo III	Contaminación			No Hay		540663.43	260957.52
Pablo Presbere 3	sin captar	Tipo III	Contaminación			No Hay		540832.75	261000.97
Pablo Presbere 4	sin captar	Tipo III	Contaminación			No Hay		540775.98	261055.48
Pablo Presbere 1	Muy bueno	Tipo I	Contaminación	Ornamentales	Esta la finca piñera a unos 200 mts del lugar de captación.	Cada 2 meses	Clora en tanque de captación	540584.71	260997.09
San Bernardino	Regular	Tipo II	Derrumbes	Caobilla, manú, Botarrama, gavilán		No hay		546311.43	242355.55
San Miguel	Muy Bueno	Tipo I	Derrumbes	Guarumo, Yos, Burío, Pipper sp, maranthus sp.		Cada 6 meses		514570.68	252281.16
Sector B	Regular	Tipo II	Derrumbes	Caobilla, botarrama, pilón.		Una vez al mes	Se clora	539252.66	246218.09
Sn Ramón La Virgen	Bueno	Tipo II	No hay	Guabo, Guarumo, copal, chilamate, ira, vainillo.	Según CB 2000 no hay bosque pero si existe BS, se clora en tanque que va hacia la virgen en San ramón se consume sin cloro.	Cada 2 meses	San Ramón no clora y la virgen si en parte baja	522575.27	256743.84
Tres Volcanes	sin captar	Tipo III	Contaminación	Cultivos		No hay		545871.24	247364.77

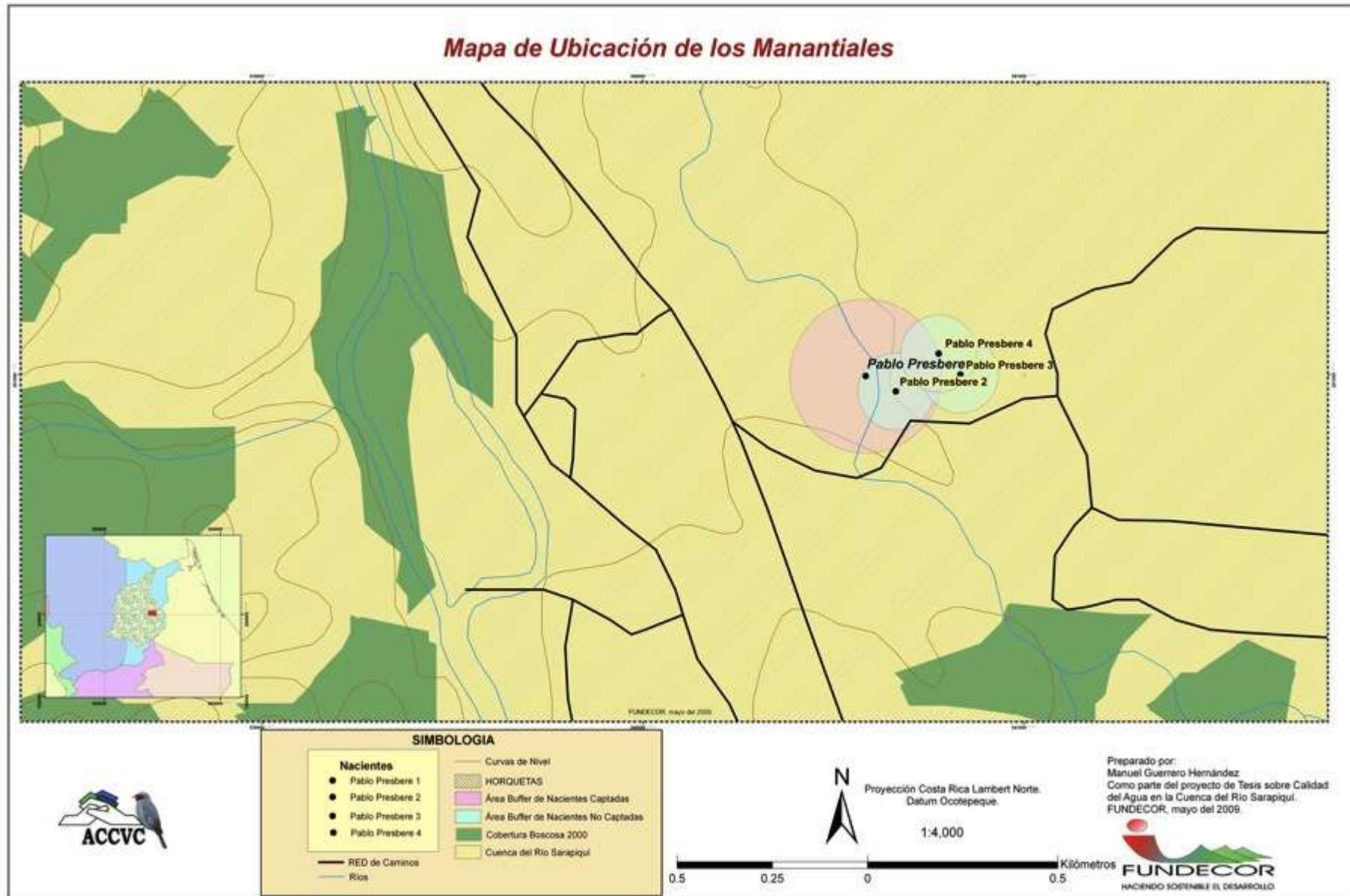
Anexo 11. Mapas detallados de la ubicación de las nacientes en estudio (Elaboración propia).



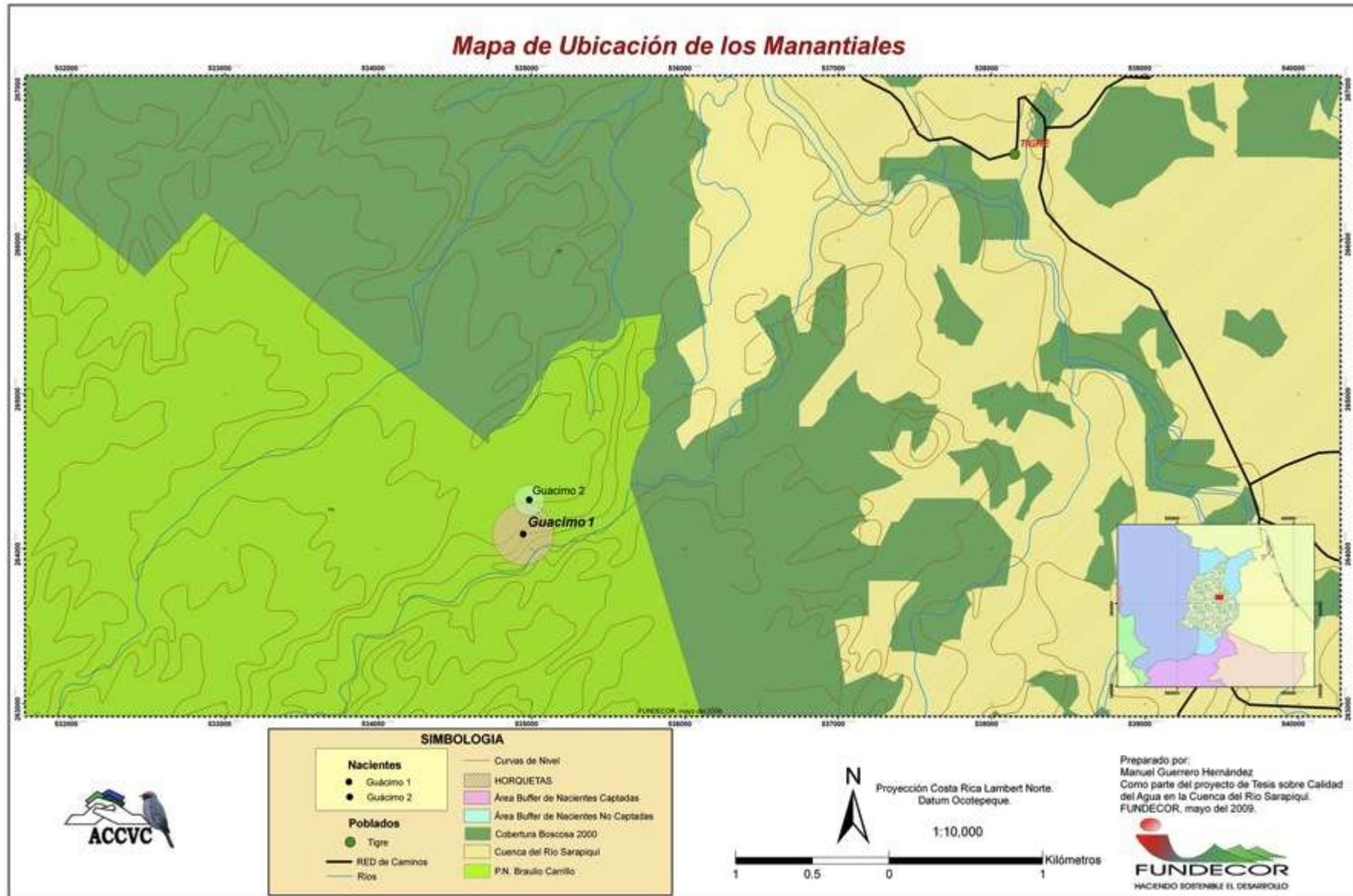
Cont. Anexo 11. Mapas detallados de la ubicación de las nacientes en estudio (Elaboración propia).



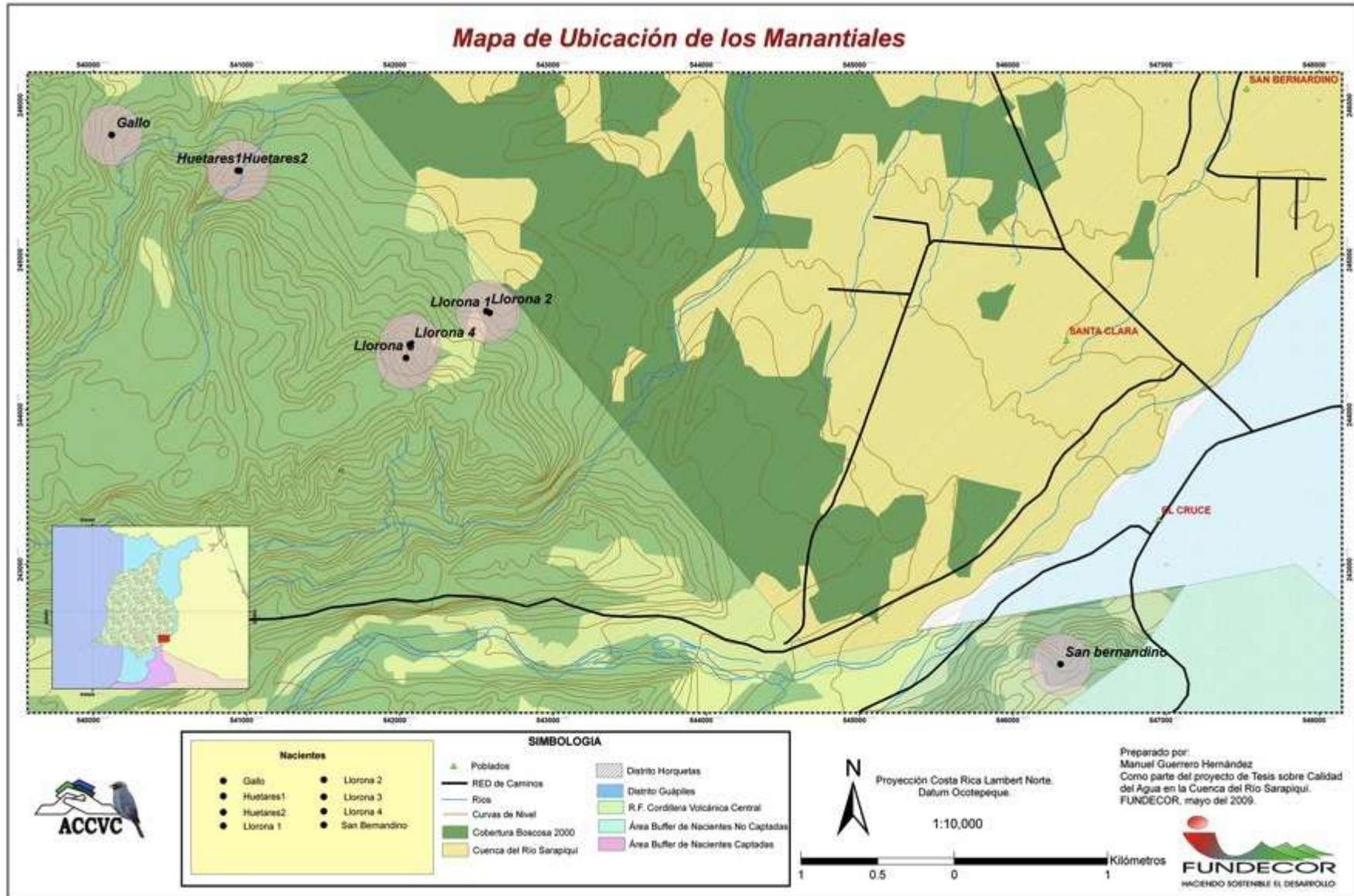
Cont. Anexo 11. Mapas detallados de la ubicación de las nacientes en estudio (Elaboración propia).



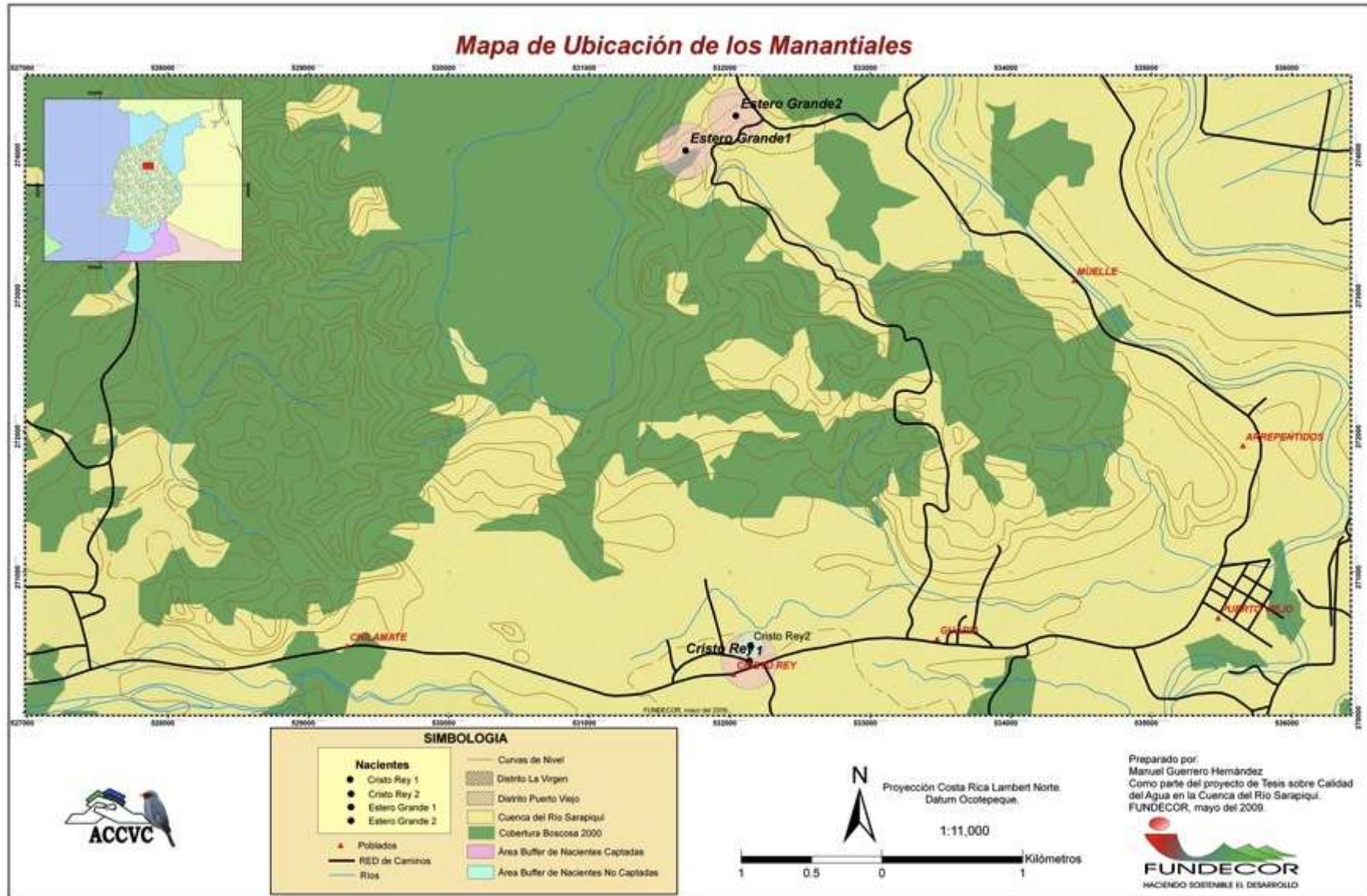
Cont. Anexo 11. Mapas detallados de la ubicación de las nacientes en estudio (Elaboración propia).



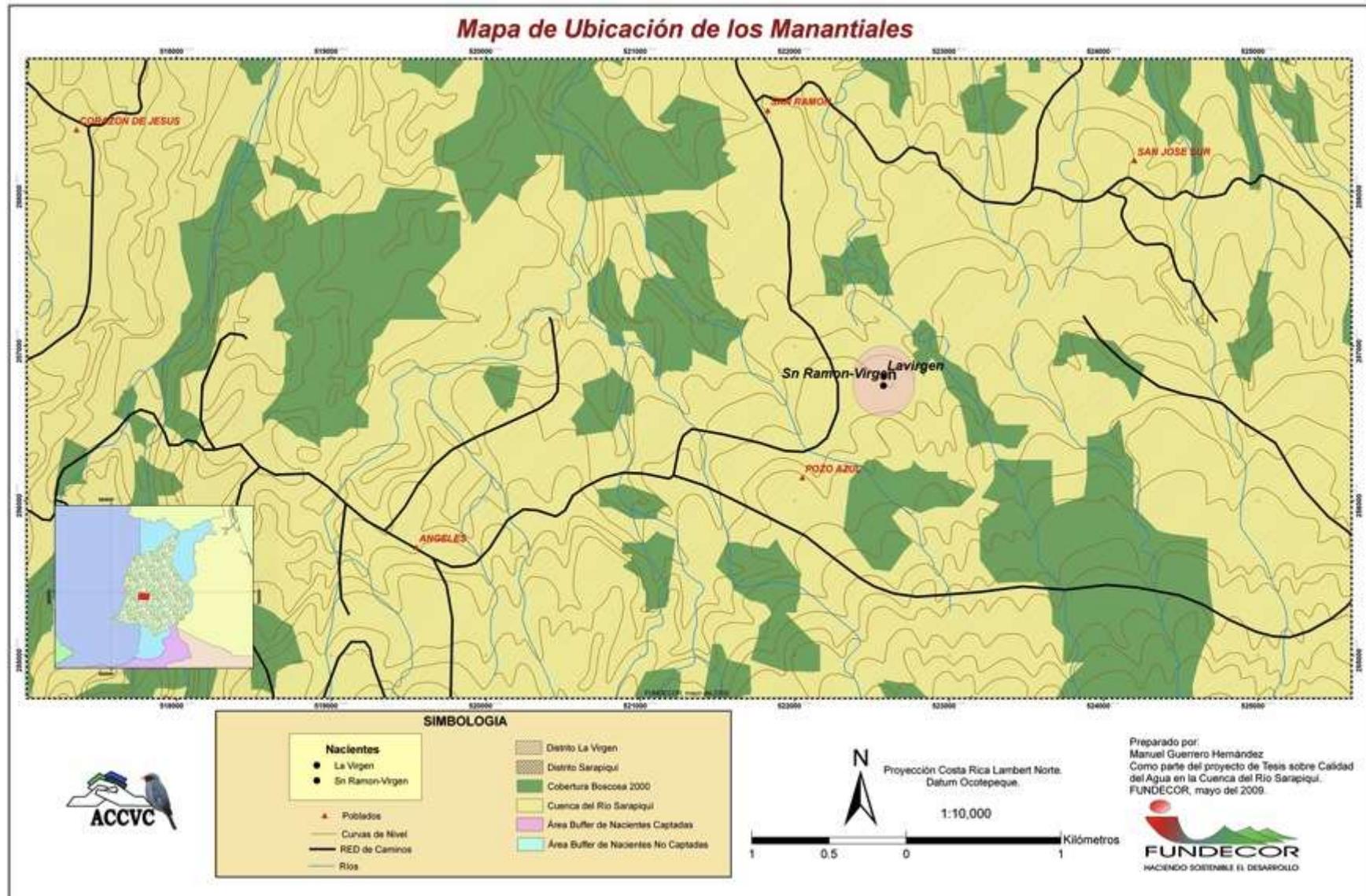
Cont. Anexo 11. Mapas detallados de la ubicación de las nacientes en estudio (Elaboración propia).



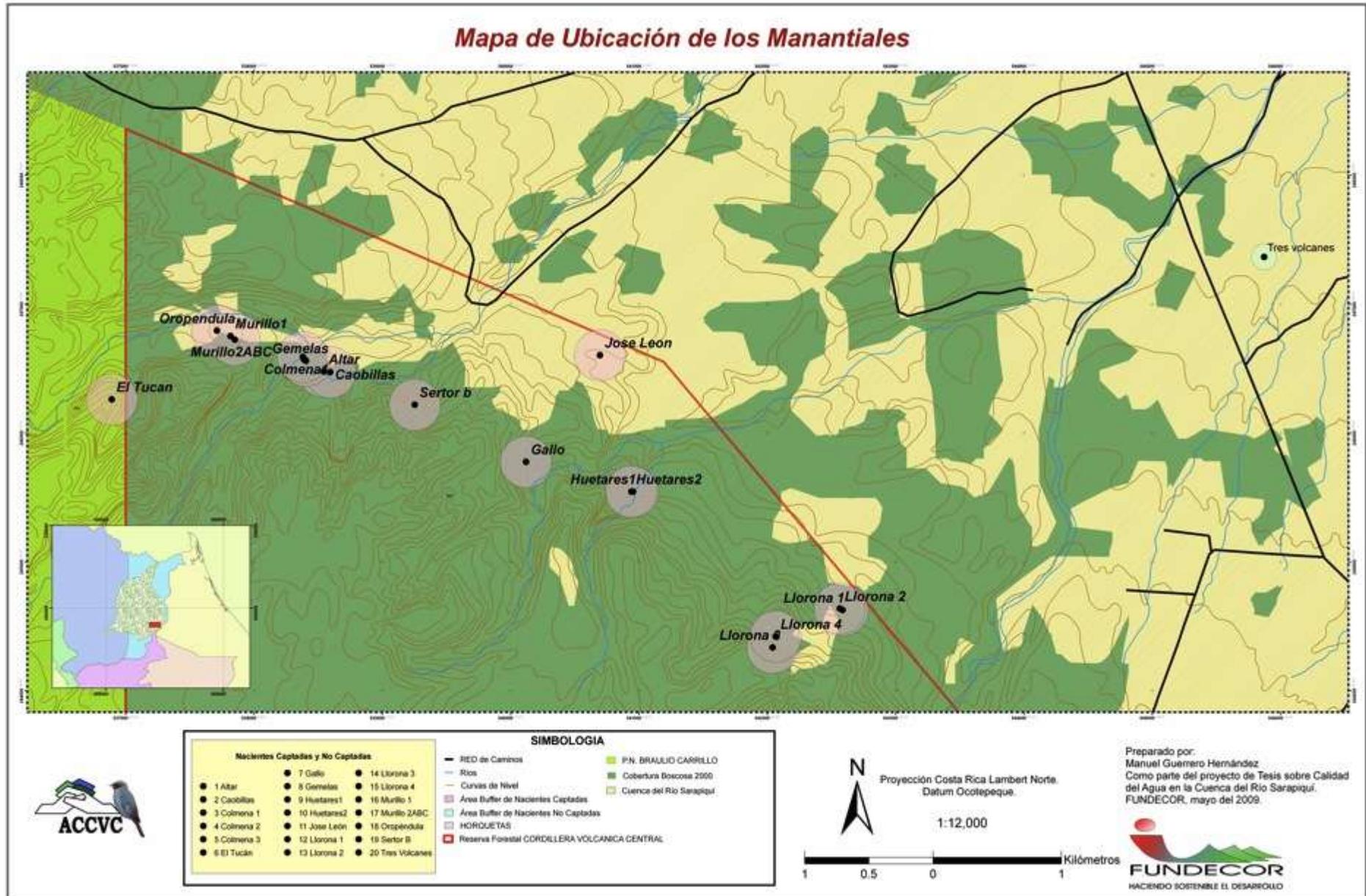
Cont. Anexo 11. Mapas detallados de la ubicación de las nacientes en estudio (Elaboración propia).



Cont. Anexo 11. Mapas detallados de la ubicación de las nacientes en estudio (Elaboración propia).



Cont. Anexo 11. Mapas detallados de la ubicación de las nacientes en estudio (Elaboración propia).



Anexo 12.

Datos Colectados para algunas de las Nacientes establecidas para el muestreo de Calidad de Agua por el AyA del 2004 al 2008.

Año	Color verdadero (Upt-Co)	Turbiedad (UNT)	pH	Fluoruro (mg/L)	Dureza Total (mg/L)	Alcalinidad	Conductividad (µS/cm)	COL100ML	Calidad del agua Decreto 2005	Calidad del agua Decreto 2007
Altar										
2004	0	0.3	6.39	0.11	28	35	63	0	Inaceptable	3
2005	0	0.2	6.37	0.16	31	34	66	0	Inaceptable	3
2006	0	0.4	6.54	0.16	28	39	67	3.6	Inaceptable	1
2007	no hay datos	no hay datos	no hay datos	no hay datos	no hay datos	no hay datos	no hay datos	23	Inaceptable	1
2008	no hay datos	no hay datos	no hay datos	no hay datos	no hay datos	no hay datos	no hay datos	3.6	Inaceptable	1
Caobillas										
2004	no hay datos	no hay datos	no hay datos	no hay datos	no hay datos	no hay datos	no hay datos	3.6	Inaceptable	1
2005	0	0.3	6.3	0.16	27	34	63	0	Inaceptable	3
2006	no hay datos	no hay datos	no hay datos	no hay datos	no hay datos	no hay datos	no hay datos	no hay datos	No hay datos	No hay datos
2007	no hay datos	no hay datos	no hay datos	no hay datos	no hay datos	no hay datos	no hay datos	15	Inaceptable	1
2008	no hay datos	no hay datos	no hay datos	no hay datos	no hay datos	no hay datos	no hay datos	3.6	Inaceptable	1
Cariblanco										
2004	0	0.3	5.95	no hay datos	no hay datos	98	236	0	Inaceptable	4
2005	no hay datos	no hay datos	no hay datos	no hay datos	no hay datos	no hay datos	no hay datos	no hay datos	No hay datos	No hay datos
2006	no hay datos	no hay datos	no hay datos	no hay datos	no hay datos	no hay datos	no hay datos	no hay datos	No hay datos	No hay datos
2007	no hay datos	no hay datos	no hay datos	no hay datos	no hay datos	no hay datos	no hay datos	no hay datos	No hay datos	No hay datos
2008	no hay datos	no hay datos	no hay datos	no hay datos	no hay datos	no hay datos	no hay datos	no hay datos	No hay datos	No hay datos

Cont. Anexo 12.

Datos Colectados para algunas de las Nacientes establecidas para el muestreo de Calidad de Agua por el AyA del 2004 al 2008.

Año	Color verdadero (Upt-Co)	Turbiedad (UNT)	pH	Fluoruro (mg/L)	Dureza Total (mg/L)	Alcalinidad	Conductividad (µS/cm)	COL100ML	Calidad del agua Decreto 2005	Calidad del agua Decreto 2007
Colmena 1										
2004	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	0	Aceptable	1
2005	0	0.2	6.63	0.16	37	46	87	0	Aceptable	1
2006	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	0	Aceptable	1
2007	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	0	Aceptable	1
2008	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	0	Aceptable	1
Colmena 2										
2004	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	0	Aceptable	1
2005	0	0.2	6.63	0.16	37	46	87	0	Aceptable	1
2006	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	0	Aceptable	1
2007	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	0	Aceptable	1
2008	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	0	Aceptable	1
Colmena 3										
2004	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	0	Aceptable	1
2005	0	0.2	6.63	0.16	37	46	87	0	Aceptable	1
2006	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	0	Aceptable	1
2007	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	0	Aceptable	1
2008	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	0	Aceptable	1
Cristo Rey 1										
No hay datos										
Cristo Rey 2										
No hay datos										

Cont. Anexo 12.

Datos Colectados para algunas de las Nacientes establecidas para el muestreo de Calidad de Agua por el AyA del 2004 al 2008.

Año	Color verdadero (Upt-Co)	Turbiedad (UNT)	pH	Fluoruro (mg/L)	Dureza Total (mg/L)	Alcalinidad	Conductividad (µS/cm)	COL100ML	Calidad del agua Decreto 2005	Calidad del agua Decreto 2007
Delia 1										
2004	24	4.3	7.24	0.06	17	20	40	930	Inaceptable	2
2005	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos
2006	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos
2007	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos
2008	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos
Delia 2										
No hay datos										
El Tucán										
2004	0	0.3	6.66	0.11	30	39	69	0	Aceptable	1
2005	0	0.2	7.1	0.26	33	42	76	0	Aceptable	1
2006	0	0.3	5.52	0.11	34	41	74	3.6	Inaceptable	4
2007	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	0	Aceptable	1
2008	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	0	Aceptable	1
Estero grande 1 (Tres Rosales 1)										
2004	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	93	Inaceptable	2
2005	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos
2006	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos
2007	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos
2008	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos

Cont. Anexo 12.

Datos Colectados para algunas de las Nacientes establecidas para el muestreo de Calidad de Agua por el AyA del 2004 al 2008.

<i>Año</i>	<i>Color verdadero (Upt-Co)</i>	<i>Turbiedad (UNT)</i>	<i>pH</i>	<i>Fluoruro (mg/L)</i>	<i>Dureza Total (mg/L)</i>	<i>Alcalinidad</i>	<i>Conductividad (µS/cm)</i>	<i>COL100ML</i>	<i>Calidad del agua Decreto 2005</i>	<i>Calidad del agua Decreto 2007</i>
Estero grande 2 (Tres Rosales 2)										
2004	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	0	Aceptable	1
2005	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos
2006	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos
2007	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos
2008	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos
Gallo										
2004	0	0.8	6.92	0.11	40	45	80	0	Aceptable	1
2005	0	0.2	6.51	0.1	33	34	65	0	Aceptable	1
2006	0	0.3	6.62	0.11	24	28	54	0	Aceptable	1
2007	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	0	Aceptable	1
2008	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	0	Aceptable	1
Gemelas										
2004	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	3.6	Inaceptable	1
2005	0	0.3	6.82	0.21	39	50	91	0	Aceptable	1
2006	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos
2007	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos
2008	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	15	Inaceptable	1

Cont. Anexo 12.

Datos Colectados para algunas de las Nacientes establecidas para el muestreo de Calidad de Agua por el AyA del 2004 al 2008.

Año	Color verdadero (Upt-Co)	Turbiedad (UNT)	pH	Fluoruro (mg/L)	Dureza Total (mg/L)	Alcalinidad	Conductividad (µS/cm)	COL 100ML	Calidad del agua Decreto 2005	Calidad del agua Decreto 2007
Guácimo										
2004	0	0.3	6.43	0.18	238	276	609	0	Inaceptable	3
2005	2	0.3	6.48	0.22	233	290	610	43	Inaceptable	3
2006	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	0	Aceptable	1
2007	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	0	Aceptable	1
2008	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	3.6	Inaceptable	1
Guácimo 2										
No hay datos										
Huetares 1										
2004	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	0	Aceptable	1
2005	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos
2006	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos
2007	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos
2008	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos
Huetares 2										
No hay datos										
José León										
2004	1	0.5	5.69	0.18	20	26	43	93	Inaceptable	4
2005	0	0.2	5.9	0.21	26	27	53	0	Inaceptable	4
2006	2	5.2	5.88	0.05	30	26	46	23	Inaceptable	4
2007	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	9.1	Inaceptable	1
2008	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	3.6	Inaceptable	1

Cont. Anexo 12.

Datos Colectados para algunas de las Nacientes establecidas para el muestreo de Calidad de Agua por el AyA del 2004 al 2008.

Año	Color verdadero (Upt-Co)	Turbiedad (UNT)	pH	Fluoruro (mg/L)	Dureza Total (mg/L)	Alcalinidad	Conductividad (µS/cm)	COL100ML	Calidad del agua Decreto 2005	Calidad del agua Decreto 2007
La Virgen										
2004	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	0	Aceptable	1
2005	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	3.6	Inaceptable	1
2006	2	0.1	6.48	No hay datos	50	No hay datos	96	0	Inaceptable	3
2007	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	0	Aceptable	1
2008	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	0	Aceptable	1
Llorona 1										
2004	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	no hay datos	No hay datos	No hay datos
2005	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	no hay datos	No hay datos	No hay datos
2006	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	no hay datos	No hay datos	No hay datos
2007	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	no hay datos	No hay datos	No hay datos
2008	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	23	Inaceptable	2
Llorona 2										
2004	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos
2005	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos
2006	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos
2007	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos
2008	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	3.6	Inaceptable	1

Cont. Anexo 12.

Datos Colectados para algunas de las Nacientes establecidas para el muestreo de Calidad de Agua por el AyA del 2004 al 2008.

Año	Color verdadero (Upt-Co)	Turbiedad (UNT)	pH	Fluoruro (mg/L)	Dureza Total (mg/L)	Alcalinidad	Conductividad (µS/cm)	COL100ML	Calidad del agua Decreto 2005	Calidad del agua Decreto 2007
Llorona 3										
No hay datos										
Llorona 4										
No hay datos										
Murillo 1										
2004	1	0.5	6.45	0.16	34	45	77	3.6	Inaceptable	3
2005	0	0.3	6.87	0.25	35	19	80	43	Inaceptable	2
2006	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos
2007	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	15	Inaceptable	1
2008	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	9.1	Inaceptable	1
Murillo 2										
2004	2	0.5	6.43	0.21	30	41	73	3.6	Inaceptable	3
2005	3	0.3	6.41	No hay datos	31	No hay datos	83	0	Inaceptable	3
2006	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos
2007	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	21	Inaceptable	2
2008	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	9.1	Inaceptable	1
Oropéndola										
2004	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	23	Inaceptable	2
2005	0	0.8	6.28	0.11	19	27	47	0	Inaceptable	3
2006	0	0.3	6.9	0.16	36	41	73	0	Aceptable	1
2007	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	15	Inaceptable	1
2008	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	23	Inaceptable	2

Cont. Anexo 12.

Datos Colectados para algunas de las Nacientes establecidas para el muestreo de Calidad de Agua por el AyA del 2004 al 2008.

<i>Año</i>	<i>Color verdadero (Upt-Co)</i>	<i>Turbiedad (UNT)</i>	<i>pH</i>	<i>Fluoruro (mg/L)</i>	<i>Dureza Total (mg/L)</i>	<i>Alcalinidad</i>	<i>Conductividad (µS/cm)</i>	<i>COL100ML</i>	<i>Calidad del agua Decreto 2005</i>	<i>Calidad del agua Decreto 2007</i>
<i>Pablo Presbere 2</i>										
No hay datos										
<i>Pablo Presbere 3</i>										
2004	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	43	Inaceptable	2
2005	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	0	Aceptable	1
2006	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	0	Aceptable	1
2007	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	no hay datos	No hay datos	No hay datos
2008	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	no hay datos	No hay datos	No hay datos
<i>Pablo Presbere 4</i>										
No hay datos										
<i>Pablo Presbere 1</i>										
2004	0	0.3	6.88	0.08	93	106	225	3.6	Inaceptable	1
2005	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	0	Aceptable	1
2006	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	0	Aceptable	1
2007	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	0	Aceptable	1
2008	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	0	Aceptable	1
<i>San Bernardino</i>										
2004	1	0.2	6.02	0.16	30	43	77	0	Inaceptable	3
2005	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	no hay datos	No hay datos	No hay datos
2006	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	no hay datos	No hay datos	No hay datos
2007	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	no hay datos	No hay datos	No hay datos
2008	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	no hay datos	No hay datos	No hay datos

Cont. Anexo 12.

Datos Colectados para algunas de las Nacientes establecidas para el muestreo de Calidad de Agua por el AyA del 2004 al 2008.

<i>Año</i>	<i>Color verdadero (Upt-Co)</i>	<i>Turbiedad (UNT)</i>	<i>pH</i>	<i>Fluoruro (mg/L)</i>	<i>Dureza Total (mg/L)</i>	<i>Alcalinidad</i>	<i>Conductividad (µS/cm)</i>	<i>COL100ML</i>	<i>Calidad del agua Decreto 2005</i>	<i>Calidad del agua Decreto 2007</i>
San Miguel										
2004	0	0.3	6.48	0.05	41	54	102	0	Inaceptable	3
2005	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	no hay datos	No hay Datos	No hay datos
2006	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	no hay datos	No hay Datos	No hay datos
2007	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	no hay datos	No hay Datos	No hay datos
2008	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	no hay datos	No hay Datos	No hay datos
Sector B										
2004	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	no hay datos	No hay Datos	No hay datos
2005	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	no hay datos	No hay Datos	No hay datos
2006	0	0.4	6.79	0.11	34	44	76	no hay datos	Aceptable	1
2007	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	no hay datos	No hay Datos	No hay datos
2008	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	no hay datos	No hay Datos	No hay datos
Sn Ramón La Virgen										
2004	2	0.3	6.48	0.05	41	54	102	0	Inaceptable	3
2005	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay Datos	No hay datos
2006	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay Datos	No hay datos
2007	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay Datos	No hay datos
2008	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay datos	No hay Datos	No hay datos
Tres Volcanes										
No hay datos										

Anexo 13. Datos Colectados por FUNDECOR para las Nacientes establecidas para el muestreo de Calidad de Agua.

Naciente	Alcalinidad (mg/L) 2008 FUNDECOR	Coliformes fecales (NMP/100 mL) FUNDECOR 2008	Color verdadero (Upt-Co) FUNDECOR 2008	Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$) FUNDECOR 2008	Dureza Total (mg/L) 2008	E.coli (NMP/100 MI) FUNDECOR 2008	Fluoruro (mg/L) FUNDECOR 2008	pH FUNDECOR 2008	Turbiedad (UNT) FUNDECOR 2008	Olor Y Sabor	Clasificación de la calidad del agua según decreto 2007	Limitante de calidad agua según decreto 2007	Clasificación del agua según decreto 2005	Factor limitante según decreto 2005
Altar	44	23	18	57	25	23	0	6.21	3.1	Aceptable	3	pH, color, Coliformes	Inaceptable	E.coli y pH
Caobillas	42	2	1	55	23	2	0.1	6.25	0.3	Aceptable	3	pH	Inaceptable	E.coli y pH
Cariblanco	30	2	0	122	56	2	0.1	5.2	0.4	Aceptable	4	pH menor a 5.5	Inaceptable	E.coli y pH
Colmena 1	54	130	6	71	33	130	0.1	6.57	0.8	Aceptable	2	E. coli	Inaceptable	E.coli
Colmena 2	54	130	6	71	33	130	0.1	6.57	0.8	Aceptable	2	E. coli	Inaceptable	E.coli
Colmena 3	54	130	6	71	33	130	0.1	6.57	0.8	Aceptable	2	E. coli	Inaceptable	E.coli
Cristo Rey 1	2	2	0	27	9	2	0	4.61	0.1	Aceptable	4	pH < a 5.5	Inaceptable	E.coli y pH
Cristo Rey 2	22	11	6	54	10	4	0	5.18	0.2	Aceptable	4	pH < a 5.5	inaceptable	E.coli y pH
Delia 1	15	130	28	26	15	130	0	6.42	9.2	Aceptable	3	pH 6.42 E.coli/130	Inaceptable	E.coli
Delia 2	17	350	22	30	13	350	0	6.86	7.7	Aceptable	2	Coliformes	Inaceptable	E.coli
El Tucán	49	0	0	64	29	0	0.1	6.58	0.1	Aceptable	1		Aceptable	
Estero grande 1 (Tres Rosales 1)	7	7.8	6	21	6	7.8	0	6.11	1.2	Aceptable	3	pH 6.11	Inaceptable	E.coli y pH
Estero grande 2 (Tres Rosales 2)	27	11	5	50	17	11	0	6.76	0.4	Aceptable	1		Inaceptable	E.coli
Gallo	37	0	1	46	21	0	0	6.36	0.3	Aceptable	3	pH 6.36	Inaceptable	pH y alcalinidad
Gemelas	64	2	2	79	36	2	0	6.63	0.3	Aceptable	1		Inaceptable	E.coli
Guácimo	357	0	0	513	228	0	0	6.17	0.1	Aceptable	3	pH	Inaceptable	pH
Guácimo 2	15	0	1	21	9	0	0	4.78	0.2	Aceptable	4	pH < a 5.5	Inaceptable	pH
Huetares 1	84	0	1	113	48	0	0	6.67	0.4	Aceptable	1		Aceptable	

Cont. Anexo 13. Datos Colectados por FUNDECOR para las Nacientes establecidas para el muestreo de Calidad de Agua.

Naciente	Alcalinidad (mg/L)	Coliformes fecales (NMP/100mL)	Color verdadero (Upt-Co)	Conductividad (µS/cm)	Dureza Total (mg/L)	E.coli (NMP/100Ml)	Fluoruro (mg/L)	pH	Turbiedad (UNT)	Olor Y Sabor	Clasificación de calidad del agua según decreto 2007	Limitante de calidad agua según decreto 2007	Clasificación del agua según decreto 2005	Factor limitante según decreto 2005
Huetares 2	76	4.5	3	111	49	4.5	0	6.78	0.3	Aceptable	1		Inaceptable	E.coli
José León	25	13	4	32	13	13	0.1	5.35	0.6	Aceptable	4	pH < a 5.5	Inaceptable	E.coli y pH
La Virgen	76	0	0	85	46	0	0.1	6.54	0.2	Aceptable	1		Aceptable	
Llorona 1	71	130	2	101	42	130	0	6.49	0.4	Aceptable	2	Coliformes	Inaceptable	E.coli
Llorona 2	47	0	2	69	32	0	0	6.12	0.4	Aceptable	3	pH	Inaceptable	pH
Llorona 3	59	6.8	2	87	36	6.8	0	6.46	0.4	Aceptable	3	pH	Inaceptable	E.coli
Llorona 4	59	2	1	83	35	2	0	6.37	0.4	Aceptable	3	pH	Inaceptable	E.coli y pH
Murillo 1	57	4.5	2	75	33	4.5	0	6.61	0.3	Aceptable	1		Inaceptable	E.coli
Murillo 2	54	4.5	2	65	27	4.5	0.1	6.19	0.4	Aceptable	3	pH y Conductividad	Inaceptable	E.coli y pH
Oropéndola	31	220	2	42	18	220	0	6.01	0.5	Aceptable	3	pH y E.coli	Inaceptable	E.coli y pH
Pablo Presbere 2	133	0	2	169	80	0	0.1	6.84	0.2	Aceptable	1		Aceptable	
Pablo Presbere 3	150	17	6	198	92	17	0.1	6.95	0.7	Aceptable	1		Inaceptable	E.coli
Pablo Presbere 4	177	0	0	227	113	0	0	6.45	0.2	Aceptable	3	pH	Inaceptable	pH
Pablo Presbere 1	150	0	0	191	94	0	0	7.61	0.1	Aceptable	1		Aceptable	
San Bernardino	49	0	1	73	27	0	0	6.08	0.1	Aceptable	3	pH	Inaceptable	Con limitante pH
San Miguel	54	0	0	75	38	0	0.1	5.78	0.1	Aceptable	4	pH a 5.78	Inaceptable	Con limitante pH
Sector B	54	0	1	70	31	0	0.1	7	0.3	Aceptable	1		Aceptable	
Sn Ramón La Virgen	79	0	0	90	48	0	0.1	6.21	0.1	Aceptable	3	pH	Inaceptable	pH
Tres Volcanes	20	130	10	39	15	49	0	6.11	1.7	Aceptable	3	pH	Inaceptable	E.coli y pH

Anexo 14. Resumen estadístico y análisis de varianza del fragmento de la FUPS para las nacientes en estudio versus el uso del suelo.

	<i>Bosque</i>	<i>Pasto</i>	<i>Regeneración</i>	<i>Urbano-cultivos</i>
Media	0.04955912	0.078326833	0.263381333	0.038466
Error típico	0.022277103	0.033907146	0.066783599	0.018160751
Mediana	0	0.0710785	0.327429	0.050375
Moda	0	0	#N/A	#N/A
Desviación estándar	0.111385516	0.083055206	0.115672586	0.031455343
Varianza de la muestra	0.012406733	0.006898167	0.013380147	0.000989439
Curtosis	10.20624903	-1.807294323	#¡DIV/0!	#¡DIV/0!
Coefficiente de asimetría	2.983047333	0.405726782	-1.727749986	-1.45949571
Rango	0.49167	0.197953	0.203013	0.059433
Mínimo	0	0	0.129851	0.002795
Máximo	0.49167	0.197953	0.332864	0.062228
Suma	1.238978	0.469961	0.790144	0.115398
Cuenta	25	6	3	3
Nivel de confianza(95.0%)	0.045977681	0.087161093	0.287346634	0.078139403
Análisis de varianza de un factor	FUPS			
RESUMEN				
<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
Bosque	25	1.238978	0.04955912	0.012406733
Pasto	6	0.469961	0.078326833	0.006898167
Regeneración	3	0.790144	0.263381333	0.013380147
Urbano-cultivos	3	0.115398	0.038466	0.000989439

ANÁLISIS DE VARIANZA					
<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>
Entre grupos	0.126017758	3	0.042005919	3.839965578	0.018352562
Dentro de los grupos	0.360991606	33	0.01093914		
			<i>Valor crítico para F</i>		
Total	0.487009364	36	4.436787186		

Cont. Anexo 14. Resumen estadístico y análisis de varianza del fragmento de la FUPS para las nacientes en estudio versus el uso del suelo.

Análisis de la varianza					
Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
FUPS	37	0.26	0.19	148.02	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.13	3	0.04	3.84	0.0184
Categoría	0.13	3	0.04	3.84	0.0184
Error	0.36	33	0.01		
Total	0.49	36			
Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=0.14779					
Error: 0.0109 gl: 33					
Categoría	Medias	n			
Urbano-cultivos	0.04	3	A		
Bosque	0.05	25	A		
Pasto	0.08	6	A		
Regeneración	0.26	3	B		
Letras distintas indican diferencias significativas(p<= 0.05)					

Anexo 15. Análisis multivariado de varianza de los datos de calidad de agua versus el uso del suelo y el tipo de captación asociado y si la fuente de agua esta captado o no captada.

Análisis de la varianza multivariado									
Matrices de sumas de cuadrados y productos cruzados									
Tipo captación									
	Alcalinidad (mg/L)	Coliformes fecales	Color verdadero	Conductividad (µS/cm)	Dureza Total (mg/L)	<i>E.coli</i> (NMP/100mL)	Fluoruro (mg/L)	pH	Turbiedad (UNT)
Alcalinidad (mg/L)	13224.01	3653.03	197.09	16390.68	7738.2	1940.52	3.94	558.42	-54.66
Coliformes fecales	3653.03	1335.7	22.84	4232.86	2113.27	1045.42	1.08	119.61	-19.78
Color verdadero	197.09	22.84	5.99	272.82	117.68	-20.37	0.06	11.68	-0.36
Conductividad (µS/cm)	16390.68	4232.86	272.82	20582.01	9613.2	1945.19	4.9	723.44	-63.52
Dureza Total (mg/L)	7738.2	2113.27	117.68	9613.2	4529.92	1097.56	2.31	329.35	-31.64
<i>E.coli</i> (NMP/100mL)	1940.52	1045.42	-20.37	1945.19	1097.56	1079.21	0.56	27.9	-15.32
Fluoruro (mg/L)	3.94	1.08	0.06	4.9	2.31	0.56	1.20E-03	0.17	-0.02
pH	558.42	119.61	11.68	723.44	329.35	27.9	0.17	27.26	-1.81
Turbiedad (UNT)	-54.66	-19.78	-0.36	-63.52	-31.64	-15.32	-0.02	-1.81	0.29
Uso									
	Alcalinidad (mg/L)	Coliformes fecales	Color verdadero	Conductividad (µS/cm)	Dureza Total (mg/L)	<i>E.coli</i> (NMP/100mL)	Fluoruro (mg/L)	pH	Turbiedad (UNT)
Alcalinidad (mg/L)	18611.99	-6758.29	-193	19783.68	10690.45	-993.11	9.74	237.17	40.59
Coliformes fecales	-6758.29	14679.96	791.31	-8957.24	-4166.71	6484.58	-2.75	36.41	183.03
Color verdadero	-192.96	791.31	65.11	-364.88	-164.62	331.62	-0.08	4.59	16.41
Conductividad (µS/cm)	19783.68	-8957.24	-364.9	21674.91	11651.16	-2143.7	10.11	241.12	-4.69
Dureza Total (mg/L)	10690.45	-4166.71	-164.6	11651.16	6303.65	-829.01	5.5	137.56	6.18
<i>E.coli</i> (NMP/100mL)	-993.11	6484.58	331.62	-2143.72	-829.01	3589.57	0.17	41.03	93.63
Fluoruro (mg/L)	9.74	-2.75	-0.08	10.11	5.5	0.17	0.01	0.13	0.03
pH	237.17	36.41	4.59	241.12	137.56	41.03	0.13	4.42	2.31
Turbiedad (UNT)	40.59	183.03	16.41	-4.69	6.18	93.63	0.03	2.31	4.7

Cont. Anexo 15. Análisis multivariado de varianza de los datos de calidad de agua versus el uso del suelo y el tipo de captación asociado y si la fuente de agua esta captado o no captada.

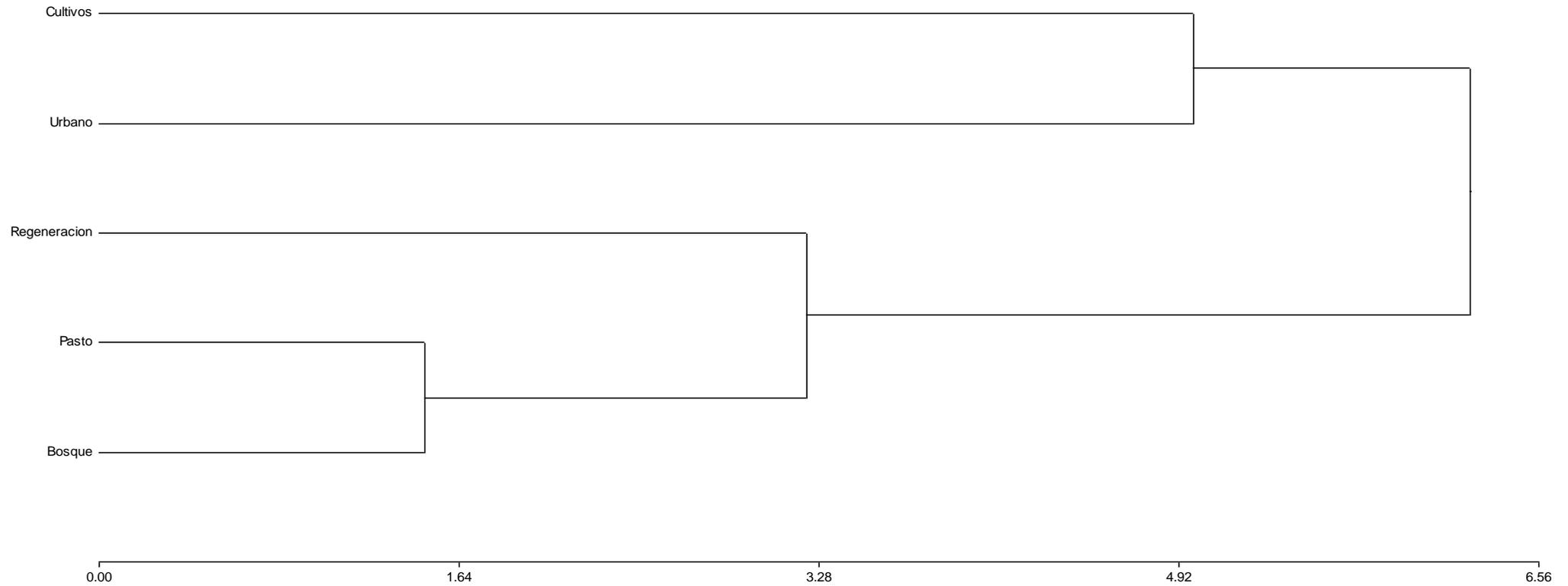
Cuadro de Análisis de la Varianza (Wilks)					
F.V.	Estadístico	F	gl(num)	gl(den)	p
Tipo captación	0.03	10.73	18	42	<0.0001
Uso	9.30E-04	12.17	36	80	<0.0001
Cuadro de Análisis de la Varianza (Pillai)					
F.V.	Estadístico	F	gl(num)	gl(den)	p
Tipo captación	1.2	3.68	18	44	0.0002
Uso	1.75	2.06	36	96	0.0027
Cuadro de Análisis de la Varianza (Lawley-Hotelling)					
F.V.	Estadístico	F	gl(num)	gl(den)	p
Tipo captación	23.04	25.6	18	40	<0.0001
Uso	405.21	219.49	36	78	<0.0001
Cuadro de Análisis de la Varianza (Roy)					
F.V.	Estadístico	F	gl(num)	gl(den)	p
Tipo captación	22.72	55.53	9	22	<0.0001
Uso	403.86	1076.96	9	24	<0.0001

Cont. Anexo 15. Análisis multivariado de varianza de los datos de calidad de agua versus el uso del suelo y el tipo de captación asociado y si la fuente de agua esta captado o no captada.

Prueba Hotelling Alfa=0.05											
Error: Matriz de covarianzas común gl: 29											
Tipo captación	Alcalinidad (mg/L)	Coliformes fecales	Color verdadero	Conductividad (µS/cm)	Dureza Total (mg/L)	E.coli (NMP/100mL)	Fluoruro (mg/L)	pH	Turbiedad (UNT)	n	
Tipo III	66.82	38.64	4.67	95.55	41.25	16.84	0.02	5.83	0.6	4	A
Tipo II	48.82	29.01	3.72	77.63	33.24	28.65	0.03	6.09	0.8	8	B
Tipo I	102	65	3	131	63.5	65	0.05	7.09	0.45	25	C
<i>Letras distintas indican diferencias significativas(p<= 0.05)</i>											
Prueba Hotelling Alfa=0.05											
Error: Matriz de covarianzas común gl: 29											
Uso	Alcalinidad (mg/L)	Coliformes fecales	Color verdadero	Conductividad (µS/cm)	Dureza Total (mg/L)	E.coli (NMP/100mL)	Fluoruro (mg/L)	pH	Turbiedad (UNT)	n	
Cultivos	20	130	10	39	15	49	0	6.11	1.7	1	A
Urbano	12	6.5	3	40.5	9.5	3	0	4.9	0.15	6	B
Regeneración	108.64	10.68	3.83	144.61	68.5	11.08	0.05	6.68	0.75	2	C
Pasto	69.49	49.93	2.05	102	47.68	49.92	0.04	6.54	0.26	4	C
Bosque	88.76	45.46	3.93	113.84	52.86	44.99	0.05	6.51	0.83	24	C
<i>Letras distintas indican diferencias significativas(p<= 0.05)</i>											

Anexo 16. Análisis de conglomerados Euclidea para demostrar la similitud entre categorías de uso de acuerdo a las variables de calidad de agua.

Encadenamiento Completo (Complete linkage)
Distancia: (Euclidea)

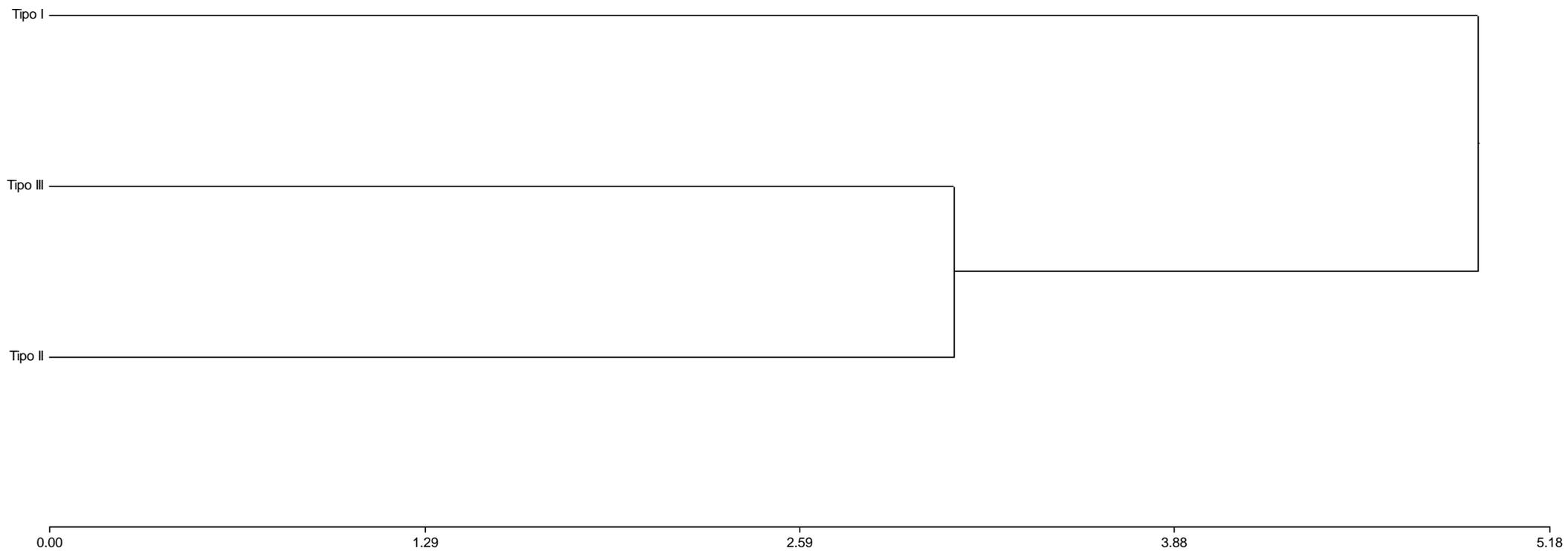


Cont. Anexo 16. Análisis de conglomerados Euclidea para demostrar la similitud entre categorías de uso de acuerdo a las variables de calidad de agua.

Gi	GI	Euclides	Dcofenetica						
Pasto	Bosque	0.49	0.49						
Urbano	Bosque	1.44	2.08						
Urbano	Pasto	1.21	2.08		Análisis de conglomerados				
Regeneración	Bosque	1.04	1.07						
Regeneración	Pasto	1.07	1.07		Encadenamiento Completo (Complete linkage)				
Regeneración	Urbano	1.83	2.08		Distancia: (Euclidea)				
Cultivos	Bosque	1.23	2.08		Correlación cofenética= 0.764				
Cultivos	Pasto	1.43	2.08		Variables estandarizadas				
Cultivos	Urbano	1.66	1.66						
Cultivos	Regeneración	2.08	2.08						
					Euclidea				
					Bosque	Pasto	Urbano	Regeneración	Cultivos
					Bosque	0			
					Pasto	1.48	0		
					Urbano	4.32	3.63	0	
					Regeneración	3.11	3.22	5.48	0
					Cultivos	3.68	4.29	4.99	6.24
									0
					Matriz de distancias ultramétricas				
					Bosque	Pasto	Urbano	Regeneración	Cultivos
					Bosque	0			
					Pasto	1.48	0		
					Urbano	6.24	6.24	0	
					Regeneración	3.22	3.22	6.24	0
					Cultivos	6.24	6.24	4.99	6.24
									0

Anexo 17. Análisis de conglomerados Euclídea para demostrar la similitud entre el tipo de captación de acuerdo a las variables de calidad de agua.

Encadenamiento Completo (Complete linkage)
Distancia: (Euclídea)



Cont. Anexo 17. Análisis de conglomerados Euclidea para demostrar la similitud entre el tipo de captación de acuerdo a las variables de calidad de agua.

Análisis de conglomerados				Gi	GI	Euclides	Dcofenetica
				Tipo I	Tipo II	1.64	1.64
Encadenamiento Completo (Complete linkage)				Tipo III	Tipo II	1.04	1.04
Distancia: (Euclidea)				Tipo III	Tipo I	1.49	1.64
Correlación cofenética= 0.969							
Variables estandarizadas							
Euclidea							
	Tipo II	Tipo I	Tipo III				
Tipo II	0						
Tipo I	4.93	0					
Tipo III	3.12	4.47	0				
Matriz de distancias ultramétricas							
	Tipo II	Tipo I	Tipo III				
Tipo II	0						
Tipo I	4.93	0					
Tipo III	3.12	4.93	0				

Anexo 18. Análisis de varianza para cada variable de la calidad del agua versus el uso del suelo.

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Alcalinidad	37	0,13	0,02	96,92

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

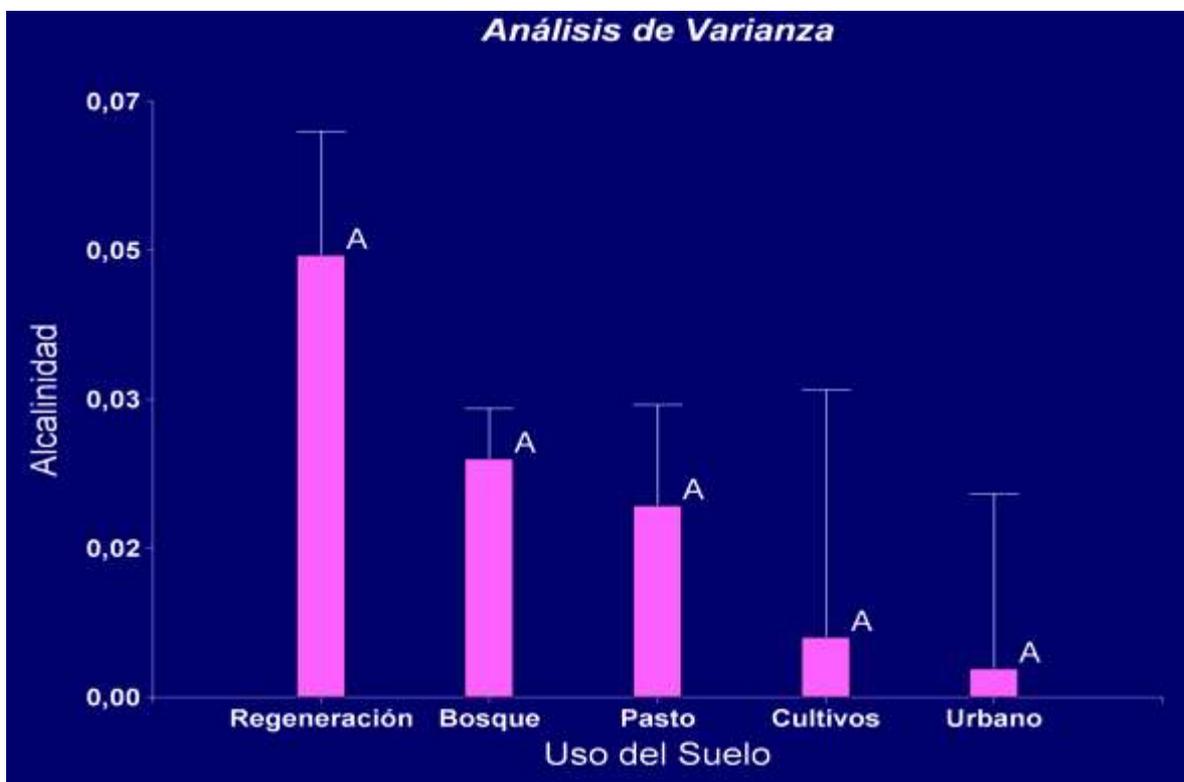
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	3,30E-03	4	8,40E-04	1,22	0,3226
Uso	3,30E-03	4	8,40E-04	1,22	0,3226
Error	0,02	32	6,90E-04		
Total	0,03	36			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,05293

Error: 0,0007 gl: 32

Uso	Medias	n	E.E.
Regeneracion	0,05	4	0,01 A
Bosque	0,03	24	0,01 A
Pasto	0,02	6	0,01 A
Cultivos	0,01	1	0,03 A
Urbano	0,01	2	0,02 A

Letras distintas indican diferencias significativas(p<= 0,05)



Cont. Anexo 18. Análisis de varianza para cada variable de la calidad del agua versus el uso del suelo.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Coliformes	37	0,07	0	200,24

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

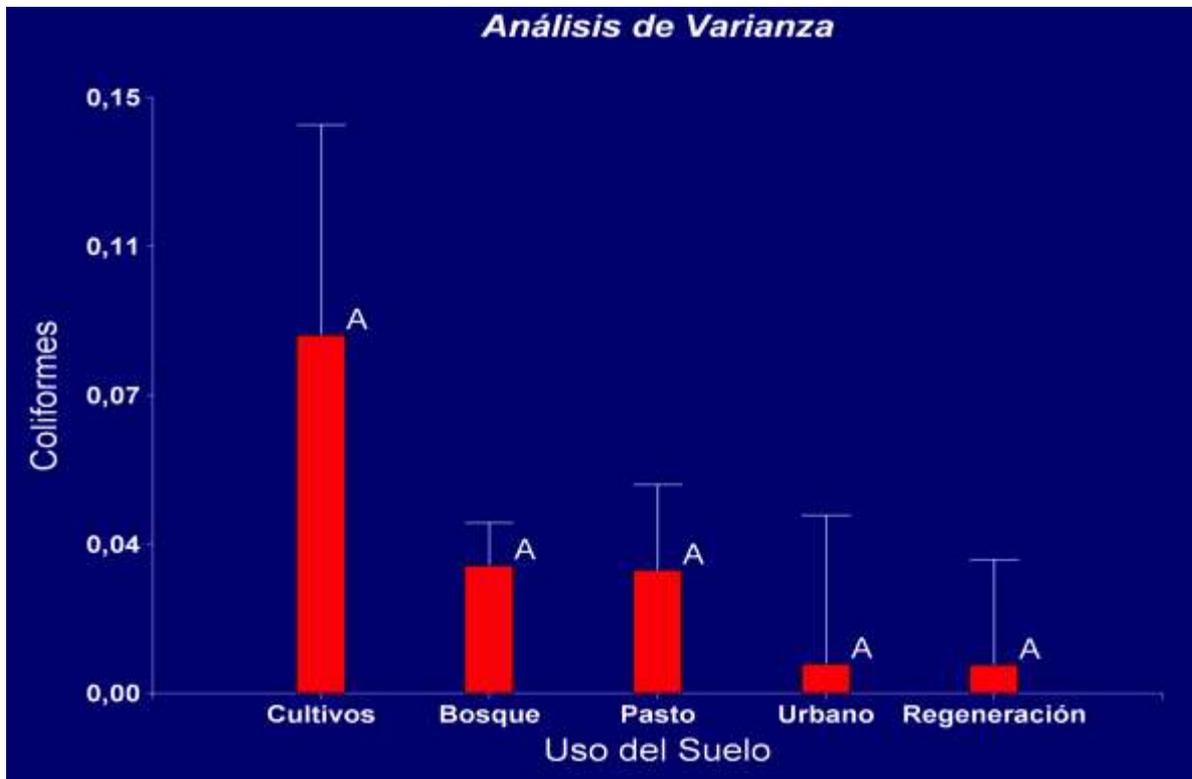
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,01	4	1,80E-03	0,61	0,6604
Uso	0,01	4	1,80E-03	0,61	0,6604
Error	0,09	32	2,90E-03		
Total	0,1	36			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,10935

Error: 0,0029 gl: 32

Uso	Medias	n	E.E.
Cultivos	0,09	1	0,05 A
Bosque	0,03	24	0,01 A
Pasto	0,03	6	0,02 A
Urbano	4,40E-03	2	0,04 A
Regeneracion	4,20E-03	4	0,03 A

Letras distintas indican diferencias significativas (p <= 0,05)



Cont. Anexo 18. Análisis de varianza para cada variable de la calidad del agua versus el uso del suelo.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Color	37	0,05	0	160,31

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

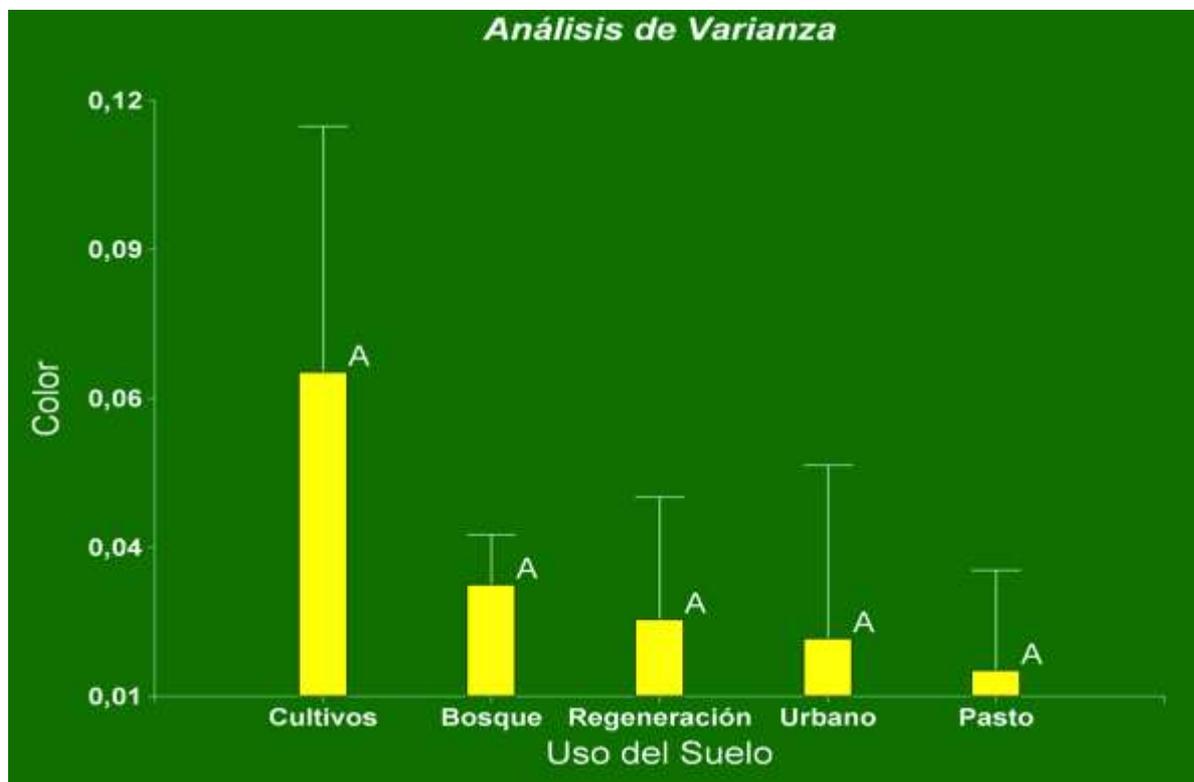
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	2,90E-03	4	7,10E-04	0,38	0,8214
Uso	2,90E-03	4	7,10E-04	0,38	0,8214
Error	0,06	32	1,90E-03		
Total	0,06	36			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,08755

Error: 0,0019 gl: 32

Uso	Medias	n	E.E.
Cultivos	0,07	1	0,04 A
Bosque	0,03	24	0,01 A
Regeneracion	0,02	4	0,02 A
Urbano	0,02	2	0,03 A
Pasto	0,01	6	0,02 A

Letras distintas indican diferencias significativas (p <= 0,05)



Cont. Anexo 18. Análisis de varianza para cada variable de la calidad del agua versus el uso del suelo.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Conductividad	37	0,09	0	95,93

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

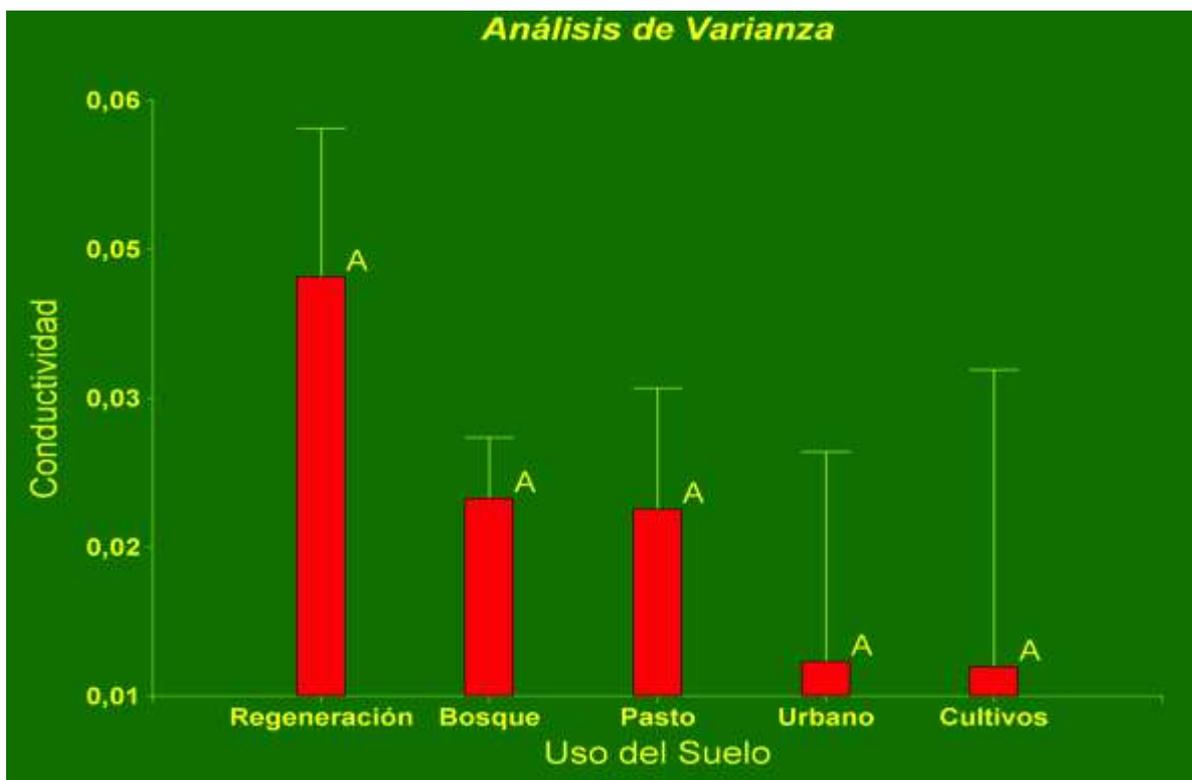
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	2,10E-03	4	5,20E-04	0,78	0,546
Uso	2,10E-03	4	5,20E-04	0,78	0,546
Error	0,02	32	6,70E-04		
Total	0,02	36			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,05239

Error: 0,0007 gl: 32

Uso	Medias	n	E.E.
Regeneracion	0,05	4	0,01 A
Bosque	0,03	24	0,01 A
Pasto	0,03	6	0,01 A
Urbano	0,01	2	0,02 A
Cultivos	0,01	1	0,03 A

Letras distintas indican diferencias significativas($p \leq 0,05$)



Cont. Anexo 18. Análisis de varianza para cada variable de la calidad del agua versus el uso del suelo.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Dureza	37	0,12	0,01	97,67

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

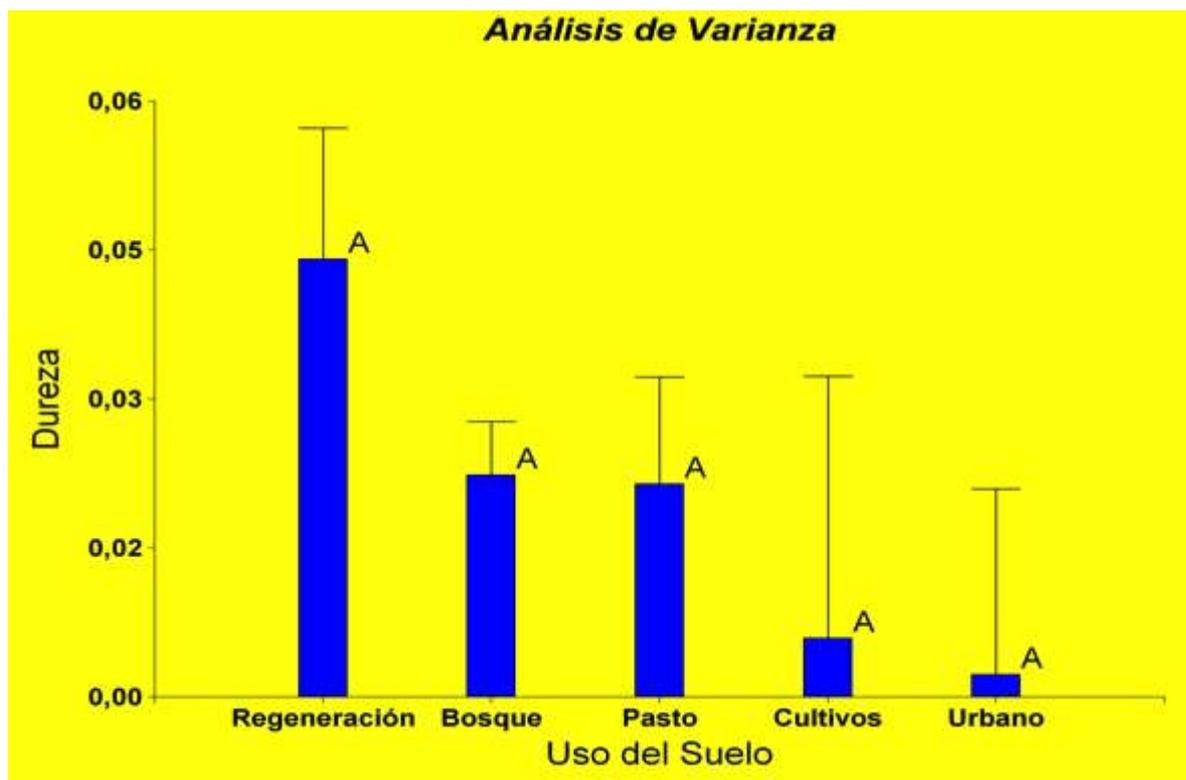
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	3,00E-03	4	7,40E-04	1,06	0,3925
Uso	3,00E-03	4	7,40E-04	1,06	0,3925
Error	0,02	32	7,00E-04		
Total	0,03	36			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,05334

Error: 0,0007 gl: 32

Uso	Medias	n	E.E.
Regeneracion	0,05	4	0,01 A
Bosque	0,03	24	0,01 A
Pasto	0,03	6	0,01 A
Cultivos	0,01	1	0,03 A
Urbano	0,01	2	0,02 A

Letras distintas indican diferencias significativas(p<= 0,05)



Cont. Anexo 18. Análisis de varianza para cada variable de la calidad del agua versus el uso del suelo.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
E.coli	37	0,04	0	213,04

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

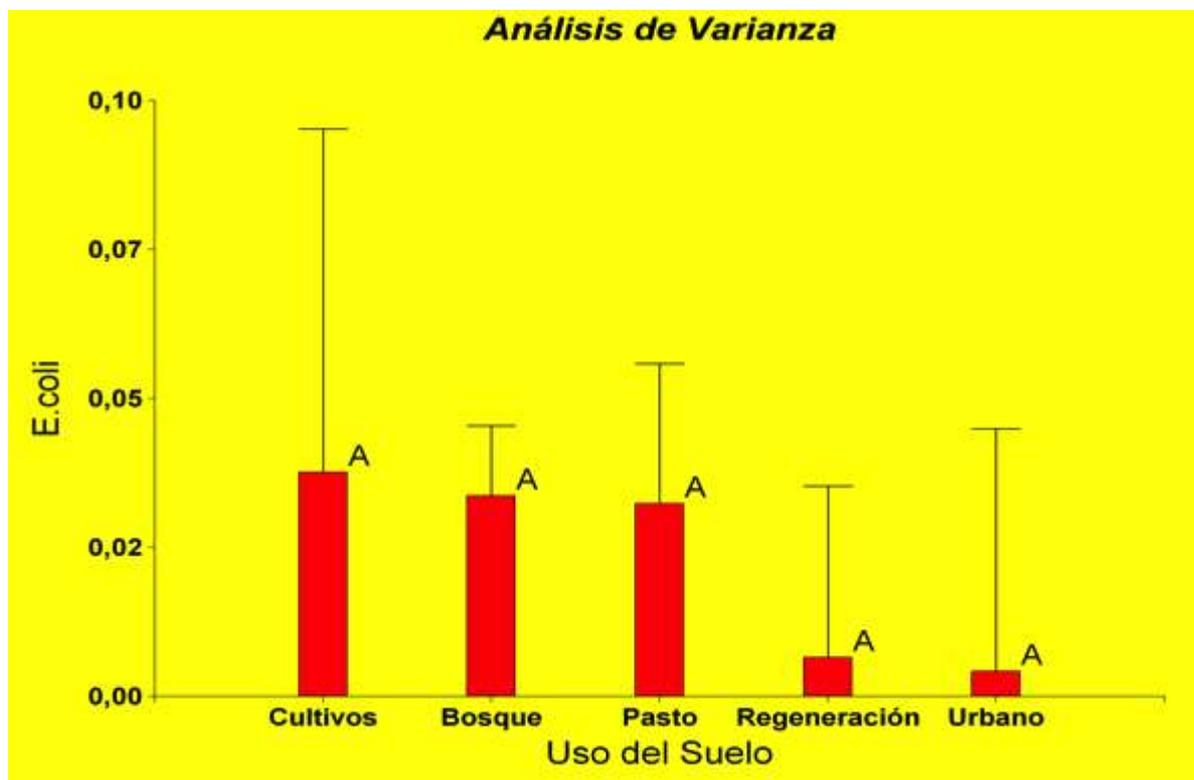
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	3,90E-03	4	9,80E-04	0,3	0,8787
Uso	3,90E-03	4	9,80E-04	0,3	0,8787
Error	0,11	32	3,30E-03		
Total	0,11	36			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,11634

Error: 0,0033 gl: 32

Uso	Medias	n	E.E.
Cultivos	0,04	1	0,06 A
Bosque	0,03	24	0,01 A
Pasto	0,03	6	0,02 A
Regeneracion	4,50E-03	4	0,03 A
Urbano	2,20E-03	2	0,04 A

Letras distintas indican diferencias significativas(p<= 0,05)



Cont. Anexo 18. Análisis de varianza para cada variable de la calidad del agua versus el uso del suelo.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Fluoruro	37	0,06	0	133,51

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	2,70E-03	4	6,80E-04	0,53	0,718
Uso	2,70E-03	4	6,80E-04	0,53	0,718
Error	0,04	32	1,30E-03		
Total	0,04	36			

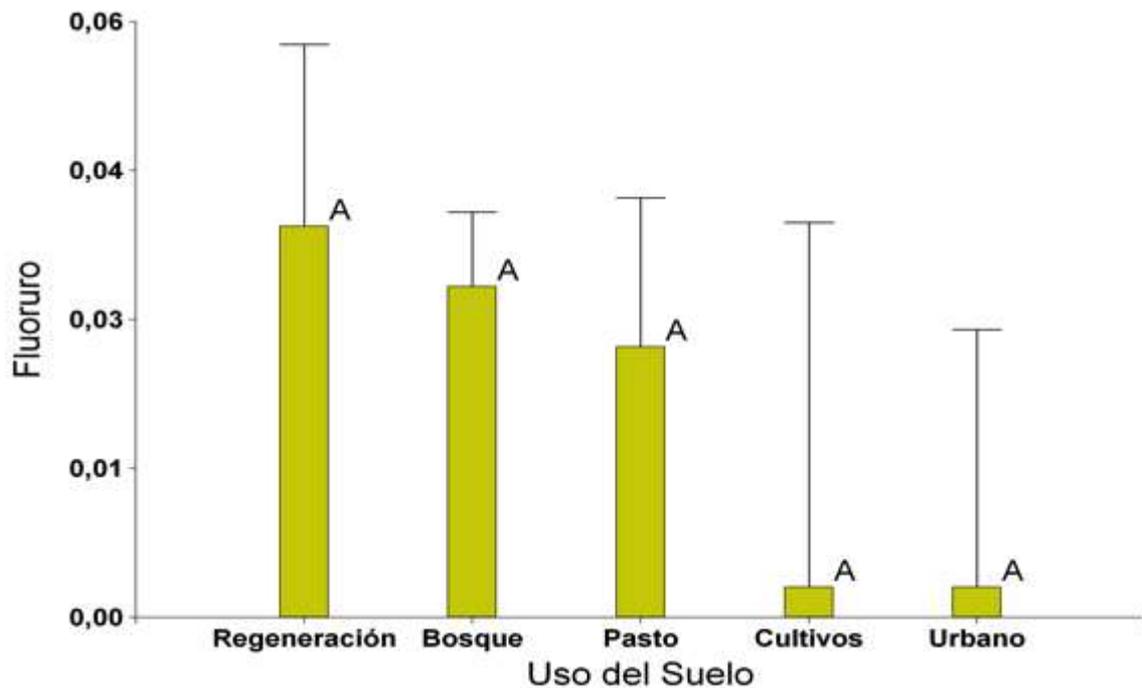
Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,07291

Error: 0,0013 gl: 32

Uso	Medias	n	E.E.
Regeneracion	0,04	4	0,02 A
Bosque	0,03	24	0,01 A
Pasto	0,02	6	0,01 A
Cultivos	0	1	0,04 A
Urbano	0	2	0,03 A

Letras distintas indican diferencias significativas (p <= 0,05)

Análisis de Varianza



Cont. Anexo 18. Análisis de varianza para cada variable de la calidad del agua versus el uso del suelo.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
pH	37	0,32	0,24	8,51

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

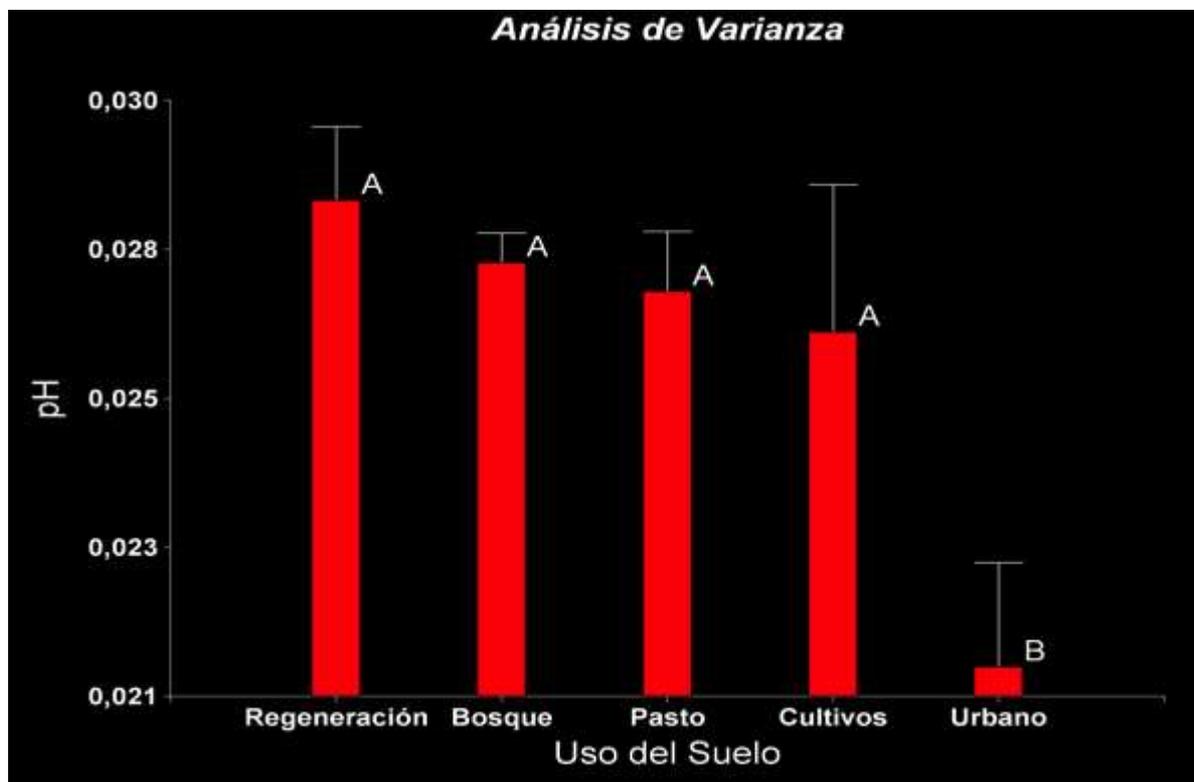
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	8,10E-05	4	2,00E-05	3,85	0,0116
Uso	8,10E-05	4	2,00E-05	3,85	0,0116
Error	1,70E-04	32	5,30E-06		
Total	2,50E-04	36			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,00465

Error: 0,0000 gl: 32

Uso	Medias	n	E.E.	
Regeneracion	0,03	4	1,20E-03	A
Bosque	0,03	24	4,70E-04	A
Pasto	0,03	6	9,40E-04	A
Cultivos	0,03	1	2,30E-03	A
Urbano	0,02	2	1,60E-03	B

Letras distintas indican diferencias significativas (p <= 0,05)



Cont. Anexo 18. Análisis de varianza para cada variable de la calidad del agua versus el uso del suelo.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Turbiedad	37	0,04	0	218,09

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

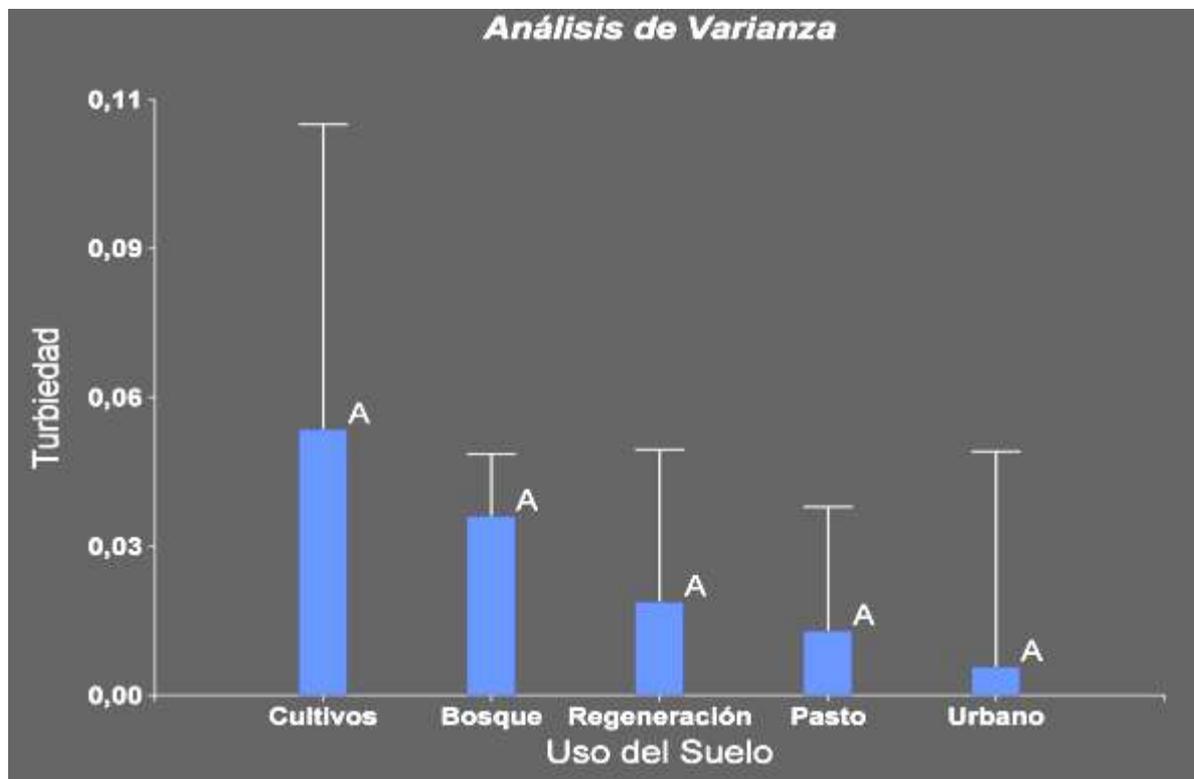
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	4,50E-03	4	1,10E-03	0,32	0,8621
Uso	4,50E-03	4	1,10E-03	0,32	0,8621
Error	0,11	32	3,50E-03		
Total	0,12	36			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,11910

Error: 0,0035 gl: 32

Uso	Medias	n	E.E.
Cultivos	0,05	1	0,06 A
Bosque	0,03	24	0,01 A
Regeneracion	0,02	4	0,03 A
Pasto	0,01	6	0,02 A
Urbano	4,40E-03	2	0,04 A

Letras distintas indican diferencias significativas (p ≤ 0,05)



Anexo 19. Análisis de varianza para cada variable de la calidad del agua por separado contra el estado de la captación.

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Alcalinidad	37	0,08	0	99,57

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

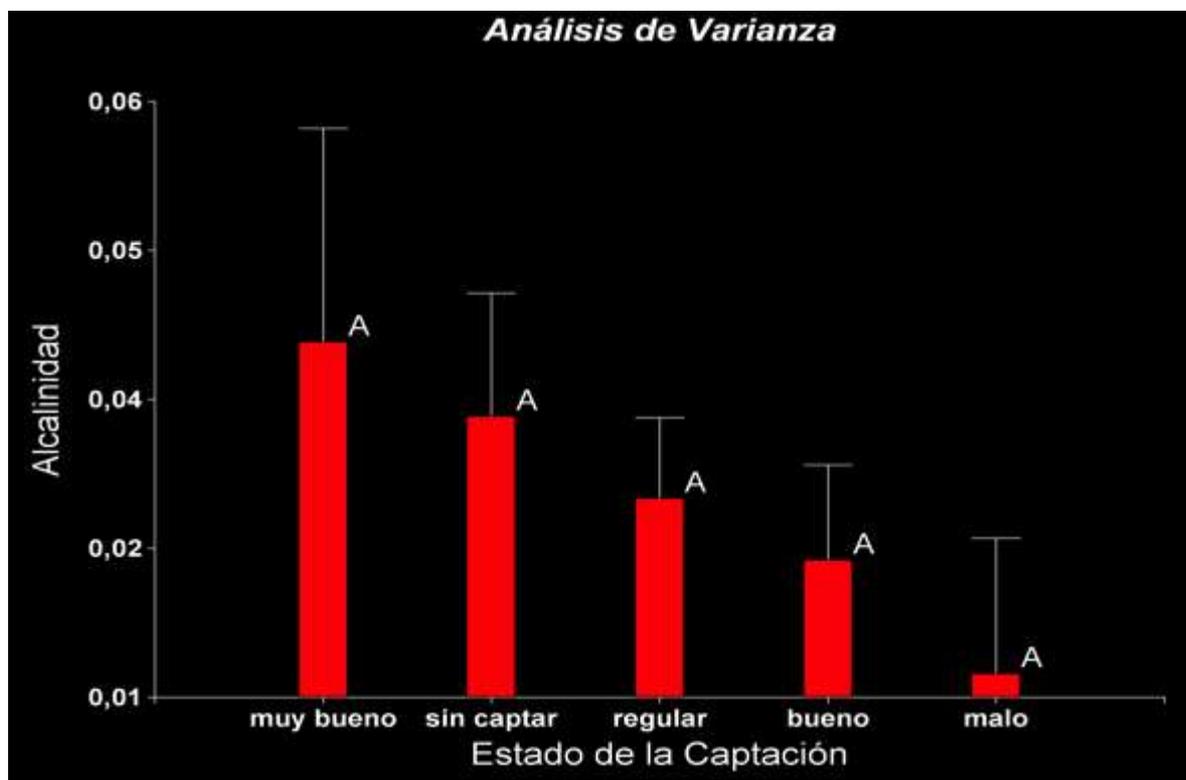
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	2,10E-03	4	5,30E-04	0,73	0,5769
Estado	2,10E-03	4	5,30E-04	0,73	0,5769
Error	0,02	32	7,20E-04		
Total	0,03	36			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,04458

Error: 0,0007 gl: 32

Estado	Medias	n	E.E.
muy	0,04	2	0,02 A
sin captar	0,04	6	0,01 A
regular	0,03	14	0,01 A
bueno	0,02	10	0,01 A
malo	0,01	5	0,01 A

Letras distintas indican diferencias significativas(p<= 0,05)



Cont. Anexo 19. Análisis de varianza para cada variable de la calidad del agua por separado versus el estado de la captación.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Coliformes	37	0,12	0,01	195,26

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

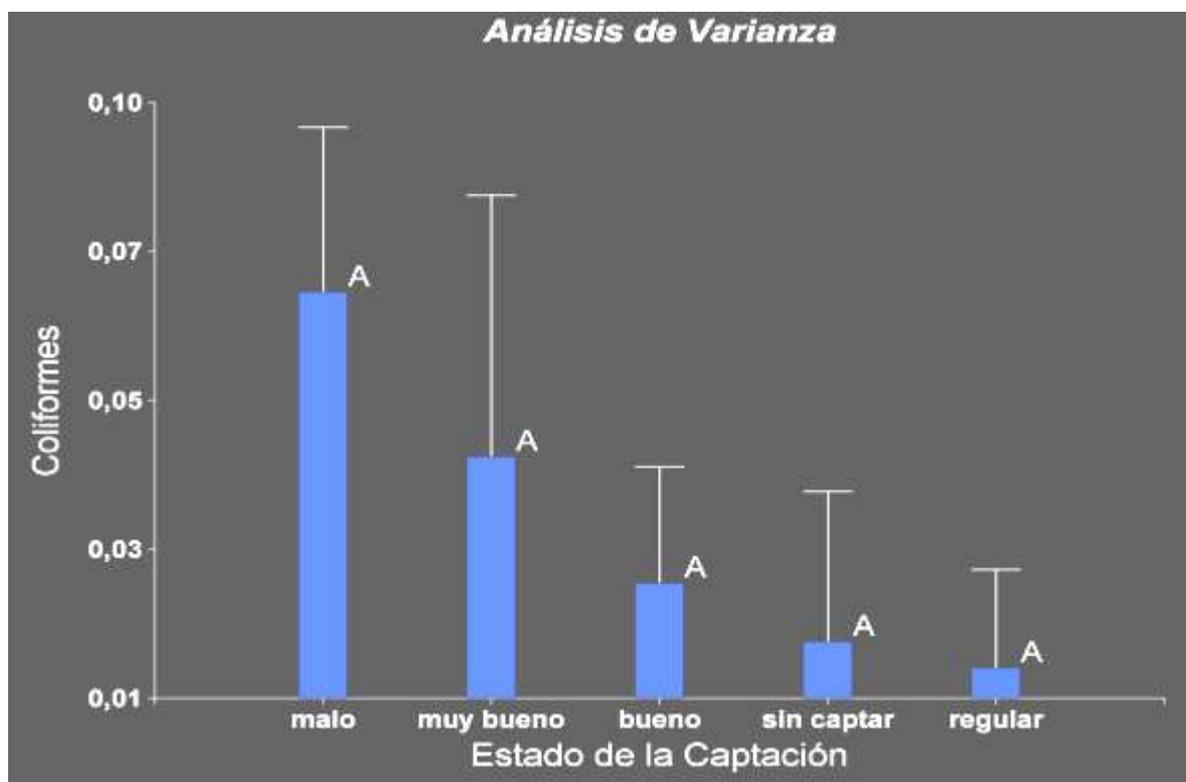
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,01	4	2,90E-03	1,05	0,3961
Estado	0,01	4	2,90E-03	1,05	0,3961
Error	0,09	32	2,80E-03		
Total	0,1	36			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,08742

Error: 0,0028 gl: 32

Estado	Medias	n	E.E.
malo	0,07	5	0,02 A
muy	0,04	2	0,04 A
bueno	0,03	10	0,02 A
sin captar	0,02	6	0,02 A
regular	0,01	14	0,01 A

Letras distintas indican diferencias significativas (p <= 0,05)



Cont. Anexo 19. Análisis de varianza para cada variable de la calidad del agua por separado versus el estado de la captación.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Color	37	0,27	0,18	140,3

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,02	4	4,20E-03	2,94	0,0354
Estado	0,02	4	4,20E-03	2,94	0,0354
Error	0,05	32	1,40E-03		
Total	0,06	36			

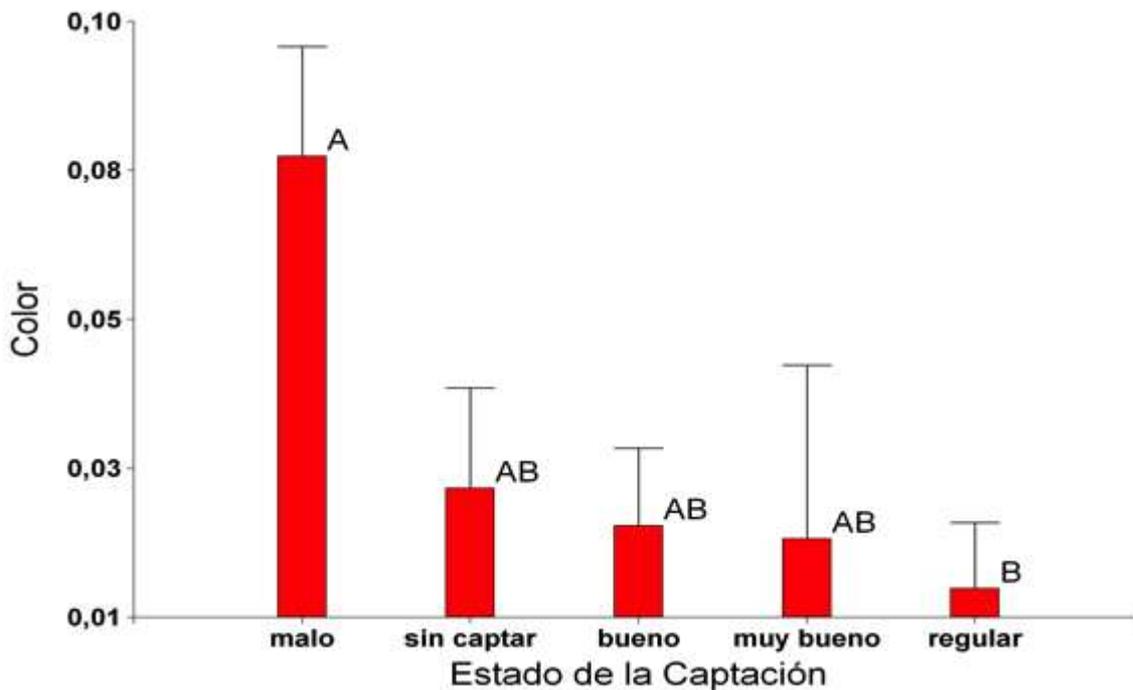
Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,06281

Error: 0,0014 gl: 32

Estado	Medias	n	E.E.		
malo	0,08	5	0,02	A	
sin captar	0,03	6	0,02	A	B
bueno	0,02	10	0,01	A	B
muy	0,02	2	0,03	A	B
regular	0,01	14	0,01		B

Letras distintas indican diferencias significativas(p<= 0,05)

Análisis de Varianza



Cont. Anexo 19. Análisis de varianza para cada variable de la calidad del agua por separado versus el estado de la captación.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Conductividad	37	0,09	0	96,03

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

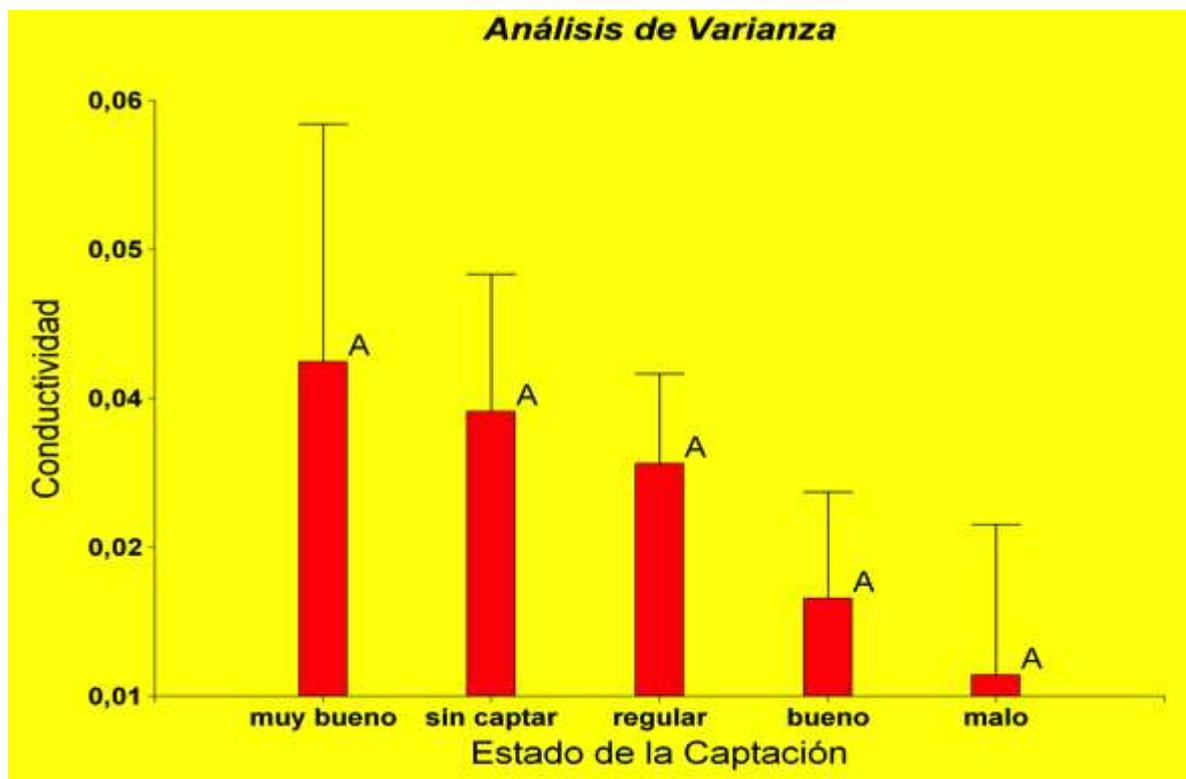
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	2,10E-03	4	5,10E-04	0,76	0,5566
Estado	2,10E-03	4	5,10E-04	0,76	0,5566
Error	0,02	32	6,70E-04		
Total	0,02	36			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,04299

Error: 0,0007 gl: 32

Estado	Medias	n	E.E.
muy	0,04	2	0,02 A
sin captar	0,03	6	0,01 A
regular	0,03	14	0,01 A
bueno	0,02	10	0,01 A
malo	0,01	5	0,01 A

Letras distintas indican diferencias significativas (p <= 0,05)



Cont. Anexo 19. Análisis de varianza para cada variable de la calidad del agua por separado versus el estado de la captación.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Dureza	37	0,08	0	99,48

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

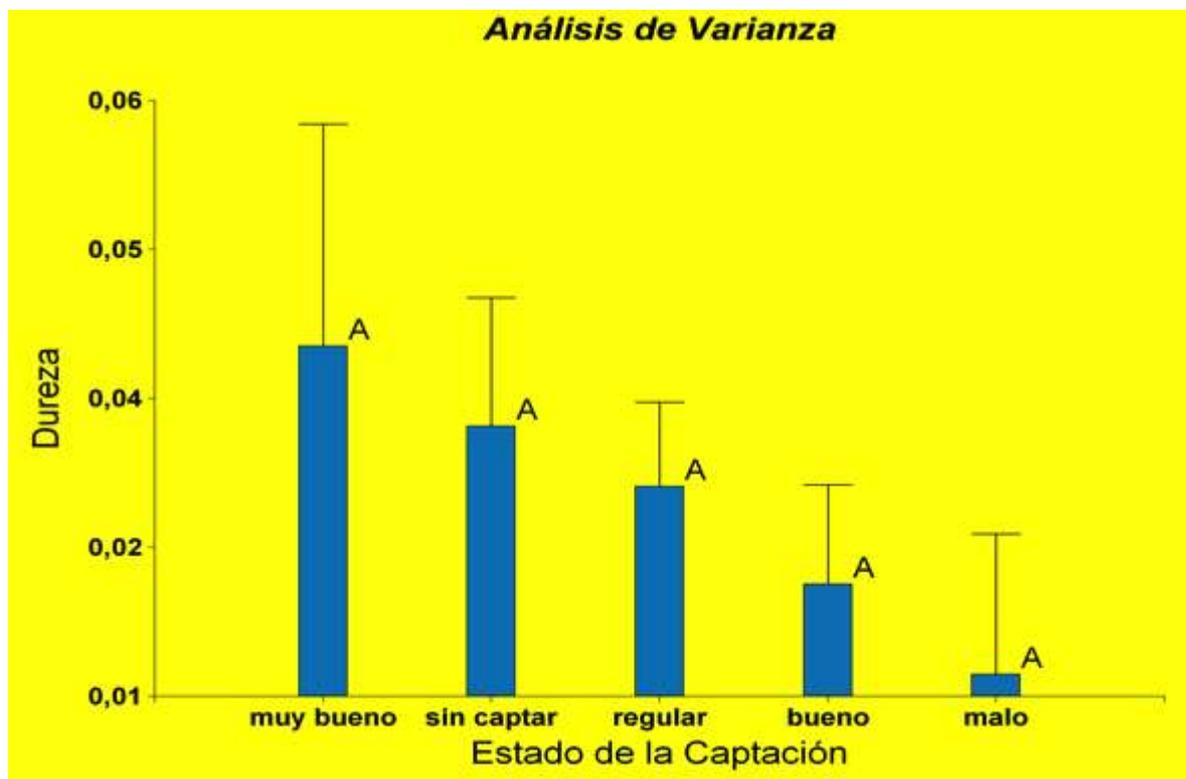
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	2,10E-03	4	5,30E-04	0,73	0,5759
Estado	2,10E-03	4	5,30E-04	0,73	0,5759
Error	0,02	32	7,20E-04		
Total	0,03	36			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,04454

Error: 0,0007 gl: 32

Estado	Medias	n	E.E.
muy	0,04	2	0,02 A
sin captar	0,04	6	0,01 A
regular	0,03	14	0,01 A
bueno	0,02	10	0,01 A
malo	0,01	5	0,01 A

Letras distintas indican diferencias significativas (p <= 0,05)



Cont. Anexo 19. Análisis de varianza para cada variable de la calidad del agua por separado versus el estado de la captación.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
E.coli	37	0,14	0,03	201,53

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

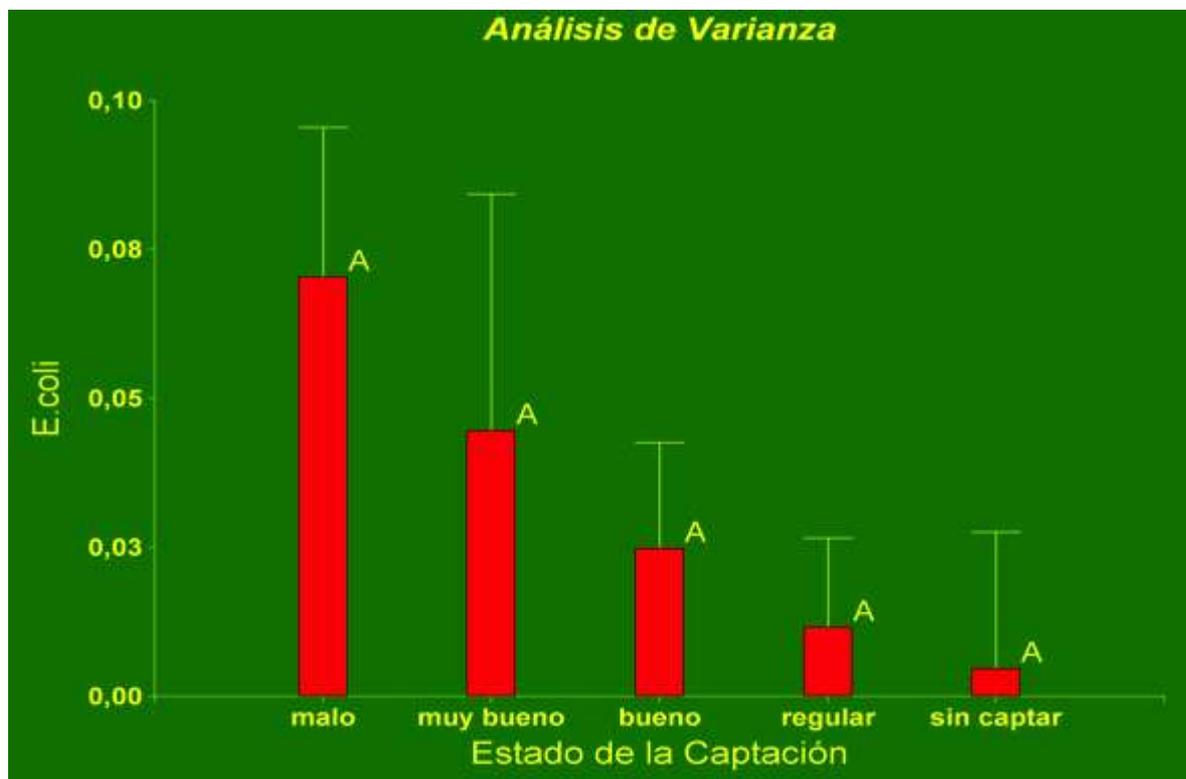
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,02	4	3,80E-03	1,27	0,3022
Estado	0,02	4	3,80E-03	1,27	0,3022
Error	0,09	32	3,00E-03		
Total	0,11	36			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,09023

Error: 0,0030 gl: 32

Estado	Medias	n	E.E.
malo	0,07	5	0,02 A
muy	0,05	2	0,04 A
bueno	0,03	10	0,02 A
regular	0,02	14	0,01 A
sin captar	0,01	6	0,02 A

Letras distintas indican diferencias significativas(p<= 0,05)



Cont. Anexo 19. Análisis de varianza para cada variable de la calidad del agua por separado versus el estado de la captación.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Fluoruro	37	0,14	0,04	127,5

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

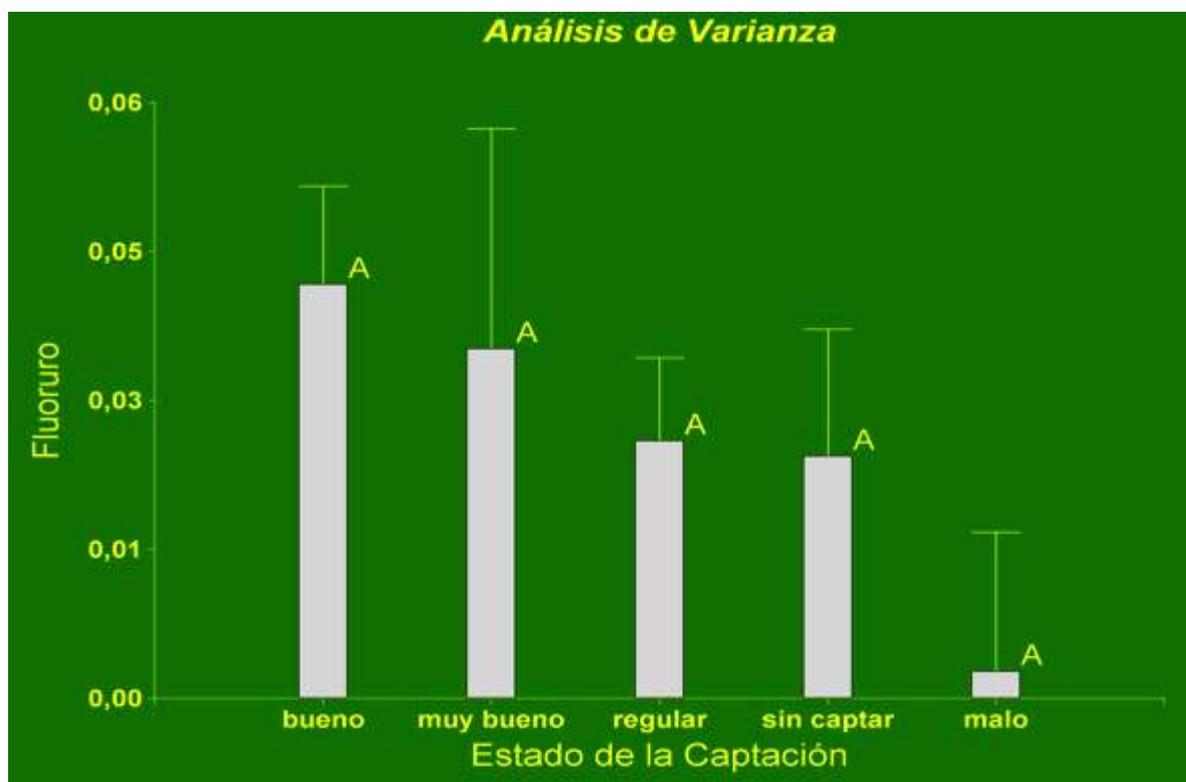
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,01	4	1,60E-03	1,35	0,2737
Estado	0,01	4	1,60E-03	1,35	0,2737
Error	0,04	32	1,20E-03		
Total	0,04	36			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,05708

Error: 0,0012 gl: 32

Estado	Medias	n	E.E.
bueno	0,04	10	0,01 A
muy	0,04	2	0,02 A
regular	0,03	14	0,01 A
sin captar	0,02	6	0,01 A
malo	0	5	0,02 A

Letras distintas indican diferencias significativas(p<= 0,05)



Cont. Anexo 19. Análisis de varianza para cada variable de la calidad del agua por separado versus el estado de la captación.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
pH	37	0,14	0,03	9,62

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

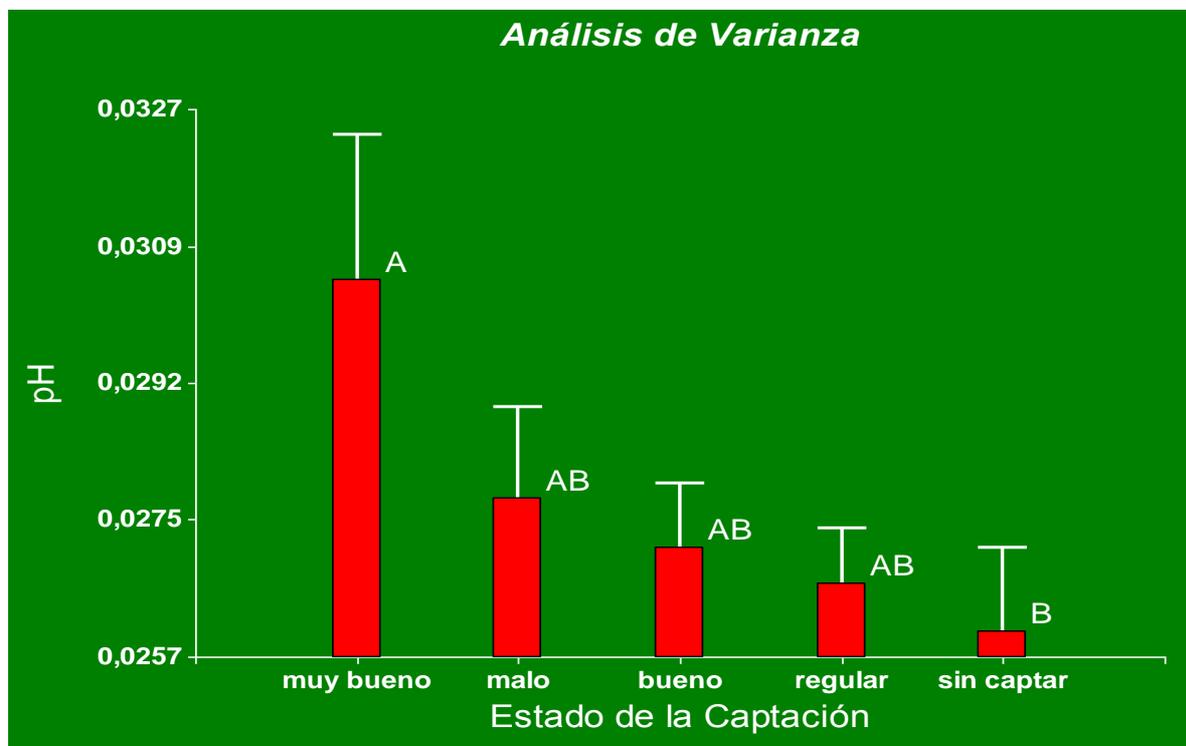
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	3,40E-05	4	8,60E-06	1,27	0,005
Estado	3,40E-05	4	8,60E-06	1,27	0,005
Error	2,20E-04	32	6,80E-06		
Total	2,50E-04	36			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,00431

Error: 0,0000 gl: 32

Estado	Medias	n	E.E.		
muy	0,03	2	1,80E-03	A	
malo	0,03	5	1,20E-03	A	B
bueno	0,03	10	8,20E-04	A	B
regular	0,03	14	7,00E-04	A	B
sin captar	0,03	6	1,10E-03		B

Letras distintas indican diferencias significativas(p<= 0,05)



Cont. Anexo 19. Análisis de varianza para cada variable de la calidad del agua por separado versus el estado de la captación.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Turbiedad	37	0,36	0,28	177,49

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

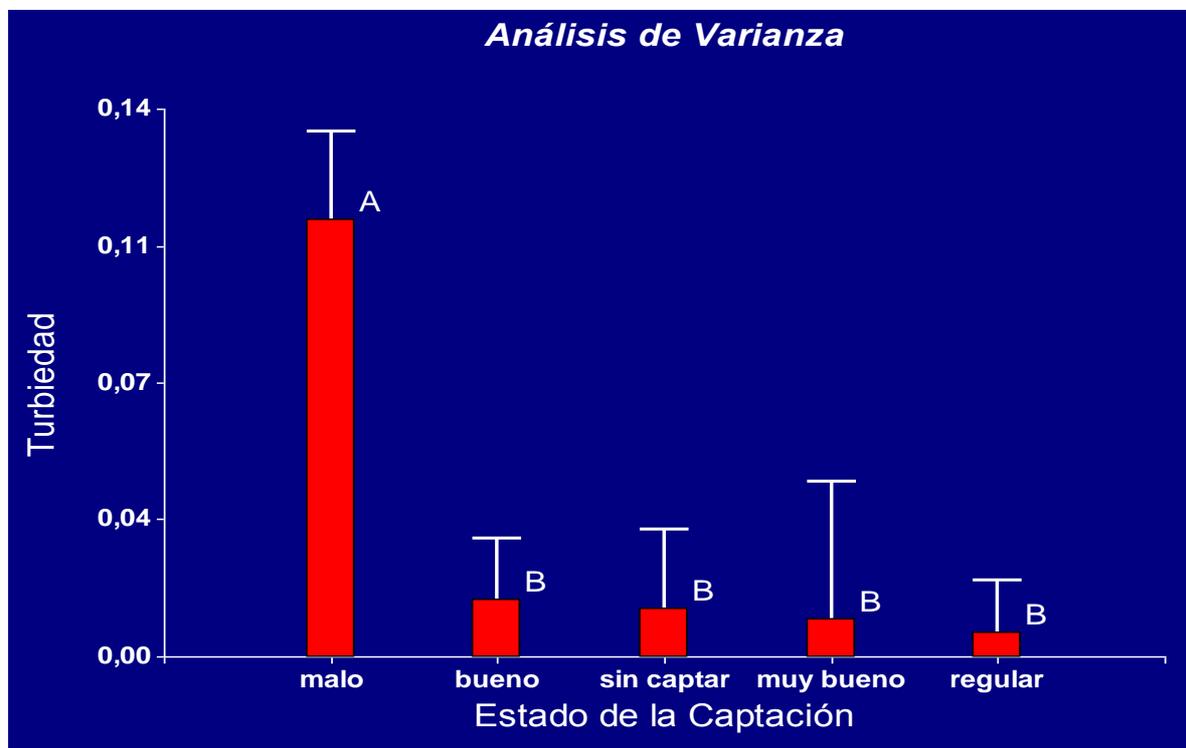
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,04	4	0,01	4,56	0,005
Estado	0,04	4	0,01	4,56	0,005
Error	0,07	32	2,30E-03		
Total	0,12	36			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,07946

Error: 0,0023 gl: 32

Estado	Medias	n	E.E.	
malo	0,11	5	0,02	A
bueno	0,02	10	0,02	B
sin captar	0,02	6	0,02	B
muy	0,01	2	0,03	B
regular	0,01	14	0,01	B

Letras distintas indican diferencias significativas(p<= 0,05)



Anexo 20. Análisis canónico discriminante por Uso del Suelo.

Canonical Discriminant Analysis for Uso:					
	<i>CanRsq</i>	<i>Eigenvalue</i>	<i>Difference</i>	<i>Percent</i>	<i>Cumulative</i>
1	0.997799	453.299384	451.87	99.607028	99.607
2	0.587598	1.424816	451.87	0.313086	99.92
3	0.214724	0.273437	451.87	0.060084	99.98
4	0.082666	0.090115	451.87	0.019802	100
Test of H0: The canonical correlations in the current row and all that follow are zero					
	<i>LR test stat</i>	<i>approx F</i>	<i>num Df</i>	<i>den Df</i>	<i>Pr(> F)</i>
1	0.001	48.252	16	77.014	< 2.2e-16 ***
2	0.297	4.557	9	63.428	0.0001193 ***
3	0.72	2.406	4	54	0.606921
4	0.917	2.523	1	28	0.1234104

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1					

Anexo 21. Análisis Canónico Discriminante por Estado de la Captación (Tipo).

Canonical Discriminant Analysis for Estado:					
	<i>CanRsq</i>	<i>Eigenvalue</i>	<i>Difference</i>	<i>Percent</i>	<i>Cumulative</i>
1	0.66567	1.99104	0.97835	57.5693	57.569
2	0.50315	1.01269	0.97835	29.2811	86.85
3	0.24559	0.32553	0.97835	9.4126	96.263
4	0.11445	0.12925	0.97835	3.7371	100
Test of H0: The canonical correlations in the current row and all that follow are zero					
	<i>LR test stat</i>	<i>approx F</i>	<i>num Df</i>	<i>den Df</i>	<i>Pr(> F)</i>
1	0.111	5.0716	16	77.014	5.099e-07 ***
2	0.3319	4.04	9	63.428	0.0003983***
3	0.6681	3.0167	4	54	0.0255995*
4	0.8855	3.6189	1	28	0.0674581.

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1					

Anexo 22. Fotos de huellas de mamíferos grandes en las captaciones cercanas o dentro de parches de bosque.



Foto de la huella de un jaguar (*Panthera onca*) en el sector de Braulio carrillo en las cercanías a la Naciente el Tucán.



Fotografía de huella de Danta (*Tapirus bairdii*) cerca de las nacientes el Tucán y Murillos.

Anexo 23. Fotografías de nacientes sin los 100 y 200 metros de radio que deberían tener por Ley.



Naciente sin ningún tipo de cobertura boscosa y rodeada de cultivos.



Carretera a la Virgen de Sarapiquí

Nacientes en Cristo Rey que abastecen a la comunidad a menos de 5 metros de la carretera en una zona urbana.

Anexo 24. Fotografías que muestran divergencias en la legislación con respecto a la protección del recurso hídrico.



Quebrada en la zona de Horquetas totalmente descubierta y en un área de pastoreo cercana a un proyecto de reforestación



Quebrada sin ningún tipo de cobertura boscosa.

Cont. Anexo 24. Fotografías que muestran divergencias en la legislación con respecto a la protección del recurso hídrico.



Quebrada en Horquetas de Sarapiquí sin cobertura boscosa hasta entrar en el proyecto de de Reforestación asesorado por FUNDECOR.

Cont. Anexo 24. Fotografías que muestran divergencias en la legislación con respecto a la protección del recurso hídrico.



La misma quebrada queda nuevamente sin cobertura boscosa y entra a una plantación de palmito

Cont. Anexo 24. Fotografías que muestran divergencias en la legislación con respecto a la protección del recurso hídrico.



Quebrada entre plantación de palmito, empieza a empozarse y no buena escorrentía



La única cobertura existente son unas cuantas palmas a la ribera de la quebrada.

Anexo 25. Alcance del proyecto.



**SISTEMA NACIONAL DE ÁREAS DE CONSERVACIÓN
ÁREA DE CONSERVACIÓN CORDILLERA VOLCÁNICA CENTRAL
SUBREGIÓN NORTE**



26 de junio, 2009
JSN-620

M.Sc.
German Obando Vargas, Director
Departamento de Ciencia y Tecnología
FUNDECOR

Estimado señor:

En relación con el Proyecto Georeferenciación y Caracterización de Manantiales Captados y no Captados ACCVC, que se está ejecutando en la cuenca del río Sarapiquí, deseamos expresarle nuestro más sincero agradecimiento y le comunicamos los avances logrados con los valiosos aportes del trabajo de tesis del Biólogo Manuel Guerrero Hernández paralelo al Proyecto Determinación de los Efectos del Uso del Suelo sobre la Calidad de Agua en las Fuentes de Abastecimiento para el Consumo Humano en la Cuenca del Río Sarapiquí, del Departamento de Ciencia y Tecnología de la Fundación para el Desarrollo de la Cordillera Volcánica Central (FUNDECOR).

A continuación le indico los resultados de cada aporte brindado por FUNDECOR:

- Acompañamiento y asesoramiento de Manuel Guerrero Hernández en levantamiento de datos en el campo.
- Acceso de equipo (clinómetro, brújula, cámara fotográfica).
- Transporte para la georeferenciación de manantiales captados.
- Donación de un GPS.

Cubrir estos aspectos, dadas las limitaciones con las que se inició el proyecto, nos motivó para programar luego de una reunión con miembros de las ASADAS, quienes manifestaron también su apoyo y anuencia, un Taller de Motivación y una Gira de campo, en el que se presentó el proyecto y la experiencia en Grecia, además se realizó prácticas de georeferenciación y caracterización y se tomó acuerdos conjuntos en relación con la ejecución del mismo.

Por los requerimientos de capacitación en aforamiento tanto manual como con la herramienta de molinete, también se realizó un Taller de Aforamiento dirigido a funcionarios y a los fontaneros de las Asociaciones de Acueductos.



(506) 764-5031 / Telefax: 764-5032 ext. 102
e-mail: accvc.sarapiqui@sinac.go.cr Apdo. 10104-1000 San José, Costa Rica

Cont. Anexo 25. Alcance del proyecto.

M.Sc. German Obando V.
JSN-620
Pág. 2

Se georeferenció y caracterizó 31 manantiales captados y 6 no captados según lo acordado en el primer taller. Contar con la delimitación de las áreas de protección más urgentes debido a que estos manantiales son captados y están brindando agua a la mayoría de la población en Sarapiquí, nos permitió dar inicio al proceso de elaboración del documento y divulgación del mismo ante las instituciones involucradas.

- Análisis químicos, físicos y microbiológicos de los manantiales captados.

De gran relevancia para la toma de decisiones de la mayoría de las ASADAS, las cuales carecen de recursos para financiar estos trabajos. Además a partir de los resultados, se aprovechó la oportunidad para llevar a cabo una Jornada Científica denominada "Agua para Todos", en la que el Hidrólogo Roberto Ramírez de SENARA y el Químico Diego Bedoya de la compañía Corazón Tierno S.A., realizaron la interpretación de dichos análisis y se presentó los resultados y avances tanto de la tesis del Biólogo Manuel Guerrero Hernández como del Proyecto de Recurso Hídrico de FUNDECOR.

Se brindó en esta ocasión dos conferencias en los temas "Importancia y Monitoreo de la Calidad del Agua" y "Aspectos Sanitarios de Infraestructura en Acueductos" por el M.Sc. Jorge Herrera, Académico Investigador de la Universidad Nacional.

Se elaboró e imprimió 2000 fichas de Control de Consumo de Agua diseñadas por el Departamento de Educación Ambiental de FUNDECOR y la Subregión Sarapiquí, para realizar un monitoreo a cargo de las ASADAS, con una muestra de la población y replicar la acción si los resultados son positivos, con la finalidad de promover el ahorro del recurso hídrico.

- Donación de los mapas impresos y digitales con la ubicación de los manantiales captados a la Municipalidad de Sarapiquí y a las catorce asociaciones administradoras de acueductos.

Estos mapas impresos y digitales son de suma relevancia tanto para las ASADAS que podrán contar con la información de ubicación de sus manantiales y respectiva área de protección, sino también para la Municipalidad de Sarapiquí, a la que ya se le presentó en una sesión extraordinaria con el Consejo Municipal el primer Taller de divulgación del Proyecto de Recurso Hídrico de la Subregión. Estos mapas constituyen una herramienta fundamental para aplicación y ubicación en el trámite de permisos tanto forestales como de construcción, urbanización y otros proyectos.

- Apoyo en la elaboración del documento del proyecto para la oficialización del mismo.

El documento concluido nos permitirá la oficialización del proyecto, continuar con la georeferenciación de los manantiales no captados para actualización del mapa, iniciar el próximo año en Río Cuarto y además la búsqueda de posibilidades para el financiamiento de los estudios hidrogeológicos para determinar las áreas de recarga acuífera.

Cont. Anexo 25. Alcance del proyecto.

M.Sc. German Obando V.
JSN-620
Pág. 3

Asimismo con la integración de Recurso Hídrico y Educación Ambiental en la Subregión, y el apoyo del Departamento de Educación Ambiental de FUNDECOR, se realizó talleres intergeneracionales en los temas de Recurso Hídrico y Ecosistemas, con los grupos de adultos mayores de Puerto Viejo y Amistad en el Atardecer de San Miguel de Sarapiquí, y los niños y niñas de los centros educativos en esas comunidades, con la idea de generar un espacio físico, afectivo, cognoscitivo entre adultos mayores y niños, en un esfuerzo de promover valores ambientales, solidaridad y una sociedad para todos. También se llevó a cabo una reforestación denominada "Sembrar Solidaridad: Una Tarea para Todas las Generaciones".

Elaboración de material divulgativo como afiches, carpetas, bolsos de manta, un collage para divulgación e información sobre el Proyecto de Recurso Hídrico, todo esto en el marco de las celebraciones del Día Mundial del Agua y el Día Mundial del Ambiente.

En estos procesos se coordinó e integró diferentes entidades cuya participación es vinculante en el impulso del proyecto, que declararon su interés y respaldo; como son las diferentes Asociaciones Administradoras de Acueductos, Servicio Nacional de Riego y Avenamiento (SENARA), Municipalidad de Sarapiquí, Empresa de Servicios Públicos de Heredia, Ministerio de Educación Pública, Campus Sarapiquí de la Universidad Nacional, Ministerio de Salud, entre otros.

Reiteramos nuestro agradecimiento al Departamento de Ciencia y Tecnología y al Departamento de Educación Ambiental de la Fundación para la Cordillera Volcánica Central, esperamos continuar avanzando y contando con su colaboración, porque es claro que la coordinación y el trabajo conjunto entre instituciones y organizaciones, son fundamentales para el desarrollo de las comunidades y para la protección, respeto y conservación de nuestro valioso recurso hídrico.

Atentamente,


Luis Fernando Salas Sarais
Jefe Subregión Sarapiquí




Rafael Gutiérrez Rojas
Director ACCVC



fgm/oficios*26.06

C: Lic. Aurelia Viquez Q., Coordinadora RH ACCVC
Lic. Olga Durán M., Coordinadora EA ACCVC
Sra. Fainier Guzmán, Enc. EA y RH Subregión Sarapiquí