



**Universidad Nacional de Misiones. Facultad de Ciencias Exactas,  
Químicas y Naturales. Secretaría de Investigación y Postgrado.  
Maestría en Tecnología de los Alimentos**

Maestranda  
***Bárbara Eloísa Iwasita***

## **Calidad de agua de vertientes protegidas en la zona centro de la provincia de Misiones**

**Tesis de Maestría presentada para obtener el título de “Magíster  
en Tecnología de los Alimentos”**

“Este documento es resultado del financiamiento otorgado por el Estado Nacional, por lo tanto  
queda sujeto al cumplimiento de la Ley N° 26.899”.

Director  
***Mgter. Mario Basán Nickisch***  
Co-Directora  
***Mgter. Amada Beatriz Pucciarelli Román***  
Co-Director  
***Mgter. Domingo Alberto Sosa***

**Posadas, Misiones, 2018**



Esta obra está licenciado bajo Licencia Creative Commons (CC) Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>



**FACULTAD DE CIENCIAS, EXACTAS,  
QUÍMICAS Y NATURALES**

**Maestría en Tecnología de los Alimentos**

Acreditada por la Comisión Nacional de Evaluación y Acreditación Universitaria  
(CONEAU), Resolución N° 255/00

---

# **Calidad de agua de vertientes protegidas en la zona centro de la provincia de Misiones.**

**Autora: Bárbara Eloísa Iwasita**

**Director: Mgter. Mario Basán Nickisch**  
**Co-Director: Mgter. Amada Beatriz Pucciarelli Román**  
**Co-Director: Mgter. Domingo Alberto Sosa**

**2018**

*Nosotros aprobamos la tesis de Maestría de Bárbara E. Iwasita – FECHA:*

---

**Dra. Marta Paris**  
**Evaluadora Externa - Fac. de Ingeniería y Ciencias Hídricas**  
**Universidad Nacional del Litoral**

---

**Mgter. Cecilia M. Puchalski**  
**Evaluadora Interna – FCEQyN**  
**Universidad Nacional de Misiones**

---

**Dr. Luis Alberto Brumovsky**  
**Evaluador Interno – FCEQyN**  
**Universidad Nacional de Misiones**

---

**Mgter. Mario Basán Nickisch**  
**Director de Tesis – INTA**

---

**Mgter. Amada Beatriz Pucciarelli Román**  
**Co-Director de Tesis – FCEQyN**  
**Universidad Nacional de Misiones**

---

**Mgter. Domingo Alberto Sosa**  
**Co-Director de Tesis – INTA**

**CALIFICACIÓN: Elaboración de Tesis.....**

**CALIFICACIÓN: Defensa de Tesis.....**

*A mi familia, por enseñarme el camino a seguir.*

*A mi esposo e hijas, por acompañarme en este camino.*

*A Dios.*

## RESUMEN

Proyectos tecnológicos como las vertientes protegidas, son opciones no convencionales que permiten el acceso al agua en cantidad y calidad a comunidades rurales reducidas. El objetivo del trabajo fue evaluar la calidad de agua de vertientes protegidas de la zona centro de la provincia de Misiones y proporcionar soluciones con tecnologías apropiadas para su mejora. Se realizó un monitoreo anual de parámetros físicos, químicos y microbiológicos en 6 vertientes protegidas y se compararon vertientes antes y después de la protección, utilizando métodos normalizados, el Código Alimentario Argentino y el Manual de la FAO, para consumo humano y riego respectivamente. Se estudió la influencia de tres factores que influyen en la calidad de agua de las vertientes: tipos de suelo, estaciones del año y precipitaciones; además se encontraron correlaciones entre las variables analizadas. Se aplicaron 4 alternativas de tratamiento a utilizar en los puntos de uso del agua. Los resultados de los parámetros físicos y químicos fueron normales, a excepción de pH y turbiedad. El 67% de las vertientes presentó un pH ligeramente menor de lo especificado en el CAA (6,5-8,5), debido a la sobresaturación de CO<sub>2</sub> en el agua y 2 vertientes presentaron valores de turbiedad mayores a 3 UNT. Los bajos contenidos de Coliformes Totales (298 NMP/100mL) y Coliformes Fecales (94 NMP/100mL) se solucionarían con el método de filtración simple y desinfección. Los análisis realizados antes y después de la protección evidenciaron la mejora en la calidad de agua, al evitar la contaminación externa. Los tratamientos propuestos con uso de pastillas de disolución rápida, hipoclorito de sodio y ebullición fueron efectivos. Se cuestionan los elevados niveles de cloro libre residual encontrados al aplicar las pastillas de disolución rápida que podrían formar sustancias tóxicas. El

método UV se recomienda para los casos en que puedan cumplirse las condiciones de radiación, tiempo y temperatura requeridas.

**Palabras clave:** evaluación, parámetros, contaminación, aguas naturales, consumo humano, riego, tratamientos.

## ABSTRACT

Technological projects such as protected watersheds are unconventional options that allow access to water in quantity and quality to small rural communities. The objective of this work was to evaluate the water quality of protected watersheds in the central area of the province of Misiones and to provide solutions with appropriate technologies for its improvement. Annual monitoring of physical, chemical and microbiological parameters was carried out on 6 protected slopes and comparing slopes before and after protection, using standardized methods, the Argentine Food Code and the FAO Manual, for human consumption and irrigation, respectively. The influence of three factors influencing the water quality of the slopes was studied: types of soils, seasons of the year and rainfall; in addition, correlations were found between the variables analyzed. Four treatment alternatives were applied to the water use points. The results of the physical and chemical parameters were normal, with the exception of pH and turbidity. 67% of the watersheds presented a pH slightly lower than the one specified in the CAA (6,5-8,5), due to the CO<sub>2</sub> supersaturation in the water and 2 slopes presented turbidity values greater than 3 UNT. The low content of Total Coliforms (298 NMP / 100mL) and Fecal Coliforms (94 NMP / 100mL) would be solved with the simple filtration and disinfection method. The analyzes performed before and after the protection evidenced the improvement in water quality, by avoiding external contamination. The treatments proposed with the use of slow dissolving tablets, sodium hypochlorite and boiling were effective. The high levels of residual free chlorine found when applying slow-release tablets that could form toxic substances are questioned. The UV method is recommended for cases where the required radiation, time and temperature conditions can be met.

Key words: evaluation, parameters, pollution, natural waters, human consumption, irrigation, treatments.

## **AGRADECIMIENTOS**

A mi Co-Directora Mgter. Amada B. Pucciarelli Román por todo el apoyo recibido y sus aportes en la Tesis.

A mi Director Mgter. Mario Basán Nickisch por su acompañamiento y corrección de Tesis. A mi Co-Director Mgter. Domingo A. Sosa, por brindarme herramientas durante el desarrollo del trabajo y en la Tesis.

A la LQI Paula M. Novak y al LQI Darío Ortiz por los análisis microbiológicos y químicos realizados y la buena predisposición.

A Miguel A. Fit, Fernando L. Termachuka y Rubén Alvez por sus colaboraciones, en particular durante el monitoreo de agua.

A los técnicos Demetrio Ferreyra y Germán Acosta por permitirme el acceso a los trabajos realizados en vertientes protegidas.

Al Ing. Agr. Mario Kryvenki y al Lic. Martín Dominguez por facilitar el acceso al instrumental requerido para los análisis microbiológicos.

A las familias de productores Amparo, Munaretto, Suleski por su predisposición y por facilitarme el ingreso a las vertientes protegidas.

Al grupo Recursos Naturales, Mgter Ing. Agr. Sebastián Barbaro, Mgter Ing. Rec. Nat. Silvia Albarracín y Lic. Fernando Alvarenga por su acompañamiento.

Al Dr. Lucas Moretti por sus sugerencias. A la Mgter. Rosana Bubillo por los últimos aportes.

Al grupo de Meteorología de la EEA Cerro Azul por brindar información relevante para la tesis.

Al PReT Centro por financiar parte de este trabajo.

Al INTA por financiar mi posgrado.



## TABLA DE CONTENIDOS

<b>RESUMEN.....</b>	<b>IV</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>VI</b>
<b>AGRADECIMIENTOS .....</b>	<b>VII</b>
<b>LISTA DE TABLAS .....</b>	<b>XII</b>
<b>LISTA DE FIGURAS .....</b>	<b>XIV</b>
<b>LISTA DE SIGLAS, ABREVIATURAS Y SÍMBOLOS .....</b>	<b>XVI</b>
<b>I. 1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>21</b>
<b>I. 2. ALCANCE Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>22</b>
<b>I. 3. JUSTIFICACIÓN .....</b>	<b>23</b>
<b>I. 4. OBJETIVOS .....</b>	<b>25</b>
<b>I. 4. 1. Objetivo General.....</b>	<b>25</b>
<b>I. 4. 2. Objetivos Específicos .....</b>	<b>25</b>
<b>II. MARCO CONCEPTUAL.....</b>	<b>27</b>
<b>II. 1. Antecedentes.....</b>	<b>27</b>
<b>II. 2. El Agua.....</b>	<b>31</b>
<b>II. 2. 1. Composición.....</b>	<b>32</b>
<b>II. 2. 2. Agua y consumo humano .....</b>	<b>33</b>
<b>II. 2. 3. Agua y alimentos .....</b>	<b>34</b>
<b>II. 2. 4. Enfermedades transmitidas por el agua .....</b>	<b>36</b>
<b>II. 3. Proyectos de acceso al agua .....</b>	<b>37</b>

II. 3. 1. Vertientes protegidas.....	38
<b>II. 4. Calidad de agua.....</b>	<b>39</b>
II. 4. 1. Factores que afectan la calidad.....	39
II. 4. 2. Control de calidad .....	40
II. 4. 3. Marco Regulatorio .....	42
<b>II. 5. Implementando el control de Calidad de agua .....</b>	<b>43</b>
II. 5. 1. Monitoreo .....	43
II. 5. 2. Parámetros físico-químicos .....	43
II. 5. 2. 1. Temperatura.....	43
II. 5. 2. 2. pH.....	44
II. 5. 2. 3. Conductividad Eléctrica .....	44
II. 5. 2. 4. Sólidos Disueltos Totales (SDT).....	45
II. 5. 2. 5. Turbiedad .....	45
II. 5. 2. 6. Nitratos .....	46
II. 5. 2. 7. Fosfatos.....	46
II. 5. 2. 8. Sulfatos .....	47
II. 5. 2. 9. Cloruros.....	47
II. 5. 2. 10. Glifosato .....	48
II. 5. 3. Parámetros microbiológicos .....	48
II. 5. 3. 1. Coliformes Totales.....	49
II. 5. 3. 2. Coliformes Fecales.....	49
II. 5. 3. 3. <i>Escherichia coli</i> .....	50
II. 5. 3. 4. Enterococos intestinales.....	50
II. 5. 3. 5. <i>Pseudomonas aeruginosa</i> .....	51
II. 5. 3. 6. Bacterias Aerobias Mesófilas Totales.....	51
II. 5. 3. 7. <i>Clostridium</i> sulfito reductores .....	52
<b>II. 6. Tratamientos.....</b>	<b>53</b>
II. 6. 1. Desinfección solar .....	54
II. 6. 2. Ebullición .....	54
II. 5. 3. Cloración .....	55
<b>III. 1. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL - METODOLOGÍA .....</b>	<b>57</b>
<b>III. 1. 1. Tipo de estudio y diseño de la Investigación .....</b>	<b>57</b>
<b>III. 1. 2. Área de Estudio .....</b>	<b>57</b>

<b>III. 1. 3. Caracterización Climática.....</b>	<b>58</b>
<b>III. 1. 4. Órdenes de suelos .....</b>	<b>59</b>
<b>III. 1. 5. Parte A: Monitoreo de Calidad de agua.....</b>	<b>60</b>
III. 1. 5. 1. Muestreo .....	60
III. 1. 5. 2. Determinación de parámetros químicos y microbiológicos.....	62
<b>III. 1. 6. Parte B: Experiencia de comparación de la calidad de agua de vertientes antes y después de la obra de protección. ....</b>	<b>65</b>
<b>III. 1. 7. Parte C: Variación de pH con distintos tratamientos .....</b>	<b>66</b>
<b>III. 1. 8. Parte D: Propuestas de tratamiento. ....</b>	<b>67</b>
III. 1. 8. 1. Pastillas de disolución rápida. ....	67
III. 1. 8. 1. 1. Determinación de Cloro Libre Residual. ....	68
III. 1. 8. 2. Hipoclorito de sodio .....	69
III. 1. 8. 3. Radiación UV .....	69
III. 1. 8. 4. Ebullición. ....	69
<b>III. 1. 9. Análisis estadístico .....</b>	<b>69</b>
 <b>III. 2. RESULTADOS Y DISCUSIÓN. ....</b>	 <b>70</b>
<b>III. 2. 1. Parte A: Monitoreo de Calidad de agua.....</b>	<b>70</b>
III. 2. 1. 1. Parámetros químicos.....	71
III. 2. 1. 1. 1. Glifosato. ....	71
III. 2. 1. 2. Parámetros físicos.....	72
III. 2. 1. 2. 1. Temperatura .....	72
III. 2. 1. 2. 2. Turbiedad .....	72
III. 2. 1. 3. Parámetros microbiológicos .....	74
III. 2. 1. 3. 1. Coliformes Totales, Coliformes Fecales, <i>Escherichia coli</i> . ....	74
III. 2. 1. 3. 2. Bacterias Aerobias Mesófilas Totales.....	77
III. 2. 1. 3. 3. <i>Pseudomonas aeruginosa</i> . ....	78
III. 2. 1. 3. 4. Enterococos.....	78
III. 2. 1. 3. 4. <i>Clostridium</i> Sulfito Reductores .....	79
III. 2. 1. 4. Factores que afectan la calidad de agua.....	80
III. 2. 1. 4. 1. Tratamiento Estadístico .....	80
III. 2. 1. 4. 1. Correlaciones .....	85
III. 2. 1. 4. 2. Influencia de las estaciones del año en la temperatura del agua. ....	86
III. 2. 1. 4. 3. Influencia del tipo de suelo en la calidad de agua. ....	88

III. 2. 1. 4. 4. Influencia de las precipitaciones en la calidad de agua.....	92
<b>III. 2. 2. Parte B: Experiencia de comparación de la calidad de agua de vertientes antes y después de la obra de protección. ....</b>	<b>94</b>
<b>III. 2. 3. Parte C: Variación de pH con distintos tratamientos.....</b>	<b>97</b>
<b>III. 2. 4. Parte D: Propuestas de tratamiento .....</b>	<b>98</b>
III. 2. 4. 1. Pastillas de disolución rápida .....	98
III. 2. 4. 2. Hipoclorito de Sodio .....	103
III. 2. 4. 3. Radiación UV .....	106
III. 2. 4. 4. Ebullición .....	107
<b>III. 3. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>108</b>
III. 3. 1. Conservación del área de la vertiente. ....	108
III. 3. 2. Construcción de la vertiente protegida. ....	109
<b>III. 4. CONCLUSIONES .....</b>	<b>111</b>
<b>IV. PROPUESTAS A FUTURO.....</b>	<b>112</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>113</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>120</b>

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Ejemplos de concentraciones detectables máximas (por Litro) notificadas en publicaciones de agentes patógenos entéricos e indicadores de contaminación fecal en diferentes cuerpos de agua. ....	29
<b>Tabla 2.</b> Características de los órdenes de suelos identificados para cada vertiente. ....	59
<b>Tabla 3.</b> Puntos de muestreo. Coordenadas geográficas. ....	61
<b>Tabla 4.</b> Determinaciones químicas. ....	63
<b>Tabla 5.</b> Determinaciones microbiológicas. ....	63
<b>Tabla 6.</b> Condiciones del tratamiento con pastillas de disolución rápida. ....	68
<b>Tabla 7.</b> Condiciones de exposición a la radiación UV. ....	69
<b>Tabla 8.</b> Resultados del monitoreo de Glifosato y AMPA. ....	71
<b>Tabla 9.</b> Estadísticos para temperatura del agua en la captación. ....	72
<b>Tabla 10.</b> Porcentaje de muestras negativas para Enterococos y valor máximo hallado para cada vertiente. ....	79
<b>Tabla 11.</b> Estadística descriptiva para las variables químicas. ....	81
<b>Tabla 12.</b> Vertiente 1. Análisis descriptivo. ....	83
<b>Tabla 13.</b> Vertiente 2. Análisis descriptivo. ....	83
<b>Tabla 14.</b> Vertiente 3. Análisis descriptivo. ....	84
<b>Tabla 15.</b> Vertiente 4. Análisis descriptivo. ....	84
<b>Tabla 16.</b> Vertiente 5. Análisis descriptivo. ....	85
<b>Tabla 17.</b> Vertiente 6. Análisis descriptivo. ....	85
<b>Tabla 18.</b> Matriz de Coeficientes de correlación de Spearman. ....	86
<b>Tabla 19.</b> Resultados de los distintos tratamientos con pastillas de disolución rápida para la Vertiente 1. ....	99
<b>Tabla 20.</b> Resultados de los distintos tratamientos con pastillas de disolución rápida para la Vertiente 2. ....	101
<b>Tabla 21.</b> Resultados de los distintos tratamientos con pastillas de disolución rápida para la Vertiente 6. ....	102
<b>Tabla 22.</b> Resultados del tratamiento con hipoclorito de sodio para la Vertiente 1. ....	104

<b>Tabla 23.</b> Resultados del tratamiento con hipoclorito de sodio para la Vertiente 2.....	104
<b>Tabla 24.</b> Resultados del tratamiento con hipoclorito de sodio para la Vertiente 6.....	105
<b>Tabla 25.</b> Resultados para las tres vertientes con el tratamiento UV. ....	107
<b>Tabla 26.</b> Resultados para las tres vertientes luego del tratamiento de ebullición. ....	108

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Esquema de vertiente protegida.....	39
<b>Figura 2.</b> Precipitación media mensual en la zona de muestreo.....	58
<b>Figura 3.</b> Zona centro de la provincia de Misiones. Ubicación geográfica de los sitios de muestreo. ....	61
<b>Figura 4.</b> Gráfico de caja y bigotes para la variable Turbiedad en cada vertiente. ....	74
<b>Figura 5.</b> Porcentajes de muestras negativas para Coliformes Totales, Coliformes Fecales y <i>E. coli</i> . ....	75
<b>Figura 6.</b> Valores promedios de BAMT en las vertientes muestreadas.....	78
<b>Figura 7.</b> Gráfico de Caja y Bigotes para la variable Conductividad. ....	81
<b>Figura 8.</b> Gráfico de Caja y Bigotes para la variable SDT.....	82
<b>Figura 9.</b> Gráfico de caja y bigotes para la T del agua considerando todos los valores.....	87
<b>Figura 10.</b> Gráfico de medias T del agua vs estación del año. ....	88
<b>Figura 11.</b> Gráfico de medias pH vs tipos de suelo. ....	89
<b>Figura 12.</b> Gráfico de medias Conductividad vs tipo de suelo ....	90
<b>Figura 13.</b> Gráfico de medias Cloruros vs tipo de suelo. ....	91
<b>Figura 14.</b> Gráfico de medias SDT vs tipo de suelo.....	91
<b>Figura 15.</b> Gráfico de medias Fosfatos vs tipo de suelo. ....	91
<b>Figura 16.</b> Gráfico de caja y bigotes. Mes del año vs. precipitaciones mensuales.....	92
<b>Figura 17.</b> Recuento mensual de CT (UFC/mL) para las Vertientes 1 y 3 .....	94
<b>Figura 18.</b> Recuento mensual de CT (UFC/mL) para las Vertientes 4 y 5 .....	94
<b>Figura 19.</b> Recuento de CT (NMP/mL) por mes para la Vertiente 2 .....	94
<b>Figura 20.</b> Recuento de CT (NMP/mL) por mes para la Vertiente 6. ....	94
<b>Figura 21.</b> Recuento de CT y BAMT antes y después de la protección. ....	96
<b>Figura 22.</b> Recuento de CF y Enterococos antes y después de la protección. ....	96
<b>Figura 23.</b> Gráfico de medias pH vs tratamientos.....	98
<b>Figura 24.</b> Contenido de cloro libre residual en V <sub>1</sub> luego de los tratamientos D <sub>1</sub> , D <sub>2</sub> y D <sub>3</sub> y tratamiento con hipoclorito de sodio. ....	99

<b>Figura 25.</b> Contenido de cloro libre residual en $V_2$ luego de los tratamientos $D_1$ , $D_2$ y $D_3$ y tratamiento con hipoclorito de sodio. ....	101
<b>Figura 26.</b> Contenido de cloro libre residual en $V_6$ luego de los tratamientos $D_1$ , $D_2$ y $D_3$ y tratamiento con hipoclorito de sodio. ....	103
<b>Figura 27.</b> Niveles de cloro libre residual a los 30 min, 48hs y 7 días del tratamiento con hipoclorito de sodio. ....	105



## LISTA DE SIGLAS, ABREVIATURAS Y SÍMBOLOS

AMPA: (en inglés)	Ácido aminometilfosfónico.
ANOVA: (en inglés)	Análisis de varianza.
APHA: (en inglés)	Asociación Americana de Salud Pública.
AWWA: (en inglés)	Asociación Americana de Obras de Agua.
Bact.:	Bacterias.
BAMT:	Bacterias Aerobias Mesófilas Totales.
CAA:	Código Alimentario Argentino.
CASA:	Centro de Aguas y Saneamiento Ambiental.
CE:	Conductividad Eléctrica del agua.
CEE:	Comunidad Económica Europea.
CF:	Coliformes Fecales.
CONAMA: (en portugués)	Consejo Nacional de Medio Ambiente.
CONICET:	Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas.
CLR:	Cloro Libre Residual
CT:	Coliformes Totales.
CTUA - INA:	Centro de Tecnología del Uso del Agua. Instituto Nacional del Agua.
EC Caldo:	Caldo <i>Escherichia Coli</i> .
EMB: (en inglés)	Eosina y Azul de Metileno.
EPA: (en inglés)	Agencia de Protección Ambiental.

FAO: (en inglés)	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
g:	Gramos.
hs:	Horas.
HCIO:	Ácido hipocloroso.
ICMSF: (en inglés)	Comisión Internacional de Especificaciones Microbiológicas para los Alimentos.
IMVIC:	Indol, Rojo de Metilo, Voges-Proskauer y Citratos.
INAA:	Instituto Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados.
Kcal:	Kilocalorías.
KF Agar:	Agar Fecal de Kenner
km:	Kilómetros.
km <sup>2</sup> :	Kilómetros cuadrados.
LC:	Límite de Cuantificación.
LD:	Límite de Detección.
L:	Litros.
log:	Logaritmo.
m:	Metro.
meq/100g:	Miliequivalentes por cien gramos.
mg/L:	miligramos por litro.
min:	Minutos.
mL:	Mililitros.

mm:	Milímetros.
nm:	Nanómetros.
NMP:	Número Más Probable.
NTE INEN:	Norma Técnica Ecuatoriana. Instituto Ecuatoriano de Normalización.
OD:	Oxígeno Disuelto.
OMS:	Organización Mundial de la Salud.
ONU:	Organización de las Naciones Unidas.
OPS:	Organización Panamericana de la Salud.
%:	Por ciento.
pH:	Potencial Hidrógeno.
ppb:	Partes por billón.
ppm:	Partes por millón.
SDT:	Sólidos Disueltos Totales.
SM: (en inglés)	Métodos Estándar.
SODIS: (en inglés)	Sistema de Desinfección Solar.
Spp: (en latín)	Especies
SRHNRA:	Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación República Argentina.
UFC:	Unidades formadoras de colonias.
UNT:	Unidad Nefelométrica de Turbidez.
UV:	Ultravioleta.
WHO: (en inglés)	Organización Mundial de la Salud.

WPCF: (en inglés)	Federación de Control de Contaminación del Agua.
Å:	Angström.
°C:	Grado centígrado.
[H <sup>+</sup> ]:	Concentración de iones hidrógeno.
µS/cm:	Microsiemens por centímetro.
H <sub>2</sub> O:	Agua.
µg/L:	Microgramo por litro.
O <sub>2</sub> :	Oxígeno.
PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> :	Ión fosfato.
SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> :	Ión sulfato.
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> :	Ión nitrato.
Cl <sup>-</sup> :	Ión cloruro.
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> :	Ión bicarbonato.
Ca <sup>+2</sup> :	Ión calcio.
CaCO <sub>3</sub> :	Carbonato de calcio.

## **CAPÍTULO I**

---

## **I. 1. Introducción**

El agua es esencial y vital para todo ser humano. Sólo un pequeño porcentaje de agua disponible en el mundo puede ser utilizada como agua dulce, de un 2,5% de agua dulce solo un 0,3% de agua se encuentra disponible ya que el resto se encuentra conformando los polos, es agua subterránea o está en los pantanos. El problema de obtención de este recurso escaso es de índole mundial. Es por ello que se requiere establecer proyectos que permitan obtener agua de diversas fuentes (agua de lluvia, residual, aguas superficiales de mar, ríos, lagos, manantiales, aguas subterráneas) y buscar alternativas tecnológicas de tratamiento en los casos en que el agua no reúna las condiciones apropiadas para su consumo. Las opciones tecnológicas dependerán, entre otras, de las características de la población a la que se destina, fuente disponible, mantenimiento, capacidades locales. En nuestro país y en la provincia de Misiones, la situación no está muy alejada de esta realidad, en particular en las zonas rurales y periurbanas donde además del problema de escasez se agrega la falta de acceso a la red de distribución de agua potable, razón por la cual la obtienen de pozos, vertientes, arroyos o ríos que pueden no contar con un adecuado estado sanitario (Anexos 1, 2 y 3).

El agua potable de uso domiciliario puede provenir de un suministro público o también de un pozo u otra fuente según lo estipulado en la legislación Argentina (CAA 2013) y debe cumplir con ciertos parámetros físicos, químicos y microbiológicos. El agua de consumo debe ser limpia, fresca, sin color ni olor, libre de patógenos, con un bajo contenido de microorganismos, de un sabor agradable, sin materiales que causen corrosión, debe contener sustancias solubles solo por debajo de ciertos límites permitidos, minerales en concentraciones normales, por lo general por debajo de 1 g/L. Según el origen de la fuente, es posible tener acceso a un agua potable que cumpla con todos los aspectos reglamentados, pero frecuentemente requerirá de una purificación en mayor o menor medida (Belitz, Grosch y Schieberle 2009).

Se conoce como “vertiente o naciente” el afloramiento de la capa freática que podrá dar lugar a una fuente de agua por acumulación o a un curso de agua. Una vertiente ideal será aquella que pueda otorgar una agua de buena calidad, con caudal suficiente y continuo, ubicada cerca del lugar de uso, de cota

topográfica elevada que posibilite su distribución sin gastos de energía. Se origina por el agua de precipitaciones que infiltra por el perfil del suelo a través de cámaras permeables hasta encontrar la napa freática. Esta cámara saturada de agua alimenta las vertientes y su dinámica de formación es generalmente local, delimitada por los contornos de la cuenca hidrográfica (Governo do Estado de Sao Paulo 2009).

La tecnología de vertientes protegidas difundida ampliamente en los últimos años para poblaciones rurales, fue implementada para resguardar las vertientes naturales de algún tipo de contaminación, básicamente orgánica. Es considerada como una opción tecnológica no convencional (Barrios y otros, 2009), que aprovecha pequeñas fuentes de agua (Anexo 4). Debido a su capacidad de ofrecer un “acceso razonable” al agua es considerada por la Organización Mundial de la Salud (OMS) como una tecnología mejorada de abastecimiento de agua (OMS 2006). En la actualidad se encuentran distribuidas a lo largo de la provincia de Misiones un importante número de vertientes protegidas, a través de las cuales cada una de ellas puede abastecer desde una familia hasta grupos de familias según su capacidad y el circuito de distribución establecido. El emprendimiento tuvo los resultados esperados ya que solucionó el problema de acceso al agua, mejorando notablemente su calidad, según lo manifestaron técnicos extensionistas que trabajan en la temática.

Este trabajo pretende fortalecer el proyecto de obtención y preservación de agua de vertientes existente en la provincia de Misiones, generando información sobre su funcionamiento.

## **I. 2. Alcance y definición del problema de investigación**

Como todo sistema de abastecimiento rural de agua, posee características sencillas de captación y distribución, no obstante, teniendo en cuenta que su principal uso es para consumo humano, es imperante asegurar las buenas prácticas de abastecimiento del agua de bebida. Es menester tomar las medidas necesarias para establecer un Plan de seguridad del agua, (Rojas 2006; OMS 2006; Barrios, y otros 2009) que lleve a ofrecer un insumo inocuo. Este plan

consiste en evaluar y gestionar los riesgos en todas las etapas del sistema de abastecimiento, desde la cuenca de captación hasta su distribución al consumidor. El presente trabajo contribuye con las primeras instancias de ese plan, evaluando la calidad de agua de vertientes de la zona centro de la provincia de Misiones, identificando posibles riesgos y proporcionando recomendaciones y alternativas tecnológicas a tener en cuenta para su adecuado manejo. La información generada sobre el funcionamiento de estos sistemas contribuye a la toma de decisiones en la gestión integral del agua y está fundamentada en aspectos metodológicos de rigor científico.

### **I. 3. Justificación**

Partiendo de la importancia del agua para el consumo humano, y considerando la necesidad de este insumo en zonas periurbanas y rurales, resulta de interés fortalecer las alternativas que permiten el acceso al agua con bajos costos, como la protección de vertientes.

El estudio y conocimiento sobre la calidad de agua de estos sistemas beneficia:

- Al productor y su familia. Por medio del presente trabajo se promueve la adquisición de un insumo básico inocuo proporcionando acciones preventivas y correctivas que permitan evitar un riesgo sanitario con posibilidad de adquirir enfermedades.
- A las distintas actividades productivas a nivel local. El agua es utilizada como materia prima en la elaboración de alimentos, su uso puede afectar las propiedades sensoriales, el valor nutritivo, y en algunos casos producir reacciones indeseables por contacto directo. Esto permite poner de manifiesto, que la calidad de agua empleada impactará significativamente en los productos y que este aspecto deberá tenerse en cuenta en la producción de alimentos. Como ejemplo a nivel local, una de las actividades propias de los productores



de la zona, consiste en la venta de productos en la feria franca<sup>1</sup>. Para llevar a cabo esta actividad se requiere además de tener acceso al agua potable como un criterio de seguridad, considerar la influencia de la calidad fisicoquímica que contribuya a las características sensoriales del alimento. En las actividades agropecuarias, como ser riego y cría de animales, también será necesario tener en primera instancia acceso al agua y luego considerar que cumpla con ciertos parámetros básicos de acuerdo a los fines para los cuales se destine.

La primera etapa de este trabajo, que involucra un monitoreo de calidad de agua, brinda información de múltiples usos. Permite alertar sobre posibles ingresos de contaminación en estos sistemas, cuidando la salud de los consumidores. Identifica algunas variaciones y factores externos que intervienen en las características del agua. Sirve de información base para plantear posibles alternativas tecnológicas de tratamiento clasificando el tipo de agua de estas vertientes desde el punto de vista químico y microbiológico. Resulta también útil para generar información básica sobre calidad de agua que pueda contribuir con investigaciones en este ámbito, definiendo nuevas líneas de estudio a partir de los cambios detectados y sus causas.

La segunda etapa plantea en base a las evidencias obtenidas previamente posibles soluciones a los problemas detectados.

---

<sup>1</sup> Conjunto de puestos móviles o fijos que funcionan en espacios públicos o privados cedidos por la Provincia, Municipios y/o particulares, destinados a la venta minorista de productos alimenticios, frutihortícolas, de granja, panificados, regionales y productos elaborados artesanalmente de pequeños y medianos productores. Pueden constituir asociaciones. (Secretaría de Agricultura Familiar. Provincia de Misiones. 2016)

## **I. 4. Objetivos**

### **I. 4. 1. Objetivo General**

Evaluar la calidad de agua de vertientes protegidas de la zona centro de la provincia de Misiones y proporcionar soluciones con tecnologías apropiadas para su mejora.

### **I. 4. 2. Objetivos Específicos**

1. Diseñar y ejecutar un plan de monitoreo base de la calidad de agua de vertientes protegidas en la zona centro de la provincia de Misiones.
2. Caracterizar el estado de las vertientes protegidas para consumo humano y riego en la zona de estudio. Evaluar la mejora con respecto a las vertientes a cielo abierto.
3. Identificar problemas específicos existentes o emergentes y analizar sus causas.
4. Propiciar soluciones para la mejora del sistema de estudio.

## CAPÍTULO II

---

## **II. Marco conceptual**

### **II. 1. Antecedentes**

Varios estudios demuestran la necesidad de efectuar monitoreos en cuerpos de agua con numerosas aplicaciones, como conocer el estado trófico de un lago, definir las características físico químicas de agua destinada a consumo humano, evaluar el nivel de contaminación de un acuífero, evaluar la aptitud de aguas destinadas a la recreación, evaluar el impacto de las actividades antrópicas en una cuenca, etc. Estos estudios pueden ser destinados a diferentes sistemas de aguas dulces: superficiales, subterráneos, naturales o artificiales y para distintos usos, consumo humano, recreación, consumo animal, riego, usos pecuarios, con fines ambientales. Los parámetros medidos, físicos, químicos o microbiológicos, dependerán de los objetivos planteados de las actividades que se desarrollen actual o potencialmente en el terreno y del alcance de la investigación.

Son numerosos los reportes de recuentos de microorganismos en los cuerpos de agua dulces. Desde el punto de vista microbiológico, un agua natural superficial o profunda podría llegar a ser estéril en forma sólo excepcional. Las aguas termales debido a su nivel de minerales y en algunos casos por su elevada temperatura no serían un medio óptimo para el desarrollo de microorganismos, sin embargo poseen flora y fauna definidas por las características físico-químicas de las aguas que las transportan. Al respecto, en un estudio realizado en una fuente termal en Ourense (España), el agua no se pudo considerar potable en ningún punto investigado, ya que en todos los casos se detectó al menos un microorganismo prohibido por legislación (Vendrell, y otros 1998).

Tanto el suelo como el agua se consideran hábitats para muchas bacterias y mohos. Organismos presentes en el suelo pueden llegar a la atmósfera por acción del viento, para luego ser arrastrados por gotas de agua cuando llueve. A través de la lluvia los microorganismos acuáticos pueden depositarse en los suelos y ser arrastrados por las corrientes acuáticas, este ciclo favorece a que los organismos que se encuentran en agua y suelo sean similares. Los que habitan las aguas marinas, esencialmente bacterias gram negativas, constituyen

la excepción ya que para multiplicarse requieren la salinidad del agua de mar y no subsisten en el suelo (Jay, Loessner y Golden 2009).

En agua superficial se presupone un nivel más elevado de microorganismos ya que puede estar más expuesta a fenómenos naturales y acciones antrópicas. Al respecto, se reportaron valores de Coliformes Totales (CT) >2.419,2 NMP/100mL en un 85% de muestras tomadas, y 61 NMP/100mL de Coliformes Fecales (CF) en una microcuenca en México (Martínez Romero, y otros 2009). En agua de arroyo se encontró Enterococos, un grupo de microorganismos que en los últimos años han tomado importancia en su uso como indicadores de contaminación fecal, reportándose un recuento promedio de 708,6 NMP/100mL (Pucciarelli, Tessari y Von Specht 2014).

Se espera que los monitoreos efectuados en agua subterránea posean menores recuentos, ya que el agua está expuesta a un proceso natural de filtración, esto sería factible si no existe contaminación en este nivel. Otrosky y Forte, a partir de 514 muestras de pozos subterráneos ubicados en zonas norte, este y oeste de la provincia de La Pampa, Argentina, encontraron en promedio recuentos de 21, 22 y 13 Bact/100mL en cada zona de CT (Otrosky y Forte 2007). A través de varios estudios se ha mostrado la presencia de patógenos y microorganismos indicadores en aguas subterráneas cuando la contaminación superficial es intensa (OMS 2006).

Valores estimados de la distribución de microorganismos en aguas superficiales y subterráneas se presentan en la Tabla 1. La información se obtuvo a partir de datos publicados, y se expresa como concentraciones máximas de patógenos entéricos e indicadores microbianos en diferentes tipos de aguas (OMS 2006). Para ríos y arroyos se diferencian dos categorías, aquellos afectados de los arroyos silvestres.

**Tabla 1.** Ejemplos de concentraciones detectables máximas (por Litro) notificadas en publicaciones de agentes patógenos entéricos e indicadores de contaminación fecal en diferentes cuerpos de agua.

Grupo de agente patógeno o indicador	Lagos y embalses	Ríos y arroyos afectados	Ríos y arroyos silvestres	Aguas subterráneas
<i>Campylobacter</i>	20- 500	90- 2500	0-1100	0-10
<i>Salmonella</i>	---	3- 1000	1- 4	---
<i>E.coli</i> (genérica)	10000- 1000000	30000-10000000	6000-30000	0-1000
Virus	1- 10	30-60	0-3	0-2
<i>Cryptosporidium</i>	4- 290	2-480	2- 240	0-1
<i>Giardia</i>	2- 30	1-470	1- 2	0-1

Fuente: OMS 2006

Respecto a muestreos realizados en cuerpos de agua artificiales, se pueden mencionar las plantas de tratamiento donde los controles deben ser exhaustivos a fin de proveer agua potable. El muestreo se puede realizar en la toma de agua y luego en diferentes puntos estratégicos en la red de distribución. Gutierrez y Torres (2013) muestrearon vertientes naturales destinadas luego a un tratamiento de potabilización y en promedio obtuvieron un recuento de 1030 UFC/100mL (CT) y 264 UFC/100mL (CF).

En relación a estudios donde se determina la presencia o ausencia de microorganismos, en Arabia Saudita se tomaron muestras de 12 fuentes de agua potables y 12 fuentes de aguas no potables, se detectó *Escherichia coli* en un 58,3% y un 41,7% de las muestras tomadas para cada caso, *Pseudomonas aeruginosa* en un 91,7% en el primer caso y en todas las muestras para los pozos de aguas no potables, un 8,3% de las muestras tomadas para los pozos de aguas potables presentaron *Enterococcus faecalis*, este porcentaje aumentó en un 16,7% para las muestras de aguas de pozos no potables (Saati y Faidah 2013).

Los estudios realizados en aguas superficiales y subterráneas pueden orientarse hacia la detección de contaminantes químicos, a fin de conocer las causas de determinados sucesos, como mitigarlos y realizar un análisis de tendencia en los casos en los que haya un seguimiento periódico y prolongado de la calidad de

agua. En relación a esto puede mencionarse la detección de nitratos (Costa, y otros 2002; Aparicio, Costa y Zamora 2008; Aparicio 2012) cuya principal fuente podría encontrarse en las actividades antrópicas, particularmente en la aplicación de elevados contenidos de nitrógeno en la fertilización. Respecto a la detección de fitosanitarios utilizados en la producción agrícola, en un estudio realizado en agua superficial en cuatro regiones agrícolas de Argentina, (De Gerónimo, y otros 2014) el pesticida en mayor frecuencia detectado fue atrazina (herbicida).

Las vertientes protegidas constituyen un escenario particular, y permiten ofrecer una alternativa viable para el acceso al agua. A pesar de trabajar con esta tecnología en diferentes lugares del mundo, la información reportada sobre monitoreos o seguimientos en la calidad de agua es insuficiente. Las primeras experiencias sobre la implantación y funcionamiento de estos sistemas surgen en la década de 1980, en Brasil donde se construye la “fuente protegida modelo Caxambú”. Se estima que hasta el 2010 se han construido sólo en el Alto Uruguay Catarinense 3220 fuentes con este modelo. Comassetto y Pessatto (2011) consideran esta tecnología económica de simple aplicación y fácil mantenimiento para proteger las nacientes y garantizar una mejora en la calidad de agua ya que mediante su uso se disminuye la contaminación orgánica, se evita el contacto directo con varias especies de animales, y mejora el sabor y la turbidez.

En un estudio de calidad de agua de fuentes superficiales destinadas a consumo humano en Brasil (Baldissera y Borsatto 2004), fueron analizadas 64 fuentes ubicadas en el municipio de Arvoredo y 73 fuentes ubicadas en el municipio de Saudades, el mayor nivel de contaminación microbiológica se encontró en el municipio con menos fuentes protegidas. Debido a que las actividades agrícolas son semejantes en ambos lugares, se atribuye un mayor índice de contaminación al menor cuidado con la protección de las fuentes de agua por los agricultores, ya que la protección de fuentes reduce los efectos de la entrada de animales y la erosión. Comparando los valores de CF en fuentes a cielo abierto en relación a las fuentes protegidas se verifica una reducción de 49,3% a 16,2% en Saudade

y de 73,4% a 23,5% en Arvoredo. Los indicadores químicos mostraron una tendencia semejante en amonio total y ortofosfato.

La tecnología de protección de vertientes se encuentra ampliamente utilizada en distintos puntos de la provincia de Misiones. En el área de la zona centro, a través de diversos proyectos (INTA 2013), se trabaja con numerosas familias con el abastecimiento comunitario de agua utilizando éste recurso. Se consideran escasos los antecedentes sobre calidad de agua de estos sistemas. Hasta el momento a partir de la experiencia con productores se identificó la necesidad de utilizar estas fuentes de abastecimiento de agua, ya que solucionan algunos problemas derivados de la falta de este insumo, como la recarga en las actividades de la mujer y ocupación de los niños dedicados al acarreo de agua, la dificultad para mantener la producción en el período estival, limitaciones para sostener la calidad en la elaboración y preparación de los productos destinados a venta en la feria franca (Selzler, y otros 2009).

## **II. 2. El Agua.**

El agua es fundamental para todo ser vivo, sin ella la vida en nuestro planeta no sería posible. El ser humano está constituido por un 70% de agua que será responsable de que ocurran ciertas reacciones químicas en el organismo, transportará sustancias y formará parte de fluidos corporales, motivo por los cuales su ingesta es esencial para el hombre. Sus propiedades intensivas inusuales (Damodaran, Parkin y Fennema 2010), como punto de ebullición y fusión elevados y densidad más baja de la esperada, sugieren que posee fuertes fuerzas de atracción entre sus moléculas y una estructura química responsable de las características particulares que presentan tanto el agua como el hielo.

Es considerada el disolvente universal.

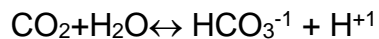


## II. 2. 1. Composición.

El agua se encuentra en movimiento continuo en la Tierra cambiando de estados en forma reversible, desde el líquido al vapor y constituyendo hielo. El ciclo del agua describe estas etapas e indica los lugares en donde podremos encontrarla para su extracción y posterior utilización en beneficio del hombre (Anexo 5).

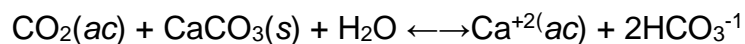
Dentro del contexto del ciclo del agua es necesario tener en cuenta lo que ocurre en el sistema de flujo del agua subterránea, cuando el agua atraviesa el suelo. Un sistema de flujo de agua subterránea es un sistema tridimensional cerrado, originado en el punto en el que el agua ingresa al acuífero hasta el punto topográficamente más bajo donde sale. En las **zonas de recarga** (Anexo 6) donde se produce la infiltración de agua de lluvia, el nivel de agua subterránea es elevado. El movimiento del agua en la zona saturada está definido por el gradiente hidráulico, hacia las zonas más bajas. Después de moverse lentamente a través del acuífero las aguas subterráneas podrán salir a superficie formando manantiales, pantanos, arroyos, constituyendo las nacientes de ríos o su flujo base. A partir de estas zonas de descarga el agua subterránea retorna al mar, completando el ciclo hidrogeológico (UNESCO/WHO/UNEP 1996).

Debido a estos desplazamientos tendrá una composición característica que dependerá de la infiltración en el suelo y de las reacciones y procesos químicos que ocurran. Durante el recorrido por el suelo, incorporará sustancias que se encuentren a su paso. El tiempo que demore el agua desde la superficie freática hasta que salga al exterior constituyendo un manantial, puede ser de días o de años y el espacio a recorrer corto o de varios kilómetros. El suelo en sus poros presenta una elevada concentración de dióxido de carbono. En parte este gas puede provenir de la atmósfera o por la degradación microbiana (Manahan 2006). En contacto con el agua por reacción de hidrólisis generará iones hidrógenos responsables de acidificar el agua. Esta acidez podrá disminuir al actuar sobre silicatos y carbonatos. Mientras el agua permanezca en el suelo recuperará su acidez, pero una vez que haya llegado a un acuífero, no tendrá aporte de acidez en ese medio saturado por lo que se hará básica, perdiendo la capacidad de disolver carbonatos. La Ecuación 1 que se presenta a continuación (Manahan 2006) es la responsable de producir acidez en el agua.



Ecuación 1

Cuando el dióxido de carbono se disuelve en el agua puede reaccionar con el carbonato de calcio mineral presente en el suelo, mediante este proceso el agua podrá adquirir dureza según la Ecuación 2 (Manahan 2006):



Ecuación 2

En el suelo también se encuentran todo tipo de microorganismos procariotas (bacterias y algas cianofíceas o cianobacterias) y eucariotas (hongos, algas y protozoarios). Estos decrecerán en la medida en que se desciende en el perfil del suelo y su desarrollo dependerá de características como humedad, temperatura, pH, tipo de vegetación, incorporación de rastrojo y drenaje. La biomasa microbiana resulta importante para el suelo, ya que es fuente de suministro de nutrientes para las plantas e interviene en la descomposición de la materia orgánica, síntesis de sustancias húmicas y en etapas del ciclo de nutrientes (Conti 2005).

En resumen, la composición fisicoquímica y microbiológica del agua dependerá del ambiente por el cual transite. El agua podrá absorber gases y partículas de la atmósfera, ser hábitat para microorganismos y entrar en contacto con el suelo. En su recorrido, podrá arrastrar y disolver minerales del suelo formando iones, complejos solubles o insolubles, coloides, transportar partículas dispersas y microorganismos. Cada tipo de suelo con el que se encuentre podrá otorgarle características particulares que darán lugar a las diferentes clasificaciones de aguas que pueden encontrarse en distintas regiones del mundo.

## **II. 2. 2. Agua y consumo humano**

El ser humano necesita aproximadamente 2,5 litros (L) de agua al día, la fuente más importante consiste en la ingesta de líquidos y también de alimentos. Entre los alimentos que más se consumen con mayor contenido en agua se encuentran los vegetales (más de 80%), la leche (87%), los huevos (74%) y el pan (40%). Las reacciones metabólicas en el organismo constituyen una fuente de menor

importancia, en una dieta en la que por oxidación de nutrientes se producen 2500 kilocalorías (Kcal) se generarán 350 mililitros (mL) de agua (Dergal 2013).

Para estimar un promedio del consumo necesario por habitante, además del agua necesaria para ingesta diaria debe considerarse el agua que se utiliza para cubrir otras necesidades básicas. Al respecto, varios estudios (Loyola, y otros 2005) han determinado que la cantidad mínima de agua potable para satisfacer las necesidades básicas es de 50 litros por persona y por día, distribuidos de la siguiente manera: 5 litros para beber; 20 litros para saneamiento; 10 litros para preparación de alimentos; 15 litros para el aseo personal.

Con frecuencia no se considera que el agua actúe como un nutriente como las proteínas, hidratos de carbono y lípidos, debido a que prácticamente no sufre cambios durante su aprovechamiento en el organismo humano, pero puede desempeñar funciones biológicas indispensables por su capacidad para disolver sustancias, actuar como medio de transporte y participar en reacciones enzimáticas de hidrólisis. Algunas macromoléculas, como enzimas y ácidos nucleicos, pueden volverse activas adquiriendo sus estructuras secundaria, terciaria y cuaternaria por la interacción que establecen en el agua (Dergal 2013).

### **II. 2. 3. Agua y alimentos**

En la industria alimentaria se requiere el uso del agua como insumo para todos los procesos, en el lavado de equipos y materias primas, para riego, en la cocción de alimentos, en el escaldado, en el transporte de vegetales, para generar vapor, en los sistemas de enfriamiento, en los servicios (baños, regaderas, riego, etc.). Más específicamente puede estar presente en un alimento como ingrediente, en bebidas analcohólicas, en infusiones como té, café, mate, en el hielo, en la formulación de leches maternizadas. Las buenas prácticas de manufactura de alimentos, mencionan la necesidad de tener agua potable para la higiene y lavado de manos de los manipuladores de alimentos.

En la provincia de Misiones se pueden mencionar los siguientes economías regionales que utilizan este recurso; la elaboración de dulces, mermeladas y jaleas, lechería, cría de animales, fécula de mandioca, almidón, hielo; como parte de procesos industriales en un ingenio azucarero, en el empaque mecánico de

frutas y verduras, frigoríficos y mataderos, vitivinicultura, en la elaboración de jugos y concentrados a partir de cítricos.

La calidad del agua que se utilice en la industria de alimentos podrá influir en las características del mismo. Un agua dura con elevada concentración de calcio y magnesio puede afectar la panificación, ya que inhibe la actividad de las levaduras y puede conferir un sabor alcalino a las masas, la presencia de calcio y magnesio pueden reactivar enzimas en los alimentos tratados térmicamente; los vegetales cocinados pueden modificar el color verde de la clorofila; vegetales con pectinas durante la cocción pueden endurecerse por la interacción entre los polisacáridos y los iones calcio y magnesio; el escaldado de vegetales modifica su textura y reduce la absorción de agua; aguas de pozos profundos pueden contener bicarbonatos de hierro y manganeso inicialmente solubles e incoloros que por oxidación en presencia de aire pueden producir hidróxidos de color amarillo-rojo y gris negro (Dergal 2013). En la leche, el agua utilizada para el lavado de recipientes y para la reconstitución de productos deshidratados no debe contener cobre y su contenido en hierro y manganeso debe ser bajo ya que estos iones pueden catalizar la oxidación de lípidos. En la elaboración de quesos a partir de leches reconstituidas, el exceso de carbonatos y bicarbonatos intervienen en el proceso de coagulación (Schmidt Hebbel, y otros 2001). Resulta entonces de importancia definir la calidad de agua que se utilice en estos procesos para lograr los objetivos de calidad deseados en los alimentos, ya que esta incide en forma directa en las propiedades organolépticas.

Los microorganismos pueden causar daños en vegetales, frutas, hortalizas y productos bajo riego. Algunos de ellos tienen la capacidad de adherirse a los tejidos vegetales formando biofilms, podrán localizarse en lugares inaccesibles y presentarán protección a una posterior desinfección. Dentro de las posibles vías de ingresos de una bacteria a la planta se puede nombrar la internalización pasiva a través del movimiento de agua contaminada desde el medio ambiente. Una variedad de estudios han demostrado que *Salmonella* spp. y *E. coli* O157:H7 pueden internalizarse en diferentes tipos de tejidos siendo muy difícil su eliminación (Deering, Mauer y Pruitt 2012).

## **II. 2. 4. Enfermedades transmitidas por el agua**

Un 60 a 90% de los casos de intoxicación alimentaria son de naturaleza bacteriana, a partir de la ingesta de alimentos que pueden causar intoxicación (*Clostridium botulinum*, *Staphylococcus aureus*), enfermedades causadas por esporas (*Clostridium perfringens*, *Bacillus cereus*), infecciones por *Salmonella* spp., *Shigella* spp. o *Escherichia coli*, enfermedades de etiología poco claras como las de *Proteus* spp o *Pseudomonas* spp. (Belitz, Grosch y Schieberle 2009).

El consumo de agua no potable puede ocasionar inconvenientes de salud en la población que la consume. Los riesgos pueden ser de tipo químico o microbiológico.

Entre las enfermedades producidas por microorganismos presentes en el agua podemos encontrar parasitosis, cólera, hepatitis, enfermedades gastrointestinales provocadas por bacterias, virus, lombrices intestinales y protozoarios, entre otros (Dergal 2013). Los síntomas que provocan varían según la enfermedad: fiebre, dolor abdominal, vómitos, diarrea y pueden llevar a la muerte, como en el caso de la fiebre paratifoidea y tifoidea, cólera, hepatitis A y disentería amebiana y bacilar. Los hongos, organismos ubicuos y ampliamente distribuidos en la naturaleza pueden producir alergias y cumplir un rol importante en las enfermedades transmitidas por el agua (Saati y Faidah 2013). La dosis mínima para causar enfermedades en el ser humano por el consumo de patógenos es muy variable, dependerá del patógeno y de la cepa en cuestión. La mayoría de las cepas de *E. coli* son inocuas pero algunas pueden causar grandes intoxicaciones alimentarias. La infectividad de las cepas de *E. coli* enterohemorrágica es sustancialmente mayor que la de otras cepas, tan solo 1000 bacterias (OMS 2006) pueden causar una infección.

La presencia de compuestos químicos en cantidades no permitidas afectará a los consumidores según el nivel de toxicidad del agente y la edad, sexo y estado de salud del consumidor. Beber agua con un exceso de nitratos o nitritos puede causar metahemoglobinemia, enfermedad caracterizada por cianosis, tendencia a fatigarse, disnea, vértigo y disminución de la capacidad de la sangre arterial

para transportar oxígeno, siendo la población más afectada los niños de hasta alrededor de tres meses de edad (De Fernícola 1989). Una ingestión de agua con arsénico en forma crónica puede ocasionar lesiones en la piel, hiperpigmentación, cáncer de piel, abortos espontáneos y efectos cardiovasculares, entre otros (Galetovic Carabantes y De Fernícola 2003).

### **II. 3. Proyectos de acceso al agua**

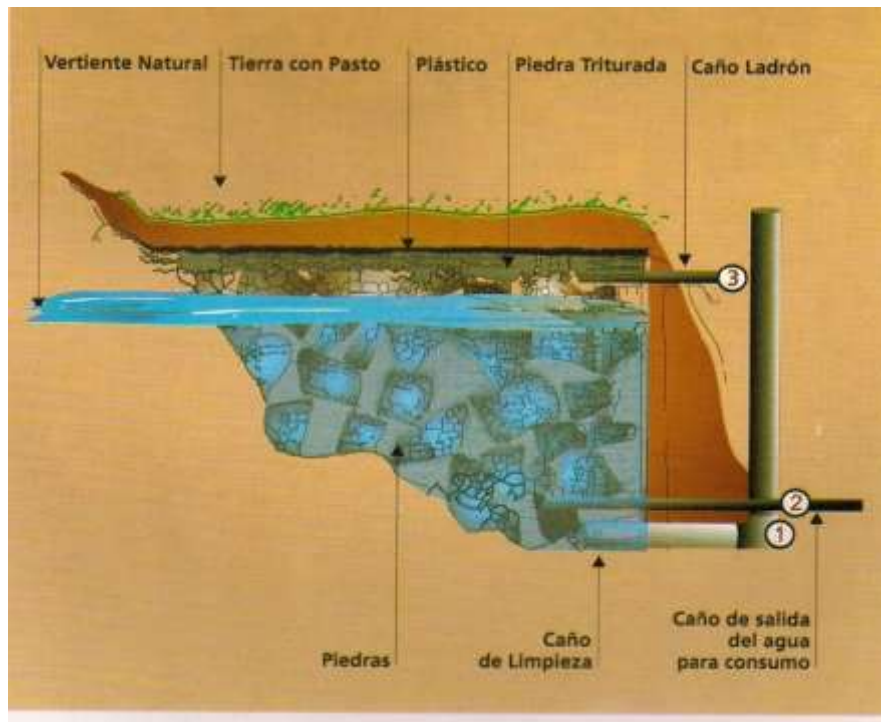
La ONU (Organización de las Naciones Unidas) declara el derecho humano al agua y el saneamiento como un derecho humano esencial para el pleno disfrute de la vida y de todos los derechos humanos. Exhorta a los estados y diversas organizaciones a la transferencia de tecnologías que proporcionen a la población un acceso económico al agua potable y el saneamiento (ONU 2010).

En nuestro país se pueden nombrar distintas alternativas que permiten el acceso a este bien preciado para poblaciones rurales. Las opciones estarán relacionadas con la realidad ecosistémica, sociocultural y tecnológica productiva y pueden utilizarse varias de ellas en forma complementaria como fuentes de abastecimiento. Entre los sistemas con fines multipropósito comunitarios se encuentran: represas y aljibes construidos de mampostería alimentados por agua de lluvia, represas naturales, molinos de viento con reservorios de agua, vertientes protegidas, sistemas de captación subsuperficial a partir de un dren enterrado, construcción de pozos y perforaciones (Barreda y Ledesma 2009).

### **II. 3. 1. Vertientes protegidas**

Según la calidad del agua de vertientes se podría decir, tomando la definición de normas ecuatorianas para el agua potable (NTE INEN 2011), que se trata de un “agua cruda” que se encuentra en la naturaleza y que no ha recibido ningún tratamiento para modificar sus características físicas, químicas o microbiológicas a excepción de una protección para preservarla de contaminación externa. Es un agua “pre-potable”, la cual mediante tratamientos asociados a su nivel de calidad (CEE 1975) puede utilizarse para el abastecimiento de la población. Si bien emerge a la superficie formando parte de aguas dulces superficiales disponibles, su origen es subterráneo. Su calidad natural dependerá de: la calidad del agua de recarga, los sustratos geológicos por los que circule, la velocidad de circulación que determina el tiempo de contacto del agua con la roca y los procesos que se desarrollen en el ambiente subterráneo.

El diseño de las vertientes protegidas en Misiones consiste en un muro de contención que actúa como receptáculo de la vertiente natural, en éste reservorio se colocan rocas de diferentes tamaños, se cubre con un plástico apropiado y luego se reviste el sistema con tierra, plantando pasto sobre el lugar y los alrededores. Mediante cañerías se puede acceder al agua (Figura 1). De esta forma se logra tapar completamente la vertiente natural, evitando un gran riesgo de contaminación en gran parte de tipo orgánica (Lamas 2008)



**Figura 1.** Esquema de vertiente protegida.

Fuente: Lamas, 2008

La protección de estas fuentes puede generar beneficios, siendo el principal de ellos el facilitar el acceso a familias rurales y periurbanas a través de una canalización del recurso. Un adecuado cerramiento imposibilita la entrada de animales y desarrolla cobertura vegetal con especies nativas evitando contaminación tanto de origen orgánico como químico.

## **II. 4. Calidad de agua**

La calidad de un agua estará definida por los usos a los que esté destinada, consumo humano, animal, riego, recreación, como hábitat para organismos acuáticos, para usos en la industria. A partir de estos se especificarán aquellas características físicas, químicas y microbiológicas deseables. Para consumo humano se requerirá una mayor pureza o exigencia en los parámetros a cumplir. Las acciones naturales o antrópicas pueden llevar al deterioro de la calidad de agua, produciendo cambios que en algunos casos podrán ser irreversibles.

### **II. 4. 1. Factores que afectan la calidad**

Como se mencionó en la sección anterior, la calidad de una fuente de agua estará influenciada por factores naturales y/o antrópicos.



Dentro de los factores naturales más importantes se pueden nombrar la vida silvestre, el clima, la topografía, geología y vegetación (LeChevallier y Au 2004). Los microorganismos patógenos pueden encontrarse en forma natural en el suelo y agua (*Acinetobacter*, *Pseudomonas*, *G. lamblia*), el aire y el polvo (*Bacillus*, *Micrococcus*), en vegetales, piel y pienso de animales (Jay, Loessner y Golden 2009). Las fuentes de patógenos pueden provenir de los desechos de mascotas como gatos y perros, de aves, de mamíferos y otros animales de vida silvestre (Saati y Faidah 2013).

Entre las causas originadas por la actividad humana, las fuentes pueden ser puntuales (descargas de agua residual de municipios, efluentes industriales, basurales, cementerios, rellenos sanitarios, etc.); no puntuales (escorrentía urbana, ganado, lluvia ácida, riego con agroquímicos o actividades recreativas) (LeChevallier y Au 2004) y multipuntuales (pozos negros en zonas urbanizadas). Dentro de las actividades agropecuarias, la cría de animales puede producir una elevada carga de desechos que manejados inadecuadamente pueden ser fuentes de contaminación. El uso incorrecto de agroquímicos puede ocasionar la contaminación de fuentes de aguas subterráneas o superficiales; como ejemplo, una recarga de fertilizantes agrícolas que poseen en su composición nitratos y fosfatos pueden acelerar la eutrofización de aguas. Los agentes protectores de plantas (herbicidas, fungicidas, insecticidas, etc.) utilizados para resguardar los alimentos de plantas, insectos, parásitos, plantas invasoras o microorganismos que pueden causar enfermedades o deterioro, aplicados sin los controles adecuados, pueden ocasionar pérdida en la calidad de las fuentes de agua. A estos factores se les debe agregar la ocupación de tierras, deforestación y erosión de suelos cultivados.

#### **II. 4. 2. Control de calidad**

Cuando el agua se destina a consumo humano debe ser potable, para que al ser consumida no exista un riesgo para la salud. A fin de cumplir con este objetivo, es necesario examinar sus características químicas y microbiológicas, cuyos límites permitidos se encuentran establecidos en las legislaciones de cada región o país donde se consume o en su defecto en los estándares internacionales. Para Rojas (2002) el control de la calidad microbiológica del agua para consumo

humano se considera de primordial importancia. Ingerir agua contaminada con heces humanas o animales es uno de los mayores riesgos de enfermedades causadas por microorganismos patógenos. Los contaminantes microbiológicos por lo general tienen efectos más agudos e inmediatos, mientras que algunas sustancias químicas se manifiestan con problemas en la salud tras un largo período de exposición, pero esto depende del grado de exposición, volumen de consumo y del tipo de elementos presentes, por lo que ambas fuentes de contaminación deben ser tenidas muy en cuenta a la hora de lograr el abastecimiento de agua para las personas, los animales y el riego de huertas y cultivos.

Para estimar la potabilidad del agua se debe establecer en primera instancia la "historia del agua o línea base de calidad", efectuar un examen de las condiciones del terreno de la fuente del agua, composición del suelo, ubicación o distancia de habitaciones humanas, establos y actividades que se realizan en zonas altas y aledañas. Como antecedentes son necesarios considerar los métodos de captación del agua, variaciones del caudal en las diversas estaciones del año, fuentes de contaminación, etc. (Schmidt Hebbel, y otros 2001). Una vez estudiados estos aspectos es necesario controlar la calidad de agua de los sistemas de distribución con un grado y frecuencia de análisis que dependerá de lo establecido en cada país. Aparte del monitoreo del estado higiénico de las fuentes de agua y del agua potable tratadas se debe controlar el mantenimiento dentro de ciertos valores límites (Belitz, Grosch y Schieberle 2009).

El Código Alimentario Argentino (CAA) en su artículo 991 sobre aguas minerales naturales indica la necesidad de conocer tanto del agua como de la fuente que le da origen aspectos geológicos e hidrogeológicos, físicos, químicos y microbiológicos. Se deben realizar exámenes tres veces en un año como estudio previo para la evaluación de la calidad del agua. Además se deberán conocer: la temperatura del agua en el momento de su captación, caudal, situación de las captaciones (altitud y topografía) y descripción de la obra y sus canalizaciones (CAA 2013).

La norma ecuatoriana establece para el agua potable la necesidad de monitorear en forma permanente los parámetros establecidos en su documento para asegurar que no se produzcan desviaciones de los mismos. Indica un número de muestras mínimo a tomar para los análisis microbiológicos en función de la población servida, siendo necesarias 12 muestras anuales para un número de habitantes menor a cinco mil (NTE INEN 2011).

Se recomiendan inspecciones sanitarias, no sólo para el agua que se destinará a los consumidores, sino también para el sistema de distribución. En particular, para fuentes de agua de origen subterráneo o subsuperficial, se establecen controles con una frecuencia mínima semestral que deben llevarse a cabo por el operador del sistema de agua (Anexo 7). En los mismos se deben observar los cumplimientos de requisitos específicos para obras de captación de vertientes como las condiciones del sello sanitario, zanja de coronamiento, protección perimetral, preservación del área, observaciones sobre el sistema de distribución y valoraciones del riesgo de contaminación. A partir de los riesgos detectados existen acciones correctivas y preventivas para solucionar estas situaciones (CASA 2011).

#### **II. 4. 3. Marco Regulatorio**

Cada país tendrá una legislación propia que permita establecer los valores límites aceptados para que resulte apta para consumo. En Argentina se establecen estos límites en el CAA (CAA 2013) que adopta los parámetros y niveles establecidos por la OMS y otras fuentes internacionales. A su vez, cada provincia y/o municipio puede tener especificaciones al respecto a fin de adecuar los estándares de calidad a las condiciones locales y a las tecnologías de tratamiento aplicadas. Si bien existen generalidades en la mayoría de los límites establecidos para cada parámetro, se pueden adaptar a la realidad local, haciendo surgir diferencias entre las normas de cada país. En el Anexo 8 se presentan límites establecidos por legislaciones de Argentina, Nicaragua, Unión Europea y Brasil. Las diferencias encontradas (OMS 2006) pueden estar basadas en los objetivos ambientales, sociales, culturales, económicos y alimentarios propios de cada país o región.

## **II. 5. Implementando el control de Calidad de agua**

La evaluación de la calidad de agua debería realizarse considerando los parámetros establecidos por cada país, y toda información relevante que permita realizar una apropiada interpretación de lo que sucede en el área de estudio.

Se establece una diferencia entre control de calidad y vigilancia, entendiéndose esta última como una actividad realizada por un organismo externo que mediante auditorías periódicas y verificaciones examina la inocuidad y aceptabilidad de los sistemas de abastecimiento de agua de consumo (OMS 2006).

### **II. 5. 1. Monitoreo**

La calidad de agua puede evaluarse utilizando indicadores. Estos permiten establecer el estado del agua y los cambios producidos en un cuerpo de agua por factores naturales o antrópicos. Para seleccionar el número y tipo de indicadores, se estudia la problemática que se desee abordar, los objetivos y alcance del estudio. Los límites tolerables para cada uno de los indicadores elegidos estarán especificados, como se mencionó anteriormente, en la normativa vigente de cada país. En las secciones siguientes se presentan algunos indicadores utilizados químicos y microbiológicos.

En particular se utilizan indicadores microbiológicos cuando la detección de patógenos presenta sus dificultades por los tiempos de análisis, costos y procesos operativos exhaustivos.

### **II. 5. 2. Parámetros físico-químicos**

#### **II. 5. 2. 1. Temperatura**

Puede influir en reacciones químicas que ocurran en el agua, en los indicadores de calidad de agua, como potencial hidrógeno (pH), conductividad eléctrica (CE), oxígeno disuelto (OD) y en la vida acuática. Temperaturas indeseables pueden producir proliferación de hongos, microorganismos y desarrollo de plantas acuáticas. Bacterias del género *Legionella* responsables de producir legionelosis, pueden proliferar a temperaturas entre 25-50°C por lo que una medida para evitar su crecimiento (OMS 2006) consiste en impedir que el sistema de distribución por tuberías alcance las temperaturas mencionadas.

Normalmente la velocidad de inactivación en aguas subterráneas es mayor a temperaturas más altas, esto dependerá del tipo de microorganismo, grupo y cepa (WHO 2006).

### **II. 5. 2. 2. pH**

Indica la acidez o alcalinidad del agua. Se define como la medida de la concentración de iones hidrógeno en agua según la Ecuación 3,

$$\text{pH} = -\log [\text{H}^{+1}]$$

Ecuación 3

Es un parámetro operativo de calidad de agua importante, sus valores en agua de consumo no pueden producir efectos tóxicos (OMS 2006), valores fuera de los parámetros normales podrían ser dañinos para la vida acuática. En las etapas de tratamiento del agua para que la desinfección con cloro sea eficaz, el pH debe ser menor a 8.

El pH óptimo suele oscilar entre 6,5 y 8,5, un agua con un pH más bajo puede ser corrosiva para el sistema de distribución y electrodomésticos, si el pH es superior puede ser incrustante.

En general todas las especies de bacterias tienen un rango de pH óptimo para el crecimiento, para muchas bacterias patógenas humanas, este rango es cercano a la neutralidad. Fuera de este límite puede producirse la muerte rápidamente. Algunos microorganismos pueden subsistir en ambientes ácidos o altamente alcalinos. El pH puede afectar la supervivencia de un virus alterando la estructura de proteínas de la cápside y el ácido nucleico viral (WHO 2006).

### **II. 5. 2. 3. Conductividad Eléctrica**

Indica la facilidad que puede tener el agua para conducir la corriente eléctrica. Aumenta con la cantidad de iones disueltos. Permite tener una noción del nivel de salinidad el agua. Un agua pura tendrá una conductividad cercana a 0,05  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , un agua subterránea potable puede tener entre 30-1000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , mientras que un agua de mar tendrá una conductividad de 50000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Su valor es directamente proporcional a la concentración de sólidos disueltos. Se pueden

relacionar ambos teniendo en cuenta que  $1,4 \mu\text{S}/\text{cm} = 1\text{ppm}$  aunque esto no siempre se cumple ya que depende de la relación entre cationes y aniones, y puede diferir según las zonas geográficas. Se recomienda realizar un análisis y obtener la relación entre la CE y la sumatoria de los cationes y aniones.

#### **II. 5. 2. 4. Sólidos Disueltos Totales (SDT)**

Su determinación consiste en filtrar una muestra y evaporar el filtrado hasta sequedad a  $180^{\circ}\text{C}$ . El aumento del peso de la placa representa los sólidos totales disueltos (APHA, AWWA, WEF 2012). Están comprendidos por las sales inorgánicas de calcio, magnesio, potasio y sodio, bicarbonatos, cloruros y sulfatos y pequeñas cantidades de materia orgánica disueltas en el agua (OMS 2006).

Debido a que en agua de consumo se presentan en concentraciones mucho menores que las que podrían llegar a producir efectos tóxicos, la OMS no establece valores de referencia, pero sus niveles pueden llegar a afectar la aceptabilidad del agua de consumo (OMS 2006). Aguas con abundantes sólidos disueltos suelen ser de inferior palatabilidad y pueden producir una reacción fisiológica desfavorable en el consumidor, por esta razón para aguas potables se establece el límite de  $500 \text{mg}/\text{L}$  de sólidos disueltos (APHA, AWWA, WEF 2012).

#### **II. 5. 2. 5. Turbiedad**

Es producida por materias en suspensión, como arcilla, cieno o materias orgánicas e inorgánicas finamente divididas, compuestos orgánicos solubles coloreados, plancton y otros microorganismos (APHA, AWWA, WEF 2012).

Niveles elevados de turbiedad pueden proteger a los microorganismos contra la desinfección, favoreciendo el crecimiento de bacterias y participando en la demanda de cloro. Se prefiere un nivel bajo de turbidez menor a  $1 \text{ppm}$  para que el tratamiento de desinfección sea eficiente.

Cuando se utiliza radiación UV para la desinfección, la turbiedad del agua puede inhibir su efecto.

### **II. 5. 2. 6. Nitratos**

El nitrógeno molecular de la atmósfera se transforma en nitrógeno orgánico por acción de las bacterias y ciertos vegetales. Los compuestos nitrogenados presentes en el agua provienen de compuestos orgánicos o vegetales del suelo, y se encuentran en bajas concentraciones en aguas naturales no contaminadas constituyendo la línea base de calidad natural del agua.

Cuando la contaminación tiene su origen en los desechos de animales ocurre la liberación de amonio, seguida de nitrito y nitrato. El amonio encontrado en el agua generalmente se forma por degradación biológica de la urea contenida en el estiércol de materiales orgánicos ricos en proteínas. En estiércol de cerdo un 56% de nitrógeno está en forma de nitrógeno amoniacal, lo que le confiere un gran potencial de uso como fertilizante, pero implica un enorme riesgo al ambiente cuando no se aplica adecuadamente al suelo (Baldissera y Borsatto 2004).

El origen del nitrato también se puede encontrar en la labranza si no se produce crecimiento vegetal que consuma nitratos liberados por las plantas en descomposición, la aplicación excesiva de fertilizantes o filtración de aguas residuales u otros residuos orgánicos hacia aguas superficiales o subterráneas (OMS 2006).

La mayoría de los contaminantes químicos, presentarán riesgo para la salud luego de una exposición prolongada. Nitratos constituye una excepción ya que en un período corto y múltiples exposiciones puede producir metahemoglobinemia en lactantes.

### **II. 5. 2. 7. Fosfatos**

En aguas naturales los compuestos de fósforo se encuentran en bajas concentraciones. Aguas residuales, excreciones humanas y animales, detergentes y productos de limpieza pueden ser fuentes de Fosfatos. Cuando no se retienen por el suelo son transportados por la lluvia y contribuyen en forma decisiva en el proceso de eutrofización de ambientes acuáticos. Las prácticas agrícolas inadecuadas en la fertilización orgánica o inorgánica y en el uso de

agroquímicos, los remedios para animales, pueden ser ricos en fósforo y posibles fuentes de contaminación (Baldissera y Borsatto 2004).

Su concentración no debería superar a 1 ppm, salvo en casos de contaminación. Para aguas de consumo humano un contenido elevado puede afectar propiedades organolépticas y dificultar los procesos de coagulación-floculación en las plantas de tratamiento de agua. Mientras el CAA no establece un valor límite de fosfato para agua de consumo, otras reglamentaciones incluyen un valor de referencia (CONAMA 2005) de 0,020 mg/L de fósforo total para ambientes lénticos que implican agua estancada y de 0,1 mg/L para ambientes lóticos con aguas en movimiento, aplicable a las vertientes protegidas.

#### **II. 5. 2. 8. Sulfatos**

En forma natural se encuentran en el agua por disolución de materiales presentes en el suelo, en particular en aquellos suelos con rocas compuestas de yeso principalmente y suelos sulfatados. Pueden también precipitar desde la atmósfera y liberarse al agua por residuos industriales. En general la principal fuente de sulfatos en la ingesta diaria se encuentra en los alimentos (OMS 2006), salvo excepciones regionales donde el agua de consumo constituye el principal aporte.

No se consideran tóxicos, pero en grandes concentraciones pueden provocar un efecto laxante con deshidratación e irritación gastrointestinal, otorgando al agua un sabor amargo no agradable. La OMS no establece un valor máximo pero recomienda conocer aquellas fuentes en las que superen los 500 mg/L (OMS 2006). El valor máximo indicado en el CAA es de 400 mg/L (CAA 2013). En general en aguas dulces su concentración puede variar entre 2 y 250 ppm.

#### **II. 5. 2. 9. Cloruros**

Son los principales aniones inorgánicos en el agua. En general las aguas dulces pueden poseer entre 10 y 250 ppm. Su incremento puede ocasionar un efecto corrosivo. Un contenido elevado de cloruros impediría que el agua sea utilizada para consumo humano o para ganado. INNA (1999) establece para fuentes buenas un contenido de cloruros menor a 1,5 mg/L, para el caso de fuentes que requieran un tratamiento de filtración y desinfección un contenido de cloruros



entre 1,5 y 3,0 mg/L. Aquellas fuentes deficientes que requieren un tratamiento especial y desinfección tendrán una concentración de cloruros mayor a 250 mg/L.

### **II 5. 2. 10. Glifosato**

Para algunas sustancias químicas producto de las actividades agropecuarias no se han establecido valores de referencia, es el caso de glifosato y AMPA (ácido amino metilfosfónico) su producto de degradación, ya que se consideran que se presentan en el agua de consumo en concentraciones mucho menores que las que pueden producir efectos tóxicos (OMS 2006).

Si bien el CAA no especifica un límite aceptable de glifosato en aguas de bebida, otra normativa argentina establece como nivel máximo guía de calidad para agua de bebida 0,3 mg/L o 300 ppb (SRHNRA 2003) expresado como sal de glifosato con isopropilamina. El límite establecido en Estados Unidos por la Office of Environmental Health Hazard Assessment (EPA 2006) es de 0,9 mg/L o 900ppb. El valor establecido por norma brasileña es de 65 ppb para aguas dulces de clase I (CONAMA 2005).

Un consejo científico interdisciplinario creado en el ámbito del CONICET (Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas) basándose en la evaluación de información científica vinculada al glifosato menciona que, si se aplican las buenas prácticas agrícolas, la ingesta de glifosato y AMPA tendría un mínimo aporte, que no resultaría un riesgo en la salud de los consumidores. Recomienda efectuar monitoreos continuos de éste y otros agroquímicos en alimentos y aguas destinadas al consumo humano (Rovira, y otros 2009)

Las exigencias internacionales son cada vez mayores en lo referente a alimentos. Como ejemplo, la norma vigente de calidad de agua de consumo en España fija un valor para plaguicidas totales de 0,50 ppb y de 0,10 ppb para fitosanitarios individuales (BOE 2003).

### **II. 5. 3. Parámetros microbiológicos**

Un evaluación rutinaria de agua para determinar la presencia de patógenos como *Salmonella* spp y *Shigella* spp. puede resultar difícil de realizar, además este

número de bacterias puede ser relativamente escaso. Ante esta situación se trabaja con microorganismos no patógenos indicadores de contaminación, detectables con facilidad y diferenciables. Estos pueden multiplicarse en las mismas condiciones que el patógeno y permiten deducir en forma indirecta su presencia. Como ejemplo, considerando que las enfermedades de origen hídrico provienen de desechos humanos y animales y que el grupo CF habita en el intestino del hombre, se los utiliza ampliamente como indicadores de contaminación fecal.

#### **II. 5. 3. 1. Coliformes Totales**

Son bacilos aerobios y anaerobios facultativos, gramnegativos, no esporulados, capaces de producir ácido y gas por fermentación de lactosa a 35-37°C en presencia de concentraciones relativamente altas de sales biliares. Producen para fermentar la lactosa la enzima  $\beta$ -galactosidasa. Tradicionalmente se consideraba que pertenecían a este grupo los géneros *Escherichia*, *Citrobacter*, *Klebsiella* y *Enterobacter*, pero es más heterogéneo e incluye otros géneros como *Serratia* y *Hafnia*. Incluye especies fecales y ambientales, muchos coliformes son heterótrofos y capaces de multiplicarse en suelos y medios acuáticos. No son indicadores de contaminación fecal pero pueden utilizarse como control de la eficacia de tratamientos y para evaluar la limpieza e integridad de sistemas de distribución. En estos casos, si se los utiliza como indicadores, la presencia de CT puede revelar una proliferación y posible formación de biopelículas o bien contaminación por la entrada de materias extrañas, como tierra o plantas. Los CT pueden ser más sensibles a la desinfección que los protozoos y virus entéricos por lo que su uso debe ser interpretado considerando estos aspectos. No son indicadores aceptables de la calidad sanitaria de acueductos rurales sin tratamiento (OMS 2006), en especial para áreas tropicales donde se encuentran muchas bacterias sin significado sanitario en la mayoría de los casos.

#### **II. 5. 3. 2. Coliformes Fecales**

Son un subgrupo del grupo de los coliformes totales, bacilos aerobios o anaerobios facultativos, gram negativos, no esporulados, que fermentan la lactosa con producción de ácido y gas a 44°C en menos de 24 horas. El género

predominante es *Escherichia*, también algunos tipos de bacterias de los géneros *Citrobacter*, *Klebsiella* y *Enterobacter* entran en esta categoría. En este grupo puede haber microorganismos ambientales. Se considerarían un índice de contaminación fecal aceptable pero menos fiable que *E. coli*.

Recientemente se dio a conocer que algunas especies de CF (*Enterobacteriaceae*, *Klebsiella pneumoniae* y algún *Enterobacter* spp.) pueden ser indicadores falsos positivos ya que pueden crecer en condiciones no fecales como el agua, los alimentos, plantas y desechos (Doyle y Erickson 2006), motivo por el cual su uso se encuentra cuestionado.

### **II. 5. 3. 3. *Escherichia coli***

Es el índice de contaminación fecal más adecuado, se distingue de los demás coliformes termotolerantes por su capacidad de producir indol a partir de triptófano o por la producción de la enzima  $\beta$ -glucuronidasa. Está presente en concentraciones muy grandes en las heces humanas y animales y raramente se encuentra en ausencia de contaminación fecal, aunque en los últimos años se hallaron indicios (Brennan, y otros 2010) de que puede ser residente en el suelo bajo condiciones favorables. Byappanahalli y Fujioka (2004) confirman que puede crecer en suelos tropicales.

La velocidad de supervivencia de *E. coli* en agua varía de 13 a 245 días (LeJeune, Besser y Hancock 2001; citado en Saati y Faidah 2013). Debido a que puede viajar largas distancias, es usado como indicador de contaminación fecal en aguas subterráneas. Por su corto período de supervivencia en el ambiente se lo utiliza como indicador de agua residual o contaminación fecal reciente (Saati y Faidah 2013).

Es considerado el único indicador válido para el monitoreo de alimentos que contienen vegetales frescos (Doyle y Erickson 2006).

### **II. 5. 3. 4. Enterococos intestinales**

Morfológicamente son células esféricas u ovoides, gram positivas, catalasa negativos, se presentan en medio líquido formando pares o cadenas. Forman parte de la flora nativa gastrointestinal del hombre y animales, en el hombre

presentan escasa patogenicidad pero pueden causar infecciones oportunistas. Capaces de sobrevivir en condiciones adversas, son los indicadores más resistentes a la desinfección.

Pueden usarse como indicadores de contaminación fecal, ya que la mayoría de las especies no proliferan en medios acuáticos. Se los encuentra en heces humanas y de otros animales de sangre caliente, aunque algunas especies se encontraron en suelo, en ausencia de contaminación fecal. Se han utilizado como indicadores en agua bruta, como índice de la presencia de patógenos fecales que sobreviven más que *E. coli*, en agua de consumo se los utilizó para complementar los análisis de *E. coli* como un indicador de contaminación fecal más resistente (OMS 2006).

#### **II. 5. 3. 5. *Pseudomonas aeruginosa***

Su determinación consiste en una identificación presuntiva utilizando Caldo Asparagina (Anexo 9) y la posterior prueba confirmativa con Agar Cetrimida.

Son bacterias típicas del suelo y agua y están ampliamente distribuidas en los alimentos frescos, en especial de origen vegetal, también en carnes y productos del mar (Jay, Loessner y Golden 2009).

Es un frecuente contaminante del ambiente que puede causar enfermedades transmitidas por el agua. Luego de su adaptación puede multiplicarse en aguas minerales con extremadamente bajos niveles de nutrientes (ICMSF 1986).

Estos organismos se encontraron a menudo en aguas naturales, como lagos y ríos en concentraciones desde 10/100 mL a 1000/100 mL. Su ocurrencia en agua de bebida puede estar relacionada a su habilidad de formar biofilms y colonizar cañerías (Saati y Faidah 2013).

#### **II. 5. 3. 6. Bacterias Aerobias Mesófilas Totales**

Se refiere al recuento en placa de bacterias con incubación aeróbica a 37°C. Se utiliza como indicador de calidad de un alimento, monitoreando la población microbiana del mismo. Puede aportar información sobre desinfección incorrecta o de cambios como el aumento del potencial de proliferación microbiana,

formación de biopelículas, aumento de los tiempos de retención o estancamiento e interrupción de la integridad del sistema.

Este tipo de bacterias requiere de altos niveles de oxígeno para adaptarse y sobrevivir en los ambientes.

El CAA establece como límite máximo 500 UFC/mL Sugiere para reservorios de almacenamiento domiciliario, en caso en que los recuentos superen este valor y el resto de los parámetros se cumplan, exigir la higienización del reservorio y realizar un nuevo recuento (CAA 2013).

### **II. 5. 3. 7. *Clostridium* sulfito reductores**

Las bacterias pertenecientes al género *Clostridium* son bacilos gram positivos, anaerobios, sulfito reductores, catalasa negativos y no móviles. Su característica sobresaliente es la formación de esporas resistentes a condiciones desfavorables en medios acuáticos, como radiación UV, pH, temperatura extrema y procesos de desinfección como la cloración (OMS 2006).

Se los ha propuesto como índice de la presencia de protozoos y virus entéricos, mejorando los métodos de evaluación de la calidad de agua. Las bacterias indicadoras tradicionales pueden poner de manifiesto que el agua no posee contaminación fecal, pero no ofrecen seguridad sobre la ausencia de virus y parásitos (Gesche, A. Vallejos y M. Saez 2003).

Su determinación también es útil en muestras que contengan sustancias tóxicas (caso de aguas cloradas), en el análisis de muestras cuyo transporte se demore más de 12 horas, en el examen de muestras especiales, por ejemplo lodos procedentes de vertidos de origen posiblemente fecal. La detección de cualquier *Clostridium* es señal de deficiencia en el proceso de floculación-filtración.

La especie característica del género, *Clostridium Perfringes* no prolifera en la mayoría de los medios acuáticos, encontrándose mayormente en el agua residual, con mayor frecuencia y concentración en heces de algunos animales que en heces humanas. Puede ser usado como un índice de contaminación fecal antigua, intermitente, en particular cuando los coliformes están ausentes (Campos P. 2003).

## **II. 6. Tratamientos**

Las fuentes de abastecimiento de agua presentan un estado inicial de calidad de agua que puede requerir de un proceso de potabilización cuando se destinan a usos más exigentes como ser para consumo humano. El agua cruda posee cationes, aniones y materia orgánica disuelta más un material particulado constituido por material orgánico, suelo, residuos vegetales y animales, microorganismos. El tratamiento a utilizar dependerá de la calidad del agua cruda, del contenido inicial de patógenos presentes, y de sus variaciones durante un período prolongado de al menos un año (Lampoglia, Agüero P. y Barrios N. 2008), ya que pueden ocurrir variaciones por situaciones de sequía y lluvias. Un aspecto importante a considerar en la elección del método son los costos del proceso que podrá involucrar varias etapas y del posterior mantenimiento. Un tratamiento convencional requiere de un pre-tratamiento inicial, coagulación, floculación y sedimentación, intercambio iónico, filtración, desinfección y almacenamiento.

Se utiliza el término “agua segura” (Ciari 2014), para aquellos casos en los que la potabilización no puede realizarse en forma eficiente, situación generalizada en los países en desarrollo. Ésta se orienta a una mejora de la calidad de agua mediante procedimientos que se encuentran al alcance de las poblaciones rurales. Se considera segura para el consumo humano ya que se puede aseverar que no enferma a la población que la ingiere, dando respuesta a la demanda, pero no cumple con todos los parámetros que involucran a la clasificación de agua potable.

La elección de la opción tecnológica apropiada dependerá además de la calidad del agua cruda, del tipo, tamaño y dispersión de la población, del nivel de pobreza y de las características y capacidades locales, entre otras (Lampoglia, Agüero P. y Barrios N. 2008). Dentro de las opciones tecnológicas sencillas y de bajo costo, para mejorar la calidad microbiológica del agua, ampliamente utilizadas en Latinoamérica y recomendadas por la OMS (OMS 2006) se pueden nombrar: la ebullición, exposición a la radiación ultravioleta, desinfección con cloro. Estos tratamientos en el punto de uso o consumo, pueden adaptarse a comunidades rurales y dispersas (Basán Nickisch, y otros 2014).

### **II. 6. 1. Desinfección solar**

La radiación ultravioleta puede inactivar los microorganismos actuando como un poderoso agente bactericida. Tiene su mayor poder letal a una longitud de onda de 2600 Å. No es ionizante y es absorbida por las proteínas y ácidos nucleicos produciendo cambios fotoquímicos que pueden conducir a la muerte. Se producen mutaciones letales resultantes de la acción en los ácidos nucleicos de la célula (Jay, Loessner y Golden 2009).

La luz solar puede proveer de rayos UV, por lo que el método casero consiste en la exposición de botellas plásticas al sol durante 6 hs (Lampoglia, Agüero y Barrios 2008) como mínimo. Expertos en el tema permitieron ajustar los parámetros de mayor influencia para mejorar la eficiencia del tratamiento. Factores que deben estar bajo control son: la turbidez, el tipo de botellas, posición y lugar de exposición, tiempo.

La fundación SODIS es una organización no gubernamental que difunde la Desinfección Solar del Agua para consumo humano en América Latina, este método de tratamiento conocido como SODIS cuenta con respaldo de instituciones científicas reconocidas. Usa dos componentes de la luz solar, la radiación UV-A que posee efecto germicida y la radiación infrarroja que eleva la temperatura del agua generando un efecto de pasteurización cuando la temperatura llega a los 70-75°C. Ambos efectos combinados incrementan la eficiencia del tratamiento; una temperatura del agua de 50°C produce el efecto sinérgico reduciendo 3 órdenes logarítmicos los coliformes fecales con un tiempo de exposición de una hora (EAWAG/SANDEC 2003).

### **II. 6. 2. Ebullición**

El agua se coloca en un recipiente tapado y se hierve durante 5 y 10 minutos que se cuentan una vez que entra en ebullición, posteriormente se enfría para su consumo. Al alcanzar los 100°C ocurre la hidrólisis o desnaturalización de proteínas eliminando microorganismos nocivos.

Entre las ventajas del método se destaca su funcionamiento con agua turbia y la posibilidad de eliminar todos los microorganismos nocivos pero no se pueden eliminar sustancias químicas que resulten un riesgo para la salud (Ciari 2014).

### II. 5. 3. Cloración

La desinfección utilizando hipoclorito de sodio utiliza una gota de solución de hipoclorito por litro, se debe esperar 30 min antes de consumir el agua.

El mecanismo de acción del desinfectante consiste en atravesar la pared celular del patógeno y atacar su sistema enzimático provocando la muerte del microorganismo. Los agentes desinfectantes son el ácido hipocloroso (HOCl) y el ión hipoclorito (OCl<sup>-</sup>). El ácido hipocloroso se encuentra disociado según la siguiente reacción (Ecuación 4). Es un agente que posee cerca de 80 veces mayor eficacia que el ión hipoclorito. Según el pH predominará una u otra especie. A pH 7.5 predomina el ión hipoclorito y a pH < 7.5 el ácido hipocloroso.



El cloro residual libre se encuentra en agua de consumo como una combinación entre hipoclorito y ácido hipocloroso, en proporciones que dependerán del pH. El cloro residual combinado es el resultado de la reacción de cloro con amonio (cloraminas). El cloro residual total está conformado por el cloro residual libre más el combinado.

Dentro de las ventajas del método se puede nombrar su efecto residual y la posibilidad de vigilancia, como desventaja se debe considerar que puede transferir olor y sabor al agua y que se deben considerar los cambios que pueden ocurrir en la solución concentrada de hipoclorito de sodio ante acciones de la luz, el calor y el paso del tiempo. Es importante también considerar los subproductos de la desinfección generados a partir de la reacción de cloro como desinfectante con un precursor como la materia orgánica natural presente en el agua y los riesgos potenciales para la salud. Los ácido húmicos o fúlvicos provenientes de la degradación microbiana y química de hidratos de carbono y proteínas pueden reaccionar con cloro residual libre y si están presentes durante el tiempo suficiente generarán subproductos indeseables como trihalometanos, ácidos acéticos halogenados, acetonitrilos halogenados, hidrato de cloral, clorofenoles y otros (Ciari 2014).



## CAPÍTULO III

---

### **III. 1. Procedimiento Experimental - Metodología**

#### **III. 1. 1. Tipo de estudio y diseño de la Investigación**

La primera parte del trabajo involucra un monitoreo de parámetros de calidad de agua. Se trata de una investigación aplicada que por medio de un trabajo sistemático trata de generar información que contribuya a la solución práctica para el problema de calidad de agua de las vertientes protegidas. Según su naturaleza, se trata de una investigación empírica que observa la realidad y a partir de ella permite obtener datos con ayuda de instrumental y técnicas. Según la fuente de datos es una investigación primaria y de acuerdo al tipo de análisis se trata de una investigación cuantitativa, exploratoria. Considerando su alcance, objetivos y metodología es evaluativa y explicativa.

La segunda parte plantea alternativas de tratamiento del agua en concordancia con una investigación de tipo experimental considerando el alcance, objetivos y metodología.

#### **III. 1. 2. Área de Estudio**

Misiones se ubica en el borde SO de la cuenca del Paraná e integra junto con las provincias de Corrientes y Entre Ríos la provincia geológica denominada Mesopotamia. Esta unidad comprende a la Meseta Misionera y al área estable adyacente desarrollada entre los ríos Paraná y Uruguay (Ramos 1999). Para el ámbito de Misiones, las acciones fluviales constituyen los procesos morfogenéticos responsables del modelado del relieve, donde las geoformas resultantes comprendidas en las pendientes que drenan a los ríos Paraná y Uruguay, incluyen lomas, terrazas, valles y cauces (Godagnone y De la Fuente 2013). El material originario a partir del cual se formaron los suelos de Misiones es el basalto tholeítico. Éste, por alteración profunda de los silicatos, evolucionó a lo que se denomina “Tierras rojas”, caracterizadas por la presencia de óxidos de aluminio y hierro y arcillas caoliníticas (Reyes, y otros 2005).

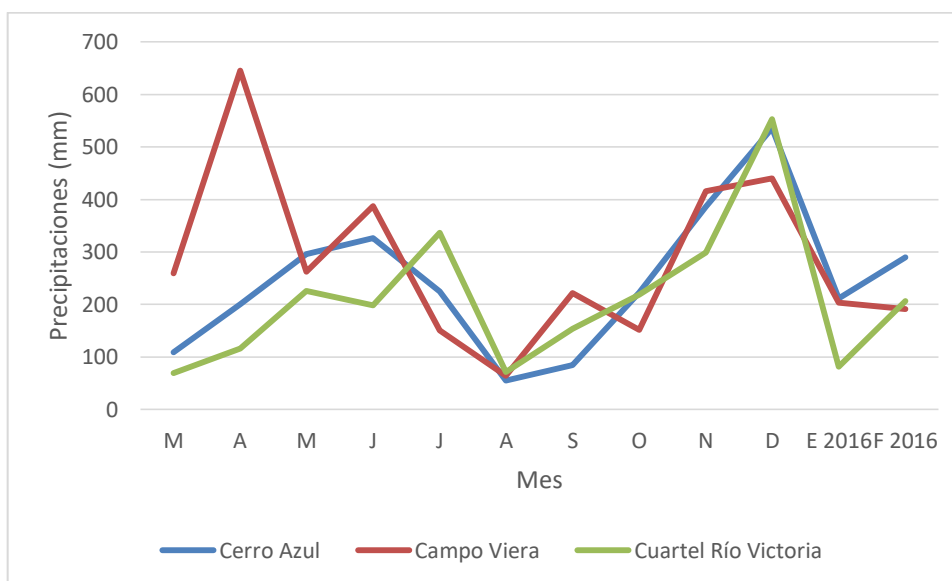
La zona centro de la provincia de Misiones, área en estudio, comprende los departamentos de Leandro N. Alem, Candelaria, Oberá y Cainguás, con un total de 27 municipios y 5288 km<sup>2</sup>. Habitan en ella 232.133 personas, que corresponden al 21% de la población provincial. Esta población se distribuye en

43% en zonas rurales y el resto en zonas urbanas (INTA 2013). Abarca la Sierra o Región de los cerros misioneros, que constituye la divisoria de aguas que separa los ríos Paraná y Uruguay (Reyes, y otros 2005). En particular, comprende a la cuenca del Uruguay y dentro de ésta, las subcuencas de mayor relevancia son las de los Arroyos Itacaruaré y Acaraguá.

### III. 1. 3. Caracterización Climática

La provincia de Misiones tiene un régimen anual de precipitaciones entre 1800 y 2200 mm, ésta característica manifiesta el clima que posee, subtropical sin estación seca. Sin embargo, algunas estaciones del año presentan bajas precipitaciones, como primavera y principios del verano. El clima es subtropical húmedo con un régimen pluviométrico isohigro, registrándose en consecuencia sequías o lluvias abundantes, en cualquier mes o estación del año (Olinuck y Cardozo 2009).

En la Figura 2 se presentan los valores de precipitaciones medias mensuales en el período muestreado según los datos informados por el sector de Meteorología de INTA Cerro Azul. Los valores promedios mensuales fueron obtenidos de las estaciones más cercanas a los sitios de muestreo ubicadas en las localidades de Cerro Azul, Campo Viera y Cuartel Río Victoria.



**Figura 2.** Precipitación media mensual en la zona de muestreo.

Durante los meses de mayo, junio y julio de 2015 se registraron valores superiores a los promedios mensuales de la zona. En el mes de agosto se midieron valores por debajo del promedio, aumentando en los meses sucesivos hasta diciembre que representó un mes con abundantes precipitaciones en las tres zonas. En el mes de Abril la localidad de Campo Viera registró un valor tres veces mayor al promedio mensual. El mes de enero de 2016 fue seco para la estación de Cuartel Río Victoria.

### III. 1. 4. Órdenes de suelos

En los sitios de muestreo, se identificó el orden taxonómico, tomando como referencia las cartas de suelo disponibles y con el apoyo de análisis químicos y físicos. En particular para las vertientes localizadas en el departamento de Leandro N. Alem se utilizó el estudio de suelos realizado por Godagnone y De la Fuente (2013) que identificó 6 órdenes de suelos para esta región: Ultisoles, Oxisoles, Alfisoles, Molisoles, Inceptisoles y Entisoles.

En la Tabla 2 se presentan los diferentes órdenes de suelos para cada vertiente y algunas características que los distinguen, estas últimas fueron extraídas de los datos analíticos presentados de perfiles típicos de los suelos reconocidos en Godagnone y De la Fuente (2013).

**Tabla 2.** Características de los órdenes de suelos identificados para cada vertiente.

Características		Orden de Suelo	
Parámetro	Unidades	Molisol (Argiudol típico)	Ultisol (Kandiudulte típico)
Materia Orgánica	%	2,2	2,9
Arcilla, 2u	%	35	73
pH H <sub>2</sub> O (1:2,5)	UpH	6,7	4,7
Suma de bases	meq/100g	32	3,7
Vertientes		1,2 y 3	4, 5 y 6

Fuente: Godagnone y De la Fuente, 2013

Ambos suelos se formaron a partir de la meteorización del basalto, roca ígnea extrusiva compuesta químicamente de un 45 a 54% de sílice, rica en hierro y

magnesio. Procesos edafogénicos diferentes dieron lugar a la formación de distintos horizontes dentro del perfil. Los suelos Molisoles que se encuentran en paisajes colinados con pendientes fuertemente inclinadas, poseen un horizonte superficial muy oscuro de características fértiles, profundo y rico en bases (epipedón mólico). Son suelos relativamente jóvenes, en los que se reconoce a 100 cm de profundidad el basalto alterado (saprolita). Los suelos Ultisoles identificados como suelos rojos se encuentran en las planicies onduladas. Son suelos antiguos, presentan un horizonte argílico en el cual se ha acumulado arcilla por traslocación y baja saturación de bases en el perfil (Godagnone y De la Fuente 2013)

Si se considera que una vertiente es el afloramiento de agua de la capa freática, se puede decir que desde el punto de vista geológico las vertientes ubicadas en regiones de suelos Ultisoles o Molisoles comparten similares características al estar en contacto con el mismo material originario, el basalto. La diferencia que podría encontrarse entre ellas estaría dada principalmente por los tipos de suelo con los que el agua se encuentre en su recorrido hasta llegar a la superficie. En este sentido, la falta de información sobre datos hidrogeológicos limita las posibles interpretaciones al respecto.

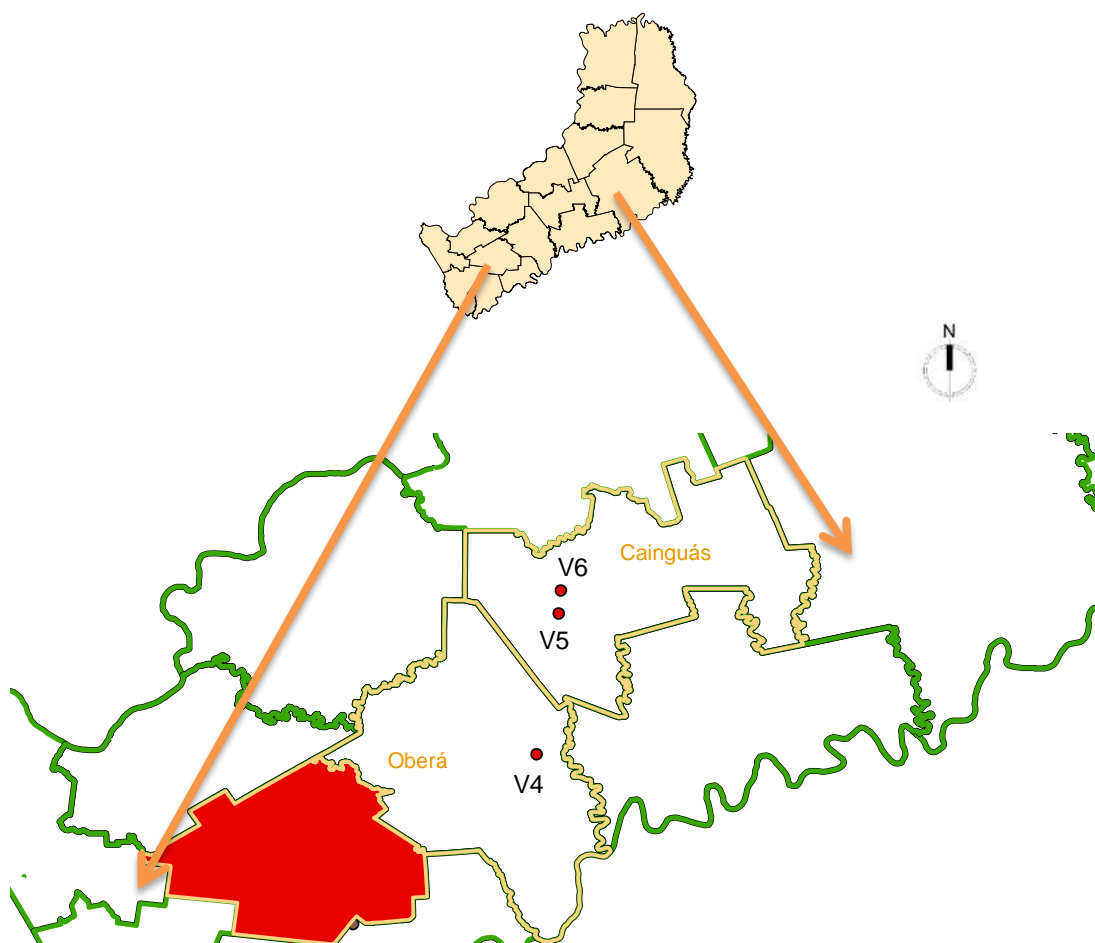
### **III. 1. 5. Parte A: Monitoreo de Calidad de agua**

#### **III. 1. 5. 1. Muestreo**

Se seleccionaron 6 vertientes protegidas ( $V_1$  a  $V_6$ ) ubicadas en la zona de estudio. Se tomaron las muestras en forma mensual entre las 8:00 y 12:00 h aproximadamente durante un período anual (Marzo de 2015 a Febrero de 2016) Los muestreos se realizaron en dos recorridos, siendo la distancia total recorrida de aproximadamente 320 km. Los puntos de muestreo y su localización se identifican en la Tabla 3. La ubicación geográfica de éstos se puede observar en la Figura 3. Los Anexos 10, 11 y 12 muestran imágenes de tres de las vertientes seleccionadas en esta etapa. El ingreso a los sitios de muestreo, en la mayoría de los casos, consistió en caminos terrados de difícil acceso con mayor dificultad en períodos de abundantes precipitaciones (Anexo 13).

**Tabla 3.** Puntos de muestreo. Coordenadas geográficas.

Vertiente	Cuenca	Municipio	Latitud (S)	Longitud (O)
V1	A° Itacaruaré	Arroyo del Medio	27° 44' 57,12"	55° 17' 40,08"
V2	A° Itacaruaré	Arroyo del Medio	27° 44' 59,58"	55° 19' 8,28"
V3	A° Itacaruaré	Arroyo del Medio	27°46' 25,08"	55° 20' 2,1"
V4	A° Acaraguá	Campo Ramón	27° 27' 16,0"	54° 58' 32,8"
V5	A° Acaraguá	Campo Grande	27° 12' 37,2"	54° 56' 13,3"
V6	A° Acaraguá	Aristóbulo del Valle	27° 10' 13,1"	54° 56' 0,03"



**Figura 3.** Zona centro de la provincia de Misiones. Ubicación geográfica de los sitios de muestreo.

La toma de muestras se realizó en forma manual en los lugares de captación de las vertientes, considerando las especificaciones de los Métodos Normalizados para el análisis de aguas potables y residuales (APHA, AWWA, WEF 2012).

Para los análisis microbiológicos se utilizaron envases estériles de 250 mL de capacidad, dejando un espacio vacío para la aireación. En el caso de muestras destinadas a los análisis fisicoquímicos se utilizaron envases de plástico de 1500 mL de capacidad, los cuales se lavaron dos o tres veces antes de tomar la muestra y se llenaron con agua sin dejar cámara de aire en su interior. El número de muestras obtenidas para los análisis en el período de muestreo fue de 65.

Se registraron los datos de cada muestra, fecha de muestreo, hora, localización y los parámetros temperatura del agua y del ambiente (°C) con un termohigrómetro. Las muestras fueron trasladadas refrigeradas hacia el laboratorio de análisis y en ningún caso superaron las 5 horas desde el muestreo hasta el ingreso en el laboratorio.

Durante los meses de setiembre, octubre, noviembre y diciembre, considerando la época del año de mayor uso de herbicidas, se realizó un muestreo para análisis de Glifosato y AMPA en las vertientes 2 y 4. Para la toma de muestras se utilizaron botellas plásticas de 500mL que fueron congeladas para su envío al laboratorio de análisis ubicado en la ciudad de la Plata (Buenos Aires).

Además en los últimos 5 meses de monitoreo desde Octubre de 2015 a Febrero de 2016 se realizaron análisis de turbiedad, a excepción de las vertientes 1 y 3 que sólo se muestrearon durante los meses de diciembre a febrero.

### **III. 1. 5. 2. Determinación de parámetros químicos y microbiológicos**

Las tablas que se presentan a continuación indican los métodos utilizados para las determinaciones químicas (Tabla 4) y microbiológicas (Tabla 5) realizadas.

**Tabla 4.** Determinaciones químicas.

Parámetro	Unidades	Método	Observaciones
pH	UpH	Potenciométrico	SM 4500-H+B
Conductividad	μS/cm	Electrométrico	SM 2510-B
Cloruro	mg/L	Argentométrico	SM 4500-CIB
Nitrato	mg/L	Salicilato de Na	CTUA- INA
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	Gravimétrico	SM 2540 C
Fosfato	mg/L	Ácido Ascórbico	SM 4500 P-E
Glifosato y Ampa	μg/L	Cromatográfico	EPA 547

**Tabla 5.** Determinaciones microbiológicas.

Parámetro	Método	Observaciones
Recuento de Coliformes	NMP/100mL	Medio Mac Conkey a 37°C
Recuento de <i>Escherichia coli</i>	NMP/100mL	Caldo EC a 44°C- EMB-IMVIC
Bacterias Aerobias Mesófilas Totales	Recuento en Placa	Plate Count Agar
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Presencia/Ausencia	Caldo Asparagina- Cetrimide Agar
<i>Enterococcus spp.</i>	NMP/100mL	Caldo Azida glucosa - Agar KF (37°C) y Pruebas bioquímicas.
<i>Clostridium</i> Sulfito Reductores	Presencia/Ausencia	<i>Clostridium</i> Reforzado Agar

A continuación se presenta una breve descripción de los métodos utilizados:

**pH:** Se toma la medida potenciométrica de la actividad de los iones hidrógeno, utilizando un electrodo patrón de hidrógeno y otro de referencia.

**CE:** Medida de la capacidad de una solución para conducir la corriente eléctrica. En el laboratorio la medida física para determinar conductividad corresponde a la conductancia, el recíproco de la resistencia.

**Cloruro:** En una solución neutra o ligeramente alcalina, se realiza titulación de cloruros con nitrato de plata utilizando el cromato potásico como indicador. Se precipita cloruro de plata cuantitativamente antes de formarse el cromato de plata rojo.



**Nitrato:** Se basa en la reacción del anión nitrato con salicilato de sodio en medio alcalino. Se produce la formación de paranitrosalicilato de sodio de color amarillo, su intensidad de color se mide fotométricamente y es proporcional a la concentración de nitratos presente en la muestra.

**SDT:** Se filtra la muestra y se evapora hasta sequedad en una placa pesada y secada a peso constante a 180°C. El aumento del peso de la placa representa los sólidos totales disueltos.

**Fosfato:** El molibdato amónico y el tartrato antimonílico potásico reaccionan en medio ácido con ortofosfato para formar un ácido heteropoliácido fosfomolibdico que se reduce a azul de molibdeno, de color intenso por el ácido ascórbico.

**Glifosato y AMPA:** HPLC con derivatización post-columna y posterior detección fluorescente.

**Recuento de Coliformes:** Utilizando la técnica del número más probable se siembran porciones de muestra en distintas diluciones en Caldo Mac Conkey a 37 °C, 48 h. Se cuentan los tubos positivos (color amarillo y presencia de gas).

**Recuento de *Escherichia coli*:** Se siembran porciones de muestra en caldo EC a 44°C durante 24 - 48 h. De los tubos positivos se siembra en estría en EMB. Se confirma *E. coli* con las pruebas bioquímicas IMVIC.

**BAMT:** Se preparan las diluciones correspondientes de la muestra y se colocan porciones en placas de Petri estériles, se añade el medio líquido (Plate Count Agar) favoreciendo la mezcla. Se deja solidificar, se invierte y se coloca en incubación 24h, 37°C. Se cuentan las colonias formadas.

**Enterococos:** Se utiliza la técnica del número más probable con Caldo Azida glucosa. El Agar KF es el medio selectivo utilizado para el aislamiento y recuento. Posteriormente se realiza la identificación con pruebas bioquímicas. La temperatura de incubación es 37°C.

***Pseudomonas aeruginosa*:** Dilución en medio líquido asparagina con incubación a 35-37 °C en estufa de cultivo. Se consideran tubos positivos

aquellos que presentan fluorescencia bajo luz ultravioleta de longitud de onda larga. Estos se siembran en Cetrimide Agar para el aislamiento selectivo.

***Clostridium* Sulfito Reductores:** Se siembra la muestra en el medio *Clostridium* Reforzado Agar cubriendo los tubos sembrados con 0.5 cm de vaselina líquida para lograr la anaerobiosis. Los tubos sembrados son sometidos a calentamiento por 15 minutos a 75° para destruir las formas bacterianas vegetativas. Posteriormente son incubados a 35°C por 48 h. Se consideran positivos aquellos que presentan coloración negra en placas con Agar TSC incubadas en anaerobiosis por 48h a 35°C. La presentación de colonias negras confirma la presencia de bacterias esporuladas sulfito reductoras.

Además de las determinaciones especificadas para los parámetros microbiológicos se realizó paralelamente un seguimiento con medios cromogénicos Chromobrit, para la confirmación de *E. coli* (Anexo 14). Este método utiliza un medio con un sustrato enzimático sintético que permite determinar *E. coli* en agua y alimentos. Se detecta la presencia de la enzima específica de la especie  $\beta$ - D glucuronidasa, por medio de la formación de color. El sustrato es hidrolizado por la enzima liberando un cromóforo. Las colonias de *Escherichia coli* son detectadas en este medio de cultivo por la aparición de un color azul o azul oscuro violeta en el centro de la colonia. Con el medio de cultivo base que contienen triptófano, se puede realizar la prueba de indol, incrementando el valor presuntivo del hallazgo de *E. coli*.

### **III. 1. 6. Parte B: Experiencia de comparación de la calidad de agua de vertientes antes y después de la obra de protección.**

A partir del estudio realizado por Baldissera y Borsatto (2004) se plantea la siguiente experiencia para cuantificar la mejora de la protección de vertientes.

Se determinaron todos los parámetros químicos y microbiológicos indicados en la Parte A para 5 vertientes sin protección (a cielo abierto, antes de la obra), localizadas en la zona de estudio. Luego de un trabajo de protección efectuado por el técnico extensionista y los usuarios de las vertientes, se tomaron nuevas muestras para analizar. En algunos casos se obtuvo la información de análisis

realizados por los técnicos referentes. Se calcularon los % de cambio utilizando los valores obtenidos antes y después de la protección.

### **III. 1. 7. Parte C: Variación de pH con distintos tratamientos**

Los Métodos Normalizados (APHA, AWWA, WEF 2012) indican la necesidad de tomar algunas medidas en el lugar de muestreo (in situ, a campo) para no afectar los resultados del análisis, ya que algunos parámetros pueden verse afectados por la conservación de la muestra y el tiempo hasta que se realiza la determinación. Durante este estudio no fue posible medir el pH in situ debido a la falta de instrumental adecuado para realizar esta medida. Una vez realizado el monitoreo, ante los valores obtenidos de pH ligeramente ácidos en algunas vertientes, fue necesario realizar la siguiente experiencia para encontrar la causa de este comportamiento. Estos valores pueden ser originados por la sobresaturación con dióxido de carbono, el tipo de suelo que puede presentar una importante capacidad depuradora para inmovilizar iones o actividades antrópicas.

Se seleccionaron las cuatro vertientes ( $V_2$ ,  $V_4$ ,  $V_5$  y  $V_6$ ) que presentaron durante la primera etapa de monitoreo un pH ligeramente por debajo del pH referencia indicado en el CAA (6,5-8,5), se tomaron muestras en recipientes plásticos sin dejar cámara de aire en su interior y se trasladaron refrigeradas al laboratorio para su análisis.

Se tomaron los valores de pH en estado inicial ( $T_0$ ) y luego se aplicaron los siguientes tratamientos por triplicado:

$T_1$ . Aireación, se dejaron las muestras en envases abiertos.

$T_2$ . Agitación, con varilla de vidrio se agitaron durante 30 minutos.

$T_3$ . Ebullición durante 10 minutos.

Efectuados los tratamientos por triplicado para las cuatro vertientes, se midieron nuevamente los valores de pH.

### **III. 1. 8. Parte D: Propuestas de tratamiento.**

Las propuestas de tratamiento se orientaron hacia acciones en el punto de uso del agua. La OMS recomienda para los casos en los que exista preocupación por la calidad de agua de consumo y los problemas no puedan abordarse por los servicios centrales, aplicar tratamientos en los hogares tales como: hervir el agua, aplicar como lejía doméstica hipoclorito de sodio o calcio, exponer al sol en botellas durante 6 h, aplicar productos en forma de comprimidos u otras formas de dosificación para la desinfección (OMS 2006).

#### **III. 1. 8. 1. Pastillas de disolución rápida.**

Para este tratamiento se seleccionaron tres vertientes ( $V_1$ ,  $V_2$  y  $V_6$ ) en base a los resultados obtenidos del monitoreo. La Vertiente 1 fue seleccionada por su valor de pH óptimo, la Vertiente 2 por los valores de turbiedad elevados y la Vertiente 3 por sus altos niveles de contaminación microbiológica.

Se utilizaron pastillas potabilizadoras y gránulos efervescentes para producir la muerte de microorganismos. El principio activo es la sal sódica de dicloro-S-triazina 2,4,6 triona. Las pastillas de disolución rápida tienen la propiedad de liberar ácido hipocloroso (HClO) en contacto con el agua, que como bactericida y agente oxidante, puede cumplir la función de potabilizador biológico. Según las instrucciones de uso, una vez disueltas y pasados los 30 minutos permiten consumir un agua segura.

Dado que al utilizar ácido hipocloroso como agente biocida el tratamiento depende de las condiciones de pH, temperatura, concentración de cloro, tiempo de contacto y turbidez se realizaron las siguientes experiencias manteniendo la temperatura en un rango de 20 a 22°C y ajustando estos parámetros según la información que se presenta en la Tabla 6.

**Tabla 6.** Condiciones del tratamiento con pastillas de disolución rápida.

Vertiente	Cloro disponible (ppm)	pH (UpH)	Tiempo de contacto (min)	Turbidez (UNT)		
V1	2	7,7	30	0,5		
	4					
	11					
V2	2	6,4		30	28,9	
	4					
	11					
V6	2	5,8			30	6,8
	4					
	11					

Se utilizaron envases previamente esterilizados. Se siguieron las instrucciones del fabricante colocando 1 comprimido cada 3 L (para aguas claras, 4 ppm de cloro disponible) y un comprimido cada 1L de agua (para aguas turbias y riesgosas, 11 ppm de cloro disponible). Además se utilizó la mitad de la dosis recomendada para aguas claras (2 ppm de cloro disponible).

Antes y después del tratamiento se analizaron los parámetros químicos pH, C, SDT, CLR, y los microbiológicos BAMT, CT, CF, *E. coli*, *Pseudomonas aeruginosa* y Enterococos. Se efectuaron nuevos controles de la experiencia a las 48 h y a los 7 días de la aplicación.

### **III. 1. 8. 1. 1. Determinación de Cloro Libre Residual.**

Para el método colorimétrico se utiliza Ortotolidina en medio clorhídrico. La Ortotolidina combinada con cloro forma un complejo donde la intensidad de coloración es directamente proporcional a la concentración. La curva de calibración se prepara a partir de patrones de concentraciones conocidas de Dicromato de Potasio y Cromato de Potasio en solución reguladora de pH 6,5. Se mide la Absorbancia de estas soluciones en un espectrofotómetro a 460 nm. La ecuación de la curva se utiliza para obtener la concentración de cloro residual total a partir de la solución de Ortotolidina y la muestra de agua.

### III. 1. 8. 2. Hipoclorito de sodio

Las mismas vertientes seleccionadas fueron utilizadas para la aplicación de 0,05 mL (una gota) de Hipoclorito de sodio 5% de una marca comercial reconocida por litro de agua siguiendo la misma metodología para los análisis.

### III. 1. 8. 3. Radiación UV

Se colocaron muestras de agua de estas vertientes en botellas plásticas y se expusieron durante 6 hs a la radiación UV. Sobre estas muestras se determinaron los parámetros microbiológicos antes y después de la exposición. La siguiente tabla (Tabla 7) indica la intensidad de la radiación ultravioleta utilizada y la temperatura ambiente en cada experiencia. El índice UV fue obtenido en un sitio web de pronóstico de tiempo.

**Tabla 7.** Condiciones de exposición a la radiación UV.

Vertiente	Índice UV	T mínima (°C)	T máxima (°C)	Mes	Horario de inicio
V1	6	10	22	Setiembre	9:00
V2	7	20	32	Diciembre	11:00
V6	9	20	33	Octubre	12:00

### III. 1. 8. 4. Ebullición.

Las muestras de agua se colocaron en recipientes con tapa a ebullición durante 10 min, cuando las muestras alcanzaron la temperatura ambiente, se realizaron las determinaciones microbiológicas mencionadas.

### III. 1. 9. Análisis estadístico

Se utilizó la estadística descriptiva para el estudio de la calidad de agua de las vertientes, los valores obtenidos para cada determinación fueron comparados con los establecidos en el C.A.A. a fin de definir su aptitud para consumo humano. Los estadísticos utilizados fueron media, valores mínimos y máximos, desviación estándar, coeficiente de variación, sesgo estandarizado y curtosis estandarizada.

Para determinar los factores que pueden influir en la calidad de agua de vertientes se realizó un análisis exploratorio previo de las variables individuales, y de esta manera poder justificar la aplicación de pruebas posteriores. Se

observó la posible relación entre variables con un análisis de correlación. Se utilizó ANOVA simple para obtener información de la influencia de los factores orden de suelo, estación del año, y precipitaciones en distintas variables de interés.

Para la experiencia de variación de pH con los tratamientos de aireación, agitación y ebullición se utilizó un ANOVA simple y la Prueba de múltiples rangos (Diferencia mínima significativa de Fisher) para establecer las medias que presentaron diferencias estadísticamente significativas.

El programa estadístico utilizado fue STATGRAPHICS Centurion XVI ® for Windows (1993), versión 16.0.09 (Statistical Graphics Corporation).

## **III. 2. Resultados y discusión.**

### **III. 2. 1. Parte A: Monitoreo de Calidad de agua**

Se presentan a continuación los resultados obtenidos a partir del monitoreo y su relación con la normativa vigente. Los Anexos 15 y 16 contienen los datos de todas las determinaciones realizadas. En primera instancia se evalúa la calidad de agua de las vertientes si se utilizan para riego, luego en los apartados siguientes se interpretan los resultados considerando el uso para consumo humano.

Si se utiliza el agua para riego y evaluando potenciales peligros de salinidad (FAO 1987), los valores de conductividad fueron menores a 700  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y para sólidos disueltos totales se encontraron por debajo de 450 mg/L, interpretando a partir de estos parámetros que no existe restricción en el uso si se requiere para estos fines. Los valores de Cloruros y Nitratos estuvieron dentro de los umbrales deseados (<30 mg/L y <10 mg/L respectivamente). Considerando importante en el agua destinada para riego el nivel de microorganismos, algunas directrices consideran que un agua utilizada para estos fines debe contener como máximo 1000 NMP/100mL de Coliformes Fecales. Como resultado de esta investigación, en todas las vertientes monitoreadas los valores promedios para este indicador cumplieron con este requisito. A partir de las observaciones mencionadas puede considerarse que en todas las vertientes el agua es apta para riego.

### III. 2. 1. 1. Parámetros químicos

Todos los parámetros químicos evaluados cumplieron con lo establecido en el CAA a excepción de pH y turbiedad. El 67% de las vertientes presentaron valores ligeramente por debajo de lo indicado por reglamentación (6,5-8,5). Esto puede deberse a diferentes causas, en principio a la sobresaturación con dióxido de carbono, al tipo de suelo que puede presentar una importante capacidad depuradora para inmovilizar iones o a actividades antrópicas. Para consumo humano un pH ligeramente menor al establecido no representaría un daño a la salud (OMS 2006), este parámetro operativo podría establecer que el agua presenta riesgos de corrosión para el sistema de distribución.

#### III. 2. 1. 1. 1. Glifosato.

Los resultados obtenidos para el monitoreo de Glifosato y AMPA para las vertientes 2 y 4 se presentan en la Tabla 8. Todos los valores se encontraron por debajo del límite de cuantificación de la técnica.

**Tabla 8.** Resultados del monitoreo de Glifosato y AMPA.

Vertiente	Mes de muestreo	Glifosato (µg/L)	AMPA (µg/L)
V2	Agosto	<5	<5
V2	Octubre	<5	<5
V2	Diciembre	<10	<10
V2	Enero/2016	<10	<10
V4	Setiembre	<5	<5
V4	Octubre	<10	<10
V4	Noviembre	<10	<10
V4	Diciembre	<10	<10

Considerando los valores guías para agua de bebida (SRHNRA 2003; EPA 2006; CONAMA 2005) en las dos vertientes se obtuvieron niveles aceptables. La aplicación de los límites impuestos en normas europeas (CEE 1975) requerirían la utilización de un equipamiento y técnica que proporcionen un menor límite de cuantificación.

Como antecedente a los datos presentados, se menciona un estudio realizado por Barbaro y otros (2015) en una microcuenca de la provincia de Misiones en



un suelo Ultisol donde no se revela la presencia de glifosato ni AMPA en agua superficial. Se observa para este compuesto una alta capacidad de adsorción en suelos con alto contenido en arcillas y óxidos de aluminio y hierro (De Gerónimo, Aparicio y Costa 2016), motivo por el cual no podría detectarse en agua.

### III. 2. 1. 2. Parámetros físicos.

#### III. 2. 1. 2. 1. Temperatura

El promedio de temperatura para todas las vertientes fue de 20,1°C. A lo largo de todo el monitoreo se obtuvo un valor mínimo de 13,4°C y un máximo de 27,3°C. El CAA no establece un rango válido para la temperatura del agua, como valor recomendado se puede considerar de 18°C a 30°C (INNA 1999). Para las vertientes 3, 4, 5 y 6 los Coeficientes de Variación (CV) que indican el % de variación entre los datos, se encontraron entre 4,6% y 7,9%. Las vertientes 1 y 2 tuvieron coeficientes de variación de 15,7% y 11,6%, la diferencia puede atribuirse a que en estos casos la vertiente se construye con un recinto de material sin cobertura total con suelo quedando más en contacto con el exterior (Tabla 9).

**Tabla 9.** Estadísticos para temperatura del agua en la captación.

Vertiente	Recuento	Promedio	CV	Mínimo	Máximo	Rango
V1	11	21,1	15,7%	15,1	27,3	12,2
V2	11	19,0	11,6%	13,4	21,6	8,2
V3	11	19,6	7,3%	16,5	21,3	4,8
V4	10	20,0	4,6%	17,5	20,6	3,1
V5	11	20,1	7,8%	16,5	22,1	5,6
V6	11	20,5	7,0%	18,5	23,4	4,9
Total	65	20,1	10,1%	13,4	27,3	13,9

En el apartado III.2.1.4.2 se considera la influencia de las estaciones del año en la temperatura del agua de las vertientes, considerando que la temperatura resulta determinante para los procesos microbiológicos.

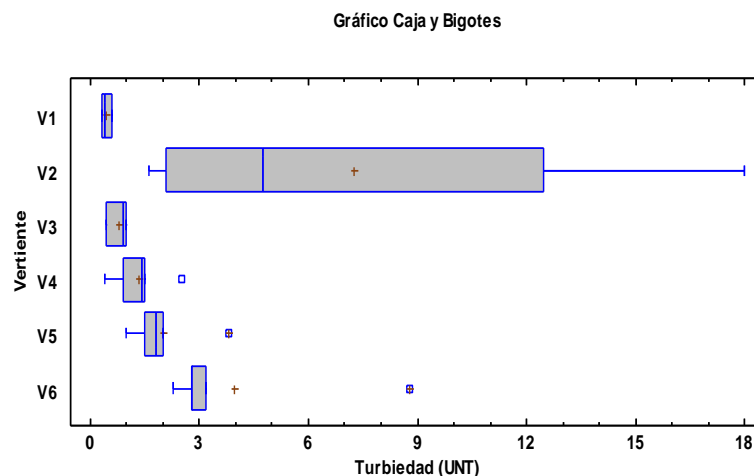
#### III. 2. 1. 2. 2. Turbiedad

El valor máximo especificado por el CAA es de 3 UNT. Las vertientes V<sub>1</sub>, V<sub>3</sub>, V<sub>4</sub> y V<sub>5</sub> cumplen con este valor límite. Las vertientes V<sub>2</sub> y V<sub>6</sub> ocasionalmente exceden el límite permitido. En particular V<sub>2</sub> presentó un CV mayor a 100% que

indica que el conjunto de datos es muy variable o muy heterogéneo con respecto a la media.

El gráfico de caja y bigotes aporta 5 números resumen de la muestra de datos. La caja central cubre la mitad de los datos y se extiende desde el cuartil inferior hasta el cuartil superior. Los bigotes (líneas izquierda y derecha) muestran la localización del menor y el mayor de los datos. La mediana se indica con la línea vertical en el interior de la caja, la media se indica con el signo (+). Los valores atípicos pueden ser “atípicos lejanos” (indicados por un cuadrado pequeño con un signo más superpuesto) son puntos situados a más de tres veces el rango intercuartílico por arriba o por debajo de los límites de la caja. Los “atípicos dudosos” son puntos situados a más de 1,5 veces el rango intercuartílico (indicados por puntos).

El gráfico que se presenta a continuación para la vertiente 2 (Figura 4), muestra que la media es mayor que la mediana y el bigote superior es mayor que el inferior, pudiendo indicar asimetría positiva en los datos. El efecto producido en forma marcada para V<sub>2</sub> puede estar relacionado con filtraciones en la vertiente que se producen después de precipitaciones intensas que ocasionan escurrimientos superficiales y erosión de suelo. La mineralogía de estos suelos y el tamaño de la fracción arcilla permite justificar que esta se mantenga en suspensión por mucho tiempo.



**Figura 4.** Gráfico de caja y bigotes para la variable Turbiedad en cada vertiente.

Para las vertientes  $V_5$  y  $V_6$  los atípicos lejanos podrían también indicar una distribución no normal.  $V_5$  y  $V_6$  poseen en diciembre, los valores más altos de turbidez (atípicos lejanos) que coinciden con un valor elevado de precipitación mensual que ocurrió al comienzo del verano (diciembre). Para  $V_2$  el atípico lejano ocurrió en el mes de octubre, en este caso se debe considerar el efecto de la lluvia luego de dos meses de escasas precipitaciones. Si la situación que produce los atípicos lejanos se atribuye a las lluvias, estos valores no serían outliers sino propios de una muestra que no posee distribución normal.

Teniendo en cuenta los valores indicados por CONAMA para aguas de Clase I que requieren un tratamiento simplificado para su consumo, el límite máximo establecido para turbiedad es de 40 UNT (CONAMA 2005), por lo que todas las vertientes monitoreadas entrarían en esta clasificación (C. Barrios N., R. Torres R., y otros 2009).

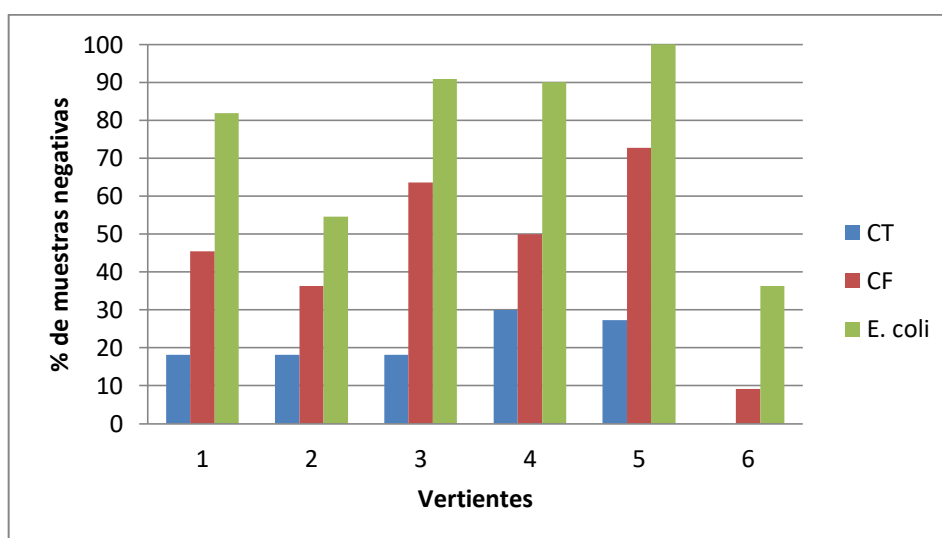
### **III. 2. 1. 3. Parámetros microbiológicos**

#### **III. 2. 1. 3. 1. Coliformes Totales, Coliformes Fecales, *Escherichia coli*.**

Considerando que las vertientes protegidas son aguas de origen natural, no sería relevante encontrar en las muestras analizadas la presencia de microorganismos, que indicarían que el agua no recibió un tratamiento previo de desinfección. Se considera importante evaluar los tenores de los indicadores analizados, que estarían relacionados con el nivel de contaminación en las vertientes protegidas y establecerían el tipo de tratamiento que requieren para su potabilización.

Se obtuvo como resultado promedio de todas las vertientes un recuento para CT de 298 NMP/100mL (Media geométrica 31 NMP/100mL) y para CF de 94 NMP/100mL (Media geométrica 6 NMP/100mL), indicando presencia de microorganismos en las vertientes y evidenciando que no fueron sometidas a un tratamiento de desinfección. Estos recuentos son mayores a los especificados en el CAA para CT, no resultando el agua apta para consumo según legislación propia.

El CAA establece como criterio microbiológico que se cumplan dos condiciones, que el número de CT sea igual o menor de 3 (NMP/100mL) y ausencia de *E. coli* en 100mL. La utilización de CT como único indicador de contaminación fue ampliamente discutida, estableciendo en los últimos avances al respecto, que el indicador fehaciente de contaminación fecal es *E. coli*. Inclusive las últimas opiniones sobre el tema sugieren que para los casos en los que se utilice CF como indicador se debe confirmar *E. coli* para establecer la posible contaminación fecal y la presencia de patógenos con este origen. Debido a que dentro del grupo de los CT y en menor medida en los CF pueden encontrarse microorganismos presentes en la naturaleza no solo del tracto gastrointestinal, se pueden tener falsos positivos que dificulten la interpretación del análisis. Durante el monitoreo realizado, analizando el número de muestras negativas para los tres indicadores, los porcentajes de muestras que no presentan contaminación fueron aumentando para todas las vertientes obteniendo para V<sub>1</sub>, V<sub>3</sub>, V<sub>4</sub> y V<sub>5</sub> porcentajes de muestras negativas para *E. coli* mayor al 82% (Figura 5). Esto podría sugerir para las vertientes 1, 3, 4 y 5, que todas las muestras analizadas poseen dentro de los CT microorganismos propios del ambiente. Para las vertientes 1, 3 y 4 se sugiere contaminación fecal en un 18%, 9% y 10% del total de muestras. V<sub>5</sub> no presentó *E. coli* en todas las muestras analizadas.



**Figura 5.** Porcentajes de muestras negativas para Coliformes Totales, Coliformes Fecales y *E. coli*.

Las vertientes 2 y 6 poseen las mayores frecuencias de presencia de *E. coli* (45% y 64%) indicando contaminación fecal. Considerando la clasificación de los sistemas de abastecimiento de agua basados en la conformidad y metas de seguridad (OMS 2006; Lampoglia, Agüero P. y Barrios N. 2008), las vertientes 3, 4 y 5 poseen una Excelente calidad del sistema de agua, la vertiente 1 una buena calidad y las vertientes 2 y 6 presentan mala calidad.

Los recuentos promedio reportados para CT y CF son menores que los reportados por Gutierrez S. y Torres S., 2013 y Martínez Romero y otros, 2009 y son mayores a los de Otrosky y Forte, 2007. El porcentaje total de muestras positivas para CF fue del 54% no sería tan elevado como el mencionado para muestras analizadas por un laboratorio de análisis de agua en Baldissera y Borsatto, 2004 donde de 1340 muestras el 86% presentó contaminación por CF. Este porcentaje se reduce a un 24% cuando se confirma la presencia de *E. coli* y es menor al reportado por Saati y Faidah, 2013.

A partir de la evidencia presentada, se podría concluir que los recuentos obtenidos a lo largo de un año de muestreo son bajos para  $V_1$ ,  $V_3$ ,  $V_4$ , y  $V_5$ , e intermedios para  $V_2$  y  $V_6$ , sin embargo no cumplen con lo especificado en el CAA, por lo que indican la necesidad de tratamiento. Es posible realizar una evaluación en función del riesgo, según los diferentes niveles de contaminación con Coliformes Fecales. El nivel de riesgo que tiene para la salud consumir agua contaminada por CF dependerá de las circunstancias locales y se incrementará según el número de personas abastecidas por el sistema de agua, a mayor tamaño de sistema, los criterios serán más estrictos (Meierhofer y Wegelin 2003). La Guía de la OMS (OMS 2006) establece que un número de CF entre 10 y 100 representaría un riesgo intermedio para la salud y si este valor se encuentra entre 1 y 10 el riesgo es bajo. En base a esta clasificación, el 67 % de las vertientes evaluadas estarían en un nivel de riesgo bajo ( $V_1$ ,  $V_3$ ,  $V_4$ ,  $V_5$ ), una de las vertientes ( $V_2$ ) estaría en un nivel de riesgo intermedio y la vertiente  $V_6$  presentaría un nivel de riesgo alto.

Los niveles de contaminación encontrados permiten orientar en los tipos de tratamiento a utilizar. Las Guías Europeas (CEE 1975) clasifican el agua en tres categorías de calidad A1, A2 y A3 y establecen un parámetro orientativo máximo

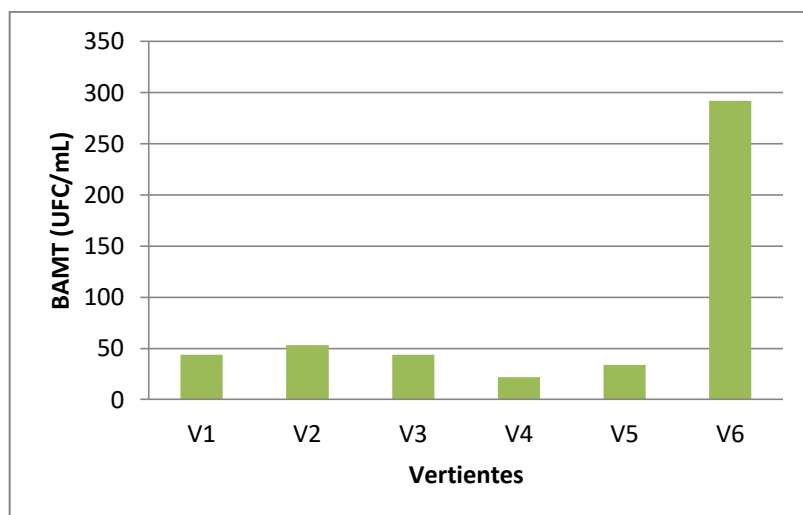
para CF de 20 CF/100mL para la categoría A1. Los valores promedios para todas las vertientes a excepción de la V<sub>6</sub> estuvieron por debajo de este valor límite, indicando que el método de tratamiento para que estas aguas sean potables sería un tratamiento simple (como filtración rápida) y desinfección. Esto coincide con la norma nicaragüense que establece la clasificación de las fuentes de agua y sus posibles tratamientos, una fuente que puede requerir un tratamiento usual como filtración y desinfección posee promedios mensuales entre 50 a 500 NMP/100mL de Coliformes Totales y un máximo diario >5000 NMP/100mL en menos del 20% de las muestras (INNA 1999). Los valores obtenidos mensualmente en el presente estudio no superan este rango para todas las vertientes a excepción de V<sub>6</sub>, no obstante esta vertiente solo superó el máximo diario indicado de 5000 NMP/100mL en una oportunidad, en enero de 2016 luego de 25 días con escasas precipitaciones.

### **III. 2. 1. 3. 2. Bacterias Aerobias Mesófilas Totales**

El recuento de estos microorganismos viables es complementario a los otros parámetros microbiológicos y se debe interpretar en forma diferente según se trate de agua en distribución, subterránea o en curso de ser tratada. Su recuento es de interés para evaluar las distintas etapas de tratamientos, en especial la de filtración.

En la evaluación de la potabilidad del agua ubicada en reservorios de almacenamiento domiciliario se incluye el recuento de bacterias mesófilas en agar (APC – 24 hs a 37°C), donde el CAA exige, en el caso de que el recuento supere las 500 UFC/mL y se cumpla el resto de los parámetros indicados, la higienización del reservorio y un nuevo recuento. En general los valores encontrados de BAMT para todas las vertientes se consideran bajos, según se observa en la Figura 6. Los bajos tenores encontrados pueden estar relacionados con la necesidad de estas bacterias de contar con oxígeno para su supervivencia. Considerando el recorrido del agua a través del perfil del suelo, en los primeros centímetros habrá mayor cantidad de restos orgánicos y de O<sub>2</sub> y a mayor profundidad, la humedad y la aireación serán factores determinantes

para la distribución de microorganismos. A niveles profundos habrá un mayor número de organismos que sobreviven en condiciones anaeróbicas.



**Figura 6.** Valores promedios de BAMT en las vertientes muestreadas.

### III. 2. 1. 3. 3. *Pseudomonas aeruginosa*.

De todas las muestras tomadas en los 6 puntos de muestreo en el período mencionado, el 34% presentó *Pseudomonas aeruginosa*. Este resultado sería menor que el presentado por Saati y Faidah, 2013.

La fuente principal de *Pseudomonas* se encuentra en el agua y el suelo (Jay, Loessner y Golden 2009); es considerada un patógeno oportunista de importancia moderada para la salud y baja infectividad relativa, no existen pruebas de que constituya un peligro para la salud de la población en general, si debería tenerse en cuenta en personas inmunodeprimidas (OMS 2006). La dosis oral necesaria para causar una infección es de  $10^8$ - $10^9$  UFC; a pesar de encontrarla frecuentemente en agua potable, no existen estudios que demuestren la relación entre consumo de agua y enfermedades entéricas (WHO 2003). En un agua mineral con niveles extremadamente bajos, puede multiplicarse luego de su adaptación.

### III. 2. 1. 3. 4. Enterococos

Un 34% de las muestras resultó positivo para Enterococos, los porcentajes de muestras negativas se presentan en la Tabla 10 y son mayores a los reportados por Saati y Faidah, 2013 considerando las frecuencias de detección de estos

microorganismos. Teniendo en cuenta los valores máximos hallados para cada vertiente, los tenores encontrados son bajos comparados con Saati y Faidah, 2013 y Pucciarelli, Tessari y Von Specht, 2014. También resultan bajos en comparación a los tenores encontrados para CF.

Este indicador se puede utilizar como índice de la presencia de agentes patógenos fecales que sobreviven más tiempo que *E. coli*. Si bien principalmente se encuentran en el tracto intestinal, el suelo, el agua, y el ambiente pueden ser hábitats normales para Enterococos (Jay, Loessner y Golden 2009), por lo que no es posible determinar la fuente principal de los microorganismos encontrados.

**Tabla 10.** Porcentaje de muestras negativas para Enterococos y valor máximo hallado para cada vertiente.

Vertiente	N	% de muestras negativas	Valor máximo (NMP/100mL)
V1	8	63	9
V2	8	38	9
V3	8	63	9
V4	8	88	4
V5	9	100	---
V6	9	44	23

### III. 2. 1. 3. 4. *Clostridium* Sulfito Reductores

En todas las muestras tomadas hubo ausencia de *Clostridium* sulfito reductores, esta información se considera importante para una interpretación más amplia de la calidad de agua en cuanto a la contaminación fecal remota en tiempo y lugar, por tener mayor supervivencia (esporos) en agua comparada con la de *E. coli* o Coliformes, además de su buena resistencia a la desinfección en el control de tratamientos de agua. Este parámetro no está contemplado en el CAA pero indicaría que las vertientes no poseen protozoos o virus entéricos (Gesche, A. Vallejos y M. Saez 2003).



### **III. 2. 1. 4. Factores que afectan la calidad de agua**

#### **III. 2. 1. 4. 1. Tratamiento Estadístico**

El análisis exploratorio de los datos de análisis químicos se realizó con el fin de tener una idea inicial del conjunto de datos agrupados por variables y confirmar que se cumplen algunas premisas importantes que podrían dar validez a pruebas posteriores. Para el mismo se consideró la totalidad de los datos (65) sin tener en cuenta su distribución geográfica. Se utilizó un análisis descriptivo numérico y exámenes gráficos de las variables individuales.

La Tabla 11 muestra los resultados del análisis descriptivo. En general el valor de la media y la mediana se encuentran próximos entre sí a excepción de las variables CE y SDT, esta diferencia puede estar indicando la presencia de valores atípicos o distribución asimétrica. Los gráficos de caja y bigotes (Figuras 7 y 8) para ambas variables no poseen datos atípicos pero muestran asimetría positiva.

Los CV indicaron datos variables o heterogéneos con respecto a la media a excepción de pH, para Fosfatos se observó la mayor heterogeneidad (Tabla 11).

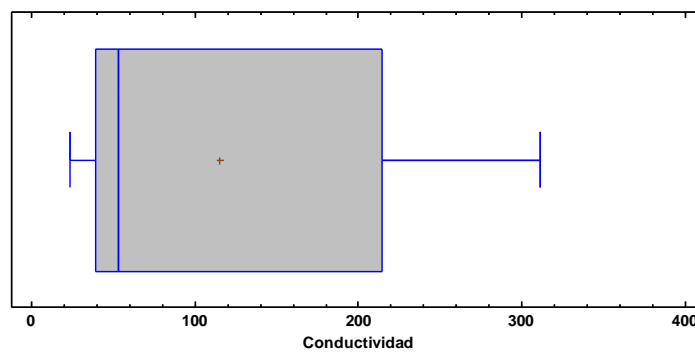
Los valores estadísticos de sesgo estandarizado y curtosis estandarizada por fuera del rango -2 a +2 indicarían una desviación significativa de la normalidad, pueden invalidar cualquier prueba estadística que haga referencia a la desviación estándar para todas las determinaciones químicas realizadas a excepción de pH (Tabla 11).

Para el tratamiento de datos inferiores al límite de detección (LD) o cuantificación (LC), se consideró como criterio remplazar los mismos por el valor del LD o LC y utilizar la mediana como estimador de una media no sesgada ya que esta permite estimar un valor central que no presente influencia de los extremos de la distribución.

**Tabla 11.** Estadística descriptiva para las variables químicas.

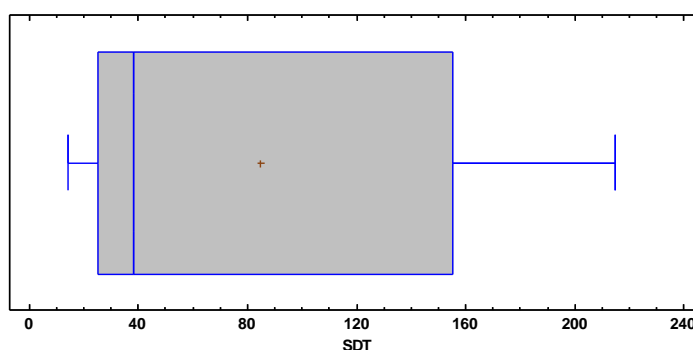
	pH	Conductividad ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	Cloruros (mg/L)	Nitratos (mg/L)	SDT (mg/L)	Fosfatos ppm
Recuento	65	65	65	65	65	65
Promedio	6,2	115	9,6	2,73	84	0,030
Mediana	6,2	53	9,0	2,55	38	0,018
Desviación Estándar	0,7	91	4,6	1,36	72	0,029
Coficiente de Variación %	11,1	79,4	48,3	49,8	85,4	97,1
Mínimo	5,1	24	3,5	0,59	14	0,004
Máximo	7,6	311	23,0	6,6	215	0,110
Rango	2,5	287	19,5	6,01	201	0,106
Sesgo Estandarizado	0,7	2,0	2,6	2,5	1,9	2,8
Curtosis Estandarizada	-1,7	-2,2	0,1	1,1	-2,4	-0,7

Gráfico de Caja y Bigotes



**Figura 7.** Gráfico de Caja y Bigotes para la variable Conductividad.

Gráfico de Caja y Bigotes



**Figura 8.** Gráfico de Caja y Bigotes para la variable SDT.

Se realizó posteriormente el análisis descriptivo para cada una de las vertientes (Tablas 12 a 17). En la mayoría de los casos los valores calculados estuvieron dentro del rango para curtosis estandarizada y sesgo estandarizado a excepción de Cloruros de la vertiente 4 (Tabla 15) y Fosfatos en la vertiente 6 (Tabla 17). Los CV para pH se encontraron entre el 3,1- 5,1%. Los CV para el punto V<sub>2</sub> fueron elevados para todas las determinaciones químicas realizadas a excepción de pH. V<sub>2</sub> fue también la vertiente que tuvo un CV elevado para turbiedad (ver apartado III. 2. 1. 2. 2.), estos hechos pueden estar relacionados con procesos de escurrimiento superficial, erosión de suelo o infiltraciones que ocurren luego de precipitaciones en una vertiente con deficiencias en la protección.

**Tabla 12.** Vertiente 1. Análisis descriptivo.

	1.pH (UpH)	1.Conductividad ( $\mu$ S/cm)	1.Cloruros (mg/L)	1.Nitratos (mg/L)	1.SDT (mg/L)	1.Fosfatos (mg/L)
Nro Observaciones	11	11	11	11	11	11
Promedio	7,1	250	8,6	3,90	186	0,067
Mediana	7,0	257	9,0	3,65	190	0,077
Desviación Estándar	0,3	34	2,9	1,28	19	0,030
Coeficiente de Variación (%)	4,7	13,6	34,2	32,8	10,3	44,6
Mínimo	6,7	194	4,0	1,80	154	0,012
Máximo	7,6	311	13,0	5,96	215	0,11
Sesgo Estandarizado	0,7	0,2	-0,6	0,01	-0,7	-1,2
Curtosis Estandarizada	-0,8	-0,1	-0,5	-0,6	-0,1	0,1

**Tabla 13.** Vertiente 2. Análisis descriptivo.

	2.pH (UpH)	2.Conductividad ( $\mu$ S/cm)	2.Cloruros (mg/L)	2.Nitratos (mg/L)	2.SDT (mg/L)	2.Fosfatos (mg/L)
Recuento	11	11	11	11	11	11
Promedio	6,3	109	9,2	1,57	84	0,026
Mediana	6,4	76	9,0	0,91	56	0,026
Desviación Estándar	0,2	63	5,8	1,16	60	0,023
Coeficiente de Variación (%)	3,1	57,5	62,5	74,2	71,4	89,1
Mínimo	6	41	3,5	0,59	32	0,004
Máximo	6,6	219	19,0	4,01	200	0,071
Sesgo Estandarizado	-0,4	1,3	0,9	1,57	1,6	0,9
Curtosis Estandarizada	-0,8	-0,5	-0,7	0,2	-0,1	-0,4

**Tabla 14.** Vertiente 3. Análisis descriptivo.

	3.pH (UpH)	3.Conductividad ( $\mu$ S/cm)	3.Cloruros (mg/L)	3.Nitratos (mg/L)	3.SDT (mg/L)	3.Fosfatos (mg/L)
Recuento	11	11	11	11	11	11
Promedio	7,0	208	7,2	1,97	157	0,048
Mediana	7,0	217	6,7	1,79	143	0,056
Desviación Estándar	0,3	22	2,6	0,69	24	0,022
Coeficiente de Variación (%)	3,9	10,6	36,1	35,3	15,5	46,5
Mínimo	6,5	169	3,5	1,08	129	0,01
Máximo	7,3	232	12,0	3,17	193	0,08
Sesgo Estandarizado	-0,6	-1,2	0,8	0,32	0,7	-0,6
Curtosis Estandarizada	-0,7	-0,5	0,0	-0,8	-1,0	-0,4

**Tabla 15.** Vertiente 4. Análisis descriptivo.

	4.pH (UpH)	4.Conductividad ( $\mu$ S/cm)	4.Cloruros (mg/L)	4.Nitratos (mg/L)	4.SDT (mg/L)	4.Fosfatos (mg/L)
Recuento	10	10	10	10	10	10
Promedio	5,9	48	11,6	2,48	30	0,026
Mediana	5,8	50	9,5	2,25	29	0,025
Desviación Estándar	0,3	5	7,5	0,54	6	0,018
Coeficiente de Variación (%)	4,6	10,4	64,3	21,9	19,7	68,2
Mínimo	5,5	38	4,0	1,97	21	0,004
Máximo	6,3	53	29,0	3,57	40	0,051
Sesgo Estandarizado	1,2	-1,8	2,1	1,36	0,3	0,3
Curtosis Estandarizada	-0,1	0,7	1,8	0,1	-0,5	-1,1

**Tabla 16.** Vertiente 5. Análisis descriptivo

	5.pH (UpH)	5.Conductividad ( $\mu$ S/cm)	5.Cloruros (mg/L)	5.Nitratos (mg/L)	5.SDT (mg/L)	5.Fosfatos (mg/L)
Recuento	11	11	11	11	11	11
Promedio	5,4	31	12,6	3,00	19	0,004
Mediana	5,4	32	12,7	2,65	19	0,004
Desviación Estándar	0,2	4	5,6	0,77	3	0,000
Coficiente de Variación (%)	4,6	11,6	44,4	25,7	16,2	0,0
Mínimo	5,1	24	4,0	1,94	14	0,004
Máximo	5,9	39	23,0	4,4	26	0,004
Sesgo Estandarizado	1,0	0,2	0,2	0,70	0,8	-1,6
Curtosis Estandarizada	0,1	1,8	0,0	-0,5	0,9	-1,7

**Tabla 17.** Vertiente 6. Análisis descriptivo.

	6.pH (UpH)	6.Conductividad ( $\mu$ S/cm)	6.Cloruros (mg/L)	6.Nitratos (mg/L)	6.SDT (mg/L)	6.Fosfatos (mg/L)
Recuento	11	11	11	11	11	11
Promedio	5,8	39	9,5	3,46	25	0,009
Mediana	5,7	40	8,5	3,30	25	0,004
Desviación Estándar	0,3	5	3,9	1,78	5	0,008
Coficiente de Variación (%)	5,1	13,2	40,6	51,4	21,3	89,9
Mínimo	5,5	31	3,5	0,87	15	0,004
Máximo	6,4	46	17,0	6,6	34	0,027
Sesgo Estandarizado	1,6	-0,3	1,1	0,93	-0,1	2,3
Curtosis Estandarizada	0,5	-0,5	0,4	0,0	0,1	1,6

**III. 2. 1. 4. 1. Correlaciones**

Debido a la falta de normalidad entre las variables se utilizó el análisis de correlación no paramétrico de Spearman. La Tabla 18 muestra los coeficientes de correlación para cada par de variables. Según la fuerza de asociación entre las variables las más correlacionadas fueron **pH** con Conductividad, SDT y Fosfatos; **Conductividad** con SDT y Fosfatos y **SDT** con Fosfatos.

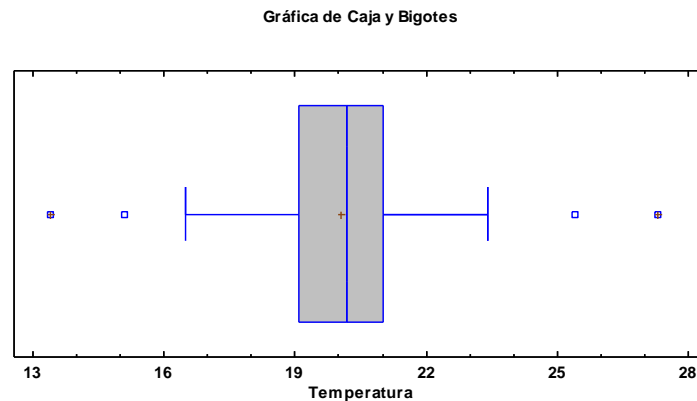
**Tabla 18.** Matriz de Coeficientes de correlación de Spearman.

	pH	Conductividad	Cloruros	Nitratos	SDT	Fosfatos
pH	1,0000					
Conductividad	0,8931	1,0000				
Cloruros	-0,1175	-0,2200	1,0000			
Nitratos	0,0070	0,0583	0,3668	1,0000		
SDT	0,8092	0,9400	-0,3345	-0,0085	1,0000	
Fosfatos	0,7609	0,7361	-0,0026	0,0448	0,6500	1,0000

Nota: Valores resaltados corresponden a correlación estadísticamente significativa ( $P < 0,05$ ) con un nivel de confianza del 95,0%

### **III. 2. 1. 4. 2. Influencia de las estaciones del año en la temperatura del agua.**

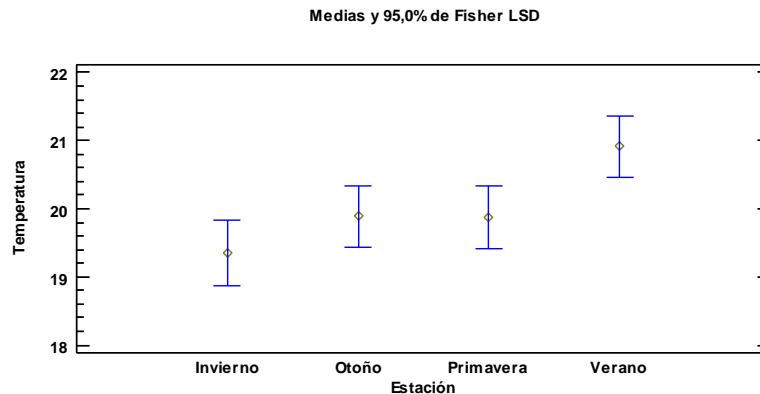
Se eliminaron cuatro valores anómalos de temperatura del agua detectados a partir del gráfico de cajas y bigotes (Figura 9), estos corresponden a temperaturas influenciadas por las diferencias en los tipos de obras de construcción, no se considera que correspondan a la temperatura del agua en el momento de captación. A partir de este análisis, los valores de sesgo estandarizado y curtosis estandarizada resultaron en el rango esperado para una distribución normal, los Test de Normalidad de Shapiro –Wilk y Kolmogorov-Smirnov tuvieron un valor -P mayor a 0,05 por lo que no se rechazó la idea de que esta variable provenga de una distribución normal con un 95% de confianza.



**Figura 9.** Gráfico de caja y bigotes para la T del agua considerando todos los valores.

El ANOVA simple permitió diferenciar si existieron diferencias significativas entre las medias de T del agua para cada estación del año. Como resultado el valor – P fue menor a 0,05 indicando que existe diferencia entre las medias, y la prueba de múltiples rangos permitió identificar que medias fueron significativamente diferentes de otras. No se encontró diferencias significativas entre las estaciones de invierno, primavera y otoño, mientras que verano presentó diferencias con las tres estaciones restantes. La Figura 10 permite observar estas conclusiones. La media de la temperatura del agua en verano fue de 20,9°C, indicaría una estación del año donde las temperaturas del agua de las vertientes pueden favorecer al crecimiento de microorganismos. En este punto es importante considerar la construcción de las mismas, aquellas que se encuentren más expuestas al ambiente por los materiales utilizados y el tipo de construcción, podrán presentar este inconveniente. Es importante considerar que los valores de temperatura tomados corresponden a la vertiente protegida. Si consideramos el circuito de distribución, el agua se transporta a los distintos puntos de uso donde es almacenada previamente en tanques de 500 – 1000 L para el uso familiar, motivo por el cual la temperatura del agua en las casas puede ser aún mayor en verano.



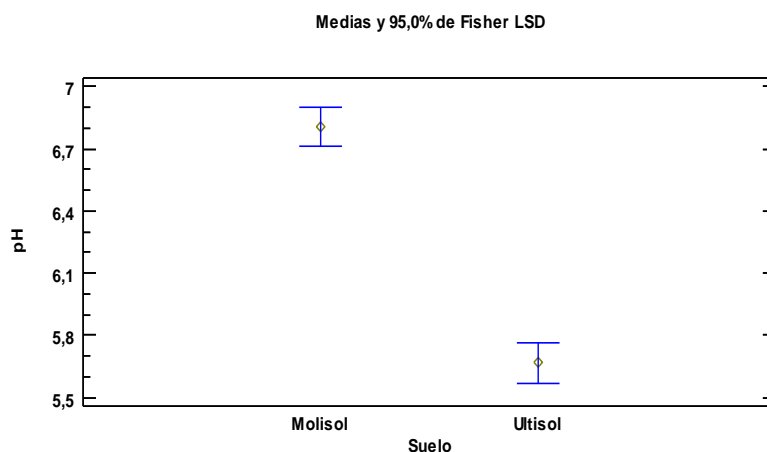


**Figura 10.** Gráfico de medias T del agua vs estación del año.

### III. 2. 1. 4. 3. Influencia del tipo de suelo en la calidad de agua.

La media de pH del agua de vertientes provenientes de Ultisoles fue menor a la de vertientes en las que los suelos pertenecen al orden Molisol. Al realizar el análisis de ANOVA simple (Anexo 17), el valor  $-P$  de la prueba  $-F$  fue menor que 0,05 lo que indica que existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de pH entre un tipo de suelo y otro (Molisol/Ultisol), esto se confirma con la prueba de múltiples rangos. La Figura 11 permite observar lo anteriormente mencionado. La diferencia principal entre los tipos de suelos que podría explicar este comportamiento es el contenido de arcilla. Ultisoles y Oxisoles tienen un contenido de arcilla del 70% (caolinita de tipo 1:1), además de coloides como óxidos e hidróxidos de hierro y aluminio. La arcilla, presentará baja permeabilidad, compacidad y microporosidad alta, características que le permitirán actuar como filtro para diferentes sustancias. Con un mayor porcentaje de microporos tendrá una porosidad total mayor que le permita capturar una elevada cantidad de dióxido de carbono comparada con la de los Molisoles. Este gas posteriormente podrá sobresaturar el agua que circule por estos suelos acidificándola, motivo por el cual el pH de aguas provenientes de Ultisoles puede ser más bajo que el de aguas en interacción con suelos del orden Molisol. Otro aspecto importante a considerar y que podría influir en la diferencia presentada, consiste en la profundidad hasta la que se puede hallar elevados porcentajes de arcilla dentro del perfil de suelo. En este sentido, los Molisoles poseen en los primeros 100 cm un porcentaje de arcilla del 35-39%, mientras

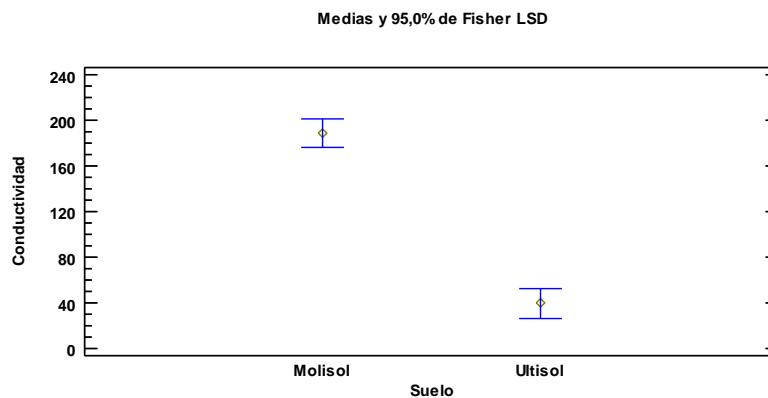
que los Ultisoles muestran valores comprendidos entre el 72-83 % dentro de los primeros 200 cm del perfil.



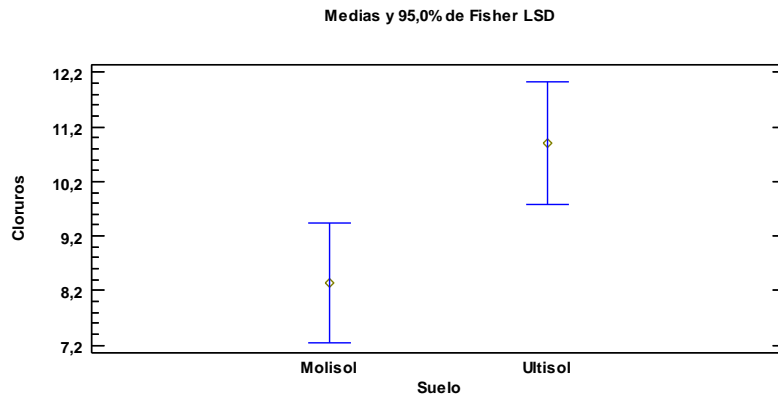
**Figura 11.** Gráfico de medias pH vs tipos de suelo.

Para interpretar el efecto observado en las variables Conductividad y SDT (Figuras 12 y 14) es necesario tener en cuenta que, por su tamaño menor a 2 micrones, la arcilla es considerada un coloide con gran superficie específica y carga principalmente negativa que atraerá cationes. En particular para los suelos en cuestión, la carga de la arcilla tendrá un comportamiento anfótero y su afinidad por cationes o aniones dependerá del tipo de arcilla y principalmente del pH. Para los Molisoles, cuyo pH en agua es cercano a 6,7, la arcilla tendrá carga negativa y tenderá a adsorber cationes, a su vez que la capacidad de intercambio catiónico será mayor que la de Ultisoles, que poseen un pH en agua de alrededor de 4,7. Los suelos Molisoles tendrán mayor contenido en bases que los Ultisoles pudiendo liberar estos cationes al agua de las vertientes, que presentarán mayor Conductividad y SDT. Se debe considerar que los Molisoles son suelos menos evolucionados que los Ultisoles, por lo que tendrían una proporción mayor de minerales primarios provenientes del basalto y arcillas con mayor actividad que la caolinítica, típica de los Ultisoles.

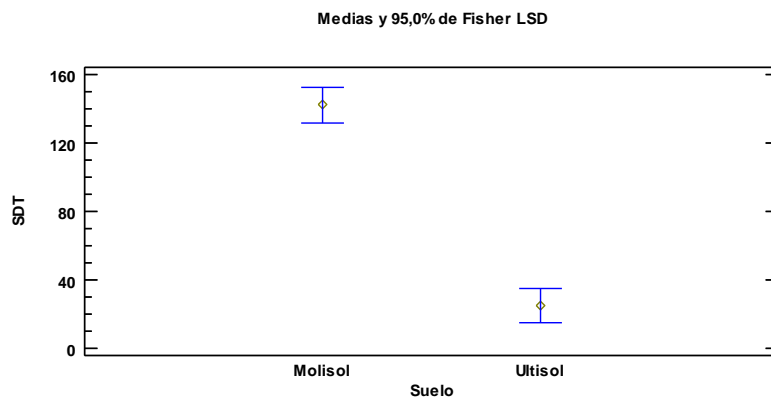
La presencia de oxi-hidróxidos de hierro y aluminio y caolinitas, con carga positiva en la fracción arcilla de los Ultisoles produce capacidad de intercambio de aniones. Considerando que los principales aniones intercambiables son  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{Cl}^-$ , la afinidad y fuerza de unión con los complejos húmicos-arcillosos de los suelos dependerá del orden de valencia e hidratación. Se observará que en los fosfatos la adsorción puede ser irreversible y quedarán fijados al suelo y podría no realizarse el intercambio (Conti 2005). Esto explicaría el bajo nivel de Fosfatos en aguas pertenecientes a suelos del orden Ultisol (Figura 15). En el otro extremo se observa el comportamiento de Cloruros (Figura 13), presentes en mayor concentración en aguas que provienen de suelos Ultisoles, que serán retenidos en el complejo húmico-arcilloso con menor fuerza y por acción de las precipitaciones podrán ser lavados y pasar a formar parte de la composición química de las aguas. Este efecto podría explicar que la media de Cloruros para Ultisoles sea mayor a la media para Molisoles, con una diferencia entre medias estadísticamente significativa ( $P < 0,05$ ).



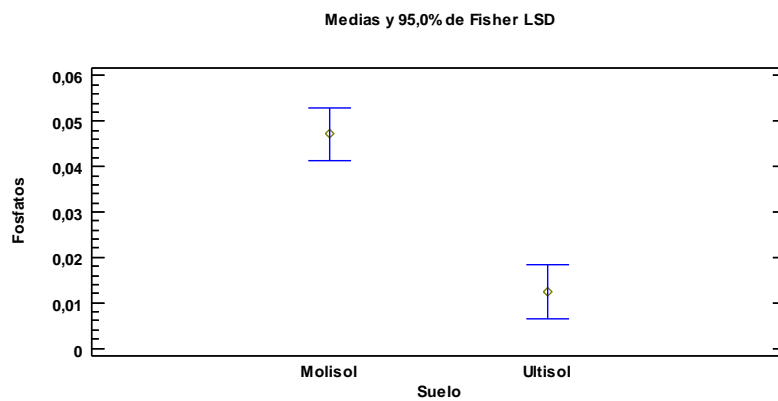
**Figura 12.** Gráfico de medias Conductividad vs tipo de suelo



**Figura 13.** Gráfico de medias Cloruros vs tipo de suelo.



**Figura 14.** Gráfico de medias SDT vs tipo de suelo.

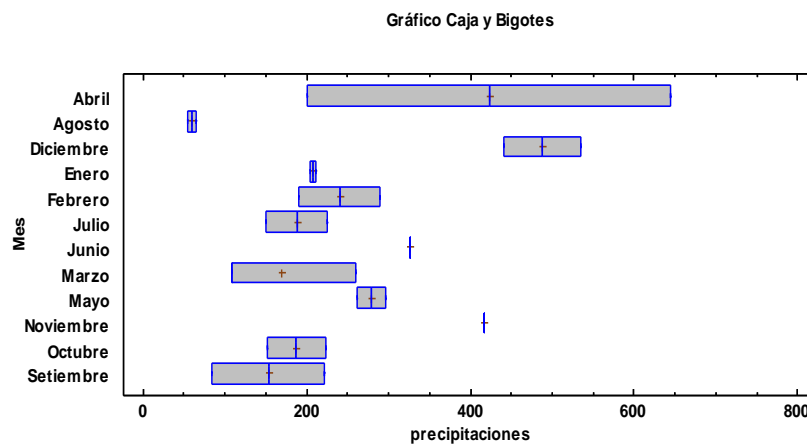


**Figura 15.** Gráfico de medias Fosfatos vs tipo de suelo.

Como conclusión de esta etapa es posible confirmar que existen diferencias en la calidad química natural del agua de las vertientes, las cuales se estarían relacionadas con el tipo de suelo (Molisol/ Ultisol) en el cual se encuentren.

#### III. 2. 1. 4. 4. Influencia de las precipitaciones en la calidad de agua.

En el régimen mensual de precipitaciones durante el período muestreado se observaron comportamientos propios de la estacionalidad del fenómeno de precipitaciones en el área de estudio. Durante los meses de agosto y septiembre se observan valores bajos de precipitaciones que indicarían una época de sequía. En diciembre ocurrió un pico de precipitaciones. Se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre medianas ( $P < 0,05$ ) de los meses de agosto y diciembre (Figura 16).

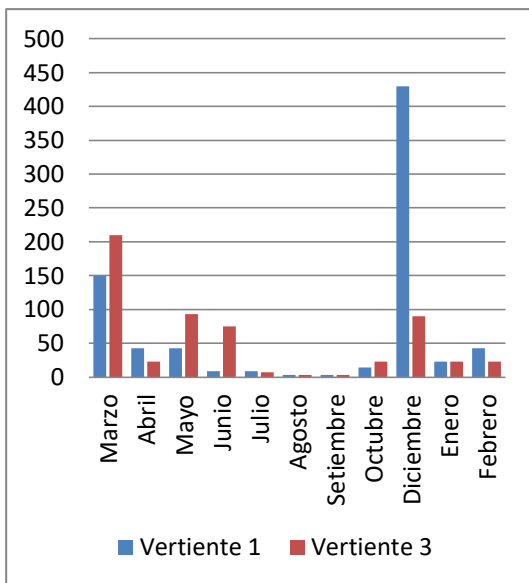


**Figura 16.** Gráfico de caja y bigotes. Mes del año vs. precipitaciones mensuales.

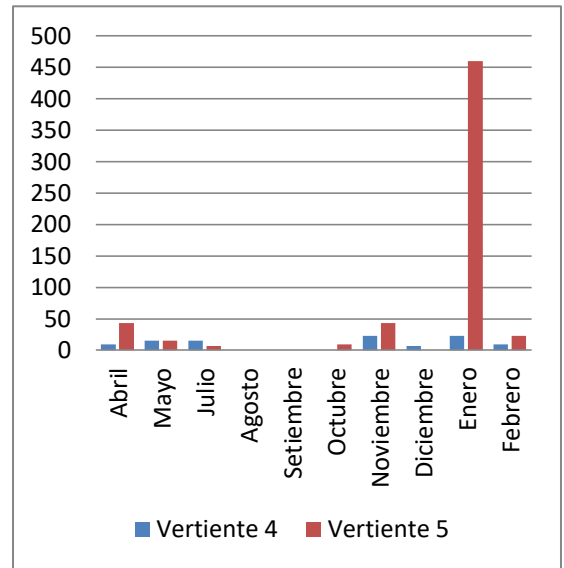
Estos dos momentos produjeron efectos similares en turbiedad, un valor atípico para la vertiente V<sub>6</sub> en diciembre y el valor más alto para V<sub>2</sub> en octubre luego de dos meses con muy bajas precipitaciones. Las variaciones de turbiedad pueden estar relacionadas con los efectos que se producen a precipitaciones altas (500 mm mensuales) y luego de dos meses de precipitaciones bajas (100-150mm mensuales). Para el resto de las vertientes este efecto no resulta tan notorio indicando posiblemente diferencias en la construcción, aquellas vertientes que

poseen mejores cerramientos no serían susceptibles a variaciones importantes en la turbidez.

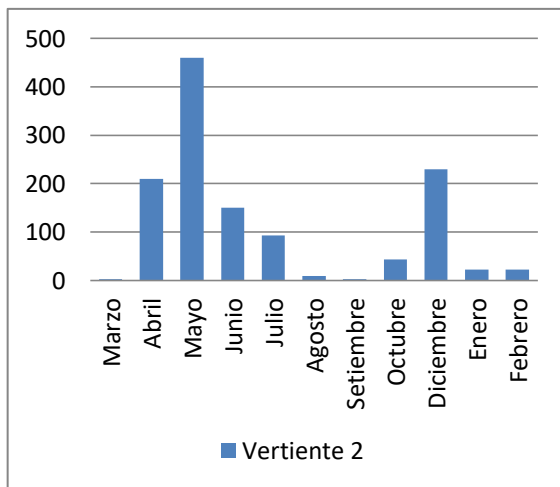
La calidad del agua puede variar con gran rapidez y todos los sistemas pueden presentar fallos ocasionales, el efecto observado cuando se producen altas precipitaciones se puede relacionar con lo recomendado por la OMS en sus Guías para agua Potable (OMS 2006), las precipitaciones pueden aumentar en gran medida la contaminación microbiana de las aguas de origen haciendo frecuentes los brotes de enfermedades transmitidas por el agua después de períodos de lluvias. Esta susceptibilidad en el sistema puede incrementarse en los casos en los que la protección no se lleva a cabo convenientemente. En los Gráficos siguientes (Figuras 17 a 20) se puede observar un perfil similar en el contenido de Coliformes Totales mensuales con el Gráfico de precipitaciones en el período muestreado (Figura 2). En general los meses de agosto, setiembre, octubre y noviembre con bajas precipitaciones presentaron bajos recuentos de CT. Los meses con mayores lluvias presentaron mayores recuentos de CT.



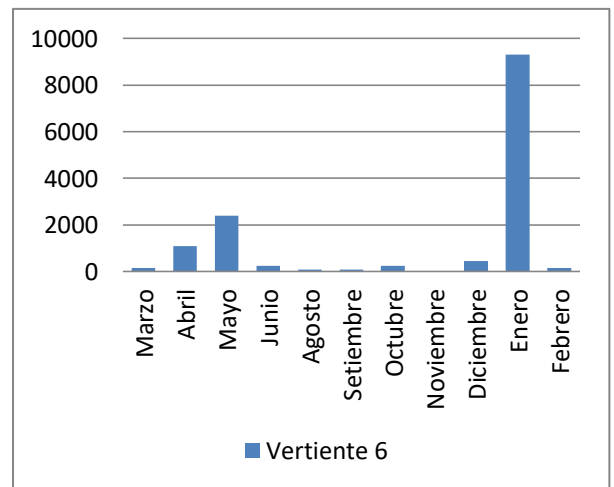
**Figura 17.** Recuento mensual de CT (UFC/mL) para las Vertientes 1 y 3



**Figura 18.** Recuento mensual de CT (UFC/mL) para las Vertientes 4 y 5



**Figura 19.** Recuento de CT (NMP/mL) por mes para la Vertiente 2



**Figura 20.** Recuento de CT (NMP/mL) por mes para la Vertiente 6.

### III. 2. 2. Parte B: Experiencia de comparación de la calidad de agua de vertientes antes y después de la obra de protección.

Del estudio realizado por Baldissera y Borsatto en Brasil, se obtuvieron para los dos municipios muestreados porcentajes de 49,3% (fuentes de Saudades) y de 73,4% (fuentes de Arvoredo) de fuentes contaminadas con CF, siendo el

municipio que presentó menor contaminación, aquel que tuvo mayor número de vertientes protegidas (Baldissera y Borsatto 2004).

A partir de esta experiencia, se realizaron análisis antes de instalar la obra de protección y después de la construcción en 5 vertientes localizadas en la zona de estudio (V7, V8, V9, V10 y V11), los resultados se muestran en el Anexo 18. Los parámetros químicos no permitieron distinguir el efecto de la protección debido a que no se detectó contaminación de tipo química, como ocurrió en el estudio en Brasil donde se observó una reducción de niveles para nitratos, fosfatos y amonio. Esta diferencia si pudo observarse para los parámetros microbiológicos, donde se observó una reducción de microorganismos después de la protección. Los % de Reducción promedios obtenidos fueron de 86% para Coliformes Totales, 38% para BAMT, 55% para Coliformes Fecales y 74% para Enterococos. Las Figuras 21 y 22 presentan los recuentos de estos parámetros antes y después de la protección. Se atribuye esta disminución en primera instancia al tratamiento inicial realizado con la protección de la vertiente de limpieza y desinfección. Para la evaluación de la efectividad de la protección de vertientes no sólo se debe considerar esta mejora sino también el efecto producido en la calidad de agua a lo largo del tiempo, un efecto preventivo, cuyo principal objetivo es preservar de los factores externos como precipitaciones, escorrentía, acceso de animales, que pueden deteriorar la calidad de agua original de las vertientes. Como conclusión de esta etapa, la calidad de agua de las vertientes mejoró luego de la protección.



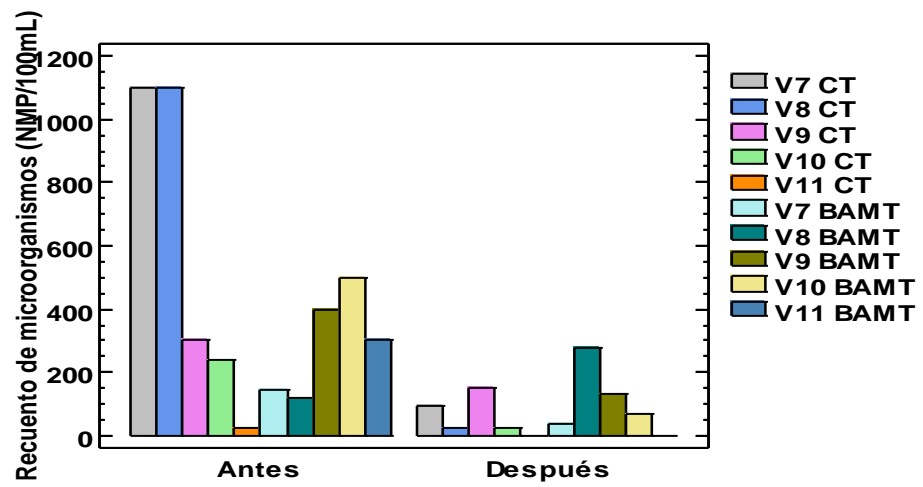


Figura 21. Recuento de CT y BMT antes y después de la protección.

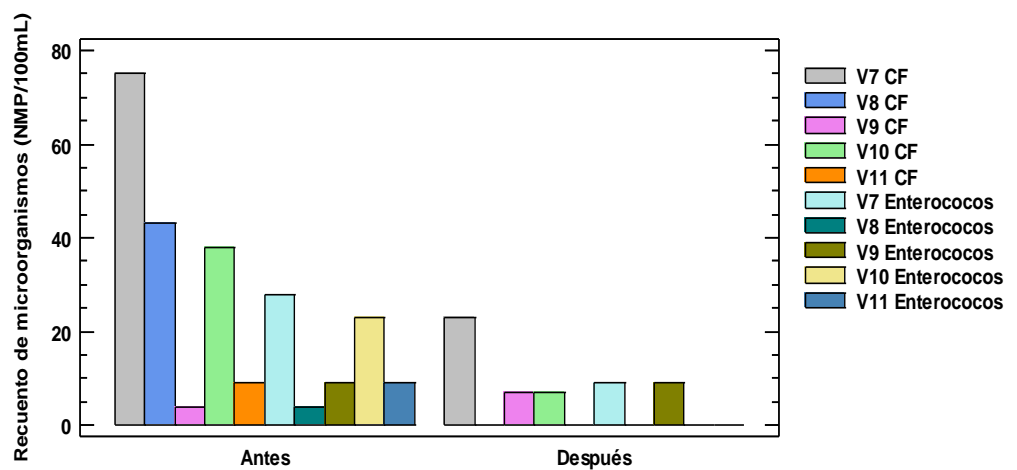


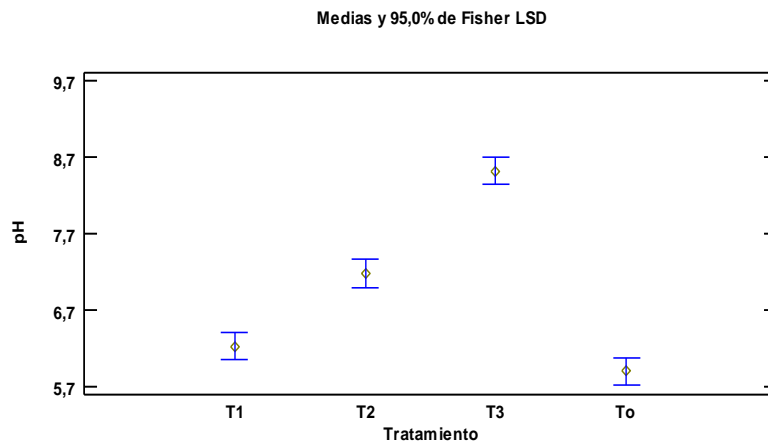
Figura 22. Recuento de CF y Enterococcos antes y después de la protección.

### III. 2. 3. Parte C: Variación de pH con distintos tratamientos

Se encontraron diferencias estadísticamente significativas ( $P < 0,05$ , con un 95.0% de confianza) entre las medias para el Testigo y los tratamientos T2 y T3 que corresponden a Agitación y Ebullición. El gráfico de medias (Figura 23) permite apreciar estas diferencias. La agitación produciría desprendimiento de  $\text{CO}_2$  disuelto en agua que por principio de Le Chatelier desplazaría la reacción de hidrólisis disminuyendo la acidez y como consecuencia aumentando el valor de pH (Ecuación 1). Por calentamiento y ebullición también se debe considerar que los bicarbonatos disueltos en agua pueden convertirse en carbonatos según la Ecuación 5, generando el aumento de pH observado en T3. Ambos tratamientos permiten inferir que la causa de la ligera acidez encontrada en las vertientes  $V_2$ ,  $V_4$ ,  $V_5$  y  $V_6$  es la sobresaturación con dióxido de carbono, este gas al ser liberado por agitación o ebullición permite aumentar el pH del agua. La aireación para el caso en el que el agua queda en estado de reposo durante el tiempo utilizado en la experiencia (T1) no produciría un cambio significativo que pueda diferenciarse del estado inicial (Testigo).



Ecuación 5



To: Testigo, T1: aireación, T2: agitación, T3: ebullición.

**Figura 23.** Gráfico de medias pH vs tratamientos.

### III. 2. 4. Parte D: Propuestas de tratamiento

Teniendo en cuenta el contexto socioeconómico de los usuarios de las vertientes, y los bajos tenores de microorganismos encontrados durante el monitoreo que sugieren un tratamiento mínimo de desinfección, se consideró conveniente trabajar en las siguientes propuestas de tratamiento para dar una respuesta práctica y de bajo costo a la problemática encontrada.

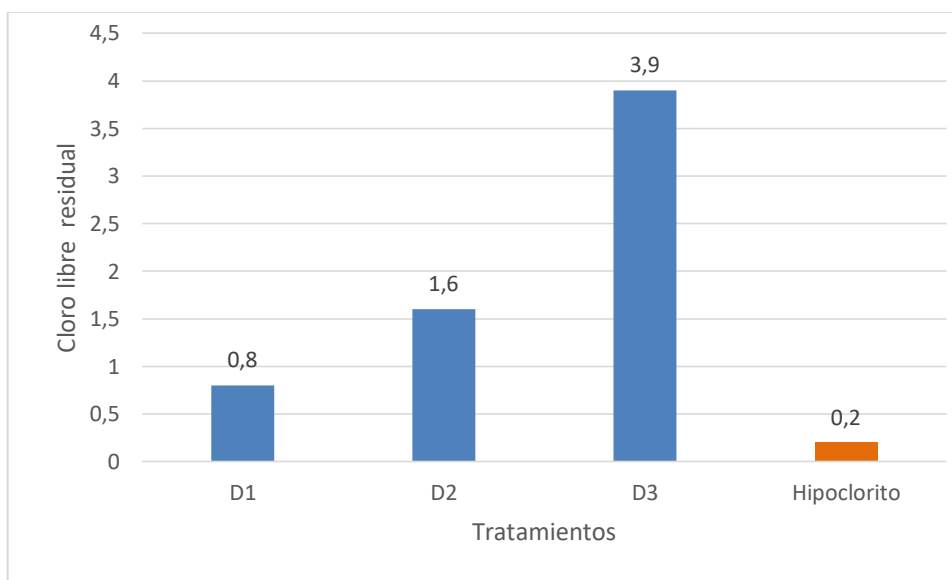
#### III. 2. 4. 1. Pastillas de disolución rápida

La Vertiente 1 está caracterizada por tener un bajo contenido microbiológico inicial y baja turbidez. Al realizar los tratamientos con distintas concentraciones de cloro disponible, los valores de cloro libre residual al cabo de 30 minutos de reacción fueron elevados. Los parámetros microbiológicos en todos los casos se redujeron a niveles aceptables por el CAA resultando un agua apta para consumo humano (Tabla 19), no obstante, los niveles de cloro residual encontrados para los tratamientos D<sub>2</sub> y D<sub>3</sub> (4 y 11 ppm de cloro disponible) afectan el olor y sabor del agua. El tratamiento D1 que corresponde a la mitad de la dosis indicada por el fabricante (2ppm de cloro disponible) produce 0.8 ppm de cloro libre residual, siendo ya un nivel elevado en el punto de consumo del agua (Figura 24).

**Tabla 19.** Resultados de los distintos tratamientos con pastillas de disolución rápida para la Vertiente 1.

	D <sub>0</sub>	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>
pH (UpH)	7,7	7,7	7,6	7,2
C (μS/cm)	301	302	310	350
SDT (mg/L)	150	151	159	175
Cloro libre residual (ppm)		0,8	1,6	3,9
BAMT (UFC/mL)	75	1	3	<1
CT (NMP/100mL)	210	<3	<3	<3
CF (NMP/100mL)	<3	<3	<3	<3
<i>E coli</i>	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia
<i>Pseudomonas Aeruginosa</i>	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia
Enterococos (NMP/100mL)	<3	<3	<3	<3

D<sub>0</sub>: Estado inicial, D<sub>1</sub>: Tratamiento 2 ppm cloro disponible, D<sub>2</sub>: Tratamiento 4 ppm cloro disponible, D<sub>3</sub>: Tratamiento 11 ppm de cloro disponible.



**Figura 24.** Contenido de cloro libre residual en V<sub>1</sub> luego de los tratamientos D<sub>1</sub>, D<sub>2</sub> y D<sub>3</sub> y tratamiento con hipoclorito de sodio.

El CAA no especifica un valor máximo para cloro libre residual, la OMS señala al respecto que no se ha observado ningún efecto adverso en humanos expuestos

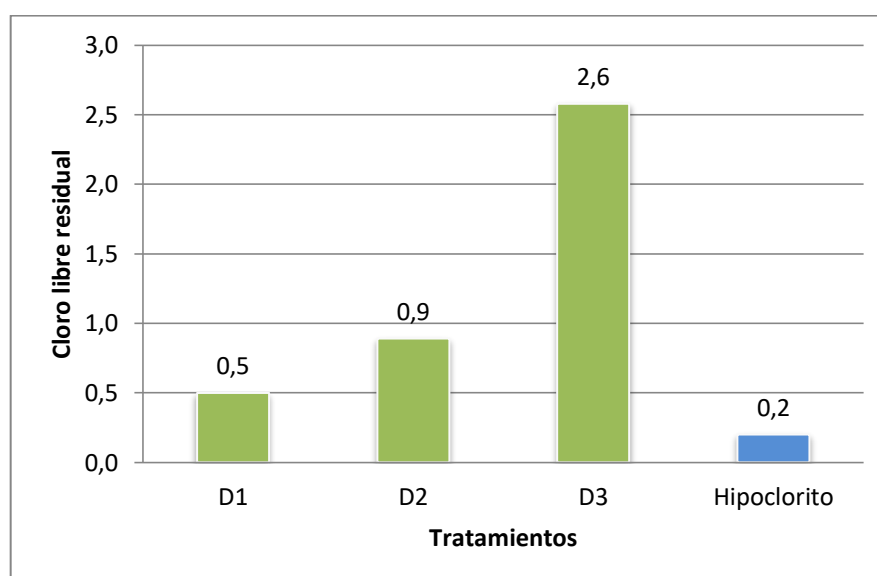
a concentraciones de cloro libre en agua potable, sin embargo es necesario analizar este aspecto no solo por la influencia en la aceptabilidad o rechazo del insumo sino también por el riesgo de producir trihalometanos tóxicos. En un estudio realizado por Gutierrez S. y Torres S. (2013) en un sistema de distribución en Ecuador en el cual se tomó los valores de cloro residual en tres plantas de tratamientos, se reportaron valores promedio de 0.9, 0.6 y 0.2 mg/L en la salida de las mismas estando estos valores dentro de lo establecido por la norma NTE INEN de 0,3 a 1,5mg/L (NTE INEN 2011). En general se debe procurar una concentración de cloro libre residual entre 0,3 a 0,5 mg/L (Basán Nickisch 2012).

La Vertiente 2 fue seleccionada por tener problemas de turbiedad y ciertos niveles de contaminación microbiológica. Todos los tratamientos respondieron favorablemente, resultando un agua apta para consumo desde el punto de vista microbiológico (Tabla 20). Luego de los 30 minutos de aplicar el tratamiento D<sub>1</sub>, se detecta la presencia de Enterococos (7 NMP/100mL), microorganismos más resistentes a la desinfección. Posteriormente, en los análisis realizados a los 2 y 7 días no se detectó la presencia del microorganismo. Con respecto a los niveles de cloro libre residual, se encontraron valores menores que en la experiencia con la Vertiente 1, esto puede estar relacionado a la mayor carga inicial de microorganismos y a las partículas responsables de la turbidez (matriz). Tal como se observó para V<sub>1</sub>, se considera que los tratamientos D<sub>2</sub> y D<sub>3</sub> poseen valores altos de cloro residual, pudiendo causar rechazo por parte de los consumidores al adquirir olor y sabor por la presencia de cloro (Figura 25).

**Tabla 20.** Resultados de los distintos tratamientos con pastillas de disolución rápida para la Vertiente 2.

	D <sub>0</sub>	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>
pH (UpH)	6,4	6,4	6,4	6,4
C (μS/cm)	86	95	107	146
SDT (mg/L)	43	47	54	73
Cloro libre residual (ppm)		0,5	0,9	2,6
BAMT (UFC/mL)	73	<1	<1	<1
CT (NMP/100mL)	390	<3	9	<3
CF (MNP/100mL)	93	<3	<3	<3
<i>E coli</i>	Presencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia
Enterococos (NMP/100mL)	21	7	<3	<3

D<sub>0</sub>: Estado inicial, D<sub>1</sub>: Tratamiento 2 ppm cloro disponible, D<sub>2</sub>: Tratamiento 4 ppm cloro disponible, D<sub>3</sub>: Tratamiento 11 ppm de cloro disponible.



**Figura 25.** Contenido de cloro libre residual en V<sub>2</sub> luego de los tratamientos D<sub>1</sub>, D<sub>2</sub> y D<sub>3</sub> y tratamiento con hipoclorito de sodio.

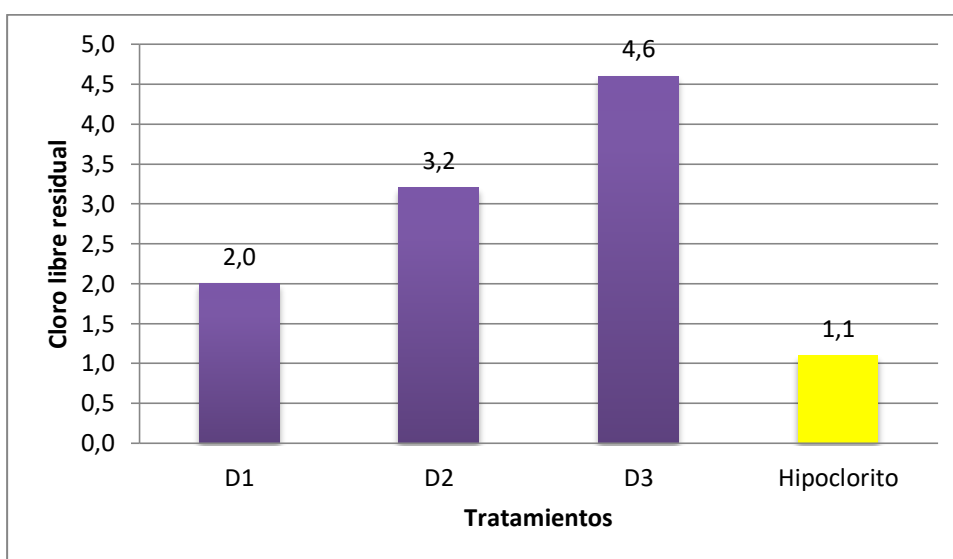
La Vertiente 6 caracterizada por tener el mayor nivel de contaminación microbiológica tuvo respuesta favorable a todos los tratamientos con pastillas de disolución rápida resultando un agua apta para el consumo, considerando los parámetros evaluados (Tabla 21). Nuevamente se consideran elevados los

niveles de cloro libre residual encontrados luego de los tratamientos (Figura 26). Un agua con un contenido de cloro perceptible en el sabor y el olor no sería agradable para el consumidor y podría resultar tóxica por la formación de trihalometanos, por lo que se recomienda considerar el uso de las pastillas de disolución con un control adecuado de los niveles de cloro residual libre y para casos en los que por los niveles de contaminación elevados en la fuente se requiera un tratamiento de estas características.

**Tabla 21.** Resultados de los distintos tratamientos con pastillas de disolución rápida para la Vertiente 6.

	D <sub>0</sub>	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>
pH (UpH)	5,8	5,8	5,9	5,9
C (μS/cm)	54	53	63	105
SDT (mg/L)	27	26	31	52
Cloro libre residual (ppm)		2	3,2	4,6
BAMT (UFC/mL)	400	8	<1	<1
CT (NMP/100mL)	2400	<3	<3	<3
CF (MNP/100mL)	2400	<3	<3	<3
<i>E coli</i>	Presencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Presencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia
Enterococos (NMP/100mL)	>= 2400	<3	<3	<3

D<sub>0</sub>: Estado inicial, D<sub>1</sub>: Tratamiento 2 ppm cloro disponible, D<sub>2</sub>: Tratamiento 4 ppm cloro disponible, D<sub>3</sub>: Tratamiento 11 ppm de cloro disponible.



**Figura 26.** Contenido de cloro libre residual en V<sub>6</sub> luego de los tratamientos D<sub>1</sub>, D<sub>2</sub> y D<sub>3</sub> y tratamiento con hipoclorito de sodio.

### III. 2. 4. 2. Hipoclorito de Sodio

Las tres vertientes tuvieron respuestas favorables a los distintos tratamientos con hipoclorito de sodio (Tablas 22, 23 y 24). Los niveles de cloro residual (Figuras 24, 25 y 26) fueron bajos comparados con los obtenidos a partir de las pastillas de disolución rápida. A las 48hs los niveles de cloro residual libre bajan considerablemente. A los 7 días del tratamiento (Figura 27) se encontraron por debajo de lo recomendado para mantener el agua con un nivel residual que asegure la acción desinfectante. Sería conveniente estudiar la acción del hipoclorito a distintos niveles de pH y distintos componentes de matriz que podrían plantear diferencias en los niveles encontrados de cloro residual libre.



**Tabla 22.** Resultados del tratamiento con hipoclorito de sodio para la Vertiente 1.

	T <sub>0</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>
pH (UpH)	7,7	7,7	7,7	7,8
C (μS/cm)	301	301	301	298
SDT (mg/L)	150	150	150	149
Cloro libre residual (ppm)		0,2	0,2	0,1
BAMT (UFC/mL)	75	2	<1	<1
CT (NMP/100mL)	210	<3	<3	<3
CF (NMP/100mL)	<3	<3	<3	<3
<i>E coli</i>	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia
Enterococos (NMP/100mL)	<3	<3	<3	<3

T<sub>0</sub>: Estado inicial, T<sub>1</sub>: A los 30 min del tratamiento, T<sub>2</sub>: Después de 48 hs, T<sub>3</sub>: Luego de 7 días.

**Tabla 23.** Resultados del tratamiento con hipoclorito de sodio para la Vertiente 2.

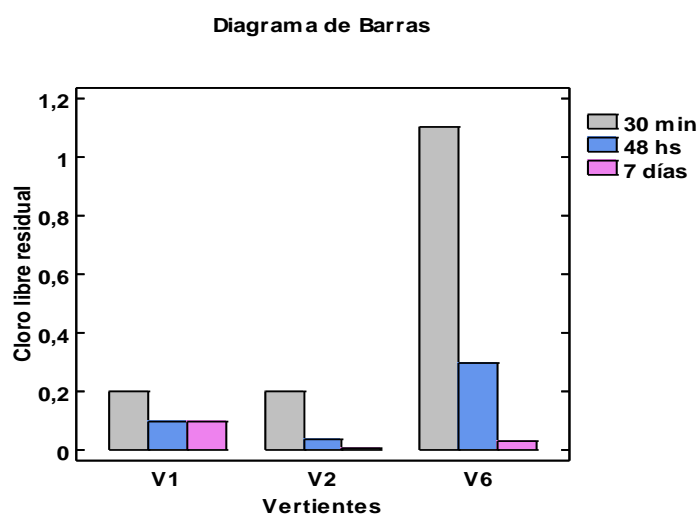
	T <sub>0</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>
pH (UpH)	6,4	6,7	6,7	6,8
C (μS/cm)	86	88	90	85
SDT (mg/L)	43	44	45	42
Cloro libre residual (ppm)		0,2	0,04	0,0
BAMT (UFC/mL)	73	<1	<1	<1
CT (NMP/100mL)	390	<3	<3	<3
CF (MNP/100mL)	93	<3	<3	<3
<i>E coli</i>	Presencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia
Enterococos (NMP/100mL)	21	<3	<3	<3

T<sub>0</sub>: Estado inicial, T<sub>1</sub>: A los 30 min del tratamiento, T<sub>2</sub>: Después de 48 hs, T<sub>3</sub>: Luego de 7 días.

**Tabla 24.** Resultados del tratamiento con hipoclorito de sodio para la Vertiente 6.

	T <sub>0</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>
pH (UpH)	5,8	5,8	6,1	6,1
C (µS/cm)	54	47	46	53
SDT (mg/L)	27	23	23	26
Cloro libre residual (ppm)		1,1	0,3	0,03
BAMT (UFC/mL)	400	<1	<1	<1
CT (NMP/100mL)	2400	<3	<3	<3
CF (MNP/100mL)	2400	<3	<3	<3
<i>E coli</i>	Presencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Presencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia
Enterococos (NMP/100mL)	>= 2400	<3	<3	<3

T<sub>0</sub>: Estado inicial, T<sub>1</sub>: A los 30 min del tratamiento, T<sub>2</sub>: Después de 48 hs, T<sub>3</sub>: Luego de 7 días.



**Figura 27.** Niveles de cloro libre residual a los 30 min, 48hs y 7 días del tratamiento con hipoclorito de sodio.

Para este tratamiento se utilizó 1 gota de hipoclorito de sodio 5% por litro de agua, una dosis reducida de la dosis propuesta por varias organizaciones (2 gotas/L) con el fin de mejorar su aceptabilidad. El tratamiento fue efectivo en cuanto a la desinfección, no obstante se debe tener en cuenta el bajo poder residual que puede ofrecer la dosis utilizada.

### **III. 2. 4. 3. Radiación UV**

Se muestran en la Tabla 25 los resultados promedios de los análisis realizados para el tratamiento con radiación UV. Se obtuvieron reducciones importantes en BAMT, CT, CF y Enterococos, llegando a obtener un agua apta para consumo para el caso de la vertiente 6. Se observaron diferencias en los envases utilizados para la exposición solar, los mejores resultados se obtuvieron con envases de bebida de gaseosa de PET descartable, los envases de PET retornable si bien tuvieron importantes reducciones no fueron tan satisfactorios como los del envase descartable. El envase puede ser condicionante, al respecto Basán Nickisch y otros (2014) recomiendan utilizar envases sin rayaduras, de 2L de capacidad como máximo y que tengan poco uso.

El tiempo de exposición, la temperatura alcanzada y los niveles de radiación fueron determinantes para la efectividad del tratamiento. Las condiciones climáticas, y la turbiedad del agua (menor a 30 UNT) son factores a tener en cuenta para mejores resultados.

**Tabla 25.** Resultados para las tres vertientes con el tratamiento UV.

Vertiente	Análisis microbiológico	Antes	Después
V1	BAMT (UFC/mL)	75	21
	CT (NMP/100mL)	210	28
	CF (NMP/100mL)	<3	<3
	<i>E. coli</i>	Ausencia	Ausencia
	Enterococos (NMP/100mL)	<3	<3
	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Ausencia	Ausencia
V2	BAMT (UFC/mL)	20	4
	CT (NMP/100mL)	670	16
	CF (NMP/100mL)	59	7
	<i>E. coli</i>	Presencia (27)	Presencia (5)
	Enterococos (NMP/100mL)	7	<3
	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Ausencia	Ausencia
V6	BAMT (UFC/mL)	400	31
	CT (NMP/100mL)	$\geq 2400$	<3
	CF (NMP/100mL)	$\geq 2400$	<3
	<i>E. coli</i>	Presencia ( $\geq 2400$ )	Ausencia
	Enterococos (NMP/100mL)	$\geq 2400$	<3
	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Presencia	Ausencia

#### III. 2. 4. 4. Ebullición

Todos los casos en los que se aplicó el tratamiento de ebullición durante 10 minutos dieron como resultado aguas potables según los parámetros evaluados (Tabla 26). Se considera este método muy efectivo para cualquier situación de aguas crudas. La ebullición trae como consecuencia un aumento de pH como se pudo observar en el apartado III.2.3. (Figura 23). Además, es conveniente considerar posibles cambios en las concentraciones de compuestos nitrogenados, ya que la ebullición prolongada puede conducir a compuestos más nocivos para la salud. Estos cambios no se consideraron en el presente trabajo debido a las bajas concentraciones de nitratos encontradas.

Con respecto al tiempo empleado, Basán Nickisch y otros (2014) recomiendan una vez iniciada la ebullición, mantenerla como mínimo de 3 a 5 minutos. En todas sus experiencias obtuvieron agua apta para consumo humano.

**Tabla 26.** Resultados para las tres vertientes luego del tratamiento de ebullición.

Vertiente	BAMT (UFC/mL)	CT (NMP/100mL)	CF (NMP/100mL)	<i>E. coli</i>	<i>P. aeruginosa</i>	Enterococos (NMP/100mL)
V1	<1	<3	<3	Ausencia	Ausencia	<3
V2	<1	<3	<3	Ausencia	Ausencia	<3
V3	<1	<3	<3	Ausencia	Ausencia	<3

### III. 3. Recomendaciones

La OMS hace hincapié en un concepto fundamental para garantizar la inocuidad microbiana, el principio de “barreras múltiples” (OMS 2006). Consiste en la aplicación, desde la cuenca de captación hasta el consumidor, de obstáculos que reduzcan los niveles de contaminantes a valores que resulten aceptables para el consumo humano o que eviten la contaminación posterior del agua. Ejemplos de barreras serían la protección de vertientes, una serie de operaciones de tratamientos y un sistema de distribución conveniente que pueda mantener la calidad de agua hasta su consumo. Este principio nos da una idea de como abordar la problemática desde diversos aspectos, las alternativas para la mejora de la calidad de agua de las vertientes son múltiples e integrales. Se requiere el aporte de diferentes áreas del conocimiento para dar posibles soluciones a la problemática desarrollada.

Algunos requisitos que el CAA expresa en el artículo 991 para aguas minerales se pueden aplicar para las vertientes protegidas, es necesario contar con información sobre el agua y la fuente que le da origen en los aspectos geológicos e hidrogeológicos, físico, químico y microbiológico. Conocer la temperatura del agua en el momento de captación, caudal de la fuente, informe geológico sobre origen y naturaleza de los terrenos, estatigrafía del yacimiento hidrogeológico, etc. (CAA 2013).

#### III. 3. 1. Conservación del área de la vertiente.

El área alrededor de la vertiente debe ser protegida en un radio mínimo de 50 metros, esta área debe ser cubierta de vegetación nativa. Se debe cercar esta

área para evitar el acceso de animales, personas, vehículos, etc. favoreciendo el aislamiento del sector. Los animales no solo podrán contaminar con sus desechos, el pisoteo que compacta el suelo cerca de las fuentes reducirá la capacidad de infiltración, dejándola sujeta a la erosión y contaminando el agua con partículas del suelo. El agua que después de una lluvia adquiere turbidez puede indicar que existe una deficiente capacidad de infiltración en la zona protegida o en el terreno circundante (Governo do Estado de Sao Paulo 2009).

Entre otras medidas a tener en cuenta en la protección se mencionan:

- Uso apropiado y alejado de la zona de protección de los fertilizantes y fitosanitarios, en particular en el nivel superior de la vertiente, para evitar escorrentías o filtraciones que contaminen el agua subterránea.
- Retirar letrinas, gallineros, establos, depósitos que posean excreciones y productos químicos que puedan ser infiltrados o arrastrados y contaminen la fuente o la capa freática.
- Las áreas de recarga en la cuenca hidrográfica no solo en el área de protección, tendrán un rol importante en la calidad y cantidad de agua disponible. Todas las prácticas de conservación de suelo que se realicen en estas zonas para reducir la erosión y mejorar las características físicas del suelo, en especial la capacidad de infiltración del agua del lluvia o el riego, determinarán la disponibilidad del agua en la fuente.

### **III. 3. 2. Construcción de la vertiente protegida.**

El mantenimiento es esencial para preservar el agua de la vertiente, estos sistemas sencillos en su construcción, requieren de acciones correctivas y preventivas que se orienten a una mejora continua de la calidad del agua. Para garantizar la inocuidad del agua de consumo en beneficio de la salud del consumidor se requiere elaborar un Plan de seguridad del agua (OMS 2006) que consiste en tres etapas, en la primera se evalúan los posibles peligros de contaminación del sistema en su conjunto; la segunda consiste en identificar las medidas de control para reducir o eliminar peligros y realizar un monitoreo operativo; la tercera, elaborar un plan de gestión para implementar en los casos bajo circunstancias normales y cuando ocurran incidentes.

Una alternativa en el marco de este Plan consiste en llevar a cabo inspecciones periódicas, en las que se observen aspectos como: existencia y estado de la zanja de coronamiento, protección perimetral, estado de la zona hacia arriba de la vertiente, condiciones de la tapa sanitaria, distancia de las letrinas del área de la vertiente, etc. Estas inspecciones deben concretarse en medidas correctivas y una valoración del riesgo de contaminación. Se considera conveniente volcar la información relevada en planillas o formularios de control donde queden registrados los resultados obtenidos y contar con protocolos donde se especifiquen las pautas para efectuar esta actividad. Estas medidas contribuyen a reducir la subjetividad en las tareas de inspección.

Con respecto a la problemática principal encontrada en las vertientes sobre la presencia de microorganismos, algunos indicadores de contaminación fecal y ocasionales situaciones de turbiedad, se recomienda en el momento de la construcción de las mismas utilizar los materiales indicados para la protección como ser piedras grandes y grava o piedras trituradas. Estos actuarán como primer filtro o barrera. Posteriormente, al distribuir el agua hacia los usuarios es posible utilizar, luego de cada tanque familiar, una cámara de decantación con un sistema de filtrado mediante un manto de arena, que permita una segunda filtración antes del consumo. Otra propuesta consiste en conducir el agua desde la captación hacia un tanque de almacenamiento donde se coloque un filtro general y luego distribuir el agua hacia las viviendas.

Las obras de captación de las vertientes muestreadas presentaron diferentes estilos y niveles de protección de acuerdo a las posibilidades de cada sitio, ubicación de la vertiente, entorno y recursos disponibles. Se propone realizar una clasificación del estado de la construcción y materiales utilizados, indicar posibles mejoras y realizar un seguimiento posterior para mantener y evitar el deterioro con el paso del tiempo.

### III. 4. Conclusiones

- ✓ Se implementó un monitoreo de calidad de agua en vertientes protegidas de la zona centro de Misiones. Este consistió en un seguimiento anual con frecuencia mensual de la calidad de agua de parámetros básicos químicos y microbiológicos. El muestreo se realizó de acuerdo a los métodos normalizados, y posteriormente se envió las muestras para su análisis a los laboratorios correspondientes. Utilizando estándares de calidad de agua, en particular el CAA, se evaluó el estado de las vertientes para consumo humano y para riego.
- ✓ Los parámetros químicos evaluados se encontraron dentro de los valores normales a excepción de pH y turbiedad. El 67% de las vertientes presentó un pH ligeramente menor al establecido por legislación, y algunos valores de turbiedad estuvieron ocasionalmente fuera de los niveles aceptables.
- ✓ La presencia de microorganismos en las vertientes restringe su uso para consumo humano evidenciando que requieren tratamiento simple (filtración rápida) y desinfección.
- ✓ El agua de las vertientes monitoreadas es apta para riego.
- ✓ La experiencia de comparación de vertientes antes de proteger y luego de la obra de protección evidencia que existe una reducción importante en CT, CF, BAMT y Enterococos.
- ✓ Las precipitaciones, tipos de suelos y estaciones del año son determinantes en la calidad de agua y deben considerarse en la interpretación, seguimiento y evaluación del estado del cuerpo de agua.
- ✓ Se encontraron correlaciones positivas para las variables pH, Conductividad, SDT y Fosfatos.
- ✓ A partir de la experiencia de tratamiento con procesos físicos de aireación y ebullición, el valor de pH ligeramente ácido se atribuye a la sobresaturación de dióxido de carbono del agua, producida por su recorrido a través del suelo.
- ✓ Los tratamientos utilizando pastillas de disolución rápida, hipoclorito de sodio y ebullición fueron efectivos en todos los casos, obteniéndose un



agua apta para consumo humano, de acuerdo a los parámetros evaluados.

- ✓ El tratamiento con radiación UV es una alternativa válida. Se debe controlar el tiempo de exposición, nivel de radiación y temperatura alcanzada para lograr una mayor eficiencia.
- ✓ Mejorar y unificar las obras de protección de las vertientes para mayor eficacia.
- ✓ La protección de la vertiente constituye una de las primeras barreras para evitar la contaminación de las fuentes de agua, disminuyendo la contaminación del agua cruda.

#### **IV. PROPUESTAS A FUTURO**

Conociendo que los indicadores utilizados para definir la aptitud en el agua de consumo son variados y constituyen una lista extensa de parámetros a tener en cuenta en el estudio de la calidad de agua, es que se propone:

- ✓ Desarrollar un Plan de seguridad del agua que contenga mínimamente los aspectos más relevantes de control y de esta manera sea posible alcanzar los objetivos de inocuidad esperados. Se contribuirá con la calidad de vida de los usuarios de las vertientes.
- ✓ Trabajar con nuevas y diferentes alternativas de tratamiento que puedan mejorar la calidad del agua, en cuanto al contenido de microorganismos.
- ✓ Desarrollar capacitaciones específicas sobre la calidad del agua, destinadas a la población que la consume, sobre la correcta manipulación del agua y los adecuados tratamientos en el punto de uso.
- ✓ Ampliar el número de indicadores hacia la detección de otros componentes químicos como metales, compuestos orgánicos y productos fitosanitarios, que contribuyan a una caracterización más profunda de la calidad de agua de las vertientes protegidas.
- ✓ Implementar trabajos sobre la remineralización de sales en aguas de vertientes, dado el bajo nivel de sales encontrado, a fin de evitar que el agua posea propiedades corrosivas y su consumo pueda tener algún efecto en el organismo.

## BIBLIOGRAFÍA

- Aparicio, V. C. «Proceso de transporte de nitratos en el suelo.» Universidad Nacional de Mar del Plata. Facultad de Ciencias Agrarias., 2012.
- Aparicio, V. C., J. L. Costa, y M. Zamora. «Nitrate leaching assessment in a long-term experiment under supplementary irrigation in humid Argentina.» *Agricultural water management* 95 (2008): 1361-1372.
- APHA, AWWA, WPCF. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 21 st. edn. Washington, DC: American Public Health Association, 2005.
- Baldissera, I. T., y M. Borsatto. «Qualidade de águas de fonte superficiais utilizadas para consume humano no Oeste catarinense.» *Agropecuária Catarinense*. No 17, 2004: 68-71.
- Barbaro, S., B. Iwasita, A. Gómez Ortiz, J. L. Costa, F. Bedmar , y V. Aparicio. «Estudio preliminar del comportamiento del glifosato en una microcuenca de la provincia de Misiones.» En *Compendio de trabajos publicados por el Grupo de Recursos Naturales de la EEA Cerro Azul 2010-2014*, de Barbaro S., 94. Cerro Azul. Misiones, Misiones: INTA, 2015.
- Barreda, M., y S. Ledesma. *Acceder al agua: relatos y reflexiones desde algunas experiencias de organización en los territorios*. Buenos Aires: INTA, 2009.
- Barrios N., C., R Torres R., T.C. Lampoglia, y R. Agüero P. «Guía de Orientación en Saneamiento Básico para Alcaldías de Municipios Rurales y Pequeñas Comunidades.» *Organización Panamericana de la Salud* . 2009. [www.who.int/water\\_sanitation\\_health/dwq/gdwq3\\_es\\_full\\_lowsres.pdf](http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3_es_full_lowsres.pdf) (último acceso: 17 de 03 de 17).
- Basán Nickisch, M., R. Tosolini, L. Sánchez, F. Tejerina Díaz, P. Jordán , y H. Vera. «Agua segura para consumo humano utilizando las precipitaciones.» *Voces y Ecos* (INTA) Año XVI, nº 32 (Setiembre 2014): 48-56.
- Basán Nickisch, M. *Manejo de los Recursos Hídricos para áreas de secano*. 2da. Edición, INTA., 2012.
- Belitz, H.-D., W Grosch, y P. Schieberle. *Food Chemistry*. 4th revised and extended Edition. Germany: Springer, 2009.
- BOE. (*Boletín Oficial del Estado*). Núm 45. Real Decreto 140/2003. Gobierno de España. 2003. <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2003-3596> (último acceso: 2017 de 01 de 23).

- Brennan, F. P., F. Abram, F.A. Chinalia , K.G. Richards, y V. O. O'Flaherty . «Chraterization of Environmentally Persistent Escherichia coli Isolates Leached from an Irish Soil.» *Applied and Environmental Microbiology* 76, nº 7 (2010): 2175-2180.
- Byappanahalli, M., y R. Fujioka. «Indigenous soil bacteria and low moisture may limit but allow faecal bacteria to multiply and become a minor population in tropical soils.» *Water Science Technology*, 2004: 50 (1):27-32.
- CAA. (Código Alimentario Argentino). « Alimentos Argentinos.» *Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. Presidencia de la Nación*. 2013. [http://www.alimentosargentinos.gov.ar/contenido/marco/CAA/Capitulo\\_12.php](http://www.alimentosargentinos.gov.ar/contenido/marco/CAA/Capitulo_12.php) (último acceso: 15 de Noviembre de 2013).
- Campos P., C. «Indicadores de contaminación fecal en aguas. Capítulo 20.» En *Agua potable para comunidades rurales, reuso y tratamientos avanzados de aguas residuales domésticas*, de RIPDA- CYTED Red Iberoamericana de Potabilización y Depuración del Agua - Ciencia y Tecnología para el Desarrollo, 224-229. México, 2003.
- CASA. (*Centro de Aguas y Saneamiento Ambiental*). *Protocolos de Inspección Sanitaria. Calidad del agua en sistemas de abastecimiento en poblaciones rurales dispersas*. Protocolo Técnico, Cochabamba. Bolivia: CASA. Universidad Mayor de San Simón. Facultad de Ciencias y Tecnología., 2011.
- CEE. (Comunidades Económicas Europeas). «Directiva del Consejo de 16 de junio de 1975 relativa a la calidad requerida para aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable en los Estados miembros.» 1975.
- Ciari, G. *Agua Segura. Guía de recomendaciones*. Profeder. Proyecto Integrado para el Manejo del Agua en el Noroeste de Chubut, INTA, 2014.
- Comassetto, Vilmar, y Liva Pessatto. *Proteção de fonte de água modelo Caxambu: experiência da região de Concórdia*. Vol. 143, cap. 12 de *Meio ambiente e sustentabilidade no Alto Uruguai Catarinense. Relato de Experiências.*, de Cláudio Rocha de Miranda, 151-164. Concórdia S.C.: Embrapa Suínos e Aves, 2011.
- CONAMA. (Conselho Nacional do Meio Ambiente). «Resolução CONAMA N° 357. Qualidade da Água.» Brasília, 2005, 58-63.
- Conti, M. E. *Principios de Edafología con énfasis en suelos argentinos*. Buenos Aires: Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires, 2005.

- Costa, J.L., D. Massone, D. Martínez, E.E. Suero, C.M. Vidal, y F. Bedmar. «Nitrate contamination of a rural aquifer and accumulation in the unsaturated zone.» *Agricultural Water Management* 57 (2002): 33-47.
- Damodaran, S., K. L. Parkin, y O. R. Fennema. *Fennema. Química de los alimentos*. 3a. Zaragoza: Acribia, S.A., 2010.
- De Fernícola , N. A. G. G. *Metahemoglobinemia infantil causada por nitratos*. Editado por Boletín de la Oficina Sanitaria Panamericana. 1989. <http://iris.paho.org/xmlui/bitstream/handle/12346789/1774/v106n1p32.pdf?sequence=1>.
- De Gerónimo, E., V. Aparicio, y J. L. Costa. «Efecto del pH en la adsorción de glifosato a distintos suelos argentinos.» *XXV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo*. Rio Cuarto. Córdoba., 2016. 432.
- De Gerónimo, E., V.C. Aparicio, S. Barbaro, R. Porto Carrero, S. Jaime, y J.L. Costa. «Presence of pesticides in surface water from four subbasins in Argentina.» *Chemosphere* 107 (Julio 2014): 423-431.
- Deering, A. J., L. J. Mauer, y R.E. Pruitt. «Internalization of E. coli O157:H7 and Salmonella spp. in plants: A review.» *Food Research International* (Elsevier) 45 (2012): 567-575.
- Dergal, Salvador Badui. *Química de los Alimentos*. 5a. México: Pearson Educación, 2013.
- Doyle, M. P., y M.C. Erickson. «Closing the Door on the Fecal Coliform Assay.» *Microbe* 1, nº 4 (2006): 162-163.
- EAWAG/SANDEC. «Desinfección solar del agua. Guía de aplicación.» Traducción de la versión en inglés "Solar Water Disinfection", Lima, 2003.
- EPA. (*Environmental Protection Agency*). *Draft for Review only. Public Health Goal for Glyphosate in Drinking Water*. Pesticide and Environmental Toxicology Branch. Office of Environmental Health Hazard Assessment. California EPA., 2006.
- FAO. *Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. La Calidad del Agua en la Agricultura*. Vol. 29. Rev. 1. Estudio FAO, Riego y Drenaje, 1987.
- Galetovic Carabantes, A., y N. A.G.G. De Fernícola. «Arsénico en el agua de bebida: un problema de salud pública.» *Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas* 39, nº 4 (2003).

- Gesche, E., M.V. A. Vallejos, y T.M. M. Saez. «Eficiencia de anaerobios sulfito-reductores como indicadores de calidad sanitaria de agua. Método de Número Más Probable (NMP).» *Archivos de medicina veterinaria* 35, n° 1 (2003).
- Godagnone, R.E., y J. C. De la Fuente. *Inventario del Recurso suelo del Departamento de Leandro N. Alem Provincia de Misiones*. Buenos Aires: INTA, 2013, 160.
- Governo do Estado de Sao Paulo. *Cadernos da Mata Ciliar. N°1*. Publicacao periódica do Projeto de Recuperacao de Matas Ciliares., São Paulo: Secretaria de Estado do Meio Ambiente. Departamento de Proteção da Biodiversidade., 2009.
- Gutierrez S., D. L., y M. L. Torres S. «Estudio Comparativo y estadístico de la calidad de el agua potable en las redes de distribución de la parroquia Guapán del Cantón Azogues.» *Universidad de Cuenca*. Cuenca, 2013.
- ICMSF. «(International Commission on Microbiological Specifications for Foods).» *Micoorganisms in Foods 2. Sampling for microbiological analysis: Principles and specific applications. Part 2*. 1986. [www.icmsf.org/pdf/icmsf2.pdf](http://www.icmsf.org/pdf/icmsf2.pdf) (último acceso: 17 de 02 de 20).
- INNA. (*Instituto Nicaraguense de Acueductos y Alcantarillados*). *Normas para el Diseño de Sistemas de Abastecimiento y Potabilización de las Aguas. NTON 09003-99*. 1999. [www.inaa.gob.ni/documentos/Normativas/seccion-1/7.Abatec.yPot.Agua.pdf/view](http://www.inaa.gob.ni/documentos/Normativas/seccion-1/7.Abatec.yPot.Agua.pdf/view) (último acceso: 4 de Abril de 2017).
- INTA. (*Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria*). *Proyecto Regional de Desarrollo Territorial de la zona centro de Misiones*. Misiones: INTA, 2013.
- Jay, J. M., M.J. Loessner, y D.A. Golden. *Microbiología moderna de los alimentos. Quinta Edición*. Zaragoza. España: Acribia S.A., 2009.
- Lamas, V. *El Agua ¡Ese elemento tanpreciado!* Informe Técnico, Cerro Azul: INTA, 2008.
- Lampoglia, T. C., R. Agüero P., y C. Barrios N. «Orientaciones sobre agua y saneamiento para zonas rurales.» *Organización Panamericana de la Salud y Centro Panamericano de Ing. Sanitaria y Ciencias del Ambiente*. 2008. [http://www.bvsde.paho.org/bvsacg/guialcalde/2sas/d21/019\\_SER\\_Orient](http://www.bvsde.paho.org/bvsacg/guialcalde/2sas/d21/019_SER_Orient)

acionesA&Szonasrurales/Orientaciones%20sobre%20A&S%20para%20zonas%20rurales.pdf (último acceso: 12 de Octubre de 2012).

LeChevallier, M. W., y K.-K. Au. *Water Treatment and Pathogen Control. Process Efficiency in Achieving Safe Drinking Water*. London. UK.: WHO - IWA Publishing., 2004.

LeJeune, J. T., T. E. Besser, y D. D. Hancock. «Cattle Water Troughs as Reservoirs of Escherichia coli O157.» *Applied and Environmental Microbiology* 67, nº 7 (Julio 2001): 3053-3057.

Loyola, L.A., G. Conesa, R. Castro, A.L. Koch, y D. Juárez. «Cuidados saludables del medio ambiente.» En *Posgrado en salud social y comunitaria*, de Ministerio de salud y ambiente de la Nación, Unidad 3, 90-93. 2005.

Manahan, S. E. *Green Chemistry and the ten commandments of sustainability*. 2 nd. Columbia, Missouri. USA: ChemChar Research, 2006.

Martínez Romero, A., K. Fonseca Gómez, J.L. Ortega Sánchez, y C. García-Luján. «Monitoreo de la calidad microbiológica del agua en la cuenca hidrológica del Río Nazas, México.» *Química Viva*, nº 1, Año 8. (Abril 2009): 35-47.

Meierhofer, R., y M. Wegelin. *Desinfección Solar del Agua. Guía de aplicación*. Traducción al español de la versión en inglés "Solar Water Disinfection", Lima: EAWAG/SANDEC, 2003.

NTE INEN. (*Norma Técnica Ecuatoriana Instituto Ecuatoriano de Normalización*). N° 1108. *Agua Potable. Requisitos*. Quito. Ecuador.: INEN, 2011.

Olinuck, J. A., y R. A. Cardozo. *Informe Agrometeorológico de la localidad de Cerro Azul y análisis de las precipitaciones en la provincia de Misiones Año 2007*. Publicación regional, Estación Experimental Agropecuaria Cerro Azul , Cerro Azul: INTA, 2009, 24.

OMS. (Organización Mundial de la Salud). «Guías para la calidad del agua potable.» *Primer apéndice. Vol. 1: Recomendaciones. Tercera edición*. 2006.

[www.who.int/water\\_sanitation\\_health/dwq/gdwq3\\_es\\_full\\_lowsres.pdf](http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3_es_full_lowsres.pdf)  
(último acceso: 17 de 03 de 17).

ONU. «Asamblea General. El derecho humano al agua y saneamiento.» 07 de 26 de 2010.  
[www.politiaspublicas.net/panel/attachments/article/667/2010\\_onu\\_derecho\\_al\\_agua.pdf](http://www.politiaspublicas.net/panel/attachments/article/667/2010_onu_derecho_al_agua.pdf).

- OPS. «Guía de Orientación en Saneamiento Básico para Alcaldías de Municipios Rurales y Pequeñas Comunidades.» OPS/OMS. 2009. [www.bvsde.paho.org/bvsacg/guialcalde/0gral/078\\_guia\\_alcaldes\\_sb/guia\\_alcaldes\\_2009.pdf](http://www.bvsde.paho.org/bvsacg/guialcalde/0gral/078_guia_alcaldes_sb/guia_alcaldes_2009.pdf) (último acceso: 17 de 03 de 2017).
- Otrosky, R. N., y M. Forte. «Investigación de parámetros microbiológicos en aguas subterráneas de tres regiones en la provincia de La Pampa.» *Segundo Congreso Pampeano del Agua*. General Pico. La Pampa., 2007. 39-46.
- Pucciarelli, Amada B., Alberto Tessari , y Marta H. Von Specht. «Enterococcus en aguas del arroyo Vicario: recuento, identificación y perfil de sensibilidad.» *Revista de Ciencia y Tecnología*, nº 21 (Junio 2014).
- Ramos, V. *Las provincias geológicas del territorio argentino*. Instituto de Geología y Recursos Minerales. Anales 29 (3): 41-96. Buenos Aires: Geología Argentina, 1999.
- Reyes, Héctor G., Domingo A. Sosa, José L. Houriet, y Mabel Correa. *Diagnóstico Ambiental del Departamento Leandro N. Alem*. Boletín Técnico N°6, EEA Cerro Azul: INTA, 2005.
- Rojas, R. *Guía para la vigilancia y control de la calidad de agua para consumo humano*. Lima: Organización Panamericana de la Salud. Centro Panamericano de Ing. Sanitaria y Ciencias del Ambiente, 2002, 336.
- Rojas, Ricardo. *Planes de seguridad del Agua (PSA)*. Hojas de divulgación técnica, OMS/OPS/DE/CEPIS-SB, 2006.
- Rovira, M., y otros. *Evaluación de la Información Científica vinculada al glifosato en su incidencia sobre la salud humana y el ambiente*. Ciudad autónoma de Buenos Aires: CONICET, 2009.
- Saati, A. A., y H. S. Faidah. «Environmental prevalence of pathogens in different drinking water resources in Makkah City (Kindom of Saudi Arabia).» *Current World Environment* 8(1) (2013): 37-53.
- Schmidt Hebbel, H., I. Pennachhiotti Monti, S. Avendaño V., L. Masson Salaué, E. Witting Rovira, y E. Amadori M. «Avances en Ciencia y Tecnología de los Alimentos.» 2001. [www.repositorio.uchile.cl/handle/2250/121428](http://www.repositorio.uchile.cl/handle/2250/121428).
- Secretaría de Agricultura Familiar. Provincia de Misiones*. 2016. [www.agrifam.misiones.gov.ar/](http://www.agrifam.misiones.gov.ar/). (último acceso: 28 de 08 de 2017).
- Selzler, J., C. Karpe, J. De Abreu, M. Colombo, y C. Gazal. «Vertientes protegidas. Aprovechando y conservando las fuentes de aguas

- superficiales en Misiones. Cap.8.» En *Acceder al agua. Relatos y reflexiones desde algunas experiencias en la organización de los territorios*, de M. Barreda y S. Ledesma, 51-56. Buenos Aires: INTA, 2009.
- SRHNRA. (Subsecretaria de Recursos Hídricos de la Nación República Argentina). «Desarrollos de Niveles Guía Nacionales de Calidad de Agua Ambiente Correspondientes a Glifosato.» 2003.
- UNESCO/WHO/UNEP. (United Nations Educational Scientific and Cultural Organization/ World Health Organization/ United Nations Environment Programme). «*Water Quality Assessmnets - A Guide to Use of Biota, Sediments and Water in Environmental Monitoring*» - *Second Edition*. Editado por Deborah Chapman. 1996. [www.who.int/water\\_sanitation\\_health/resourcesquality/watqualassess.pdf](http://www.who.int/water_sanitation_health/resourcesquality/watqualassess.pdf) (último acceso: 20 de 02 de 2017).
- Vendrell, M.C., E. Sinde , M. Torres, P. Gil, y L.A. Rodriguez. «Estudio de microorganismos patógenos en la fuente termal de Otinteiro en Ourense.» *Ciencia y Tecnología Alimentaria* 2:2 (1998): 92-95.
- WHO (World Heath Organization) «Protecting Groundwater for Health. Managing the Quality of Drinking-water Sources.» 2006. [www.who.int/water\\_sanitation\\_health/publications/PGWsection1.pdf](http://www.who.int/water_sanitation_health/publications/PGWsection1.pdf) (último acceso: 23 de 01 de 2017).
- WHO (World Health Organization). «*Heterotrophic Plate Counts and Drinking-water Safety. The Singnifacance of HPCs for Water Quality and Human Health*». 2003. [www.who.int/water\\_sanitation\\_health/dwq/HPCFull.pdf](http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/HPCFull.pdf) (último acceso: 27 de 01 de 2017).



## ANEXOS

Anexo 1. Vertiente a cielo abierto. Arroyo del Medio.



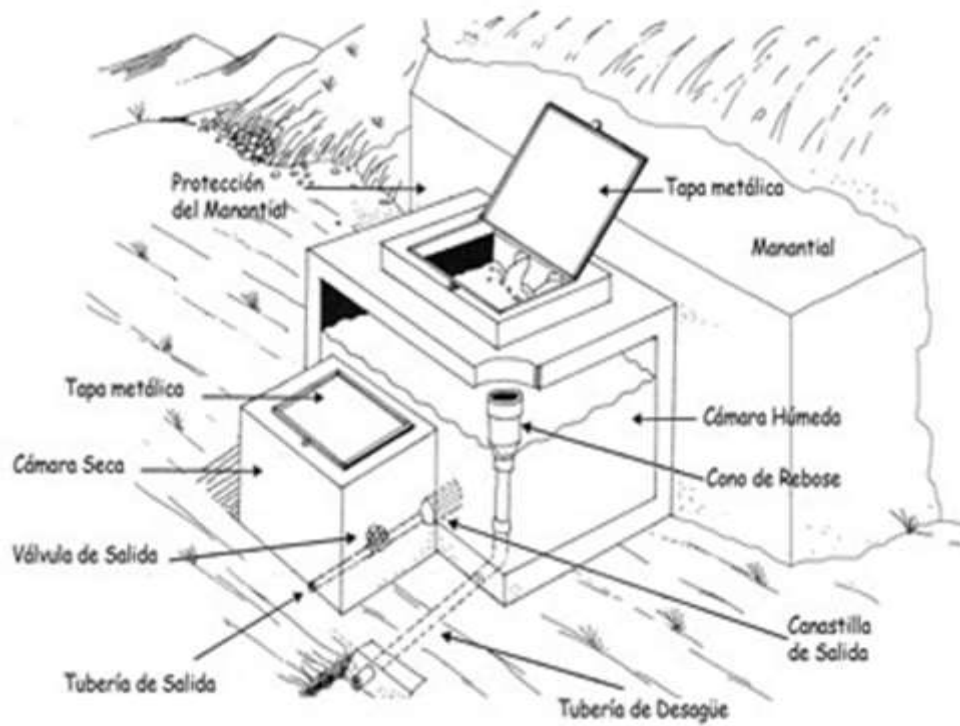
Anexo 2: Vertiente a cielo abierto. Leandro N. Alem.



Anexo 3: Vertiente a cielo abierto. San Vicente.

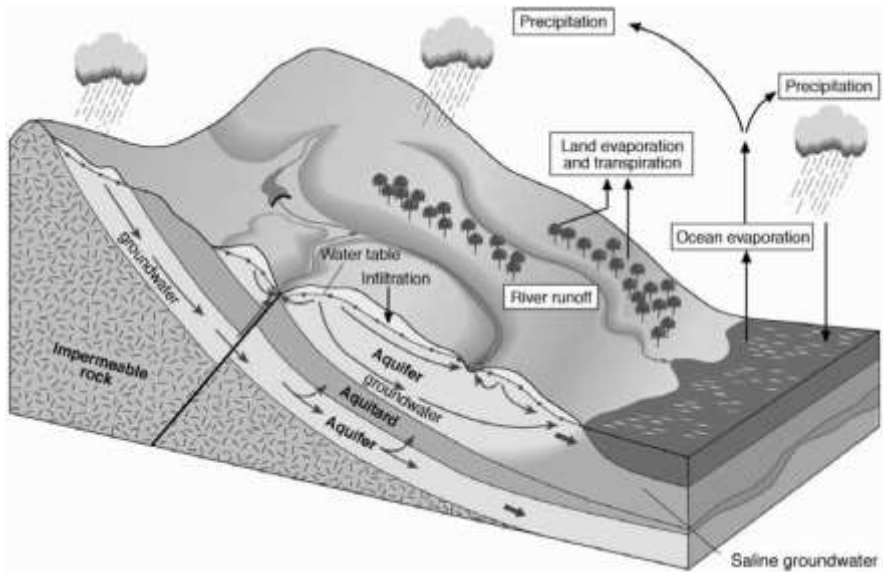


Anexo 4: Manantiales con protección de vertiente según OPS.



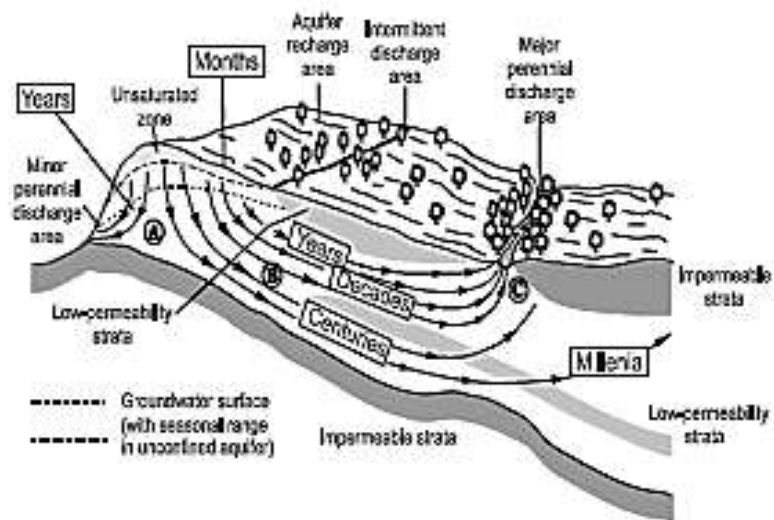
Fuente C. Barrios N., R. Torres R., y otros (2009)

## Anexo 5. El Ciclo Hidrológico



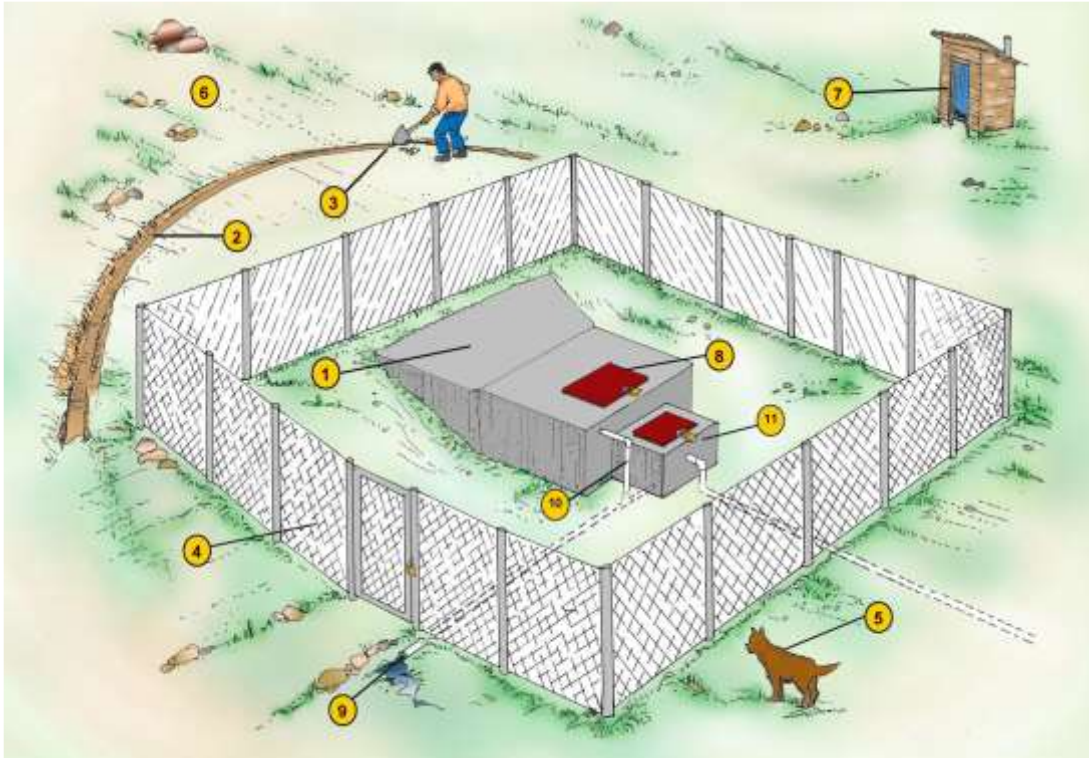
Fuente: WHO, 2006

## Anexo 6. Esquema del sistema de flujo de agua subterránea.



Fuente: WHO, 2006

Anexo 7: Obra de captación de vertiente. Bolivia.



Fuente: CASA (2011)

Referencias: 1. Sello sanitario, 2. Zanja de coronamiento, 3. Mantenimiento de zanja de coronamiento, 4. Cerco de protección perimetral, 5. Acceso restringido de animales domésticos, 6. Zona libre de basura, 7. Área de 50m libre de letrinas, 8. Tapa sanitaria, 9. Caño ladrón, 10. Tubería de rebalse, 11. Cámara de llaves, 12. Llaves y accesorios.

Anexo 8: Características físicas, químicas y microbiológicas según legislación de Argentina, Nicaragua, Europa y Brasil.

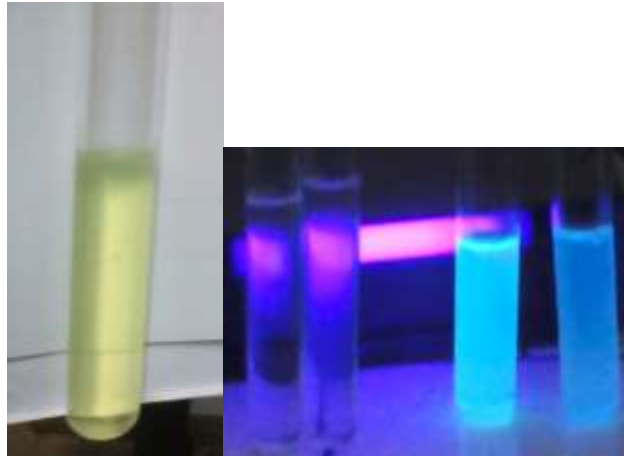
	Unidades	CAA	INAA	Directiva 75/440/CEE		CONAMA
		(Argentina)	(Nicaragua)	(Europa)		(Brasil)
		Agua potable	Agua potable	A1	A2	Clase I Aguas dulces
Temperatura	°C	NA	18-30	máx 25	máx 25	NA
pH	UpH	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5	5,5-9	6 a 9
Turbiedad	UNT	máx 3	máx 5	NA	NA	máx 40 UNT
Conductividad	µS/cm	NA	400	máx 1000	máx 1000	NA
SDT	mg/L	máx 1500	máx 1000	NA	NA	máx 500mg/L
Cloruros	mg/L	máx 350	máx 250	máx 200	máx 200	máx 10,0mg/L N-NO3
Nitratos	mg/L	máx 45	máx 45	máx 50	máx 50	NA
Fosfatos	mg/L	NA	NA	0,4 (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	0,7 (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	0,1 (P <sub>total</sub> )
BAMT	UFC/mL	500 UFC/mL	NA	NA	NA	NA
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>		Ausencia/100mL	NA	NA	NA	NA
<i>Escherichia coli</i>		Ausencia/100mL	NA	NA	NA	NA
Coliformes Totales		igual o < 3	NA	máx 50/100mL	máx 5000/100mL	NA
Coliformes Fecales		NA	Negativo	máx 20/100mL	máx 2000/100mL	máx 200/100mL
Enterococos		NA	NA	máx 20/100mL	máx 1000/100mL	NA
Cloro residual	mg/L	mín 0,2 mg/L	0,5 a 1,0	NA	NA	0,01
Glifosato	ppb	NA	NA	1	2,5	65

NA: No aplica

A1: tratamiento físico simple y desinfección.

A2: tratamiento químico y desinfección.

Anexo 9: Prueba presuntiva en Caldo Asparagina. *Pseudomonas aeruginosa*



Anexo 10: Vertiente protegida V1.



Anexo 11: Vertiente protegida V3.





Anexo 12: Vertiente protegida V4.



Anexo 13: Camino de acceso hacia Vertiente 3 luego de abundantes precipitaciones.



Anexo 14: Chromo Brit para identificación de *E. coli*.



Anexo 15: Resultados parámetros químicos. Monitoreo de vertientes protegidas.

Vertiente	Mes	pH (UpH)	CE ( $\mu\text{S/cm}$ )	Cloruro (mg/L)	Nitrato (mg/L)	SDT (mg/L)	Fosfato (mg/L)	T ( $^{\circ}\text{C}$ )
V1	mar-15	6,7	239	4,0	3,44	215	0,012	21,3
V1	abr-15	6,8	214	8,0	1,80	191	0,065	20,8
V1	may-15	6,8	194	6,0	2,50	179	0,018	21,8
V1	jun-15	7,1	216	8,0	2,94	190	0,085	19,3
V1	jul-15	6,8	257	4,0	3,20	208	0,082	19,5
V1	ago-15	7,2	258	11,0	4,59	200	0,081	15,1
V1	set-15	7,0	243	9,0	3,65	194	0,077	18,0
V1	oct-15	7,0	258	10,0	4,51	180	0,077	21,6
V1	dic-15	7,6	311	13,0	5,96	185	0,088	27,3
V1	ene-16	7,5	290	10,5	5,32	155	0,047	21,8
V1	feb-16	7,6	268	11,0	5,00	154	0,110	25,4
V2	mar-15	6,5	219	5,5	2,58	200	0,004	20,2
V2	abr-15	6,0	67	4,0	0,66	51	0,004	13,4
V2	may-15	6,2	66	4,0	0,59	49	0,004	21,6
V2	jun-15	6,2	41	4,0	0,66	32	0,044	18,7
V2	jul-15	6,2	76	3,5	0,66	56	0,026	18,3
V2	ago-15	6,5	197	10,0	3,05	170	0,004	18,3
V2	set-15	6,4	188	9,5	4,01	150	0,010	18,6
V2	oct-15	6,4	98	19,0	1,69	68	0,054	18,3
V2	dic-15	6,1	62	15,5	0,91	40	0,071	20,0
V2	ene-16	6,6	72	9,0	0,87	38	0,038	20,5
V2	feb-16	6,5	111	17,5	1,58	66	0,030	21,0
V3	mar-15	6,5	207	3,5	1,37	189	0,010	19,6
V3	abr-15	6,7	180	6,0	1,08	143	0,030	17,8
V3	may-15	6,8	169	6,0	1,13	138	0,015	21,0
V3	jun-15	7,3	177	6,7	1,79	141	0,055	18,8
V3	jul-15	6,8	218	4,0	1,79	190	0,069	16,5
V3	ago-15	7,0	222	8,0	1,37	193	0,055	19,3
V3	set-15	6,9	213	6,5	2,35	170	0,069	19,6
V3	oct-15	7,2	217	11,0	2,42	160	0,045	20,5
V3	dic-15	7,2	232	12,0	2,51	139	0,052	20,1
V3	ene-16	7,3	225	7,0	3,17	129	0,044	20,6
V3	feb-16	7,2	227	8,5	2,65	136	0,080	21,3
V4	abr-15	5,7	48	5,5	2,14	33	0,010	19,8
V4	may-15	5,8	38	12,5	1,98	26	0,010	17,5
V4	jul-15	5,5	50	4,0	2,28	38	0,037	20,1
V4	ago-15	5,7	50	6,0	2,06	35	0,039	20,1
V4	sep-15	5,7	50	9,0	3,00	40	0,031	20,2
V4	oct-15	5,8	53	19,0	1,97	26	0,010	20,2
V4	nov-15	6,3	41	9,0	3,00	21	0,050	20,3

V4	dic-15	6,3	52	19,0	2,55	27	0,018	20,5
V4	ene-16	6,0	53	10,0	2,22	30	0,004	20,6
V4	feb-16	5,7	49	12,0	3,57	28	0,051	20,6
V5	mar-15	5,3	33	12,7	2,65	21	0,004	18,5
V5	abr-15	5,6	32	8,0	2,29	20	0,004	21,1
V5	may-15	5,6	24	15,5	2,33	19	0,004	16,5
V5	jul-15	5,2	39	5,0	2,59	23	0,004	19,5
V5	ago-15	5,1	32	13,5	3,56	18	0,004	20,0
V5	sep-15	5,1	33	12,0	4,40	26	0,004	20,0
V5	oct-15	5,4	29	23,0	3,25	18	0,004	20,5
V5	nov-15	5,9	29	11,0	1,94	14	0,004	20,6
V5	dic-15	5,5	32	18,0	3,37	19	0,004	21,0
V5	ene-16	5,4	30	4,0	2,64	17	0,004	22,1
V5	feb-16	5,2	31	16,0	4,00	19	0,004	21,8
V6	mar-15	5,5	38	7,0	2,22	25	0,004	18,5
V6	abr-15	5,7	46	8,0	6,41	34	0,004	21,3
V6	may-15	5,8	32	11,0	3,70	25	0,004	21,0
V6	jul-15	5,6	46	3,5	3,22	31	0,004	23,4
V6	ago-15	5,5	31	8,0	0,87	15	0,004	19,1
V6	sep-15	5,5	40	10,0	3,30	30	0,004	18,7
V6	oct-15	5,8	36	17,0	3,60	22	0,027	21,1
V6	nov-15	6,4	40	8,5	4,10	21	0,019	20,0
V6	dic-15	6,2	46	15,5	6,60	27	0,011	20,3
V6	ene-16	5,9	39	7,0	1,94	23	0,004	20,8
V6	feb-16	5,6	40	9,0	2,08	22	0,010	21,7

Anexo 16: Resultados parámetros microbiológicos. Monitoreo de vertientes protegidas.

Vertiente	Mes	CT (NMP/100mL)	CF (NMP/100mL)	<i>E. coli</i>	BAMT (UFC/100mL)	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Enterococos (NMP/100mL)	<i>Clostridium</i> Sulfito Reductores (NM/100mL)
V1	mar-15	150		Ausencia	30	Ausencia	4	Ausencia
V1	abr-15	43	3,6	Ausencia	42	Presencia	3,6	Ausencia
V1	may-15	43	9	4	50	Ausencia	9	Ausencia
V1	jun-15	9	<3	Ausencia	20	Ausencia	<3	Ausencia
V1	jul-15	9	4	Ausencia	36	Presencia	4	Ausencia
V1	ago-15	3	<3	Ausencia	110	Ausencia	<3	Ausencia
V1	set-15	<3	<3	Ausencia	7	Ausencia	4	Ausencia
V1	oct-15	14	<3	Ausencia	24	Ausencia	<3	Ausencia
V1	dic-15	430	<2	Ausencia	105	Presencia		
V1	ene-16	23	4	4	10	Presencia		
V1	feb-16	43	4	Ausencia	55	Presencia		
V2	mar-15	<3	<3	Ausencia	25	Ausencia	<3	Ausencia
V2	abr-15	210	9	Ausencia	75	Ausencia	9	Ausencia
V2	may-15	460	23	Ausencia	120	Ausencia	9	Ausencia
V2	jun-15	150	15	9,0	120	Ausencia	<3	Ausencia
V2	jul-15	93	43	23,0	45	Presencia	<3	Ausencia
V2	ago-15	9	<3	Ausencia	24	Ausencia	<3	Ausencia
V2	set-15	<3	<3	Ausencia	8	Ausencia	4	Ausencia
V2	oct-15	43	4	Presencia	46	Ausencia	<3	Ausencia
V2	dic-15	230	9	4,0	90	Presencia		
V2	ene-16	23	4	4,0	10	Presencia		
V2	feb-16	23	<3	Ausencia	15	Ausencia		
V3	mar-15	210		Ausencia	50	Ausencia	9	Ausencia
V3	abr-15	23	3,6	Ausencia	75	Ausencia	3,6	Ausencia
V3	may-15	93	23	4	40	Ausencia	9	Ausencia
V3	jun-15	75	<3	Ausencia	20	Ausencia	<3	Ausencia
V3	jul-15	7	<3	Ausencia	33	Presencia	<3	Ausencia
V3	ago-15	3	<3	Ausencia	85	Ausencia	<3	Ausencia
V3	set-15	3	<3	Ausencia	10	Ausencia	<3	Ausencia
V3	oct-15	23	<3	Ausencia	55	Presencia	<3	Ausencia
V3	dic-15	90	<2	Ausencia	45	Presencia		
V3	ene-16	23	4	Ausencia	60	Presencia		
V3	feb-16	23	<2	Ausencia	15	Ausencia		
V4	abr-15	9	<3	Ausencia	4	Ausencia	<3	Ausencia
V4	may-15	15	9	Ausencia	20	Ausencia	<3	Ausencia
V4	jul-15	15	9	4	40	Ausencia	<3	Ausencia
V4	ago-15	<3	<3	Ausencia	8	Ausencia	<3	Ausencia
V4	sep-15	<3	<3	Ausencia	8	Ausencia	<3	Ausencia

V4	oct-15	<3	<3	Ausencia	40	Ausencia	<3	Ausencia
V4	nov-15	23	9	Ausencia	40	Ausencia	<3	Ausencia
V4	dic-15	7	4	Ausencia	10	Ausencia	4	Ausencia
V4	ene-16	23	4	Ausencia	40	Presencia		
V4	feb-16	9	<2	Ausencia	5	Presencia		
V5	mar-15	23		Ausencia	70	Ausencia	<3	Ausencia
V5	abr-15	43	<3	Ausencia	5	Presencia	<3	Ausencia
V5	may-15	15	<3	Ausencia	8	Ausencia	<3	Ausencia
V5	jul-15	7	4	Ausencia	25	Ausencia	<3	Ausencia
V5	ago-15	<3	<3	Ausencia	7	Ausencia	<3	Ausencia
V5	sep-15	<3	<3	Ausencia	7	Ausencia	<3	Ausencia
V5	oct-15	9	<3	Ausencia	100	Ausencia	<3	Ausencia
V5	nov-15	43	23	Ausencia	48	Presencia	<3	Ausencia
V5	dic-15	<3	<3	Ausencia	40	Ausencia	<3	Ausencia
V5	ene-16	460	4	Ausencia	50	Presencia		
V5	feb-16	23	<2	Ausencia	10	Ausencia		
V6	mar-15	150		93	180	Presencia	9	Ausencia
V6	abr-15	1100	21	15	120	9	23	Ausencia
V6	may-15	2400	43	Ausencia	185	Presencia	23	Ausencia
V6	jul-15	240	23	9	75	Ausencia	4	Ausencia
V6	ago-15	93	7	Ausencia	190	Ausencia	<3	Ausencia
V6	sep-15	93	7	Ausencia	190	Ausencia	<3	Ausencia
V6	oct-15	240	21	Presencia	60	Ausencia	<3	Ausencia
V6	nov-15	4	<3	Ausencia	15	Ausencia	<3	Ausencia
V6	dic-15	460	240	Presencia	150	Presencia	4	Ausencia
V6	ene-16	9300	4300	2300	2000	Presencia		
V6	feb-16	150	70	40	45	Ausencia		

## Anexo 17: Análisis estadístico. Influencia del Orden de suelo en el pH del agua.

### ANOVA Simple - pH por Suelo

Variable dependiente: pH

Factor: Suelo

Número de observaciones: 65

Número de niveles: 2

#### **El StatAdvisor**

Este procedimiento ejecuta un análisis de varianza de un factor para pH. Construye varias pruebas y gráficas para comparar los valores medios de pH para los 2 diferentes niveles de Suelo. La prueba-F en la tabla ANOVA determinará si hay diferencias significativas entre las medias. Si las hay, las Pruebas de Rangos Múltiples le dirán cuáles medias son significativamente diferentes de otras. Si le preocupa la presencia de valores atípicos, puede elegir la Prueba de Kruskal-Wallis la cual compara las medianas en lugar de las medias. Las diferentes gráficas le ayudarán a juzgar la significancia práctica de los resultados, así como le permitirán buscar posibles violaciones de los supuestos subyacentes en el análisis de varianza.

#### **Tabla ANOVA para pH por Suelo**

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	21,1296	1	21,1296	139,96	0,0000
Intra grupos	9,51098	63	0,150968		
Total (Corr.)	30,6406	64			

#### **El StatAdvisor**

La tabla ANOVA descompone la varianza de pH en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 139,961, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0,05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de pH entre un nivel de Suelo y otro, con un nivel del 95,0% de confianza. Para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras, seleccione Pruebas de Múltiples Rangos, de la lista de Opciones Tabulares.

#### **Pruebas de Múltiple Rangos para pH por Suelo**

Método: 95,0 porcentaje LSD

Suelo	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Ultisol	32	5,66562	X
Molisol	33	6,80606	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Molisol - Ultisol	*	1,14044	0,192636

\* indica una diferencia significativa.

#### **El StatAdvisor**

Esta tabla aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras. La mitad inferior de la salida muestra las diferencias estimadas entre cada par de medias. Se ha colocado un asterisco junto a 1 par, indicando que este par muestra diferencias estadísticamente significativas con un nivel del 95,0% de confianza. En la parte superior de la página, se han identificado 2 grupos homogéneos según la alineación de las X's en columnas. No existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma columna de X's. El método empleado actualmente para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. Con este método hay un riesgo del 5,0% al decir que cada par de medias es significativamente diferente, cuando la diferencia real es igual a 0.



**Prueba de Kruskal-Wallis para pH por Suelo**

<i>Suelo</i>	<i>Tamaño Muestra</i>	<i>Rango Promedio</i>
Molisol	33	48,3939
Ultisol	32	17,125

Estadístico = 44,5562 Valor-P = 2,47163E-11

**El StatAdvisor**

La prueba de Kruskal-Wallis evalúa la hipótesis de que las medianas de pH dentro de cada uno de los 2 niveles de Suelo son iguales. Primero se combinan los datos de todos los niveles y se ordenan de menor a mayor. Luego se calcula el rango (rank) promedio para los datos de cada nivel. Puesto que el valor-P es menor que 0,05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas con un nivel del 95,0% de confianza. Para determinar cuáles medianas son significativamente diferentes de otras, seleccione Gráfico de Caja y Bigotes, de la lista de Opciones Gráficas, y seleccione la opción de muesca de mediana.

Anexo 18. a. Resultados de análisis microbiológicos para vertientes antes y después de realizar la obra de protección. b. Análisis químicos V<sub>7</sub> y V<sub>8</sub>.

a.

		V <sub>7</sub>	V <sub>8</sub>	V <sub>9</sub>	V <sub>10</sub>	V <sub>11</sub>
CT	Antes	1100	1100	300	240	28
	Después	93	23	150	23	0
BAMT	Antes	145	120	400	500	300
	Después	40	280	130	70	2
CF	Antes	75	43	4	38	9
	Después	23	0	7	7	0
Enterococos	Antes	28	4	9	23	9
	Después	9	0	9	0	0

b.

Vertiente 7	ANTES (06/03/2015)	DESPUÉS (18/05/2015)
pH (UpH)	6,7	6,9
Conductividad (µS/cm)	203	185
SDT (mg/L)	184	159
Cloruros (mg/L)	3	8,5
Nitratos (mg/L)	3,52	3
Fosfatos (mg/L)	<0,01	0,019

Vertiente 8	ANTES (18/05/2015)	DESPUÉS (28/09/2015)
pH (UpH)	6,3	6,3
Conductividad (µS/cm)	127	174
SDT (mg/L)	110	139
Cloruros (mg/L)	3	22
Nitratos (mg/L)	2,87	7,56
Fosfatos (mg/L)	ND	0,013