

Universidad de Costa Rica

Facultad de Ciencias Básicas

Escuela Centroamericana de Geología

Trabajo Final de Graduación

Modalidad Práctica Dirigida

**Gestión del Riesgo mediante la herramienta GIRA
en las ASADAS de San José de la Montaña y San
Pedro, Barva, Heredia**

Elaborado por:

Josué Gerardo Hernández Sancho

Carné: B23231

Sede Central, Campus Rodrigo Facio, San José

Agosto 2022

Tesis sometida y aceptada por el tribunal del trabajo final de graduación como requisito para optar por el grado académico de Licenciado en Geología

TRIBUNAL EXAMINADOR



M. Sc. Mario Arias Salguero
Director de tesis



M. Sc. Giovanni Peraldo Huertas
Lector



M. Sc. Rolando Mora Chinchilla
Lector



M. Sc. Ricardo Cascante Flores
Miembro del Tribunal



M. Sc. Elena Badilla Coto
Presidenta del Tribunal



Josué Gerardo Hernández Sancho
Postulante

DEDICATORIA

A Dios, ser supremo en el que creo, persevero y de donde obtengo fuerzas, y a la Virgen de los Ángeles, a quien confié mis estudios desde hace ya mucho tiempo.

A mi padre, Oscar Hernández González, por darme la oportunidad de estudiar y brindarme siempre su apoyo, a mi madre, Marianella Sancho Vargas, por darme siempre su amor y ayudarme a salir adelante, a mi hermana, Natalia Hernández Sancho, por esa complicidad entre hermanos, siempre escuchar mis dudas y compartirme en sus consejos su inteligencia y raciocinio, a mi pareja, Kimberly Rojas Sánchez, por querer compartir y aprender conmigo un poco del quehacer geológico, brindarme su amor y apoyo constantemente y ser esa mujer con la cual compartir la aventura de la vida, creciendo juntos desde que nos conocimos.

Al resto de mi familia, tía, abuelo y personas que ya no están, abuela Emilce y Lali, pero que siempre estarán en mi corazón, ya que con su cariño y enseñanzas desde niño formaron la persona que hoy soy.

AGRADECIMIENTOS

A mi familia y pareja por el apoyo que me brindaron durante todo este tiempo en que realice esta investigación.

Al M. Sc. Mario Arias Salguero quien me brindó su apoyo ante mi querer de realizar mi trabajo final de graduación, y quien a partir de ese punto me brindó su guía y acompañamiento para desarrollar con éxito esta investigación. Ya que desde el proyecto que lidera desde el Centro de Investigaciones en Ciencias Geológicas, denominado “La Cultura del Agua, como insumo para la Gestión Integrada del Recurso Hídrico” obtuve el apoyo para realizar mi investigación.

Al M. Sc. Giovanni Peraldo Huertas y al M. Sc. Rolando Mora Chinchilla quienes, gracias a su experiencia, sus recomendaciones y consejos hicieron mejorar mi investigación.

Al Sr. Rodolfo Gamboa Chaverri, administrador de la ASADA de San José de la Montaña y al Sr. Luis Fabián Córdoba Rojas, administrador de la ASADA San Pedro de Barva, por aceptar el que yo pudiera realizar mi investigación en dichos acueductos y por comprometerse y acompañarme en todo el proceso de elaboración de la herramienta GIRA, así como al equipo técnico que me acompañó a campo y me brindaron su conocimiento sobre el acueducto.

A la empresa Servicios Geológicos de Occidente S.A. y su Director técnico-administrativo, colega y amigo, Juan Carlos Carranza Carranza por el apoyo durante este proceso de finalización de la investigación y brindarme los espacios para poder realizar las giras y trámites administrativos, así como a la empresa GEOTECTICA S.A. por su apoyo durante el inicio de este proyecto.

ÍNDICE

| | |
|---|------|
| ÍNDICE | V |
| ÍNDICE DE FIGURAS..... | IV |
| ÍNDICE DE TABLAS..... | XI |
| RESUMEN..... | XIII |
| GLOSARIO | XIV |
| INTRODUCCIÓN | 16 |
| 1.1 Ubicación..... | 16 |
| 1.2 Justificación | 18 |
| 1.3 Objetivo general | 24 |
| 1.4 Objetivos específicos..... | 24 |
| 1.5 Metodología | 24 |
| A. Metodología herramienta GIRA | 26 |
| a) Caracterización del sistema | 26 |
| b) Análisis de vulnerabilidades..... | 26 |
| c) Análisis de amenazas de la subcuenca..... | 27 |
| d) Valoración del riesgo y prioridades..... | 32 |
| Visualización de resultados | 32 |
| Valoración del riesgo y priorización..... | 34 |
| e) Administración de riesgos..... | 35 |
| Medidas correctivas y preventivas | 35 |
| f) Documentación del plan..... | 36 |
| B. Metodología de trabajo para la implementación del método GIRA..... | 37 |
| a) Comunicación con las ASADAS..... | 37 |
| b) Análisis bibliográfico sobre estudios y/o aplicación de metodologías para la identificación de amenazas naturales y antrópicas..... | 37 |
| c) Trabajo de campo..... | 37 |
| C. Análisis de la herramienta GIRA..... | 38 |
| MARCO TEÓRICO..... | 40 |
| 2.1 Antecedentes | 40 |
| A. Políticas, objetivos, manuales y medidas implementadas a nivel nacional en materia de gestión de riesgos para ASADAS | 40 |
| a) Ley Nacional de Emergencias y Prevención del Riesgo N° 8488 y Política Nacional de Gestión del Riesgo | 40 |

| | | |
|---|---|----|
| b) | Manual de Procedimientos de Gestión del Riesgo para la Atención de Emergencias y Desastres en el AyA..... | 41 |
| c) | Política Nacional de Agua Potable (PNAP) de Costa Rica, 2017-2030..... | 42 |
| d) | Costa Rica: Agua y Saneamiento 2030, Análisis relacionado al ODS 6, Agua limpia y saneamiento..... | 44 |
| e) | Tarifa de protección del recurso hídrico (ARESEP) | 45 |
| B. | Herramientas en gestión de riesgos para acueductos (ASADAS, Municipal o Comités)..... | 46 |
| a) | Manual para el desarrollo de planes de seguridad del agua: Metodología pormenorizada de gestión de riesgos para proveedores de agua de consumo..... | 48 |
| b) | Guía de autoevaluación de acueductos comunales (comités, ASADAS, municipal) | 51 |
| C. | Estudios de caso en gestión de riesgos en ASADAS..... | 51 |
| a) | Propuesta Plan de Seguridad del Agua para el Acueducto Municipal de Barva, Heredia..... | 51 |
| b) | Análisis de vulnerabilidad ambiental por deslizamientos en la microcuenca del río Tabarcia, Cantón de Mora, República de Costa Rica | 55 |
| CONTEXTO GEOLÓGICO, TECTÓNICO, GEOMORFOLÓGICO, CLIMÁTICO Y USO DE SUELO | | 58 |
| 3.1 | Contexto geológico..... | 58 |
| A. | Formación Barva (Neo Barva) | 58 |
| a) | Miembro Bermúdez | 58 |
| b) | Miembro Carbonal | 59 |
| c) | Miembro Bambinos..... | 59 |
| d) | Miembro Ángeles | 60 |
| e) | Miembro Porrosatí | 61 |
| f) | Miembro Cráter | 61 |
| B. | Depósitos posteriores a la Formación Barva | 62 |
| a) | Lahares y cenizas..... | 62 |
| 3.2 | Contexto tectónico..... | 62 |
| 3.3 | Contexto geomorfológico | 65 |
| A. | Unidades de origen denudacional..... | 67 |
| a) | Laderas volcánicas denudacionales de alta pendiente y alto grado de disección 67 | 67 |
| b) | Laderas volcánicas denudacionales de baja pendiente y mediano grado de disección..... | 67 |
| c) | Laderas volcánicas denudacionales de baja pendiente y bajo grado de disección..... | 68 |

| | |
|--|-----|
| B. Unidades de origen fluvial | 71 |
| a) Barrancos y Cárcavas | 71 |
| C. Unidades de origen volcánico..... | 71 |
| a) Conos de escoria (Las Tres Marías)..... | 71 |
| 3.4 Clima..... | 71 |
| 3.5 Uso del suelo | 79 |
| CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA, VULNERABILIDAD FUNCIONAL Y AMENAZAS DE LAS ASADAS SAN JOSÉ DE LA MONTAÑA Y SAN PEDRO DE BARVA | 90 |
| 4.1 Caracterización del sistema de las ASADAS San José de la Montaña y San Pedro | 90 |
| A. Caracterización de la ASADA de San José de la Montaña | 90 |
| B. Caracterización de la ASADA de San Pedro de Barva | 95 |
| 4.2 Vulnerabilidad funcional de las ASADAS San José de la Montaña y San Pedro ... | 100 |
| A. Vulnerabilidad operativa, sanitaria, administrativa e infraestructural de la ASADA San José de la Montaña..... | 100 |
| B. Vulnerabilidad operativa, sanitaria, administrativa e infraestructural de la ASADA San Pedro de Barva..... | 108 |
| 4.3 Identificación de las amenazas naturales y antrópicas en las subcuencas donde se ubican las ASADAS de San José de la Montaña y San Pedro de Barva, su exposición, consecuencia y grado de preparación ante emergencias | 121 |
| A. Amenazas naturales | 121 |
| a) Amenaza volcánica | 127 |
| b) Amenaza sísmica | 133 |
| Zona de subducción..... | 133 |
| Falla Alajuela | 135 |
| Falla Ángel | 137 |
| c) Amenaza por inestabilidad de laderas (deslizamientos) | 140 |
| Parámetros para determinar el grado de susceptibilidad a deslizamientos..... | 140 |
| Susceptibilidad a deslizamientos | 146 |
| d) Amenazas hidrometeorológicas | 155 |
| Inundación y/o avalanchas | 155 |
| Sequía (Disminución en las precipitaciones) | 156 |
| e) Incendios forestales..... | 161 |
| B. Amenazas Antrópicas | 161 |
| a) Derrame de sustancias tóxicas | 161 |
| b) Rotura de tuberías..... | 171 |

| | |
|---|-----|
| c) Interrupción de energía..... | 174 |
| d) Pruebas de control de calidad alteradas | 174 |
| e) Desarrollo urbano no planificado | 175 |
| f) Vandalismo | 181 |
| C. Estimación del nivel de exposición, consecuencia y valorización del impacto de las amenazas en los sistemas de las ASADAS | 181 |
| a) Asada San José de la Montaña..... | 182 |
| b) Asada San Pedro de Barva..... | 184 |
| D. Grado de preparación ante emergencias de las ASADAS..... | 186 |
| a) Asada San José de la Montaña..... | 187 |
| b) Asada San Pedro de Barva..... | 187 |
| VALORACIÓN Y ADMINISTRACIÓN DEL RIESGO | 188 |
| 5.1 Resultados del análisis de vulnerabilidad funcional y amenazas de las ASADAS San José de la Montaña y San Pedro de Barva..... | 188 |
| A. ASADA San José de la Montaña | 188 |
| B. ASADA San Pedro de Barva | 190 |
| 5.2 Valoración del riesgo en las ASADAS de San José de la Montaña y San Pedro de Barva..... | 192 |
| A. ASADA San José de la Montaña | 192 |
| B. ASADA San Pedro de Barva | 196 |
| 5.3 Administración del riesgo en las ASADAS de San José de la Montaña y San Pedro de Barva..... | 198 |
| A. ASADA San José de la Montaña | 198 |
| B. ASADA San Pedro de Barva | 201 |
| DISCUSIÓN DE RESULTADOS RESPECTO A LA HERRAMIENTA GIRA..... | 204 |
| 6.1 Metodología | 204 |
| 6.2 Interfaz | 214 |
| CONCLUSIONES..... | 217 |
| RECOMENDACIONES..... | 226 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 227 |
| ANEXOS..... | 238 |
| 10.1 Cuantificación del uso de suelo en el año 2008 (MIVAH, 2008) y el año 2021 (imagen satelital) en los cantones del cantón de Barva y en las subcuencas en estudio | 239 |
| 10.2 Cuantificación del uso de suelo en el año 2008 (MIVAH, 2008) y el año 2021 (imagen satelital) en las zonas de protección de las nacientes en las ASADAS en estudio | 241 |

| | |
|---|-----|
| 10.3 Componentes de la ASADA de San José de la Montaña..... | 243 |
| 10.4 Componentes de la ASADA de San Pedro de Barva..... | 249 |
| APÉNDICES | 256 |
| INFORME GIRA DE LA ASADA SAN JOSÉ DE LA MONTAÑA | 257 |
| INFORME GIRA DE LA ASADA SAN PEDRO DE BARVA | 288 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura N° 1.1: Figura de ubicación (Elaboración propia)..... | 17 |
| Figura N° 1.2: Marco tectónico de Costa Rica, donde CDCCR es el Cinturón Deformado del Centro de Costa Rica y el CDNP es el Cinturón Deformado del Norte de Panamá (tomado de Arroyo et al., 2017)..... | 20 |
| Figura N° 1.3: Pestaña Menú principal de la herramienta GIRA (tomado de AyA y PNUD, 2019)..... | 25 |
| Figura N° 1.4: Diagrama para la identificación y caracterización de las amenazas hidrometeorológicas (elaboración propia)..... | 28 |
| Figura N° 1.5: Diagrama para la identificación y caracterización de la amenaza por sismo (elaboración propia)..... | 28 |
| Figura N° 1.6: Diagrama para la identificación y caracterización de la amenaza por deslizamiento (elaboración propia)..... | 29 |
| Figura N° 1.7: Diagrama para la identificación y caracterización de la amenaza por erupción volcánica (elaboración propia)..... | 29 |
| Figura N° 1.8: Estimación del nivel de consecuencia de la amenaza (tomado de AyA y PNUD, 2019)..... | 31 |
| Figura N° 1.9: Evaluación del grado de preparación de la ASADA ante emergencias (tomado de AyA y PNUD, 2019)..... | 32 |
| Figura N° 1.10: Ejemplo ilustrativo de los resultados del nivel de exposición e impacto por amenaza (tomado de AyA y PNUD, 2019)..... | 33 |
| Figura N° 1.11: Ejemplo de la valoración del riesgo y priorización de medidas de acción mediante la herramienta GIRA (tomado de AyA y PNUD, 2019)..... | 35 |
| Figura N° 1.12: Ejemplo del plan de acción de medidas correctivas (tomado de AyA y PNUD, 2019)..... | 36 |
| Figura N° 1.13: Ejemplo del plan de acción de medidas preventivas (tomado de AyA y PNUD, 2019)..... | 36 |
| Figura N° 1.14: Reuniones con los administradores de las ASADAS en estudio. A) ASADA San José de la Montaña. B) ASADA San Pedro de Barva. (Elaboración propia)..... | 38 |
| Figura N° 3.1: Mapa geológico del área de estudio (modificado de Solano y Soto, 2020 y MIVAH, 2008)..... | 64 |
| Figura N° 3.2: Sub rasgos geomorfológicos en el flanco sur del macizo del volcán Barva (tomado de Obando, 2004). A. Extensión de las subcuencas en estudio desde los cráteres del volcán Barva hacia el sur, ubicadas mayoritariamente en el campo de piroclastos y una parte en el campo de lavas..... | 68 |
| Figura N° 3.3: Mapa geomorfológico del área de estudio (elaboración propia)..... | 69 |
| Figura N° 3.4: Mapa de pendientes del área de estudio (elaboración propia)..... | 70 |
| Figura N° 3.5: Temperatura mínima media anual (tomado de IMN, 2008)..... | 74 |
| Figura N° 3.6: Temperatura media anual (tomado de IMN, 2008)..... | 75 |

| | |
|---|-----|
| Figura N° 3.7: Temperatura máxima media anual (tomado de IMN, 2008). | 76 |
| Figura N° 3.8: Promedio de días con lluvia anual (tomado de IMN, 2008). | 77 |
| Figura N° 3.9: Precipitación promedio anual (tomado de IMN, 2008). | 78 |
| Figura N° 3.10: Uso de suelo en el cantón de Barva en el 2008 (tomado de MIVAH, 2008). | 82 |
| Figura N° 3.11: Uso de suelo en las subcuencas en estudio durante el 2008 (tomado de MIVAH, 2008)..... | 83 |
| Figura N° 3.12: Uso de suelo actual en el cantón de Barva (elaboración propia). | 87 |
| Figura N° 3.13: Uso de suelo actual en las subcuencas (elaboración propia). | 88 |
| Figura N° 4.1: Mapa ilustrativo de los componentes del sistema y su entorno, ASADA San José de la Montaña (elaboración propia). | 93 |
| Figura N° 4.2: Mapa de los componentes del sistema y su entorno, ASADA San José de la Montaña (tomado de Varela, 2020). | 94 |
| Figura N° 4.3: Mapa ilustrativo de los componentes del sistema y su entorno, ASADA San Pedro de Barva (elaboración propia). | 98 |
| Figura N° 4.4: Mapa de los componentes del sistema y su entorno, ASADA San Pedro de Barva (tomado de ICEA, 2011)..... | 99 |
| Figura N° 4.5: Ejemplo de bitácora de cloración (tomado de Sanabria, 2021)..... | 101 |
| Figura N° 4.6: Índice de morosidad de la ASADA San José de la Montaña, período 2019- 2021 (Gamboa, R., comunicación personal, 4 de mayo del 2021)..... | 102 |
| Figura N° 4.7: Capacitación al personal técnico de la ASADA San José de la Montaña en el uso de equipo para realizar control operativo (tomado de Sanabria, 2021). | 103 |
| Figura N° 4.8: Programación de mantenimiento de la ASADA San José de la Montaña (tomado de Sanabria, 2021)..... | 104 |
| Figura N° 4.9: Monitoreo de cloro residual en centros escolares (tomado de Sanabria, 2021). | 104 |
| Figura N° 4.10: Actividades de educación ambiental (tomado de Sanabria, 2021)..... | 105 |
| Figura N° 4.11: Monitoreo del control operativo del sistema Gallito (tomado de Sanabria, 2021). | 105 |
| Figura N° 4.12: Historial de producción de nacientes 2020 (tomado de ASADA San Pedro de Barva, 2020)..... | 109 |
| Figura N° 4.13: Porcentaje de agua no contabilizada, periodo 2020 (tomado de ASADA San Pedro de Barva, 2020)..... | 110 |
| Figura N° 4.14: Sistema de desinfección de tanques (tomado de ASADA San Pedro de Barva, 2020)..... | 110 |
| Figura N° 4.15: Bitácora de campo, periodo 2020 (tomado de ASADA San Pedro de Barva, 2020)..... | 111 |
| Figura N° 4.16: Índice de morosidad de la ASADA San Pedro de Barva, período 2021 (Córdoba, L.F., comunicación personal, 9 de diciembre del 2021). | 111 |

| | |
|--|-----|
| Figura N° 4.17: Capacitaciones a los funcionarios de la ASADA San Pedro de Barva (tomado de ASADA San Pedro de Barva, 2020). | 112 |
| Figura N° 4.18: Mantenimiento preventivo de los sistemas de abastecimiento de agua (tomado de ASADA San Pedro de Barva, 2020). | 114 |
| Figura N° 4.19: Medición del cloro residual (en mg/l) en los tanques de almacenamiento de la ASADA San Pedro de Barva durante el mes de enero del 2020 (tomado de ASADA San Pedro de Barva, 2020). | 115 |
| Figura N° 4.20: Visita de campo y limpieza del Sector Naranja y mantenimiento de árboles en las zonas de recarga de la ASADA San Pedro de Barva (tomado de ASADA San Pedro de Barva, 2020). | 116 |
| Figura N° 4.21: Mapa de amenazas naturales para el cantón de Barva (tomado de CNE, s.f.). | 123 |
| Figura N° 4.22: Mapa, identificación de amenazas para el distrito San José de la Montaña (tomado de Municipalidad de Barva, 2019). | 125 |
| Figura N° 4.23: Mapa, identificación de amenazas para el distrito San Pedro (tomado de Municipalidad de Barva, 2019). | 126 |
| Figura N° 4.24: Mapa de amenaza volcánica, volcán Barva (tomado de Brenes, 2003). | 131 |
| Figura N° 4.25: Afloramientos cercanos a la naciente José Maclovio 4. A) Coladas de lava. B) Depósitos piroclásticos. (Foto: Hernández, 21 de diciembre del 2021). | 132 |
| Figura N° 4.26: Afloramientos cercanos a las nacientes de San Pedro. A) y B) Coladas de lava. C) Contacto entre las lavas en el lecho de la quebrada y material meteorizado piroclástico sobreyaciendo, observar además el árbol caído. (Foto: Hernández, 27 de diciembre del 2021). | 132 |
| Figura N° 4.27: Afloramientos observados en recorrido de la tubería de conducción del acueducto de San José de la Montaña. A) Coladas de lava. B) Material meteorizado piroclástico sobreyaciendo. (Foto: Hernández, 21 de diciembre del 2021). | 133 |
| Figura N° 4.28: Afloramiento observado en la tubería de conducción del acueducto San Pedro sobre el río Porrosatí correspondiente a depósitos de avalanchas laháricas. (Foto: Hernández, 2 de febrero del 2022). | 133 |
| Figura N° 4.29: Mapa de amenaza sísmica en Costa Rica en términos de PGA para un periodo de retorno de 500 años (tomado de Climent et al. (2008). | 134 |
| Figura N° 4.30: Mapa de intensidades para un posible sismo de 6,4 Mw a 10 km de profundidad en la falla Alajuela. A. El cuadro rojo representa el área donde se encuentran las ASADAS en estudio. (tomado de LIS, 2011a). | 135 |
| Figura N° 4.31: Mapa de aceleración máxima para un posible sismo de 6,4 Mw a 10 km de profundidad en la falla Alajuela respecto a la ubicación de las ASADAS en estudio (tomado de LIS, 2011a). | 136 |
| Figura N° 4.32: Mapa de intensidades para un posible sismo de 6,2 Mw a 10 km de profundidad en la falla Ángel. A. El cuadro rojo representa el área donde se encuentran las ASADAS en estudio. (tomado de LIS, 2011b). | 138 |

| | |
|---|-----|
| Figura N° 4.33: Mapa de aceleración máxima para un posible sismo de 6,2 Mw a 10 km de profundidad en la falla Ángel respecto a la ubicación de las ASADAS en estudio (tomado de LIS, 2011b). | 139 |
| Figura N° 4.34: Mapa de pendientes en el área entorno a las ASADAS en estudio (elaboración propia)..... | 144 |
| Figura N° 4.35: Clasificación de la susceptibilidad a deslizamientos en el área entorno a las ASADAS en estudio (elaboración propia). | 148 |
| Figura N° 4.36: A) Vista de la quebrada Naborí desde el tanque de captación de la naciente El Centro. B) Tanque de captación de la naciente El Centro. C) Pendiente alta observada en las laderas de la quebrada Naborí, vista desde el punto B, coordenadas 487191 E / 1113456 N. (Foto: Hernández, 2 de diciembre del 2021). | 150 |
| Figura N° 4.37: A) Paso elevado sobre la quebrada Naborí, cercano al sitio donde se ubican las nacientes (487145 E / 1113435 N). B) Paso elevado sobre el río Porrosatí (486819 E / 1112948 N). C) Paso elevado sobre la quebrada Amanda (485693 E / 1111226 N). (Foto: Hernández, 2 de diciembre del 2021)..... | 151 |
| Figura N° 4.38: A) Zona inestable en el camino por donde pasa la tubería de conducción cerca al barranco de la quebrada Naborí (487046 E / 1113232 N). B) Zona inestable a 230 m del punto A, (486855 E / 1113107 N). C) Tubería de conducción cercana al barranco del río Porrosatí, específicamente en el Campamento Roblealto (486365 E / 1112629 N). Las flechas color rojo señalan la dirección de inestabilidad. (Foto: Hernández, 2 de diciembre del 2021). | 152 |
| Figura N° 4.39: A) Tanque de captación de las nacientes José Maclovio 2 y 3 a orillas de la quebrada Naborí. B) Vista de la cárcava de la quebrada Naborí, se observa alta pendiente en sus laderas. C) Nacientes Las Minas a orillas de la quebrada Naborí. (Foto: Hernández, 21 de diciembre del 2021). | 153 |
| Figura N° 4.40: Pasos elevados. A) sobre la quebrada Naborí, entre las nacientes José Maclovio y Minas (487896 E / 1113997 N). B) sobre la quebrada Naborí (487865 E / 1113773 N). C) sobre el río Porrosatí (487884 E / 1113627 N). D) sobre afluente del río Porrosatí (487939 E / 1113536 N). E) sobre el río Zanjón (487564 E / 1112451 N). F) sobre afluente del río Zanjón (487616 E / 1112376 N). (Foto A-D: Hernández, 21 de diciembre del 2021; Foto E-F: 16 de febrero del 2022). | 154 |
| Figura N° 4.41: Movimiento de tierra sobre la quebrada Naborí, cerca del camino por donde pasa la tubería de conducción de la ASADA de San José de la Montaña (487957 E / 1113901 N). (Foto: Hernández, 21 de diciembre del 2021). | 155 |
| Figura N° 4.42: Puente sobre el río Porrosatí en San José de la Montaña (coordenadas 488290 E / 1113987 N), se observa la crecida en el río producto de las intensas lluvias (Municipalidad de Barva, 2021). | 156 |
| Figura N° 4.43: Caudales históricos de las nacientes pertenecientes a la ASADA de San José de la Montaña (Gamboa, R., comunicación personal, 5 de noviembre del 2021). .. | 158 |
| Figura N° 4.44: Caudales históricos de las nacientes pertenecientes a la ASADA de San Pedro de Barva (Córdoba, L.F., comunicación personal, 9 de diciembre del 2021). | 158 |
| Figura N° 4.45: Delimitación del área de estudio por Madrigal et al. (2014). | 162 |

| | |
|--|-----|
| Figura N° 4.46: Mapa, fuentes puntuales de generación de carga contaminante al subsuelo (tomado de Madrigal et al., 2014). | 164 |
| Figura N° 4.47: Mapa, fuentes difusas de generación de carga contaminante al subsuelo (tomado de Madrigal et al., 2014). | 166 |
| Figura N° 4.48: Uso de suelo actual en el área entorno a las ASADAS en estudio (elaboración propia). | 167 |
| Figura N° 4.49: Mapa, tramos de ríos según su potencial de generación de carga contaminante al subsuelo (tomado de Madrigal et al., 2014). | 168 |
| Figura N° 4.50: A) Cambio de tubería PVC a Polietileno. B) Tubería inhabilitada, la cual presentaba tractos expuestos en medio de los cultivos. (Foto: Hernández, 2 de febrero del 2022). | 169 |
| Figura N° 4.51: Mapa de carga contaminante (tomado de Madrigal et al., 2014). | 170 |
| Figura N° 4.52: Zonas de tubería de conducción y distribución expuesta, ASADA San Pedro de Barva. (Foto: Hernández, 2 de diciembre del 2021). | 172 |
| Figura N° 4.53: Zonas de tubería de conducción y distribución expuesta, ASADA San Pedro de Barva. (Foto K-P: Hernández, 2 de diciembre del 2021; Foto Q-R: 2 de febrero del 2022). | 173 |
| Figura N° 4.54: Tubería de distribución expuesta, ASADA San José de la Montaña. A) sobre ruta 114 (487353 E / 1112186 N). B) calle de acceso al tanque Chaverri (487282 E / 1111303 N). C) sobre ruta cantonal (486636 E / 1110782 N). (Foto A-B: Hernández, 21 de diciembre del 2021; Foto C: 4 de abril del 2022). | 174 |
| Figura N° 4.55: Cambio de uso de suelo dentro de las zonas de protección de las nacientes de la ASADA San José de la Montaña (elaboración propia). | 177 |
| Figura N° 4.56: Cambio de uso de suelo dentro de las zonas de protección de las nacientes de la ASADA San Pedro de Barva (elaboración propia). | 179 |
| Figura N° 4.57: Cambio de uso de suelo dentro de la zona de protección de la naciente Chagos de la ASADA San Pedro de Barva (elaboración propia). | 180 |
| Figura N° 4.58: Tracto de la tubería de conducción de la ASADA San Pedro de especial interés por riesgo bajo a la contaminación al pasar dentro de los terrenos y por tanto encontrarse muy cerca de áreas urbanizadas. (Foto: Hernández, 2 de febrero del 2022). | 181 |
| Figura N° 4.59: Estimación del nivel de exposición de las amenazas en la subcuenca donde se ubica la ASADA San José de la Montaña (elaboración propia). | 182 |
| Figura N° 4.60: Estimación del nivel de consecuencia de las amenazas naturales en la ASADA San José de la Montaña (elaboración propia). | 183 |
| Figura N° 4.61: Estimación del nivel de consecuencia de las amenazas antrópicas en la ASADA San José de la Montaña (elaboración propia). | 184 |
| Figura N° 4.62: Estimación del nivel de exposición de las amenazas en la subcuenca donde se ubica la ASADA San Pedro (elaboración propia). | 185 |
| Figura N° 4.63: Estimación del nivel de consecuencia de las amenazas naturales en la ASADA San Pedro (elaboración propia). | 185 |

| | |
|---|-----|
| Figura N° 4.64: Estimación del nivel de consecuencia de las amenazas antrópicas en la ASADA San Pedro (elaboración propia). | 186 |
| Figura N° 5.1: Resultados del análisis de la vulnerabilidad funcional de la ASADA de San José de la Montaña (elaboración propia). | 188 |
| Figura N° 5.2: Resultados del análisis del grado de preparación ante emergencias de la ASADA de San José de la Montaña (elaboración propia). | 189 |
| Figura N° 5.3: Resultados del análisis de las amenazas naturales y antrópicas de la ASADA San José de la Montaña (elaboración propia). | 190 |
| Figura N° 5.4: Resultados del análisis de la vulnerabilidad funcional de la ASADA de San Pedro de Barva (elaboración propia). | 191 |
| Figura N° 5.5: Resultados del análisis del grado de preparación ante emergencias de la ASADA San Pedro de Barva (elaboración propia). | 192 |
| Figura N° 5.6: Resultados del análisis de las amenazas naturales y antrópicas de la ASADA San Pedro (elaboración propia). | 192 |
| Figura N° 5.7: Valoración del riesgo, amenazas de nivel de riesgo aceptable, ASADA San José de la Montaña (elaboración propia). | 194 |
| Figura N° 5.8: Valoración del riesgo, medidas correctivas a implementar en el Plan GIRA, ASADA San José de la Montaña (elaboración propia). | 195 |
| Figura N° 5.9: Valoración del riesgo, amenazas de nivel de riesgo aceptable, ASADA San Pedro de Barva (elaboración propia). | 196 |
| Figura N° 5.10: Valoración del riesgo, medidas correctivas a implementar en el Plan GIRA, ASADA San Pedro de Barva (elaboración propia). | 198 |
| Figura N° 5.11: Plan de gestión de riesgos, medidas correctivas, ASADA San José de la Montaña (elaboración propia). | 200 |
| Figura N° 5.12: Plan de gestión de riesgos, medidas preventivas, ASADA San José de la Montaña (elaboración propia). | 201 |
| Figura N° 5.13: Plan de gestión de riesgos, medidas preventivas, ASADA San Pedro de Barva (elaboración propia). | 202 |
| Figura N° 5.14: Plan de gestión de riesgos, medidas correctivas, ASADA San Pedro de Barva (elaboración propia). | 203 |
| Figura N° 6.1: Mapa hidrográfico, subcuenca río Virilla (elaboración propia). | 209 |
| Figura N° 6.2: Ficha técnica de la ASADA San José de la Montaña. A) Sin corregir. B) Corregida. (Elaboración propia). | 210 |
| Figura N° 6.3: Ficha técnica de la ASADA San Pedro de Barva. A) Sin corregir. B) Corregida. (Elaboración propia). | 211 |
| Figura N° 6.4: Ejemplo de error: la herramienta GIRA menciona que la ASADA de San Pedro de Barva, comparte subcuenca con ASADAS ubicadas en la provincia de Cartago (elaboración propia). | 214 |

| | |
|--|-----|
| Figura N° 6.5: Ejemplo de error: la fila 4 del gráfico repite la amenaza de la fila 3 con valores distintos en cuanto a nivel de exposición, consecuencia y valores de impacto (elaboración propia). | 215 |
| Figura N° 6.6: Ejemplo de error: automatización incorrecta en la herramienta GIRA en las tablas resumen de visualización de respuestas con respecto al grado de preparación ante emergencias (elaboración propia). | 216 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|-----|
| Tabla N° 1.1: Significado de los niveles de probabilidad (NP) de ocurrencia de un evento. | 34 |
| Tabla N° 1.2: Determinación del nivel de consecuencia (NC). | 34 |
| Tabla N° 1.3: Significado del nivel de riesgo (NR). | 35 |
| Tabla N° 3.1: Climatología de la Región Valle Central por subregión. | 72 |
| Tabla N° 3.2: Porcentaje uso de suelo para el cantón de Barva y distritos (MIVAH, 2008). | 81 |
| Tabla N° 3.3: Porcentaje uso de suelo en las subcuencas en estudio (MIVAH, 2008)..... | 81 |
| Tabla N° 3.4: Porcentaje actual del uso de suelo para el cantón de Barva y distritos. | 85 |
| Tabla N° 3.5: Porcentaje actual del uso de suelo en las subcuencas en estudio. | 86 |
| Tabla N° 4.1: Ubicación y caudales de las nacientes de la ASADA San José de la Montaña..... | 91 |
| Tabla N° 4.2: Ubicación, capacidad y sector de abastecimiento de los tanques de almacenamiento de la ASADA de San José de la Montaña. | 91 |
| Tabla N° 4.3: Obras de infraestructura por sistema de la ASADA San José de la Montaña. | 92 |
| Tabla N° 4.4: Ubicación y caudales de las fuentes de la ASADA San Pedro de Barva. | 96 |
| Tabla N° 4.5: Ubicación, capacidad y sector de abastecimiento de los tanques de almacenamiento de la ASADA de San Pedro de Barba. | 97 |
| Tabla N° 4.6: Obras de infraestructura por sistema de la ASADA San Pedro de Barva. | 98 |
| Tabla N° 4.7: Evaluación sanitaria de las nacientes de la ASADA San José de la Montaña (Gamboa, R, 2021)..... | 106 |
| Tabla N° 4.8: Evaluación sanitaria de los tanques de almacenamiento de la ASADA San José de la Montaña (Gamboa, R, 2021). | 107 |
| Tabla N° 4.9: Evaluación sanitaria de las líneas de conducción y distribución de la ASADA San José de la Montaña (Gamboa, R, 2021). | 108 |
| Tabla N° 4.10: Evaluación sanitaria de las nacientes de la ASADA San Pedro de Barva (Córdoba, L.F, 2021). | 117 |
| Tabla N° 4.11: Evaluación sanitaria del pozo Doña Elena de la ASADA San Pedro de Barva (Córdoba, L.F, 2021)..... | 119 |
| Tabla N° 4.12: Evaluación sanitaria de la planta de agua o filtro quebrada Naborí de la ASADA San Pedro de Barva (Córdoba, L.F, 2021). | 119 |
| Tabla N° 4.13: Evaluación sanitaria de los tanques de almacenamiento de la ASADA San Pedro de Barva (Córdoba, L.F, 2021)..... | 119 |
| Tabla N° 4.14: Evaluación sanitaria de las líneas de conducción y distribución de la ASADA San Pedro de Barva (Córdoba, L.F, 2021). | 120 |

| | |
|---|-----|
| Tabla N° 4.15. Valoración asignada a las unidades geomorfológicas (Camacho et al., (2004). | 141 |
| Tabla N° 4.16. Valoración asignada a los promedios mensuales de lluvia (Mora y Vahrson, 1994). | 142 |
| Tabla N° 4.17. Promedio de precipitación mensual (mm) para el área de estudio y su valor de susceptibilidad. | 142 |
| Tabla N° 4.18. Valor del parámetro de humedad del terreno (Mora y Vahrson, 1994). | 142 |
| Tabla N° 4.19. Valoración del parámetro rangos de pendiente (Mora y Vahrson, 1994). | 143 |
| Tabla N° 4.20. Valoración del parámetro de disparo por lluvias (Mora y Vahrson, 1994). | 145 |
| Tabla N° 4.21. Valoración del parámetro de disparo por sismicidad (Mora y Vahrson, 1994). | 145 |
| Tabla N° 4.22. Clasificación de la susceptibilidad a deslizamientos (Mora y Vahrson, 1994). | 147 |
| Tabla N° 4.23. Coordenadas geográficas (CRTM-05) de los tractos de tubería de conducción y distribución expuesta en la ASADA San Pedro de Barva. | 172 |
| Tabla N° 4.24: Medidas de preparación para emergencias, ASADA San José de la Montaña. | 187 |
| Tabla N° 4.25: Medidas de preparación para emergencias, ASADA San Pedro de Barva. | 187 |

RESUMEN

El área de estudio comprende el sector administrado por las ASADAS de San José de la Montaña y San Pedro, del cantón de Barva. El objetivo fue el de establecer un plan de gestión del riesgo en los acueductos mencionados mediante la herramienta Gestión Integral de Riesgos en ASADAS (GIRA), herramienta que se desarrolló en una colaboración entre el AyA y el PNUD, con el fin de determinar las amenazas y vulnerabilidades a las que se enfrentan los acueductos, para preservar y mejorar la calidad del servicio que brindan a las comunidades involucradas.

Con respecto a la vulnerabilidad funcional de las ASADAS, la cual evalúa las áreas administrativa, infraestructural, sanitaria y operativa, los acueductos en estudio obtuvieron una clasificación muy baja, excepto en la última, en que obtuvieron una clasificación moderada. Representando ambas clasificaciones condiciones favorables para el acueducto.

En cuanto a la identificación de amenazas dentro de las subcuencas donde se encuentran los componentes de los acueductos, fueron analizadas las amenazas naturales: volcánica, sísmica, inestabilidad de laderas, hidrometeorológicas e incendios forestales. De las cuales, las de mayor probabilidad de impacto y consecuencia fueron la amenaza sísmica, con aceleraciones pico probables de hasta 50% g debido a un sismo en la falla Alajuela, deslizamientos, ya que podrían afectar las nacientes y pasos elevados de tubería, y sequía, debido a pronósticos de disminución de lluvias a finales de siglo, y por tanto de caudales, según proyecciones realizadas por el IMN tomando en cuenta diferentes escenarios de cambio climático.

Mientras que, en relación a las amenazas antrópicas fueron analizadas: derrame de sustancias tóxicas, rotura de tuberías, interrupción de energía eléctrica, pruebas de control de calidad alteradas, desarrollo urbano no planificado y vandalismo. Siendo las de mayor nivel de riesgo, el derrame de sustancias tóxicas, al encontrarse cerca de las nacientes aguas arriba actividades agropecuarias de potencial moderado a alto de contaminación, y desarrollo urbano no planificado, al observarse mediante un análisis de cambio de uso de suelo entre el año 2008 y 2021 un aumento del uso urbano en las zonas de protección de las nacientes.

Entre las principales medidas preventivas a implementar por parte de los acueductos, ambos gestionarán la protección de las zonas de recarga de sus fuentes. En el caso de San José de la Montaña, seguirán las recomendaciones del estudio integral en relación a la construcción de nuevos tanques de almacenamiento, así como el gestionar la captación y aprovechamiento de la naciente Cerro de Piedra. Mientras la ASADA San Pedro, mantendrá actualizado el estudio integral, gestionará el pozo perforado como fuente alternativa y realizará un estudio hidrogeológico para conocer las zonas de protección de las nacientes.

Por último, se recomienda la reestructuración de la herramienta GIRA, de forma que se rescate los aspectos positivos en cuanto a mejoras y mantenimiento de la parte

administrativa e infraestructural, pero que se separe la identificación de las amenazas desde el concepto de probabilidad de ocurrencia a cargo de profesionales, de forma que integren esta visión al plan de gestión de riesgos, optimicen el resultado y conviertan a las ASADA en instituciones resilientes.

Palabras clave: Gestión del riesgo, herramienta GIRA, amenazas naturales, amenazas antrópicas, ASADA San José de la Montaña, ASADA San Pedro, nivel de riesgo, plan de gestión de riesgos, medidas correctivas, medidas preventivas.

GLOSARIO

Las definiciones que se presentan en este apartado en materia de Gestión del Riesgo corresponden a lo estipulado por la Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias y el Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica (CNE-INTECO, 2015).

AMENZA: Peligro latente representado por la posible ocurrencia de un fenómeno peligroso, de origen natural, tecnológico o provocado por el ser humano, capaz de producir efectos adversos en las personas, los bienes, los servicios públicos y el ambiente.

MULTIAMENAZA: Combinación de dos o más factores de amenaza, manifestados de manera aislada, simultánea o por reacción en cadena, para producir un suceso disparador de un desastre.

VULNERABILIDAD: Condición intrínseca de ser impactado por un suceso a causa de un conjunto de condiciones y procesos físicos, sociales, económicos y ambientales. Se determina por el grado de exposición y fragilidad de los elementos susceptibles de ser afectados, la población, sus haberes, las actividades de bienes y servicios, el ambiente, y la limitación de su capacidad para recuperarse.

RIESGO: Probabilidad de que se presenten pérdidas, daños o consecuencias económicas, sociales o ambientales en un sitio particular y durante un periodo definido. Se obtiene al relacionar la amenaza con la vulnerabilidad de los elementos expuestos.

PREPARACIÓN: Conjunto de actividades y medidas tomadas previamente, para asegurar una respuesta anticipada y efectiva ante el impacto negativo de un suceso. Incluye, entre otras medidas: la emisión de alertas y el traslado temporal de personas y bienes de una localidad amenazada.

PREVENCIÓN: Toda acción orientada a evitar que los sucesos negativos se conviertan en desastres: Procura el control de los elementos conformantes del riesgo, por lo que, por una parte, las acciones se orientan al manejo de los factores de amenaza y, por otra, a los factores que determinan la condición de vulnerabilidad.

RESPUESTA: Acciones inmediatas a la ocurrencia de una emergencia; procuran el control de una situación, para salvaguardar obras y vidas, evitar daños mayores, y estabilizar el área de la región impactada directamente por la emergencia.

MITIGACIÓN: Aplicación de medidas para reducir el impacto negativo que provoca un suceso de origen natural, humano o tecnológico.

REHABILITACIÓN: Acciones orientadas a restablecer las líneas vitales (agua, vías de comunicación, telecomunicaciones, electricidad, entre otros), así como al saneamiento básico, la protección de la salud, la asistencia alimentaria, la reubicación temporal de personas y cualquier otra que contribuya a la recuperación de la autosuficiencia y estabilidad de la población y del área afectada por una emergencia.

RECONSTRUCCIÓN: Medidas finales que procuran la recuperación del área afectada, la infraestructura y los sistemas de producción de bienes y servicios, entre otros. En general son acciones que contribuyen a estabilizar las condiciones sociales, económicas y ambientales de las áreas afectadas por una emergencia.

RESILIENCIA: Es la capacidad de una persona u organización, expuesta a una amenaza para resistir, absorber, adaptarse y recuperarse de sus efectos de manera oportuna y eficaz, lo que incluye la preservación y la restauración de sus estructuras y funciones básicas.

SUCESO: Forma específica de manifestación de una amenaza o multiamenaza, la cual, ligada a la vulnerabilidad de una población, a su infraestructura, sus actividades productivas y el ambiente, puede generar una situación de emergencia o desastre, en un espacio y tiempo definido.

DESASTRE: Situación o proceso que se desencadena como resultado de un fenómeno de origen natural, tecnológico o provocado por el hombre que, al encontrar en una población condiciones propicias de vulnerabilidad causa alteraciones intensas en las condiciones normales de funcionamiento de esa comunidad, pérdida de vidas y de salud en la población, destrucción o pérdidas de la colectividad y daños severos al ambiente.

EMERGENCIA: Estado de crisis provocado por el desastre y basado en la magnitud de los daños y las pérdidas. Es un estado de necesidad y urgencia, que obliga a tomar acciones inmediatas con el fin de salvar vidas y bienes, evitar el sufrimiento y atender las necesidades de los afectados. Puede ser manejada en tres fases progresivas: respuesta, rehabilitación y reconstrucción, se extiende en el tiempo hasta que se logre controlar definitivamente la situación.

GESTIÓN DEL RIESGO: Proceso mediante el cual se revierten las condiciones de vulnerabilidad socio ambiental, siendo un modelo sostenible de prevención y mitigación de desastres, así como a la preparación, atención y recuperación ante las emergencias; definición igualmente abordada en el marco normativo expuesto anteriormente.

INTRODUCCIÓN

1.1 Ubicación

El área de estudio políticamente se ubica en los distritos de San José de la Montaña y San Pedro del cantón de Barva, provincia de Heredia. Específicamente en el área administrada por las ASADAS de los distritos mencionados anteriormente, ver figura N° 1.1.

La razón de analizar estas dos ASADAS es porque al tener la metodología GIRA un enfoque por subcuencas, los componentes de ambas comparten las mismas unidades geográficas, por lo que la información de las amenazas presentes en estas es insumo para ambas, pero con grados de afectación distintos de acuerdo a la ubicación de sus componentes. Se delimitan las tres principales subcuencas con influencia en estos acueductos, estas son: la microcuenca del río Ciruelas, en su parte alta, con forma ensanchada, largo de 7,27 km, ancho de 3,96 km y un área de 22,84 km² aproximadamente; la microcuenca del río Porrosatí, en la parte alta y media, con un área de 21,55 km² y forma alargada (11,34 km aprox.), ensanchada en su parte media (2,90 km aprox.) pero estrecha en la parte alta (0,70 km aprox.) y la microcuenca del río Mancarrón, la cual es una microcuenca alargada (12,17 km aprox.) y estrecha (1,05 km aprox.), con un área de 10,68 km².

Geológicamente, en estas subcuencas de forma general aflora la formación Barva. Específicamente en la parte alta y media aflora el miembro Porrosatí, el cual consiste en un depósito de piroclastos de granulometría gruesa inter-estratificados con delgadas capas de ceniza pumítica. En la parte media, aflora el miembro Bermúdez, el cual consiste en una serie de coladas de lava andesítica a basáltica; y en la parte media y baja aflora el miembro Carbonal, constituido por tobas líticas y tobas de ceniza poco consolidadas, que debido a su alto grado de meteorización forma suelos de alta fertilidad (Protti, 1986).

En cuanto al contexto geomorfológico, la microcuenca del río Ciruelas, en su parte alta, se caracteriza por presentar laderas volcánicas denudacionales de alta pendiente y alto grado de disección, por lo que las pendientes se catalogan como muy fuertes (16°-55°) y su patrón de drenaje se clasifica como paralelo. En las subcuencas de los ríos Porrosatí y Mancarrón, en la parte alta y media, donde se concentran la mayoría de los componentes de las ASADAS en estudio, se presentan laderas volcánicas denudacionales de baja pendiente y mediano grado de disección, en las cuales el mayor rango de pendientes es moderado (8°-16°), seguido por pendientes bajas (0°-16°) y las pendientes fuertes (16-35°) se restringen a los barrancos y cárcavas que se forman en los cauces principales y sus afluentes, los cuales presentan un patrón de drenaje dendrítico. Mientras, que en las partes media y baja se presentan laderas volcánicas denudacionales de baja pendiente y bajo grado de disección, con un rango de pendientes bajo entre 0°-16° y un patrón de drenaje subparalelo, donde el desarrollo de barrancos y cárcavas es menor.

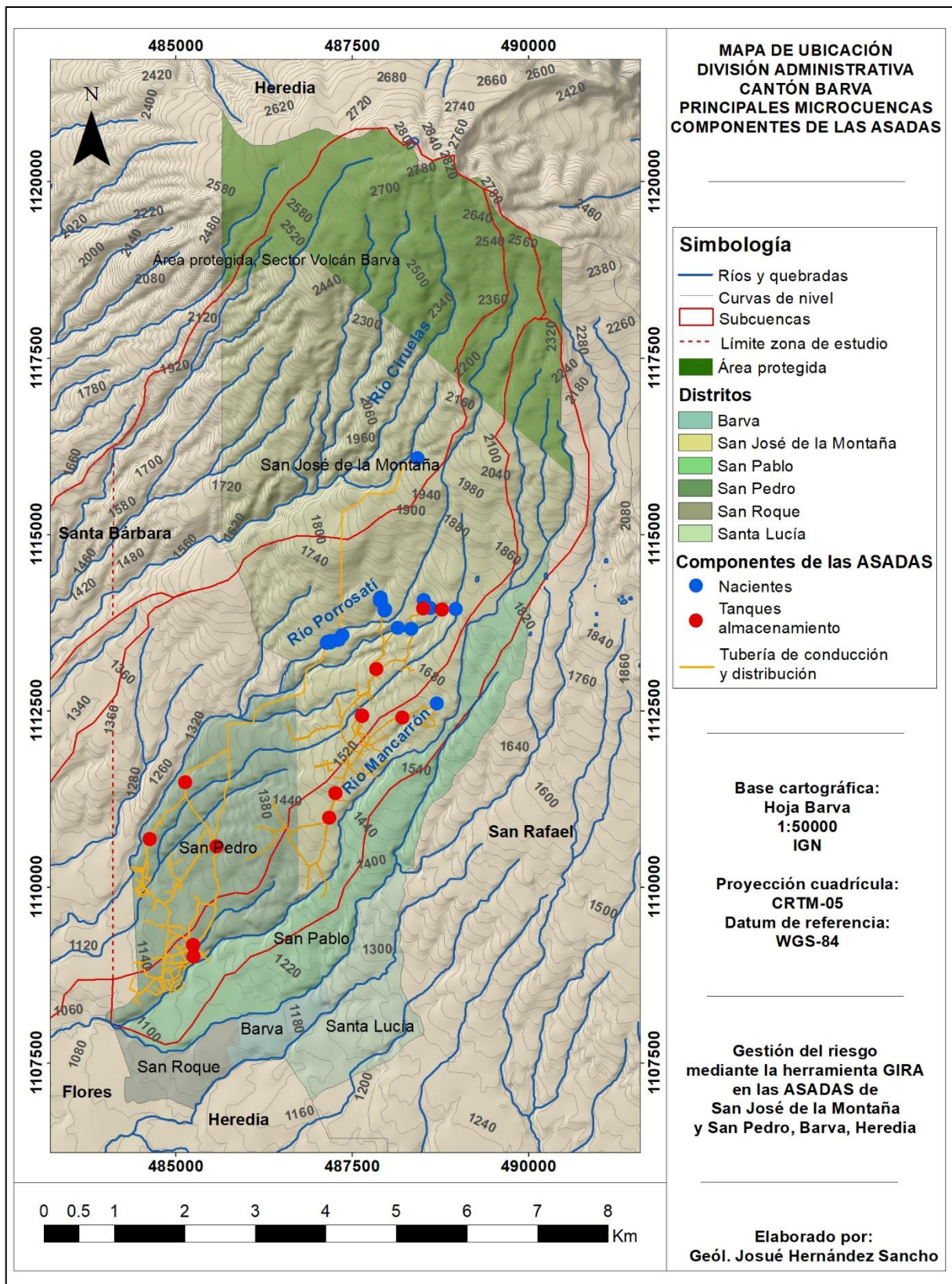


Figura N° 1.1: Figura de ubicación (Elaboración propia).

1.2 Justificación

El marco normativo de la Política Nacional de Agua Potable (PNAP) de Costa Rica 2017-2030 menciona que, desde el marco jurídico, el recurso hídrico se fundamenta en la Constitución Política de la República de Costa Rica, en donde la Carta Magna establece, en el Artículo 21, el derecho fundamental a la vida, el cual viene ligado al de la salud, y con ello, el acceso al agua potable deviene como uno de los garantes de esos derechos. De tal forma, que la falta de acceso al agua o el suministro en condiciones insalubres, constituyen una violación directa a estos derechos humanos fundamentales, y los órganos competentes tienen la responsabilidad ineludible de velar para que la sociedad, como un todo, no vea mermados tales derechos (Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados [AyA], 2016).

Además, el agua en nuestro país es un bien de dominio público y su administración se encuentra sujeta a un orden de prioridades establecidas en el ámbito legal según la Ley de Aguas N° 276 del 27 de agosto de 1942, y sus reformas, y debe considerar los criterios ambientales establecidos en la Ley Orgánica del Ambiente N° 7554 del 04 de octubre de 1995 (AyA, 2016).

De forma similar, el Estado costarricense ha participado activamente adquiriendo compromisos internacionales que se han venido desarrollando de manera gradual en la legislación interna. Entre ellos: el derecho humano de acceso al agua potable señalado en la Declaración de Dublín sobre el agua y el Desarrollo Sostenible celebrada en 1972, la necesidad de realizar una ordenación global del recurso hídrico en la Conferencia de Río de Janeiro en 1972 sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, reconocer y sentar las bases para asumir el compromiso de alcanzar el acceso universal de todos los pueblos al agua potable en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Agua celebrada en Mar de Plata en 1977 y el compromiso por parte de los Estados de asegurar la igualdad de oportunidades para todos de disfrutar de los recursos básicos en la Declaración sobre el Derecho al Desarrollo adoptada por la Asamblea General de la ONU de 1986 (AyA, 2016).

También, la Convención Americana sobre Derechos Humanos en materia de Derechos Económicos, Sociales y Culturales, San Salvador 1988, dispone el derecho de toda persona a vivir en un medio ambiente sano y a contar con servicios públicos básicos; mientras que la Declaración sobre el agua potable y el saneamiento para 1990, celebrada en Nueva Delhi, reconoció el agua potable y los medios adecuados de eliminación de desechos como el eje de la gestión integrada de los recursos hídricos (AyA, 2016).

Más reciente, la Asamblea de las Naciones Unidas mediante Resolución N° 64/292 del 28 de julio de 2010 y Resolución N° 70/169 del 17 de diciembre de 2015, reconoció explícitamente el derecho humano al agua y saneamiento, reafirmando que el agua potable limpia y el saneamiento son esenciales para la realización de todos los derechos humanos (AyA, 2016). Por su parte, la Agenda de Desarrollo Sostenible 2030, del 25 de septiembre del 2015, enuncia 17 Objetivos de Desarrollo Sostenibles (ODS), de los cuales el Objetivo 6 plantea el garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos. Estableciéndose en el documento, Costa Rica: Agua y Saneamiento 2030,

Análisis relacionado al ODS 6, Agua limpia y saneamiento (Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica [MIDEPLAN], 2018), que el país deberá redoblar los esfuerzos para alcanzar la universalización de los servicios de agua potable y de saneamiento a más tardar en el año 2030.

Por último, la Convención Marco sobre el Cambio Climático, aprobada en New York el 9 de mayo de 1992 y la Conferencia de las Partes COP21, celebrada en Francia el 12 de diciembre del 2015, adoptó el Acuerdo de París, cuyo Protocolo fue ratificado por nuestro país el 22 de abril del 2016, estableciéndose aspectos que inciden directamente sobre el recurso hídrico y con ello al acceso al agua potable, tales como: las partes reconocen la importancia de evitar, reducir al mínimo y afrontar las pérdidas y los daños relacionados con los efectos adversos del cambio climático y las esferas en las que se deberá actuar de manera cooperativa para mejorar la comprensión, las medidas y el apoyo, incluyendo sistemas de alerta temprana tanto para amenazas naturales como antrópicas, preparación para situaciones de emergencia, identificación de los fenómenos que pueden producir pérdidas y daños permanentes e irreversibles y la evaluación y gestión integral del riesgo (AyA, 2016).

Sin embargo, aunque el acceso al agua sea un derecho universal, es cada vez más difícil garantizarlo debido al impacto climático y la acumulación de la población (MIDEPLAN, 2018). Siendo necesario el mejoramiento de los sistemas de potabilidad del agua y la reducción de las desigualdades de cobertura entre zonas urbanas y rurales (Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo [AECID], 2016).

Por otra parte, Costa Rica se encuentra en un margen tectónico de convergencia producto de los esfuerzos que la zona de subducción entre las placas del Coco y Caribe generan (Figura N° 1.2) y cuyo rasgo morfotectónico es la Fosa Mesoamericana, evidencia externa del contacto entre estas. Sumado al movimiento de la Placa Suramericana hacia el noroeste, responsable de los regímenes compresivos en la costa caribe de Panamá y Costa Rica y del fallamiento inverso denominado Cinturón Deformado del Norte de Panamá (CDNP) asociado al norte de la llamada microplaca de Panamá; que de igual forma en su límite oeste con la placa Caribe definen el Cinturón Deformado del Centro de Costa Rica (CDCCR) (Marshall et al., 2000; Montero, 2001). El cual constituye un sistema ancho de fallas y pliegues activos en la parte central del país, de modo que el Valle Central está atravesado por este cinturón de deformación (Montero et al., 2005).

Sumado a lo anterior, las condiciones climáticas de Costa Rica generan de manera periódica eventos meteorológicos que inciden en el régimen de precipitación, tales como ciclones tropicales, fenómenos de baja presión en el mar Caribe, la Zona de Convergencia Intertropical, los frentes fríos, las ondas del Este y los períodos de El Niño y La Niña. Siendo ejemplos recientes de esta realidad el año 2017, el cual estuvo marcado por una serie de eventos climáticos que incrementaron las precipitaciones a nivel nacional y las intensidades de lluvia a nivel local, de estos el más sobresaliente fue el evento climático conocido como tormenta Nate, el cual generó lluvias entre el 4 y 6 de octubre del 2017, y más recientemente, el huracán ETA que provocó lluvias en la mayor parte del territorio nacional entre el 31 de octubre y el 7 de noviembre del 2020.

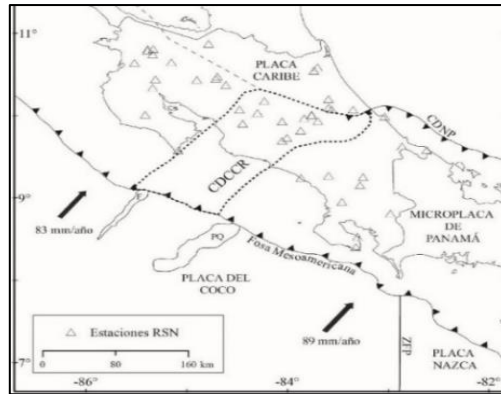


Figura N° 1.2: Marco tectónico de Costa Rica, donde CDCCR es el Cinturón Deformado del Centro de Costa Rica y el CDNP es el Cinturón Deformado del Norte de Panamá (tomado de Arroyo et al., 2017).

En consecuencia, debido a la ubicación geográfica y tectónica de nuestro país, las inundaciones, los procesos erosivos, los deslizamientos y flujos de lodo, así como los sismos, y erupciones volcánicas son eventos de ocurrencia reiterada en el país (AyA, 2016). De modo que eventos derivados de estos procesos pueden generar daños importantes en la infraestructura vital, y en este caso específicamente en los acueductos, por lo que resulta de suma importancia procedimientos técnicos en la gestión del riesgo.

Otro aspecto importante de contextualizar, es la realidad reciente del recurso hídrico en Costa Rica, en donde la contaminación de sus ríos y acuíferos, sequías, racionamientos y su menor disponibilidad para los diferentes tipos de usos (consumo humano, agrícola, industria, turismo), conduce a conflictos sociales entre lo que corresponde a consumo humano y las actividades económicas que también son de gran importancia para el desarrollo socioeconómico del país (AyA, 2016), así como la problemática de abastecimiento de agua potable a la población en constante crecimiento, en el que el X Censo Nacional de Población y Vivienda realizado por el Instituto Nacional de Estadística y Censo (INEC, 2011) menciona un crecimiento poblacional con una tasa aproximadamente constante del 10 % y que en el país 90100 viviendas que representan al menos 318 000 personas deben buscar los mecanismos para autoabastecerse de agua, provocando costos mayores y una mayor exposición al riesgo para la salud. Sumando el hecho de que el acceso al agua de consumo con conexiones intradomiciliarias en la Gran Área Metropolitana es superior al 90 %, frente al resto del país con accesos menores al 89 % (AyA, 2016).

Debido a esto resulta significativo el papel de las ASADAS como segundo ente operador del país al abastecer a un 25,5 % de la población y existiendo más de 1400 acueductos (AyA, 2016) y aún más el papel del AyA con la responsabilidad de ejercer una acción de rectoría técnica eficaz. Razón por la que el fortalecimiento de las capacidades técnicas de los diferentes entes operadores permitirá su preparación para nuevos desafíos y sobre todo garantizar el derecho humano al acceso al agua potable para las actuales y futuras generaciones.

Además, tomando en cuenta el punto de vista administrativo, si bien el país ha desarrollado una institucionalidad pública en cuanto al recurso, el AyA no ha asumido en

su totalidad su papel, pues absorbe principalmente las operaciones de acueductos y alcantarillado, provocando un bajo nivel de integración y ausencia de un plan nacional de planificación del recurso hídrico en el país, generando finalmente que la gestión del agua no tenga un real control por parte del AyA (MIDEPLAN, 2018).

Por lo tanto, con el fin de englobar el marco jurídico y las amenazas que lo aquejan, así como la realidad actual del recurso hídrico en el país, han surgido políticas, objetivos y planes a nivel nacional que promueven la gestión integral del riesgo en general y aplicada al recurso hídrico. En materia general, la Ley Nacional de Emergencias y Prevención del Riesgo N° 8488, publicada el 11 de enero del 2006, define en su artículo N° 4, la Gestión del Riesgo como un proceso mediante el cual se revierten las condiciones de vulnerabilidad de la población, los asentamientos humanos, la infraestructura, así como de las líneas vitales, las actividades productivas de bienes y servicios y el ambiente, siendo un modelo sostenible y preventivo, al que se incorporan criterios efectivos de prevención y mitigación de desastres, dentro de la planificación territorial, sectorial y socioeconómica, así como a la preparación, atención y recuperación ante las emergencias.

Específicamente con respecto al recurso hídrico, el AyA, en atención al artículo N° 14, inciso e, y N° 25 de la ley mencionada anteriormente, en los que se indica que los órganos del Estado deben incluir criterios de Gestión del Riesgo en la planificación y la ejecución de los planes, programas y proyectos que promuevan el desarrollo del país, realizó en el 2013 el Manual de Procedimientos de Gestión del Riesgo para la Atención de Emergencias y Desastres en el AyA.

Este manual resulta en un fortalecimiento de los procesos de capacitación y construcción social que le permite a la institución planificar y organizarse para una respuesta eficiente y eficaz en situaciones de emergencia y desastres, protegiendo a la población y garantizando el servicio. Este consta de una estructura institucional para la atención de emergencias bajo la modalidad técnica y administrativa, y resaltan las funciones y responsabilidades del Comité operativo comunal, el cual tiene que evaluar el estado de la situación en el sitio de ser posible e identificar prioridades y necesidades humanas, de equipo, materiales o económicas, así como preparar un informe preliminar de la situación de las ASADAS y coordinar la ejecución de un plan de acción para la rehabilitación del servicio, siempre en comunicación con el Comité Central de Emergencias del AyA (AyA, 2013).

Luego el AyA (2016) promulgó la Política Nacional de Agua Potable de Costa Rica 2017-2030 (PNAP), la cual resulta ser un instrumento de planificación con una visión prospectiva del desarrollo, orientando las acciones de la rectoría técnica de AyA y otros actores, como el Ministerio de Planificación y Política Económica, para asegurar la incorporación de sus contenidos en los planes nacionales futuros, permitiendo el desarrollo del país en razón de que la Política orienta las bases para articular las acciones del Subsector de Agua Potable y de los compromisos internacionales del país.

Esta política, en materia de gestión del riesgo y su impacto en el sistema de servicio de agua potable, indica que la ubicación geográfica y tectónica de nuestro país como

anteriormente se mencionó, condiciona la existencia permanente de amenazas naturales, que, junto con las antrópicas, deben ser caracterizadas para gestionar su riesgo a partir del nivel de exposición, siendo necesario que los operadores promuevan inversiones que garanticen su resiliencia ante eventos naturales y antrópicos, priorizando su restablecimiento oportuno mediante planes de contingencia, continuidad de negocio y rehabilitación del servicio, con la premisa fundamental de asegurar el abastecimiento de agua potable a toda la población (AyA, 2016).

Más recientemente; con la promulgación del Reglamento de ASADAS, decreto ejecutivo 42582-S-MINAE (2020), toma en consideración la Gestión del Riesgo en diversos artículos: en el inciso k del artículo 28, establece como uno de los derechos de la ASADA recibir la asesoría, acompañamiento y asistencia técnica rectora que requieran en la atención de emergencias y desastres que se les presenten. Por su parte; el artículo 47, inciso f, establece que la ASADA deberá contar con un Plan de Gestión de Riesgos, para evitar la afectación a la prestación de los servicios. Este plan implementará una metodología que le permita administrarlos reduciendo la consecuencia y la probabilidad.

También, la Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos (ARESEP), fomenta la iniciativa de la tarifa de protección del recurso hídrico, la cual busca generar recursos financieros para que los entes prestadores del servicio de abastecimiento de agua potable puedan desarrollar proyectos que fortalezcan, de manera efectiva y sostenible, la capacidad de abastecer el servicio de agua y promover el uso racional del recurso hídrico (ARESEP, 2021a) y así, de esta forma contribuir con las metas propuestas en los Objetivos del Desarrollo Sostenible (ODS) emitidos por las Naciones Unidas, especialmente las orientadas a disminuir los efectos del cambio climático y garantizar el suministro futuro de agua limpia con calidad y cantidad adecuadas (ARESEP, 2021b).

Por último, a raíz de lo mencionado anteriormente en cuanto a la presencia constante de amenazas y que la mayoría de emergencias y desastres en el país tienen efectos en la infraestructura de las ASADAS y por ende en los servicios que proveen como operadores afectando la calidad de vida de las comunidades, sus finanzas y la capacidad de recuperación. Sumado al hecho que las ASADAS prestan su atención en restablecer los servicios de agua durante las emergencias, pero no en analizar y entender las circunstancias que llevaron al desastre y por ende evitar repetir las causas que generaron el riesgo en un principio. El AyA recientemente, en su tarea de proporcionar herramientas como institución rectora y seguir en la línea de fomentar la gestión del riesgo en entes operadores del recurso hídrico, junto con el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, Costa Rica (PNUD), desarrollaron la herramienta GIRA (AyA y PNUD, 2019).

La cual es específicamente para las ASADAS, y busca que estas puedan desarrollar autoevaluaciones y definir cursos de acción hacia el desarrollo sostenible, incorporando la identificación, evaluación, prevención y mitigación de riesgos futuros, para así fomentar la resiliencia, recuperarse ante eventuales impactos de las amenazas y dar respuesta a las emergencias, con el fin último de garantizar un servicio de cantidad y calidad para el bienestar de las personas usuarias.

¿Por qué en las ASADAS de San José de la Montaña y San Pedro de Barva, y por qué se escogió implementar la herramienta GIRA?

El proyecto ED-2873: La Cultura del Agua, como insumo para la Gestión Integrada del Recurso Hídrico, inscrito en la Vicerrectoría de Acción Social y desarrollado desde el Centro de Investigaciones en Ciencias Geológicas, tenía como interés el implementar la herramienta GIRA para analizar su metodología e identificar su idoneidad como herramienta para incorporar el tema de la gestión del riesgo en la administración de las ASADAS.

Motivo por el cual, con la intención de colaborar con las instituciones del cantón de Barva y por cercanía, debido a las limitaciones a raíz del COVID-19, se propuso a las ASADAS de San José de la Montaña y San Pedro de Barva el realizar este proyecto en sus acueductos, obteniendo respuestas positivas, ya que ambos mencionaron el hecho que sus acueductos, en conjunto con otras 61 ASADAS, forman parte del proyecto, fortalecimiento de ASADAS del Gran Área Metropolitana y ciudades periféricas para la mejora de su gestión y resiliencia frente al cambio climático, denominado ASADAS Resilientes. El cual es producto del trabajo conjunto del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA), Autoridad Reguladora de Servicios Públicos (ARESEP) y el Centro de derecho ambiental y de los recursos naturales (CEDARENA), con el financiamiento de la organización gubernamental EUROCLIMA+.

Este tiene dentro de sus objetivos diagnosticar la vulnerabilidad climática en los acueductos, así como la adaptación de estos al cambio climático, analizando las amenazas y sus impactos, como también su capacidad adaptativa y resiliencia, para así fortalecer la labor que realizan. De forma que, dentro de su diagrama de trabajo, en la etapa correspondiente a la temática de mejora de la resiliencia en los acueductos, menciona para la elaboración y actualización de planes, a la herramienta GIRA como una opción (CEDENARE, 2022), ya que su metodología, de manera homóloga con el proyecto, tiene el objetivo de fortalecer las capacidades de las Juntas Directivas, personal técnico y administrativo de las ASADAS en la identificación, valoración, administración y comunicación de los riesgos que pueden afectar la prestación de los servicios que brindan, así como desarrollar los mecanismos de respuesta y recuperación ante los impactos de amenazas (AyA y PNUD, 2019).

Por lo tanto, al encontrarse las ASADAS en estudio dentro de una línea de acción en promover la resiliencia ante los posibles impactos de las amenazas tanto naturales como antrópicas, así como el adaptarse a los efectos del cambio climático, sumado al hecho que los mismos ya han sufrido algunas afectaciones tales como, disminución en los caudales durante el fenómeno del Niño, rotura de tuberías producto de caída de árboles por encontrarse enraizados a un subsuelo susceptible a la erosión, así como aumento de coliformes fecales en algunas de sus nacientes y vandalismo, tanto la parte administrativa como departamento técnico tenían el interés en aplicar alguna metodología en materia de gestión del riesgo en beneficio del acueducto y de sus usuarios, en este caso la herramienta GIRA.

1.3 Objetivo general

Establecer un plan de gestión del riesgo en las ASADAS de San José de la Montaña y San Pedro de Barva mediante la metodología GIRA, con el fin de determinar las amenazas y vulnerabilidades a las que se enfrentan, para preservar y mejorar la calidad del servicio que brindan a las comunidades involucradas.

1.4 Objetivos específicos

1. Caracterizar la vulnerabilidad operativa, sanitaria, administrativa e infraestructural de las ASADAS de San José de la Montaña y San Pedro, con el fin de evaluar su capacidad funcional.
2. Identificar las amenazas naturales y antrópicas de las subcuencas que abastecen a las ASADAS de San José de la Montaña y San Pedro de Barva, con el fin de conocer la probabilidad y consecuencia de su impacto en el sistema general del acueducto.
3. Cuantificar el riesgo de la afectación de las ASADAS de San José de la Montaña y San Pedro ante eventos por medio de la metodología GIRA, con el fin de priorizar sus planes de acción.
4. Analizar la estructura de la metodología GIRA con el fin de identificar su grado de pertinencia como instrumento útil para incorporar el tema de la gestión del riesgo en la administración de las ASADAS.

1.5 Metodología

El presente trabajo implementó la herramienta de Gestión Integral de Riesgos en ASADAS, denominada GIRA (AyA y PNUD, 2019), la cual se desarrolló en una colaboración entre el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA) y el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), con el auspicio del Fondo Global para el Medio Ambiente (GEF).

Esta herramienta de gestión tiene como objetivo fortalecer las capacidades de las Juntas Directivas, personal técnico y administrativo de las ASADAS para la identificación, evaluación y administración de los riesgos que pueden afectar a los sistemas y a los servicios que brindan, y desarrollar los procedimientos necesarios para la prevención y mitigación de riesgos, así como dar respuesta de emergencia y recuperarse ante eventuales impactos de las amenazas.

Como insumos para el desarrollo de esta metodología se utilizaron varios instrumentos como el Plan de Seguridad del Agua, los manuales de Gestión Integral del Riesgo para Organizaciones Comunitarias del Agua, de Atención de Emergencias y Desastres del AyA, de Entes Operadores del Programa Sello de Calidad Sanitaria del Laboratorio Nacional de Aguas y la Guía de Inspección SERSA del Ministerio de Salud (AyA y PNUD, 2019).

GIRA responde inicialmente al enfoque del Modelo de Atención a ASADAS del AyA al diagnosticar, mediante el llenado de cuestionarios, el estado de la ASADA y la identificación de acciones correctivas o de mitigación en las áreas operativas, sanitarias,

administrativas e infraestructura, dando origen al Plan de Gestión Integral de Riesgos en ASADAS, incorporando lineamientos del Plan de Emergencias, el Plan de Seguridad del Agua y el Plan de Adaptación al Cambio Climático.

También, para brindar a las ASADAS un punto de partida reconocible en su territorio y poder ubicar sus componentes, GIRA utiliza como unidad geográfica de análisis la subcuenca, la cual es definida según el AyA de acuerdo a la información resguardada en el Sistema de Apoyo y Gestión de ASADAS (SAGA) integrado en la herramienta; proponiendo utilizar los modelos de cambio climático del Instituto Meteorológico Nacional (IMN), la información sobre amenazas de la Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias (CNE), la información disponible en SAGA en cuanto a posibles amenazas y el conocimiento local de las personas relacionadas con actividades técnicas, administrativas y de junta directiva en las ASADAS, con el fin de fortalecer la toma de decisiones informada.

A modo de resumen, la herramienta GIRA utiliza una metodología que analiza las necesidades de la ASADA para elaborar planes de acción en materia de gestión de riesgos.

En cuanto a la interfaz, la herramienta GIRA es de carácter interactiva con el usuario, muestra un menú con los pasos básicos a completar para la creación del plan de gestión, en donde cada vínculo abre una pestaña para ingresar la información que corresponde a cada paso o etapa y una vez verificada o completada, se cuenta con la opción de guardar dicha información y registrar los resultados en la base de datos interna de la herramienta, como insumo para los próximos vínculos. Así como también se cuenta con la opción de regresar al menú principal y facilitar la navegación dentro de la herramienta.



Figura N° 1.3: Pestaña Menú principal de la herramienta GIRA (tomado de AyA y PNUD, 2019).

A continuación, se describen las seis etapas desarrolladas, indicando en algunos apartados de estas la realización de otros insumos aparte de los de la herramienta, como mapas o descripciones, con el fin de apoyar la información requerida o visualizar de mejor forma los resultados que la herramienta necesita y genera respectivamente, pero sin cambiar la consecución de sus etapas y metodología para lograr su objetivo.

A. Metodología herramienta GIRA

a) Caracterización del sistema

En esta etapa primeramente se estableció el equipo de trabajo encargado de realizar o apoyar en la elaboración de la herramienta GIRA, este equipo estuvo compuesto por los administradores, algunos miembros del departamento técnico de cada acueducto y el autor de este trabajo de investigación. Luego se realizó una descripción detallada de los componentes de la infraestructura de las ASADAS, así como un mapa que grafica su distribución y ubicación en el entorno natural y de la comunidad.

La descripción detallada se realizó mediante una ficha técnica que registra la información sobre el acueducto, especificando la ubicación y características de los componentes del sistema y las fuentes de abastecimiento. Esta información se obtuvo mediante el Formulario Unificado en la base de datos SAGA del AyA, incorporada ya en la base de datos de la herramienta GIRA. Sin embargo, esta información se confrontó con la información suministrada por el equipo técnico-administrativo de la ASADA y lo observado en campo, de forma que en los casos donde se encontró diferencias con la base de información SAGA, se corrigió o actualizó la información dentro de la ficha que proporciona la herramienta.

El mapa propuesto por la metodología se creó siguiendo la idea de un rompecabezas, en donde se utilizaron fichas de tres tipos: componentes del ambiente y comunidad, componentes del sistema de acueducto y alcantarillado y posibles amenazas causadas por la acción humana, de modo que su integración permitió visualizar gráficamente algunas posibles vulnerabilidades reflejadas. Para luego, definir zonas de riesgo de forma preliminar con unos íconos circulares de color rojo las de riesgo alto, naranja riesgo moderado y amarillo riesgo bajo.

Sin embargo, cabe aclarar que el mapa propuesto en esta etapa es ilustrativo para visualizar las vulnerabilidades en relación al entorno natural en que se encuentran los componentes del acueducto, pero para efectos de este proyecto se realizó un mapa en un sistema de información geográfica que muestra la ubicación y distribución de los componentes del acueducto para una mejor visualización, así como una caracterización y visualización más detallada de las amenazas antrópicas y naturales.

b) Análisis de vulnerabilidades.

Se procedió con una evaluación mediante cuestionarios proporcionados por la herramienta GIRA de los diferentes aspectos que debe velar la ASADA dentro del sistema en cuatro categorías: operativa, sanitaria, administrativa e infraestructura. De modo que todas las respuestas negativas fueron luego insumo para identificar las oportunidades de mejora interna de las ASADAS mediante el plan GIRA. A continuación, la explicación de cada uno de estos aspectos evaluados.

La vulnerabilidad operativa valora el nivel de control del mantenimiento y operación del sistema, el manejo de procedimientos adecuados y bitácoras de control.

La vulnerabilidad sanitaria se analiza desde dos perspectivas. La primera consiste en la certificación del Sello de Calidad Sanitaria, la cual es una iniciativa del Laboratorio Nacional de Aguas que incentiva a las ASADAS al mantenimiento y mejora de las condiciones de las estructuras del sistema y consiste en una serie de puntos que se ganan por el cumplimiento de requisitos. En este sentido la herramienta GIRA ofrece una evaluación de este puntaje para determinar lo que se debe mejorar para lograr dicha certificación. El segundo aspecto analiza el estado de cada componente del acueducto y que tan susceptibles se encuentran a los riesgos sanitarios.

El aspecto administrativo, como motor de acción de los demás componentes de la ASADA, es evaluado en cuanto a su gestión y valora las vulnerabilidades que le limitan a prevenir, atender y mitigar posibles riesgos.

Por último, la vulnerabilidad de la infraestructura evalúa las condiciones físicas en las que esta se encuentra, si ha cumplido o no su vida útil, si se conoce las especificaciones técnicas de las partes y su ubicación, además de cuestionar si los componentes del sistema se encuentran en situaciones de alta vulnerabilidad.

c) Análisis de amenazas de la subcuenca.

Al tener la metodología un enfoque de análisis por subcuenca en donde se ubican los acueductos, se identificó la existencia de amenazas por causas naturales o por acción humana, su probabilidad de afectación y el nivel de consecuencia sobre los componentes de la infraestructura y servidores de agua, para establecer soluciones que mitiguen dichos riesgos. Además, de evaluar el grado de preparación ante una emergencia por parte de las ASADAS.

Para el análisis de amenazas se tomó en cuenta dentro de las amenazas naturales, tormenta e inundación, sequía, terremoto, deslizamiento, erupciones volcánicas e incendios forestales. Mientras que dentro de las amenazas antropogénicas se consideraron derrames de sustancias tóxicas, rotura de tuberías, interrupción de suministro de energía, prueba de control de calidad alterada, desarrollo urbano no planificado y vandalismo. El resultado de esta investigación determinó la exposición de las ASADAS a cada amenaza en cuatro categorías: muy alta, alta, moderada y baja.

Seguidamente se procedió a analizar, según los componentes con mayor exposición, la consecuencia que el impacto de una amenaza tendría en la infraestructura del sistema, tomando en cuenta el costo, el porcentaje de abonados que quedarían sin servicio de agua y el número de días aproximados de afectación.

Con respecto a la definición y por ende identificación de amenazas dentro de las subcuencas donde se ubican los acueductos, la amenaza desde la metodología GIRA, se entiende como un peligro latente en el entorno ambiental en el que se encuentran ubicados los componentes del acueducto y por lo tanto capaz de producir un impacto negativo en las personas o infraestructura en relación a su cercanía, clasificando como veremos en la próxima etapa un valor de acuerdo a la probabilidad de ocurrencia del evento y nivel de consecuencia, cuadros N° 1.1 y 1.2 respectivamente. Proponiendo utilizar para su

identificación modelos de cambio climático del IMN, información sobre amenazas de la CNE, información del sistema SAGA y aprovechar el conocimiento local de personas relacionadas con actividades técnico-científicas en el área, que pudieran brindar información sobre la ocurrencia de fenómenos naturales y su impacto en el pasado.

Sin embargo, con el fin de identificar mejor las amenazas en el área de estudio, se realizaron visitas de campo, se consultaron documentos bibliográficos como informes internos de la municipalidad o de las mismas ASADAS, así como estudios con mayor grado de conocimiento técnico científico u opinión de experto para mejorar la identificación de la amenaza en un sentido más de probabilidad de ocurrencia del evento, ya que la metodología GIRA reduce el concepto a un inventario de las amenazas solamente, lo cual brinda información valiosa, pero de poco alcance. A continuación, se muestran diagramas para cada una de las amenazas naturales y los documentos o mapas consultados o realizados, para una identificación y caracterización más aceptada.

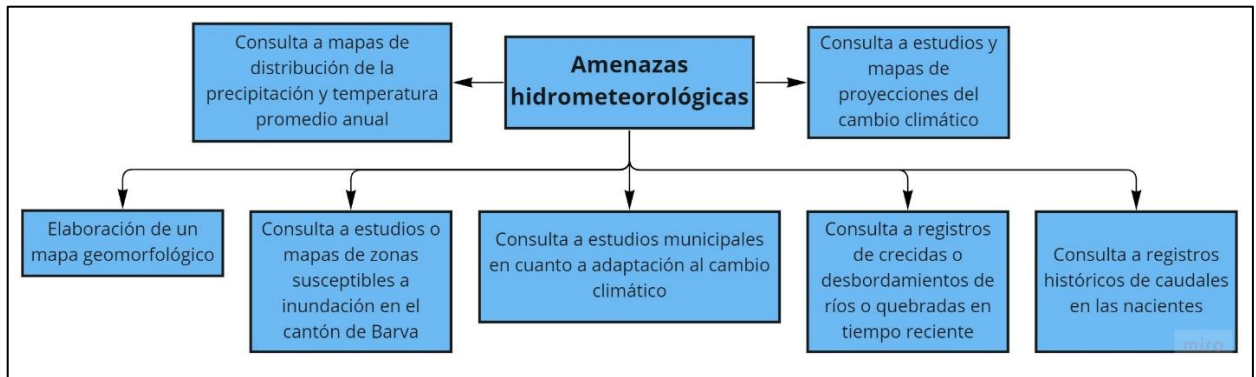


Figura N° 1.4: Diagrama para la identificación y caracterización de las amenazas hidrometeorológicas (elaboración propia).

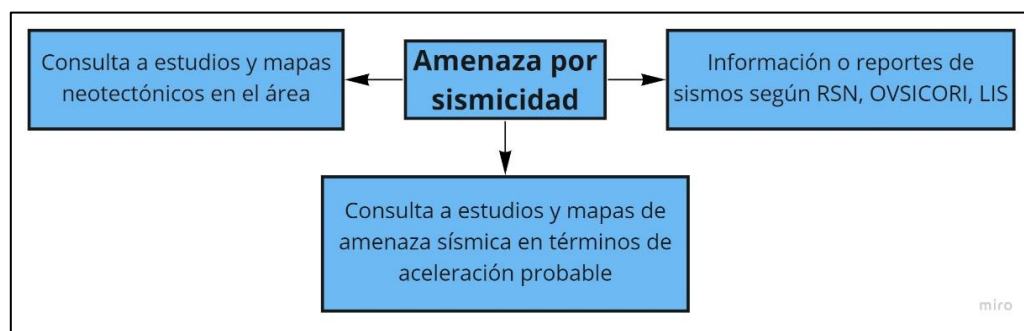


Figura N° 1.5: Diagrama para la identificación y caracterización de la amenaza por sismo (elaboración propia).

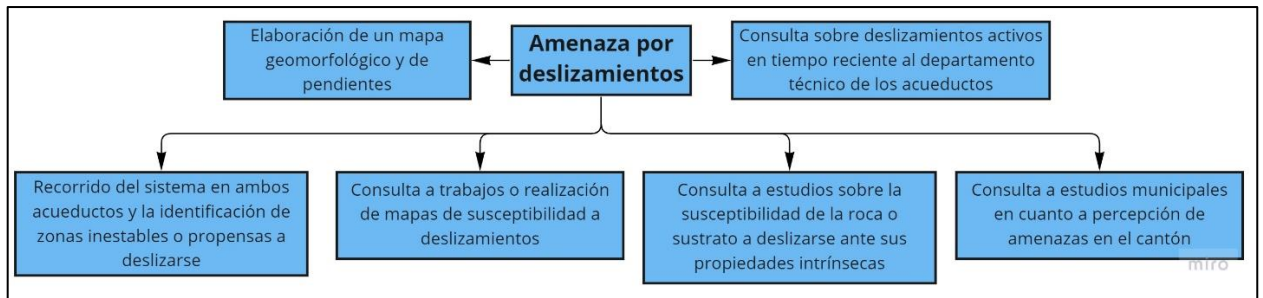


Figura N° 1.6: Diagrama para la identificación y caracterización de la amenaza por deslizamiento (elaboración propia).

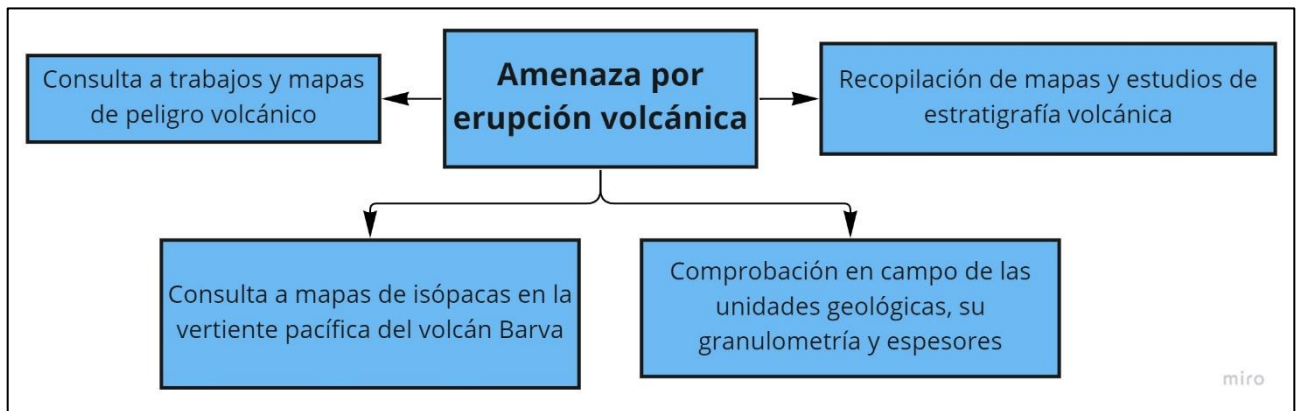


Figura N° 1.7: Diagrama para la identificación y caracterización de la amenaza por erupción volcánica (elaboración propia).

Por último, la amenaza natural por incendios se abordó consultando a vecinos del área con conocimiento local, así como a los mismos miembros del equipo de trabajo de la ASADA, sobre la ocurrencia e impactos de esta amenaza en el pasado, tanto en la comunidad como en el acueducto, así como del conocimiento sobre el riesgo ante esta amenaza en algún sector en específico del acueducto. Además, se analizó el tipo de clima y vegetación en el área de estudio, y su relación con la posibilidad de propiciar este tipo de amenaza natural.

Con respecto a las amenazas antrópicas, a continuación, se muestra igualmente la metodología con la que se identificaron y caracterizaron.

El derrame de sustancias tóxicas se abordó mediante la consulta a estudios de carga contaminante y vulnerabilidad a la contaminación en acuíferos en el área de estudio, así como identificando mediante mapas de uso de suelo, visitas de campo y conocimiento del equipo técnico del acueducto, posibles lugares que por su actividad agroindustrial puntual o áreas de población, en cuanto al manejo de aguas pluviales y negras, pudieran afectar la calidad del agua en algún punto del sistema, como también el haber confrontado lo observado con mapas de vulnerabilidad hidrogeológica de SENARA y estudios similares, así como el analizar la ubicación de las fuentes de abastecimiento y su entorno.

Para la amenaza de rotura de tuberías, se recorrieron las líneas de conducción y distribución identificando los puntos donde está se encontraba expuesta, el material del que están hechas y las características del entorno, de modo que se pudiera identificar la exposición de la tubería y su posible afectación.

Con respecto a pruebas de control de calidad alterada se analizó la metodología que utilizan las distintas ASADAS para medir y reportar sus valores de control, así como la forma en la que llevan el registro de los datos.

La amenaza por desarrollo urbano no planificado, se abordó con un análisis del uso de suelo, en el que se cuantificó el cambio de uso con respecto a la información del proyecto de actualización cartográfica de usos de la tierra a escala 1: 10 000 en la Gran Área Metropolitana MIVAH (2008), específicamente las hojas cartográficas Burío, Chompipe, Chorreras, Gongolona, La Hoja, Porrosatí, Sacramento y Turales, en las cuales el uso de suelo se clasificó en bosque, cultivos de café, cultivos mixtos, pastos, pastos con árboles dispersos, urbano, áreas de transición a uso urbano y red vial; e información del uso de suelo actual con las mismas clasificaciones a partir de la imagen de mapa base de ESRI: Add Basemap Imagery (2021). Asimismo, con el componente de las nacientes, en ambos acueductos se realizó igualmente una comparación entre el uso de suelo del año 2008 y 2021 según los resultados del análisis anterior, pero específicamente en sus áreas de protección.

Para el caso de San José de la Montaña se utilizaron las áreas determinadas por Arias (2012b), quien utilizó como metodología el criterio para la determinación del tiempo de tránsito, el cual evalúa el tiempo que un contaminante tarda en llegar al manantial que se desea proteger, de forma que este permita su degradación o proporcione una capacidad de reacción que haga posible un cambio temporal en la fuente de suministro a la población, hasta que la degradación de la calidad de las aguas extraídas disminuya a límites aceptables. Siendo este lapso de tiempo el de persistencia de organismos patógenos en la zona no saturada de tipo granular (70 días) o de tipo fracturado (100 días) según lo propuesto por Losilla y Rodríguez (1994). En conjunto con otra segunda metodología propuesta por Losilla (1992), que toma en consideración aspectos hidrogeomorfológicos, al definir el área de protección con base en las divisorias de la cuenca hidrográfica donde se encuentra el manantial, asumiendo que los límites de la cuenca hidrogeológica coinciden con los límites de la cuenca hidrológica, según la cual se sigue la curva de elevación topográfica más baja del manantial, a ambos lados, hasta cruzar un cauce considerado influente, y se sigue por las divisorias hasta unirse en la parte superior.

Para el caso de San Pedro, al no existir estudios en cuanto a zonas de protección de las nacientes, se utilizó un radio fijo de 200 m, lo cual responde al artículo 31 de la Ley de Aguas N° 276 del 27 de agosto de 1942, al ser sitios de captación o tomas surtidoras de agua potable.

Finalmente, para analizar las amenazas por interrupción de energía y vandalismo, se consultó a las personas funcionarias de las ASADAS, si algún componente podría verse afectado por cortes en el servicio eléctrico y sobre la ocurrencia de actos vandálicos.

Además, se realizaron visitas de campo para identificar factores de inseguridad presentes en los componentes del sistema, tales como, ausencia de malla de seguridad alrededor de tanques de almacenamiento o zonas de captación o falta de candados en las tapas de seguridad de tanques de reunión.

El fin último de haber identificado y cartografiado las amenazas en las subcuencas en donde se encuentran los sistemas de las ASADAS en estudio, fue contraponer la ubicación de las zonas de amenaza con la distribución en el entorno ambiental de los componentes, para cuantificar el daño que estas pudieran causar al sistema y por ende la afectación a las personas usuarias del servicio de agua potable, lo cual se muestra más claramente en la ficha que proporciona la herramienta GIRA, ver figura N° 1.8.

Estimación del nivel de consecuencia de la amenaza

Analicar el impacto de la amenaza: Incendio Forestal/Urbano

Complete la siguiente información que estima el costo del impacto de los daños en infraestructura y el impacto en el servicio de agua

Costo del impacto en la infraestructura (Reparación o sustitución)

| | |
|-------------------------------------|-------------------------|
| Fuentes de abastecimiento de agua | Entre €5 y €15 Millones |
| Líneas de conducción y distribución | Entre €1 y €5 Millones |
| Tanques de almacenamiento | Menor a €1 Millón |
| Edificio o Bodega de la ASADA | Sin costo |

Estimación del impacto en el servicio de agua

| | |
|---|------------------|
| Porcentaje de abonados sin servicio de agua | Entre el 50%-75% |
| Días aproximados sin servicio de agua | 15 días |

Calcular

| | |
|---------------------------------------|----------|
| Costo aprox. daños en infraestructura | 13750000 |
| Pérdidas comerciales: | 525000 |
| Nivel de consecuencia resultante: | MODERADA |

Guardar

Figura N° 1.8: Estimación del nivel de consecuencia de la amenaza (tomado de AyA y PNUD, 2019).

Con respecto a la preparación ante emergencias, la herramienta GIRA permitió evaluar mediante un cuestionario, ver figura N° 1.9, el grado de preparación para la respuesta ante emergencias de las ASADAS, considerando aspectos como si tienen o no identificadas fuentes alternativas de agua, si mantienen un fondo económico para emergencias o si tienen protocolos de comunicación hacia la comunidad, AyA u otros entes, de modo que entre más medidas implementadas el valor fue mayor y favorable para la ASADA.

Medidas de preparación para emergencias

- 1 ¿Se tienen identificadas las fuentes alternativas de agua en caso de emergencias? Sí No
- 2 ¿Se cuenta con fondos financieros para atender emergencias? Sí No
- 3 ¿Se dispone de un stock de materiales suficientes para reparar posibles daños? Sí No
- 4 ¿Se tiene un plano actualizado del sistema y sus accesorios? Sí No
- 5 ¿Están identificadas las zonas más vulnerables del sistema? Sí No
- 6 ¿Las instalaciones eléctricas son a prueba de agua? Sí No
- 7 ¿Posee mecanismos alternativos de generación eléctrica? Sí No
- 8 ¿Se tiene un plan de comunicación en caso de emergencias con: el usuario, AyA, CNE, otros? Sí No
- 9 ¿Forma parte del comité comunal de emergencias? Sí No
- 10 ¿Ha desarrollado alianzas con ASADAS vecinas para coordinar apoyo mutuo en el caso de una emergencia? Sí No

Salir Guardar

Figura N° 1.9: Evaluación del grado de preparación de la ASADA ante emergencias (tomado de AyA y PNUD, 2019).

d) Valoración del riesgo y prioridades.

En esta etapa se consolidaron los resultados de los análisis anteriores, para valorar según la probabilidad y la consecuencia de cada amenaza, el nivel de riesgo que representa para las ASADAS. Según este resultado se priorizaron las medidas correctivas y preventivas que integran el plan de gestión de riesgos. Este apartado se realizó en dos etapas.

Visualización de resultados

En esta etapa se realizó un resumen de los resultados de los apartados anteriores en tres partes:

Vulnerabilidad de la ASADA

Los resultados mostraron un índice de vulnerabilidad reflejado en un porcentaje por capítulo (operativa, sanitaria, administrativa e infraestructura) e indicaron la categoría de cada uno. Entre más bajos los resultados en mejor estado se encontraba la ASADA, ya que los grados de vulnerabilidad eran menores. En el caso de la vulnerabilidad sanitaria se separó por tipo de componente y puntaje obtenido para el sello de calidad sanitaria.

De igual forma se hizo una valoración general de vulnerabilidad en la capacidad funcional de las ASADAS en sus diferentes áreas, en la cual el método GIRA establece un peso relativo diferenciado por cada área, indicando que el de mayor peso o importancia en la valoración es el área sanitaria (35%), seguido por la infraestructura (30%), operativa (20 %) y de menor importancia el área administrativa (15 %). De manera que se refleje el nivel

de importancia que tiene cada área en la valoración general de la ASADA y por lo tanto en la gestión del riesgo. Este resultado se muestra posteriormente en un gráfico de barras generado por la herramienta GIRA.

Amenazas en la subcuenca

Mediante un cuadro, ver figura N° 1.10, se muestran los resultados del análisis de las consecuencias para cada amenaza identificada con su respectivo índice de exposición y consecuencia calculados por la herramienta GIRA, de modo que entre más bajos los resultados, más beneficioso fue para la ASADA ya que sus niveles de exposición y consecuencia son menores; así como la estimación del valor económico del impacto de cada amenaza para la ASADA, valor que fue estimado en este trabajo junto con los administradores de las ASADAS, tomando en cuenta las características de los materiales en que está construido y el precio en que tiene la ASADA valorado el componente afectado.

Preparación de la ASADA ante emergencias

Como se mencionó anteriormente en la etapa 3, entre más medidas implementadas por la ASADA en cuanto a preparación para emergencias, según el cuestionario de evaluación de preparativos ante emergencias suministrado por la metodología GIRA, figura N° 1.9, el valor obtenido, reflejado por la herramienta GIRA en forma de porcentaje, fue más alto y representó un grado de preparación mayor, mientras que, si por el contrario, existieran menos medidas de preparación implementadas, el resultado fue más desfavorable para la ASADA.

| II. Amenazas a mis subcuencas | | | | | |
|--------------------------------------|----------------------------|------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------|----------------------------|
| SUBCUENCA: RIO ZAPOTE | | | | | |
| AMENAZA | Nivel de exposición | Nivel de Consecuencia | Valor impacto infraestructur | Valor impacto servicio | Valor total impacto |
| Sequía | MUY ALTA | 39% Grave | 21.500.000 | 52.500 | 21.552.500 |
| Deslizamiento | N/A | 42% Grave | 9.000.000 | 35.000 | 9.035.000 |
| Tormenta/Inundación | ALTA | 26% Grave | 6.750.000 | 24.500 | 6.774.500 |
| Tormenta/Inundación | ALTA | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |

Figura N° 1.10: Ejemplo ilustrativo de los resultados del nivel de exposición e impacto por amenaza (tomado de AyA y PNUD, 2019).

Valoración del riesgo y priorización

En esta etapa, la herramienta GIRA muestra el listado de medidas de prevención propuestas para subsanar aquellas acciones aún no implementadas por la ASADA, de forma que la combinación del tipo de vulnerabilidad, con la probabilidad del impacto y consecuencia de cada amenaza identificada, según el análisis realizado por parte de la ASADA a través de la herramienta GIRA, dieron como resultado el nivel de riesgo, eligiendo así en la columna de priorización las medidas correctivas a implementar en el plan GIRA. A continuación, en los siguientes cuadros, se muestra el detalle técnico con el que se estimó el nivel de impacto, consecuencia y riesgo.

Tabla N° 1.1: Significado de los niveles de probabilidad (NP) de ocurrencia de un evento.


| Nivel de probabilidad | NP | Significado |
|-----------------------|---------|---|
| Muy alta (MA) | 40 y 24 | Situación deficiente con exposición continuada, o muy deficiente con exposición frecuente. Es casi un hecho que el evento ocurrirá (un evento cada 12 a 18 meses). |
| Alta (A) | 20 y 10 | Situación deficiente con exposición frecuente u ocasional, o bien situación muy deficiente con exposición ocasional o esporádica. Es probable que ocurra el evento en la mayoría de los casos (un evento cada 18 meses a dos años). |
| Media (M) | 8 y 6 | Situación deficiente con exposición esporádica, o bien situación mejorable con exposición continuada o frecuente. El evento ocurrirá en algún momento (un evento cada 2 a 5 años). |
| Baja (B) | 4 y 2 | Situación mejorable con exposición ocasional o esporádica. El evento podría ocurrir en algún momento (un evento cada 5 a 10 años). |

Tabla N° 1.2: Determinación del nivel de consecuencia (NC).

| Nivel de consecuencia | Significado | | | |
|-----------------------|-------------|--|---|---|
| | NC | Daños acueducto | Daños edificios | Daños personales |
| Catastrófico (C) | 100 | Interrupción de varios meses. Destrucción total del sistema (difícil renovarlo). | Destrucción total (difícil renovarlo). | 1 muerto o más. |
| Muy grave (MG) | 60 | Interrupción de varias semanas a un mes. Destrucción parcial del sistema (compleja y costosa reparación). | Destrucción parcial (compleja y costosa reparación). | Lesiones graves que pueden ser irreparables. |
| Grave (G) | 25 | Interrupción de varios días a una semana. Se requiere paro del sistema para reparación. | Se requiere paro de funciones para efectuar reparación. | Lesiones con incapacidad laboral transitoria. |
| Leve (L) | 10 | Interrupción de varias horas a un día. Reparable sin necesidad de paro del sistema. | Reparable sin necesidad de paro de funciones. | Pequeñas lesiones que no requieren hospitalización. |

Tabla N° 1.3: Significado del nivel de riesgo (NR).

| Nivel de riesgo | NR | Significado |
|-----------------|------------|--|
| Muy severo (I) | 4000 - 600 | Situación crítica. Corrección urgente. |
| Severo (II) | 500-200 | Corregir y adoptar medidas de control. |
| Moderado (III) | 150-40 | Mejorar si es posible. Sería conveniente justificar la intervención y su rentabilidad. |
| Aceptable (IV) | 20 | No intervenir, salvo que un análisis más preciso lo justifique. Riesgo controlado. |




#4
Valoración
Riesgo y
prioridades

Valoración del Riesgo y Prioridades

A continuación se presentan todas las oportunidades de mejora identificadas durante el análisis.

1. Se deben completar las columnas: Probabilidad de impacto de la amenaza y Grado de consecuencia de la amenaza, que valorará el nivel de riesgo
2. Posteriormente se debe elegir con una "X" cuáles se consideran prioritarias, considerando el nivel de riesgo y las prioridades propias de la ASADA.



Incluir medidas
marcas en el Plan de
Gestión de Riesgos

| Tipo Vulnerabilidad | Tipo de componente | Amenaza | Medida correctiva | Valoración de Riesgos | | | Priorización Marque X qué medidas implementar |
|---------------------|-------------------------------------|---|--|---------------------------------------|-------------------------------------|-----------------|--|
| | | | | Probabilidad de impacto de la amenaza | Grado de consecuencia de la amenaza | Nivel de Riesgo | |
| Sanitaria | Líneas de Conducción y Distribución | Contaminación por fuga en la línea de conducción | Las fugas son fuente potencial de microorganismos y ocasionan pérdidas económicas a la ASADA, identificar y corregir fugas en la línea de distribución | Moderada | Leve | Moderado (III) | |
| Sanitaria | Líneas de Conducción y Distribución | Contaminación por variación de presión en la red | Llevar un control de registro y monitoreo de presiones para identificar variaciones significativas de presiones en la red de distribución | Moderada | Muy Grave | Severo (II) | X |
| Sanitaria | Líneas de Conducción y Distribución | Contaminación por falta de cloro residual en la red | Llevar un monitoreo del cloro residual, en caso de carecer Activar el protocolo de incumplimiento de los umbrales de concentración de cloro | Baja | Muy Grave | Moderado (III) | |
| Sanitaria | Líneas de Conducción y Distribución | Riesgo operativo al carecer de sistema de purga | Contar con válvulas ventosas o purgadores en los picos y cambios de pendiente del sistema | Moderada | Muy Grave | Severo (II) | X |

Figura N° 1.11: Ejemplo de la valoración del riesgo y priorización de medidas de acción mediante la herramienta GIRA (tomado de AyA y PNUD, 2019).

e) Administración de riesgos.

En este apartado se consolidaron las decisiones y se concretaron en un plan separado en dos categorías, medidas correctivas y preventivas. En cada una de ellas se indicó, los montos de inversión, las fuentes de financiamiento desde la parte administrativa y las fechas y responsables, según el cronograma y personal interno del acueducto.

Medidas correctivas y preventivas

En el caso de las medidas correctivas, su objetivo consistió en implementar las modificaciones y mejoras en la infraestructura y mantenimiento del sistema según las necesidades identificadas en la sección de análisis de riesgos, mientras que, con las medidas preventivas, crear proyectos estratégicos de prevención y mitigación de riesgos, producto del estudio de las amenazas, que procuren fortalecer considerablemente a la ASADA ante una amenaza a largo plazo.

Administración de Riesgos: Plan de Acción Medidas correctivas

La siguiente lista incorpora aquellas medidas correctivas, que se eligieron para ser incluidas en el plan de acción. El siguiente paso es completar las columnas en color "Gris".

#5 Análisis de Riesgos

| | | | | PLAN DE GESTIÓN DE RIESGOS | | |
|---------------------|-------------------------------------|--|---|----------------------------|--------------------------|--|
| Tipo Vulnerabilidad | Tipo de componente | Riesgo Asociado | Medida | Monto de Inversión aprox | Fuente de financiamiento | Pasos a seguir para la solución propuesta |
| Sanitaria | Líneas de Conducción y Distribución | Contaminación por variación de presión en la red | Llevar un control de registro y monitoreo de presiones para identificar variaciones significativas de presiones en la red de distribución | 35 000 | Tarifa ordinaria | Diseñar formulario de registro, capacitar a la persona encargada, comunicar al personal, poner en marcha |
| Sanitaria | Líneas de Conducción y Distribución | Riesgo operativo al carecer de sistema de purga | Contar con válvulas ventosas o purgadores en los picos y cambios de pendiente del sistema | 420 000 | Tarifa ordinaria | Planificar compra de valvulas ventosas |
| Sanitaria | Naciente | Contaminación por cercanía de actividad agrícola | Identificar si las actividades agrícolas o industriales cercanas a la captación generan contaminación | 25 000 | Tarifa hídrica | Planificar la compra de terrenos aledaños a la naciente y obras de captación |

Figura N° 1.12: Ejemplo del plan de acción de medidas correctivas (tomado de AyA y PNUD, 2019).

Administración de Riesgos: Plan de Acción Medidas preventivas

En la siguiente tabla se formulan aquellos proyectos necesarios en la ASADA para mitigar las amenazas más importantes identificadas. Se debe trabajar en conjunto para establecer las medidas preventivas o prospectivas necesarias para completar el proyecto

#5 Análisis de Riesgos

GIRA

| DEFINICIÓN DEL PLAN DE GESTIÓN DE RIESGOS | | | | | | | |
|---|--|--------------------------|--------------------------|--|-----------------|-----------------|-----------------------|
| Nombre del proyecto | Medidas preventivas propuestas | Monto de Inversión aprox | Fuente de financiamiento | Pasos a seguir para la solución propuesta | Responsables | Fecha de inicio | Fecha de finalización |
| Revisar las zonas vulnerables de la ASADA | Analizar las posiciones de los pozos y plantear posibles fuentes de abastecimiento adicionales en caso de sequía | 700 000 | Tarifa hídrica | Analizar los resultados de GIRA en materia de amenazas y la posición de los pozos. Elegir posibles fuentes de contingencia y programar su construcción o su compra | Junta Directiva | ene-20 | ene-21 |

Figura N° 1.13: Ejemplo del plan de acción de medidas preventivas (tomado de AyA y PNUD, 2019).

f) Documentación del plan.

La herramienta GIRA cuenta con la opción de generar resúmenes de cada etapa con el fin de documentar el proceso, por lo que se procedió a generar dicho documento para ambas ASADAS.

Cabe rescatar que el plan GIRA ofrece un instrumento de monitoreo y evaluación de cada medida planificada, sin embargo, esto quedó a cargo de las ASADAS, ya que corresponde con la etapa de ejecución.

Sin embargo, la evaluación sugerida se aplicó en este caso precisamente a la metodología y herramienta GIRA, valorando que aspectos o etapas, según los resultados obtenidos en su implementación en las ASADAS en estudio, pueden ser objeto de mejora en su aplicación.

B. Metodología de trabajo para la implementación del método GIRA

Por otra parte, con respecto a la metodología de trabajo para obtener la información requerida para completar las diferentes etapas de la herramienta GIRA en esta investigación, se emplearon los siguientes medios.

a) Comunicación con las ASADAS.

Tal y como se mencionó en el apartado anterior, la utilización de cuestionarios es muy común para sustentar la información dentro del análisis de la herramienta GIRA, ya que la misma metodología los propone, por lo que para completarlos, así como para la toma de decisiones en cuanto a las medidas correctivas o preventivas a implementar, según la necesidad y prioridad de los acueductos, se entablaron reuniones, tanto presenciales como virtuales, con los administradores de los acueductos, así como con el equipo técnico administrativo y miembros de Junta Directiva. Además, se utilizó como apoyo otros medios de comunicación como correos electrónicos o llamadas telefónicas, así como el poder acceder a información interna del acueducto.

b) Análisis bibliográfico sobre estudios y/o aplicación de metodologías para la identificación de amenazas naturales y antrópicas

La metodología GIRA se limita solamente a la información generada por la CNE para identificar las amenazas, sin embargo, con el fin de identificarlas en términos de probabilidad de ocurrencia el área de estudio, se consultaron otros estudios como: estudios de instituciones gubernamentales, estudios municipales y estudios internos de las ASADAS, así como de mayor criterio técnico-científico como, tesis de grado, publicaciones en revistas científico-académicas y estudios de centros de investigación universitarios, para cumplir con dicho objetivo.

Además, en los casos de ausencia de información en alguna temática o amenaza en específico, se buscó la implementación de metodologías ya establecidas a nivel país, como la metodología Mora-Varhson-Mora en relación a la susceptibilidad de deslizamientos, para completar dicha información, y así tener una descripción más robusta de todas las amenazas, tanto naturales como antrópicas, y completar dicha etapa dentro de la metodología GIRA con información técnico-científica.

c) Trabajo de campo

El trabajo de campo consistió en visitar todos los componentes del sistema: nacientes, pozos, filtros de agua y tanques de almacenamiento, así como recorrer la tubería de conducción y distribución, en compañía de funcionarios del departamento técnico de las ASADAS. Dichos recorridos tuvieron como fin verificar las respuestas realizadas por el personal técnico-administrativo de los acueductos en los cuestionarios de la herramienta GIRA, validar en campo la información recopilada mediante el análisis bibliográfico de estudios en materia de amenazas, así como el de comprobar los resultados de las metodologías empleadas en los casos que fue necesario, realizar observaciones geológicas para identificar zonas de riesgo en la cercanía de los componentes, de las cuales la ASADA

no fuera consciente de su existencia y, por último, visualizar posibles medidas correctivas o preventivas que se pudieran implementar para subsanar las zonas riesgosas.

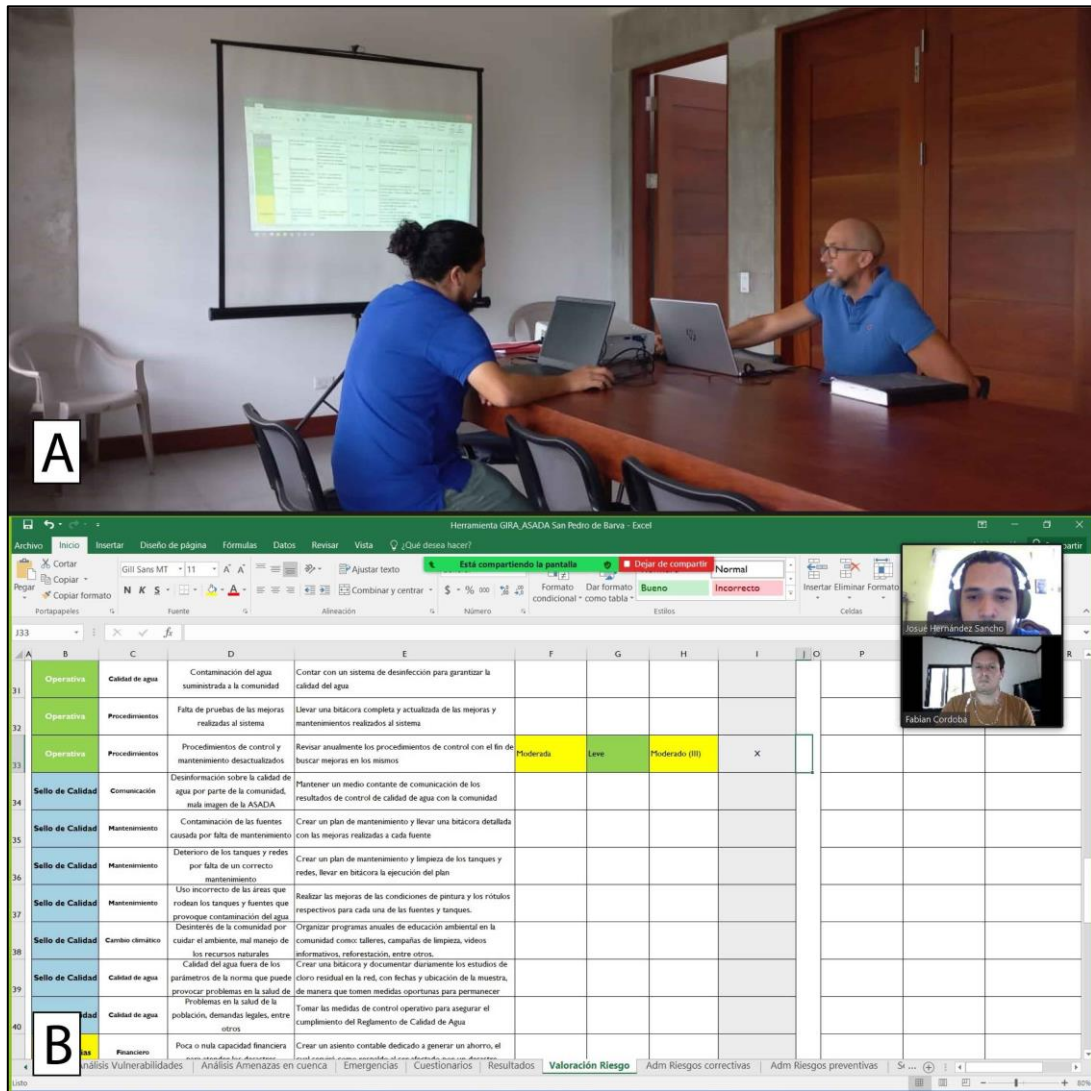


Figura N° 1.14: Reuniones con los administradores de las ASADAS en estudio. A) ASADA San José de la Montaña. B) ASADA San Pedro de Barva. (Elaboración propia).

C. Análisis de la herramienta GIRA

En esta etapa, tras implementar la herramienta GIRA en los dos acueductos en estudio, se procedió a validar y valorizar los resultados obtenidos desde dos ejes principales, su metodología e interfaz, con el fin de identificar los aspectos positivos, así como los negativos y poder proponer mejoras o soluciones.

Con respecto a su metodología, primeramente, se analizó la base de datos que utiliza GIRA como fuente de información, la cual es el Sistema de Apoyo y Gestión de ASADAS (SAGA) del AyA. Esto se realizó confrontando la información recopilada con la

brindada por las ASADAS durante la realización de este trabajo final de graduación, corroborando que esta tuviera concordancia, y por lo tanto estuviera actualizada.

Luego, con respecto a la metodología de la herramienta GIRA y los diferentes pasos necesarios para la consecución de los resultados, en cada etapa se analizaron las figuras ilustrativas, cuestionarios, resúmenes y gráficos, con el fin de identificar su competencia como materiales de apoyo. Así como las fuentes bibliográficas propuestas por la herramienta GIRA para la identificación de amenazas. Lo anterior para demostrar la idoneidad de la herramienta para incorporar el tema de la gestión del riesgo en la administración de ASADAS.

Por último, en relación a la interfaz de la herramienta GIRA, se examinó la automatización de la herramienta y la visualización de los materiales de apoyo según los resultados obtenidos en las ASADAS en estudio, de forma que se pudieran identificar fallas que, para un futuro equipo o lector externo, significarán problemas de comprensión producto de estos errores dentro de la configuración del archivo en formato Excel.

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes

A. Políticas, objetivos, manuales y medidas implementadas a nivel nacional en materia de gestión de riesgos para ASADAS

Con el fin de direccionar la política nacional con los acuerdos internacionales en materia socio ambiental, protección del recurso hídrico y fortalecimiento de los entes operadores desde el punto de vista funcional y operacional del sistema, así como garantizar continuidad en el servicio de agua potable, en cantidad y calidad, a escala nacional. Este conjunto de medidas legales, propositivas y teórico prácticas, buscan promover la gestión integral del riesgo con respecto al recurso hídrico del país desde el aparato Estatal hasta los distintos entes operadores y ciudadanía, con el fin de crear una cultura de protección del agua en la sociedad y establecer mecanismos de prevención, respuesta y reconstrucción ante impactos probables de amenaza, a nivel individual, comunal, regional y nacional.

A continuación, se detallan algunas medidas nacionales implementadas en materia de gestión del riesgo con respecto al recurso hídrico.

a) Ley Nacional de Emergencias y Prevención del Riesgo N° 8488 y Política Nacional de Gestión del Riesgo

La ley Nacional de Emergencias y Prevención del riesgo N° 8488 establece que el Estado deberá realizar acciones que permitan reducir la pérdida de vidas y las diferentes consecuencias sociales, económicas y ambientales, inducidas por factores de riesgo de origen natural o antrópico. De forma que ésta confiera un marco jurídico ágil y eficaz, que garantice la reducción de las causas del riesgo, así como el manejo oportuno, coordinado y eficiente de las situaciones de emergencia. Integrando los esfuerzos y las funciones del Gobierno central, las instituciones descentralizadas, las empresas públicas, los gobiernos locales, el sector privado y la sociedad civil.

Por lo que es a través de la Política de Gestión del Riesgo, enmarcada dentro de ésta ley, que se articulan los instrumentos, programas y recursos públicos en acciones ordinarias y extraordinarias, institucionales y sectoriales, para evitar la ocurrencia de los desastres y la atención de las emergencias. Asignando por medio de responsabilidades y la organización del Estado, obligar a las instituciones públicas a coordinar con la CNE, los programas y actividades de prevención, con el fin de prevenir o mitigar las consecuencias de desastres y dejar la atención de emergencias a la administración, abarcando todas las fases, desde la preparación, la rehabilitación y la reconstrucción.

Planteando para tal fin, el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo, el cual tiene como objetivo promover y ejecutar los lineamientos de ésta política pública, que permitan al Estado costarricense como a los distintos sectores de la actividad nacional, incorporar el

concepto de gestión del riesgo como eje transversal de la planificación y de las prácticas del desarrollo.

b) Manual de Procedimientos de Gestión del Riesgo para la Atención de Emergencias y Desastres en el AyA

El AyA (2013) señala en su documento que su función es ser la institución autónoma rectora en todo lo relacionado con el desarrollo y operación de los sistemas de abastecimiento de agua potable y tratamiento de las aguas residuales en el ámbito nacional, y que además tiene la responsabilidad de cumplir con objetivos estratégicos para el país, entre los cuales está el cumplimiento de la Política Nacional de Gestión del Riesgo, mencionada anteriormente.

Motivo por el cual el AyA al observar la exposición a diferentes amenazas de origen natural o antrópico a que se encuentran expuestos los sistemas de agua potable y de alcantarillado sanitario, sus redes y cadenas de suministro, que facilitan la entrega de un producto como servicio esencial para la vida como el suministro de agua y existiendo la posibilidad que la materialización de un riesgo provoque el colapso e inhabilitación o destrucción de ambos sistemas, generando un impacto negativo sobre la población, la salud pública, la actividad económica y el medio ambiente, se creó el Manual de Procedimientos de Gestión del Riesgo para la Atención de Emergencias y Desastres.

Este manual tiene como objetivo principal mejorar el nivel de efectividad en las operaciones en que debe intervenir el AyA, estandarizando las acciones que realizan todas las regiones del país y la Gran Área Metropolitana (GAM) en situaciones de emergencia y desastre, así como el asignar responsabilidades, mediante acuerdos interinstitucionales, a los entes operadores de acueductos y alcantarillados, como lo son: la Empresa de Servicios Públicos de Heredia, Municipalidades y las ASADAS, estableciendo procedimientos que contribuirán a facilitar, mejorar y dinamizar la respuesta ante emergencias y desastres.

Lo anterior, en el marco de que el AyA está en la obligación de ejecutar las medidas apropiadas para velar por la seguridad de las personas y garantizar el adecuado funcionamiento de los sistemas, estableciendo planes para reducir la vulnerabilidad de la infraestructura física del país ante amenazas, realizando análisis del riesgo y aplicando los controles necesarios para garantizar dicho funcionamiento. Para así contar y poder aplicar políticas de prevención y mitigación del riesgo, rehabilitación del servicio durante la atención de la emergencia y la reconstrucción del sistema, como institución rectora a nivel país en agua potable y saneamiento.

El manual, es considerado como un instrumento técnico que le permitirá al AyA contar con procesos articulados en la implementación de la gestión del riesgo institucional para la reducción de desastres, ya que la respuesta a eventos adversos suele requerir decisiones de diferentes actores dentro de la institución a tiempo y de forma eficiente, optimizando los recursos humanos, materiales y financieros. Por lo cual el manual establece una estructura y el uso de procedimientos y protocolos, considerados como decisiones

operativas analizadas y acordadas con anterioridad a una crisis, permitiendo consolidar oportunamente los procesos de preparativos y respuesta para la atención de emergencias.

Estos procedimientos se dividen en cuatro grandes grupos. Los primeros procedimientos denominados generales, se encargan de la activación y desactivación de la Comisión Ejecutiva de Gestión del Riesgo de AyA, los procedimientos operativos evalúan los daños y realizan el análisis de necesidades, los procedimientos logísticos en la distribución de agua en zonas afectadas y contrataciones en situaciones de emergencia y el cuarto lugar, los procedimientos informativos, encargados de la información interna y externa (prensa nacional). Mientras que los protocolos se dividen en las responsabilidades y la comunicación de los entes operadores para situaciones de emergencia o desastres.

Por otra parte, la estructura institucional para la atención de emergencias en el AyA es una forma de organización administrativa y técnica, iniciando con el nivel político estratégico con la Comisión Ejecutiva, luego con la parte técnica operativa con el Comité Central de Emergencias y luego en comités operativos a nivel regional en sistemas periféricos, metropolitano en sistemas de la GAM y comunal en sistemas comunales. De modo que los niveles de emergencia aumentan del 1 al 4 conforme sea necesario incluir comités de nivel superior.

Por último, el manual y su aplicación, permitirá evaluar y rendir cuentas por parte de la institución en lo relacionado con los procesos de gestión del riesgo, vinculados a los preparativos y respuesta para la atención de situaciones de emergencia y desastres, así como cuantificar los daños causados por un evento adverso tanto en la atención de la emergencia, como en su rehabilitación y reconstrucción.

c) Política Nacional de Agua Potable (PNAP) de Costa Rica, 2017-2030

El AyA (2016) expone que la Organización de Naciones Unidas declaró que: “El agua potable y el saneamiento es un derecho humano esencial para el pleno disfrute de la vida”, resolución que reconoce por primera vez el derecho al agua y al saneamiento y declara que el agua potable y el saneamiento son esenciales para la realización de todos los derechos humanos.

Motivo por el cual, ante las desigualdades de acceso y la creciente generación de conflictos por el uso y contaminación del agua, así como el considerar que el cambio climático amenaza directamente al recurso hídrico y la producción de agua para consumo humano, obligando a las instituciones a gestionar el recurso hídrico de manera integral y sostenible. La Política Nacional de Agua Potable surge como un instrumento de política pública que orienta las acciones estratégicas tendientes a la sostenibilidad del recurso hídrico, para que, de manera justa, equitativa e inclusiva, se favorezca a los grupos más vulnerables de la sociedad, así como una estrategia que permita el fortalecimiento de la rectoría técnica del AyA, y la definición del sector de agua potable de Costa Rica y sus roles institucionales.

Por lo tanto, en su objetivo de procurar el acceso al agua potable por medio de la protección del recurso hídrico y el fortalecimiento de las capacidades de los actores

relacionados con la prestación del servicio, para contribuir a la salud, bienes y desarrollo del país, esta política define los ejes, objetivos, alcances y lineamientos en la prestación del servicio de abastecimiento de agua potable para la población del país, considerando que es un deber del Estado proteger la salud y procurar el mayor bienestar de los ciudadanos.

El primer eje, cultura del agua, es un conjunto de saberes, valores, costumbres, actitudes y hábitos construidos con las comunidades y demás actores para una conciencia social hacia el uso racional, justo, disponible y eficiente del agua potable. La educación y empoderamiento sobre el uso y protección de agua, orientando el desarrollo de un plan de educación y divulgación de información encaminada a la importancia, conservación, manejo adecuado y uso del recurso hídrico; así como la generación de conocimiento promoviendo la investigación e intercambio de información, orientada a las necesidades actuales y futuras en recurso hídrico para el abastecimiento de agua potable, con un sistema de retroalimentación de los proyectos, serían los lineamientos de este eje.

La inversión en infraestructura y servicio, como segundo eje, busca generar acciones que permitan garantizar el desarrollo de soluciones a las necesidades de la prestación del servicio asociado a la infraestructura para el agua potable. Los lineamientos de este eje serían la optimización y modernización de la infraestructura mediante la generación de información con instrumentos de planificación que permitan actualizar la condición y el estado de los sistemas de abastecimiento, la inversión en infraestructura resiliente con capacidad preventiva y de respuesta ante eventos adversos y gestión del servicio de agua potable mediante la generación de estrategias integrales para una gestión operativa y administrativa que garantice niveles de satisfacción del usuario en cuanto obtengan un servicio de calidad, cantidad, continuidad, cobertura, sostenibilidad y confiabilidad.

El tercer eje tiene relación con la gobernabilidad del agua potable al procurar acciones estratégicas entre el ente rector técnico, los operadores de agua potable y otros actores del Estado para lograr la adecuada gestión. En esta línea resulta importante, la gestión social y participación ciudadana mediante la construcción de espacios diversos, propositivos, proactivos y significativos, con mayor protagonismo de los actores sociales e información veraz y oportuna, la planificación y coordinación interinstitucional para el uso y gestión del agua potable, el fortalecimiento de las capacidades identificando las debilidades en materia normativa, técnica, operativa y administrativa para mejorar la gestión del agua potable y las alianzas público-privadas y comunitarias en la construcción de obras para habilitar servicios de agua potable en territorios donde estos son deficientes o inexistentes.

Por último, la gestión ambiental del agua potable como cuarto eje busca acciones estratégicas para la protección, monitoreo y manejo del recurso hídrico para determinar su disponibilidad y sostenibilidad con los siguientes lineamientos: uso racional del agua potable utilizando las fuentes de manera eficiente e infraestructura y tecnologías apropiadas que garanticen sus sostenibilidad, planificación para el abastecimiento de agua potable en función a la capacidad hídrica promoviendo el monitoreo e instrumentalización en cuencas hidrográficas y acuíferos, gestión de cuencas hidrográficas y acuíferos utilizando la cuenca hidrográfica como unidad de planificación para el ordenamiento ambiental del territorio y

gestión del riesgo para la reducción de los desastres posibilitando contar con planes de contingencia, protocolos de emergencia y otros instrumentos de planificación.

Por otra parte, esta política debido a su enfoque participativo, equitativo y desde una perspectiva en derechos humanos, los objetivos, enfoques, principios, ejes y lineamientos se definieron con un horizonte de quince años establecidos en concordancia con una visión de largo plazo y según compromisos internacionales de país, como los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) 2016-2030, y otros documentos de planificación nacional, dando así sustento a su contenido. Por lo que la elaboración y evaluación de los planes de acción se ejecutaran durante los periodos: 2017-2020, 2021-2025 y 2026-2030, para asegurar la fiscalización de las acciones y la medición de sus resultados.

Mientras que su seguimiento se desarrollara mediante comités técnicos, responsables de los avances y resultados del cumplimiento de la política mediante reuniones periódicas y participativas en dos tipos. El comité técnico de seguimiento institucional estará conformado por un equipo técnico y multidisciplinario que elaborará el Plan de Acción y dará seguimiento y monitoreo a la política, mientras que el comité técnico de seguimiento interinstitucional estará conformado por un equipo multidisciplinario integrado por miembros que son autorizados y nombrados por los entes operadores del servicio de agua potable, los cuales tendrán la función de velar, dar seguimiento y monitorear las acciones estratégicas y metas contenidas en su Plan de Acción.

d) Costa Rica: Agua y Saneamiento 2030, Análisis relacionado al ODS 6, Agua limpia y saneamiento

MIDEPLAN (2018) aclara primeramente que el agua potable es toda aquella agua tratada que cumple con los valores recomendables o máximos establecidos de acuerdo con parámetros tales como son: estéticos, organolépticos, físicos, químicos, biológicos y microbiológicos y que al ser consumida por la población no causa daño a la salud (AyA, 2017). Mientras que el saneamiento de agua se define como el tratamiento para asegurar su inocuidad, de tal manera, que se eliminen los gérmenes patógenos y asegurar su calidad, lo cual es fundamental para proteger la vida, siendo necesario mejorar el acceso a servicios de saneamiento básico en los hogares y las instituciones y gestionar sin riesgos la totalidad de la cadena de saneamientos como la recogida, el transporte, tratamiento, eliminación y uso de los residuos (OMS, 2017).

Ahora bien, los autores mencionan que Costa Rica se encuentra entre los países latinoamericanos con mayor cobertura en ambos aspectos ya que se cuenta con la institucionalidad que ha permitido que los niveles de cobertura sean altos. Estas instituciones de acuerdo con los roles de rectoría, regulación y operador son el AyA, ARESEP, Ministerio de Salud (MINSAL), el Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE), las Asociaciones Administradoras de Sistemas de Acueductos y Alcantarillados Comunes (ASADAS), la Empresa de Servicios Públicos de Heredia (ESPH S.A.) y las Municipalidades.

En relación a lo anterior, el AyA ha mantenido una tasa de crecimiento relativamente constante en cuanto a la población abastecida con tratamiento o desinfección desde el 2010 hasta el 2015, lo que conlleva un aumento en la cobertura en este período. Mientras que, en lo referente a saneamiento del agua, para el 2017, el 97,9 % de la población a nivel nacional cuenta con servicio sanitario conectado a alcantarillado o tanque séptico, así en los últimos 6 años la brecha entre la zona rural y urbana se ha reducido, al pasar de 7,0 % en el 2010 a 2,5 % en el 2017. Sin embargo, es claro que en materia de acceso y uso del agua potable se cuenta con amplia cobertura para la prestación del servicio, pero no así en materia de saneamiento de agua, pues la cobertura es mucho menor.

Específicamente en materia de agua potable, los hogares que cuentan con servicio de acueductos por provincias, se tienen que para el 2000 y el 2011, el total de viviendas que cuentan con este servicio aumentó a nivel nacional de 835 912 a 1 127 991, respectivamente; siendo San José y Alajuela las provincias que mayor cantidad de hogares cuenta con él, mientras que Guanacaste y Limón son las de menor participación. Sin embargo, de acuerdo al Laboratorio Nacional de Aguas (LNA), en el 2016, el 84,8 % de la población costarricense recibió agua apta para consumo humano, pero con diferencia en la potabilidad del agua brindada entre diferentes operadores, siendo la ESPH y el AyA los que brindan a un mayor porcentaje de la población líquido apto para consumo humano (100 % y 98,7 % respectivamente), mientras que las ASADAS son los operadores que brindan agua potable a menor porcentaje (59,5 %).

También indican que, aunque el país cuente con datos alentadores en cuanto a la cobertura de agua para consumo humano, la realidad se encuentra en la necesidad de renovar la legislación por una que proteja el agua en cuanto a su uso, cantidad de consumo y explotación, ya que Costa Rica cuenta con una de las legislaciones en materia de aguas más antiguas de Centroamérica, la Ley de Aguas de 1942. Con respecto a esto, se indica que a inicios de noviembre del 2017, la Asamblea Legislativa aprobó en primer debate el Proyecto de Ley de Gestión Integrada del Recurso Hídrico (Proyecto de Ley Número 17.742), la cual define un nuevo marco legal que impulse la planificación y los estudios con visión de cuencas hidrológicas, que fortalezca la acción institucional, que asegure el agua como un bien de dominio público y el derecho humano al acceso del agua potable de calidad y cantidad adecuada, que fiscalice su uso, penalice la perforación ilegal de pozos y la contaminación de las fuentes de agua, y que promueva la participación ciudadana y fortalezca la institucionalidad (Presidencia de la República, 2017).

Por lo tanto, con el fin de lograr cumplir el objetivo 6, dentro del marco de los ODS, y para compensar las carencias que tiene todavía en este tema, el país ha propuesto diferentes estrategias para la preservación, la distribución y el saneamiento del recurso hídrico, tales como la Política Nacional de Saneamiento de Aguas Residuales 2016-2045 y la Política Nacional de agua Potable 2017-2030, anteriormente descrita.

e) Tarifa de protección del recurso hídrico (ARESEP)

En la resolución RE-0005-IA-2019 del expediente ET-087-2019 y publicada en la Gaceta N° 242, Alcance N° 284 del 19 de diciembre del 2019. El Intendente de Agua fijó la

Tarifa de Protección del Recurso Hídrico (TPRH) que brinda el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, la cual empezó a regir en los consumos generados a partir del 1 de enero del 2020 y posiciona a Costa Rica como el primer país en la región que dispone de una tarifa para proteger las fuentes de agua con carácter generalizado y obligatorio, aplicable a todos los usuarios del servicio de acueducto (ARESEP, 2021a)

En el país, esta medida solo venía siendo aplicada, durante 15 años, por la Empresa de Servicios Públicos de Heredia, la cual era exclusivamente para la conservación de bosques, cuidado de cuencas y educación ambiental (ARESEP, 2021b).

Con esta tarifa se busca generar recursos financieros para que los entes prestadores del servicio de abastecimiento de agua potable puedan desarrollar proyectos que fortalezcan, de manera efectiva y sostenible, la capacidad de abastecer el servicio de agua y promover el uso racional del recurso hídrico (ARESEP, 2021c).

Así, de esta forma la ARESEP contribuye con las metas propuestas en los Objetivos del Desarrollo Sostenible (ODS) emitidos por las Naciones Unidas, especialmente las orientadas a disminuir los efectos del cambio climático y garantizar el suministro futuro de agua limpia con calidad y cantidad adecuadas (ARESEP, 2021d).

De forma general, en el caso del sector domiciliario, el ajuste aprobado representa entre ¢3 y ¢13 por metro cúbico consumido, dependiendo del nivel de consumo de cada usuario. Esta tarifa representa menos del 1% de la factura de un consumidor promedio, lo cual es relativamente pequeño en consideración al impacto que se espera en la conservación de las fuentes de agua del país y el suministro en el futuro (ARESEP, 2021d).

B. Herramientas en gestión de riesgos para acueductos (ASADAS, Municipal o Comités)

En los acueductos de agua potable, la gestión del riesgo les fuerza a identificar dentro de su sistema las debilidades en materia normativa, técnica, operativa y administrativa, así como el grado de las diferentes formas de afectación en función de la amenaza que los impacta. Arias (2009); AyA (2016) menciona entre las posibles formas de afectación, el impacto producto de un sismo, el cual puede provocar destrucción parcial o total de las estructuras de captación, conducción, tratamiento, almacenamiento y distribución, tal como se observó durante el terremoto de Limón el 22 de abril de 1991, ruptura de tuberías de conducción y distribución, daños en las uniones entre tuberías o con tanques, con la consiguiente pérdida de agua según lo observado en el terremoto de Sámara el 05 de septiembre de 2012, cambio de sitio de salida de aguas de manantiales o cambio del nivel freático, terremoto de Cinchona en el 2009, así como modificación en la calidad del agua debido a deslizamientos asociados al terremoto, variación (disminución) de caudal de las captaciones (pozos y manantiales) y daños por inundación costa adentro por impacto potencial de tsunamis.

Ante eventos volcánicos se ha documentado obstrucción por las cenizas en obras de captación, desarenadores, tuberías de conducción, floculadores, sedimentadores y

filtros (volcán Turrialba, 2016), como también destrucción parcial o total de la infraestructura en las áreas de influencia directa de los flujos, generalmente restringidas al cauce de los drenajes que nacen en el volcán, modificación de la calidad del agua en captaciones superficiales y en reservorios abiertos por caída de ceniza y contaminación de ríos, quebradas y pozos en zonas de depositación de lahares.

Los efectos por deslizamiento pueden ser, cambio de las características fisicoquímicas del agua que dificultan su tratamiento, destrucción parcial o total de las obras de captación y conducción ubicadas sobre o en la trayectoria de deslizamientos activos, contaminación del agua en las áreas de captación superficial en zonas montañosas y taponamiento de los sistemas de alcantarillado por acumulación de lodo y piedras.

En cuanto a inundaciones, los acueductos pueden sufrir destrucción total o parcial de captaciones localizadas en ríos, quebradas y aguas subterráneas, pérdida de captación por cambio de cauce del afluente, contaminación del agua en las cuencas donde existen sistemas de captación, falla de tuberías expuestas en pasos de ríos y quebradas y daños en estaciones de bombeo cercanas a cauces como ocurrió en Puerto Jiménez, 2016.

Los huracanes pueden provocar ruptura y desacoples de tuberías en zonas montañosas, debido a deslizamientos y torrentes de agua, fallas de tuberías debido a torrentes en pasos expuestos, tales como ríos y quebradas y daños en tapas de tanques y reservorios. Mientras que la sequía puede disminuir el caudal de agua superficial y subterránea, acumular materia sólida en los sistemas de alcantarillado o introducir agua marina en acuíferos costeros, por efecto de regímenes de bombeo inapropiados en los pozos, disminución de los niveles de recarga y además por falta de control y monitoreo como el caso de los acuíferos costeros de Guanacaste, 2016.

Por último, en cuanto a amenazas antrópicas, destacan el vandalismo de la infraestructura, contaminación del agua como el pozo AB-1089 en el 2004, contaminado con hidrocarburos en el Barreal de Heredia e incendios en infraestructura cercanas como el ocurrido en Químicos Holanda en Limón en el año 2006.

Sin embargo, la gestión del riesgo no se reduce a la identificación de las amenazas, sino en analizar la vulnerabilidad del sistema y por lo tanto calcular el riesgo probable, pues este dato es importante para el desarrollo social y económico involucrado, tal y como lo menciona la CNE (2010), indicando que la vinculación con el desarrollo relaciona su parte de diagnóstico que procura conocer, cuantificar y ponderar el riesgo, para luego, en su parte de prognosis, discernir y efectuar las acciones que permitan evitarlo, reducirlo, mitigarlo, transferirlo, así como proteger a la población y a los bienes; pero con la plena e ineludible certeza del precio o costo que se debe asumir.

Dos herramientas desarrolladas en materia de gestión del riesgo para acueductos comunales son: los Planes de Seguridad del Agua a nivel internacional promulgada por la Organización Mundial de la Salud (Bartram et al., 2009) y la Guía de Autoevaluación de ASADAS a nivel nacional, incentivada por el Centro de Investigaciones en Ciencias Geológicas de la Universidad de Costa Rica (Arias, 2012a). Estas herramientas son

antecedentes y están en gran parte inmersas en la metodología GIRA. En resumen, buscan ser metodologías dinámicas y prácticas para con los acueductos, tomando en cuenta su personal administrativo y operativo, así como los usuarios. Con el fin de identificar y evaluar de forma integral los posibles riesgos abarcando todas las etapas del sistema de abastecimiento, para gestionar los mismos y guiar así a los acueductos en la priorización de las medidas que deben tomar para prevenir, mitigar o corregir sus debilidades.

a) Manual para el desarrollo de planes de seguridad del agua: Metodología pormenorizada de gestión de riesgos para proveedores de agua de consumo

Bartram et al. (2009), exponen que los Planes de Seguridad del Agua (PSA) son una herramienta eficaz de garantizar sistemáticamente la seguridad de un sistema de abastecimiento de agua de consumo, ya que su planteamiento integral de evaluación y gestión de los riesgos abarca todas las etapas del sistema de abastecimiento, desde la cuenca de captación hasta su distribución al consumidor.

El planteamiento para su elaboración y aplicación consiste en reunir a un equipo y adoptar una metodología para el desarrollo de un PSA, determinar todos los peligros y eventos peligrosos que pueden afectar a la seguridad del sistema de abastecimiento de agua desde la cuenca de captación, el tratamiento y la distribución, hasta el lugar de consumo, evaluar el riesgo asociado a cada peligro y evento peligroso, considerar si existen controles o barreras para cada riesgo significativo, validar la eficacia de los controles y barreras, determinar en qué casos se necesitan controles nuevos o mejorados, aplicar un plan de mejora, en caso necesario, demostrar que la seguridad del sistema se mantiene de forma permanente, reexaminar periódicamente los peligros, los riesgos y los controles y mantener registros fidedignos para ofrecer transparencia y justificar los resultados.

Es importante que el equipo del PSA cuente con experiencia y conocimientos suficientes para comprender la extracción, tratamiento y distribución de agua y los peligros que pueden afectar a la seguridad del agua en todo el sistema de suministro, siendo vital para lograr que todas las personas relacionadas con la seguridad del agua, tanto del servicio de abastecimiento de agua como de fuera, comprendan y acepten la metodología. Igualmente, un PSA no debe ser únicamente un estudio teórico, sino que debe incluir visitas a las instalaciones para confirmar los conocimientos, la información y los esquemas del proceso con los que cuenta el servicio, ya que el evaluar, actualizar, recopilar o reelaborar los procedimientos operativos normalizados son componentes integrales de los mismos.

Con respecto a su aplicación, puede haber una tendencia a limitar la determinación de los peligros a los insumos directos al sistema de suministro de agua que afectan a parámetros microbiológicos y químicos, ya que son importantes en los que respecta al cumplimiento de las normas sobre calidad del agua. No obstante, el planteamiento para garantizar la inocuidad del agua debe ir mucho más allá, y tener en cuenta aspectos como la posibilidad de que se produzcan daños por inundación, que haya reservas suficientes de agua de la fuente y reservas secundarias, la disponibilidad y fiabilidad del suministro

eléctrico, la calidad de las sustancias químicas y materiales empleados en el tratamiento, los programas de formación, la disponibilidad de personal capacitado, la limpieza de los embalses de servicio, el conocimiento del sistema de distribución, la protección, los procedimientos de emergencia, la fiabilidad de los sistemas de comunicación y la disponibilidad de instalaciones de laboratorio, los cuales deben someterse a evaluación de riesgos.

Esta evaluación de riesgos probablemente ponga de manifiesto numerosos riesgos que no se consideran significativos para la seguridad del sistema de suministro de agua. No obstante, es importante que el servicio de abastecimiento de agua documente claramente y comprenda todos los riesgos, y más aún cuando se detectan riesgos significativos, determinar su grado de prioridad y aplicar rápidamente un programa de mejora. Siendo importante la validación de estos, para comprobar la capacidad de los controles para mitigar los riesgos y demostrar que continúan funcionando para garantizar la seguridad del agua, así como la eficacia del PSA.

El manual propone 11 módulos clave para el proceso de desarrollo y puesta en práctica del PSA, el primero consiste en reunir a un equipo de personas del servicio de abastecimiento de agua, y también, en algunos casos, de un grupo más amplio de interesados, con experiencia y conocimientos suficientes para comprender la extracción, tratamiento, distribución de agua y el sistema de suministro de agua en general, de la cuenca de captación al punto de consumo, para determinar qué peligros pueden afectar a la calidad y seguridad del agua a lo largo de la cadena de suministro. Este será responsable del desarrollo, ejecución y mantenimiento del PSA como parte fundamental de sus funciones.

El segundo módulo describe completamente el sistema de suministro de agua. Si el servicio de abastecimiento no dispone ya de documentación sobre el sistema de suministro de agua, es fundamental documentarlo sobre el terreno. El objetivo es garantizar la exactitud de la documentación subsiguiente sobre la naturaleza de la calidad del agua cruda (o "bruta": agua sin tratar), semitratada y tratada, y del sistema utilizado para producir agua de dicha calidad, para permitir la evaluación y gestión adecuadas de los riesgos. En caso de contar con documentación, el PSA requerirá simplemente el examen sistemático de tal documentación para asegurarse de que está actualizada y completa, y comprobar su exactitud mediante una visita a las instalaciones.

En el módulo 3, se debe determinar todos los posibles peligros de tipo biológico, físico y químico asociados con cada etapa del sistema de abastecimiento de agua de consumo que pueden afectar a la seguridad del agua, determinar todos los peligros y eventos peligrosos que pueden contaminar el agua, comprometer su seguridad o interrumpir el abastecimiento y evaluar los riesgos señalados previamente.

Al mismo tiempo que se determinan los peligros y se evalúa los riesgos, en el módulo 4 se deben documentar las medidas de control existentes y potenciales. En función del tipo de medida de control, su eficacia puede determinarse mediante la inspección de las

instalaciones, las especificaciones del fabricante, o los datos de monitoreo. La reducción del riesgo lograda por cada medida de control será una indicación de su eficacia.

Ligado al módulo anterior, si en este se determina que hay riesgos significativos para la seguridad del agua y se demuestra que no hay medidas de control o no son eficaces, en el módulo 5 debe diseñarse un plan de mejora o modernización. Debe asignarse a cada mejora definida una fecha de ejecución a corto, mediano o largo plazo y un responsable. Además de establecer un orden de prioridad de las mejoras y realizarlas en varias fases, con el debido control de su realización, eficacia y actualización en el PSA.

El monitoreo operativo de las medidas de control y el establecimiento de procedimientos para demostrar que los controles continúan funcionando son parte del módulo 6. Estas medidas deben documentarse en los procedimientos de gestión e incluir las medidas correctoras necesarias cuando no se alcanzan las metas operativas.

Con el fin de garantizar un funcionamiento correcto del PSA, existe el módulo 7 que trata sobre la aplicación de un procedimiento formal de verificación y auditoría que comprende tres actividades que se realizan simultáneamente, estas son: monitoreo del cumplimiento, auditoría interna y externa de las actividades operativas y satisfacción de los consumidores. La verificación debe demostrar que el diseño y la operación del sistema son tales que es capaz de suministrar sistemáticamente agua de la calidad especificada para alcanzar las metas de protección de la salud. En caso contrario, deberá revisarse y aplicarse el plan de mejora o modernización.

El módulo 8 trata sobre la elaboración de procedimientos de gestión, ya que un PSA debe incorporar, como componente integral, procedimientos de gestión claros que documenten las medidas que deben tomarse cuando el sistema funciona en condiciones normales (procedimientos operativos normalizados), y cuando se ha producido un incidente (medidas correctoras). Los procedimientos deben estar redactados por empleados experimentados, deben actualizarse cuando sea necesario y deben contener las actividades que debe realizar cada empleado, con el fin de fomentar la responsabilidad y, en último término, la correcta ejecución de los procedimientos.

La elaboración de programas complementarios es el objetivo del módulo 9, estos son actividades que fomentan el desarrollo de las capacidades y conocimientos de las personas, su compromiso con la metodología de PSA, y su capacidad de gestionar los sistemas para suministrar agua potable. Estos programas suelen estar relacionados con la formación, la investigación y el desarrollo. Por ejemplo, calibrado de equipos, el mantenimiento preventivo y actividades en aspectos jurídicos, como un programa para comprender las obligaciones de la organización en materia de cumplimiento.

El módulo 10 se encarga de la planificación y realización de exámenes periódicos del PSA. El equipo debería reunirse periódicamente para examinar el plan en su conjunto y aprender de las experiencias y procedimientos nuevos, además de examinar periódicamente el PSA mediante análisis de los datos obtenidos en el monitoreo.

Por último, tras cada emergencia, incidente o evento imprevisto, con independencia de si se detectaron peligros nuevos, para garantizar que, si es posible, la situación no se repita, y determinar si la respuesta fue suficiente o si se podía haber respondido mejor, se debe realizar el módulo 11, el cual consiste en revisar el PSA. Ya que un examen posterior a un incidente siempre detectará probablemente aspectos susceptibles de mejora.

b) Guía de autoevaluación de acueductos comunales (comités, ASADAS, municipal)

Por su parte, la guía de autoevaluación de acueductos comunales propuesta por Arias (2012a) para Juntas Directivas, la cual toma en consideración aspectos como: Legal, Administrativo, Operativo, Equipo e infraestructura, Vínculo y proyección externa y Tarifario; tiene como objetivo que cada una pueda conocer el estado en que se encuentra y establecer las acciones de mejoramiento que consideren necesarias.

Su metodología consiste en responder diversos cuestionarios relacionados a los aspectos anteriormente mencionados e ir analizando cada característica marcando si se cumple o no en el acueducto, y en el caso de que no se cumpla algún enunciado, se debe establecer la prioridad, las acciones, responsables y plazos para satisfacer la característica faltante. Destacando que es a lo interno y en función de la realidad del acueducto el definir conceptualmente el significado de las prioridades, así como el tiempo y las acciones necesarias para satisfacer el enunciado respectivo.

C. Estudios de caso en gestión de riesgos en ASADAS

El primer estudio de caso consiste en la implementación de un Plan de Seguridad del Agua (PSA), anteriormente descrito, en el Acueducto Municipal de Barva, realizado por Arce (2015) y el segundo consiste en un análisis de vulnerabilidad ambiental por deslizamiento realizado por Carbajal (2019), específicamente en su apartado de recurso hídrico en el que analiza vulnerabilidades de ASADAS en el área de estudio. Ambos muestran resultados satisfactorios en las ASADAS o acueductos involucrados, por lo que son recientes ejemplos a nivel país que demuestran la eficacia en evaluación y gestión de riesgos en un acueducto al aplicar herramientas en esta temática.

a) Propuesta Plan de Seguridad del Agua para el Acueducto Municipal de Barva, Heredia

Arce (2015) indica que la Municipalidad de Barva abastece únicamente a tres de sus distritos: central, San Roque y a la parte baja del distrito de San Pablo, así como al barrio Buena Vista, perteneciente a la parte alta de San Pablo. Además, menciona que el acueducto posee 4961 abonados y en su estructura departamental cuenta con nueve funcionarios en total, una secretaria, siete operarios de mantenimiento y la administradora.

El sistema como tal, se provee de varias fuentes de manantial, por gravedad, ubicadas fuera del área de servicio, en el distrito de San José de la Montaña. Todas las fuentes convergen a un mismo sistema de conducción, compuesto por dos líneas de tuberías de 150 mm y 100 mm de diámetro que conducen el agua hacia los tanques de

almacenamiento principales y adicionalmente, el sistema cuenta con varios pozos pequeños, uno de ellos dentro del predio de uno de los tanques y otros cinco ubicados dentro de urbanizaciones con servicio exclusivo hacia ellas, con sus tanques. La red de distribución está conformada por cuatro zonas de abastecimiento y prácticamente la totalidad de los usuarios cuenta con micro-medidores.

Una encuesta realizada a los funcionarios reflejó los siguientes resultados: un problema en la gestión de cobros es la falta de emisión de recibos, las inspecciones para verificar si hay fugas en el sistema de abastecimiento se realizan semanalmente, el acueducto no posee un plan de emergencias por si el sistema principal falla o por el suceso de algún desastre natural que lo pueda afectar y señalan como principal problema de abastecimiento la falta de tanques de almacenamiento, así como las mejoras sustanciales que consideran importantes como la construcción de tanques de almacenamiento, perforación de pozos, captación y mejoras en la infraestructura.

Dentro del estudio también se realizó en 95 viviendas encuestas, con respecto a la calidad del agua, los abonados la califican como muy buena (42,10%), muy mala (1,10 %) y clasificada como regular a muy mala por personas que tenían poco de vivir en Barva, igualmente el 90% no percibieron malas condiciones físicas en el agua como mal olor, sabor o turbiedad. Otras preguntas mostraron que el 57,90 % de abonados no conoce su sistema de abastecimiento y 55,8% indican que no se ha interrumpido el servicio de agua en un periodo de 6 meses contra un 43,16% que indica que sí y un 1,05% que solo a veces.

Desde el punto de vista infraestructural se realizó un análisis de los puntos críticos de control (PCC) del acueducto municipal mediante la descripción a detalle de 8 nacientes, 7 tanques de almacenamiento y 3 pozos.

Con respecto a las nacientes, la naciente Quebrada Honda se compone de tres tomas, las cuales se unen en un tanque de reunión. Está construida en una estructura chorreada, con tapa de inspección metálica, tubo de rebalse y de limpieza y dispositivo de seguridad, en dos de ellas solamente. Se ubican dentro de una zona boscosa y rodeada, a su vez, de potreros donde se desarrolla la actividad lechera. A nivel infraestructural la evaluación indicó que la pintura y los tubos estaban en mal estado, las tapas estaban oxidadas y no tenían válvula de aire solo ventosas. Con respecto al riesgo de contaminación, se indicó que no existe un canal para evitar escorrentía superficial, la vegetación alrededor dañó la infraestructura y que ocurrió infiltración de agua con excretas de ganado.

La naciente Brealy se encuentra dentro de una zona boscosa con potreros en la parte alta, donde se desarrolla la actividad ganadera de leche. Está enchapada en cerámica, con canal para desviar aguas pluviales, tapa de inspección metálica con dispositivo de seguridad, tubos de rebalse y limpieza y válvula de aire. La evaluación indicó que el tubo de salida y limpieza tenían lana y no tenían ninguna protección, las tapas estaban oxidadas y los tubos de excedente tenían cedazo, pero estaban sucios.

Las nacientes Cubano 1 y Cubano 2 consisten en dos puntos de captación ubicados en zona boscosa, con una casa de habitación en la zona alta. Presentan infraestructura en concreto, enchapado en cerámica, tapas de inspección de aluminio con dispositivo de seguridad, canal para desviar aguas pluviales y Cubano 2 tiene tubos de rebalse y limpieza. Desde el punto de vista infraestructural las tapas de inspección estaban oxidadas, y en cuanto al riesgo de contaminación, Cubano 1 no tenía tubos de salida ni excedente, sino unas perforaciones en la estructura con obstáculos para taparlos y Cubano 2 poseía tubos de rebalse con cedazo sucio, ventosas en vez de válvula de aire y perforación en la estructura como salida para limpieza.

La naciente Chagos se ubica cerca de la carretera que va camino a Sacramento y existen viviendas en la parte alta de la naciente. Posee una infraestructura en concreto, enchapado en cerámica en algunas partes, tapas de inspección de aluminio con dispositivo de seguridad, tubos de rebalse y limpieza. Sus tapas se encontraban oxidadas, la malla interna estaba en malas condiciones, los tubos de limpieza y rebalse no tenían cedazo y el canal no evitaba la escorrentía superficial.

La naciente Buena vista se ubica en medio de bosque y alejadas de la captación viviendas alrededor. Posee 6 captaciones que producen en conjunto 8 l/s y están construidas en concreto con tapas de inspección metálicas. Según la evaluación realizada las tapas de inspección estaban oxidadas y sin candado, solo algunas tenían tubo de salida y limpieza sin cedazo, no poseían válvula de aire y algunas tenían raíces e insectos dentro del tanque.

La naciente San Pablo Oeste se ubica en medio de bosque, después de la naciente Buena Vista, por tanto, también hay viviendas alrededor pero bastante alejadas de la captación. Consta de tres captaciones que producen 3 l/s, dos están construidas en concreto, una con tapa de concreto y otra de aluminio, la tercera es captada en la misma roca con una bolsa plástica, chorreada únicamente donde va el tubo PVC. La evaluación indicó que no poseían dispositivos de seguridad, válvula de aire, ni tubos de rebalse y limpieza, solo orificios en la estructura, algunas tenían raíces e insectos dentro del tanque y no tenían canal para desviar la escorrentía superficial.

Por último, la naciente Potrero se ubica en zona boscosa, tres en medio de una quebrada, y en la parte alta, así como en los márgenes de algunas captaciones, se da la ganadería lechera. Posee ocho puntos de captación y tres tanques de reunión. La mayoría de las captaciones son de concreto con tapas de inspección, chorreadas o metálicas, y sólo algunas poseen tubo de salida y rebalse. La evaluación indicó principalmente que la mayoría de las captaciones no tenían dispositivo de seguridad ni un canal para desviar aguas pluviales, existía además el riesgo de que la vegetación de los alrededores dañara las estructuras, ya que algunas presentaban vegetación en su interior.

En cuanto a los tanques, el tanque Arguedas está construido en cemento enchapado en losa azul, con tubos de purga, de rebalse y de respiradero y tapa de inspección. Posee clorador para pastillas y una capacidad de 250 m³. La evaluación indicó

que está construido con suficiente altura por lo que la escorrentía superficial no lo afecta y por lo tanto no se determinó posibilidad de contaminación.

Los tanques La Matilde 1 y 2 están contruidos en cemento con pintura azul, poseen un clorador de pastillas para cada uno, tubos de salida, de purga, respiraderos y tapas de inspección. La capacidad es de 500 m³ para el tanque 1 y 300 m³ para el 2. Desde el punto de vista estructural ambos tenían las tapas oxidadas y el tanque 1 poseía grietas con remiendos temporales pudiendo representar un riesgo biológico, pero poseían suficiente altura para evitar la escorrentía superficial.

El tanque Los Gemelos posee una estructura de cemento con losa azul, posee tubos de salida, de purga, respiraderos, tapas de inspección y una capacidad de 600 m³. La evaluación indicó que algunas tapas de inspección y registro estaban oxidadas y se les empozaba agua de lluvia, también menciona la existencia de muchas viviendas a su alrededor, pero que no se corre riesgo biológico por escorrentía superficial.

El tanque Chaves está construido en cemento con losa azul, bien pintado. Posee un clorador para pastilla, tubos de salida, purga, respiradero y una capacidad de 150 m³. La evaluación indicó que la tubería desde la captación al tanque es de hierro y estaba oxidada, pero que la escorrentía superficial no lo afecta.

La estructura del tanque Cordero es en cemento con losa azul, posee tubo de rebalse, de purga, respiradero, una tapa de inspección y una capacidad de 40 m³. La evaluación mostró que las paredes externas presentaban grietas, las tapas de inspección no poseían dispositivo de seguridad, no tenían protección contra escorrentía superficial, poseía fauna en el interior del tanque y el respiradero estaba en mal estado.

El tanque Monte Lagos está construido en cemento y pintado de color celeste, con tubos de salida, de rebalse, tapas de inspección y dos tanques, el primero con una capacidad de 30 m³ y el segundo de 50 m³. La evaluación mostró que el respiradero no tenía protección y tampoco poseía protección contra la escorrentía superficial.

Por último, los pozos Monte Hiedra, Santander y La Armonía estructuralmente, según la evaluación, estaban en buenas condiciones, debidamente cercados y rotulados, requiriendo solamente pintura externa.

Finalmente, tras haber evaluado el sistema del acueducto, la autora establece estrategias de mejora dentro del PSA para cada componente. Con respecto a las nacientes plantea dentro de las actividades la compra de terreno donde se encuentren ubicadas las nacientes, rotular la zona de captación indicando el uso del agua para consumo humano, registrar las fuentes de contaminación y mantener la estructura que capta la naciente, y con respecto a los pozos mantener las válvulas e infraestructura en general.

En los tanques de almacenamiento plantea sustituir las tapas de los tanques y colocar candados, realizar el debido mantenimiento, tanto externo como interno, de la infraestructura y adquirir macromedidores. En cuanto a desinfección, indica que hay que

capacitar al personal que se encarga de clorar los tanques de almacenamiento, revisión y mantenimiento del clorador y realizar análisis físico químicos.

Finalizando con la estrategia sugerida para la mejora de la red de distribución, en donde menciona el cambio de trayectos de tubería, vigilancia de fugas, colocación y mantenimiento de válvulas de aire, establecer puntos de redesinfección y rotular zonas donde se ubique la tubería, al identificar el uso del agua para consumo humano. Como también proponer talleres participativos y campañas de comunicación para capacitar a los abonados del acueducto.

b) Análisis de vulnerabilidad ambiental por deslizamientos en la microcuenca del río Tabarcia, Cantón de Mora, República de Costa Rica

La investigación realizada por Carbajal (2019), consistió en analizar diferentes componentes ambientales entorno al concepto de vulnerabilidad en la microcuenca del río Tabarcia.

Esta parte de una caracterización geomorfológica para la identificación de zonas susceptibles a deslizarse a través del método Mora Vahrson Mora (MVM). Dentro de los componentes abióticos evaluados, se realizó un análisis de vulnerabilidad hídrica, durante el cual se georreferenciaron y valoraron los sistemas hídricos de la ASADA de Tabarcia de Mora en relación a los escenarios de deslizamiento simulados, su factor de exposición y sus características encontradas en campo. Dichos análisis fueron reforzados con la determinación de factores antrópicos relacionados con su perturbación hídrica, incluyendo indicadores de vulnerabilidad por ASADA, generando así con los resultados obtenidos una propuesta de zonificación de vulnerabilidad hídrica para la microcuenca del río Tabarcia.

El autor menciona con respecto al abordaje de los procesos de desarrollo en función de la vulnerabilidad que tanto la utilización de recursos de manera insostenible (dimensión antrópica) que provoca efectos sobre componentes socio-ambientales, como la existencia de diferentes amenazas (dimensión natural) que pueden afectar los mismos componentes, ambas dimensiones pueden ser abordadas desde una perspectiva de análisis ambiental, basada en el concepto de vulnerabilidad, que difiere del planteamiento tradicional de evaluación de impacto ambiental centrado en impactos físicos, sino que las perturbaciones antrópicas o naturales, afectan a manera de red neuronal diferentes sistemas socio-ambientales e incluye variables de carácter social, ecológico-ambiental, económicas y humanas. Mencionando que está mejor comprensión de la realidad, debería contribuir a un mejor diseño e implementación de políticas dirigidas a evitar los daños que puedan sufrir los sistemas humanos y ecológicos, refiriéndose a los estudios de Gestión del Riesgo, entre ellos el análisis de vulnerabilidades (Gómez, 2001).

Con respecto al concepto de vulnerabilidad ambiental, el autor menciona que este ha estado relacionado por tanto a los daños potenciales que las actividades antrópicas o algún evento de origen natural pueden ejercer sobre los recursos naturales, los ecosistemas y su biodiversidad, pero que recientemente el enfoque ha sido en considerar

vulnerabilidades del entorno relacionando factores de exposición vinculados a variables como pobreza, mortalidad y pérdidas económicas.

Ahora bien, con respecto al uso de las cuencas o microcuencas como unidad de análisis el autor señala que estas poseen una interrelación entre sus sistemas ambientales como parte fundamental de su expresión y su dinámica espacio-temporal, ya que como menciona Hernández y Retana (2016), las cuencas son territorios definidos naturalmente en donde se gestan procesos socio-ecológicos ligados íntimamente entre sí y donde es posible identificar los impactos de las actividades humanas; además que son canales de comunicación donde se realizan procesos fundamentales para la regulación de flujos hidrológicos, mitigación de riesgos, protección de suelo, control de la erosión y de la calidad del agua y fungen como sitios de refugio climático y de paso de fauna silvestre (Cordero, 2008). Motivo por el cual la CEPAL considera necesario abordar el enfoque de cuencas, para implementar estrategias de desarrollo y aprovechamiento de recursos con miras a la sostenibilidad y con una orientación en Gestión de Riesgos.

En materia de la contextualización de los sistemas hídricos como generadores de indicadores base de vulnerabilidad hídrica, el autor realizó una geoespacialización de nacientes con información del Servicio Nacional de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento (SENARA) con el fin de conocer su espacialización en relación con el deslizamiento Arasarí, validó los sistemas hídricos (nacientes, tanques y quebragradientes) en cuanto a su estado y seguridad, determinó la vulnerabilidad de cada ASADA según Wilches-Chaux (1993) mediante ponderación de variables, la vulnerabilidad acuífero mediante metodología GOD (Foster y Hirata, 1991) e identificó factores antrópicos relacionados a la erosión de laderas y la perturbación hídrica, mediante visitas de campo.

En los resultados el autor menciona que la ASADA de Tabarcia de Mora presenta diferentes factores estructurales, sociales, económicos y ambientales que la hacen menos vulnerable ya que posee una mayor estructura organizativa, permisos sanitarios, convenios delegacionales, así como una organización y poder adquisitivo que le ha permitido comprar 7 ha de bosque para incluirlas bajo alguna modalidad de pago por servicios ambientales. Considerando que existe una interconectividad entre los diferentes factores involucrados, ya que si se tiene mayor organización se tendrá un mayor impacto social y consecuentemente ambiental.

Sin embargo, el grado de exposición de los componentes del sistema ubicados bajo la corona de deslizamiento activo Momoto y el Indio Pelado, específicamente tres nacientes, dos tanques y dos quebragradientes, genera vulnerabilidad por exposición tanto a la comunidad de Tabarcia, como a las ASADAS que dependen de este recurso hídrico, destacando el gran aporte de sedimentos que se genera por efecto de ladera como por lavado de suelo por carcavación, produciendo una saturación en sus desarenadores.

Indicando ya un evento durante la tormenta Nate, en el que el acueducto de Palmichal y Acosta tuvieron que abastecerse durante 22 días con camiones cisterna; ya que las nacientes de los ríos Tabarcia y Negro se vieron afectadas, incluyendo sus

desarenadores y líneas de aducción entre las tomas y las plantas potabilizadoras, afectando asimismo el suministro de agua para 30 000 personas.

El autor menciona que según lo ocurrido durante la ruptura de uno de sus acueductos durante la tormenta Nate donde, según sus habitantes, fue ardua la labor para organizarse y coordinarse con los diferentes actores participantes (AyA, Municipalidad y ASADAS) y restablecer así los servicios de conectividad hídrica y caminos, este fenómeno social coadyuva para la protección y monitoreo de sus nacientes, ya que según visita de campo, existe una casi nula infraestructura alrededor de sus nacientes.

También se determina una vulnerabilidad baja de acuerdo al grado de confinamiento hídrico según Foster y Hirata (1991) y las visitas a campo permitieron ajustar información compilada por fuentes primarias, así como asignar valores a las diferentes variables de la evaluación cualitativa de impacto ambiental enfocada hacia el recurso hídrico, variables que forman parte de un encadenamiento generador de riesgos colaterales, como la presencia de vehículos automotores detectados sobre la quebrada Monicos y que se incluyen dentro de la variable de impacto que modifica los márgenes de los cauces y que funcionan como multi-perturbadores, ya que también impactan a la fauna del lugar, a la calidad del agua y a la normativa ambiental.

Por lo tanto, incluyendo los resultados de los análisis del componente geomorfológico e hídrico de esta sección, es posible compilar una lista de atributos inherentes a la microcuenca del río Tabarcia que inciden en la vulnerabilidad de su recurso hídrico como son: el porcentaje de suelos susceptibles a deslizarse, el arrastre constante de sedimentos y aumento de turbiedad, la explotación permanente de minería a cielo abierto, el precarismo en zonas de fuerte pendiente como en los márgenes de sus quebradas y ríos, el vertido de aguas domésticas y porquerizas hacia sus cauces, la existencia de zonas de ganado extensivo en sus laderas, los depósitos ilegales de basura, los caminos mal trazados, el fallamiento local, las coronas de deslizamiento inactivas, el porcentaje de laderas, la toma ilegal de sus nacientes, el desconocimiento espacial de sus sistemas, el uso de agroquímicos y la modificación de los márgenes de su cauce. Todos estos factores brindan cierto grado de susceptibilidad a la microcuenca de ser afectada en su recurso hídrico por lo que el autor propone una zonificación con un grado de vulnerabilidad hídrica media para la microcuenca, con una zona alta hacia la parte este de la corona del deslizamiento.

CONTEXTO GEOLÓGICO, TECTÓNICO, GEOMORFOLÓGICO, CLIMÁTICO Y USO DE SUELO

3.1 Contexto geológico

La génesis del volcán Barva y su proceso eruptivo, en similitud con los demás volcanes de la Cordillera Volcánica Central, según Arredondo y Soto (2006) está dividida en tres fases: Proto Barva, Paleo Barva y Neo Barva, siendo esta última la representativa para el área de estudio, por lo que se expondrá a continuación.

A. Formación Barva (Neo Barva)

Williams (1952) utiliza el nombre Lavas Post-Avalancha para describir esta formación, luego Fernández (1968) define la formación bajo el nombre Formación Barva y Echandi (1981) basándose en este último autor divide la formación en tres miembros: Colada de Cebadilla, Colada San Antonio y Colada Los Ángeles. No obstante, los tres autores anteriores coinciden en que la Formación Barva son todas aquellas unidades sobreyacentes a la Formación Tiribí con origen en el macizo del Barva, lo cual implica que esta formación es equivalente a la última etapa eruptiva del volcán.

Protti (1986) indica que el espesor supera los 185 m, mientras que Echandi (1981) establece un espesor máximo de 115 m en un pozo en la ciudad de Barva y menciona que estas lavas se depositaron en las faldas del macizo, en la parte baja del valle desde San Isidro de Heredia al este hasta la ciudad de Alajuela al oeste y por el suroeste se extendieron hasta Cebadilla y la zona de Nuestro Amo.

Con el objetivo de esclarecer la diversidad litoestratigráfica presente en la Formación Barva, Protti (1986) realiza la siguiente clasificación de los miembros litoestratigráficos, misma clasificación utilizada en el mapa geológico para el cantón de Barva por parte del Ministerio de Vivienda y Asentamientos Humanos (MIVAH, 2008) por medio del Plan Regional y Urbano de la Gran Área Metropolitana (PRUGAM).

a) Miembro Bermúdez

Consiste en una serie de coladas de lava andesítica a basáltica cuyo espesor máximo alcanza los 85 m, presentan una textura afanítica con escasos fenocristales principalmente feldespáticos y pocas con texturas porfiríticas. Se encuentra emplazado sobre las tobas e ignimbritas de la formación Tiribí en el flanco sur del volcán Barva, en donde es posible observar frentes de colada en el río Bermúdez, en las inmediaciones del balneario Ojo de Agua, y en el río Segundo. Así como afloramientos en los cauces de los ríos Porrosatí, Segundo, Mancarrón, Bermúdez y Turales debido a la erosión diferencial de los piroclastos sobreyacentes, sin embargo, el frente sur de las lavas se encuentra cubierto casi en su totalidad por depósitos piroclásticos (Protti, 1986). Estas lavas fueron datadas en 270 ka (Pérez, 2000).

Igualmente, subyacen a los epiclastos del Miembro Carbonal en el río Ciruelas y son andesitas basálticas porfiríticas de color gris claro a rojizo, con aprox. 15% de fenocristales

de 3-4 mm (10% de plagioclasas, 4 % de piroxenos y 1% de olivino), con texturas glomeroporfiríticas, en donde las plagioclasas y los piroxenos contienen inclusiones de olivino, un 15% de microfenocristales de plagioclasa y olivino, y una matriz microcristalina de color gris claro (Arredondo, 2011).

Arredondo y Soto (2006) mencionan que las rocas más distales del volcán Barva, del miembro Bermúdez cerca de Belén, podrían ser fisurales e inicio del Neo Barva debido a su extensión tan distal al volcán, sin embargo, no hay evidencias de esto porque están sepultadas por lavas más recientes.

b) Miembro Carbonal

Constituido por tobas líticas y tobas de ceniza poco consolidadas cuyo espesor máximo alcanza los 20 m, esta unidad cubre una gran extensión y permite diferenciar las lavas del miembro Bermúdez de las unidades lávicas superiores por ser un horizonte guía estratigráfico, debido a su alto grado de meteorización que forma suelos de alta fertilidad. En algunos sectores como en las inmediaciones de la localidad de Carbonal al norte de Heredia, se logra observar una toba lítica compuesta por fragmentos lávicos de hasta 5 cm de composición heterogénea englobados en una matriz de ceniza pumítica poco soldada (Protti, 1986).

Arredondo (2011) caracteriza este miembro como facies volcánicas proximales-medias, diacrónico y con cambios en el espesor debido a que se depositó a lo largo de cauces y en cuencas alargadas que tienden a desaparecer lateralmente. Incluye tobas entre los miembros Bermúdez y Bambinos, así como epiclastos entre las subunidades los Bambinos Inferior y Superior.

En el río Ciruelas se observan al menos 3 m, aunque según datos de un pozo aledaño alcanza hasta 15 m, de un lahar tipo debris flow entre las subunidades del miembro los Bambinos, constituido por bloques decimétricos a métricos (cerca de 40%) en una matriz café limo arcillosa de cenizas y fragmentos de lava (Arredondo, 2011), el cual tiene una edad de 27,4 ka (Arredondo y Soto, 2006).

c) Miembro Bambinos

Este miembro está constituido por una serie de coladas de lava andesítica de poca extensión, presenta una textura porfirítica bien desarrollada con abundantes fenocristales feldespáticos, y en general se trata de coladas brechosas con escasas estructuras de flujo. Se puede observar en el sector noreste del flanco sur del volcán Barva que esta unidad muestra una delgada cobertura de piroclastos, pero hacia la zona de Sacramento afloran varias coladas individuales sin dicha cobertura. Caso contrario en la margen izquierda del río Ciruelas en donde una gruesa capa de piroclastos ha suavizado la topografía preexistente (Protti, 1986).

Arredondo (2011) propone que la extensión del Miembro Los Bambinos es diferente a la propuesta por Protti (1986), puesto que la unidad aflora desde el norte de San Miguel en el camino hacia Porrosatí y de allí hacia el sector norte, este y oeste. Luego, describe la

unidad como andesitas porfíricas, con 30-40% de fenocristales, la mayoría (25-35%) de plagioclasas característicamente entre 6-8 mm, además de piroxenos (<5%) y olivino aislado (~1%), en una matriz intersertal con microlitos y vidrio gris oscuro en la que la cantidad de vesículas y el grado de oxidación son variables.

Arredondo (2011) caracteriza dos subunidades que denomina, los Bambinos Inferior y los Bambinos Superior, las cuales petrográficamente son similares con plagioclasas grandes (< 8 mm) y pocos piroxenos, así como epiclastos (lahares, tobas) entre estas subunidades pertenecientes al miembro Carbonal. También establece una relación espacial entre ambas subunidades como dos subcampos de coladas de lavas superpuestas parcialmente una a la otra, con brechas autoclásticas en el piso y el techo, que pueden alcanzar >100 m de espesor, pero en cuyos extremos existe la otra subunidad o no.

Arredondo y Soto (2006) a partir de la datación del lahar del miembro Carbonal entre las unidades superior e inferior del miembro los Bambinos asignan con una edad aproximada de 27 ka a este miembro, aunque puede tener un rango de 30-10 ka.

d) Miembro Ángeles

Arredondo y Soto (2006) mencionan que este miembro puede tener una edad similar o inferior a Los Bambinos, debido a su fresca morfología y a que prácticamente no tienen ninguna cobertura de cenizas, por lo tanto, las edades tienen el orden de 10-15 ka.

Echandi (1981) describe la Colada Los Ángeles como las lavas más jóvenes que se derramaron sobre el Valle Central provenientes de antiguos conos ubicados al pie de la Fila Zurquí, principalmente Cerro Redondo (Monte La Cruz), y que se extendieron hasta cerca de San Isidro, San Rafael y Barva. En este último cantón, específicamente en la Quebrada Seca aflora una lava andesítica-basáltica, porfírica, densa y fracturada, de color gris oscuro y con una parte superior ligeramente escoriácea; con un espesor visible de 9 metros. Sin embargo, según un pozo ubicado en la misma ciudad, la colada tiene un espesor aproximado de 27 m.

Luego, Protti (1986) caracteriza una colada de lava andesítico-basáltica que se extiende desde el Monte de la Cruz, como parásito del volcán Barva y foco de emisión, hasta la parte oeste de la ciudad de Barva, siendo la última emisión de lava asociada a la actividad del volcán Barva. Presenta una textura afanítica, porfírica poco común en el interior de la colada, vesicular escoriácea en el exterior y estructuras de flujo como tubos de lava, topografía de canoa (túneles colapsados) y líneas de flujo. Además, estima que el espesor de esta colada no sobrepasa los 15 m, mostrando una textura blocosa en superficie y una lava densa y masiva en el núcleo, y que la unidad tiende a sobreyacer al miembro Porrosatí en elevaciones superiores a 1600 m.s.n.m mientras que en elevaciones menores sobreyace a la unidad Carbonal.

Rojas et al. (2017) con base en la geomorfología y características petrográficas, definen dos unidades de lava originadas por el cono piroclástico cerro Redondo, una considerada como Ángeles Superior (localizada hacia el oriente), que se extiende desde el

cerro Redondo hasta Ángeles y Palmar, mientras que Ángeles Inferior (localizada hacia el occidente) se observa a partir de estos poblados hasta el centro de Barva.

La unidad Ángeles Superior corresponde con lavas de composición andesítica y textura afanítica porfirítica con fenocristales (aprox. 25-35%) de plagioclasa y piroxenos, en una matriz gris oscuro de grano fino (aprox. 50-65%) y comúnmente entre 10-15 % de vesículas, pudiendo alcanzar hasta un 30% en la brecha de progresión. Además, está conformada por una secuencia de por lo menos dos coladas masivas (de 2 a 5 m de espesor cada una) alternadas entre sí por sus respectivas brechas de progresión (de 2 a 4 m de espesor) de aspecto blocoso, visiblemente más vesiculares y alteradas a óxidos de hierro (Rojas et al., 2017).

La unidad Ángeles Inferior consiste en lavas de composición andesítica-basáltica y textura afanítica porfirítica con fenocristales (aprox. 10 -15 %) de plagioclasas y máficos (entre los cuales se identifican piroxenos) en una matriz gris oscuro de grano fino (aprox. 70 - 80 %) y con contenidos variables de vesículas desde poco menos de 10 % hasta un 15 %. Los espesores máximos observados son entre 12 y 15 m, encontrados en la catarata del río Turales al oeste del cerro Redondo y en el tajo La Florida respectivamente, y el espesor mínimo de 2,5 m se encuentra en la gruta detrás de la iglesia católica de Barva; sin embargo, en los datos de las perforaciones de SENARA, se estima que el espesor promedio varía entre 30 y 35 m en la parte proximal, mientras en la parte distal ronda los 15 m (Rojas et al., 2017).

e) Miembro Porrosatí

El Miembro Porrosatí está constituido por un depósito de piroclastos de granulometría gruesa estratificados, inter-estratificados con delgadas capas de cenizas pumíticas y emplazados discordantemente sobre el miembro los Bambinos y el miembro Carbonal. Además, no muestran consolidación, se encuentran moderadamente meteorizados, el espesor máximo observado alcanza los 15 m y se presenta una anomalía en la distribución de espesores con respecto al foco de emisión de los piroclastos, configurando un depósito en forma de lente (Protti, 1986).

Arredondo y Soto (2006) mencionan que el miembro Porrosatí y miembro Cráter al ser piroclastos relativamente proximales y recientes se deberían unir bajo el nombre Porrosatí, así mismo, obtienen mediante calibración una edad de $13,4 \pm 0,4$ ka para el miembro Porrosatí; a partir de la datación C-14 de Brenes (2003) de unas tefras que sobreyacen a las lavas Los Bambinos en el camino entre Sacramento y la casa de guardaparques, y de forma general consideran que este miembro tendría una edad aproximada de 15 ka o menos.

f) Miembro Cráter

Esta unidad consiste en cenizas y piroclastos gruesos de poco espesor que se encuentran emplazados en el sector occidental de la cumbre del volcán Barva, en donde aflora una serie de láminas de ceniza pumítica de color claro alternadas con bandas de cenizas negras. Además, en las playas alrededor de la laguna cratérica se observan

piroclastos gruesos de color negro muy vesiculares y porosos, producto del último periodo eruptivo del volcán Barva y posiblemente contemporáneo al miembro Los Ángeles (Protti, 1986).

Sin embargo, Arredondo y Soto (2006) mediante G.E. Alvarado (com. Oral, 2004) establecen que los piroclastos más recientes en la cima pueden tener cerca de 500 años y entre otras características, Ramírez (2007) indica espesores menores de 10 m.

B. Depósitos posteriores a la Formación Barva

a) Lahares y cenizas

La acumulación de estos materiales procedentes de los volcanes, como avalanchas de lodo y cenizas, según Denyer y Arias (1991) tuvo lugar durante el final del Pleistoceno y el Holoceno, formando espesores de 60 m de lahares muy heterogéneos, con fragmentos volcánicos subangulares principalmente andesíticos con tamaños de hasta más de 1 m y englobados en una matriz arenosa y mal cementada, probablemente con aluviones y avalanchas volcánicas interestratificadas.

Echandi (1981) describe una unidad que denomina, Cenizas recientes, como proveniente de los volcanes Poás, Barva e Irazú, que cubrió la Formación Barva y otras que se encuentran debajo en la columna estratigráfica, de modo que cubren y constituyen la mayoría de los suelos del Valle Central y presentan diferente composición, grado de meteorización y espesores, alcanzando hasta 23 m.

Por otra parte, el mapa geológico realizado para el cantón de Barva (MIVAH, 2008), mapea la unidad denominada “Lahares”, entorno al cauce del río Porrosatí, específicamente en el límite entre el distrito de San Pedro con el cantón de Santa Bárbara y la unidad “Cenizas”, al suroeste (en el distrito de San Roque) y al sureste de la cabecera del cantón de Barva.

3.2 Contexto tectónico

Costa Rica se caracteriza por una alta sismicidad debido a su localización en una zona de subducción y cerca del punto triple de las placas del Coco, Caribe y Nazca (Arroyo et al., 2017).

Como anteriormente se describió, el país se encuentra en un margen tectónico de convergencia producto de los esfuerzos que la zona de subducción entre las placas del Coco y Caribe generan y cuyo rasgo morfotectónico es la Fosa Mesoamericana, evidencia externa del contacto entre estas, de modo que la sismicidad es especialmente abundante a lo largo de esta y en la zona sismogénica interplacas, donde se subduce la placa del Coco debajo de la placa Caribe y la microplaca de Panamá. Sumado a lo anterior, el movimiento de la Placa Suramericana hacia el noroeste es responsable de los regímenes compresivos en la costa caribe de Panamá y Costa Rica y del fallamiento inverso denominado Cinturón Deformado del Norte de Panamá (CDNP) asociado al norte de la llamada microplaca de Panamá; que de igual forma en su límite oeste con la placa Caribe definen el Cinturón Deformado del Centro de Costa Rica (CDCCR), el cual constituye un sistema ancho de

fallas y pliegues activos en la parte central del país, de modo que el Valle Central está atravesado por este cinturón de deformación, siendo los sismos frecuentes a lo largo de estas dos estructuras. Además, la sismicidad es igualmente alta a lo largo de la Zona de Fractura de Panamá, la cual sirve de límite entre las placas del Coco y Nazca (Fan et al., 1993; Goes et al., 1993; Marshall et al., 2000; Montero, 2001; Montero et al., 2005).

Ahora bien, desde un punto de vista tectónico intraplaca, hacia el sector suroeste del área de estudio del presente trabajo se encuentra la falla Alajuela. Esta falla abarca sectores de la parte sur de las provincias de Heredia y Alajuela, extendiéndose 20 kilómetros desde la ciudad de Grecia al oeste hasta la ciudad de Santa Bárbara al este (Denyer et al, 2003; Montero et al, 2010; Red Sismológica Nacional [RSN], 2015). Su tipo es inversa de bajo ángulo con escarpe facetado al sur, se expresa en la morfología del terreno al originar un escarpe pronunciado que tiene entre 150-200 m de altura (RSN, 2015) y un ancho de deformación en superficie de aproximadamente 1 km (Montero et al, 2010).

Otra falla cercana al sector noroeste-oeste del área de estudio es la falla Ángel, esta se localiza en la Cordillera Volcánica Central en el sector este del macizo del volcán Poás, en su extremo norte se extiende desde el volcán Congo, luego transcurre por la sección oeste de la localidad de Cartagos y finalmente alcanza la comunidad de Birrí en su sección sur, donde posteriormente se une con la falla Sabanilla (RSN, 2020). Montero et al. (2010) redefine la falla considerándola una falla segmentada, con rumbo variable y una longitud que supera los 20 km. Es considerada como una falla de desplazamiento dextral con una componente normal en los sectores de orientación norte-sur, al este del volcán Poás, y N50°W al norte del volcán Poás (Montero et al., 2010).

Según la nueva propuesta de Montero et al. (2010), la falla presenta un rumbo N50°W en el sector nor-noreste del volcán Poás y luego varía a un rumbo cercano a norte-sur, el cual corresponde con la traza principal propuesta en trabajos previos. En su sector sur, la traza vuelve a cambiar a un rumbo noroeste para luego unirse a la falla Sabanilla y continuar juntas hacia el sureste. En la parte norte, la falla Ángel pierde expresión al alcanzar el volcán Congo, sin embargo, hacia el noroeste aparece la falla Venecia, la cual los autores señalan con la posible continuación de la falla Ángel.

Entre sus evidencias geomorfológicas Montero et al. (2010) resalta el desvío derecho del río Ángel (650 m) en el sector norte de la falla, mientras que la RSN (2020) señala los contraescarpes facetados al oeste, valles lineales, lagunas de falla y sillas de falla en la sección ubicada al este del volcán Poás, así como en la sección sur de la traza, la disminución de la prominencia de la falla, aunque, se observan paleo-deslizamientos, lagos y descansos en la topografía.

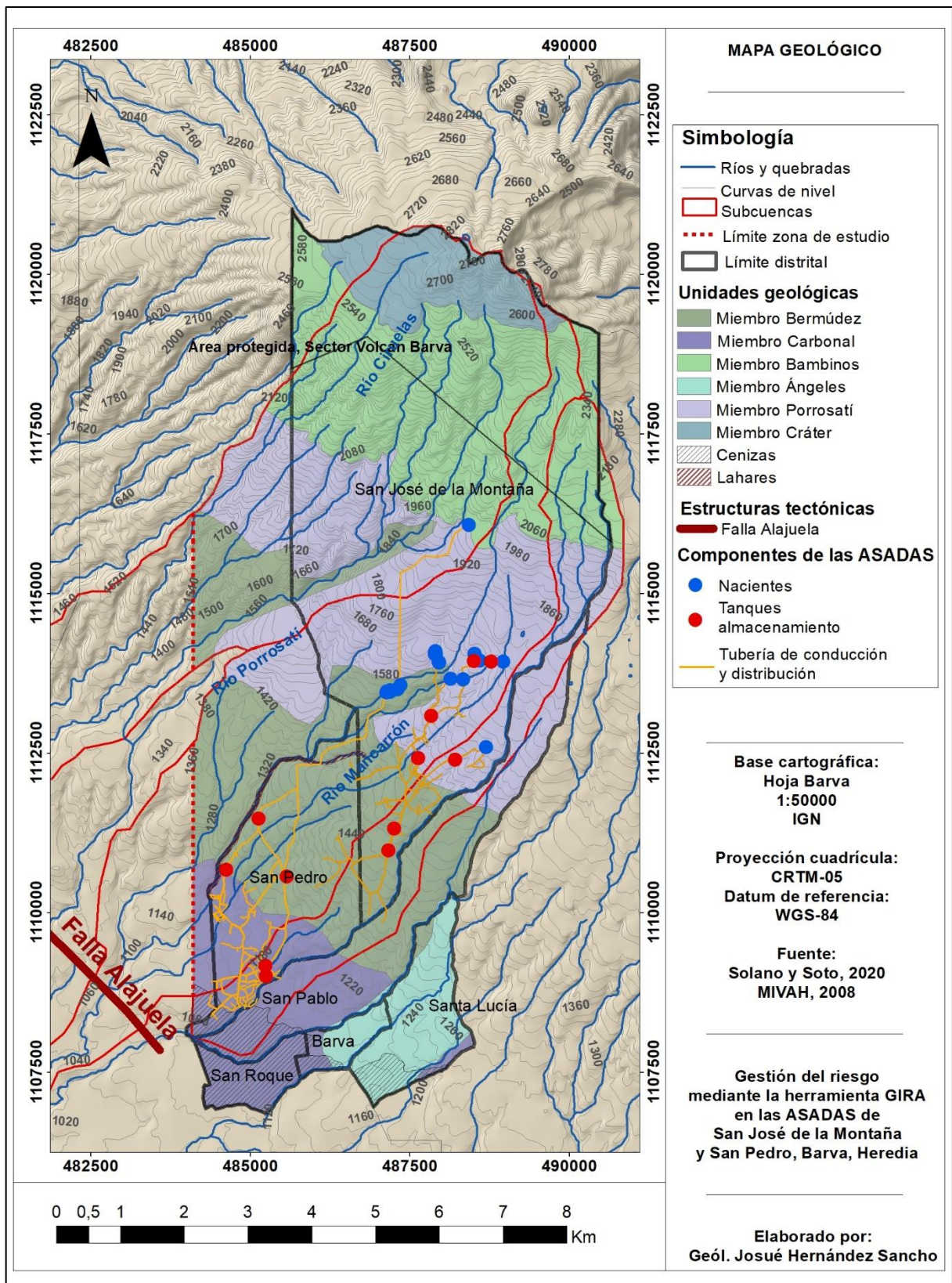


Figura N° 3.1: Mapa geológico del área de estudio (modificado de Solano y Soto, 2020 y MIVAH, 2008).

3.3 Contexto geomorfológico

Obando (2004) clasifica geomorfológicamente el área de estudio en formas de origen volcánico y denudacional; a partir de un modelo de elevación digital, nota como la topografía muestra dos mega-rasgos principales: laderas denudacionales de topografía suavizada hacia el sur y oeste del volcán Barva, sector en donde se encuentra el área de estudio del presente trabajo, y laderas denudacionales de topografía abrupta y escarpada hacia el este.

Las laderas denudacionales de topografía suavizada conforman el flanco sur y oeste del macizo del volcán Barva, se caracterizan por presentar una topografía relativamente suave, disectada por los colectores principales y un patrón de drenaje radial, representado por líneas relativamente rectas de dirección recurrente noreste-suroeste a partir del centro de emisión volcánica. Además, los procesos erosivos en las capas de piroclastos relativamente poco consolidados que recubren toda esta topografía suavizada han generado profundos cañones de pendiente elevada (Obando, 2004).

Dentro de los principales sub-rasgos asociados a esta unidad, y dentro del cual se encuentra gran parte de la extensión areal de las subcuencas en estudio, corresponde con la unidad denominada campo de piroclastos; esta unidad geomórfica recubre gran parte del flanco sur y oeste del volcán Barva, presenta laderas denudacionales de pendiente entre muy suave (0° - 5°) y moderadas (5° - 30°), estas últimas con rasgos generalmente elongados que se ubican en la parte central, oeste y sur del área, producto de un aumento en la intensidad de erosión (deslizamientos) y meteorización, y se encuentran ligados a alguna geoforma preexistente, como escarpes formados por frentes de coladas (Obando, 2004).

De forma general presenta una topografía suavizada y regular, presentando en algunos casos reptación moderada a fuerte y deslizamientos de suelo tipo rotacional, sin embargo, en las áreas donde se depositaron los piroclastos de caída más reciente se observan laderas de menor pendiente. El campo de piroclastos presenta localmente un patrón de drenaje desde paralelo a dendrítico, lo cual corrobora la uniformidad del material (principalmente tobas, lapilli y una transición de toba a suelo), así como la baja capacidad de infiltración en esta unidad; ya que la escorrentía superficial es intensa, los materiales presentan poca permeabilidad y las pendientes de las laderas ocasionan que la cantidad de agua infiltrada sea mínima, de modo que las formas resultantes del terreno son producto de la inestabilidad de los materiales y la fuerte erosión (Obando, 2004). Por su parte, Alfaro (2003) logró medir una tasa de erosión máxima visible de 9 cm al año, evidenciada en una profundización rápida de las áreas sin cobertura vegetal como por ejemplo caminos sin cunetas.

Otro sub-rasgo dentro de este sector es el campo de lavas, en el cual las subcuencas se extienden en menor proporción con respecto al anterior; se caracteriza por una herradura abierta hacia el sur, presentando en su centro pendientes entre 0° y 10° , que aumentan significativamente hacia los caños fluviales, los cuales tienden a ser poco profundos. La geoforma está cubierta por una delgada capa de piroclastos de caída, los cuales dejan ver afloramientos discontinuos de las lavas. Los frentes de coladas producen

rasgos topográficos escalonados típicos y es normal observar afloramientos en forma de cerros redondeados blocosos. Además, es frecuente observar autobrechas superiores y basales de hasta 1,5 m de espesor y acumulaciones discontinuas de bloques de lava (Barahona, 2003; Rojas, 2003). Ya que, de acuerdo con la cartografía geológica, la distribución de estas coladas es amplia, encontrándose en gran parte del sector sur-sureste del área (Obando, 2004).

El último sub-rasgo corresponde con la falla Alajuela al suroeste, cuyo rasgo geomórfico es su escarpe de falla inversa-pliegue. Obando (2004) menciona que esta falla es profunda y no rompe en superficie, pero produce un pliegue anticlinal asimétrico de propagación y, precisamente es este pliegue, quien produce el escarpe. La estructura principal se compone de un anticlinal asimétrico cuyo flanco sur presenta una pendiente muy fuerte, buzante hacia el sur, mientras que el flanco norte tiene una pendiente más suave y ligeramente inclinada hacia el norte, indicando que este flanco puede tener asociado un sinclinal trasero (Obando, 2004).

Esta geoforma se caracteriza por presentar una alineación en forma de herradura abierta hacia el sur y su altura topográfica llega a los 140 m. Se encuentra disectado por algunas quebradas y ríos con orientaciones noreste-suroeste, por ejemplo, ríos Caracha, Tambor, Alajuela y Ciruelas. Sus laderas son de pendiente fuerte, en muchos casos arriba de los 20°, lo cual deja cañones fluviales profundísimos, como por ejemplo en los ríos Itiquís y Ciruelas. En las laderas de esos cañones, se pueden encontrar depósitos coluviales y depósitos asociados posiblemente con antiguos deslizamientos. Regionalmente, esta es una de las estructuras tectónicas más importantes del Valle Central, Montero (2000, como se citó en Denyer y Kussmaul, 2012) menciona que esta se extiende desde Grecia hasta Santa Bárbara de Heredia, y atraviesa el flanco sur de los volcanes Poás y Barva, limitando al sur con el Valle Central; mientras que Mora (1995) señala que esta presenta un ancho de 1 a 2 km y una longitud de aproximadamente 24,5 km (Obando, 2004).

Con respecto al segundo mega-rasgo principal, laderas denudacionales de topografía abrupta y escarpada, este se observa hacia el este y sureste-este de los cráteres del volcán Barva, caracterizándose por una topografía muy escarpada, con alturas que van desde los 900 m hasta los 2500 m.s.n.m., frecuentes taludes verticales a subverticales y un patrón de drenaje radial con profundos cañones fluviales, lo cual sugiere una topografía muy erosionada y probablemente antigua (Obando, 2004).

Dentro de los sub-rasgos que detalla el autor, el único que se encuentra dentro del área de estudio del presente trabajo, específicamente en las partes altas de las subcuencas en su cercanía con el área protegida, Sector volcán Barva, se denomina Cráteres del volcán Barva, unidad descrita aparte por otros autores como Protti (1986), Soto (1994, como se citó en Denyer y Kussmaul, 1994), Alvarado (2011) y Brenes (2003), como cráteres cuspidales al macizo, en donde fluyeron múltiples coladas de lava andesítica en forma radial a la cima y en sus laderas, producto de los conos parásitos (Obando, 2004).

Por su parte, Carmona (2021) menciona que estos corresponden a tres conos de escoria localizados en la zona cumbral, los cuales presentan una morfología de cono truncado y son los responsables de la emisión de importantes flujos de lava y piroclastos que se conocen como Unidad los Bambinos Superior y Porrosatí.

Por otra parte, MIVAH (2007) clasifica geomorfológicamente el cantón de Barva en base a las diferentes unidades geológicas que afloran. En general, por cada unidad geológica las unidades geomorfológicas asociadas se clasifican en: grado moderado y alto de disección, relieve bajo y moderado, barrancos y aparte áreas de influencia directa de cauces fluviales, lahares (sub) recientes y conos volcánicos.

En el mapa geomorfológico realizado, figura N° 3.3, es posible observar tres unidades según su origen, denudacional, fluvial y volcánico, a continuación, su descripción.

A. Unidades de origen denudacional

a) Laderas volcánicas denudacionales de alta pendiente y alto grado de disección

Se asocian con el sector NW del área de estudio, encontrándose en su totalidad en la microcuenca del río Ciruelas, al norte del distrito de San José de la Montaña, con un área de 20,27 km². Tal y como su nombre lo indica posee un alto grado de disección, con cañones más profundos hacia la cima del volcán, por lo que las pendientes catalogadas como muy fuertes (16°-55°) se observan en las cercanías de los principales cauces, los cuales tienen un patrón de drenaje paralelo.

Carmona (2021) para este sector describe un campo de lavas asociadas a los Conos Las Tres Marías, originado a partir de la sobreposición de flujos andesíticos-basálticos a andesíticos, que se relacionan al miembro Los Bambinos Superior.

b) Laderas volcánicas denudacionales de baja pendiente y mediano grado de disección

Se ubican en el sector central del área de estudio, con la mayor área (32 km²) respecto a las demás unidades. Se encuentra en la mayor parte de la extensión de las subcuencas de los ríos Porrosatí y Mancarrón, en los distritos de San José de la Montaña, San Pedro, San Pablo y el sector sureste de Santa Lucía. Destacando que la totalidad de los componentes de la ASADA de San José de la Montaña y la mayoría de los componentes de la ASADA de San Pedro de Barva se encuentran dentro de esta unidad. Su mayor rango de pendiente es moderado (8°-16°), seguido por pendientes bajas (0°-16°) y las pendientes fuertes se restringen a los barrancos, los cuales se desarrollan a lo largo de los dos principales cauces mencionados anteriormente. El patrón de drenaje es dendrítico en sus partes más altas, pasando a ser subparalelo en las partes medias y bajas.

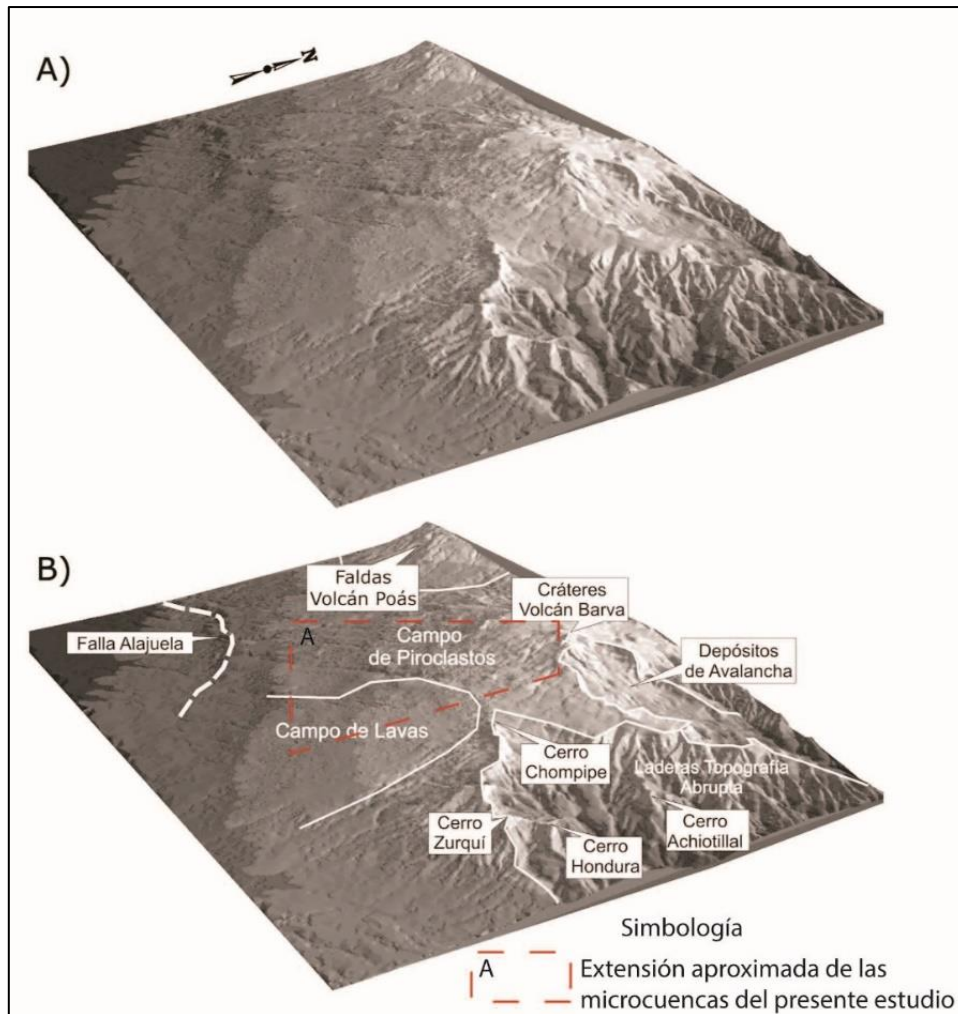


Figura N° 3.2: Sub rasgos geomorfológicos en el flanco sur del macizo del volcán Barva (tomado de Obando, 2004). A. Extensión de las subcuencas en estudio desde los cráteres del volcán Barva hacia el sur, ubicadas mayoritariamente en el campo de piroclastos y una parte en el campo de lavas.

c) Laderas volcánicas denudacionales de baja pendiente y bajo grado de disección

Se encuentran en el sector más al sur del cantón, en los distritos de San Roque, Santa Lucía, Barva y el límite sur del distrito de San Pedro, donde se ubica el área de distribución de la ASADA. Su área corresponde con 7 km² y su rango de pendientes se encuentra entre 0°-16° catalogado como bajo. El desarrollo de barrancos es menor, pero de igual forma la presencia de pendientes fuertes se da en las cercanías de los cauces, los cuales presentan un patrón de drenaje subparalelo.

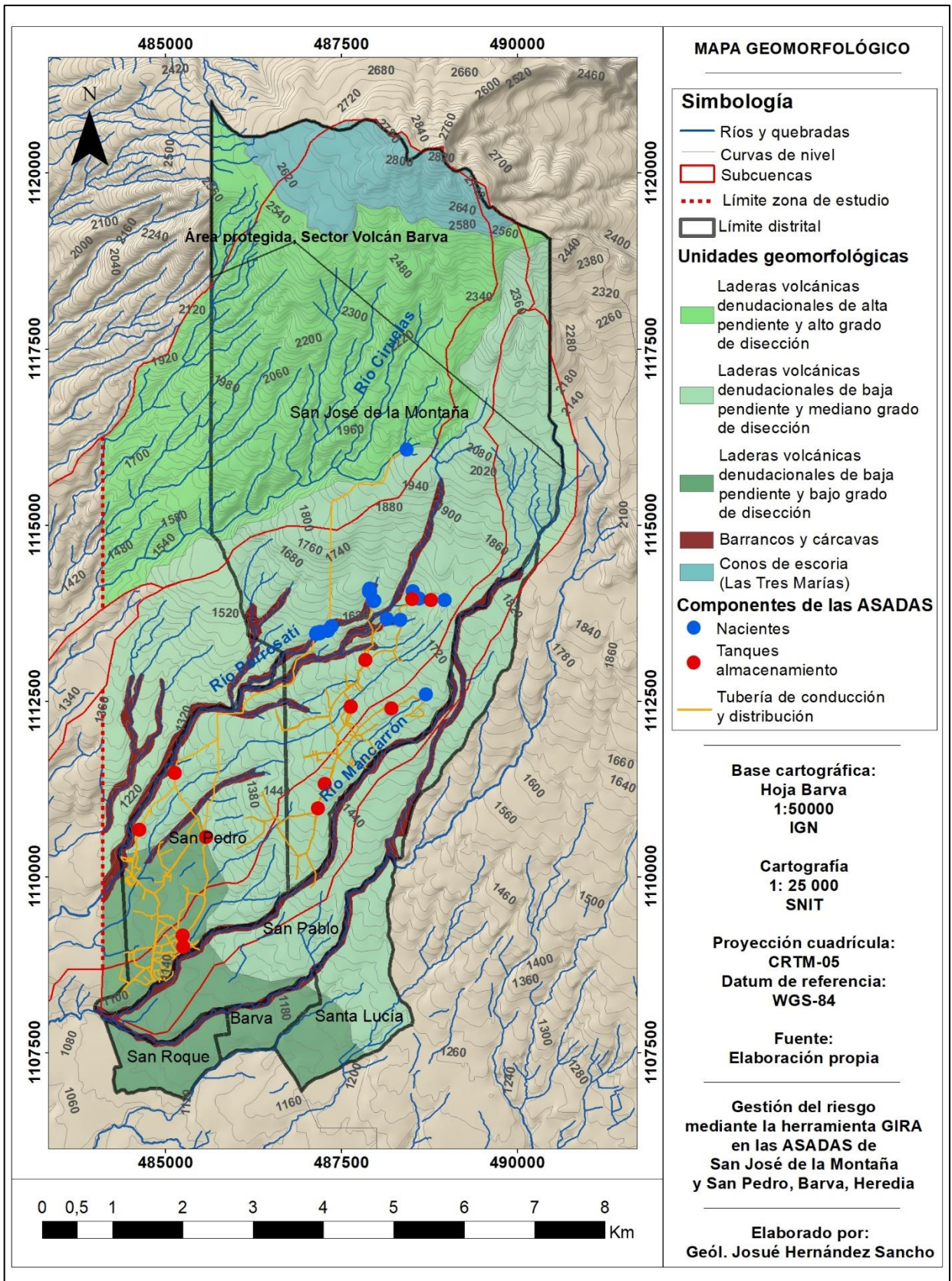


Figura N° 3.3: Mapa geomorfológico del área de estudio (elaboración propia).

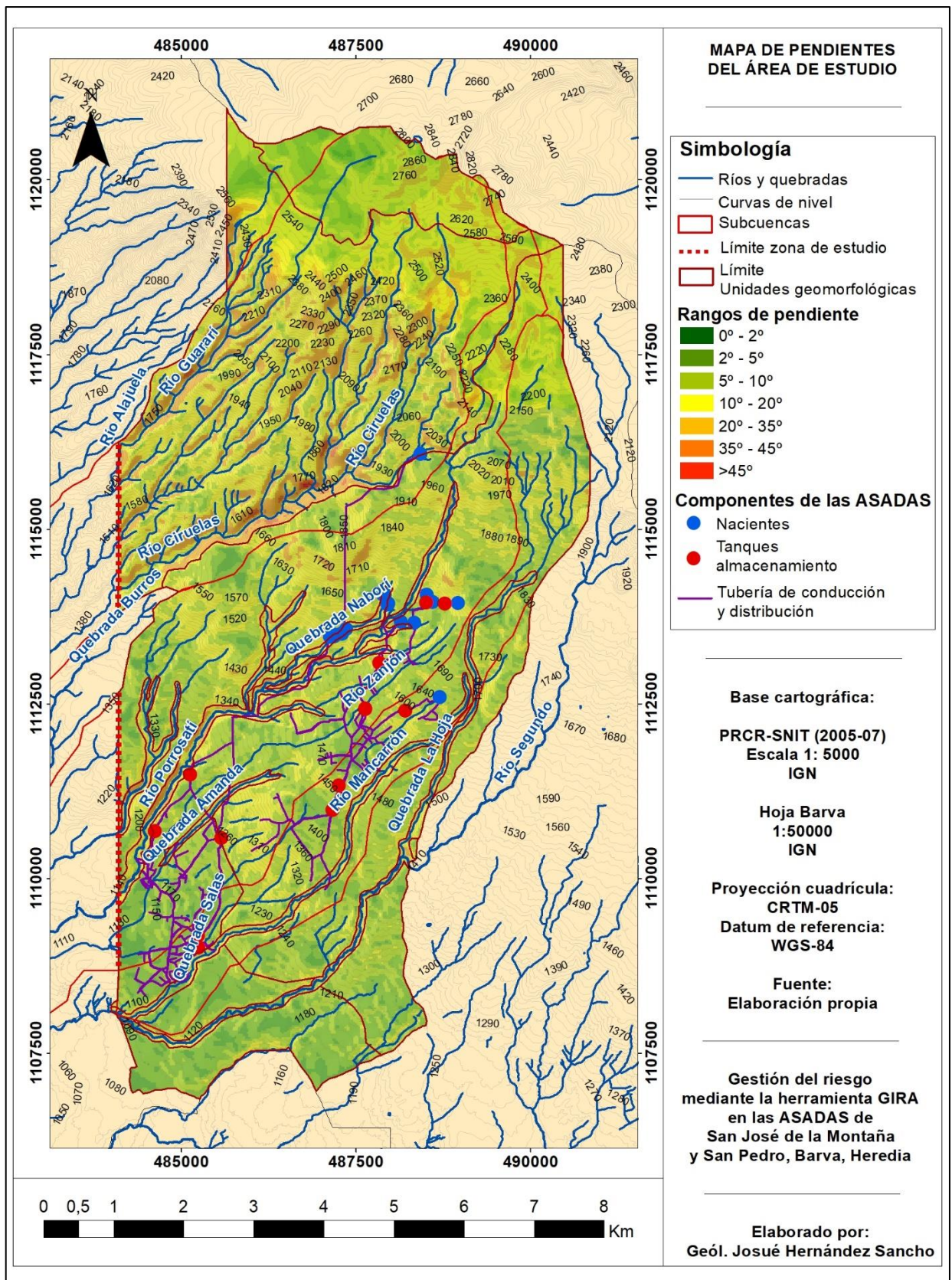


Figura N° 3.4: Mapa de pendientes del área de estudio (elaboración propia).

B. Unidades de origen fluvial

a) Barrancos y Cárcavas

Se desarrollan principalmente dentro de la unidad de laderas volcánicas denudacionales de baja pendiente y moderado grado de disección, específicamente en los cauces de los ríos Porrosatí y Mancarrón, así como sus afluentes. Representan un área de 4,4 km² y sus pendientes son fuertes (16°-35°). Su origen puede deberse a procesos erosivos en las capas de piroclastos poco consolidados que recubren esta unidad tal y como lo indica Obando (2004). Cabe rescatar que las nacientes de la ASADA de San Pedro y dos de la ASADA de San José de la Montaña, así como parte de la tubería de conducción de ambas se encuentran entorno a la cárcava y barranco asociados al cauce de la quebrada Naborí y el río Porrosatí, mientras que la ASADA de San Pedro posee un tracto de la tubería de distribución que cruza por la cárcava formada por la quebrada Amanda.

C. Unidades de origen volcánico

a) Conos de escoria (Las Tres Marías)

Se encuentran en el límite norte del cantón, específicamente dentro del Área protegida, Sector volcán Barva. En el sector noreste presenta un rango de pendiente entre moderado y fuerte (8°-35°), mientras que hacia el sector noroeste se presentan pendientes más bajas (0°-8°), posiblemente relacionadas al volcán adventicio asociado al cono occidental de Las Tres Marías, el cual trata estructuras pequeñas con forma de cono que se originan por la actividad eruptiva en el flanco de un edificio volcánico de mayor dimensión, sus laderas tienen una inclinación que varían entre los 7° y 20°, y en la cima presenta un cráter cerrado (Carmona, 2021).

3.4 Clima

Costa Rica geográficamente se ubica en una zona intertropical, lo que permite que sea un país con una condición altamente lluviosa. Las condiciones de la región climática en que se encuentra hacen que de manera periódica se presenten eventos meteorológicos que inciden en el aumento, disminución e intensidad de las precipitaciones, en las mareas y en los vientos. Estos eventos están asociados a los ciclones tropicales y a fenómenos de baja presión en el mar Caribe, la Zona de Convergencia Intertropical, los frentes fríos, las ondas del Este y los periodos de El Niño y la Niña (CNE, 2015).

Solano y Villalobos (2001) mencionan que en el país existen dos sistemas montañosos principales que corren longitudinalmente sobre la parte central: la Cordillera Volcánica del Norte y la Cordillera de Talamanca que se localiza al sur, determinando a grandes rasgos la división del país en tres regiones fisiográficas, norte, central y sur. De modo que esta misma disposición montañosa, junto con los vientos predominantes del noreste (alisios), demarcan también tres grandes regiones climáticas diferentes: la Región Tropical Húmeda del Caribe, a la cual pertenece la Región Norte y Caribe; la Región Central Intermontana a la cual pertenece la Región Valle Central y Montañosa Sur y la Región Tropical del Pacífico, a la cual pertenecen las Regiones Pacífico Norte, Sur y Central.

Para la Región Valle Central, los autores mencionan que esta es afectada por condiciones meteorológicas del Pacífico (la Zona de Confluencia Intertropical y vientos ecuatoriales) y condiciones del Caribe (vientos alisios del noreste, con derrame de nubosidad y lluvias débiles). Por lo que según su ubicación geográfica y su climatología mixta Caribe y Pacífica, enlazan varios tipos de clima: de sequía, en Atenas, de meseta central en el Valle Central Occidental y Oriental, seco de altura, al norte de Heredia (Monte de la Cruz, Santa Bárbara) y al norte de Alajuela (Frajanes) y lluvioso de altura, al noreste de Heredia (Coronado, parte de Rancho Redondo, alrededores de Pacayas, Oreamuno, Tierra Blanca) correspondientes a las faldas de la Cordillera Volcánica Central (Coen, 1967, como se citó en Solano y Villalobos, 2001; Solano, 1996).

Ahora bien, según la descripción anterior, los acueductos en estudio estarían caracterizados en su sector sur por el clima de meseta central, el cual se caracteriza específicamente por precipitaciones entre 1000 a 2000 mm anuales, una biotemperatura entre 17 °C a 24 °C mensual y una vegetación tipo bosque húmedo subtropical, el cual es un bosque semidecíduo, poco denso y con epífitas abundantes, mientras que en el sector norte el clima sería seco de altura, el cual presenta una precipitación entre 1850 a 4000 mm anuales, una biotemperatura entre 12 °C a 17 °C mensual y una vegetación tipo bosque muy húmedo montano bajo, el cual es un bosque siempre verde, denso y con presencia de neblina comúnmente (MEH, 1953, como se citó en Solano y Villalobos, 2001; Bolaños y Watson, 1993; Solano, 1996).

Tabla N° 3.1: Climatología de la Región Valle Central por subregión.

| Sub región | TAP (mm) | TMx (°C) | TMn (°C) | TM (°C) | DLL | PS (meses) |
|--|-------------|-------------|-------------|------------|-------------------|-----------------|
| Valle Central Occidental | 1950 | 27 | 18 | 22 | 129 | 5 |
| Valle Central Oriental | 2016 | 26 | 15 | 20 | 128 | 1 |
| Faldas de la Cordillera Volcánica Central | 2820 | 21 | 10 | 15 | 1500 m.s.n.m. | |
| | | | | | 126 | Sin |
| | | | | | >1600 m.s.n.m. | período seco |
| | | | | | 147 | |

TAP: total anual de precipitación. TMx: temperatura máxima promedio mensual. TMn: temperatura mínima promedio mensual. TM: temperatura media mensual. DLL: número de días con lluvia > 1 mm. PS: período seco. Fuente: Solano, 1992.

Ahora bien, específicamente en el cantón de Barva, la Municipalidad de Barva (2014) caracteriza climatológicamente el territorio dentro del régimen del Pacífico, indicando que tiene un período seco que va desde diciembre hasta abril y un período lluvioso que se extiende de mayo a noviembre, en donde las lluvias ocurren en el período vespertino y primeras horas de la noche principalmente. La precipitación promedio anual varía entre 2000 a 2500 mm en las partes bajas del cantón y entre 2500 a 3000 mm en las partes más altas. La temperatura media anual oscila entre los 19 y 20 grados centígrados en las partes bajas, y entre 15 y 18 grados centígrados en las partes más altas y montañosas. La humedad relativa varía muy poco durante el año y oscila entre 72 y 80 % en las partes bajas y 80 a 90 % en las partes más altas. Mientras que durante el período seco el viento

dominante es el alisio, con dirección noreste-suroeste, contrario al período lluvioso, en el que el alisio predomina en las mañanas y en la tarde se presentan vientos del oeste y del suroeste provenientes del pacífico.

Por otra parte, el Atlas Climatológico de Costa Rica (IMN, 2008), es un instrumento para conocer el clima que nos caracteriza, así como para comprender el Cambio Climático y sus efectos. Este fue diseñado conforme a los requerimientos definidos por la Organización Meteorológica Mundial (OMN) para la confección de normas climatológicas, particularmente la recomendación de utilizar registros históricos de al menos 30 años, sin embargo, en vista de la escasez y dispersión de la información en algunas regiones, en algunos casos fue necesario utilizar períodos menores, pero siempre utilizando las herramientas estadísticas idóneas, con el fin de asegurar la confiabilidad y estabilidad de los promedios presentados. A continuación, en los siguientes mapas se muestran las isotermas e isoyetas, según el análisis estadístico realizado por el IMN para todo el país, específicamente en los alrededores del cantón de Barva.

En los mapas climáticos, figuras N° 3.5, 3.6, 3.7, 3.8 y 3.9 se observa como la elevación topográfica influye en las condiciones climáticas del cantón, siendo muy clara la distinción entre las partes altas y bajas del territorio, tal y como lo menciona la Municipalidad de Barva (2014). Con respecto al valor de temperatura, en las partes bajas el valor mínimo ronda entre los 14-18 °C, mientras que en las partes altas el valor ronda entre los 10-14 °C, siendo el Área protegida, Sector volcán Barva, la zona con el menor rango entre 8-10 °C. Con respecto al valor medio, las partes bajas presentan valores entre 18-22 °C, las partes altas entre 14-18 °C y el Sector volcán Barva entre 12-14 °C. Por último, las partes bajas presentan un valor máximo de temperatura entre 24-28 °C, las partes altas entre 20-24 °C y el área protegida entre 18-20 °C.

Con relación al valor de lluvia, gran parte del área del cantón presenta entre 150-200 días con lluvia, excepto en la parte norte, principalmente el área protegida y un sector del distrito de San José de la Montaña, en el que el número de días es mayor, 200-250 días, y en el límite sur del cantón, en los distritos de San Roque, Barva y Santa Lucía, en el que por el contrario el número de días es menor, 100-150 días. En cuanto a la precipitación la mayor parte del cantón presenta valores entre 2000-3000 mm, excepto el sector más al norte de los distritos de San José de la Montaña y San Pablo, así como el área protegida, con valores superiores entre 3000-4000 mm, y el límite noreste del sector volcán Barva con valores máximos de 4000-5000 mm.

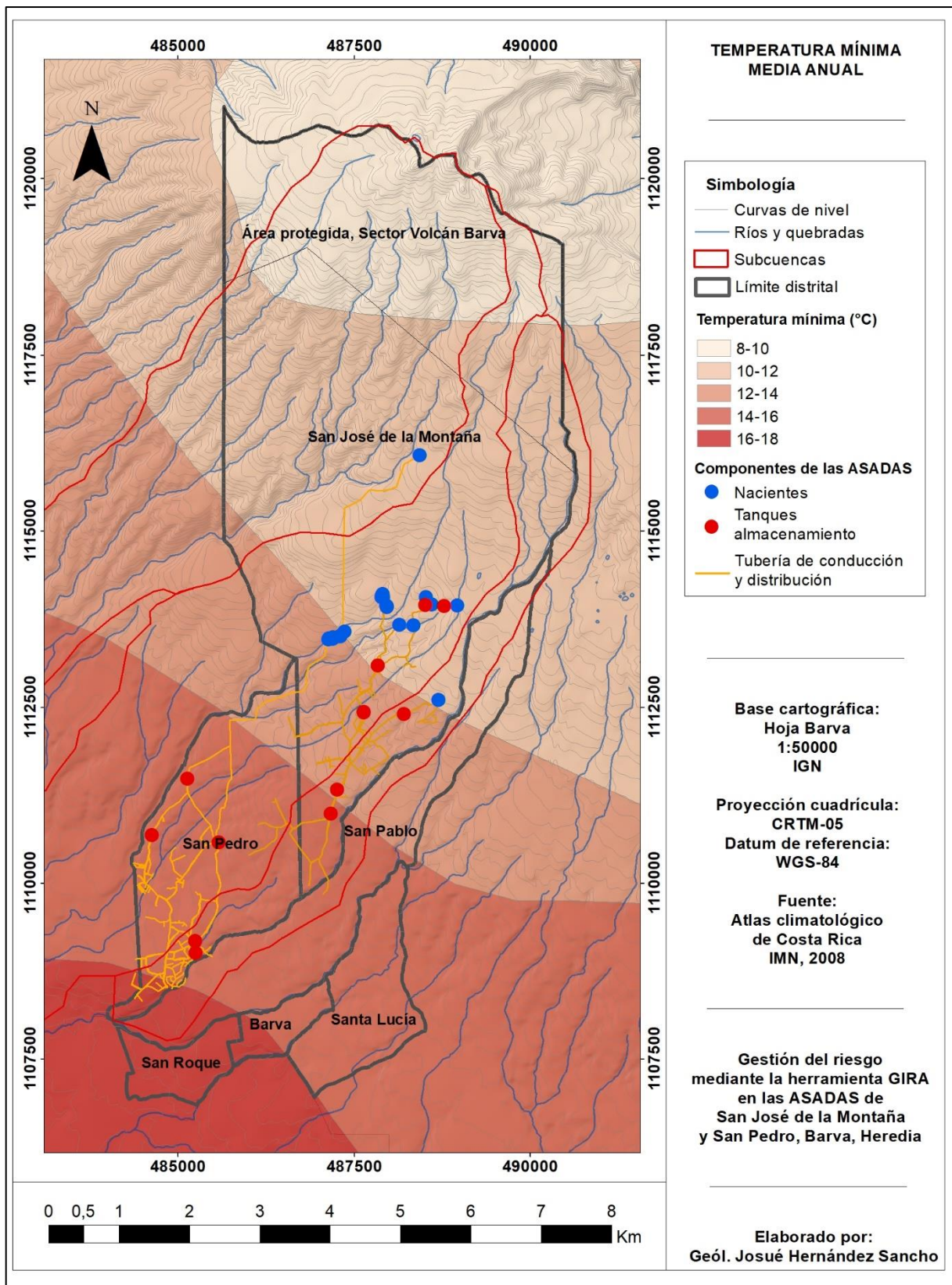


Figura N° 3.5: Temperatura mínima media anual (tomado de IMN, 2008).

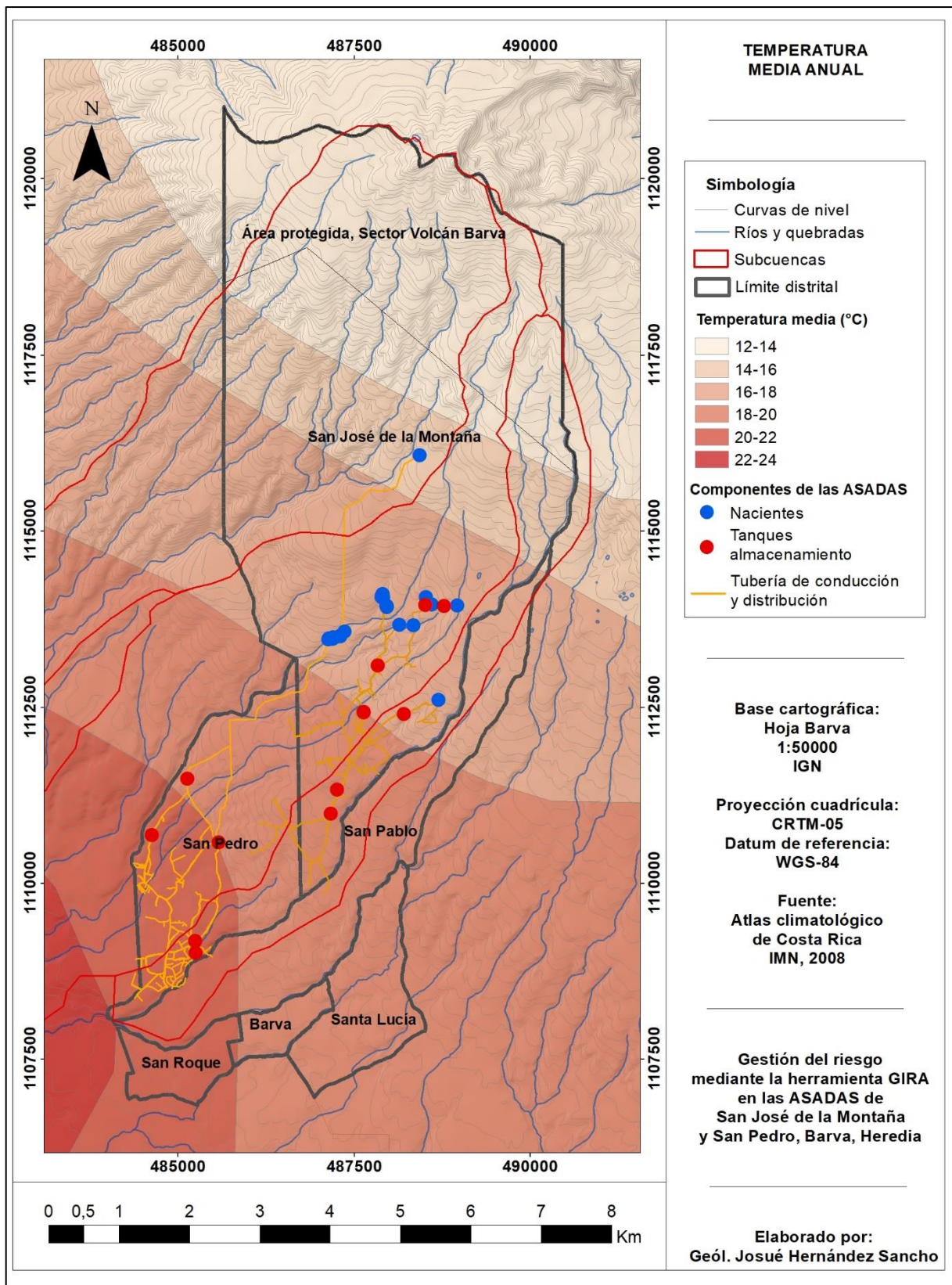


Figura N° 3.6: Temperatura media anual (tomado de IMN, 2008).

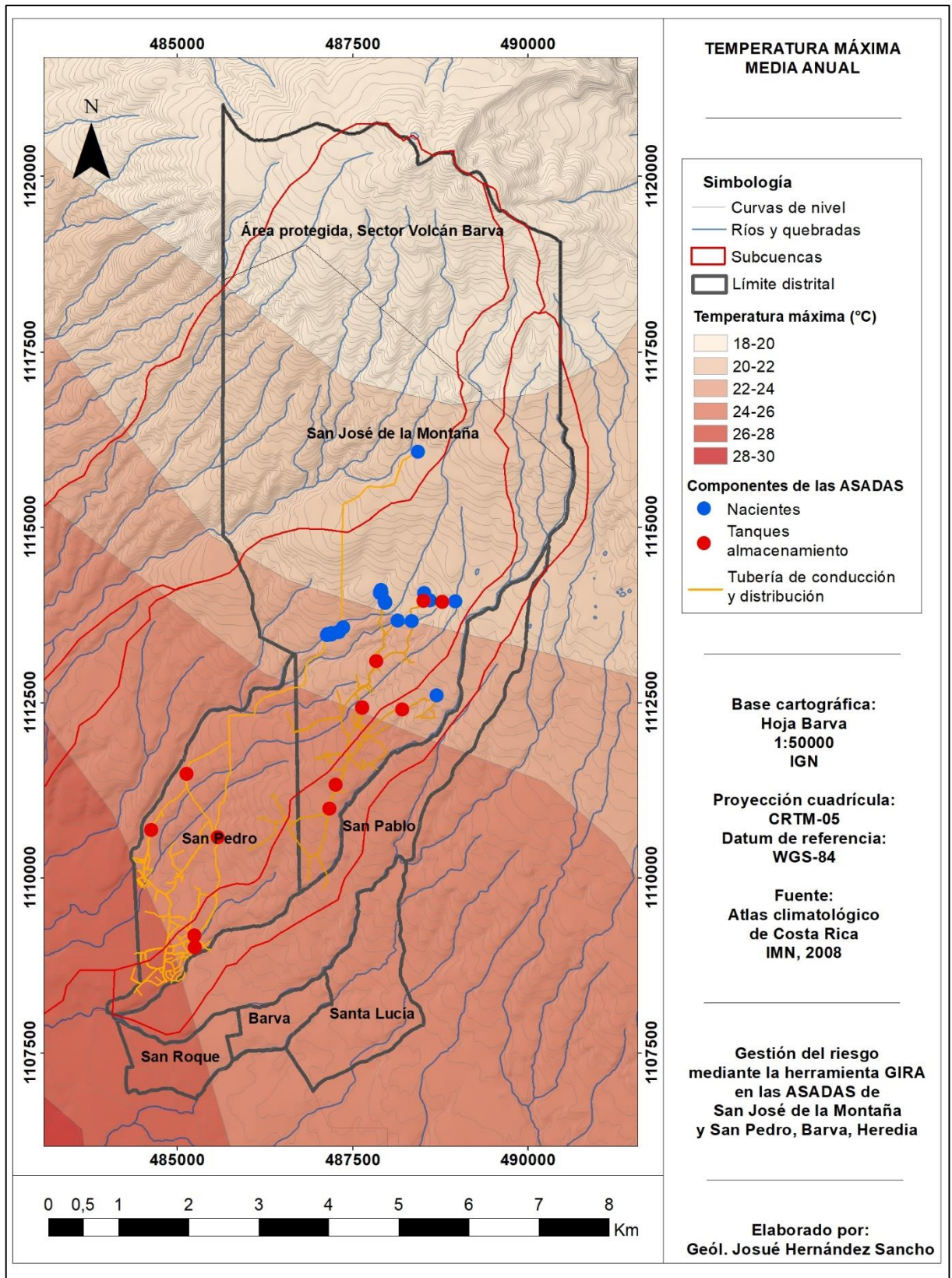


Figura N° 3.7: Temperatura máxima media anual (tomado de IMN, 2008).

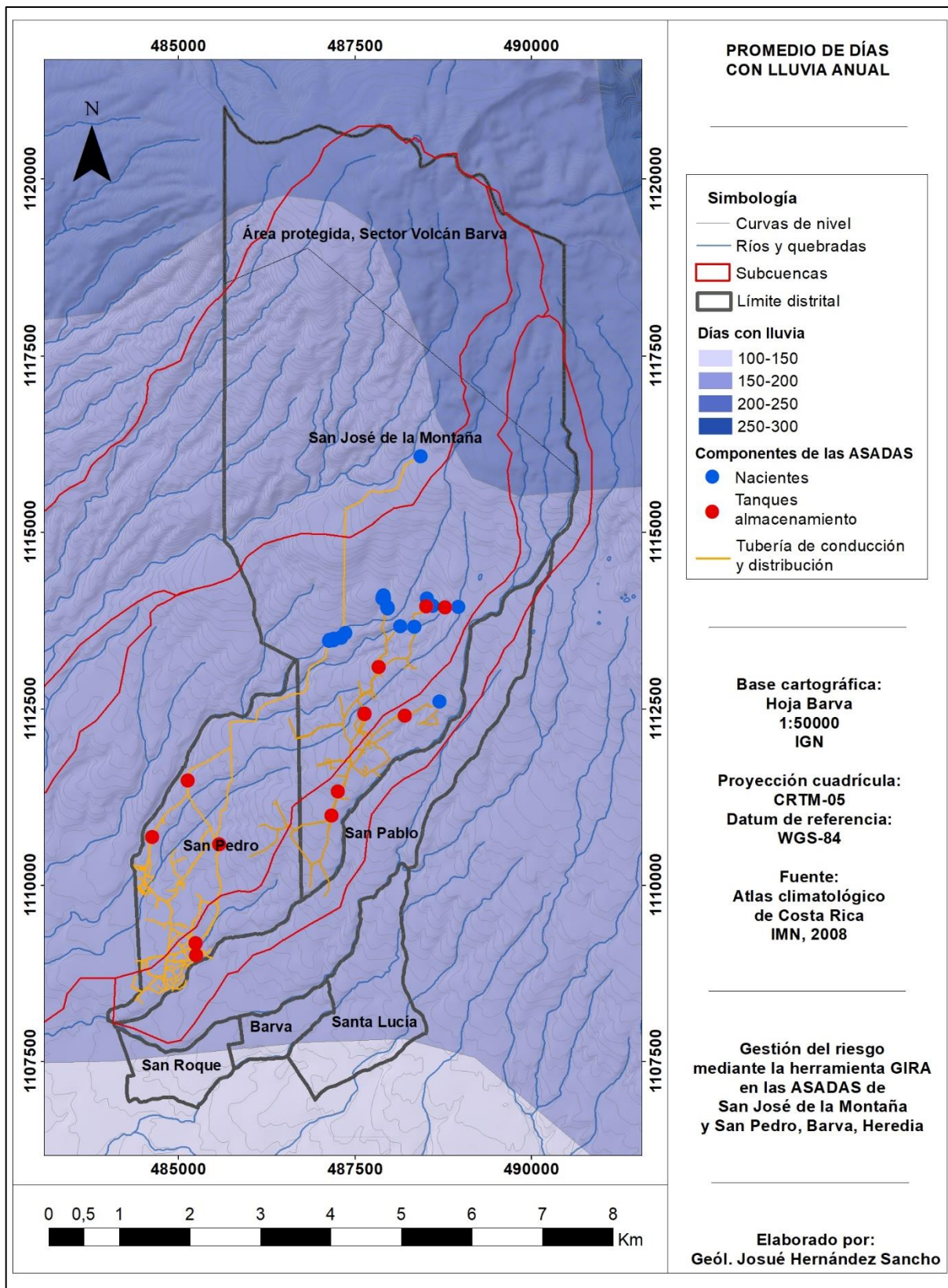


Figura N° 3.8: Promedio de días con lluvia anual (tomado de IMN, 2008).

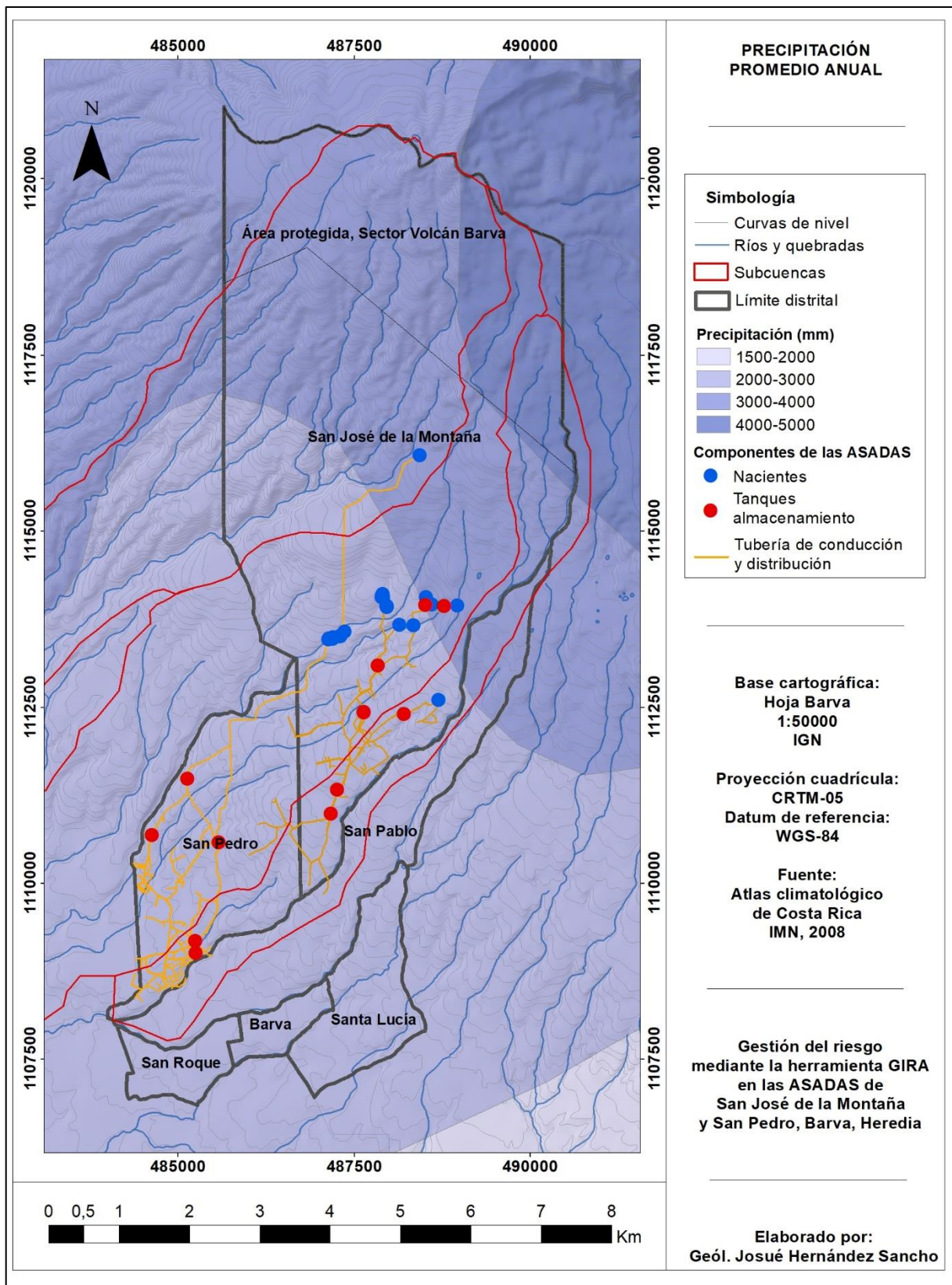


Figura N° 3.9: Precipitación promedio anual (tomado de IMN, 2008).

3.5 Uso del suelo

Tal y como lo indica el Plan de Desarrollo Humano Local de Barva 2015-2020 (Municipalidad de Barva, 2014) el cantón de Barva ha transformado de forma significativa su fisonomía, esto debido al proceso de desarrollo que ha enfrentado, con el objetivo primordial de ofrecer una calidad y condiciones de vida más óptimas a los habitantes de esta zona, con una serie de servicios, que están a la disposición de todas las personas y que facilitan de una u otra forma los aspectos sociales y económicos de la vida cotidiana. Asimismo, se indica que la mayor parte de su territorio está dedicado a actividades comerciales, agrícolas y de prestación de servicios, dentro de las que sobresalen el cultivo de café, flores, helechos y el turismo; siendo San José de la Montaña y San Pedro los distritos con mayor vocación agrícola y el café su producto principal.

Por otro parte, el documento menciona, según la información del censo oficial realizado por el INEC (2011), que el distrito central de Barva es el más densamente poblado, mientras que San José de la Montaña es el menos denso dado que es el distrito con mayor extensión territorial (64,54 %) y menor población después del distrito de San Roque. Caso contrario los distritos de San Pablo y San Pedro con mayor población respectivamente. En cuanto a la distribución de la población urbana y rural, se menciona que el cantón tiene la particularidad de contar con una zona rural bastante importante que comprende la parte norte de los distritos de San Pedro y San Pablo, con porcentajes de 3,20% y 19,10 % de población rural, y gran parte de San José de la Montaña con 32,40 %, territorios dedicados principalmente a la agricultura, ganadería y zonas especiales de protección, tal es el caso del último distrito mencionado, el cual mediante Decreto en el año 1888 se declara territorio inalienable de protección para conservar el agua de las futuras generaciones, aunque en la actualidad se observa mediante imágenes satelitales el aumento del uso urbano no planificado y actividades agropecuarias, algunas de gran carga contaminante, en detrimento de esta condición. En oposición a los distritos de Barva, San Roque y Santa Lucía urbanos en su totalidad.

En relación al uso de suelo en la zona, Madrigal et al. (2014) en su objetivo de elaborar un mapa de carga contaminante para los cantones de Santa Bárbara, Barva y San Rafael, indican que primero se dio un cambio en la mayor parte de la superficie, de cobertura boscosa a pastos, luego a fincas cafetaleras y cultivos mixtos, y luego a proyectos habitacionales, lo que a su vez propició una transformación en la amenaza ejercida sobre la calidad del agua del acuífero, la cual pasó de ser nula a moderada y elevada.

Siendo así como para el año 2008, cerca del 40% del territorio estaba cubierto por cultivo de café y asentamientos humanos, ambos con potencial de generación de carga contaminante moderado, una quinta parte por pastos con potencial reducido y menos de una décima parte por cultivos mixtos con potencial elevado. Siendo consecuencia directa de lo anterior, la eliminación de la cobertura boscosa en los cantones mencionados en un 70% del territorio, concentrándose principalmente en las zonas altas del acuífero cerca del Parque Nacional Braulio Carrillo, Sector Volcán Barva.

Madrigal et al. (2014) además mencionan como en las últimas décadas se ha producido sobre el acuífero Barva un aumento en el área cubierta por asentamientos humanos, siendo un ejemplo la cuenca del río Ciruelas, en la cual el uso urbano pasó de 14,6 % a 20,8 % de 1989 a 2003, en detrimento del uso agrícola (Ureña et al., 2006); y como para el 2008, la distribución del uso del suelo se caracterizó por un agrupamiento de zonas urbanas en las cabeceras de los cantones estudiados correspondiente a un 13%, la combinación de actividades agropecuarias en las partes medias representadas de la siguiente forma: cultivos mixtos en un 9%, plantaciones de café en un 26 %, pastos en un 20% y las áreas boscosas cuantificadas en un 32 % predominantemente en los sectores de mayor altitud (MIVAH, 2008).

Con respecto al uso del suelo en el cantón de Barva, utilizando igualmente la información del proyecto de actualización cartográfica de usos de la tierra a escala 1: 10 000 en la Gran Área Metropolitana (GAM) de Costa Rica (MIVAH, 2008), específicamente las hojas cartográficas Burío, Chompipe, Chorreras, Gongolona, La Hoja, Porrosatí, Sacramento y Turales, en las cuales el uso se clasificó en: bosque, cultivos de café, cultivos mixtos, pastos, pastos con árboles dispersos, urbano, áreas de transición a uso urbano y red vial; se puede observar que según la clasificación el mayor uso de la tierra en el cantón en ese momento correspondía con bosque (36 %), principalmente en las áreas cercanas al Parque Nacional Braulio Carrillo, Sector Volcán Barva, seguido por el cultivo de café (21 %) en la parte media y baja del cantón, pastos y pastos con árboles dispersos presentan un porcentaje similar, 12,06 y 12,70 % respectivamente, mientras que el uso urbano los supera con muy poco de diferencia (12,88 %), los cultivos mixtos alcanzan un porcentaje de 2,82 %, la red vial un 2,01 % y finalmente las áreas de transición a uso urbano un 0,14 %. Lo anterior se puede observar en la figura N° 3.10 y en la tabla N° 3.2, donde también se puede observar el porcentaje de uso de suelo según la clasificación anterior para cada distrito en específico.

De tal manera que, el distrito de San José de la Montaña en el 2008 poseía como uso mayoritario la clasificación de bosque con 49 %, seguido por pastos con árboles dispersos, pastos y cultivos de café como los más representativos, mientras que los usos urbano y cultivos se encuentran por debajo del 10 % y las áreas de transición y red vial representan apenas el 0,88 % en conjunto. Por el contrario, en el distrito de San Pedro el mayor uso de suelo corresponde con el cultivo de café (53,57 %), seguido del uso urbano (23,90 %), dejando los demás usos con porcentajes menores al 10 %, siendo el porcentaje mayor los bosques con 6,98 %.

Tabla N° 3.2: Porcentaje uso de suelo para el cantón de Barva y distritos (MIVAH, 2008).

| Distrito | Cantón | Barva | San José de la Montaña | San Pedro | San Pablo | San Roque | Santa Lucía |
|----------------------------------|---------|---------|------------------------|-----------|-----------|-----------|-------------|
| Clasificación uso de suelo | | | | | | | |
| Bosque | 36,08 % | 25,11 % | 49,00 % | 6,98 % | 15,91 % | 7,31 % | 10,05 % |
| Cultivos de café | 21,31 % | 1,19 % | 11,02 % | 53,57 % | 43,89 % | 20,36 % | 21,88 % |
| Cultivos mixtos | 2,82 % | 2,75 % | 2,08 % | 1,47 % | 4,22 % | 21,39 % | 4,04 % |
| Pastos | 12,06 % | 0,08 % | 14,50 % | 4,65 % | 6,07% | 0 % | 22,85 % |
| Pastos con árboles dispersos | 12,70 % | 0 % | 16,18 % | 5,38 % | 10,61 % | 0,72 % | 1,04 % |
| Urbano | 12,88 % | 57,89 % | 6,34 % | 23,90 % | 15,86 % | 44,06 % | 34,53 % |
| Áreas de transición a uso urbano | 0,14 % | 0 % | 0,04 % | 0,08% | 0,57 % | 0 % | 0,65 % |
| Red vial | 2,01 % | 12,98 % | 0,84 % | 3,97 % | 2,87 % | 6,16 % | 4,96 % |

En relación con lo anterior, el uso de suelo específicamente en las subcuencas en estudio, según la misma fuente de información del año 2008, muestra que la microcuenca del río Ciruelas presentaba la clasificación de bosque como mayoritaria con 52,26 %, seguido de pastos con 22,38 % y pastos con árboles dispersos con 14,51 %, dejando los demás usos por debajo del 10 %, situación muy similar al distrito de San José de la Montaña ya que la misma se encuentra en gran parte dentro de este. Caso similar con la microcuenca del río Porrosatí, la cual se encuentra en gran parte dentro del distrito de San Pedro y por lo tanto el mayor uso es el del cultivo de café con 38,31 %, siendo luego los de mayor relevancia el bosque, urbano y pastos con árboles dispersos con 22,97 %, 14,58 % y 8,00 % respectivamente. Por último, la microcuenca del río Mancarrón, la cual se extiende a lo largo de los límites distritales de San José de la Montaña, San Pedro y San Pablo, presentaba igualmente como mayor uso el cultivo de café con 31,32 % y el bosque (27,81 %), pastos con árboles dispersos (16,39 %) y urbano (12,82 %) como los restantes más relevantes. La información anterior se muestra en la tabla N° 3.3 y en la figura N° 3.11.

Tabla N° 3.3: Porcentaje uso de suelo en las subcuencas en estudio (MIVAH, 2008).

| Microcuenca | Río Ciruelas | Río Porrosatí | Río Mancarrón |
|----------------------------------|--------------|---------------|---------------|
| Clasificación uso de suelo | | | |
| Bosque | 52,26 % | 22,97 % | 27,81 % |
| Cultivos de café | 3,20 % | 38,31 % | 31,32 % |
| Cultivos mixtos | 1,61 % | 3,22 % | 1,93 % |
| Pastos | 22,38 % | 8,00 % | 7,23 % |
| Pastos con árboles dispersos | 14,51 % | 10,55 % | 16,39% |
| Urbano | 5,05 % | 14,58 % | 12,82 % |
| Áreas de transición a uso urbano | 0,15 % | 0,03 % | 0,23 % |
| Red vial | 0,84 % | 2,34 % | 2,27 % |

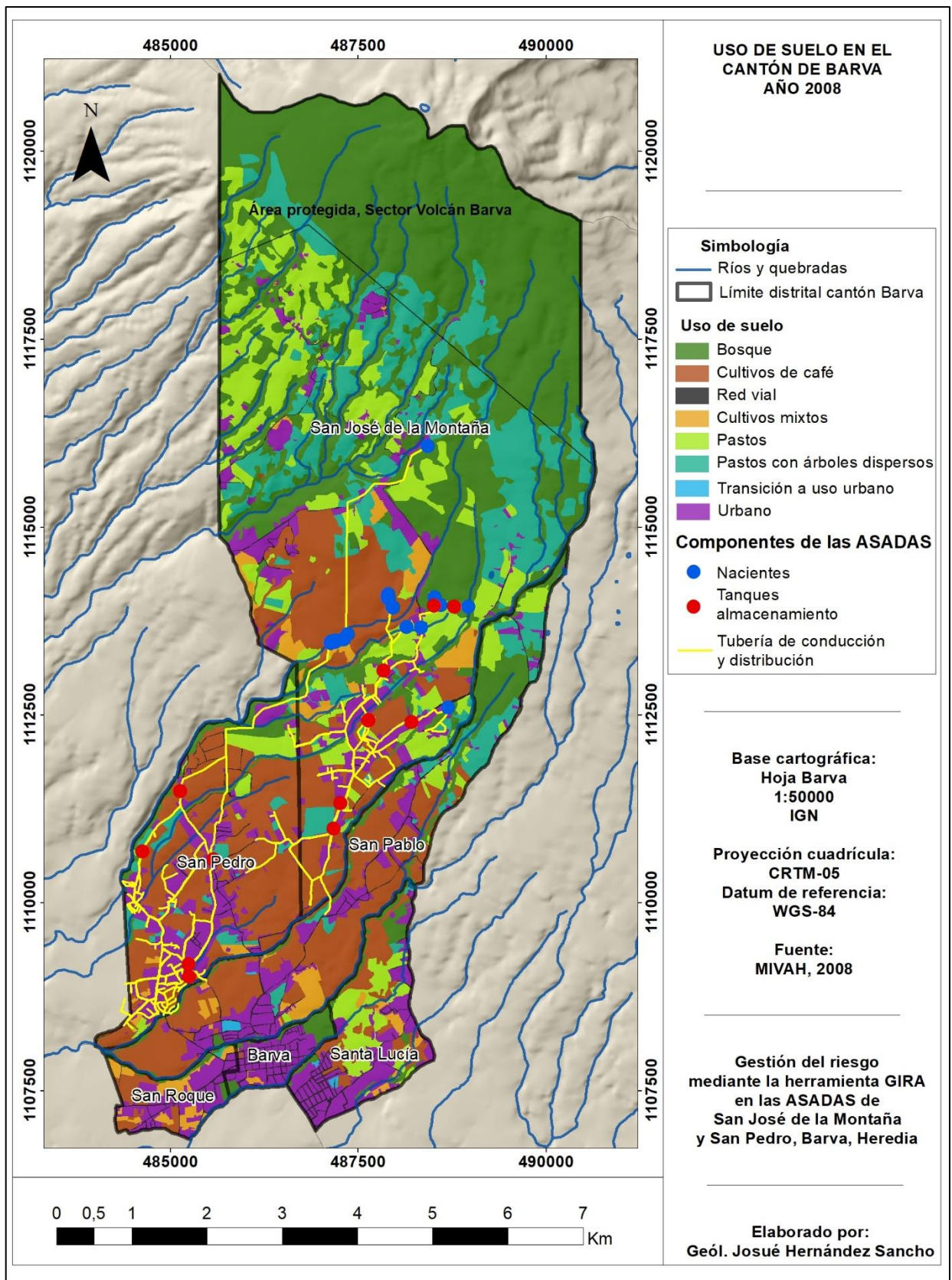


Figura N° 3.10: Uso de suelo en el cantón de Barva en el 2008 (tomado de MIVAH, 2008).

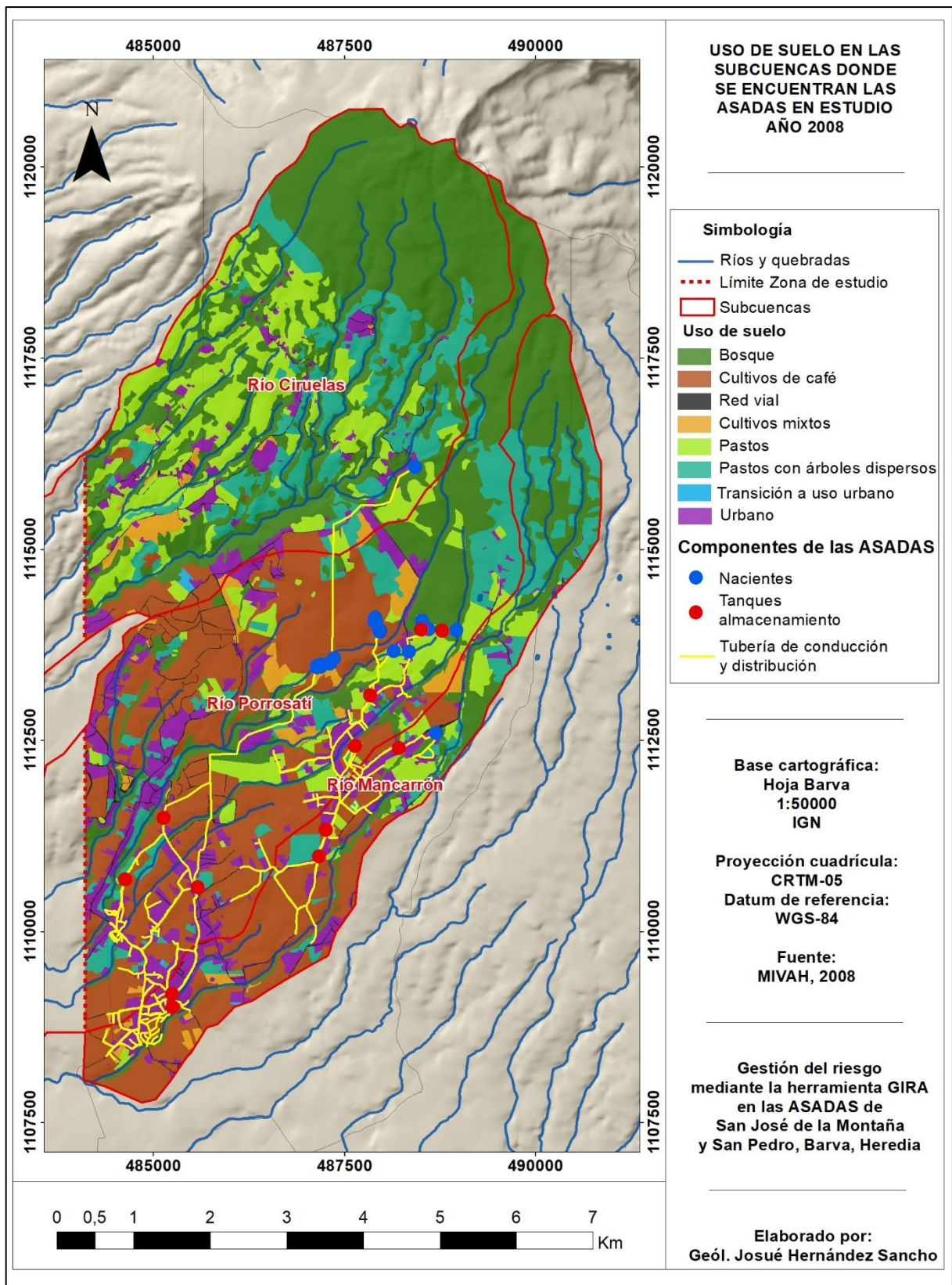


Figura N° 3.11: Uso de suelo en las subcuencas en estudio durante el 2008 (tomado de MIVAH, 2008).

Asimismo, con el fin de mostrar el uso de suelo actualizado y lograr verificar, así como cuantificar el cambio con respecto a la información del MIVAH (2008) anteriormente analizada, en el presente trabajo se muestra una clasificación del uso del suelo actual con las mismas clasificaciones anteriores a partir de la imagen de mapa base de ESRI: Add Basemap Imagery (2021). Primeramente, a nivel cantonal, se puede observar que los usos de suelo mayoritarios continúan siendo bosque y cultivo de café aunque con menores puntos porcentuales (p.p.), entendiendo esta medida como la diferencia entre dos porcentajes, los del análisis del 2008 y los resultados actuales, mientras que pastos, pastos con árboles dispersos y urbano, los cuales rondaban de forma similar un 12 %, siendo por muy poco superior el uso urbano, actualmente este es el uso menor pero con 1,55 p.p. mayor, mientras que los otros usos mencionados superan el 15 %, y los usos menores continúan siendo los cultivos mixtos (2,34 %) y la red vial con 2,02 %, aunque con pequeños cambios decimales en sus puntos porcentuales, el primero en detrimento mientras el segundo en aumento. Lo anterior se puede observar en la figura N° 3.12 y en la tabla N° 3.4, en el cual se puede observar también el porcentaje de uso de suelo por distrito y el aumento o disminución en puntos porcentuales con respecto al 2008 para cada clasificación de uso de suelo.

Específicamente los distritos en donde se encuentran las ASADAS en estudio, San José de la Montaña y San Pedro, en el primero el bosque continúa siendo el mayor uso, aunque con una pérdida de 1,61 p.p., seguido se encuentran igualmente los usos pastos con árboles dispersos y pastos, pero con un aumento en sus puntos porcentuales, de forma que en el presente presentan 19,32 % y 17,06 % respectivamente. El único cambio consiste en que el uso urbano (6,61 %) pasa a ser el siguiente uso mayoritario en vez del cultivo de café (6,30 %), el cual sufrió un detrimento de 4,72 p.p.; mientras que los cultivos mixtos (2,48 %) y red vial (0,84 %) siguen siendo los usos minoritarios.

De forma similar, en el distrito de San Pedro, el cultivo de café sigue siendo el mayoritario con 44,74 %, aunque con una pérdida de 8,82 p.p., seguido el uso urbano con 28,03 % con un aumento de 4,13 p.p., siendo el único cambio sustancial que el uso correspondiente a pastos pase a ser el siguiente uso mayoritario contrario a bosque en el 2008, con un porcentaje de 11,60 % aumentando 6,95 p.p., dejando los demás usos con porcentajes menores a 5 %, siendo el mayor bosque con 5,80 %.

En general, lo que se puede observar a nivel distrital a partir de la comparación entre el uso de suelo del 2021 y durante el año 2008, ver anexo 9.1, es que los cambios realizados se han hecho en detrimento del bosque y el cultivo de café, contrario al uso urbano y pastos que presentan mayor área, mientras que los cultivos mixtos en general han disminuido en todos los distritos excepto en San José de la Montaña y San Pedro con adquisición de puntos porcentuales, siendo igualmente este último distrito el único que perdió extensión de pastos con árboles dispersos. Por último, la red vial igualmente a aumentado ligeramente en algunos distritos, ya que en otros permanece con el mismo valor y la totalidad de áreas en transición a uso urbano ya cumplieron su proceso, siendo actualmente las únicas posibles áreas en transición pastos o pastos con árboles dispersos cercanos a las áreas de uso urbano.

Tabla N° 3.4: Porcentaje actual del uso de suelo para el cantón de Barva y distritos.

| Distrito | Cantón | Cambio respecto al 2008 (p.p.) | Barva | Cambio respecto al 2008 (p.p.) | San José de la Montaña | Cambio respecto al 2008 (p.p.) | San Pedro | Cambio respecto al 2008 (p.p.) | San Pablo | Cambio respecto al 2008 (p.p.) | San Roque | Cambio respecto al 2008 (p.p.) | Santa Lucía | Cambio respecto al 2008 (p.p.) |
|----------------------------------|---------|--------------------------------|---------|--------------------------------|------------------------|--------------------------------|-----------|--------------------------------|-----------|--------------------------------|-----------|--------------------------------|-------------|--------------------------------|
| Bosque | 34,59 % | -1,49 | 22,19 % | -2,92 | 47,39 % | -1,61 | 5,80 % | -1,18 | 15,72 % | -0,19 | 6,00 % | -1,31 | 6,27 % | -3,78 |
| Cultivos de café | 16,11 % | -5,2 | 0 % | -1,19 | 6,30 % | -4,72 | 44,74 % | -8,82 | 40,17 % | -3,72 | 14,65 % | -5,71 | 15,35 % | -6,53 |
| Cultivos mixtos | 2,34 % | -0,48 | 0,34 % | -2,41 | 2,48 % | +0,4 | 1,64 % | +0,17 | 2,25 % | -1,97 | 3,87 % | -17,52 | 2,57 % | -1,47 |
| Pastos | 15,37 % | +3,31 | 1,55 % | +1,47 | 17,06% | +2,56 | 11,60 % | +6,95 | 9,63 % | +3,56 | 10,53 % | +10,53 | 23,45 % | +0,6 |
| Pastos con árboles dispersos | 15,14 % | +2,44 | 0,80 % | +0,80 | 19,32 % | +3,14 | 4,17 % | -1,21 | 11,67 % | +1,06 | 1,65 % | +0,93 | 8,16 % | +7,12 |
| Urbano | 14,43 % | +1,55 | 62,13 % | +4,24 | 6,61 % | +0,27 | 28,03 % | +4,13 | 17,68 % | +1,82 | 56,99 % | +12,93 | 39,24 % | +4,72 |
| Áreas de transición a uso urbano | 0 % | -0,14 | 0 % | 0 | 0 % | -0,04 | 0 % | -0,08 | 0 % | -0,57 | 0 % | 0 | 0 % | -0,65 |
| Red vial | 2,02 % | +0,01 | 12,99 % | +0,01 | 0,84 % | 0 | 4,02 % | +0,05 | 2,88 % | +0,01 | 6,31 % | +0,15 | 4,96 % | 0 |

Nota: Punto porcentual (p.p.).

Tabla N° 3.5: Porcentaje actual del uso de suelo en las subcuencas en estudio.

| Microcuenca Clasificación uso de suelo | Río Ciruelas | Cambio respecto al 2008 (p.p.) | Río Porrosatí | Cambio respecto al 2008 (p.p.) | Río Mancarrón | Cambio respecto al 2008 (p.p.) |
|---|--------------|--------------------------------------|------------------|--------------------------------------|---------------|--------------------------------------|
| Bosque | 50,85 % | -1,41 | 21,47 % | -1,5 | 26,45 % | -1,36 |
| Cultivos de café | 2,49 % | -0,71 | 26,25 % | -12,06 | 25,27 % | -6,05 |
| Cultivos mixtos | 0,39 % | -1,22 | 4,31 % | +1,09 | 1,73 % | -0,2 |
| Pastos | 23,77 % | +1,39 | 14,13 % | +6,13 | 12,29 % | +5,06 |
| Pastos con árboles dispersos | 16,74 % | +2,23 | 15,65% | +5,1 | 16,99 % | +0,6 |
| Urbano | 4,92 % | -0,13 | 15,90 % | +1,32 | 14,96 % | +2,14 |
| Áreas de transición a uso urbano | 0 % | -0,15 | 0 % | -0,03 | 0 % | -0,23 |
| Red vial | 0,84 % | 0 | 2,29 % | -0,05 | 2,31 % | +0,04 |

Nota: Punto porcentual (p.p.).

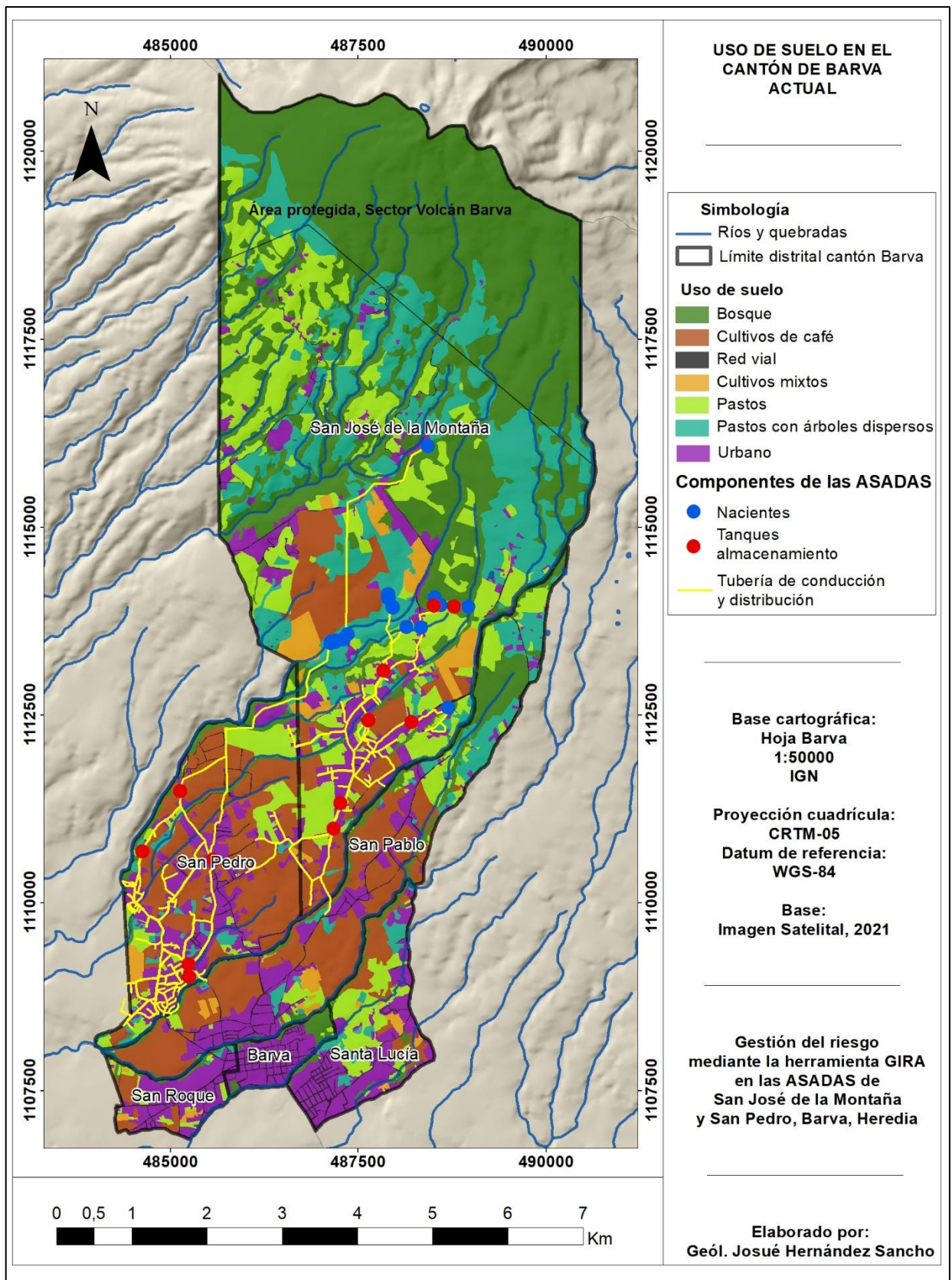


Figura N° 3.12: Uso de suelo actual en el cantón de Barva (elaboración propia).

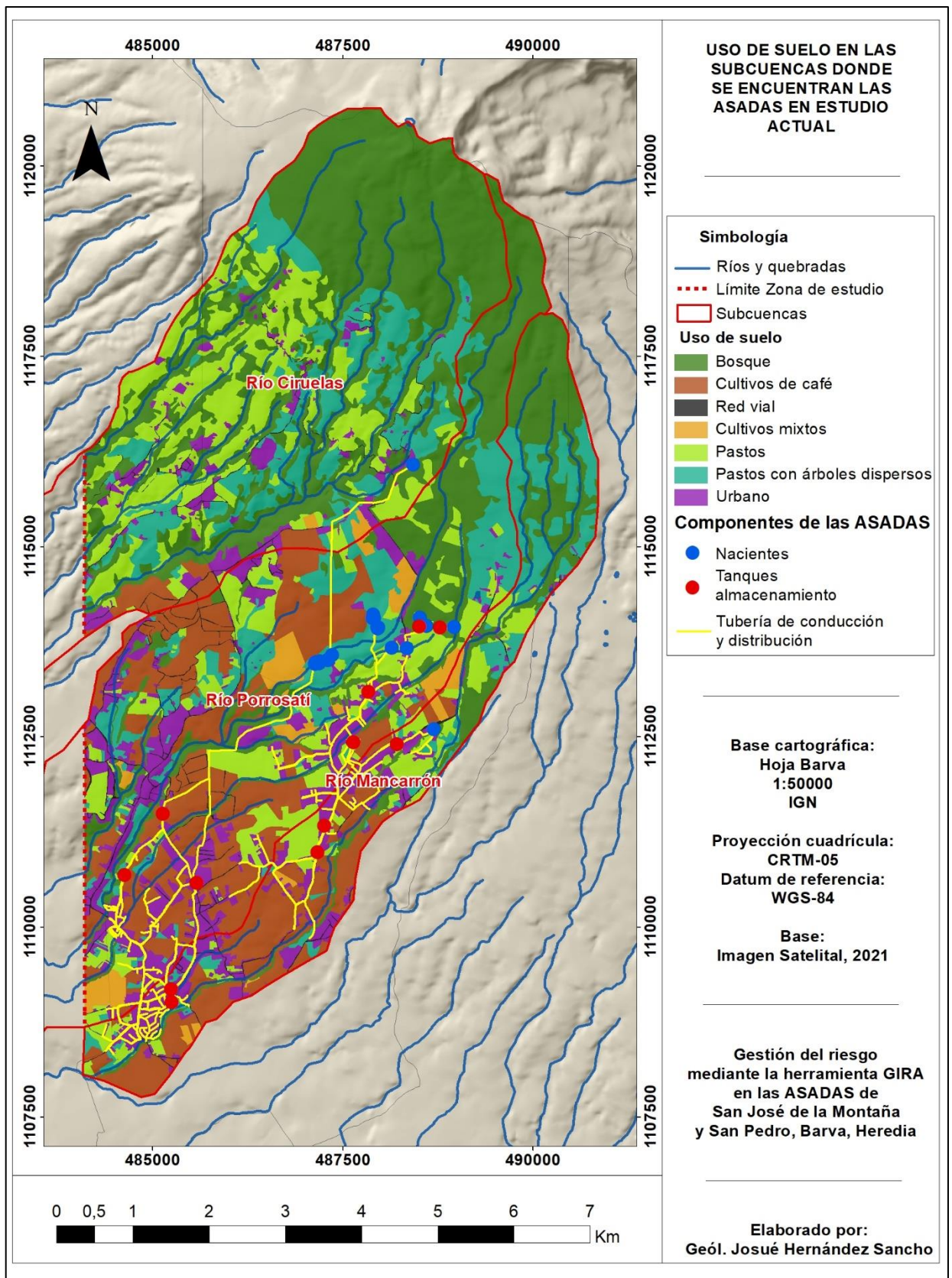


Figura N° 3.13: Uso de suelo actual en las subcuencas (elaboración propia).

Con respecto al uso del suelo actual en las subcuencas en estudio, la información se puede visualizar en la tabla N° 3.5 y en la figura N° 3.13. La microcuenca del río Ciruelas continúa con la clasificación de bosque como mayoritaria (50,85 %), seguido por pastos y pastos con árboles dispersos como los más representativos con 23,77 % y 16,74 % respectivamente y con menores porcentajes el uso urbano (4,92 %), café (2,49 %), red vial (0,84 %) y cultivos (0,39 %). En general se observa un detrimento en puntos porcentuales en los usos bosque, cultivos de café y cultivos mixtos, mientras que en pastos y pastos con árboles dispersos se observa un aumento, producto de la pérdida de bosque. Cabe rescatar que la pequeña disminución observada en el uso urbano responde al cálculo estadístico de los porcentajes y no a un cambio en el uso de suelo como tal.

La microcuenca del río Porrosatí, igualmente continúa con el cultivo de café como el uso mayor (26,25 %), seguido por bosques (21,47 %), urbano (15,90 %), pastos con árboles dispersos (15,65 %), pastos (14,13 %), cultivos mixtos (4,31 %) y red vial (2,29 %). Observándose una disminución en las áreas dedicadas al uso bosques y cultivos de café, al cambiar a uso urbano y pastos principalmente, ya que de igual forma los demás tuvieron un aumentaron, excepto la red vial que se mantuvo prácticamente igual.

En el caso de la microcuenca del río Mancarrón, la clasificación de bosque es mayoritaria (26,45 %), seguida por cultivos de café (25,27 %), pastos con árboles dispersos (16,99 %) y uso urbano (14,96 %) como los más representativos y en usos minoritarios pastos (12,29 %), red vial (2,31 %) y cultivos mixtos (1,73 %).

A manera de resumen, como se puede observar en el uso de suelo de los distritos y subcuencas, tanto del 2008 como el actual (2021), ver anexo 9.1, el uso urbano se da principalmente en las partes bajas ubicadas al sur, las áreas dedicadas a cultivos y pastos se encuentran en la zona media, con altitudes intermedias y pendientes moderadas, y las áreas boscosas al norte, en la cercanía con el área protegida del sector volcán Barva. Cabe rescatar que, en las tres subcuencas, las áreas clasificadas como transición a uso urbano en el 2008, las cuales se encontraban principalmente en la zona media, para el año 2021 ya formaban parte del uso urbano en su totalidad.

CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA, VULNERABILIDAD FUNCIONAL Y AMENAZAS DE LAS ASADAS SAN JOSÉ DE LA MONTAÑA Y SAN PEDRO DE BARVA

En este capítulo se hizo una caracterización de los componentes de cada sistema, así como una evaluación de la capacidad funcional de las ASADAS en diferentes áreas, operativa, sanitaria, administrativa e infraestructural. Además, se identificaron las amenazas naturales y antrópicas en las subcuencas en donde se ubican los acueductos en estudio, analizando la probabilidad de afectación, nivel de consecuencia y el costo de impacto sobre los componentes; así como el grado de preparación de estos ante una posible emergencia.

4.1 Caracterización del sistema de las ASADAS San José de la Montaña y San Pedro

A. Caracterización de la ASADA de San José de la Montaña

Primeramente, tal y como lo indica la metodología, se estableció el equipo encargado de realizar o apoyar en la elaboración de la herramienta GIRA, este estuvo compuesto por el autor de esta investigación, como guía y facilitador, el administrador de la ASADA, el señor Rodolfo Gamboa Chaverri, el ingeniero forestal Ignacio Sanabria Montero y el equipo técnico.

Con respecto a los componentes del sistema, la información fue obtenida de la base de datos SAGA integrada en la herramienta GIRA, la cual muestra la información mediante una ficha técnica. Esta muestra que la ASADA de San José de la Montaña brinda servicios de acueducto e hidrantes, más no de saneamiento a 8 comunidades, tiene un total de 3066 abonados, el tipo de fuentes de captación son 13 nacientes únicamente y con respecto a los componentes del acueducto, se encuentran divididos entre 3 sistemas y corresponden con 13 obras de captación, 6 de conducción, 8 tanques de almacenamiento, 8 redes de distribución y 4 sistemas de desinfección.

Esta información fue validada por el administrador de la ASADA (Gamboa, R., comunicación personal, 4 de mayo del 2021), corrigiendo a manera de actualización, que el número de abonados son 1691, los cuales generan un ingreso mensual promedio de once millones setecientos mil colones por concepto de tarifa y la cantidad de comunidades abastecidas son 9, Bajito Mancarrón, Cementerio, Centro, Espinos, Gallito, La Zapata, San Miguel, Santa Clara y Monte Alto, siendo esta última la más reciente y la red de distribución identificada como adicional. Con respecto a los componentes, los tanques de almacenamiento son 8: Ileana y uno que funciona como quiebra gradiente y almacenamiento denominado La Amistad para el sistema San Miguel, Barbas de Viejo y Gallito para el sistema del mismo nombre y La Marta, Nel Ruíz 1 y 2, Chaverri y Bajito para el sistema central. Los sistemas de desinfección son 4 y consisten en cloradores de cámara húmeda, los cuales se encuentran en el desarenador Barbas del Viejo, en el tanque Ileana,

en el manantial San Miguel y en el tanque La Marta o en los tanques Nel Ruíz, el cual es opcional en caso de que el clorador en el tanque La Marta o el tanque requieran mantenimiento.

Continuando con la caracterización del acueducto. En la tabla N° 4.1 se observa la ubicación y los caudales mínimos durante el mes de mayo del 2020 por las distintas nacientes (Gamboa, R., comunicación personal, 4 de mayo del 2021), las cuales se encuentran en su totalidad en el miembro Bermúdez (lavas), muy cerca del contacto con el miembro Porrosatí (tobas) en la parte superior.

Tabla N° 4.1: Ubicación y caudales de las nacientes de la ASADA San José de la Montaña.

| Naciente | Ubicación | | Caudal (2020) |
|-----------------|-----------|---------|---------------|
| | X | Y | |
| Barbas de Viejo | 488749 | 1112605 | 6 l/s |
| Cholo Hernández | 488144 | 1113660 | 10,12 l/s |
| San Miguel | 488340 | 1113650 | 3,40 l/s |
| Minas 1 | 487966 | 1113920 | 3,24 l/s |
| Minas 2 | 487956 | 1113930 | |
| Minas 3 | 487960 | 1113910 | |
| José Maclovio 1 | 487902 | 1114090 | 9,12 l/s |
| José Maclovio 2 | 487896 | 1114080 | |
| José Maclovio 3 | 487911 | 1114050 | |
| José Maclovio 4 | 487892 | 1114050 | |
| Ansata | 488967 | 1113930 | 2,15 l/s |
| Anabel 1 | 488516 | 1114050 | 3,18 l/s |
| Anabel 2 | 488602 | 1113950 | |
| Total | | | 37,21 l/s |

En relación a los tanques de almacenamiento, la ASADA cuenta actualmente con un almacenamiento total de 1375 m³, en la tabla N° 4.2 se muestra la ubicación, capacidad y sector de abastecimiento de los tanques con que cuenta el acueducto (Gamboa, R., comunicación personal, 4 de mayo del 2021; Sanabria, 2021).

Tabla N° 4.2: Ubicación, capacidad y sector de abastecimiento de los tanques de almacenamiento de la ASADA de San José de la Montaña.

| Tanque de almacenamiento | Ubicación | | Capacidad | Sector de abastecimiento |
|--------------------------|-----------|---------|--------------------|--|
| | X | Y | | |
| La Marta | 487841 | 1113080 | 350 m ³ | Centro, Cementerio, Monte Alto y La Zapata |
| Nel Ruiz 1 y 2 | 487638 | 1112420 | 550 m ³ | |
| Chaverri | 487261 | 1111320 | 125 m ³ | Bajito Mancarrón y Espinos |
| Bajito | 487172 | 1110970 | 40 m ³ | |
| Gallito | 488212 | 1112390 | 80 m ³ | Gallito y Santa Clara |
| Barbas de Viejo | 488699 | 1112590 | 120 m ³ | Gallito y Santa Clara |
| Ileana | 488510 | 1113940 | 110 m ³ | San Miguel |
| La Amistad | 488776 | 1113926 | 60 m ³ | San Miguel |

Con respecto a la tubería de conducción y distribución, el sistema 1 cuenta con 2,51 km y 17,06 km respectivamente, el sistema 2 con 1,23 km y 2,91 km y el sistema 3 con 0,83 km y 3,86 km (Sanabria, 2021), en cuanto a los materiales (Gamboa, R., comunicación personal, 5 de noviembre del 2021) menciona que la mayoría de la tubería en general es de PVC, con algunos tramos en polietileno.

Finalizando, el acueducto se divide en tres sistemas, el central o sistema 1 incluye los sectores del Centro, Cementerio, La Zapata, Monte Alto, Espinos y Bajito-Mancarrón y se alimenta de las nacientes, Cholo Hernández, San Miguel, José Maclovio 1, 2, 3, y 4 y Las Minas 1, 2 y 3. El sistema 2 o San Miguel, incluye el sector de esta localidad y se alimenta de las nacientes Anabel 1 y 2 y Ansata y el sistema 3 o Gallito, que incluye el sector del mismo nombre y Santa Clara, se alimenta de las nacientes Barbas del Viejo. En la tabla N° 4.3 se muestran las obras de infraestructura para cada sistema.

Tabla N° 4.3: Obras de infraestructura por sistema de la ASADA San José de la Montaña.

| Sistema | Captación | Conducción | Tanques de almacenamiento | Redes de distribución | Sistemas de desinfección |
|----------------------|-----------|------------|---------------------------|-----------------------|--------------------------|
| Total de obras | 13 | 7 | 8 | 8 | 4 |
| Sistema 1 Central | 9 | 3 | 4 | 6 | 2 |
| Sistema 2 San Miguel | 3 | 3 | 2 | 1 | 1 |
| Sistema 3 Gallito | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 |

Seguidamente, en la figura N° 4.1 se muestra el mapa ilustrativo de riesgos de la ASADA según la metodología GIRA, el cual permite visualizar los componentes del acueducto con respecto a su entorno, al ubicar de forma representativa distintos componentes del ambiente y comunidad, así como amenazas antropogénicas, permitiendo identificar posibles zonas de riesgo. Específicamente, en el mapa ilustrativo realizado para la ASADA San José de la Montaña, se pudieron identificar tres zonas de riesgo alto entorno a las nacientes del acueducto, ya que cerca de estas se realizan prácticas agrícolas no sostenibles y ganadería, las cuales podrían ser posibles fuentes de contaminación, así como una zona de riesgo bajo donde la tubería de distribución se encuentra cerca igualmente de prácticas agrícolas no sostenibles o de tanques sépticos en centros de población, ya que, ante una eventual fuga o avería, igualmente podrían ser fuente de contaminación para el sistema.

Además, aunque no existen fichas dentro de la metodología para señalar amenazas naturales, igualmente se logró identificar una zona de alto riesgo en los pasos elevados de tubería a raíz de deslizamientos, como también una zona de riesgo bajo por la cercanía de nacientes al cauce de un río, debido a posibles crecidas del mismo o deslizamientos en su flanco cercano a la fuente.

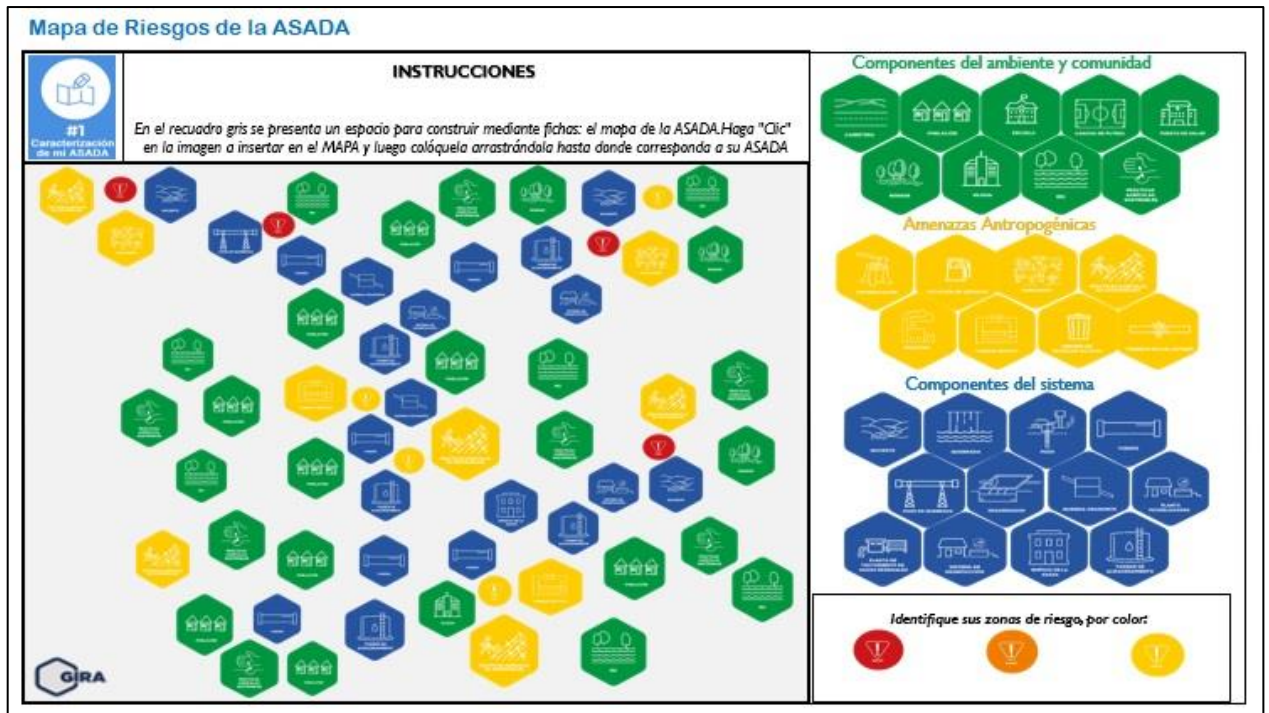


Figura N° 4.1: Mapa ilustrativo de los componentes del sistema y su entorno, ASADA San José de la Montaña (elaboración propia).

Por último, en la figura N° 4.2 se observa el mapa de los componentes y sectores de abastecimiento de la ASADA San José de la Montaña según información geográfica, obtenida del trabajo de Varela (2020), como práctica profesional en la carrera de ciencias geográficas de la Universidad Nacional de Costa Rica, trabajo suministrado por la ASADA y por comprobación y verificación de los mismos mediante visitas de campo.

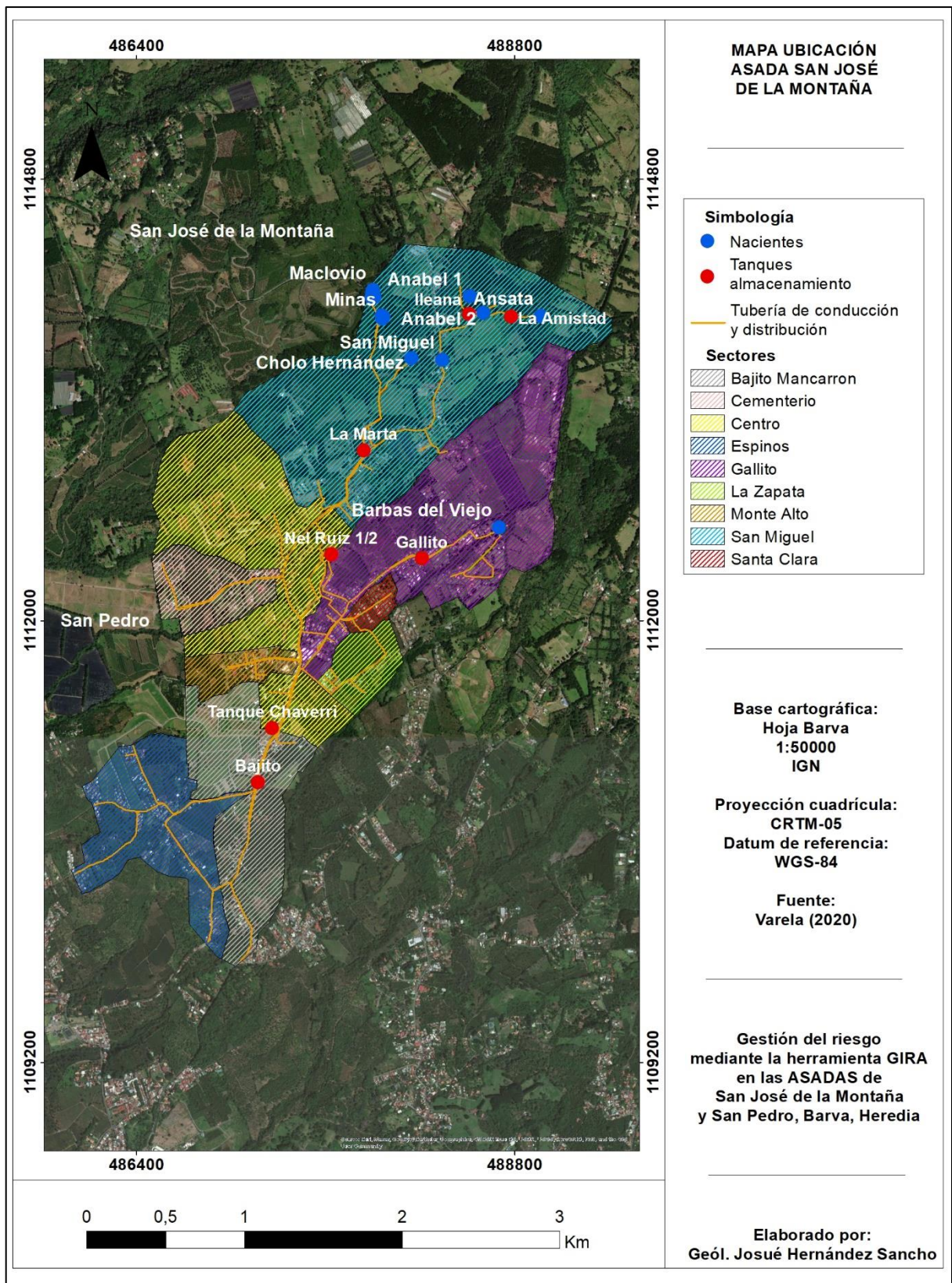


Figura N° 4.2: Mapa de los componentes del sistema y su entorno, ASADA San José de la Montaña (tomado de Varela, 2020).

B. Caracterización de la ASADA de San Pedro de Barva

El equipo encargado de realizar o apoyar en la elaboración de la herramienta GIRA estuvo compuesto igualmente por el autor de esta investigación, como guía y facilitador, el administrador de la ASADA, el señor Luis Fabián Córdoba Rojas y el equipo técnico.

La ficha técnica que despliega la herramienta GIRA indica que el acueducto brinda servicios de acueducto e hidrantes, pero no de saneamiento, a 2 comunidades, tiene un total de 4212 abonados, el tipo de fuentes de captación corresponden con 6 nacientes y un pozo; y en relación a las obras de infraestructura, estas se encuentran dentro de un solo sistema y corresponden con 6 obras de captación, 6 de conducción, 4 tanques de almacenamiento, 2 redes de distribución, 2 sistemas de desinfección y 1 sistema de bombeo.

A manera de revisión y actualización de la información anterior, el administrador (Córdoba, L.F., comunicación personal, 17 de mayo del 2021) indicó que el número de abonados son 2111 en el sistema por gravedad y 300 en el sistema de bombeo, para un total de 2411 abonados, que generan un ingreso mensual promedio para la ASADA de dieciséis millones de colones por concepto de tarifa. La cantidad de comunidades abastecidas son 6, La Máquina, Calle Segura, el centro de San Pedro, El Bosque, Naranja y la urbanización Doña Elena, en las cuales los componentes se encuentran distribuidos en tres sistemas, uno por bombeo y los otros dos por gravedad. El número de nacientes son 8: El Bosque, El Centro, El Naranja, Steinworth, Calle Segura, La Piedra, Geovanys y Chagos. Cabe rescatar que las líneas de conducción desde estas nacientes hasta los lugares de reunión o tanques de almacenamiento en algunos sectores son pasos elevados, ya que se tienen que atravesar barrancos de ríos o quebradas. Por último, el sistema por gravedad cuenta con un filtro o planta de agua, denominada quebrada Naborí, cercana al lugar donde se encuentran las demás nacientes ya que se forma por rebalse de estas, el cual funciona únicamente cuando el acueducto presenta bajos caudales en la época seca.

Con respecto a los tanques de almacenamiento, estos efectivamente son 4: Doña Elena del sistema de bombeo y La Amada, El Bosque y San Pedro del sistema por gravedad, siendo este último el más reciente, ya que antes estaba el tanque de almacenamiento Vega, sin embargo, este con la construcción del San Pedro, con mayor volumen, funciona como quiebra gradiente, pero igualmente se encuentran en conexión y muy cercanos entre sí, además sobre la línea de distribución abastecida por el tanque La Amada, se construyeron dos tanques denominados Los Gemelos, con capacidad de 30 m³ cada uno, que se utilizan cuando el tanque La Amada requiere mantenimiento. Por último, los sistemas de desinfección son 4, uno de tipo inyección a presión mediante ACL 90 en el tanque Doña Elena y 3 de tipo cámara de sumersión mediante ACL 90 en los tanques Amada, San Pedro y un tercero, el cual sirve de refuerzo para mantener el valor del cloro residual dentro del rango establecido, en el tanque El Bosque (Córdoba, L.F., comunicación personal, 17 de mayo del 2021).

Por otra parte, la ASADA suministró el estudio, Evaluación y diseño 2011, sistema de agua potable, acueducto San Pedro de Barva, Heredia (Ingenieros Consultores y

Ejecutores de Acueductos S.A. [ICEA], 2011), el cual detalla mejor el sistema y sus componentes. En cuanto a las nacientes, este estudio indica que la línea de tubería Chagos, es una línea que se deriva de una línea de conducción de la Empresa de Servicios Públicos de Heredia, mientras que las demás nacientes, conocidas como Nacientes Steinvorth, se ubican en una zona protegida de la Finca La Martha, propiedad de Botho Steinvorth, y son exclusivas para el acueducto, caracterizando un sistema por gravedad. Mientras que el pozo únicamente abastece a la Urbanización Doña Elena. En la tabla N° 4.4 se observa la ubicación y los caudales mínimos durante el mes de mayo del 2020 por las nacientes (Córdoba, L.F., comunicación personal, 9 de diciembre del 2021).

Tabla N° 4.4: Ubicación y caudales de las fuentes de la ASADA San Pedro de Barva.

| Naciente | Ubicación | | Caudal (2020) |
|-------------------------|-----------|---------|---------------|
| | X | Y | |
| Línea de tubería Chagos | 488427 | 1116070 | 9,27 l/s |
| Calle Segura | 487361 | 1113561 | 2,81 l/s |
| Steinvorth | 487197 | 1113482 | 0,53 l/s |
| Naranjo | 487199 | 1113465 | 1,13 l/s |
| El Centro | 487191 | 1113456 | 3,38 l/s |
| El Bosque | 487143 | 1113467 | 2,09 l/s |
| La Piedra | 487306 | 1113494 | 0,33 l/s |
| Geovannys | 487136 | 1113448 | 0,27 l/s |
| Total | | | 19,82 l/s |
| Quebrada Naborí | 487307 | 1113501 | - |
| Pozo Doña Elena | 485255 | 1109003 | 6,5 l/s |

Con relación a las líneas de conducción desde cada naciente, ICEA (2011) menciona que el caudal de las nacientes Chagos, Calle Segura y Steinvorth llegan a una caja de reunión 1, las nacientes Naranjo y El Centro a una caja de reunión 2A y la naciente El Bosque llega a la caja de reunión 2; luego de la caja de reunión 1 sale una línea de tubería de 100 mm, hasta llegar a la caja de reunión 2, de igual forma de la caja de reunión 2A sale una línea de tubería de 75 mm, aumentando en un punto a 100 mm, hasta llegar a la caja de reunión 2, denominada Mario Ulate, y es aquí donde se reúnen los caudales de todas las nacientes, de modo que a partir de este punto sale nuevamente una línea de tubería de 100 mm en hierro galvanizado y PVC, con una longitud de 4433,69 m, hasta los tanques de almacenamiento La Amada y San Pedro.

En cuanto a los tanques de almacenamiento, ICEA (2011) indica que el acueducto contaba para la fecha de realización del estudio con un almacenamiento total de 440 m³ para el sistema por gravedad, sin embargo, según las proyecciones realizadas en el mismo estudio para satisfacer la demanda a 20 años era necesario un volumen adicional de 1000 m³; aparte el estudio menciona el tanque metálico elevado de 120 m³ en la Urbanización Doña Elena. Ahora bien, cabe aclarar que la ASADA actualmente ya cuenta con el volumen adicional mediante la construcción del tanque San Pedro mencionado anteriormente en el año 2018. Por lo que en la tabla N° 4.5 se muestra la ubicación, capacidad y sector de abastecimiento de los tanques con que actualmente cuenta el acueducto.

Tabla N° 4.5: Ubicación, capacidad y sector de abastecimiento de los tanques de almacenamiento de la ASADA de San Pedro de Barba.

| Tanque de almacenamiento | Ubicación | | Capacidad | Sector de abastecimiento |
|--------------------------|-----------|---------|---------------------|--|
| | X | Y | | |
| Amada | 485133 | 1111470 | 85 m ³ | Calle La Máquina y sectores del centro |
| Los Gemelos | 484628 | 1110668 | 60 m ³ | Calle La Máquina y sectores del centro |
| San Pedro | 485576 | 1110565 | 1000 m ³ | Urbanización El Bosque y sectores del Centro |
| Vega | 485534 | 1110620 | 150 m ³ | |
| El Bosque | 485243 | 1109170 | 205 m ³ | Parte central y baja del acueducto |
| Doña Elena | 485252 | 1109000 | 120 m ³ | Urbanización Doña Elena |

Con respecto a las tuberías, en el sistema se tiene en conducción 4662,03 m y en distribución 26858,53 m, para un total de 31520,56 m, del cual en tuberías de hierro galvanizado se tienen 2765,42 m en diámetros de 150, 100, 75, 63, 50, 38 y 25 mm y en PVC 28755,14 m en diámetros de 150, 100, 75, 63, 50, 38, 25 y 19 mm (ICEA, 2011). Más recientemente la ASADA de San Pedro de Barva (2020) menciona que las líneas de conducción hacia los tanques Amada y San Pedro son de Tubería PVC, con diámetros de 4 y 6 pulgadas y una longitud de 4,665 km, mientras que la red de Chagos es de PVC y polietileno, con diámetros de 4 y 3 pulgadas y una longitud de 3,355 km.

Por otra parte, ICEA (2011) menciona que la Urbanización Doña Elena cuenta con un pozo de 110 m de profundidad, nivel estático de 66,30 m, nivel dinámico de 67,35 m, una bomba sumergible de 10 HP y un caudal de extracción de 6,5 l/s, el cual para la fecha del estudio abastecía un total de 277 previstas.

En conclusión, los componentes del acueducto se distribuyen en tres sistemas, el sistema 1 inicia del tanque de almacenamiento La Amada y abastece al sector de Calle La Máquina, mientras que el sistema 2 inicia del tanque de almacenamiento San Pedro, del cual a partir de un tanque quiebra gradiente se abastece el sector Calle Segura y a través de tubería de distribución a la Urbanización El Bosque, luego continuando hasta una derivación, una de las líneas abastece el sector del Centro y otra lleva el caudal hacia los tanques de almacenamiento El Bosque, de los cuales se abastece el resto del sistema, incluyendo el sector Naranjo. El sistema 3 corresponde con el sector de la Urbanización Doña Elena, el cual se abastece por un pozo y distribuye por sistema de bombeo. Ahora bien, esta forma más organizada de ver el acueducto será tomada como una actualización de la ficha técnica brindada por la herramienta GIRA, de modo que en la tabla N° 4.6 se muestran las obras de infraestructura para cada uno y en la figura N° 4.4, se observa el mapa con los componentes y sectores de abastecimiento según ICEA (2011) y levantamiento mediante visitas de campo.

Tabla N° 4.6: Obras de infraestructura por sistema de la ASADA San Pedro de Barva.

| Sistema | Captación | Conducción | Tanques de almacenamiento | Redes de distribución | Sistemas de desinfección |
|-----------------------------------|-----------|------------|---------------------------|-----------------------|--------------------------|
| Total de obras | 9 | 9 | 5 | 3 | 4 |
| Sistema 1 La Máquina | 4 | 4 | 2 | 1 | 1 |
| Sistema 2 San Pedro | 4 | 5 | 2 | 1 | 2 |
| Sistema 3 Urbanización Doña Elena | 1 (pozo) | | 1 | 1 | 1 |

Por último, a manera de representación, en la figura N° 4.3, se observa el mapa ilustrativo de riesgos según la metodología GIRA, en el cual se observan zonas de riesgo alto en el sector de las nacientes al desarrollarse cerca actividades agrícolas no sostenibles, actividades ganaderas o deforestación, que podrían afectar las fuentes del acueducto, así como una zona de riesgo alto donde se encuentra el pozo al ubicarse cerca tanques sépticos, como también , zonas de riesgo bajo en los sectores donde la tubería de distribución, debido a fugas, se pueda convertir en una entrada de sustancias contaminantes al encontrarse cerca de actividades agropecuarias o tanques sépticos en áreas urbanas.

Además, al igual que la ASADA anterior, aunque no existen fichas para señalar amenazas naturales, se identificó una zona de riesgo alto en los pasos elevados de tubería por posibles deslizamientos en los flancos del río y una zona de riesgo bajo en las nacientes con cauces cercanos, debido a posibles deslizamientos o inundaciones.

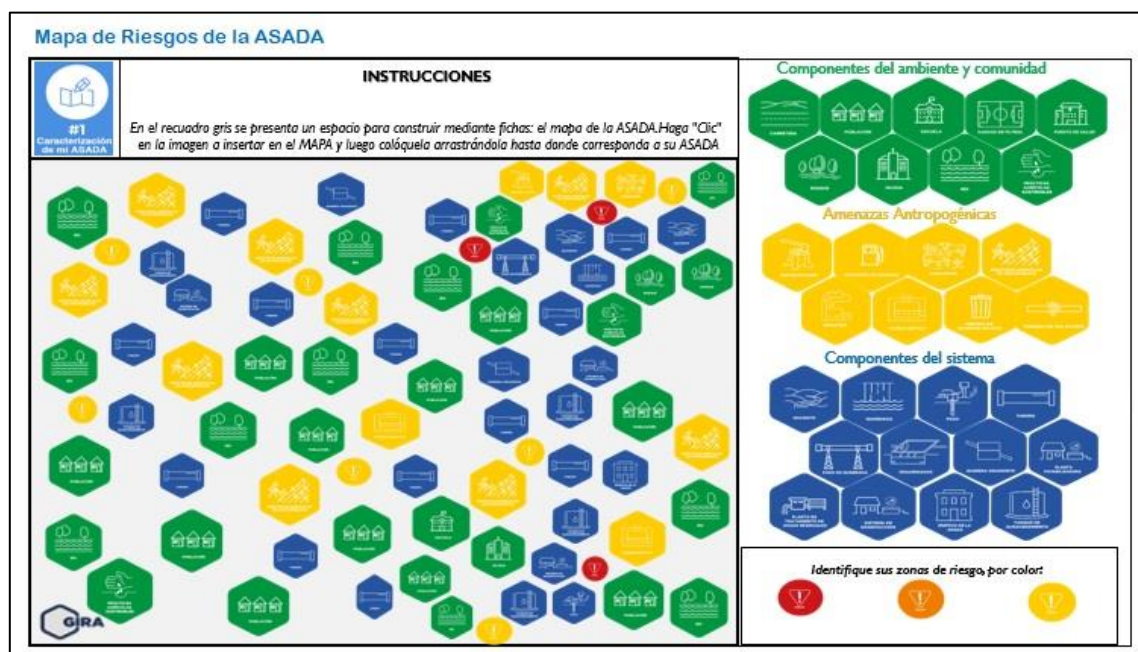


Figura N° 4.3: Mapa ilustrativo de los componentes del sistema y su entorno, ASADA San Pedro de Barva (elaboración propia).

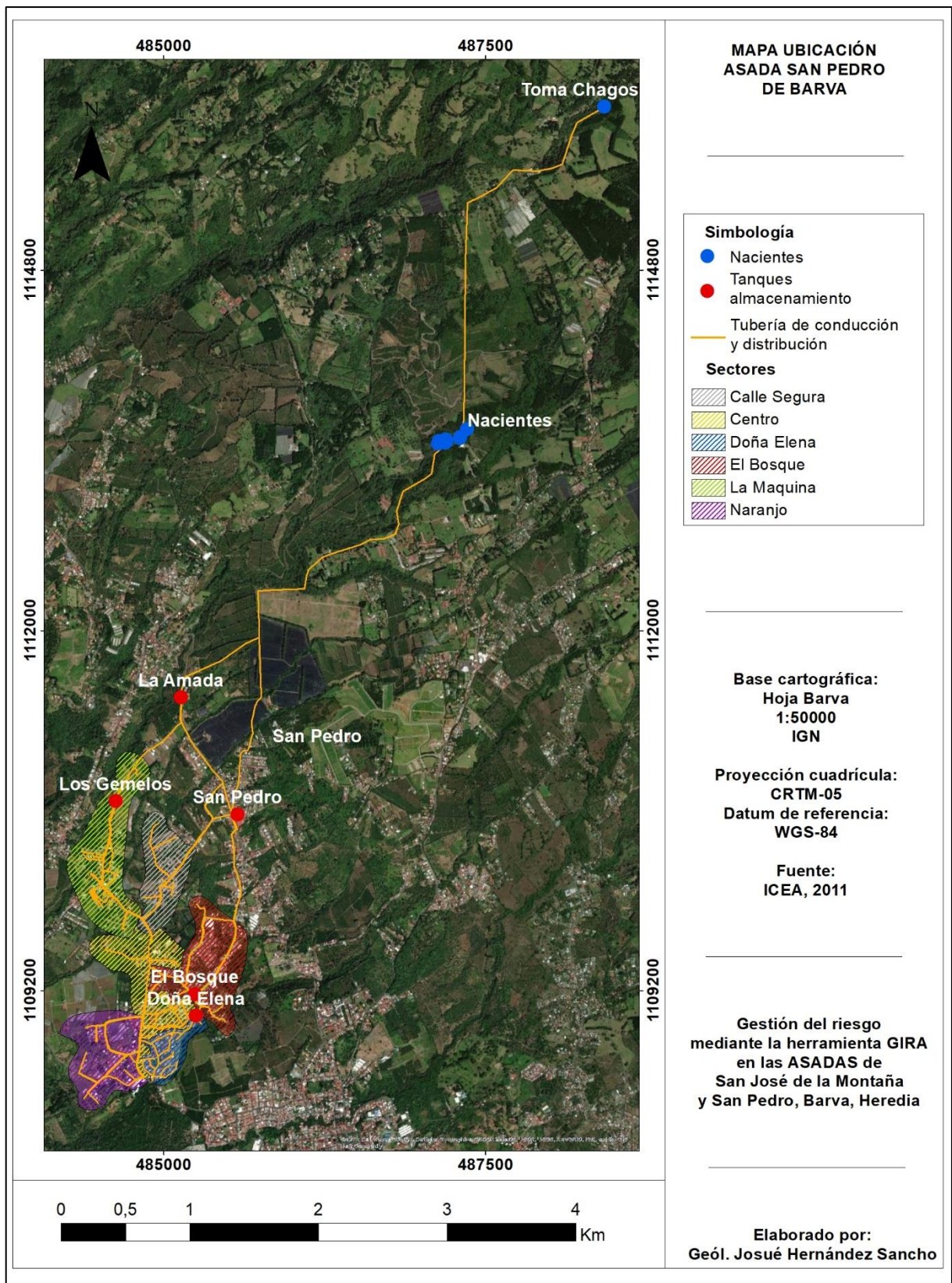


Figura N° 4.4: Mapa de los componentes del sistema y su entorno, ASADA San Pedro de Barva (tomado de ICEA, 2011).

4.2 Vulnerabilidad funcional de las ASADAS San José de la Montaña y San Pedro

A. Vulnerabilidad operativa, sanitaria, administrativa e infraestructural de la ASADA San José de la Montaña

Los cuestionarios brindados por la herramienta GIRA para la evaluación de las posibles vulnerabilidades de la ASADA San José de la Montaña se respondieron en diversas reuniones presenciales y virtuales, así como mediante correos electrónicos y llamadas telefónicas, con el administrador, el señor Rodolfo Gamboa Chaverri (comunicación personal) y departamento técnico, de modo que con la información recabada se evidenciaron las debilidades y se corroboraron las fortalezas o aspectos positivos, completando de esta forma la evaluación funcional de la ASADA desde sus diferentes áreas.

Desde el punto de vista operativo, los únicos aspectos negativos fueron que la ASADA no cuenta con procedimientos operativos con respecto al control de presiones, fugas e instalaciones de tuberías y nuevas conexiones, es decir, estos procedimientos se realizan cotidianamente dentro del departamento técnico de la ASADA y de forma correcta, ya que se reciben capacitaciones técnicas por parte del Instituto Nacional de Aprendizaje (INA) principalmente, sin embargo, no existe un procedimiento escrito que estandarice dichos procedimientos, mostrando por ejemplo los pasos a seguir y los materiales a utilizar; es un conocimiento que los fontaneros tienen y desarrollan con la práctica, pero la herramienta recalca el hecho de que este se encuentre en una forma de ficha técnica que permita a cualquier funcionario dentro del departamento seguir el patrón determinado y realizar el procedimiento operativo.

Dentro de los aspectos positivos, en el acueducto existe más oferta de agua que la demandada por la comunidad, las nacientes producen en conjunto un total de 37,21 l/s según datos mínimos del 2020, ver tabla N° 4.1, lo que equivaldría a 1 173 454, 263 m³/año, mientras que, según los cálculos de la ASADA, el consumo total para el año 2020 fue de 414 404 m³/año (Sanabria, 2021), existiendo un sobrante de 759 050,263 m³/año; lo anterior se sigue cumpliendo si tomamos los caudales mínimos de las nacientes entre el periodo 2014 y 2020, dando como resultado un caudal crítico de 25,49 l/s, es decir 803852,64 m³/año, existiendo aún un sobrante de 389448,64 m³/año. Por otra parte, la ASADA cuenta con un sistema de desinfección mediante una técnica desarrollada por el equipo de fontaneros, donde los cloradores están en contacto con el caudal que ingresa a los tanques de almacenamiento y esto hace que tenga un excelente contacto y distribución las pastillas de cloro marca OXICHEN, el protocolo estipula el procedimiento, los lugares a clorar, la forma de manipular las pastillas, la periodicidad al aplicarlas cada sábado y miércoles y el control de medición del cloro según el reglamento de calidad de agua potable, de modo que se tienen distribuidos estratégicamente cuatro cloradores de cámara húmeda para dosificar los tres sistemas (Sanabria, 2021).

| miércoles 4/11/2020 Mes: Octubre Día: miércoles 7/11/2020 | | | | | | | |
|---|---------------------------------|-------------------------------|-----------------------|---|-----------|-------------------------------|--|
| Responsables de cloración | | Oscar Espinoza – Carlos Arias | | | | Total, Pastillas x semana: 90 | |
| Sector | Lugar de dosificación cloración | Hora | cantidad de pastillas | Observación | Hora | cantidad de pastillas | |
| Gallito | Desarenador Barbas del viejo | 8:40am | 10 | | 8:15 am | 10 | |
| | Tanque Eleana | 7:30am | 3 | | 7:15 a. m | 3 | |
| Centro | Tanque la Marta | 8:15am | 25 | | 8:00 am | 25 | |
| San Miguel | Manantial San Miguel | | | | 8:20 | | |
| Centro | Tanque Nel Ruiz | | - | Es opcional si el clorador de la Marta o el tanque requiere mantenimiento | | - | |
| TOTAL | | | 45 | | | 45 | |

Figura N° 4.5: Ejemplo de bitácora de cloración (tomado de Sanabria, 2021).

También, se conocen las zonas de recarga de las fuentes de agua subterránea por medio de dos estudios, uno realizado para el SINAC, por el Centro de Investigaciones en Ciencias Geológicas de la Universidad de Costa Rica (Arias, 2012b) y el otro por el Laboratorio de Hidrología de la Universidad Nacional (Núñez, 2015); y según la entrevista con el administrador, se lleva una bitácora escrita diaria con fecha y lugar de las mejoras o mantenimientos realizados al sistema, digitalizando la misma semanalmente como una de las funciones de la asistente administrativa, y las fotografías se publican en los medios de comunicación de la ASADA. Por último, el acueducto busca mejorar los procedimientos de control y mantenimiento en el sistema mediante capacitaciones de su personal y realización de proyectos, siendo el presente trabajo claro ejemplo de su iniciativa.

Luego, en el cuestionario entorno a la vulnerabilidad administrativa, todas las respuestas fueron positivas, excepto que la ASADA no sigue un plan de trabajo anual, van ejecutando los proyectos basados en un plan definido entre la administración y la Junta Directiva, pero no tiene la formalidad de una programación con cronograma, responsables y presupuestos.

Dentro de los puntos positivos que se analizan en esta categoría, la ASADA cuenta con estados financieros actualizados, los más recientes se realizaron el 31 de octubre del

2021 y fueron realizados por el contador privado Jorge Sánchez (Gamboa, R., comunicación personal, 7 de diciembre del 2021), el dinero se encuentra dentro de dos cuentas, una del Banco Nacional de Costa Rica y otra del Banco Popular, además poseen ahorros para compras de terrenos y un fondo de emergencia en dólares. Las formas de pago con que cuenta la ASADA son por internet, depósito bancario y sinpe móvil, inhabilitando permanentemente la opción presencial, de modo que el porcentaje de morosidad de los abonados es menor a 10% la mayoría de meses entre los años 2019 y 2021, tal y como se observa en la figura N° 4.6, excepto los meses entre abril y octubre del año 2020, siendo el mes de mayo el de porcentaje mayor con 20,5 %, valores que muestran el impacto a nivel socioeconómico de la pandemia por COVID-19, y su correlación con la afectación en las finanzas de la ASADA.

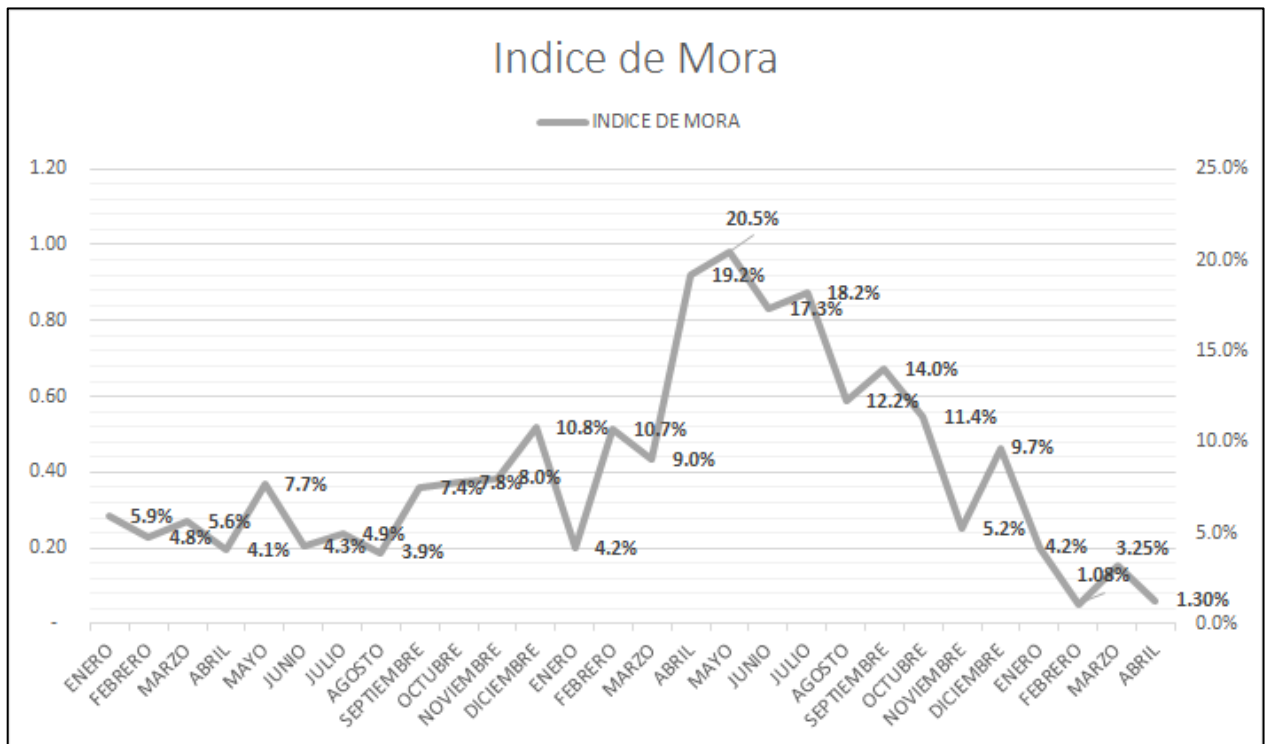


Figura N° 4.6: Índice de morosidad de la ASADA San José de la Montaña, período 2019-2021 (Gamboa, R., comunicación personal, 4 de mayo del 2021).

Por otra parte, la ASADA cuenta con la aplicación SADA web para la gestión comercial y contador Milenio para la gestión contable, y la administración labora de forma transparente para con la comunidad, teniendo un correo para consultas o quejas, así como un uso activo de los medios de comunicación oficiales de la ASADA, así como los de la comunidad, mostrando las labores realizadas mensualmente o incluso de forma diaria.

Con respecto al personal, la ASADA cuenta con un administrador, que tiene a cargo a los técnicos en fontanería y a un ayudante, asistente administrativa, encargada de cobros, miscelánea y personal ocasional como gestor ambiental, asesor legal y contador. Personal que se capacita constantemente tanto en materia administrativa como técnica, en la figura

Nº 4.7 se observa la capacitación por parte del INA al departamento técnico en el uso de equipo para realizar el control operativo requerido por el Ministerio de Salud.



Figura Nº 4.7: Capacitación al personal técnico de la ASADA San José de la Montaña en el uso de equipo para realizar control operativo (tomado de Sanabria, 2021).

Con respecto a la vulnerabilidad infraestructural, la ASADA posee el detalle catastro de los componentes del sistema y sus características, descritas en el capítulo anterior. Además, es de conocimiento del equipo técnico y del acueducto en general, el material, edad y condición de las tuberías y otros elementos del sistema, teniendo en cuenta que todos los componentes se encuentran dentro de su vida útil y para fecha de la reunión el mismo se encontraba libre de fugas.

Aparte, según el cuestionario que evalúa esta vulnerabilidad, se tienen identificadas las áreas dentro del sistema propensas a inundaciones, aunque estas son muy pocas y nunca ha ocurrido un evento como tal, así como también se tienen identificadas las posibles fuentes de materia fecal que se encuentran cerca de la tubería o fuentes de agua. Sin embargo, el único aspecto negativo es que si bien según el departamento técnico y administrativos de la ASADA, los componentes del sistema están localizados en zonas de baja vulnerabilidad, esto no es así, ya que hay un desconocimiento de otras amenazas.

Por último, en materia de vulnerabilidad sanitaria, la herramienta GIRA evalúa dos aspectos, el Sello de calidad sanitaria e individualmente cada uno de los componentes del acueducto (nacientes, tanques de almacenamiento y tubería). Con respecto al primer aspecto, la ASADA de San José de la Montaña cuenta con el sello de calidad sanitaria con nota perfecta, lo cual se puede corroborar en el estudio, Informe final de las labores realizadas por la ASADA San José de la Montaña para el programa Sello de Calidad Sanitaria periodo 2020 (Sanabria, 2021).

Primeramente, se evalúa si el acueducto posee planes de mantenimiento planificados y realizados para cada una de las fuentes de agua, así como tanques y redes, lo anterior se puede observar en la figura N° 4.8, programa de mantenimiento de la ASADA, extraído del informe citado anteriormente.

| Actividades | Frecuencia | Fechas de ejecución |
|---|---|---|
| Aforos y Remoción de sedimentos | 1 vez al mes | Cuarta semana de cada mes |
| Cloración y desinfección | sábado cada semana | sábados de cada semana del mes correspondiente |
| Limpieza de tanques y captaciones de manantiales | 1 vez al mes 1 al año interna de tanques | segunda semana de cada mes respectivo |
| Medición del cloro residual red | 1 vez a la semana | Lunes Miércoles Viernes de cada semana del mes respectivo |
| Lecturas y mantenimiento preventivo medidores | 1 vez al mes | cuarta semana de cada semana del mes respectivo |
| Cortas y reconexiones previstas | 1 vez al mes | tercera semana de cada mes respectivo |
| Entrega notificación pendientes de recibos a usuarios | 1 vez al mes | primera semana de cada mes respectivo |
| Mantenimiento tapas, hidrantes, mallas y otra infraestructura acueducto | 1 vez al año | periodo de verano |
| Mantenimiento Herramientas y equipo de trabajo | 1 y/o 2 veces por mes | dependiendo de los imprevistos semanalmente o mensual |
| Mantenimiento preventivo de la red conducción y medición | Semanal | semanalmente o diariamente |
| Mantenimientos carros | 4 veces al mes | de ser necesario cada sábado de cada mes |
| Software y hardware | semanal | Asesor informático asiste cuando sea necesario |

Figura N° 4.8: Programación de mantenimiento de la ASADA San José de la Montaña (tomado de Sanabria, 2021).

La medición del cloro residual no se realiza de forma diaria como lo estipula la pregunta, sin embargo, como se puede observar en la figura N° 4.8, esta se realiza los días lunes, miércoles y viernes de cada semana con su respectiva bitácora, logrando mantener los valores dentro de los parámetros de la norma. En la figura N° 4.9, se observa el monitoreo de cloro residual en centros escolares.



Figura N° 4.9: Monitoreo de cloro residual en centros escolares (tomado de Sanabria, 2021).

Dentro de los programas de educación ambiental para el periodo 2020, se realizaron tres jornadas de limpieza en el río Mancarrón en conjunto con el programa de Bandera azul ecológica en el río Mancarrón para un total de 2 toneladas de residuos recuperados,

además se realizó una charla virtual de compostaje y tres jornadas de siembra de árboles nativos (Sanabria, 2021).



Figura N° 4.10: Actividades de educación ambiental (tomado de Sanabria, 2021).

Con respecto a la comunicación con la comunidad, se utilizan medios como WhatsApp para divulgar información, así como Facebook como herramienta principal de divulgación mediante transmisiones en vivo y dar detalles de interés a los usuarios como resultados de la calidad del agua, actividades de los programas de bandera azul, sello de calidad sanitaria y socializar actividades institucionales.

El control operativo se realiza según Decreto Número 38924-S-1-9-201, en la figura N° 4.11 se observan las mediciones correspondientes al monitoreo del control operativo realizado en el sistema Gallito.

| 3. RESULTADOS DEL CONTROL OPERATIVO (mediciones realizadas por el Ente operador). | | | | | | |
|---|--------------------------|----------------|------------------|----------------|----------------------|------------------------------|
| TABLA A. MONITOREO DEL CONTROL OPERATIVO (CO) | | | | | SECTOR GALLITO | |
| PARAMETROS | Fuente de abastecimiento | | Red distribución | | Valor de Alerta (VA) | Valor máximo admisible (VMA) |
| | N° veces | Valor Promedio | N° veces | Valor Promedio | | |
| Turbiedad | N.D. | N.D. | 3 | N.D. | <1 | 5 |
| Olor | aceptable | aceptable | 3 | aceptable | Debe ser aceptable | Debe ser aceptable |
| Sabor | aceptable | aceptable | 3 | aceptable | Debe ser aceptable | Debe ser aceptable |
| pH | 6 | 6.67 | 3 | 6.76 | 6,0 | 8,0 |
| Cloro Residual | 3 | 0.42 | 3 | 0.34 | 0,3 | 0,6 ^{(b) ®} |

Figura N° 4.11: Monitoreo del control operativo del sistema Gallito (tomado de Sanabria, 2021).

Por último, Sanabria (2021) menciona que todos los tanques, tanto los de captación de nacientes como los de almacenamiento se encuentran con losa de cerámica en excelente estado y que todos estos componentes se encuentran con el rótulo respectivo.

Lo anterior se puede constatar en la evaluación sanitaria de cada componente del acueducto realizada por el administrador (Gamboa, R., comunicación personal, 7 de diciembre del 2021), en las tablas N° 4.7, 4.8 y 4.9 y observar en el anexo 10.3, en el que el único aspecto negativo consiste en que falta completar el esquema de distribución en los sistemas 2 y 3.

Tabla N° 4.7: Evaluación sanitaria de las nacientes de la ASADA San José de la Montaña (Gamboa, R, 2021).

| Preguntas | Barbas de Viejo | Cholo Hernández | San Miguel | Minas 1, 2 y 3 | José Maclovio 1, 2, 3 y 4 | Ansata | Anabel 1 y 2 |
|--|-----------------|-----------------|------------|----------------|---------------------------|--------|--------------|
| ¿Está la naciente sin malla de protección que impide el acceso a animales y personas? | No | No | No | No | No | No | No |
| ¿Está la naciente desprotegida, abierta a la contaminación ambiental (sin caseta o sin tanque de captación)? | No | No | No | No | No | No | No |
| ¿Está la tapa de captación construida en condiciones no sanitarias y sin cierre seguro (candado o tornillo)? | No | No | No | No | No | No | No |
| ¿Están las paredes y la loza superior de la captación con grietas? | No | No | No | No | No | No | No |
| ¿Carece de canales perimetrales para desviar el agua de escorrentía? | No | No | No | No | No | No | No |
| ¿Carece la captación de respiraderos o de tubería de rebalse con rejilla de protección? | No | No | No | No | No | No | No |
| ¿Se encuentran plantas, raíces, hojas, algas dentro de la captación de la naciente? | No | No | No | No | No | No | No |
| ¿Existen aguas estancadas sobre o | No | No | No | No | No | No | No |

| | | | | | | | |
|---|----|----|----|----|----|----|----|
| alrededor de la captación? | | | | | | | |
| ¿Existe alguna fuente de contaminación alrededor de la captación (letrinas, animales, viviendas, basura)? | No | No | No | No | No | No | No |
| ¿Se encuentra la captación ubicada en zonas con actividad agrícola o industrial? | Si | Si | Si | Si | Si | Si | Si |

Tabla N° 4.8: Evaluación sanitaria de los tanques de almacenamiento de la ASADA San José de la Montaña (Gamboa, R, 2021).

| Preguntas | Tanques Nel Ruiz | Tanque La Marta | Tanque Ileana | Tanque El Gallito | Tanque Chaverrí | Tanque Bajito |
|---|------------------|-----------------|---------------|-------------------|-----------------|---------------|
| ¿Están las paredes agrietadas (concreto) o herrumbradas (metálico)? | No | No | No | No | No | No |
| ¿Están las tapas del tanque de almacenamiento, construida en condiciones no sanitarias? | No | No | No | No | No | No |
| ¿Carece la estructura externa de mantenimiento (pintura, limpieza, libre de hojas, musgo)? | No | No | No | No | No | No |
| ¿Está ausente o fuera de operación el sistema de cloración? | No | No | No | No | No | No |
| ¿Está el nivel de agua menor que un cuarto que el volumen del tanque y las escaleras internas herrumbradas? | No | No | No | No | No | No |
| ¿Existen sedimentos, algas, hongos dentro del tanque? | No | No | No | No | No | No |
| ¿Está ausente o defectuosa la malla de protección? | No | No | No | No | No | No |
| ¿Carece la tapa de un sistema de cierre seguro (candado, cadena, tornillo)? | No | No | No | No | No | No |

| | | | | | | |
|--|----|----|----|----|----|----|
| ¿Carece el tanque de respiraderos o tuberías de rebalse con rejillas de protección? | No | No | No | No | No | No |
| ¿Existe alguna fuente de contaminación alrededor del tanque (letrinas, animales, viviendas, basura)? | No | No | No | No | No | No |

Tabla N° 4.9: Evaluación sanitaria de las líneas de conducción y distribución de la ASADA San José de la Montaña (Gamboa, R, 2021).

| Preguntas | Sistema 1 Central | Sistema 2 San Miguel | Sistema 3 Gallito |
|---|-------------------|----------------------|-------------------|
| ¿Existe alguna fuga en la línea de conducción? | No | No | No |
| ¿Carecen los tanques quiebra gradientes de tapas sanitarias? | No | No | No |
| ¿En los tanques quiebra gradientes se observan rajaduras, grietas, fugas, raíces? | No | No | No |
| ¿Se observan fugas visibles en alguna red de distribución? | No | No | No |
| ¿Existen variaciones significativas de presiones en la red de distribución? | Si | Si | Si |
| ¿Carece de cloro residual alguna zona de la red principal de distribución? | No | No | No |
| ¿Existen interrupciones constantes en el servicio de distribución de agua? | No | No | No |
| ¿Carece de sistemas para purgar la tubería de distribución? | No | No | No |
| ¿Carece de un fontanero o encargado de mantenimiento de la red? | No | No | No |
| ¿Carece de un esquema del sistema de distribución (planos o croquis)? | No | Si | Si |

B. Vulnerabilidad operativa, sanitaria, administrativa e infraestructural de la ASADA San Pedro de Barva

La evaluación de las posibles vulnerabilidades de la ASADA San Pedro de Barva mediante las preguntas que proporciona la herramienta GIRA se realizó el día 22 de julio del 2021 en una reunión virtual con el administrador, el señor Luis Fabián Córdoba Rojas (comunicación personal). Asimismo, la información requerida a raíz de las preguntas realizadas se obtuvo mediante otras reuniones virtuales, correos electrónicos y llamadas telefónicas, completando la evaluación de la ASADA al identificar las debilidades, así como los aspectos positivos, desde sus diferentes áreas funcionales.

Primeramente, con respecto al área operativa, se encontraron dos aspectos negativos, el primero al igual que la ASADA anterior, es que el acueducto a nivel del

departamento técnico, no cuenta con un documento escrito estandarizado que muestre los procedimientos operativos con respecto al control de presiones, fugas e instalaciones de tuberías y nuevas conexiones, estos procedimientos se realizan cotidianamente y de forma correcta debido a las constantes capacitaciones, por lo que el aspecto negativo no es en su ejecución sino en la falta de un documento que ejemplifique los pasos a seguir y contenga información técnica necesaria que sustente dichos procedimientos.

El segundo consiste en que la ASADA desconoce la zona de recarga de sus nacientes, ya que si bien, al igual que la ASADA de San José de la Montaña, el acueducto cuenta con un estudio realizado por el Centro de Investigaciones en Ciencias Geológicas de la Universidad de Costa Rica, para el SINAC (Arias, 2012b), las zonas de protección y captura calculadas para las nacientes presentan un error de ubicación, motivo por el cual no son precisas, y es de hecho interés del acueducto gestionar fondos para la realización de un estudio hidrogeológico en esta temática.

Como aspectos positivos, la oferta de agua es mayor que la demandada por los usuarios, ICEA (2021) indica que el acueducto tiene capacidad de mayor abastecimiento, hasta 203 previstas adicionales a las existentes a marzo 2020, siguiendo el debido proceso con los parámetros establecidos en normas vigentes para el cálculo del balance hídrico, sin embargo menciona que la disponibilidad hídrica del sistema es variable según sea el comportamiento de las fuentes de abastecimiento, las cuales dependen de los periodos de lluvia y que han venido presentando una disminución que desafortunadamente afecta al acueducto y que a cómo va creciendo la demanda, se va requiriendo de más caudal por lo que es necesaria la inversión en el complemento de un pozo, motivo por el cual la administración y Junta Directiva ya han dado inicio a los respectivos trámites ante el AyA y SENARA. Por otra parte, la ASADA realiza un historial de producción de las nacientes, así como gráficos de agua no contabilizada, permitiendo un control en este aspecto.

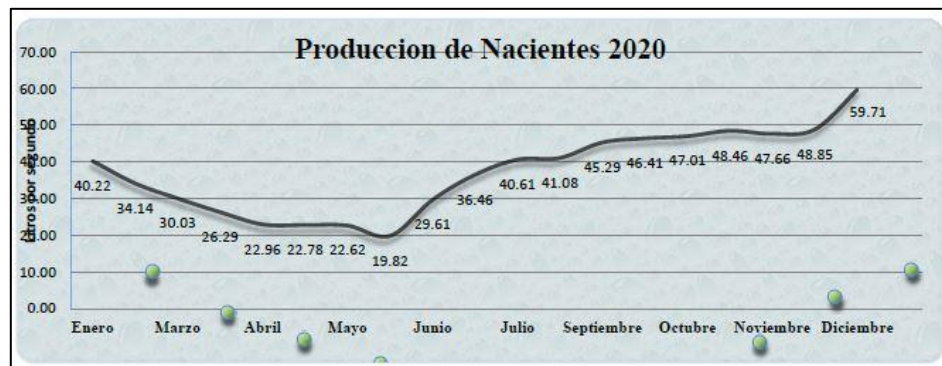


Figura N° 4.12: Historial de producción de nacientes 2020 (tomado de ASADA San Pedro de Barva, 2020).



Figura N° 4.13: Porcentaje de agua no contabilizada, periodo 2020 (tomado de ASADA San Pedro de Barva, 2020).

Por otra parte, el acueducto cuenta con un sistema de desinfección de tipo cámara de sumersión mediante ACL 90, indicando que el tiempo de reposo es de 20 minutos (ASADA San Pedro de Barva, 2020). En la figura N° 4.14 se observa el sistema de desinfección en los tanques del acueducto.

| Tanque | Tipo de sistema (cámara de sumersión) | Tiempo | Revisión del cloro residual |
|----------------------|---------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| Principal nacientes. | ACL 90 | Inicio de desinfección | Diaria |
| Amada | ACL 90 | Tiempo de reposo 20 minutos | Diaria |
| Doña Elena | Inyección a presión ACL 90 | Tiempo de reposo 20 minutos | Diaria |
| Bosque | ACL 90 | Tiempo de reposo 20 minutos | Diaria |
| Vega | ACL 90 | Tiempo de reposo 20 minutos | Diaria |
| Tanque San Pedro | ACL90 | Tiempo de reposo 20 minutos | Diaria |

Figura N° 4.14: Sistema de desinfección de tanques (tomado de ASADA San Pedro de Barva, 2020).

En cuanto a la bitácora, el jefe de campo es quien se encarga de su llenado, donde se incluye diariamente el control de entrada de los fontaneros, revisiones del sistema, control de cloro y órdenes de trabajo, las cuales incluyen: revisiones por alto consumo, por

fugas en los medidores, limpieza, fugas internas, instalación de medidores, fugas de emergencia, entre otros.

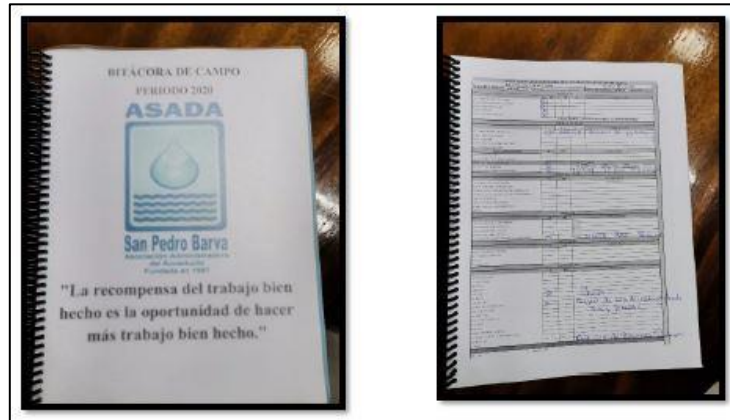


Figura N° 4.15: Bitácora de campo, periodo 2020 (tomado de ASADA San Pedro de Barva, 2020).

Por último, el acueducto busca mejorar los procedimientos de control y mantenimiento en el sistema mediante capacitaciones de su personal en materia de control operativo y realización de proyectos, como es el caso del cambio y reubicación de tubería en polietileno, así como la anuencia a trabajos de investigación en el acueducto.

Seguidamente, la evaluación con respecto a la vulnerabilidad administrativa fue positiva. La ASADA cuenta con estados financieros actualizados, los más recientes se realizaron el 30 de junio del 2021 por Verónica Cano Jiménez, contadora auditora (Córdoba, L.F, comunicación personal, 9 de diciembre del 2021), los fondos están custodiados en el Banco Nacional de Costa Rica, Banco de Costa Rica y Banco Popular, y se poseen ahorros fraccionados para reparación de tuberías, válvulas, tanques y construcción de un pozo perforado, más no para compra de terrenos para protección de las fuentes de agua.

Las formas de pago con que cuenta la ASADA son por internet, depósito bancario, sinpe móvil y presencial, propiciando que el porcentaje de morosidad de los abonados sea menor a 10% durante el año 2021, tal y como se observa en la figura N° 4.16.

| INDICE DE MOROSIDAD 2021 | | | |
|--------------------------|-----------------------|---------------------|--------------|
| | Facturación | Cuentas por cobrar | % |
| Enero | ₡ 18 325 855.36 | ₡ 310 858.51 | 1.70% |
| Febrero | ₡ 18 749 631.07 | ₡ 247 193.36 | 1.32% |
| Marzo | ₡ 18 340 100.02 | ₡ 103 793.60 | 0.57% |
| Abril | ₡ 18 808 029.02 | ₡ 77 644.81 | 0.41% |
| Mayo | ₡ 17 904 581.34 | ₡ 63 740.40 | 0.36% |
| Junio | ₡ 17 603 724.12 | ₡ 129 339.61 | 0.73% |
| Promedio Anual | ₡18 288 653.49 | ₡ 155 428.38 | 0.85% |

Figura N° 4.16: Índice de morosidad de la ASADA San Pedro de Barva, período 2021 (Córdoba, L.F., comunicación personal, 9 de diciembre del 2021).

Por otra parte, la ASADA cuenta con la aplicación SADA web para la gestión comercial y realiza un plan quinquenal, el cual responde a los estudios tarifarios y se va ejecutando por etapas a través de planes anuales desarrollados en conjunto entre la Junta Directiva y administración.

Como plan de transparencia y rendición de cuentas, la ASADA se preocupa en mantener informados a los usuarios mediante folletos informativos, entrega de avisos de suspensión de agua cuando se requiere, colocación de información en las pulperías de los diferentes sectores y EBAIS, avisos por medio de las Iglesia de la comunidad, comunicación mediante mensajería de texto y correos e información por medio de la página de Facebook, ASADA San Pedro, en cuanto a los trabajos diarios, avisos de cortas, reportes de emergencias y proyectos realizados (ASADA San Pedro de Barva, 2020).

Con respecto al personal, la ASADA cuenta actualmente con 8 funcionarios: 3 en el área administrativa, 1 jefe de campo, 3 fontaneros y un ayudante de fontanería, los cuales se capacitan constantemente con el fin de brindar un mejor servicio, específicamente para el periodo 2020, se recibieron cursos de control operativo por parte de la empresa Geo Lupa, además de las temáticas: Cambio Climático, Manejo de Aguas Residuales y Manejo de Residuos sólidos con la legislación actual impartido por el INA (ASADA San Pedro de Barva, 2020).



Figura N° 4.17: Capacitaciones a los funcionarios de la ASADA San Pedro de Barva (tomado de ASADA San Pedro de Barva, 2020).

Desde el punto de vista infraestructural, la ASADA posee el detalle catastro de los componentes del sistema y sus características, descritas en el capítulo anterior. Además, es de su conocimiento a partir del estudio de evaluación y diseño realizado por ICEA (2011) el material, edad, condición de las tuberías y que todos los componentes del sistema se encuentran dentro de su vida útil. Sin embargo, para la fecha de la reunión el administrador

indicó que el sistema no se encontraba libre de fugas, lo cual se demuestra en el porcentaje de agua no contabilizada del periodo 2020, figura N° 4.13.

Además, según el cuestionario, se tienen identificadas las áreas dentro del sistema propensas a inundaciones, aunque nunca ha ocurrido un evento, así como también las áreas con posibles fuentes de materia fecal cerca de la tubería o fuentes de agua. La única respuesta negativa es en cuanto al conocimiento de si los componentes del sistema se encuentran localizados en zonas de baja vulnerabilidad, ya que, aunque la ASADA respondió positivamente, al igual que el acueducto anterior, hay un desconocimiento sobre la posible afectación de otras amenazas.

El último aspecto a evaluar es la vulnerabilidad sanitaria, en esta área la metodología toma en cuenta dos aspectos, el Sello de calidad sanitaria y una evaluación individual de las nacientes, tanques de almacenamiento y tubería dentro del sistema. Este acueducto cuenta con el estudio, Sello de calidad sanitaria, periodo 2020 (ASADA San Pedro de Barva, 2020), el cual corrobora las respuestas positivas del cuestionario que evalúa esta temática.

Lo primero es que efectivamente el acueducto si posee planes de mantenimiento planificados y realizados para cada una de las fuentes de agua, así como tanques y redes, lo anterior se puede observar en la figura N° 4.18, mantenimiento preventivo de los sistemas de abastecimiento de agua.

Los sitios de medición de cloro residual son tomadas a diario en 4 puntos los cuales son: Tanque Amada, Tanque San Pedro-Vega, Tanque Doña Elena y el EBAIS, los mismos se realizan a primera hora del día en horario de 5:00 a.m. a 6:00 a.m., una vez realizados son reportados en el chat del acueducto, para posteriormente ser ingresados en el reporte de Excel. Cabe mencionar que para el periodo 2020 se realiza la compra de un nuevo equipo de medición de cloro residual, debido a que los equipos anteriores ya habían cumplido su vida útil (ASADA San Pedro de Barva, 2020). En la figura N° 4.19 se observa un ejemplo de la medición de cloro residual en los tanques de almacenamiento durante el mes de enero del 2020.

| MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE LOS SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA | | | | | | | | | | | | | |
|--|---|--|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|
| Mantenimiento | Actividades | Duración (meses) | | | | | | | | | | | |
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| 1. TOMAS | 1.1 Limpieza del sistema (CAPTACIONES) | | | | | | | | | | | | |
| | 1.2 Limpieza de instalaciones (zonas verdes) | | | | | | | | | | | | |
| | 1.3 Inspección general zona de influencia | | | | | | | | | | | | |
| | 1.4 Estructura y obras complementarias, (caminos, cercas, pintura etc.) | | | | | | | | | | | | |
| | 1.5 Aforos captaciones | | | | | | | | | | | | |
| | 1.6 Desinfección de estructuras | | | | | | | | | | | | |
| | 1.7 Revisión de válvulas y obras complementarias | | | | | | | | | | | | |
| | 1.8 Reacondicionamiento General de la obra | | | | | | | | | | | | |
| | 1.9 Reconstrucción de la estructura | De acuerdo con el estado y circunstancias de cada obra | | | | | | | | | | | |
| 2. LINEAS DE CONDUCCION | 2.1 Limpieza de servidumbres de paso. Sector 1. (De las nacientes hasta el tajo) | | | | | | | | | | | | |
| | 2.2 Limpieza de servidumbres de paso. Sector 2. (roble alto) | | | | | | | | | | | | |
| | 2.3 Limpieza de servidumbres de paso. Sector 3. (finca contiguo Roble alto) | | | | | | | | | | | | |
| | 2.4 Pintura en estructura y obras complementarias, torres en pasadas elevadas, tapas de válvulas de compuerta | | | | | | | | | | | | |
| | 2.5 mantenimiento en rótulos de información en las líneas | | | | | | | | | | | | |
| | 2.5 Inspección general zona de influencia | | | | | | | | | | | | |
| | 2.6 Reconstrucción de la estructura | De acuerdo con el estado y circunstancias de cada obra | | | | | | | | | | | |
| 3. TANQUES DE ALMACENAMIENTO | 3.1 Limpieza interna y desinfección de la estructura | | | | | | | | | | | | |
| | 3.2 Limpieza de instalaciones y zonas verdes | | | | | | | | | | | | |
| | 3.3 Vigilancia sistema cloración y cloro residual | | | | | | | | | | | | |
| | 3.3 limpieza sistema de cloración | | | | | | | | | | | | |
| | 3.4 mantenimiento pintura: mallas, casetillas, estructuras metálicas, estructura del tanque | | | | | | | | | | | | |
| | 3.5 Reconstrucción de la estructura | De acuerdo con el estado y circunstancias de cada obra | | | | | | | | | | | |

Figura N° 4.18: Mantenimiento preventivo de los sistemas de abastecimiento de agua (tomado de ASADA San Pedro de Barva, 2020).

| MEDICIÓN DEL CLORO | | | | |
|--------------------|------|-------|------------|------|
| Jan-20 | | | | |
| DÍA | VEGA | AMADA | Doña Elena | HORA |
| 1-Jan | | | | |
| 2-Jan | 0.34 | 0.39 | 0.46 | 5:40 |
| 3-Jan | 0.33 | 0.36 | 0.43 | 5:36 |
| 4-Jan | 0.31 | 0.34 | 0.40 | 5:37 |
| 5-Jan | | | | |
| 6-Jan | 0.46 | 0.54 | 0.55 | 5:30 |
| 7-Jan | 0.41 | 0.49 | 0.46 | 5:28 |
| 8-Jan | 0.32 | 0.44 | 0.38 | 5:27 |
| 9-Jan | 0.3 | 0.31 | 0.31 | 5:29 |
| 10-Jan | 0.53 | 0.3 | 0.52 | 5:47 |
| 11-Jan | 0.33 | 0.55 | 0.43 | 5:29 |
| 12-Jan | | | | |
| 13-Jan | 0.36 | 0.47 | 0.45 | 5:34 |
| 14-Jan | 0.4 | 0.41 | 0.41 | 5:28 |
| 15-Jan | 0.45 | 0.41 | 0.36 | 5:36 |
| 16-Jan | 0.35 | 0.39 | 0.32 | 5:30 |
| 17-Jan | 0.3 | 0.31 | 0.3 | 5:29 |
| 18-Jan | 0.58 | 0.5 | 0.6 | 5:30 |
| 19-Jan | | | | |
| 20-Jan | 0.53 | 0.43 | 0.49 | 5:23 |
| 21-Jan | 0.45 | 0.4 | 0.41 | 5:29 |
| 22-Jan | 0.4 | 0.39 | 0.35 | 5:23 |
| 23-Jan | 0.35 | 0.33 | 0.34 | 5:26 |
| 24-Jan | 0.63 | 0.58 | 0.63 | 5:25 |
| 25-Jan | 0.54 | 0.5 | 0.58 | 5:23 |
| 26-Jan | | | | |
| 27-Jan | 0.4 | 0.37 | 0.49 | 5:29 |
| 28-Jan | 0.33 | 0.35 | 0.41 | 5:27 |
| 29-Jan | 0.44 | 0.02 | 0.6 | 5:29 |
| 30-Jan | 0.4 | 0.59 | 0.6 | 5:41 |
| 31-Jan | 0.37 | 0.55 | 0.5 | 6:26 |

Firma Jefe de campo:






Figura N° 4.19: Medición del cloro residual (en mg/l) en los tanques de almacenamiento de la ASADA San Pedro de Barva durante el mes de enero del 2020 (tomado de ASADA San Pedro de Barva, 2020).

Dentro de los programas de educación ambiental e información sobre la calidad del agua, para el primer y segundo semestre del 2020 se realizaron los programas ambientales y comunales: capacitación sobre confección de Eco Bloques y Donatapa, con el fin de que el programa recibiera las tapitas que los usuarios y vecinos de la comunidad tienen en sus hogares, charla sobre el ahorro del agua en nuestros hogares, confección de folletos sobre medidas de ahorro eléctrico en los hogares, conducción eficiente y ¿Qué son las aguas residuales?, colocación mensual de pizarras con los diferentes temas sobre el Programa Bandera Azul Ecológica Categoría Cambio Climático, envió de mensajes de texto y correos sobre el ahorro de agua y se brindó por medio de Facebook Live “Mi comunidad un ecosistema, convivencia con la vida silvestre”. Además, mediante la alianza BAE

Comunidades San Pedro de Barva y Coopesiba se realizaron actividades como: recolección de residuos ordinarios en el Sector Naranjo, se realiza una denuncia por deforestación a la orilla del río Mancarrón y se mantiene en conjunto el jardín de Astas del Parque, y, por último, se da un mantenimiento de árboles en la zona de recarga de las nacientes (ASADA San Pedro de Barva, 2020).



Figura N° 4.20: Visita de campo y limpieza del Sector Naranjo y mantenimiento de árboles en las zonas de recarga de la ASADA San Pedro de Barva (tomado de ASADA San Pedro de Barva, 2020).

Con respecto a los informes a la comunidad sobre los resultados del control de calidad del agua y como estos están a la disposición del público, los informes son enviados al Ministerio de Salud, al EBAIS de la comunidad, se pegan en la pizarra informativa en la recepción de la oficina y se publican en la página de Facebook de la ASADA. Asimismo, el control operativo se realiza según Decreto Número 38924-S-1-9-201 y se comunican sus resultados.

Por último, la ASADA de San Pedro de Barva (2020) menciona que todos los tanques de almacenamiento están debidamente rotulados, con enchape interno en cerámica o bien están impermeabilizados con poliurea, excepto el Tanque San Pedro el cual es de acero vitrificado, el estado de la pintura es óptimo y el lavado interno y externo se realiza bimensualmente. En cuanto a las nacientes, estas se encuentran enchapadas con piedra laja, rotuladas y cuentan con mantenimiento estructural y el debido lavado externo. Lo anterior se puede observar de igual forma en la evaluación sanitaria de cada componente del acueducto realizada por el administrador (Córdoba, L.F, comunicación personal, 9 de diciembre del 2021), en las tablas N° 4.10, 4.11, 4.12, 4.13 y 4.14 y en el anexo 10.4.

Tabla N° 4.10: Evaluación sanitaria de las nacientes de la ASADA San Pedro de Barva (Córdoba, L.F, 2021).

| Preguntas | Chagos | Calle Segura | Steinvorth | Naranjo | El Centro | El Bosque | La Piedra | Geovanys |
|--|--------|--------------|------------|---------|-----------|-----------|-----------|----------|
| ¿Está la naciente sin malla de protección que impide el acceso a animales y personas? | Si | Si | Si | Si | Si | Si | Si | Si |
| ¿Está la naciente desprotegida, abierta a la contaminación ambiental (sin caseta o sin tanque de captación)? | No | No | No | No | No | No | No | No |
| ¿Está la tapa de captación construida en condiciones no sanitarias y sin cierre seguro (candado o tornillo)? | No | No | No | No | No | No | No | No |
| ¿Están las paredes y la loza superior de la captación con grietas? | No | No | No | No | No | No | No | No |

| | | | | | | | | |
|---|----|----|----|----|----|----|----|----|
| ¿Carece de canales perimetrales para desviar el agua de escorrentía? | No | No | No | No | No | No | No | No |
| ¿Carece la captación de respiraderos o de tubería de rebalse con rejilla de protección? | No | No | No | No | No | No | No | No |
| ¿Se encuentran plantas, raíces, hojas, algas dentro de la captación de la naciente? | No | No | No | No | No | No | No | No |
| ¿Existen aguas estancadas sobre o alrededor de la captación? | No | No | No | No | No | No | No | No |
| ¿Existe alguna fuente de contaminación alrededor de la captación (letrinas, animales, viviendas, basura)? | No | No | No | No | No | No | No | No |
| ¿Se encuentra la captación ubicada en zonas con actividad agrícola o industrial? | No | No | No | No | No | No | No | No |

Tabla N° 4.11: Evaluación sanitaria del pozo Doña Elena de la ASADA San Pedro de Barva (Córdoba, L.F, 2021).

| Preguntas | Pozo Doña Elena |
|--|-----------------|
| ¿Carece el pozo de un canal de desagüe? | No |
| ¿Carece el pozo de una malla de protección? | No |
| ¿Carece el pozo de un piso de concreto que rodee? | No |
| ¿Existen letrinas o tanque séptico a menos de 30 m de distancia del pozo? | Si |
| ¿Está la letrina o tanque séptico más cercano en un nivel más alto que el pozo? | Si |
| ¿Existen otras fuentes de contaminación alrededor del pozo (animales, vivienda, basura, actividad agrícola)? | Si |
| ¿Hay estancamiento de agua sobre la loza o en los alrededores del pozo? | No |
| ¿Está el pozo excavado expuesto a la contaminación ambiental? | No |
| ¿Están los alrededores del pozo enmontados? | No |
| ¿Si existe bomba, está floja en la unión a su base? | No |

Tabla N° 4.12: Evaluación sanitaria de la planta de agua o filtro quebraba Naborí de la ASADA San Pedro de Barva (Córdoba, L.F, 2021).

| Preguntas | Quebraba Naborí |
|---|-----------------|
| ¿Está la captación fuera de un área protegida o zona de conservación? | No |
| ¿Está la toma de agua desprovista de infraestructura que la proteja? | No |
| ¿Está el área alrededor de la toma sin cerca ni malla de protección? | Si |
| ¿Existe actividad agrícola, ganadera, industrial o de desarrollo habitacional que descarguen sus residuos aguas arriba de la captación de agua? | No |
| ¿Carece de canales perimetrales para desviar el agua de escorrentía? | No |
| ¿Tienen las personas y animales acceso a la captación del río? | No |
| ¿Están las rejillas de la toma en malas condiciones (ausentes, quebradas, deterioradas)? | No |
| ¿Se encuentran plantas, raíces, hojas obstruyendo las rejillas de la toma? | No |
| ¿Existen condiciones de deforestación y erosión en los alrededores de la toma? | No |
| ¿Está ausente el desarenador después de la toma de agua? | No |

Tabla N° 4.13: Evaluación sanitaria de los tanques de almacenamiento de la ASADA San Pedro de Barva (Córdoba, L.F, 2021).

| Preguntas | Amada | Los Gemelos | San Pedro | Vega | El Bosque | Doña Elena |
|---|-------|-------------|-----------|------|-----------|------------|
| ¿Están las paredes agrietadas (concreto) o herrumbradas (metálico)? | Si | No | No | Si | No | No |
| ¿Están las tapas del tanque de almacenamiento, construida en condiciones no sanitarias? | No | No | No | No | No | No |

| | | | | | | |
|---|----|----|----|----|----|----|
| ¿Carece la estructura externa de mantenimiento (pintura, limpieza, libre de hojas, musgo)? | No | No | No | No | No | No |
| ¿Está ausente o fuera de operación el sistema de cloración? | No | No | No | No | No | No |
| ¿Está el nivel de agua menor que un cuarto que el volumen del tanque y las escaleras internas herrumbradas? | No | No | No | No | No | No |
| ¿Existen sedimentos, algas, hongos dentro del tanque? | No | No | No | No | No | No |
| ¿Está ausente o defectuosa la malla de protección? | No | No | No | No | No | No |
| ¿Carece la tapa de un sistema de cierre seguro (candado, cadena, tornillo)? | No | No | No | No | No | No |
| ¿Carece el tanque de respiraderos o tuberías de rebalse con rejillas de protección? | No | No | No | No | No | No |
| ¿Existe alguna fuente de contaminación alrededor del tanque (letrinas, animales, viviendas, basura)? | No | Si | No | No | No | No |

Tabla N° 4.14: Evaluación sanitaria de las líneas de conducción y distribución de la ASADA San Pedro de Barva (Córdoba, L.F, 2021).

| Preguntas | Sistema 1 La Máquina | Sistema 2 San Pedro | Sistema 3 Urbanización Doña Elena |
|---|-------------------------|------------------------|---|
| ¿Existe alguna fuga en la línea de conducción? | No | Si | No |
| ¿Carecen los tanques quiebra gradientes de tapas sanitarias? | No | No | No |
| ¿En los tanques quiebra gradientes se observan rajaduras, grietas, fugas, raíces? | No | No | No |
| ¿Se observan fugas visibles en alguna red de distribución? | No | No | No |
| ¿Existen variaciones significativas de presiones en la red de distribución? | No | No | No |
| ¿Carece de cloro residual alguna zona de la red principal de distribución? | No | No | No |
| ¿Existen interrupciones constantes en el servicio de distribución de agua? | No | No | No |
| ¿Carece de sistemas para purgar la tubería de distribución? | No | No | No |
| ¿Carece de un fontanero o encargado de mantenimiento de la red? | No | No | No |
| ¿Carece de un esquema del sistema de distribución (planos o croquis)? | No | No | No |

4.3 Identificación de las amenazas naturales y antrópicas en las subcuencas donde se ubican las ASADAS de San José de la Montaña y San Pedro de Barva, su exposición, consecuencia y grado de preparación ante emergencias

A. Amenazas naturales

Tal y como lo indica la metodología GIRA, primeramente, se busca la información disponible sobre amenazas naturales de la CNE, la cual para el cantón de Barva tiene identificadas cuatro diferentes amenazas, hidrometeorológicas, sísmica, volcánica y deslizamientos, ver figura N° 4.21; así como la información disponible en el sistema SAGA integrado a la metodología.

Con respecto a las amenazas hidrometeorológicas, se menciona que el cantón posee una red fluvial bien definida que cuenta con un grupo de ríos y quebradas que se pueden considerar el punto focal de este tipo de amenazas, compuesta principalmente por los ríos Segundo, Mancarrón, Zanjón, Porrosatí, Ciruelas y Quebrada Seca, donde las zonas o barrios que pueden ser afectados y con alto riesgo por las inundaciones y avalanchas de los ríos y quebradas son Barva, San Bartolomé, Morazán, Maquina, San José y San Miguel (CNE, s.f.), siendo algunos de estos ríos y poblados sectores de conducción y distribución por parte de las ASADAS en estudio.

En cuanto a la amenaza sísmica, la CNE (s.f.) describe que tanto dentro de los límites como cerca del cantón existen una serie de fuentes sísmicas que han demostrado tener una importante actividad en el pasado, hacia el noroeste y a unos 30 km de la ciudad de Barva, existe la fuente sísmica de Bajos del Toro, la cual en las ocasiones que ha presentado actividad (1911, 1912 y 1955), ha causado daños de significancia, hacia el oeste a unos 4 km de la cabecera del cantón, se presenta la falla Alajueta, la cual en 1888 generó un evento sísmico de importancia causando daño igualmente y hacia el norte se localiza un sistema de fallas sumamente importantes, Ángel-Vara Blanca, la cual fue responsable del sismo del 8 de enero del 2009 con una magnitud de 6,2 Mw.

Desde el punto de vista de actividad volcánica, el cantón se extiende a lo largo del flanco sur del volcán Barva, encontrándose dentro del área de influencia en caso de presentarse una erupción, si bien no existen registros históricos de actividad, si se han reconocido evidencias geológicas que indican actividad importante en tiempo geológico relativamente reciente (CNE, s.f.).

Por último, con respecto a la inestabilidad de suelos, las características topográficas y geológicas hacen que el cantón sea especialmente vulnerable a deslizamientos, tal y como ha ocurrido en anteriores ocasiones, estos se pueden presentar en aquellos sitios de fuerte pendiente, o bien donde se han practicado cortes de caminos mal diseñados o rellenos poco compactados, acelerados por actividad sísmica, volcánica o fuertes lluvias, siendo los sectores más vulnerables hacia el norte del cantón, en los poblados Gallito,

Porrosatí, Meseta, Huacalillo, San Miguel, San José de la Montaña, Buena Vista y La Máquina, donde inclusive ya se han reconocido áreas de inestabilidad de importancia (CNE, s.f.). Siendo importante rescatar que varios de los poblados mencionados pertenecen a las ASADAS en estudio.

MIVAH (2008) con respecto al Índice de Fragilidad Ambiental (IFA) para el cantón de Barva, realizó mapas considerando entre los factores por amenaza, inundaciones, eventos sísmicos, vulcanismo y deslizamientos. Teniendo en cuenta el área de ambos acueductos, desde el punto de vista del factor por inundaciones, el mapa ubica a ambas ASADAS dentro de una baja fragilidad ambiental, a excepción de la parte sur de la ASADA de San Pedro donde se clasifica como moderada, mientras que, con respecto a los cauces, el río Mancarrón se clasifica de alta fragilidad ambiental y los cauces de los ríos Zanjón y la quebrada Amanda de muy alta.

Ambas ASADAS con respecto al factor por eventos sísmicos y vulcanismo se encuentran dentro de una moderada fragilidad ambiental, excepto las nacientes de la ASADA de San José de la Montaña que se encuentran dentro de una alta fragilidad ambiental por este último, y por el factor de deslizamientos, ambas se encuentran dentro de una alta fragilidad ambiental, incrementando a muy alta en los cauces de los ríos Porrosatí, Zanjón, Mancarrón y la quebrada Amanda (MIVAH, 2008).

Con respecto al sistema SAGA, dentro de los archivos integrados a la herramienta GIRA, se encuentra un archivo (.kml), el cual al abrirlo desde algún software como Google Earth, se pueden visualizar las ASADAS del país con la información de sus respectivas fuentes de abastecimiento. En este sentido, dentro de la información de las nacientes de la ASADA de San Pedro se menciona erosión por deslizamientos en masa como amenaza, sin embargo, en las nacientes pertenecientes a la ASADA de San José de la Montaña, no se menciona ninguna amenaza asociada, aunque algunas de estas compartan la microcuenca con las nacientes de la ASADA de San Pedro y se encuentren relativamente cerca aguas arriba en el cauce de la quebrada Naborí.

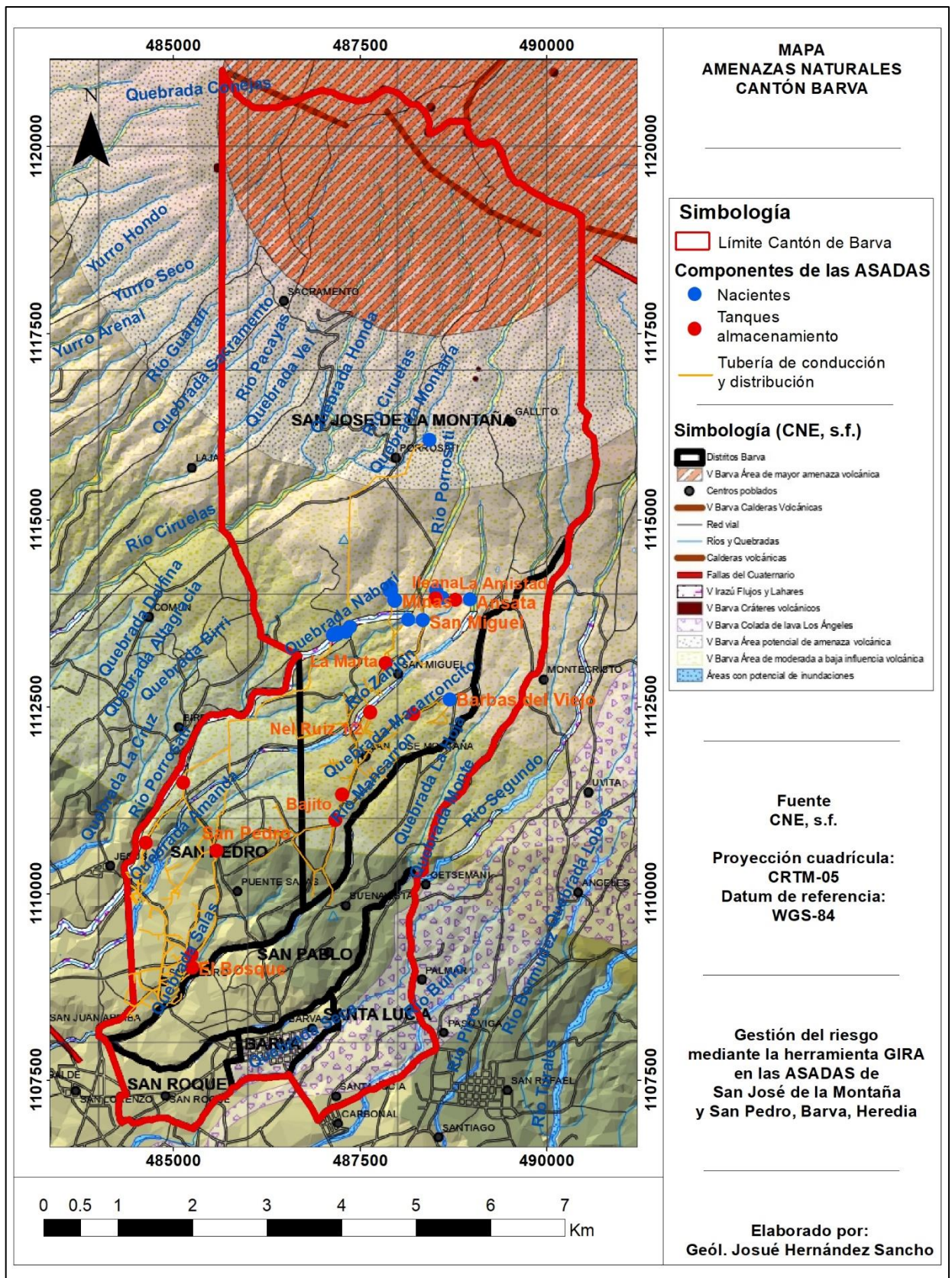


Figura N° 4.21: Mapa de amenazas naturales para el cantón de Barva (tomado de CNE, s.f.).

Por su parte, la Municipalidad de Barva (2019) en conjunto con la Universidad Nacional, generó mapas de identificación de amenazas para cada uno de los distritos, en el distrito de San José de la Montaña, figura N° 4.22, se puede observar con respecto a los acueductos en estudio, que en el cauce del río Porrosatí, sin hacer distinción de la quebrada Naborí, donde se encuentran la totalidad de las nacientes de la ASADA de San Pedro de Barva y las nacientes Maclovio y Minas de la ASADA de San José de la Montaña, así como los ríos Zanjón y Mancarrón que se encuentran dentro de los sectores de abastecimiento de ambos acueductos, presentan posibilidad de afectación por avalancha. Asimismo, se menciona un punto de obstrucción en el río Mancarrón y dos puntos de contaminación de nacientes cerca del poblado Roble Alto, aunque en este punto no hay nacientes registradas por parte de los acueductos en estudio. Cabe rescatar que, aunque en el mapa se señalan fallas geológicas, ninguna de estas se encuentra como activa por parte de la RSN, el LIS o el Atlas Tectónico (Denyer et al., 2009).

Con respecto al mapa de identificación de amenazas del distrito de San Pedro, figura N° 4.23, igualmente se observa a los cauces de los ríos Porrosatí, Zanjón y Mancarrón con posibilidad de afectación por avalanchas, así como dos puntos identificados como erosión e inundación cerca del límite este del distrito (Municipalidad de Barva, 2019). Al igual que lo descrito anteriormente las fallas geológicas señaladas en el mapa no se encuentran dentro de las bases de datos de instituciones competentes o fuentes bibliográficas primarias.

Por último, otras herramientas como la página web (desinventar.net) de la Oficina de Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres (UNDRR, s.f.), cuya base de datos se alimenta de los sucesos que reportan tanto los ciudadanos afectados como las instituciones públicas, muestran para ambos distritos eventos relacionados a inundaciones, movimientos de tierra y vientos fuertes, sin embargo, la información dentro de cada evento se encuentra incompleta y discontinuos en el tiempo, por lo que no existe un registro histórico completo, y son muy puntuales e individualizados a afectaciones propias de una casa solamente, por ejemplo: el colapso de un muro de contención e inundación de la casa por lluvias fuertes, caída de una tapia o viviendas destechadas. Por lo que la información al ser tan escueta y puntual, además de no encontrarse reportados más daños similares durante el mismo periodo y zona, se pierde de vista el contexto regional del fenómeno natural que pudo causar dichas afectaciones.

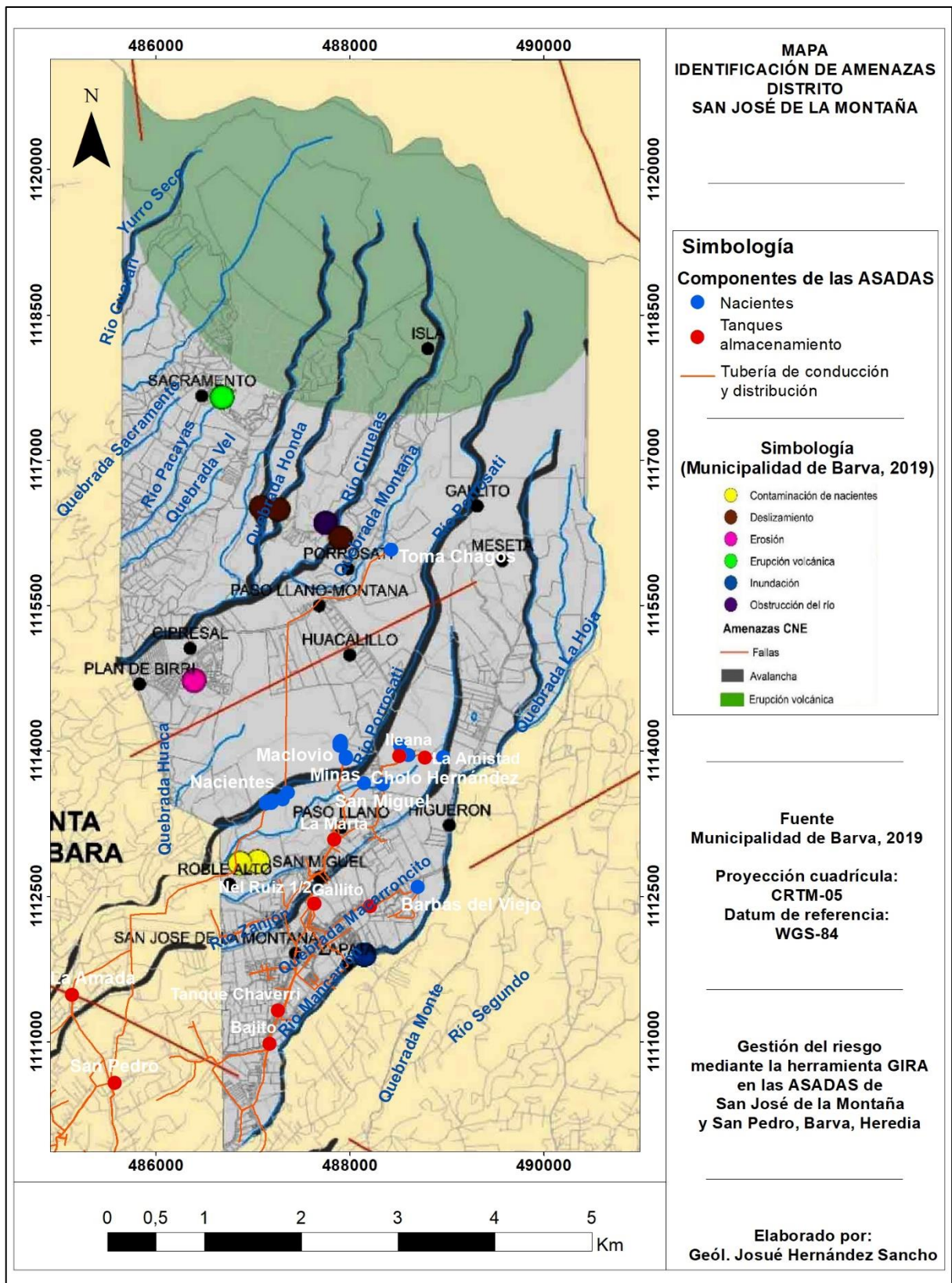


Figura N° 4.22: Mapa, identificación de amenazas para el distrito San José de la Montaña (tomado de Municipalidad de Barva, 2019).

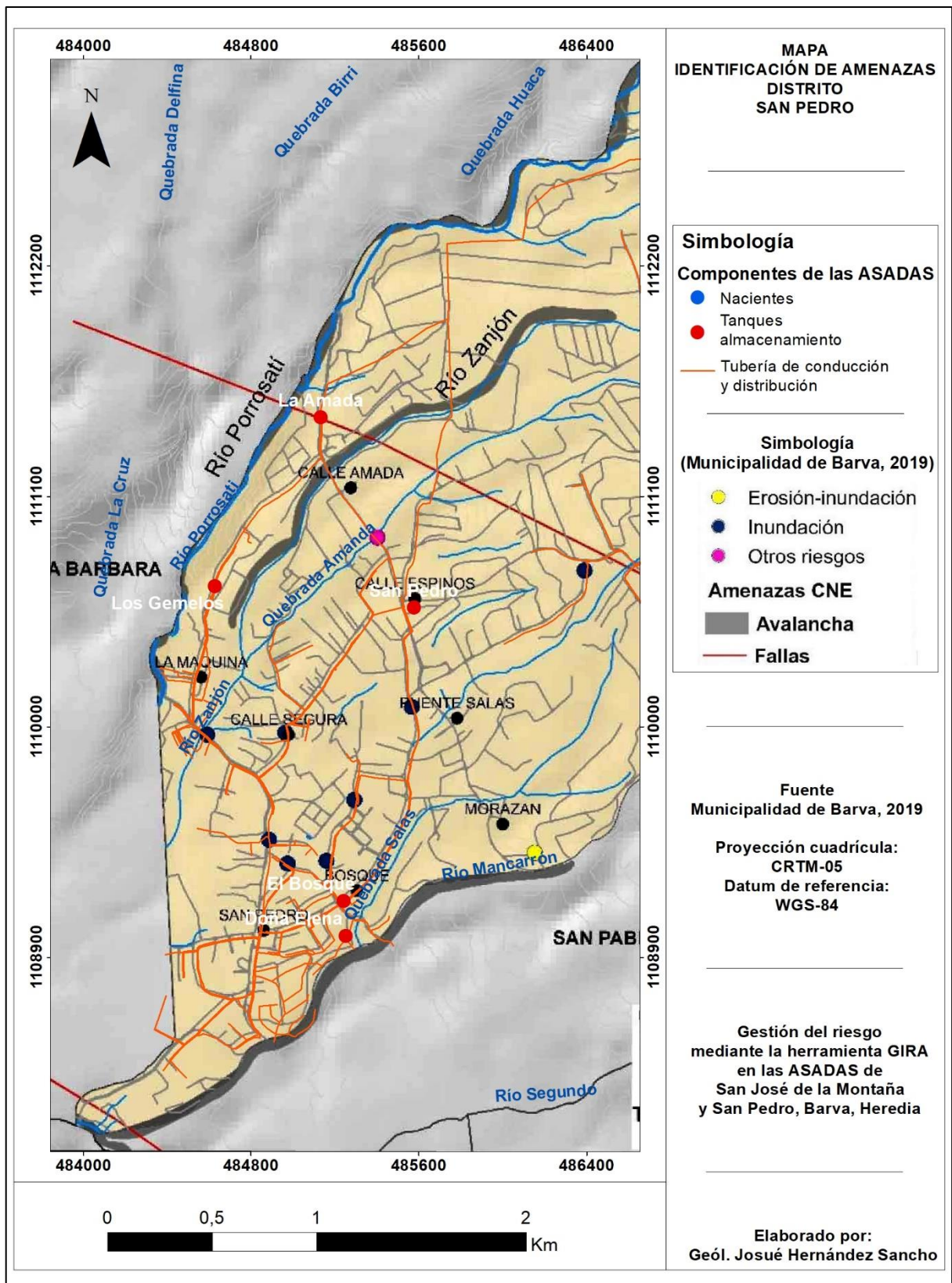


Figura N° 4.23: Mapa, identificación de amenazas para el distrito San Pedro (tomado de Municipalidad de Barva, 2019).

a) Amenaza volcánica

Szakács (1994) menciona que un volcán es llamado activo si ha erupcionado al menos durante los últimos 10 000 años o alternativamente, 5000 o 2000 años demostrados por cualquier método científico, condición de tiempo para minimizar los volcanes excluidos de la definición, por ejemplo, desde el Holoceno; así los volcanes que no han tenido actividad eruptiva desde el Cuaternario son volcanes extintos jóvenes; además el autor menciona que los volcanes andesíticos dacíticos tienen tiempos de reposo en el orden de 10 000 años.

Con respecto al registro histórico de actividad en el volcán Barva, desde antes y durante el siglo XX, autores como Pittier (1889, como se citó en González, 1910), González (1910), Schaufelberger (1931) y Alvarado (2000) con la información disponible del registro histórico han señalado la ausencia de actividad eruptiva importante del volcán Barva en tiempos históricos. Por lo que, Brenes (2003) con base en la información publicada deduce que, desde antes de la colonia, hace aproximadamente 600 años, no hay registro de actividad eruptiva sobresaliente en el volcán Barva, ya que ni siquiera se registran tradiciones al respecto de los habitantes indígenas. Anterior a esta fecha es difícil determinar con exactitud si hubo algún evento volcánico importante observado por la población indígena local, sin embargo, conociendo por los tuestos indígenas encontrados durante el trabajo en el campo, que la presencia de la población de indígenas data desde hace 2300 años, desde la Fase Pavas: 300 A. C.-500 D.C., la Fase Curridabat: 500 D.C.-900 D.C. y la Fase Cartago: 900 D.C.-1400 (Aguilar, 1976), se podría extender esta ausencia de tradición desde esa fecha.

No obstante, Monestel (1980) menciona que a unos 8 km al norte, a partir de la laguna cratérica del Barva, formando parte de una serie de edificios volcánicos del mismo macizo, que se abren entre el Cerro Danta, las protuberancias del Gongolona y las llamadas pequeñas Marías, se encuentra una depresión en la falda noreste del Camaquire que se abre en forma semicircular y por su morfología podría especularse se trata de un cráter antiguo, abierto hacia el este y muy alterado por la erosión; existe en la parte sur de esta depresión una serie de fumarolas que podrían entenderse como actividad residual de pasados períodos eruptivos, que en 1964 estaban casi en comunión con una laguneta evidentemente formada por represamiento al haber ocurrido en ese año varios deslizamientos en su interior. Así como, Brenes (2003) menciona como fuentes termales del macizo del Barva, Huacalillo, ubicada en el flanco sur, y El Pedo, cerca de Vara Blanca en la quebrada Azufre, la cual nace en el flanco noroeste.

Ahora bien, Brenes (2003) resume la historia geológica del volcán Barva en tres ciclos eruptivos, el primero inicia con una actividad volcánica explosiva representada por una ignimbrita soldada que se asocia con un flujo piroclástico caliente originado por la explosión de una caldera y posteriormente ocurre un proceso de diferenciación seguido de una emisión de magma desde la cámara magmática y efusión de coladas de lavas de basaltos andesíticos. El segundo ciclo comienza con una actividad volcánica explosiva con erupciones plinianas y subplinianas donde se deposita una capa de piroclastos asociada con el colapso de una nube de piroclastos, después ocurre un proceso de diferenciación

seguido de otra emisión de magma que origina actividad volcánica efusiva de las lavas provenientes de los cerros Guararí, Peineta y un cono pericaldérico ubicado 0,4 km al sur de la laguna de la cima del volcán. Mientras que el tercer ciclo eruptivo se inicia con actividad explosiva de piroclastos constituida por capas de ceniza, lapilli y paleosuelos, de modo que esta capa posee una gran dispersión areal y constituye un horizonte guía; esta actividad piroclástica terminó aproximadamente antes de 11 000 años.

Brenes (2003) con base en criterios geológicos, estratigráficos, morfológicos, estructurales y geográficos o por encontrarse la actividad productiva en áreas de impacto físico directo a los productos volcánicos, y considerando lo expuesto por Crandell et al. (1984), que los registros históricos y prehistóricos de la actividad volcánica y de su estado actual ha provisto la base para la mayoría de las evaluaciones de los peligros volcánicos, partiendo de la premisa que el trabajo de peligro volcánico es con base en que los procesos geológicos del pasado aún continúan activos y actuaron de igual forma a como lo hacen hoy día, describe generalmente los peligros volcánicos según el tipo eruptivo y depósito litológico asociados al flanco oeste y suroeste del volcán Barva, considerando los centros de población donde otra erupción podría causar impacto.

El primero de ellos, coladas de lava, según Paniagua y Soto (1986) estas erupciones se emiten a través de los cráteres o fracturas y fluyen por los flancos del volcán, de modo que las zonas de peligro se determinan con base en la frecuencia con la cual un área ha sido cubierta por flujos de lava en el pasado geológico reciente, por la presencia de centros de emisión más probables para futuros flujos de lava y por las condiciones topográficas que convierten a una zona más probable de ser inundada por una colada de lava. Con respecto al volcán Barva, Brenes (2003) indica que las coladas de lava más jóvenes son las provenientes del cerro Guararí, Peineta y una colada de lava ubicada en el poblado de Sacramento, las cuales llegaron a una distancia de 8,5 km, 9 km y 13 km de la cima del volcán Barva, respectivamente. Igualmente es importante considerar el potencial de actividad volcánica de ambiente fisural definido por la zona de rift en el macizo del Barva (Jerez y Cline, 1989; Malavassi, 1991; Paniagua, 1993 como se citó en Denyer y Kussmaul, 1994), donde es poco probable que una próxima erupción ocurra en el mismo cráter, sino en otro lugar a lo largo de la fractura, sin embargo, no hay nuevas investigaciones para valorar este tipo de peligro.

Los depósitos piroclásticos de caída, Paniagua y Soto (1986) mencionan que se originan en erupciones explosivas de partículas de rocas sólidas y/o fundidas de tamaño polvo, arena y bloques que son lanzados hacia la atmósfera y caen con proyección balística. Brenes (2003) menciona que los depósitos de caída más recientes corresponden con la Unidad Porrosatí, la cual se extiende hasta 12 km de la cima del volcán.

Las avalanchas de escombros, lahares y crecientes, Paniagua y Soto (1986) las caracterizan como flujos compuestos de fragmentos de rocas, ceniza y sedimentos que contienen suficiente agua para fluir rápidamente pendiente abajo. Brenes (2003) recalca que en la unidad geológica más joven correspondiente a la Unidad Porrosatí, se presentan dos eventos importantes de avalanchas laháricas con distancias mayores a 12 km de la cima, e igualmente cerca de estos depósitos se han registrado recientes lahares pequeños

o crecientes en los ríos Itiquís, Ciruelas y quebrada Conejas, señalando que todos los flancos del macizo del Barva cuentan con las condiciones necesarias como sistemas fluviales y topografía favorables al desarrollo de estos eventos, como bien se ha visto en tiempos históricos y años más recientes.

Por último, los flujos piroclásticos, según Paniagua y Soto (1986), son el resultado de una erupción explosiva de fragmentos de roca y/o fundida acompañados de gas y provocado por el colapso de domos, de explosiones laterales o por colapso de un hongo de piroclastos. En este caso el peligro es alto ya que destruyen y sepultan todo lo que se encuentre en su paso y la temperatura puede alcanzar los 1000 °C como máximo. Brenes (2003) sugiere que la presencia de la ignimbrita Setillal, actualmente conocida como Avalancha Ardiente o formación Tiribí, representa un indicador de peligro, con base en Pérez (2000) que establece una extensión máxima de estas ignimbritas de 80 km, por lo que no se descarta la posibilidad de una erupción de este tipo, aunque estos depósitos ignimbríticos corresponden a la etapa de las primeras erupciones del volcán.

Brenes (2003) en resumen menciona que, ante cualquier futura actividad eruptiva o evento sísmico, es muy probable que cause mucho impacto en algunas obras importantes de infraestructura en la zona como la red vial, donde por ejemplo las carreteras que comunican las localidades de Birrí-Vara Blanca y Barva-Sacramento podrían ser impactadas causando consecuencias como interrupción de servicios de transporte, agua, electricidad, comunicaciones y comercio. También, para efectos de valorar el posible impacto de una futura erupción, considera una distancia mayor de impacto tanto de los depósitos piroclásticos como de las coladas de lava como medida de prevención y protección, de modo que al ser la distancia promedio de impacto entre 8 y 13 km y existir una relativa baja frecuencia eruptiva, propone una distancia de impacto de estos depósitos de 15 km desde la cima del volcán. De igual forma, al ser el valor de frecuencia muy baja en los distintos tipos de depósitos, también lo es el valor de la probabilidad del peligro, sin embargo, al no conocerse toda la geología del volcán, es posible que la clasificación de probabilidad del peligro no sea representativa. De modo que interpreta dos posibles conclusiones acerca del peligro volcánico en el volcán Barva, existe un escenario de relativo bajo peligro volcánico a corto y largo plazo o es difícil hacer una valoración total del peligro volcánico en el volcán pues no se conoce mucho de su historia eruptiva y no se sabe cómo será su actividad en el futuro.

Sin embargo, investigaciones más recientes, mencionan que la actividad del volcán en los últimos 11 000 años ha sido vulcaniana predominantemente y que sus depósitos se han restringido a la cima, en un radio de 5 a 6 km aproximadamente, quedando dentro del mismo Parque Nacional Braulio Carrillo, Sector Volcán Barva, por lo que, el volcán no representa un peligro a corto o mediano plazo, ya que se considera un volcán activo que atraviesa un lapso de tranquilidad y por el momento no muestra señales de un despertar próximo (Alpizar, 2022).

Con respecto a los componentes de los acueductos en estudio, se puede observar que la totalidad de los dos acueductos podrían verse afectados por coladas de lava, en este caso al encontrarse, según Brenes (2003), dentro de la colada proveniente del cerro

Peineta, considerada una de las más jóvenes del volcán, y aunque si bien, tal y como lo indica el autor, es poco probable que una próxima erupción ocurra en el mismo cráter, los acueductos se encuentran dentro de los 15 km en los que puede haber afectación por estos depósitos. Cabe aclarar, que el nombre de colada Peineta es atribuido por este autor, desde un contexto geológico más local, sin embargo, como se describe en el subcapítulo del contexto geológico, estas coladas de lava se encuentran regionalmente dentro del miembro Bermúdez, según publicaciones anteriores.

En cuanto a zonas probables de impacto de caída de piroclastos, específicamente la zona de alcance máximo de cenizas, ambos acueductos tendrían comprometidas sus nacientes, así como los tanques de almacenamiento Ileana y La Marta en cuanto a la ASADA de San José de la Montaña; mientras que la zona de alcance máximo de lapilli estaría afectando únicamente las nacientes José Maclovio y Minas, igualmente del acueducto de San José de la Montaña y estaría la zona límite muy cerca de la totalidad de las nacientes del acueducto de San Pedro.

Por último, dentro del área que se podría ver afectada por avalanchas laháricas, se encuentran las nacientes y la totalidad de la tubería de conducción en la ASADA de San Pedro de Barva, mientras que todo el sistema de la ASADA de San José de la Montaña se encuentra dentro de esta área, siendo más vulnerables los componentes cercanos a ríos o quebradas, como lo son las nacientes.

En la figura N° 4.24 se muestran los componentes de los acueductos y las zonas de probable impacto ante una eventual erupción del volcán Barva, tomando en cuenta piroclastos como cenizas y lapilli, coladas de lava y avalanchas laháricas según Brenes (2003).

En campo, durante la visita a las nacientes y tubería de conducción de ambos acueductos, se pudo constatar la presencia de afloramientos correspondientes a los depósitos anteriormente descritos, así como verificar su ubicación con el mapa geológico, ver figura N° 3.1. En el acueducto de San Pedro, así como en el de San José de la Montaña, se pudo observar el contacto entre el miembro Bermúdez, el cual consiste en coladas de lava color negro de composición andesítica a basáltica, y el miembro Porrosatí, constituido por depósito de piroclastos color café claro de granulometría gruesa estratificados.

En la figura N° 4.25 se puede observar una pequeña cascada de agua conformada por lavas andesíticas color negro y sobreyaciendo, a pocos metros de distancia, un afloramiento del miembro Porrosatí, en la parte superior de los tanques de captación de la naciente José Maclovio 4, patrón que se repite en las Nacientes Las Minas, ambas pertenecientes al acueducto de San José de la Montaña.

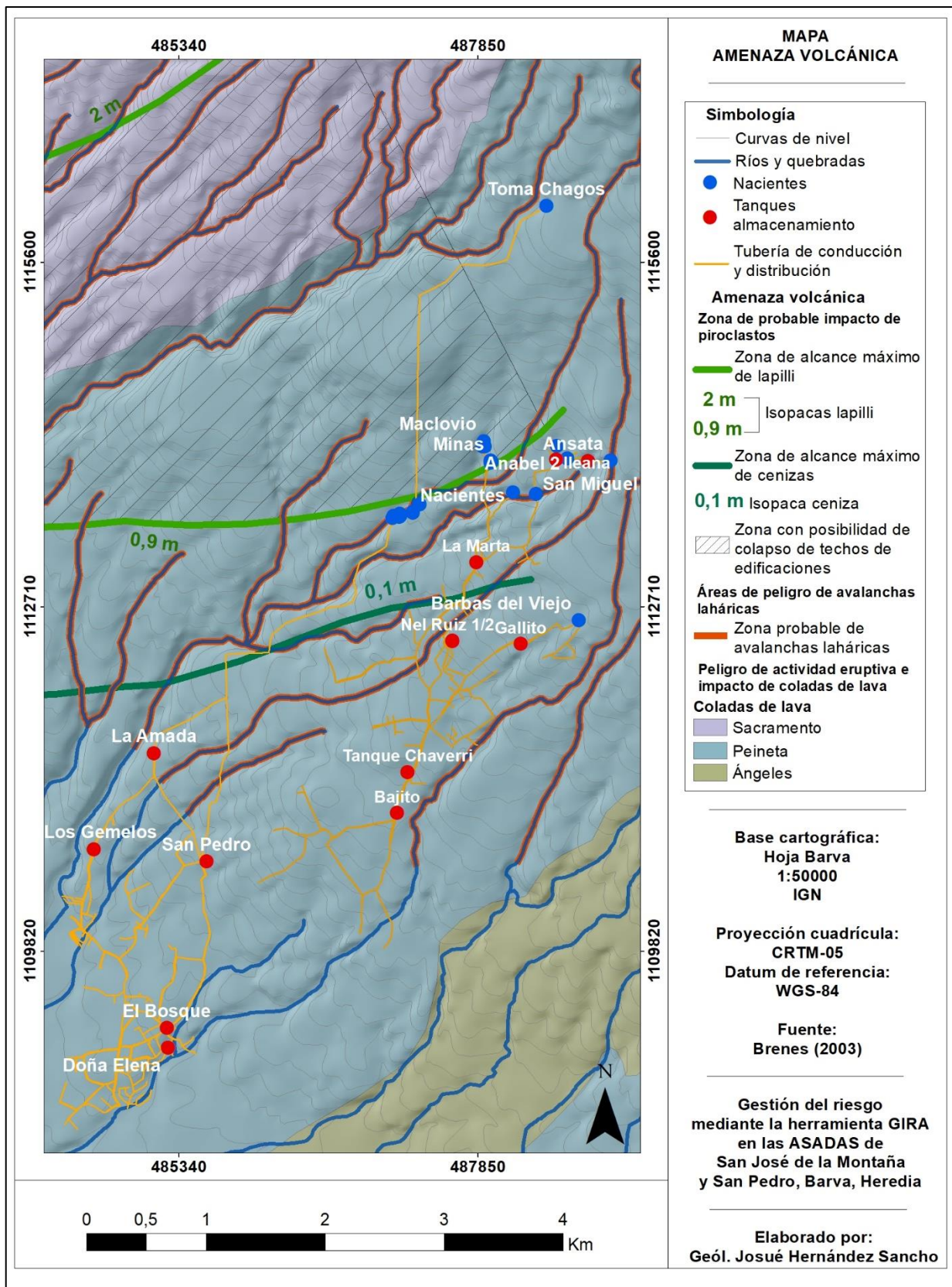


Figura N° 4.24: Mapa de amenaza volcánica, volcán Barva (tomado de Brenes, 2003).

De igual forma, en las cercanías de las nacientes de San Pedro, se observan lavas en el lecho de la quebrada Naborí y en la naciente La Piedra, y sobreyaciendo material muy meteorizado correspondiente al miembro Porrosatí, ver figura N° 4.26. Este contexto geológico se sigue observando a lo largo de la tubería de conducción de ambos acueductos, por ejemplo, en un paso elevado del acueducto de San José de la Montaña, cerca de la naciente Cholo Hernández, en donde en la quebrada se observan lavas sanas y al subir el barranco se observa material meteorizado correspondiente a piroclastos, ver figura N° 4.27.



Figura N° 4.25: Afloramientos cercanos a la naciente José Maclovio 4. A) Coladas de lava. B) Depósitos piroclásticos. (Foto: Hernández, 21 de diciembre del 2021).

Con respecto a los depósitos de avalanchas laháricas, estos igualmente se constataron en el río Porrosatí, cerca de un paso elevado del acueducto San Pedro, en el cual se observan fragmentos de lavas muy meteorizados en una matriz café limo arenosa color café, ver figura N° 4.28.

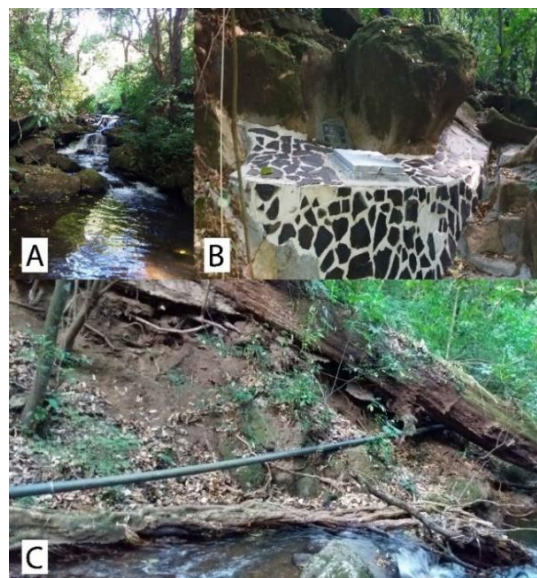


Figura N° 4.26: Afloramientos cercanos a las nacientes de San Pedro. A) y B) Coladas de lava. C) Contacto entre las lavas en el lecho de la quebrada y material meteorizado piroclástico sobreyaciendo, observar además el árbol caído. (Foto: Hernández, 27 de diciembre del 2021).



Figura N° 4.27: Afloramientos observados en recorrido de la tubería de conducción del acueducto de San José de la Montaña. A) Coladas de lava. B) Material meteorizado piroclástico sobreyaciendo. (Foto: Hernández, 21 de diciembre del 2021).



Figura N° 4.28: Afloramiento observado en la tubería de conducción del acueducto San Pedro sobre el río Porrosatí correspondiente a depósitos de avalanchas laháricas. (Foto: Hernández, 2 de febrero del 2022).

b) Amenaza sísmica

Zona de subducción

Costa Rica se encuentra en un margen tectónico de convergencia producto de los esfuerzos que la zona de subducción entre las placas del Coco y Caribe generan. Climent et al. (2008), mediante el proyecto Resis II, Evaluación de la amenaza sísmica en Costa Rica, señalan que de acuerdo a la revisión de trabajos anteriores y a lo calculado en el proyecto, para todo el país se obtienen valores de aceleraciones máximas probables para un periodo de retorno de 500 años oscilando en el orden de 250 a 600 gal a nivel de roca, y que valores mayores a 350 gal son considerados como moderados a altos y deben ser tomados en cuenta en el diseño de obras futuras; además, mencionan que en casi toda la costa del país y hacia el interior, se espera que las intensidades a soportar sean mayores a VII en la escala Mercalli Modificada y en algunos casos hasta de X, por lo que es importante considerar este dato de intensidad a la hora de la toma de decisiones para el ordenamiento territorial y desarrollo del país. Como se puede observar en la figura N° 4.29,

la mayoría del cantón de Barva, y por tanto las ASADAS en estudio, se encuentran dentro del rango más alto de aceleraciones máximas probables, entre 500 y 600 gal.

Ahora bien, en el código sísmico de Costa Rica (2011) el cantón de Barva se clasifica dentro de la zonificación sísmica III, en cuanto a los sitios de cimentación al presentar el cantón gran diversidad geológica y grados de meteorización desiguales dentro de las mismas unidades rocosas, es posible la presencia de los cuatro tipos planteados en la metodología. Razón por la cual en el cantón de Barva la aceleración pico efectiva de diseño, a ef., como parámetro indicador de la sacudida sísmica correspondiente a un período de retorno de 475 años, se encuentra en el rango de 0,30 a 0,36 g, expresada como fracción de la aceleración de la gravedad, los cuales se consideran igualmente valores altos.

Sumado a lo anterior, Climent et al. (2008) mencionan que la mayoría de la infraestructura en Costa Rica se ubica en zonas sísmicamente activas, amenazadas no solo por los eventos de subducción, sino también por fuentes sísmicas corticales, que según diferentes investigaciones sismotectónicas, algunos sistemas de fallas corticales analizadas a lo largo del país presentan actividad reciente o tienen posibilidad de reactivación futura. Con respecto a lo señalado anteriormente, el cantón de Barva podría verse afectado por la actividad sísmica de las fallas Alajuela, al suroeste, y la falla Ángel, al noroeste.

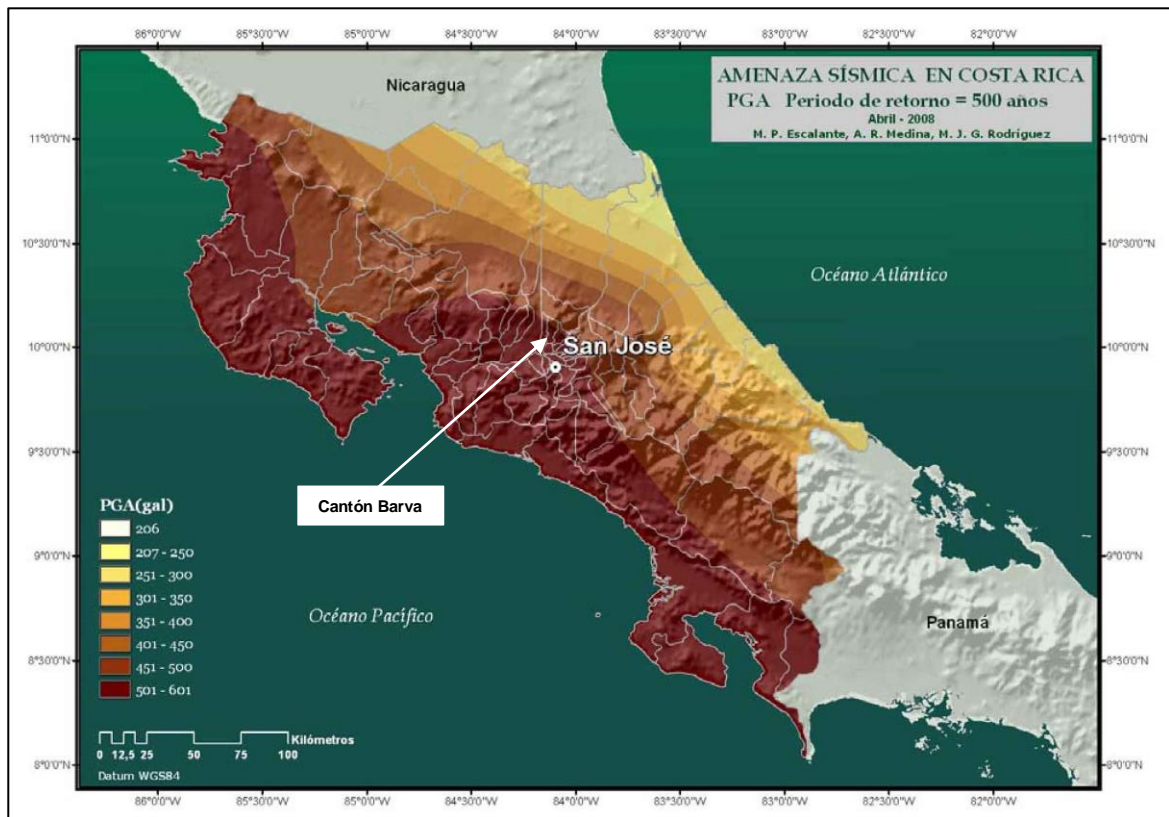


Figura N° 4.29: Mapa de amenaza sísmica en Costa Rica en términos de PGA para un periodo de retorno de 500 años (tomado de Climent et al. (2008)).

Falla Alajuela

Se asocian con esta falla, dos sismos destructivos: el terremoto de Barva del 15 de febrero de 1772 (Peraldo y Montero, 2007) y de Fraijanes del 30 de diciembre de 1888 (Alvarado et al., 1988), así como enjambres de temblores con magnitudes inferiores a 4 que han ocurrido al norte del escarpe, entre estos el ocurrido en noviembre de 1989 (RSN, 2015). Es una falla activa, ya que ha deformado rocas del Pleistoceno Tardío y probablemente del Holoceno (Montero et al., 2010) y por su geometría, extensión y sismos históricos puede generar terremotos de foco muy superficial de magnitudes hasta de 6,2 Mw (Rojas et al., 2004).

El Laboratorio de Ingeniería Sísmica (LIS) de la Universidad de Costa Rica, mediante simulaciones numéricas para un sismo de 6,4 Mw a 10 km de profundidad, predicen valores de intensidad del orden de VIII-IX en la zona epicentral afectando la ciudad de Alajuela y el oeste de Heredia principalmente, así como una aceleración calculada de hasta 0,5 g cerca de la falla (LIS, 2011a).

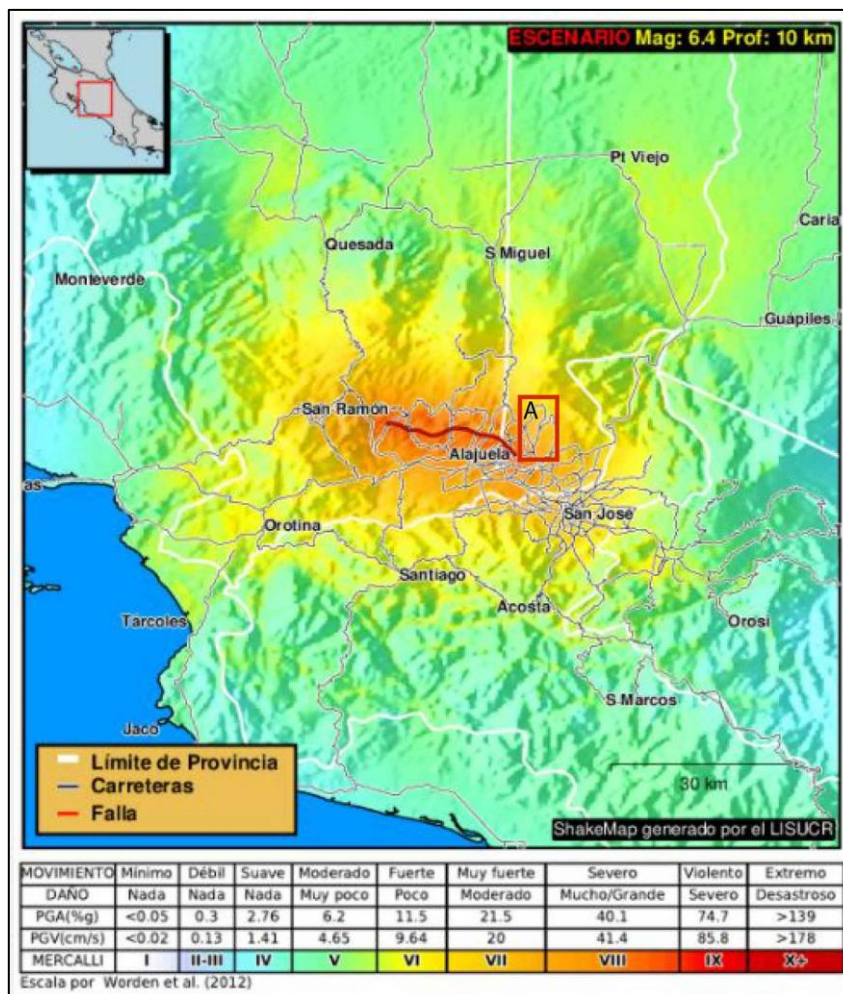


Figura N° 4.30: Mapa de intensidades para un posible sismo de 6,4 Mw a 10 km de profundidad en la falla Alajuela. A. El cuadro rojo representa el área donde se encuentran las ASADAS en estudio. (tomado de LIS, 2011a).

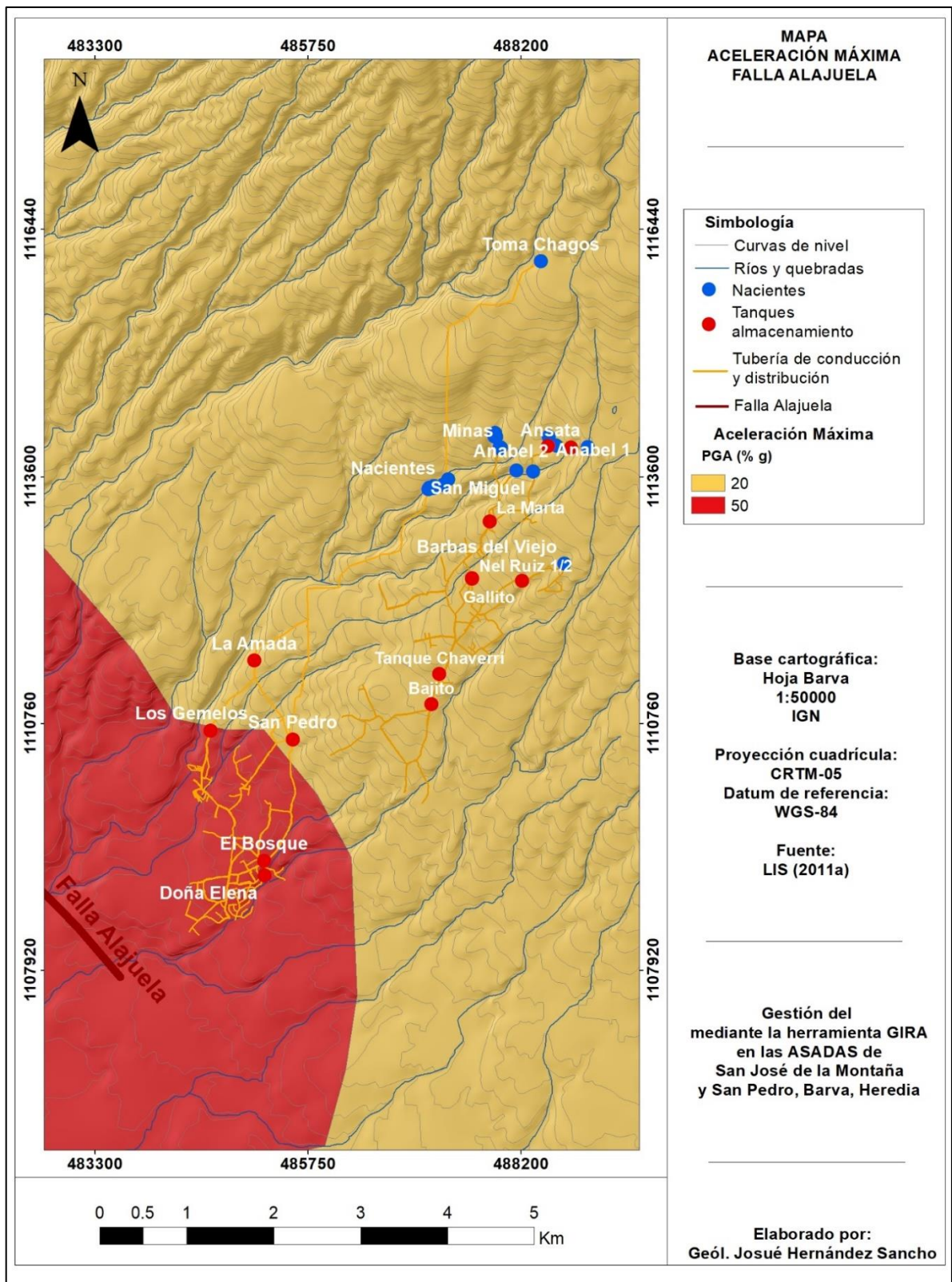


Figura N° 4.31: Mapa de aceleración máxima para un posible sismo de 6,4 Mw a 10 km de profundidad en la falla Alajuela respecto a la ubicación de las ASADAS en estudio (tomado de LIS, 2011a).

En cuanto al valor de aceleración máxima probable calculado según la simulación numérica del LIS (2011a) y el área de estudio, la mayor parte de la ASADA de San Pedro de Barva se encuentra dentro del área con aceleración máxima probable de 50 % g, mientras que los tanques de almacenamiento San Pedro, La Amada, las nacientes y su respectiva tubería de conducción se encuentran dentro del área de aceleración máxima probable de 20 % g, al igual que la totalidad de la ASADA de San José de la Montaña, mientras que, en cuanto a las posibles intensidades, se puede observar que el área donde se encuentran los acueductos podría experimentar intensidades entre VII-VIII, lo cual corresponde con un movimiento severo a muy fuerte y un gran a moderado daño en las estructuras.

Falla Ángel

Corresponde con una falla activa (RSN, 2020). Alvarado et al. (1988) la relaciona con una serie de temblores ocurridos entre el 5 al 11 de febrero de 1982, Climent et al. (2006) sugieren que los terremotos de Fraijanes (1851 y 1888) pudieron haber ocurrido en esta falla, Montero et al. (2010) confirma la falla Ángel como la responsable del terremoto del 30 de diciembre de 1888 en Fraijanes y agrega que el terremoto del 15 de febrero de 1772 (M 5,5 - 6,0) también pudo haber estado asociado con esta falla y Climent et al. (2006), asocian con el sector sur de la falla, algunos temblores de magnitud baja a intermedia, sentidos durante junio y julio del 2005.

Más reciente, el terremoto de Cinchona (Mw 6,2) del 8 de enero del 2009 tuvo su epicentro en esta falla (RSN, 2009; Barquero y Rojas, 2010; Montero et al., 2010), el cual según RSN (2009) la intensidad máxima del terremoto se estimó en IX (MM) a un nivel muy local, con aceleraciones del suelo cercanos a 1g. Por su parte, LIS (2011b) menciona que este terremoto efectivamente fue de 6,2 Mw, a menos de 5 km de profundidad y produjo aceleraciones de hasta 0,6 g en Cariblanco, cerca de la región epicentral.

En cuanto a su potencial, Montero et al. (2010) menciona que las fallas que rodean el macizo del volcán Poás son capaces de generar sismos de magnitudes máximas inferiores a 6,5 Mw. También, según las relaciones empíricas Wells y Coppersmith (1994) y su longitud, esta falla podría generar sismos máximos entre 6,5-6,6 (Mw). Igualmente, el LIS (2011b) mediante simulaciones numéricas menciona que para un sismo de 6,2 Mw a 10 km de profundidad, se podría percibir intensidades del orden entre VII-VIII en la zona epicentral y aceleraciones del orden de 0,4 g a lo largo de la zona de ruptura.

Contextualizando el sismo planteado anteriormente por el LIS (2011b) y el área donde se encuentran los acueductos en estudio, se observa que se podrían experimentar intensidades entre VI-VII, caracterizando un movimiento fuerte a muy fuerte y un daño catalogado como poco a moderado, mientras que ambos acueductos se encuentran dentro del área con 10 % g, como valor de aceleración máxima probable.

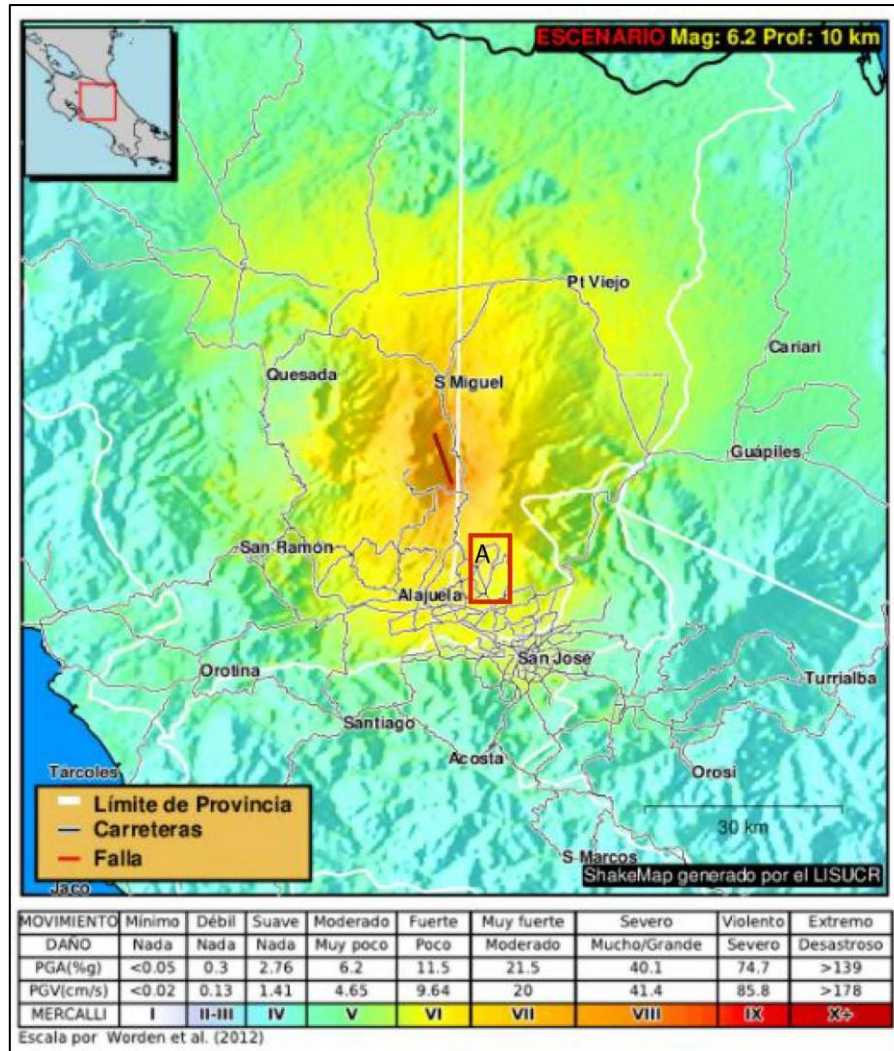


Figura N° 4.32: Mapa de intensidades para un posible sismo de 6,2 Mw a 10 km de profundidad en la falla Ángel. A. El cuadro rojo representa el área donde se encuentran las ASADAS en estudio. (tomado de LIS, 2011b).

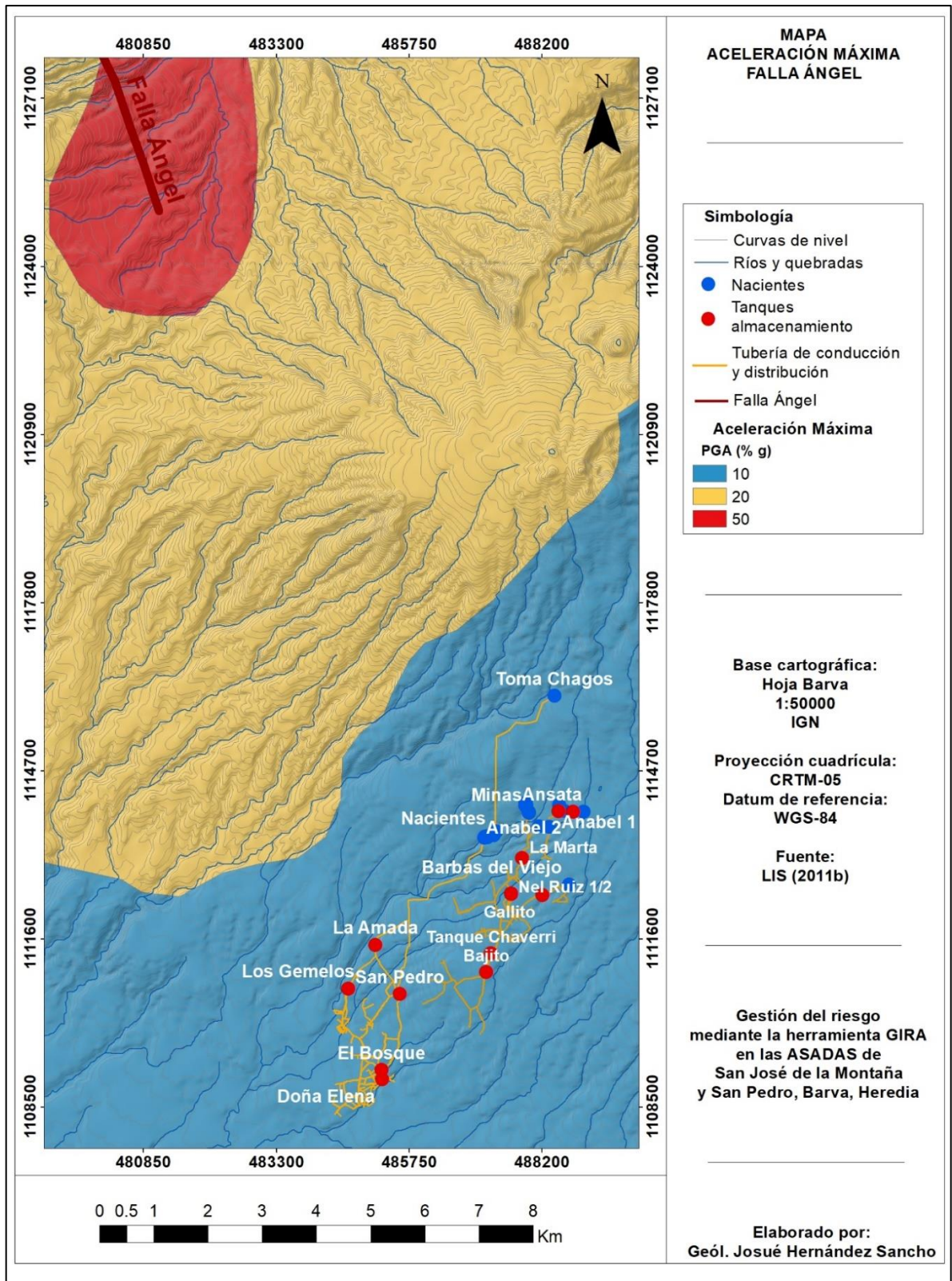


Figura N° 4.33: Mapa de aceleración máxima para un posible sismo de 6,2 Mw a 10 km de profundidad en la falla Ángel respecto a la ubicación de las ASADAS en estudio (tomado de LIS, 2011b).

c) Amenaza por inestabilidad de laderas (deslizamientos)

Para la evaluación de la ocurrencia de deslizamientos se utilizó el método Mora-Vahrson-Mora (MVM) (Mora et al., 1992; Mora y Vahrson 1993, 1994 y Mora et al., 2002), tomando en cuenta la modificación propuesta por Camacho et al. (2004) en la que se incluyen las unidades geomorfológicas identificadas en el área de estudio.

Este método considera que los deslizamientos ocurren cuando en las laderas, características como la geomorfología, el grado de humedad y pendiente (elementos pasivos), producen un grado de susceptibilidad intrínseco que ante factores externos dinámicos como las lluvias y la sismicidad (elementos activos) actúan como precursores de disparo. Estas características y factores se obtienen de la observación en campo y medición de indicadores morfodinámicos y su distribución espacio-temporal en el área de estudio (Mora et al., 2002).

De esta forma, el grado de susceptibilidad a deslizamientos (S) es el producto de los elementos pasivos (EP) y la acción de los factores de disparo (D) mediante la ecuación.

$$S = EP * D$$

Donde el valor de los elementos pasivos se compone del valor del parámetro geomorfológico (S_g), el valor del parámetro de humedad del terreno (S_h) y el valor del parámetro de pendiente (S_p), mediante la ecuación.

$$EP = S_g * S_h * S_p$$

Mientras que el factor de disparo se compone del valor del parámetro por lluvia (D_L) y del valor del parámetro por sismicidad (D_s), mediante la ecuación.

$$D = D_L + D_s$$

Parámetros para determinar el grado de susceptibilidad a deslizamientos

Elementos Pasivos

Parámetro geológico-geomorfológico

El método MVM primeramente involucra el parámetro de susceptibilidad litológica, sin embargo, para el área de estudio, ésta es muy homogénea. Razón por la cual las unidades geomorfológicas, brindan mayor criterio para la zonificación de susceptibilidad a los deslizamientos, ya que, por ejemplo, estas permiten identificar y separar las zonas de barrancos y cárcavas, que por sus altas pendientes son más susceptibles, de la unidad de laderas volcánicas denudacionales de baja pendiente y mediano grado de disección; contrario al parámetro litológico en donde solo se tomaría en cuenta la unidad litológica aflorante, miembros Bermúdez y Porrosatí.

En el área de estudio se identificaron unidades de origen denudacional, fluvial y volcánico, las cuales se describen en el subapartado del contexto geomorfológico. En la tabla N° 4.15 se presentan las unidades geomorfológicas determinadas con su valor

calificativo según la modificación del método MVM de Camacho et al., (2004), en la cual a cada unidad se le asigna un valor de 1 a las menos susceptibles y un valor de 5 para las formas más susceptibles.

Tabla N° 4.15. Valoración asignada a las unidades geomorfológicas (Camacho et al., (2004).

| Unidad geomorfológica | Valor del parámetro |
|--|----------------------------|
| Laderas volcánicas denudacionales de alta pendiente y alto grado de disección | 5 |
| Laderas volcánicas denudacionales de baja pendiente y mediano grado de disección | 3 |
| Laderas volcánicas denudacionales de baja pendiente y bajo grado de disección | 1 |
| Barrancos y cárcavas | 5 |
| Conos de escoria (Las Tres Marías) | 3 |

Tal y como se muestra en el mapa geomorfológico, figura N° 3.3, la mayor parte de los componentes de ambas ASADAS se encuentran dentro de la unidad geomorfológica laderas volcánicas denudacionales de baja pendiente y mediano grado de disección, con una valorización de Sg de 3.

Ahora bien, Barrantes et al. (2011), en su estudio sobre la efectividad de la metodología Mora-Vahrson modificada, en el caso de los deslizamientos provocados por el terremoto de Cinchona en la subcuenca del río Sarapiquí, mencionan que a la mayor parte del área de estudio se le asignó un valor de parámetro litológico de 3, por tratarse principalmente de rocas de origen volcánico, con similares condiciones geotécnicas en relación a la estabilidad de laderas, otorgándole únicamente un valor de 4 a las formaciones Paleo Poás y Paleo Barva por su antigüedad, sin embargo estas no se presentan en el área donde se encuentran las ASADAS en estudio.

Por consiguiente, tanto el parámetro litológico como geomorfológico presentan una valorización de 3 con respecto al parámetro Sg para la mayor parte del área donde se encuentran los componentes de los acueductos, por lo que se considera representativo para la zonificación de susceptibilidad a deslizamientos.

Parámetro humedad del terreno

Este parámetro se determina por medio de los promedios mensuales de precipitación, efectuando con ellos un balance hídrico simplificado, donde se asume una evapotranspiración potencial de 125 mm/mes. En la tabla N° 4.16 se muestra la valoración según el método a partir del promedio de precipitación mensual (mm).

Tabla N° 4.16. Valoración asignada a los promedios mensuales de lluvia (Mora y Vahrson, 1994).

| Promedio de precipitación mensual (mm) | Valor asignado |
|--|----------------|
| <125 | 0 |
| 125-250 | 1 |
| >250 | 2 |

Seguidamente, la precipitación mensual para el área de estudio se obtiene a partir de los datos del Atlas Climatológico de Costa Rica (IMN, 2008), el cual cuenta con registros históricos de al menos 30 años y las herramientas estadísticas idóneas para asegurar confiabilidad y estabilidad en los promedios presentados.

Tabla N° 4.17. Promedio de precipitación mensual (mm) para el área de estudio y su valor de susceptibilidad.

| Mes | Promedio precipitación mensual (mm) (IMN, 2008) | Valor (MVM) |
|------------|---|-------------|
| Enero | < 50 | 0 |
| Febrero | < 50 | 0 |
| Marzo | < 50 | 0 |
| Abril | 100 - 200 | 1 |
| Mayo | 300 - 400 | 2 |
| Junio | 300 - 400 | 2 |
| Julio | 200 - 400 | 2 |
| Agosto | 200 - 300 | 2 |
| Septiembre | 300 - 400 | 2 |
| Octubre | 400 - 500 | 2 |
| Noviembre | 100 - 200 | 1 |
| Diciembre | < 50 - 100 | 0 |
| Total | | 14 |

Posteriormente, a partir del valor total de la sumatoria de los valores de susceptibilidad para cada mes, se determina el parámetro de humedad a utilizar en la ecuación, el cual tal y como se muestra en la tabla N° 4.18 es de 3.

Tabla N° 4.18. Valor del parámetro de humedad del terreno (Mora y Vahrson, 1994).

| Sumatoria valores de susceptibilidad por mes | Descripción | Valor del parámetro S_h |
|--|--------------|---------------------------|
| 0-4 | Muy bajo | 1 |
| 5-9 | Bajo | 2 |
| 10-14 | Medio | 3 |
| 15-19 | Alto | 4 |
| 20-24 | Muy alto | 5 |

Parámetro pendiente

En la tabla N° 4.19 se observa el valor del parámetro Sp para cada rango de pendiente según Van Zuidam (1986).

En el mapa de pendientes entorno a las ASADAS en estudio, figura N° 4.34, se observa que el rango de pendiente con el mayor porcentaje del total del área corresponde con el rango entre 8° - 16°, representadas con el color amarillo, seguido por el rango entre 0° - 8° caracterizado por los diferentes tonos del color verde, mientras que el rango con el menor porcentaje son las pendientes entre 16° - 35° de color naranja claro, limitadas a los cauces principales de mayor desarrollo en el área de estudio.

Tabla N° 4.19. Valoración del parámetro rangos de pendiente (Mora y Vahrson, 1994).

| Rangos de pendiente | | Condiciones del terreno | Valor del parámetro Sp |
|---------------------|----------------|--|------------------------|
| Grados (°) | Porcentaje (%) | | |
| 0-2 | 0-2 | Planicie, sin denudación apreciable | 1 |
| 2-5 | 2-7 | Pendiente muy baja, peligro de erosión | 2 |
| 5-10 | 7-15 | Pendiente baja, peligro severo de erosión | 3 |
| 10-20 | 15-30 | Pendiente moderada, deslizamientos ocasionales, peligro severo de erosión | 4 |
| 20-35 | 30-70 | Pendientes fuertes, procesos denudacionales intensos, peligro extremo de erosión de suelos | 5 |
| 35-45 | 70-140 | Pendiente muy fuerte, afloramientos rocosos, procesos denudacionales intensos | 6 |
| >45 | >140 | Extremadamente fuerte, afloramientos rocosos, procesos denudacionales severos | 7 |

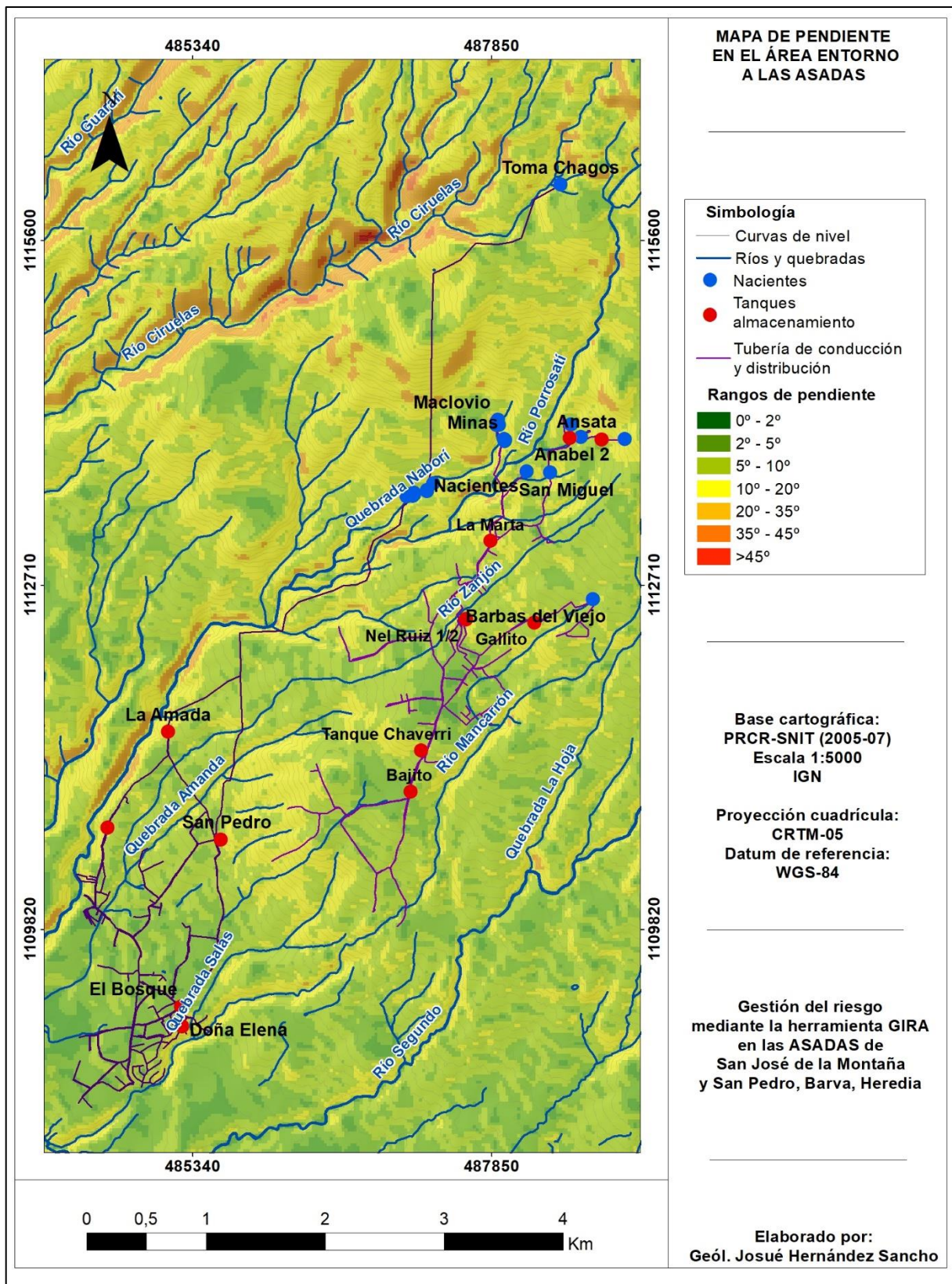


Figura N° 4.34: Mapa de pendientes en el área entorno a las ASADAS en estudio (elaboración propia).

Elementos activos

Disparo por lluvia

Para la evaluación de este parámetro se utilizó el mapa preliminar de lluvias máximas anuales con una duración de 24 horas y un periodo de retorno de 100 años realizado por Vahrson (s.f.) y la información de la estación más cercana al área de estudio correspondiente a la estación 84-111 Santa Lucía, Heredia, en cuanto a las intensidades de precipitación máxima (mm/h) por duración y periodo de retorno (Rojas, 2011). En ambas fuentes bibliográficas la zona de estudio se encuentra dentro del rango 100-200 mm, por lo que el valor DLI es de 2.

Tabla N° 4.20. Valoración del parámetro de disparo por lluvias (Mora y Vahrson, 1994).

| Lluvia máxima, periodo de retorno 100 años (mm) | Descripción | Valoración del parámetro D_{LI} |
|---|-------------|-----------------------------------|
| <100 | Muy bajo | 1 |
| 100-200 | Bajo | 2 |
| 200-300 | Medio | 3 |
| 300-400 | Alto | 4 |
| >400 | Muy alto | 5 |

Disparo por sismicidad

El factor de sismicidad se interpreta como un elemento de disparo de los deslizamientos de tierra que tienen relación con eventos sísmicos de alta intensidad, de modo que el potencial de generación de deslizamientos por actividad sísmica puede correlacionarse con la escala de intensidades Mercalli-Modificada.

Para el área de estudio, según el análisis realizado en el apartado de amenaza sísmica, Climent et al. (2008) mencionan que en casi toda la costa del país y hacia el interior, se espera que las intensidades a soportar sean mayores a VII; mientras que según el análisis para la falla Ángel las intensidades serían entre VI-VII (LIS, 2011b), y para la falla Alajuela serían entre VII-VIII (LIS, 2011a), por lo que al tomar en cuenta el valor probable máximo de intensidad VIII, el valor del parámetro D_s sería de 6.

Tabla N° 4.21. Valoración del parámetro de disparo por sismicidad (Mora y Vahrson, 1994).

| Intensidad de Mercalli Modificada | Calificación | Valoración del parámetro D_s |
|-----------------------------------|-----------------------|--------------------------------|
| III | Leve | 1 |
| IV | Muy bajo | 2 |
| V | Bajo | 3 |
| VI | Moderado | 4 |
| VII | Medio | 5 |
| VIII | Considerable | 6 |
| IX | Importante | 7 |
| X | Fuerte | 8 |
| XI | Muy fuerte | 9 |
| XII | Extremadamente fuerte | 10 |

Susceptibilidad a deslizamientos

El resultado del método MVM, no consiste en una escala única de valores, ya que estos deben ajustarse a las condiciones de cada área estudiada. Por lo que se sugiere dividir el rango de valores obtenidos en cinco clases de susceptibilidad, las cuales son una representación cualitativa de los diferentes niveles de amenaza, pero no una amenaza como tal. En la tabla N° 4.22 se muestra la clasificación de la susceptibilidad a deslizamientos.

Dentro de los elementos analizados, el parámetro pasivo de humedad y los parámetros activos de lluvia y sismicidad son uniformes, mientras que los parámetros pasivos de las unidades geomorfológicas y rangos de pendiente son los que presentan mayor variación, por lo que terminan siendo los valores determinantes en el resultado final de la zonificación a la susceptibilidad de deslizamientos en el área.

Como se puede observar en el mapa de clasificación de la susceptibilidad a deslizamientos, figura N° 4.35, el potencial muy bajo se encuentra delimitado por la unidad geomorfológica laderas volcánicas denudacionales de baja pendiente y bajo grado de disección, en los distritos principalmente de Barva, San Roque y la parte sur de San Pedro, donde precisamente se concentra la tubería de distribución del acueducto.

Los calificativos bajo y moderado, siendo este último el de mayor extensión, se encuentran ubicados en la unidad laderas volcánicas denudacionales de baja pendiente y mediano grado de disección, en los distritos de San Pablo, San José de la Montaña y la parte norte de San Pedro, donde se ubica la totalidad de la ASADA de San José de la Montaña, así como los principales tanques de almacenamiento y gran parte de la tubería de conducción de la ASADA de San Pedro.

Por último, el potencial alto se encuentra en el sector noroeste del cantón, específicamente en la microcuenca del río Ciruelas, con algunas zonas con potencial muy alto, y en los barrancos y cárcavas en el área de estudio. La microcuenca del río Ciruelas se encuentra lejana y únicamente se encuentra la naciente Chagos en el límite sureste, perteneciente a la ASADA de San Pedro. Sin embargo, los barrancos y cárcavas si son de gran importancia para ambas ASADAS, debido al riesgo de daño de las nacientes que se encuentran dentro de estos y de la tubería de conducción y distribución al pasar cerca o como pasos elevados, sumado al hecho que la mayoría de la tubería es de material PVC, susceptible a fracturas a raíz de fuerzas naturales externas como lo son los deslizamientos.

Tabla N° 4.22. Clasificación de la susceptibilidad a deslizamientos (Mora y Vahrson, 1994).

| Clase | Susceptibilidad a deslizamientos | Características |
|--------------|---|---|
| I | Muy baja | Sectores estables, no se requieren medidas correctivas. Se debe considerar la influencia de los sectores aledaños con susceptibilidad de moderada a muy alta. Sectores aptos para usos urbanos de alta densidad y ubicación de edificios indispensables como hospitales, centros educativos, estaciones de policía y bomberos. |
| II | Baja | Sectores estables que requieren medidas correctivas menores, solamente en caso de obras de infraestructura de gran envergadura. Se debe considerar la influencia de los sectores aledaños con susceptibilidad de moderada a muy alta. Sectores aptos para usos urbanos de alta densidad y ubicación de edificios indispensables como hospitales, centros educativos, estaciones de policía y bomberos. Los sectores con rellenos mal compactados son de especial cuidado. |
| III | Moderada | No se debe permitir la construcción de infraestructura si no se realizan estudios geotécnicos y se mejora la condición del sitio. Las mejoras pueden incluir: movimientos de tierra, estructuras de retención, manejo de aguas superficiales y subterráneas y bioestabilización de terrenos. Los sectores con rellenos mal compactados son de especial cuidado. Recomendable para uso agropecuario o urbano de baja densidad. |
| IV | Alta | Probabilidad de deslizamiento alta ($< 50^\circ$) en caso de sismos de magnitud importante y lluvias de intensidad alta. Para su utilización se deben realizar estudios estabilidad a detalle y la implementación de medidas correctivas que aseguren la estabilidad del sector, en caso contrario, deben mantenerse como áreas de protección. |
| V | Muy alta | Probabilidad de deslizamiento muy alta ($> 50^\circ$) en caso de sismos de magnitud y lluvias de intensidad alta. Prohibido su uso con fines urbanos, se recomienda usarlos como áreas de protección. |

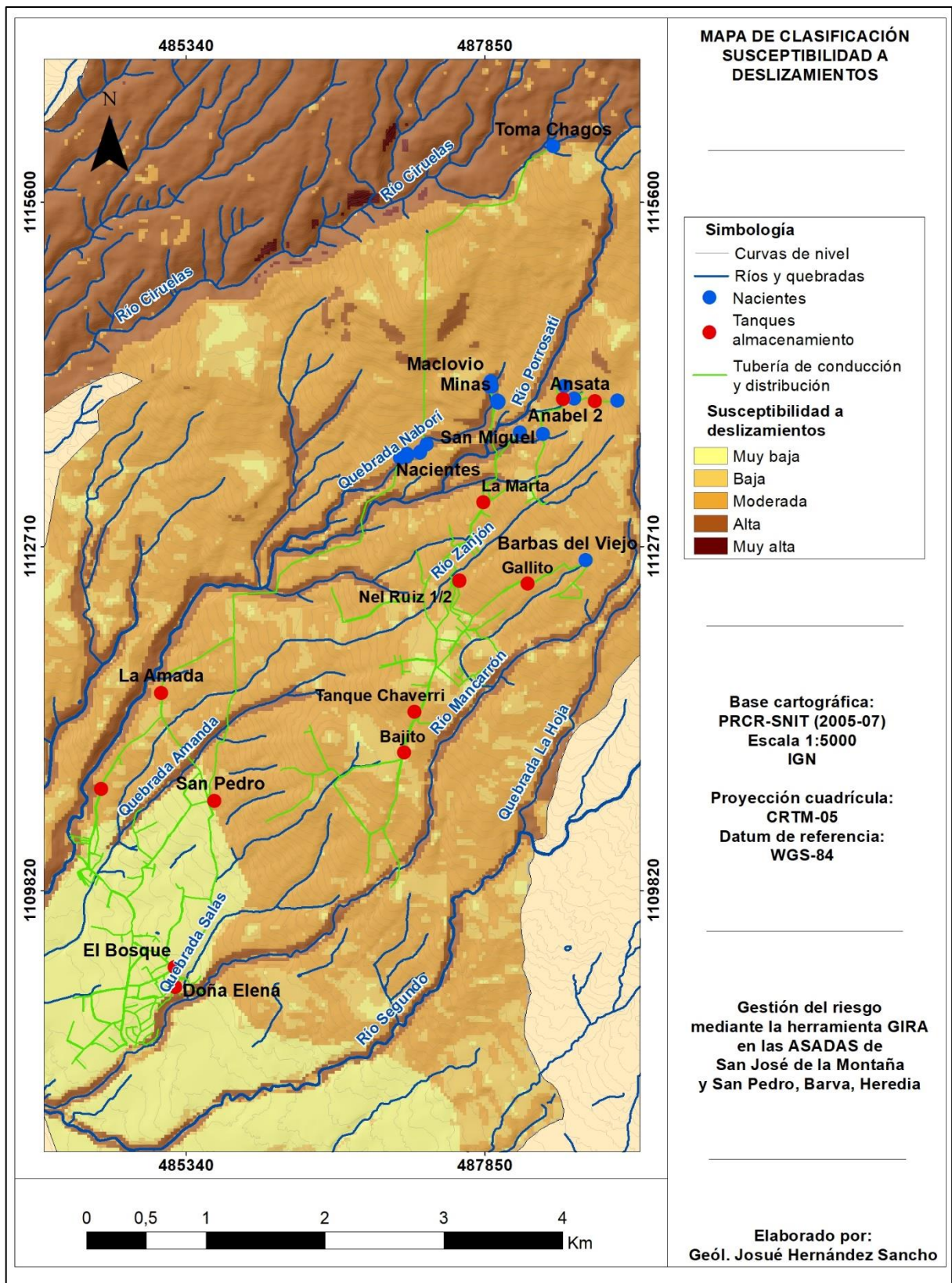


Figura N° 4.35: Clasificación de la susceptibilidad a deslizamientos en el área entorno a las ASADAS en estudio (elaboración propia).

Este resultado, de susceptibilidad alta en los barrancos y cárcavas con el método MVM, se relaciona con lo mencionado por Carmona (2021), quien en un área más al noroeste de las subcuencas donde se encuentran las ASADAS, pero en el mismo macizo volcánico del Barva, a partir de un análisis morfométrico utilizando las variables de altimetría, inclinación del terreno, densidad y profundidad de la disección y energía del relieve; identificó que los valles fluviales son una de las geoformas más susceptibles a deslizamientos al ser una de las que presentó mayor número de movimientos de ladera y frecuencia a estos procesos. Sumado al hecho que menciona que este comportamiento se podría repetir para aquellas regiones del volcán que no fueron incluidas en su área de estudio.

Además, Carmona (2021) menciona que las zonas donde se presenta una intensidad más alta tanto en los procesos erosivos como en las condiciones intrínsecas del material para la ocurrencia de procesos gravitacionales coinciden según su mapa geomorfológico con las unidades Neo Barva como Bermúdez, Guararí y Porrosatí, y que en otros sectores donde se tiene esta misma cobertura piroclástica meteorizada e inconsolidada de la unidad Porrosatí, se desarrollan procesos de remoción en masa. Atribuyendo que, según el mapa de profundidad de disección, las áreas asociadas a una mayor intensidad erosiva en la componente vertical se concentran mayormente en la tefras (unidad Porrosatí) y que las fuertes inclinaciones en las márgenes de los valles fluviales resultan en que las interestratificaciones de este material piroclástico y suelo resulten susceptibles al movimiento gravitacional, concluyendo que la inestabilidad es intrínseca a los materiales constituidos por capas piroclásticas de la Unidad Porrosatí y no por el sustrato rocoso.

Este comportamiento, tanto en los valles fluviales como lo relacionado al sustrato del miembro Porrosatí, se puede observar en el área de estudio, ya que tal y como se describe en este apartado, los barrancos y cárcavas presentan alta susceptibilidad, y en el subcapítulo de amenaza volcánica, ver figuras N° 4.24, 4.25 y 4.26, al observar que en el área cercana a las nacientes de la ASADA de San Pedro y las nacientes José Maclovio y Las Minas del acueducto San José de la Montaña, en la cárcava de la quebrada Naborí, en el lecho del cauce afloran lavas de composición andesítica correspondientes al miembro Bermúdez y sobreyaciendo se observan depósitos piroclásticos del miembro Porrosatí, con aproximadamente de 10 m a 20 m de espesor en algunos sectores.

Ahora bien, un aspecto importante de mencionar en relación a lo anterior, es que, durante el recorrido en campo en ambos acueductos por la tubería de conducción y las nacientes mencionadas en el párrafo anterior, los fontaneros mencionaron que “es común observar árboles caídos, ya que las raíces no profundizan en el estrato rocoso y el suelo donde enraízan es muy suelto” lo cual se puede observar en las figuras N° 4.26-C y 4.41, son un reflejo del conocimiento empírico sobre el estado inconsolidado y demás propiedades intrínsecas del material piroclástico del miembro Porrosatí, tal y como lo menciona Carmona (2021), que lo hacen susceptible a deslizarse.

Seguidamente, con el objetivo de caracterizar a cada acueducto con respecto a la amenaza por inestabilidad de ladera, se abordará cada sistema según lo observado durante

las visitas de campo. Primeramente, la ASADA San Pedro tiene su totalidad de nacientes en la cárcava formado por la quebrada Naborí, la cual se clasificó con susceptibilidad alta a deslizamientos, debido a sus fuertes pendientes (Figura N° 4.36).



Figura N° 4.36: A) Vista de la quebrada Naborí desde el tanque de captación de la naciente El Centro. B) Tanque de captación de la naciente El Centro. C) Pendiente alta observada en las laderas de la quebrada Naborí, vista desde el punto B, coordenadas 487191 E / 1113456 N. (Foto: Hernández, 2 de diciembre del 2021).

Mientras que aproximadamente un tracto de 1,9 km de tubería PVC se extiende por los barrancos del río Porrosatí y cárcavas de las quebradas Naborí y Amanda, igualmente clasificadas con susceptibilidad alta a deslizamientos, observándose mediante visita de campo realizada el día 13 de noviembre del 2021 y 22 de enero del 2022, la presencia de tres pasos elevados expuestos a esta amenaza, debido a la pronunciada pendiente, al marcado cambio topográfico y a la presencia del material inestable del miembro Porrosatí. El primero es sobre la quebrada Naborí, inmediatamente después del tanque de reunión de todas las nacientes, otro sobre el río Porrosatí y el último sobre la quebrada Amanda, ver figura N° 4.37.

De los cuales, el de mayor exposición es el tercero, por la pendiente fuerte en las laderas de la quebrada, la altura a la que pasa la tubería, la ausencia de una estructura de soporte y protección, y desde el punto de vista logístico, ya que este paso elevado se encuentra a 750 m de distancia aproximadamente del tanque San Pedro, el cual es el de mayor capacidad de almacenamiento en el acueducto y punto de distribución del sistema San Pedro, con la mayor cantidad de usuarios con respecto a los otros dos sistemas.

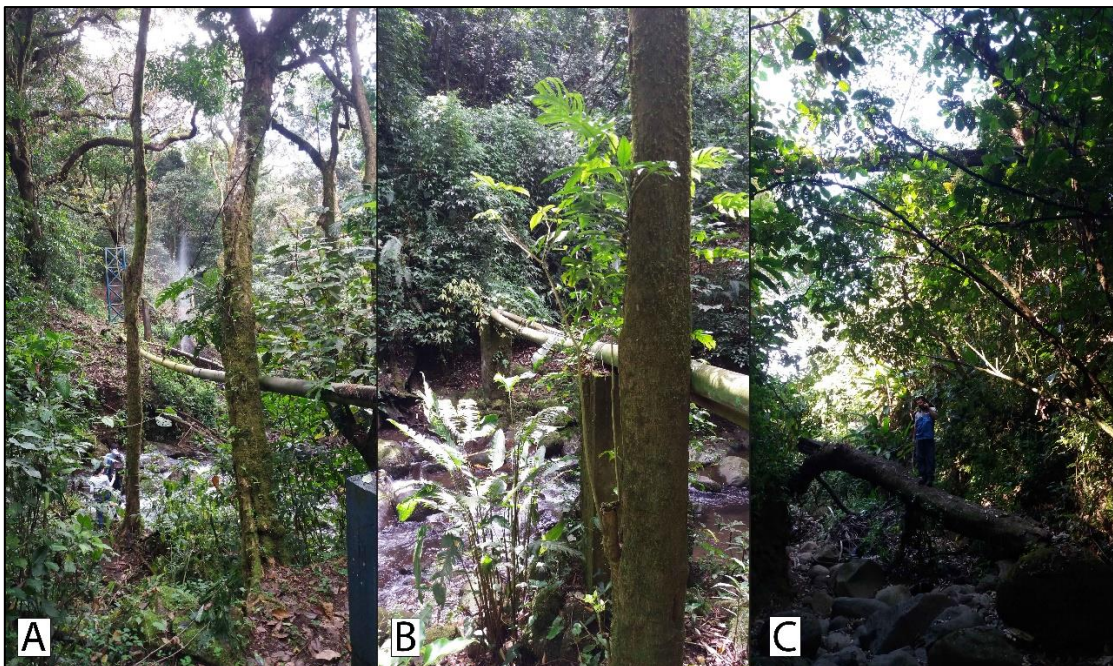


Figura N° 4.37: A) Paso elevado sobre la quebrada Naborí, cercano al sitio donde se ubican las nacientes (487145 E / 1113435 N). B) Paso elevado sobre el río Porrosatí (486819 E / 1112948 N). C) Paso elevado sobre la quebrada Amanda (485693 E / 1111226 N). (Foto: Hernández, 2 de diciembre del 2021).

De igual forma, durante el recorrido a lo largo de la tubería de conducción, se pudieron identificar tres zonas inestables, ver figura N° 4.38. El primer sitio se encuentra a unos metros después del primer paso elevado, se observa una pendiente muy fuerte hacia la cárcava de la quebrada Naborí que corta abruptamente el camino que la ASADA tiene demarcado por donde pasa la tubería de conducción. El segundo se encuentra a 230 m del punto anterior, igualmente al borde de la cárcava de la quebrada Naborí, se observa que, por la pendiente, la escorrentía ya ha erosionado igualmente el camino, exponiendo la tubería de conducción. Por último, el tercer punto se encuentra en el Campamento Roblealto, si bien no se observa material inestable o removido, la tubería pasa bordeando el barranco del río Porrosatí, con una fuerte pendiente y un cambio topográfico importante, condiciones que favorecen la susceptibilidad a deslizamientos.

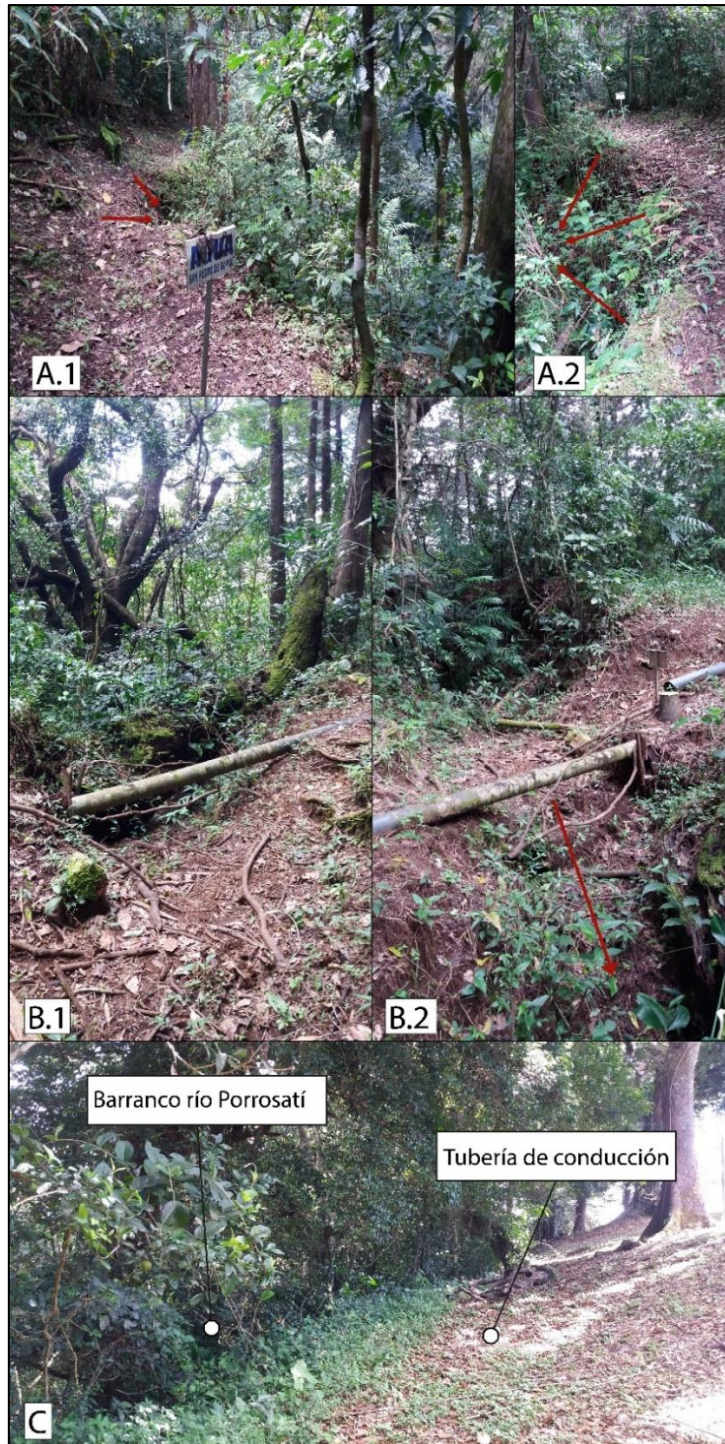


Figura N° 4.38: A) Zona inestable en el camino por donde pasa la tubería de conducción cerca al barranco de la quebrada Naborí (487046 E / 1113232 N). B) Zona inestable a 230 m del punto A, (486855 E / 1113107 N). C) Tubería de conducción cercana al barranco del río Porrosatí, específicamente en el Campamento Roblealto (486365 E / 1112629 N). Las flechas color rojo señalan la dirección de inestabilidad. (Foto: Hernández, 2 de diciembre del 2021).

Con respecto a la ASADA de San José de la Montaña, las nacientes José Maclovio y Las Minas igualmente se encuentran en la cárcava de la quebrada Naborí, aguas arriba de las nacientes del acueducto de San Pedro (Figura N° 4.39), mientras que de igual forma un tracto de aproximadamente 1,05 km de tubería PVC se extiende por los barrancos del río Porrosatí, Zanjón y la cárcava de la quebrada Naborí (Figura N° 4.40).

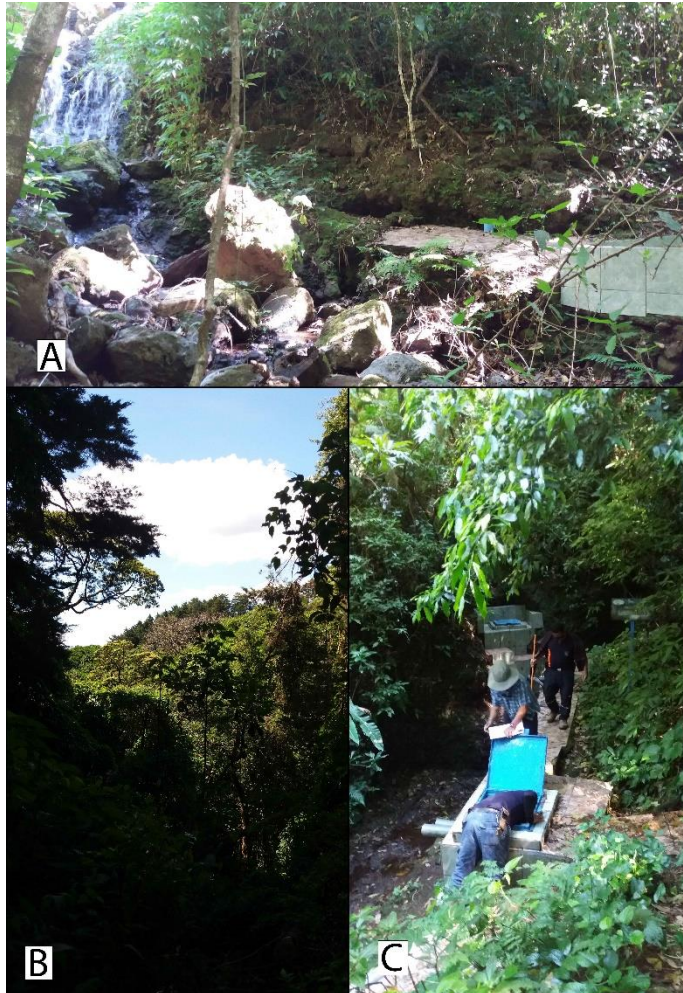


Figura N° 4.39: A) Tanque de captación de las nacientes José Maclovio 2 y 3 a orillas de la quebrada Naborí. B) Vista de la cárcava de la quebrada Naborí, se observa alta pendiente en sus laderas. C) Nacientes Las Minas a orillas de la quebrada Naborí. (Foto: Hernández, 21 de diciembre del 2021).

Mediante visitas de campo realizadas los días 21 de enero y 11 de febrero del 2022, se pudo observar 6 pasos elevados expuestos, a raíz de las fuertes pendientes y presencia del material inestable del miembro Porrosatí, en los sectores donde la tubería cruza los distintos cuerpos de agua. Los dos primeros se encuentran sobre la quebrada Naborí, el primero entre las nacientes José Maclovio y Las Minas, y el segundo a 180 m aproximadamente de las últimas nacientes. Los otros dos se encuentran sobre el río Porrosatí y un afluente del mismo hacia el sector sureste, a 430 m aproximadamente. Mientras que los dos últimos se encuentran sobre el río Zanjón y una quebrada afluente a este, muy cerca de los tanques de almacenamiento Nel Ruiz 1 y 2.

De estos, los que se encuentran sobre el afluente del río Porrosatí y el río Zanjón son los más expuestos y, por tanto, los de mayor interés, ya que estos cauces presentan muy altas pendientes en sus laderas y una diferencia de altura entre el piso del cuerpo de agua y el paso elevado muy marcada. Sin embargo, un aspecto a favor del que se encuentra sobre el río Zanjón, es el puente colgante de acero y anclajes por el que pasa la tubería, otorgándole protección.



Figura N° 4.40: Pasos elevados. A) sobre la quebrada Naborí, entre las nacientes José Maclovio y Minas (487896 E / 1113997 N). B) sobre la quebrada Naborí (487865 E / 1113773 N). C) sobre el río Porrosatí (487884 E / 1113627 N). D) sobre afluente del río Porrosatí (487939 E / 1113536 N). E) sobre el río Zanjón (487564 E / 1112451 N). F) sobre afluente del río Zanjón (487616 E / 1112376 N). (Foto A-D: Hernández, 21 de diciembre del 2021; Foto E-F: 16 de febrero del 2022).

Por último, durante el recorrido de las nacientes y tubería de conducción del acueducto San José de la Montaña en la quebrada Naborí, fue posible observar un movimiento de tierra, ver figura N° 4.41, causado por una fuga en la tubería de la Municipalidad de Santo Domingo, la cual provocó movimiento de una importante cantidad de material y caída de árboles. Ahora bien, aunque las causas del fenómeno no fueran del todo naturales, ya que el aumento de humedad en el suelo fue provocado por una fuga muy

puntual, las características del suelo si, las cuales junto con las fuertes pendientes provocaron la erosión, por lo que efectivamente en condiciones de época lluviosa, según el análisis realizado anteriormente con la metodología MVM, es muy probable que se potencie la probabilidad de ocurrencia de un deslizamiento.



Figura N° 4.41: Movimiento de tierra sobre la quebrada Naborí, cerca del camino por donde pasa la tubería de conducción de la ASADA de San José de la Montaña (487957 E / 1113901 N). (Foto: Hernández, 21 de diciembre del 2021).

d) Amenazas hidrometeorológicas

Inundación y/o avalanchas

Como anteriormente se describió al inicio de este subcapítulo, para la zona donde se encuentran ambas ASADAS, la CNE (s.f.) y la Municipalidad de Barva (2019) identifican que los cauces de los ríos Porrosatí, Zanjón y Mancarrón son susceptibles a inundaciones y/o avalanchas, mientras que MIVAH (2008) aparte de los ríos anteriores incluye la quebrada Amanda, en el distrito de San Pedro, como otro cauce susceptible.

Ahora bien, la metodología Mora-Varhson-Mora (MVM), descrita y realizada en el apartado, amenaza por inestabilidad de laderas, además de identificar las áreas más susceptibles a deslizamientos, funciona igualmente para identificar efectos secundarios como flujos de lodos y detritos. Razón por la cual, la figura N° 4.35, permite observar al igual que los estudios mencionados anteriormente, que los ríos Porrosatí, Mancarrón y la quebrada Amanda son susceptibles a estos fenómenos, incluyendo la quebrada Naborí, donde se encuentran la totalidad de las nacientes de la ASADA de San Pedro de Barva y las nacientes Maclovio y Minas de la ASADA de San José de la Montaña, las cuales se encuentran muy cercanas al lecho del cauce, haciéndolas altamente susceptibles, al igual que algunos tramos de la tubería de conducción y distribución que se extienden por estos cauces. Ahora bien, este análisis realizado difiere de los autores anteriores al no considerar el río Zanjón como un cauce de riesgo, lo cual puede deberse a que las pendientes a lo largo de este cuerpo de agua superficial se clasifican mayoritariamente como moderadas (8°-16°), ver figura N° 4.34, no obstante igualmente se cataloga como un cauce susceptible

a estos fenómenos, a raíz que diversos estudios lo incluyen como tal y que en este río se ubican dos pasos elevados del acueducto de San José de la Montaña.

Un ejemplo reciente de lo anterior, se presentó el mes de julio del 2021, cuando el río Porrosatí presentó una crecida producto de un temporal causado según el IMN (2021a) por una alta presión atmosférica en el mar Caribe y gran inestabilidad de la atmósfera, que generó condiciones ventosas para el territorio y ocasionó un incremento en las precipitaciones, sin embargo, no ocurrieron daños asociados. En la figura N° 4.42, se observa el incremento de caudal en el cauce.



Figura N° 4.42: Puente sobre el río Porrosatí en San José de la Montaña (coordenadas 488290 E / 1113987 N), se observa la crecida en el río producto de las intensas lluvias (Municipalidad de Barva, 2021).

Sequía (Disminución en las precipitaciones)

Hidrogeológicamente, las nacientes de las ASADAS en estudio se ubican en el acuífero Barva, en específico dentro del miembro Bermúdez, donde su recarga es debida a la infiltración de lluvia en las partes altas del volcán Barva, así como mediante zonas preferenciales en los lechos de los ríos que actúan como influentes y, además, son comunes los manantiales en los cambios topográficos o contactos litológicos, tal y como las nacientes en estudio. Igualmente, sobreyaciendo este acuífero en algunos sectores, especialmente hacia el sur, se encuentra el miembro Porrosatí, constituido por tobas arcillosas meteorizadas de espesores muy variables debido a que son producto de emisiones de caída volcánica que rellenan y suavizan paleotopografías existentes, que

forman acuitardos de gran extensión, así como suelos volcánicos muy porosos y de alta capacidad de retención de humedad (Ramírez, 2007).

Por su parte, Arredondo (2011) menciona que el nivel estático del acuífero Barva, pero en el miembro Bambinos, presenta variaciones en un rango aproximado de hasta 1,95 a 2 metros, y que esta situación, se debe a que los cambios estacionales generan una influencia directa y en corto tiempo en la ubicación del nivel freático, por lo que es de esperarse una recarga directa de lluvia y, por lo tanto, un acuífero muy vulnerable. Además, indica que la recarga total anual para la unidad acuífera Bambinos sin cobertura del miembro Porrosatí es de 801 l/s, que representa un 75% de recarga en relación con la precipitación, mientras que para la unidad con cobertura del miembro Porrosatí es de 102 l/s, que representa un 38% en relación con la lluvia, siendo este último caso el que caracteriza a las ASADAS en estudio.

Por lo tanto, teniendo en cuenta que el proceso de recarga del acuífero Barva se da principalmente por infiltración de lluvia, y que variaciones en esta por consiguiente repercute en el caudal de las nacientes que abastecen los dos acueductos en estudio, es importante analizar los fenómenos, así como las proyecciones climatológicas respecto a la precipitación en la zona.

Como ya es bien conocido, El Niño-Oscilación del Sur (ENOS) es un fenómeno natural que implica temperaturas oceánicas fluctuantes en el Pacífico ecuatorial, y hace referencia a la interacción climática océano-atmósfera a gran escala, asociada a un calentamiento periódico de las temperaturas de la superficie del mar, extendiéndose en todo el océano Pacífico ecuatorial central y el Pacífico este-central. A escala interanual, de 2 a 7 años, el ciclo ENOS es el modo dominante de variabilidad en el océano Pacífico, de forma que el patrón fluctúa entre dos modos: más cálido de lo normal en las aguas ecuatoriales del océano Pacífico central y oriental conocido como El Niño y temperaturas superficiales del mar más frías de lo normal llamado La Niña (IMN, s.f. a).

Dentro de los efectos de este fenómeno en el país, cuando la intensidad de la fase cálida del ENOS (El Niño) es fuerte, los valores acumulados de lluvia en la vertiente del Pacífico tienden a ser mucho menores que lo normal, existiendo un déficit de lluvia en el Pacífico y el valle Central, además que la probabilidad de un temporal en esta vertiente es mucho menor que en una condición normal o cuando el fenómeno de La Niña está activo, mientras que en la vertiente del Caribe se produce un excedente en las lluvias, y la probabilidad de formación de tormentas tropicales o huracanes en el mar Caribe se clasifica como muy baja (IMN, s.f. b).

Ramírez (2014) menciona que según información del IMN durante el periodo comprendido entre 1970 al 2002, durante los años secos extremos se ha producido una reducción de la lluvia anual entre un 17 % y 28% en promedio para toda el área, entre 370 mm a 610 mm anuales; siendo los años que se han presentado como escenarios secos extremos: 1976, 1977, 1985, 1986, 1987, 1994 y 2001. De los cuales el 71% de estos años han sido Niño, exceptuando los años 1985 y 2001, y el año más seco registrado fue 1986. Ahora bien, el autor aclara que lo que se reduce es la cantidad de lluvia, pero el periodo de

mayo a octubre como el más lluvioso se mantiene. Además, señala que esta situación repercute en la recarga de los acuíferos, principalmente en el acuífero Barva.

En relación a lo anterior, en la figura N° 4.43 y 4.44, se observa un registro histórico de los caudales de las nacientes de la ASADA San José de la Montaña y San Pedro de Barva, en las cuales se puede observar que los años 2014 y 2019, ambos bajo la influencia del fenómeno del Niño, presentan los caudales disminuidos con respecto a otros años y épocas climáticas, siendo por ejemplo el año 2014 el año más crítico para la ASADA de San José de la Montaña, aunque para la ASADA de San Pedro fue el año 2016, año que refleja una transición entre uno de los veranos más críticos y un periodo de estiaje en los primeros meses del año 2017.

Histórico de Aforos registrados en periodos climatológicos de épocas de estiaje niño 2014 y 2020 e invierno.

Se lleva un monitoreo histórico de 12 años de los caudales emanados de los manantiales para su articulación con otros estudios para toma de decisiones y documentar historiales de eventos climatológicos.

| Manantial | VERANO MAS CRITICO | TRANSICIÓN | EPOCA VERANO (ESTIAJE) | | | EPOCA DE INVIERNO | | | EPOCA VERANO (ESTIAJE) | | Influencia NIÑO 2019 | 2020 |
|------------------|--------------------|------------|------------------------|------------|-----------|-------------------|---------------|-----------|------------------------|-------|----------------------|-----------|
| | 23/5/2014 | | 2/2/2017 | 17/3/2017 | 15/5/2017 | | TORMENTA NATE | | | | | 31/8/2019 |
| | 22/12/2016 | 14/8/2017 | 11/10/2017 | 20/12/2017 | 18/4/2018 | 30/6/2018 | 31/8/2019 | 18/3/2020 | | | | |
| BARBAS DEL VIEJO | 7 | 16,46 | 16,9 | 9,49 | 6,46 | 13,56 | 40,17 | 11,16 | 7,25 | 19,92 | 5,30 | 7,7 |
| ANABEL 1 | 1.8 | - | 1,36 | - | - | - | - | - | 0,36 | 2,53 | 0,36 | 0,2 |
| ANABEL 2 | 1.2 | 9,08 | 10,4 | 4,02 | 3,48 | 4,65 | 34,36 | 9,95 | 3,49 | 14,42 | 2,8 | 3,21 |
| ANSATA | 2.52 | 14,08 | 16,59 | 6,38 | 2,8 | 8,13 | 27 | 12,69 | 5 | 12,50 | 2,2 | 4 |
| SAN MIGUEL | 7.23 | 15,57 | 16,1 | 15,08 | 15,08 | 15,08 | 15,8 | 15,08 | 17,43 | 14,5 | 3,07 | 3,5 |
| CHOLO HERNANDEZ | 1.6 | 14,16 | 15,26 | 11,87 | 8,64 | 12,14 | 25,05 | 12,14 | 12 | 12,50 | 9,26 | 11,2 |
| JOSE MACLOVIO 1 | | | | | | | | | | | | 4,43 |
| JOSE MACLOVIO 2 | 7.26 | 18,39 | 17,06 | 11,65 | 10,86 | 12,63 | 23,25 | 12,95 | 10,94 | 17,08 | 11,97 | |
| JOSE MACLOVIO 3 | | | | | | | | | | | | 4,74 |
| JOSE MACLOVIO 4 | | | | | | | | | | | | 1 |
| LAS MINAS 1 | | | | | | | | | | | | 2 |
| LAS MINAS 2 | 3.06 | 9,24 | 10,28 | 5,76 | 4,85 | 7,35 | 14,44 | 8,89 | 6,62 | 11,71 | 4,71 | 1,08 |
| LAS MINAS 3 | | | | | | | | | | | | 0,3 |

Fuente: elaboración propia con datos de campo de aforos con el método volumétrico.

Figura N° 4.43: Caudales históricos de las nacientes pertenecientes a la ASADA de San José de la Montaña (Gamboa, R., comunicación personal, 5 de noviembre del 2021).

| HISTORICO DE AFOROS | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | MEDIA |
| MES | L/S | L/S | L/S | L/S | L/S | L/S | L/S | L/S | L/S | L/S | L/S | L/S | L/S |
| Enero | 39.13 | 43.63 | 43.38 | 42.28 | 40.13 | 47.11 | 41.97 | 41.96 | 41.36 | 34.26 | 34.14 | 39.58 | 40.68 |
| Febrero | 35.24 | 40.33 | 40.02 | 34.99 | 37.24 | 37.63 | 30.90 | 37.30 | 41.07 | 26.50 | 30.03 | 35.71 | 35.27 |
| Marzo | 27.67 | 37.98 | 35.73 | 30.94 | 27.10 | 35.09 | 29.60 | 28.42 | 36.98 | 23.22 | 26.29 | 31.43 | 30.46 |
| Abril | 24.93 | 32.05 | 29.71 | 26.61 | 21.88 | 32.22 | 22.46 | 30.55 | 31.98 | 19.10 | 22.96 | 28.44 | 26.37 |
| Mayo | 25.08 | 29.18 | 27.78 | 23.97 | 18.54 | 20.41 | 17.48 | 25.37 | 25.10 | 18.13 | 19.82 | 31.17 | 22.47 |
| Junio | 37.91 | 26.01 | 31.31 | 23.97 | 20.74 | 23.44 | 26.37 | 31.09 | 28.00 | 19.61 | 29.61 | 39.63 | 26.64 |
| Julio | 53.77 | 35.90 | 35.24 | 26.51 | 23.63 | 25.30 | 38.94 | 38.50 | 40.35 | 20.50 | 36.46 | 40.61 | 32.89 |
| Agosto | 65.22 | 40.64 | 41.38 | 30.34 | 24.29 | 37.71 | 36.81 | 42.50 | 50.93 | 27.23 | 41.08 | 42.50 | 38.45 |
| Septiembre | 50.50 | 44.03 | 46.59 | 47.89 | 29.58 | 41.95 | 43.70 | 50.19 | 48.94 | 28.66 | 45.29 | 46.29 | 42.69 |
| Octubre | 55.39 | 45.97 | 42.16 | 66.18 | 37.49 | 45.36 | 53.70 | 58.19 | 52.31 | 35.70 | 43.01 | | 47.88 |
| Noviembre | 64.29 | 49.93 | 48.14 | 48.68 | 46.55 | 61.57 | 54.69 | 54.85 | 49.63 | 43.48 | 47.66 | | 51.42 |
| Diciembre | 50.50 | 45.46 | 45.72 | 42.58 | 44.48 | 53.56 | 52.05 | 44.60 | 40.99 | 42.60 | 59.71 | | 47.18 |

Figura N° 4.44: Caudales históricos de las nacientes pertenecientes a la ASADA de San Pedro de Barva (Córdoba, L.F., comunicación personal, 9 de diciembre del 2021).

Por otra parte, el desarrollo de escenarios de cambio climático para Costa Rica ha estado a cargo del IMN, el cual publicó unas proyecciones en el 2012 y más recientemente en el 2021. En la primera publicación se menciona como proyección climatológica que Costa Rica, y en general toda Centroamérica, han sido identificados como los puntos calientes de cambio climático más prominente del área tropical, basándose en la observación de la disminución de las precipitaciones de verano (junio-agosto), situación observada no sólo en los registros históricos sino también en las simulaciones de 20 modelos globales usando diferentes escenarios de emisiones, y en la conclusión del cuarto informe de evaluación para el año 2007 del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), el cual indica que es probable que durante el siglo XXI la precipitación media anual disminuya en la mayor parte de Centroamérica (Giorgi, 2006; Baettig et al., 2007; Chen et al., 2004; Neelin et al., 2006; Trenberth et al. (2007, como se citó en IPCC, 2007) y IPCC,2007).

Específicamente el IMN (2012) utilizó el modelo predictivo llamado Providing Regional Climates for Impact Studie (PRECIS) bajo dos escenarios, el más contaminante (A2) y el menos contaminante (B2). El primer escenario muestra para el periodo 2080 (climatología del 2071-2100), que en la mayor parte de la vertiente del Pacífico, el modelo estima menos precipitaciones que el clima actual simulado, con un porcentaje del 10% para el valle Central y zona norte, mientras que las proyecciones a corto y mediano plazo 2020 (2011-2040) y 2050 (2041-2070) muestran un patrón similar al de largo plazo 2080 pero con porcentajes más bajos, de forma que en las regiones donde el modelo estima menos lluvia, los porcentajes de disminución serían menores al 15% para el periodo 2020 y menores del 35% para el periodo 2050.

En cuanto a variaciones estacionales, el modelo indica que para el valle Central el escenario de disminución de la lluvia estacional es muy homogéneo de una temporada a la otra, aunque con variaciones en la magnitud de los cambios, de forma que el valle Central en la época de verano presentaría una reducción del 10%, mientras que en la temporada invernal sería de un 15% (IMN, 2012).

También, PRECIS difiere de los modelos globales en que la disminución más alta no se produciría en junio, sino en agosto o septiembre, resultado que confirma la hipótesis de mayor intensidad de los veranillos de julio y agosto (Rauscher et al., 2008), aunque el modelo PRECIS tiende a prolongar el veranillo al mes de setiembre, pues es cuando se observa la mayor disminución. Otro cambio significativo que proyecta este modelo para el clima del futuro es con respecto al mes de máxima lluvia mensual, ya que según el mes más lluvioso en el clima de control (1961-1990) se presenta en la segunda parte de la temporada de lluvias (septiembre u octubre), mientras que el clima del 2080 el más lluvioso se registraría en el primer periodo lluvioso (mayo o junio), lo que pone de manifiesto que el mayor impacto del cambio climático en el ciclo anual de las lluvias se produciría en los meses que en la actualidad son los que más aportan a la lluvia anual, setiembre y octubre (IMN, 2012).

En cuanto al escenario de emisiones B2, algunos autores indican que los escenarios en cuanto a lluvias no registran una clara o definida tendencia en la primera mitad del siglo,

pero después hay una tendencia negativa discernible (Economic Commission for Central America and Caribbean [ECLAC], 2011). Específicamente para Costa Rica este escenario disminuye significativamente el área de clima lluvioso en la vertiente del Caribe, pero al mismo tiempo desarrolla algunas zonas más lluviosas en la periferia noroeste y sur del país, lo que pone de manifiesto que PRECIS con el escenario B2 amplía e intensifica un clima más seco para el país que con el escenario A2 de mayores emisiones (IMN, 2012).

En resumen, el IMN (2012) menciona que los resultados del modelo PRECIS muestran que el clima del futuro sería muy similar al que se presenta actualmente cuando hay un fenómeno del Niño, de modo que la vertiente del Pacífico experimentaría un déficit significativo de la lluvia.

Con respecto a las proyecciones de cambio climático regionalizadas para Costa Rica más recientes, IMN (2021b), los nuevos escenarios de cambio climático considerados fueron los recomendados por el IPCC en el año 2014, específicamente los escenarios denominados trayectorias de concentración representativas, RCP 2.6 y RCP 8.5, que representan al de más bajas y altas emisiones de gases de efecto invernadero, respectivamente. Los horizontes de tiempo de las proyecciones fueron de corto plazo (2010-2039), mediano plazo (2040-2069) y largo plazo (2070-2099). Y por continuidad, conveniencia y disponibilidad inmediata se siguió utilizando el modelo predictivo PRECIS.

El escenario RCP 2.6 indica para el horizonte de tiempo de corto plazo una disminución de las precipitaciones de hasta unos 400 mm menos para el valle Central y para el escenario de mediano plazo, una disminución generalizada de las precipitaciones con respecto al periodo anterior. Mientras que el periodo de largo plazo estima igualmente para el valle Central disminución entre 100 y 400 mm menos (IMN, 2021b).

En relación al escenario RCP 8.5, el periodo de corto plazo muestra una disminución entre el 10% y 30% para el valle Central, para el mediano plazo la distribución espacial y las magnitudes de los cambios son muy similares a las de corto plazo manteniéndose el déficit a lo largo de la cordillera Central y para el largo plazo condiciones deficitarias en el valle Central y su cordillera de hasta un 15% (IMN, 2021b). Por otra parte, Méndez et al. (2020), para el valle central mencionan que es de las pocas regiones donde el escenario RCP 4,5 genera niveles de lluvia más bajos que los del RCP 8,5, particularmente en el periodo 2041-2100. Entre diciembre y febrero se registran los porcentajes más bajos de hasta un 20% menos. El periodo de la canícula, fenómeno meteorológico caracterizado por aumento en la temperatura entre los meses de julio y agosto, muestra una disminución del 10% al 15% y no se presentan cambios importantes en el periodo normalmente lluvioso de septiembre a noviembre.

A raíz de lo anterior, Ramírez (2014) señala que esta situación deberá ser tomada en cuenta en el futuro para la determinación de la recarga en los acuíferos y la planificación de los recursos hídricos. Ya que como menciona la Municipalidad de Barva (2019) en su plan de acción por el clima 2019-2030 en esta temática, actualmente no se cuenta con tecnologías aptas para asegurar el abastecimiento en el tiempo, además de la afectaciones que tienen los nacimientos de agua producto de la alteración de las zonas de recarga y la

falta de prevención y atención de eventos hidrometeorológicos extremos, como el ocurrido en el año 2014 por el fenómeno del Niño que provocó desabastecimiento de 4877 familias (La Nación, 2014) y caudales de 0 l/s por ejemplo en la naciente Chagos del acueducto municipal (García, 2016), tal y como les ocurrió a las ASADAS en estudio que tuvieron igualmente los caudales reducidos durante esta crisis hídrica del 2014, evidenciando la baja capacidad de adaptación al cambio climático que tienen las instituciones del cantón en cuanto a la gestión local del agua.

e) Incendios forestales

Se considera que la amenaza por incendios forestales no representa un riesgo para las subcuencas donde se encuentran los acueductos en estudio, por el tipo de climas y vegetación que las caracteriza.

Tal y como se describe en el subcapítulo del clima, la parte sur del área se caracteriza por un clima de meseta central con precipitaciones entre 1000 a 2000 mm, una biotemperatura entre 17 °C a 24 °C y una vegetación tipo bosque húmedo subtropical, poco denso y semidecuido; mientras que la parte norte se caracteriza por un clima seco de altura, el cual presenta precipitaciones entre 1850 a 4000 mm, una biotemperatura entre 12 °C a 17 °C y una vegetación tipo bosque muy húmedo montano bajo, el cual es un bosque siempre verde, denso y con presencia de neblina comúnmente (Solano y Villalobos, 2001).

Estos tipos de climas claramente contrastan con el clima de sequía característico de la región pacífico norte, al poseer precipitaciones menores (1100 - 1500 mm), una biotemperatura mayor (24 °C – 24,5 °C) y una vegetación tipo bosque seco tropical, con la mayoría de sus especies deciduas (Solano y Villalobos, 2001), en la cual los incendios forestales si representan un gran riesgo para los acueductos de la zona según la información del sistema SAGA integrada en la metodología GIRA, y que se debe precisamente a las características del clima imperante en la región.

Sin embargo, los incendios causados por el hombre si representan una amenaza para los dos acueductos, ya que tal y como lo indica el ingeniero forestal de la ASADA San José de la Montaña, Ignacio Sanabria Montero (comunicación personal, 25 de marzo del 2022) y el administrador de la ASADA de San Pedro, Luis Fabián Córdoba Rojas (comunicación personal, 29 de abril del 2022), en el caso del primer acueducto, las nacientes José Maclovio y Minas limitan con una finca que produce madera para exportación, al igual que las nacientes de San Pedro, por lo que mencionan que si existe una amenaza en este sentido por el uso de suelo en las fincas cercanas a sus fuentes, aunque nunca ha ocurrido un evento como tal.

B. Amenazas Antrópicas

a) Derrame de sustancias tóxicas

Como anteriormente se describió, hidrogeológicamente las nacientes que abastecen los acueductos en estudio se encuentran dentro del acuífero Barva (miembro Bermúdez), cubierto por el miembro Porrosatí. Desde un punto de vista a la contaminación,

BGS-SENARA (1985) fueron los primeros en indicar que el acuífero Barva en general presenta una mayor susceptibilidad a la contaminación, mientras que Arredondo (2011) indica que el acuífero Bambinos, igualmente perteneciente al acuífero Barva, es muy vulnerable ya que su recarga es directa de lluvia.

Primeramente, en cuanto a la vulnerabilidad a la contaminación, Arredondo (2011) a través del método GOD, indica que el acuífero Bambinos con cobertura del miembro Porrosatí, presenta un valor de 0,7 con respecto a los estratos sobreyacentes, ya que esta cobertura puede permitir la percolación de contaminantes de forma más rápida que una toba consolidada o meteorizada, el valor de confinamiento es de 0,7 ya que el miembro Porrosatí presenta una estructura física más gruesa por su contenido de piroclastos de mayor granulometría y un valor de 0,7 igualmente para la profundidad del nivel freático ya que los valores reportados de niveles en pozos son en promedio de 35 a 40 m, lo que resulta en un valor de 0,34 correspondiente a una vulnerabilidad moderada.

Luego, el Laboratorio de Hidrología Ambiental (2014) al igual que el autor anterior utiliza el método GOD para calcular el índice de vulnerabilidad a la contaminación para el acuífero Bambinos, sin embargo, utiliza valores más conservadores, ya que le asigna un valor de 0,8 para el sustrato suprayacente al considerar en los terrenos con presencia de manantiales lavas en superficie cubiertas o englobadas en arcillas, contrario al autor anterior que toma en cuenta la cobertura del miembro Porrosatí, un valor de 0,9 para el confinamiento hidráulico al considerar que la cobertura es mínima sobre las lavas recientes y un valor de 0,9 con respecto a la profundidad del nivel freático al considerar que esta es menor a 5 m en la zona cercana a nacientes, por lo que el resultado obtenido es de 0,648 correspondiente a una vulnerabilidad alta.

Seguidamente, con respecto a la carga contaminante, Madrigal et al. (2014) realizaron un mapa en esta temática en los cantones de Santa Bárbara, Barva y San Rafael, como insumo para la generación de un mapa de riesgo a la contaminación para el acuífero Barva, ver figura N° 4.45. La metodología empleada por los autores fue el método POSH (Foster et al., 2002), el cual toma en cuenta fuentes potenciales puntuales, difusas y lineales, y las clasifica en cuatro tipos de amenaza: nula, reducida, moderada y elevada.

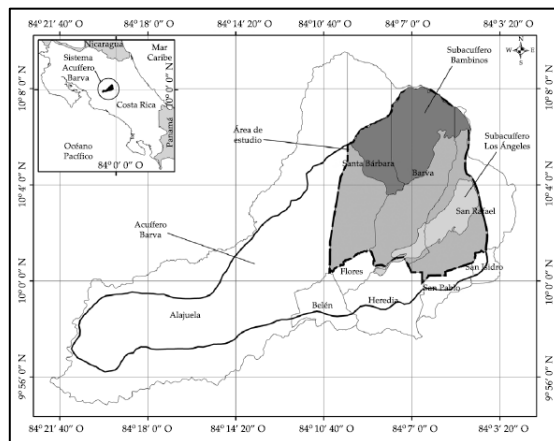


Figura N° 4.45: Delimitación del área de estudio por Madrigal et al. (2014).

Entre las fuentes puntuales, Madrigal et al. (2014) consideraron viveros, fábricas de alimentos, cementerios y ebanisterías como potencial reducido; centros de belleza, lavandería, viveros, reparación de electrodomésticos, lavado de autos y gasolineras como potencial moderado y las lecherías, porciculturas, talleres de enderezado y pintura y beneficios de café como potencial elevado, de modo que la información del nombre, dirección y tipo de actividad para cada una de las fuentes la obtuvieron a partir de los registros de patentes, permisos de funcionamiento otorgados por el Ministerio de Salud, información del Servicio Nacional de Salud Animal (SENASA) y del MINAE, visualización de imágenes satelitales mediante el software Google Earth y seis campañas de campo.

Dentro de los resultados, se indica que las fuentes con potencial elevado, los talleres mecánicos, de enderezado y pintura, lubricentros y otros talleres equivaldrían a un 42% de la totalidad de las actividades analizadas; de las fuentes con potencial moderado, las lecherías, chancheras, establos y actividades avícolas representaron casi la mitad, mientras que los centros de belleza cerca del 43%, mientras que las ebanisterías con potencial reducido componen cerca del 10% de todas las fuentes puntuales sobre el área de estudio (Madrigal et al., 2014).

Específicamente, en relación con las ASADAS en estudio, en la figura N° 4.46 se observa que en general para ambas, las nacientes se encuentran rodeadas de actividades puntuales de potencial moderado y elevado, posiblemente relacionadas a las lecherías, establos y actividades avícolas que se encuentran cercanas a las fuentes de abastecimiento.

Mientras que, con respecto al acueducto en general, se puede observar que en la mayoría de los sectores de la ASADA de San José de La Montaña predominan las actividades de potencial moderado, mientras que, hacia la parte más al sur de la ASADA de San Pedro de Barva, hay tanto actividades de potencial elevado como moderado, posiblemente por estar esta zona altamente urbanizada, ver figuras N° 3.12 y 3.13, y porque tanto el distrito de San Pedro como la subcuenca del río Porrosatí, donde se encuentra este acueducto, se caracterizan por tener un amplio porcentaje de uso de suelo con cultivos de café o beneficios, ver tablas N° 3.4 y 3.5.

En cuanto a las fuentes difusas, Madrigal et al. (2014) utilizaron el uso de suelo (MIVAH, 2008), reclasificando cinco coberturas: bosque, pastos, cultivos mixtos, café y asentamientos humanos. El cultivo de café se consideró con potencial moderado, por ser un cultivo que necesita agroquímicos en menor intensidad que los cultivos anuales y debido a que ningún distrito en la zona contó con una densidad poblacional superior a 100 personas por hectárea, el saneamiento in situ se consideró como moderado. Los resultados mostraron que para el año 2008, cerca de un 40% del territorio estudiado por los autores estuvo cubierto por cultivos de café y asentamientos humanos, ambos con potencial moderado, una quinta parte, por pastos con potencial reducido, y en menor proporción, cultivos mixtos con potencial elevado. Además, las actividades con potencial reducido se localizaron principalmente en la parte alta y media, mientras que las actividades difusas con potenciales moderados y elevados se ubican en la parte media y baja de la zona de estudio, ver figura N° 4.47.

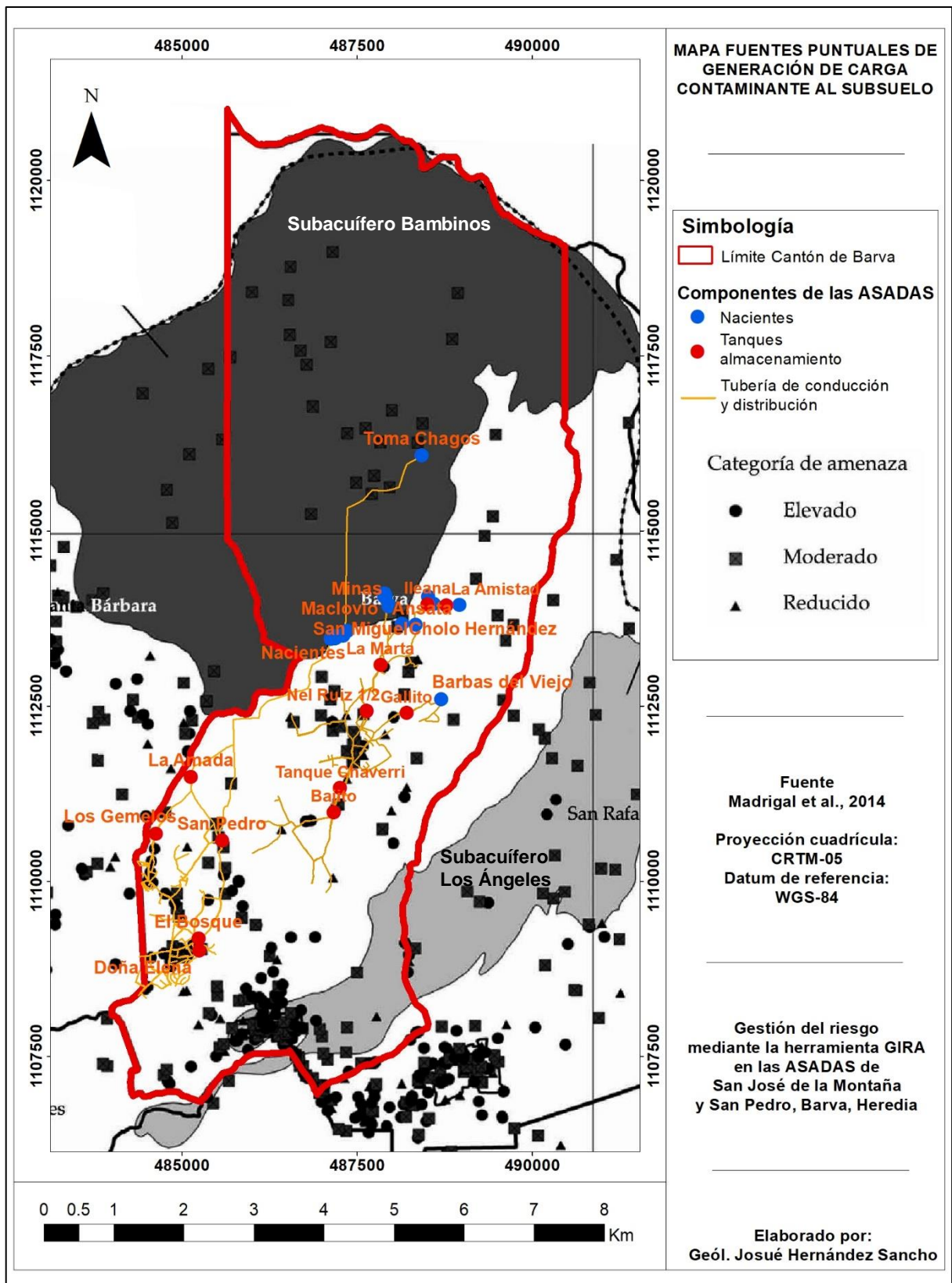


Figura N° 4.46: Mapa, fuentes puntuales de generación de carga contaminante al subsuelo (tomado de Madrigal et al., 2014).

Sin embargo, la situación encontrada por Madrigal et al. (2014) en el 2008 no es muy distinta a la actual, en el mapa de uso actual del suelo, figura N° 4.48, se observa cómo las nacientes de ambas ASADAS se encuentran en una zona alta a media y su uso de suelo continúa siendo pastos con árboles dispersos, catalogado como de potencial reducido, mientras que, de igual forma, hacia las partes medias y bajas, se observa el uso de suelo urbano y de cultivos de café de potencial moderado, que para la cuenca del río Porrosatí en conjunto representan un 42,55 % y para la cuenca del río Mancarrón un 40,23 %, ver tablas N° 3.4 y 3.5, por lo que al igual que el resultado obtenido por Madrigal et al. (2014), actualmente las ASADAS presentan un potencial reducido en las cercanías a las nacientes, parte alta y media, y moderado a elevado en el resto del acueducto, parte media y baja.

Por último, Madrigal et al. (2014) clasificaron los cauces de los ríos de acuerdo con la presencia o ausencia de fuentes potenciales de contaminación puntual o difusa a su alrededor, con potencial reducido los tramos que cursaron terrenos con bosque o bajo cobertura de pastos, moderado si hubo presencia de fuentes potenciales clasificadas como moderadas y elevado cuando el río se ubicaba cerca de una fuente elevada, asumiendo además que la calidad del agua disminuía conforme el río atravesaba zonas con fuentes potenciales de contaminación moderada y elevadas; los resultados mostraron que de los 217 km lineales de ríos y quebradas, cerca de 37% se clasificó con potencial elevado de generación de carga contaminante, 31% con moderado, 27% reducido y 5% con potencial nulo.

Como se puede observar en la figura N° 4.49, la totalidad de las nacientes de la ASADA de San Pedro de Barva y las nacientes José Maclovio y Minas de la ASADA de San José de la Montaña se encuentran en el cauce de la quebrada Naborí, la cual se clasifica de potencial moderado, las nacientes Anabel y Ansata se encuentran cerca de una quebrada afluente al río Porrosatí, así como Barbas del Viejo cerca de la quebrada Macarroncito, catalogadas igualmente de potencial moderado, y las nacientes San Miguel y Cholo Hernández cerca de una quebrada afluente al río Porrosatí catalogada como de potencial reducido.

Cabe mencionar que, según el ingeniero forestal de la ASADA San José de la Montaña, Ignacio Sanabria Montero (comunicación personal, 25 de marzo del 2022), la quebrada Naborí si se encuentra amenazada por residuos líquidos y sólidos aguas arriba de las nacientes, provenientes de granjas avícolas y complejos turísticos, y que ya se han presentado incidentes que han requerido limpieza del cauce, por lo que este contexto si sería de interés para ambas ASADAS, al ubicarse fuentes de abastecimiento importantes cercanas al cauce de esta quebrada.

Con respecto al acueducto en general, en la ASADA de San José de la Montaña, en la parte norte cruza el río Zanjón el cual es de potencial elevado y luego continúa el río Mancarrón al este con un potencial moderado. En cambio, en la ASADA de San Pedro de Barva, al norte cruza el río Porrosatí y la quebrada Naborí con potencial moderado, sin embargo, hacia el suroeste, el río Porrosatí, el río Zanjón, la quebrada Amanda y hacia el sureste la quebrada Salas presentan un potencial elevado (figura N° 4.49).

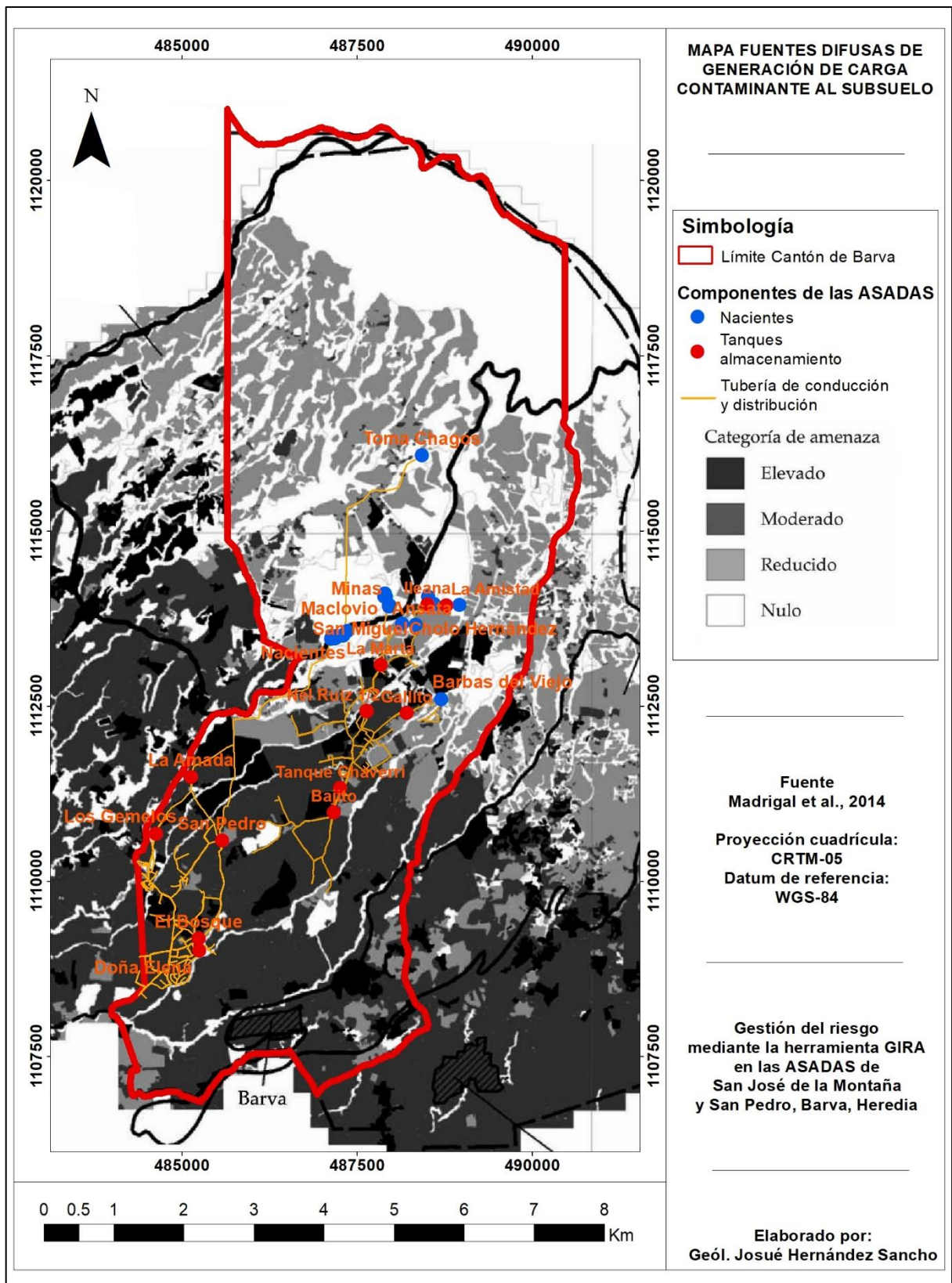


Figura N° 4.47: Mapa, fuentes difusas de generación de carga contaminante al subsuelo (tomado de Madrigal et al., 2014).

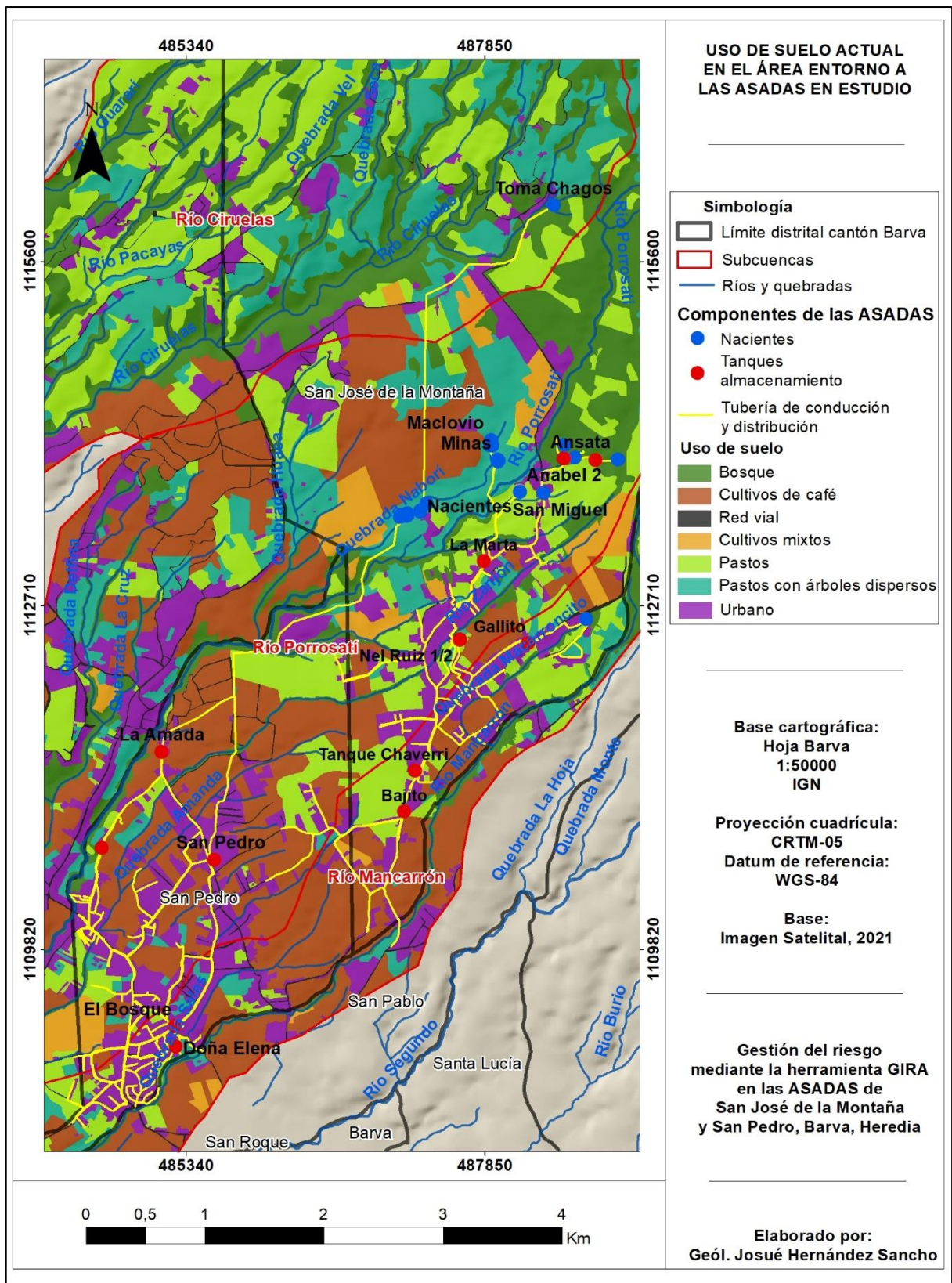


Figura N° 4.48: Uso de suelo actual en el área entorno a las ASADAS en estudio (elaboración propia).

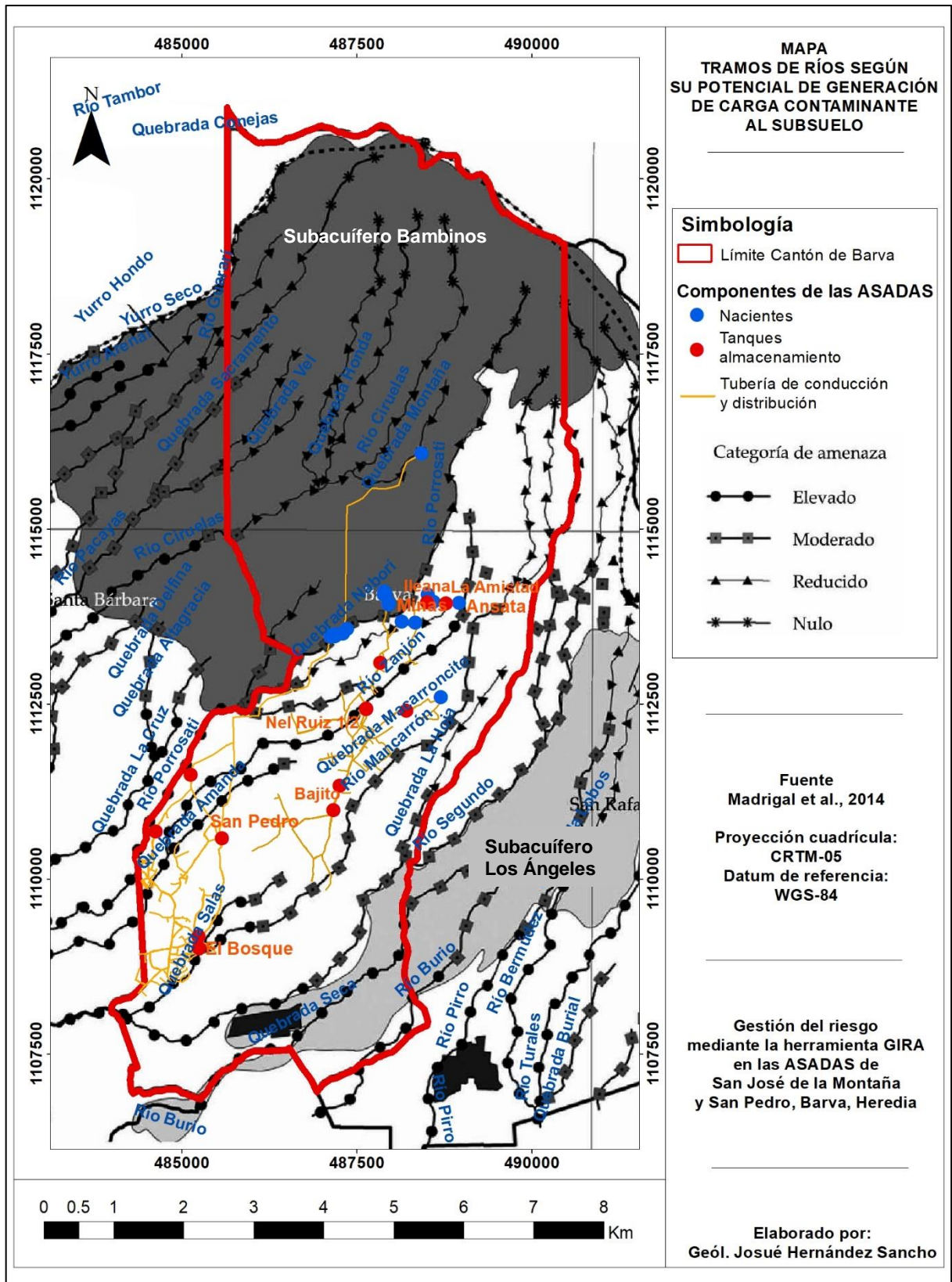


Figura N° 4.49: Mapa, tramos de ríos según su potencial de generación de carga contaminante al subsuelo (tomado de Madrigal et al., 2014).

Finalmente, Madrigal et al., (2014) después de dividir el territorio en 2103 celdas de 250 x 250 m y de asignar a cada una el valor máximo de potencial de carga contaminante, según el valor asignado a las fuentes en esa celda, un 45% se encontró bajo al menos una actividad con potencial de carga contaminante elevado, un 32 % con potencial moderado, un 14% con potencial reducido y un 9% con potencial nulo.

Como se observa en la figura N° 4.51, ambas ASADAS se encuentran dentro de la categoría de amenaza a la contaminación mayormente elevada, estando las nacientes en un sector de amenaza moderada, justo debajo del límite en donde hacia el sector norte se presenta una categoría de amenaza mayormente reducida, relacionada a la mayor presencia de pastos y nula en los parches de bosques, existiendo una amenaza totalmente nula en el área protegida, sector volcán Barva, Parque Nacional Braulio Carrillo.

Ahora bien, si consideramos una amenaza a la contaminación elevada por parte de Madrigal et al. (2014) en la mayor parte del acueducto y una amenaza a la contaminación moderada en el sector donde se ubican las nacientes, y una vulnerabilidad a la contaminación alta por parte del Laboratorio de Hidrología Ambiental (2014), que si bien es información del miembro Bambinos, se puede utilizar de manera homóloga para el acuífero Bermúdez, ya que esta se enfoca más en el área cercana a las nacientes y el contexto más conservador, se puede inferir a raíz de los resultados de los estudios anteriores un riesgo a la contaminación moderado a alto.

En respuesta del contexto anteriormente descrito, las ASADAS en estudio ya han tomado acciones en la materia. La ASADA de San José de la Montaña ha ido cambiando de tubería PVC a polietileno, como por ejemplo los pasos elevados sobre el río Zanjón y afluente, ver figura N° 4.40, y la ASADA de San Pedro, que, en el mes de febrero del 2022, cambió de posición la línea de conducción, al trasladarla de entre los cultivos al camino de la finca, así como de cambiar de PVC a polietileno en el sector de la empresa Plantex en Puente Salas, ya que la tubería entre los cultivos presentaba varios trastos expuestos, ver figura N° 4.50, lo que la hacía altamente susceptible a la contaminación por estar expuesta a los agroquímicos utilizados y porque este uso de suelo, según Madrigal et al. (2014), se clasifica como moderado a la contaminación.



Figura N° 4.50: A) Cambio de tubería PVC a Polietileno. B) Tubería inhabilitada, la cual presentaba trastos expuestos en medio de los cultivos. (Foto: Hernández, 2 de febrero del 2022).

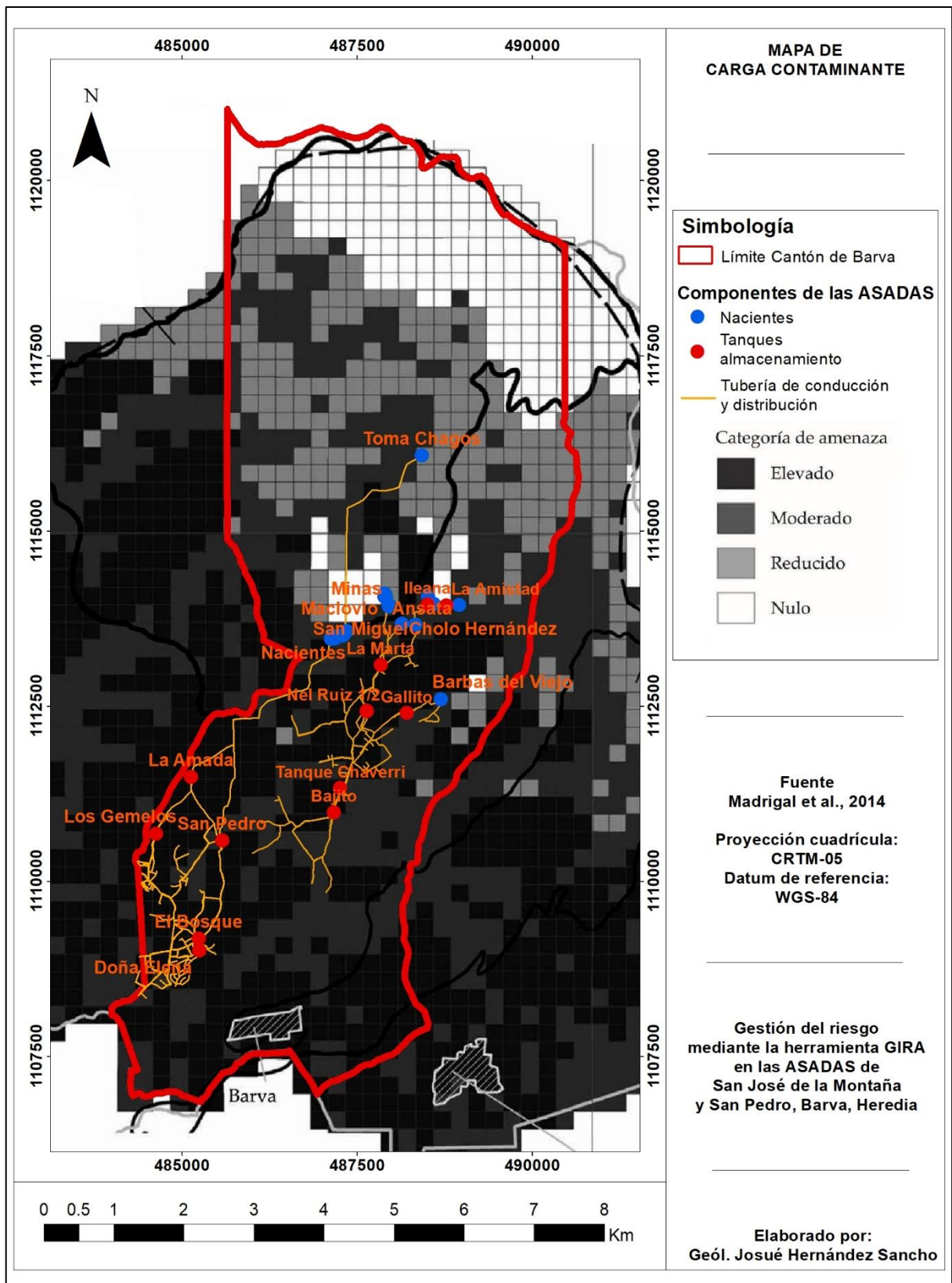


Figura N° 4.51: Mapa de carga contaminante (tomado de Madrigal et al., 2014).

b) Rotura de tuberías

Según el subcapítulo de caracterización de cada una de las ASADAS, tomando en cuenta tanto la tubería de conducción como de distribución, aproximadamente el 90 % es de material PVC, un 5 % de hierro galvanizado y un 5 % o menos de polietileno, porcentaje que se proyecta aumente ya que se está haciendo la transición de PVC y principalmente de hierro galvanizado a este material. Sin embargo, al ser la mayor parte tubería PVC, material vulnerable a fracturas debido a fuerzas externas naturales como los deslizamientos o caídas de árboles, así como antrópicas, las causas de rotura relacionadas al factor humano incrementan en los sectores donde la tubería se encuentra expuesta a lo largo de su trayecto en fincas o borde de calles.

En este sentido, la ASADA San Pedro de Barva presenta 19 puntos expuestos a lo largo del trayecto de la tubería de conducción, de los cuales los primeros 10 corresponden a la tubería de conducción desde la toma de la naciente Chagos, su ubicación se describe en la tabla N° 4.23 y en las figuras N° 4.52 y 4.53.

Los puntos B, C, D y E corresponden con tramos expuestos de la tubería de conducción que se extiende a la orilla de la Ruta 114, que comunica Paso Llano con Birrí, los cuales serían los más susceptibles a sufrir rotura por factores humanos debido a su localización. Otro punto importante de mencionar es el F, ubicado en la finca de Milena, ya que la tubería se encuentra expuesta y sumergida en agua estancada, posiblemente de escorrentía, pero que en caso de infiltración a la tubería por fuga podría ser un problema.

En cuanto a los demás, si bien se encuentran tramos de tubería expuesta, esta se extiende en los caminos dentro de la finca Steinvoth bajo régimen forestal o en fincas privadas, en caminos con cobertura vegetal y señalización de paso de tubería de acueducto, exclusivos para el tránsito del personal de la ASADA, aunque sí son susceptibles a rotura por causas naturales como caída de árboles o inclusive presencia de ganado.

En cuanto al punto O, ubicado en un camino privado perteneciente a la empresa dedicada al cultivo de hortalizas en Puente Salas (Plantex), este se encontraba en un alto riesgo debido a la inestabilidad del puente por el que se extendía la tubería, sin embargo, este fue modificado a un paso elevado con anclajes, haciéndolo más resistente ante un posible impacto.

Con respecto a la ASADA de San José de la Montaña, durante el recorrido de la tubería de conducción y distribución, solamente se ubicaron 3 puntos expuestos en la tubería de distribución, el primero a un costado del puente sobre el río Zanjón, en la ruta nacional 114, el cual al igual que los de San Pedro es el más susceptible a sufrir una rotura por causa del hombre, el segundo en la calle de acceso al tanque Chaverrí, la cual es una servidumbre de acceso a la finca, igualmente al costado de un pequeño puente sobre el alcantarillado de aguas servidas; este al encontrarse en terreno de acceso restringido presenta una vulnerabilidad menor al primero, sin embargo, al encontrarse expuesto a aguas servidas, tal y como se observa en la figura N° 4.54-B.1, en la que el tubo de salida

de estas está sobre la tubería de distribución e ingreso al tanque, lo convierte en un punto susceptible a contaminación por rotura y el tercero se encuentra en el sector de abastecimiento Espinos, al costado de un puente sobre una quebrada intermitente, que de igual forma queda susceptible a rotura por causas antrópicas.

Tabla N° 4.23. Coordenadas geográficas (CRTM-05) de los trectos de tubería de conducción y distribución expuesta en la ASADA San Pedro de Barva.

| Tracto de tubería expuesta | X | Y | Tracto de tubería expuesta | X | Y |
|--------------------------------|--------|---------|--|--------|---------|
| Punto A-Naciente Chagos | 488170 | 1115961 | Punto K-Tubería de conducción | 486814 | 1113019 |
| Punto B-Ruta 114 | 488181 | 1115884 | Punto L-Finca ganadera | 486603 | 1112723 |
| Punto C-Ruta 114 | 487584 | 1115443 | Punto M-Campamento Roblealto | 486350 | 1112632 |
| Punto D-Ruta 114 | 487571 | 1115400 | Punto N-Campamento Roblealto | 486124 | 1112507 |
| Punto E-Ruta 114 | 487476 | 1115343 | Punto Ñ-Campamento Roblealto | 486049 | 1112342 |
| Punto F-Finca Milena | 487318 | 1115089 | Punto O- Puente Plantex | 485765 | 1111505 |
| Punto G-Finca Milena | 487294 | 1114891 | Punto P- Cultivos Plantex | 485726 | 1111442 |
| Punto H-Finca régimen forestal | 487188 | 1114195 | Punto Q- Cultivos Plantex, cerca quebrada Amanda | 485694 | 1111295 |
| Punto I-Finca régimen forestal | 487251 | 1113735 | Punto R-Puente Salas, calle a Tanque Vega | 485669 | 1111104 |
| Punto J-Finca régimen forestal | 487226 | 1113513 | | | |



Figura N° 4.52: Zonas de tubería de conducción y distribución expuesta, ASADA San Pedro de Barva. (Foto: Hernández, 2 de diciembre del 2021).



Figura N° 4.53: Zonas de tubería de conducción y distribución expuesta, ASADA San Pedro de Barva. (Foto K-P: Hernández, 2 de diciembre del 2021; Foto Q-R: 2 de febrero del 2022).



Figura N° 4.54: Tubería de distribución expuesta, ASADA San José de la Montaña. A) sobre ruta 114 (487353 E / 1112186 N). B) calle de acceso al tanque Chaverrí (487282 E / 1111303 N). C) sobre ruta cantonal (486636 E / 1110782 N). (Foto A-B: Hernández, 21 de diciembre del 2021; Foto C: 4 de abril del 2022).

c) Interrupción de energía

Según (Gamboa, R., comunicación personal, 5 de noviembre del 2021), para la ASADA de San José de la Montaña no aplica esta amenaza, ya que ningún componente del acueducto depende de la energía eléctrica para su funcionamiento.

Con respecto a la ASADA San Pedro de Barva (Córdoba, L.F., comunicación personal, 11 de noviembre del 2021), indica que el único componente que se puede ver afectado por esta amenaza antrópica es el funcionamiento del pozo Doña Elena, ya que la bomba depende del suministro eléctrico, sin embargo, como medida preventiva la ASADA instaló un bypass en el tanque San Pedro, de forma que, ante la ausencia de energía eléctrica, este dispositivo se activa para suministrar de forma continua agua potable a la Urbanización Doña Elena.

d) Pruebas de control de calidad alteradas

Ambas ASADAS cuentan con el sello de calidad sanitaria, lo cual se puede corroborar mediante los estudios: Informe final de las labores realizadas por la ASADA San

José de la Montaña para el programa Sello de Calidad Sanitaria periodo 2020 (Sanabria, 2021) y Sello de calidad sanitaria, periodo 2020 (ASADA San Pedro de Barva, 2020). Lo que implica que ambas ASADAS cumplen con el control operativo según Decreto Número 38924-S-1-9-201 y comunican los resultados obtenidos a sus asociados mediante los medios de comunicación oficiales.

Un ejemplo de ello, es la medición de cloro residual en el sistema, la ASADA de San José de la Montaña realiza esta medida los días lunes, miércoles y viernes de cada semana en el centro escolar de la comunidad con su respectiva bitácora. Por su parte, la ASADA de San Pedro de Barva realiza esta medición a primera hora del día en horario de 5:00 a.m. a 6:00 a.m. en cuatro puntos: Tanque Amada, Tanque San Pedro, Tanque Doña Elena y el EBAIS, el resultado es reportado en el chat del acueducto y se ingresa en el reporte de Excel. De forma que, ambos acueductos logran mantener los valores dentro de los parámetros de la norma.

e) Desarrollo urbano no planificado

En el subcapítulo, uso de suelo, se observó que tanto en los distritos de San José de la Montaña y principalmente San Pedro, así como en las subcuencas del río Porrosatí y Mancarrón, donde se encuentran los acueductos en estudio, hubo un incremento en el uso de suelo urbano entre el año 2008, según el proyecto de actualización cartográfica de usos de la tierra a escala 1: 10 000 en la GAM, el cual clasificó los usos en bosque, cultivos de café, cultivos mixtos, pastos, pastos con árboles dispersos, urbano, áreas de transición a uso urbano y red vial (MIVAH, 2008), y el año 2021, utilizando las mismas clasificaciones a partir de la imagen de mapa base de ESRI: Add Basemap Imagery (2021).

Con respecto a los distritos, San José de la Montaña en el año 2008 presentaba un uso de suelo urbano de 2 323 709,04 m², mientras que, en el año 2021, el área fue de 2 423 814, 18 m², lo que representó un aumento de 100 105,14 m². El distrito de San Pedro en el año 2008 presentaba un área de uso urbano de 1 737 081, 96 m², y en el año 2021 un área de 2 037 528,56 m², lo que representó un aumento de 300 446,6 m². En términos de porcentaje, ver tablas N° 3.2 y 3.4, el uso urbano en el distrito de San José de la Montaña para el año 2008 representaba un 6,34 % mientras que para el año 2021 6,61 % y en el distrito de San Pedro para el año 2008 era un porcentaje de 23,90 % y en el año 2021 28,03 %.

En cuanto a las subcuencas, la del río Porrosatí en el año 2008 presenta un área de 3 300 409,87 m², mientras que en el año 2021 el área fue de 3 599 042,69 m², resultando en un aumento de 298 632,82 m². Por su parte, la subcuenca del río Mancarrón en el año 2008 presentaba un área de 1 379 883,95 m² y en el año 2021 un área de 1 610 634,75 m², lo que equivalió a un aumento de 230 750,8 m². Igualmente, en términos de porcentaje, ver tablas N° 3.3 y 3.5, para la subcuenca del río Porrosatí el uso urbano representaba en el año 2008 un valor de 14,58 % mientras que en el año 2021 15,9 % y en el caso de la subcuenca del río Mancarrón, el uso urbano representaba un valor de 12,82 % y en el año 2021 14,96 %.

Este aumento en el uso urbano, según Ramírez (2007,2014) puede traer grandes consecuencias, tales como: impermeabilización o infiltración de contaminantes en el área de recarga en áreas construidas (urbanizaciones), así como áreas comerciales e industriales; que a su vez sus diferentes usos pueden sobreexplotar o depositar contaminantes al suelo, que posteriormente llegan al acuífero y lo contaminan, afectando la cantidad y calidad de las aguas subterráneas.

Con respecto a los componentes de los acueductos en estudio y su entorno, en específico las nacientes y sus zonas de protección, para el caso de San José de la Montaña determinadas por Arias (2012b) mediante el criterio del tiempo de tránsito que un contaminante tarda en llegar al manantial, en conjunto con el método hidrogeomorfológico, el cambio en el uso de suelo entre el 2008 y 2021 según el análisis realizado en esta práctica dirigida, se puede observar en la figura N° 4.55 y el anexo 9.2. En el caso de la naciente Anabel 2, esta pasó de un uso en su totalidad de bosque en el 2008 a una pérdida de este por pastos en el 2021.

El área de protección de las nacientes San Miguel y Ansata no presentó cambios en el uso de suelo, para la primera el uso mayoritario corresponde con pastos, y la segunda bosque, aunque la primera naciente continúa manteniendo un área de uso urbano cercana a la naciente aguas arriba.

Para el caso de las nacientes Minas, estas no presentaron uso de suelo urbano en ambos periodos y solamente ocurrió un detrimento del cultivo del café en favor del uso de pastos con árboles dispersos. Para la naciente Cholo Hernández, ocurrió pérdida en el área de los usos bosque en pequeña proporción y desapareció el cultivo del café, para dar lugar a un aumento en los usos pastos y pastos con árboles dispersos, mientras que el uso urbano sigue en la misma proporción, aunque cercano a la naciente aguas arriba. En cuanto a las nacientes José Maclovio, estas presentan la misma proporción de bosque, disminuyó el cultivo de café y aumentó el uso de suelo correspondientes a cultivos, el cual para el 2008 no presentaba cobertura, pastos con árboles dispersos, el cual es el uso mayoritario, y el uso urbano.

Por último, el área de protección de la naciente Barbas de Viejo mantuvo el uso de pastos con árboles dispersos, presentó una disminución en bosques y cultivos de café y aumentó en pastos, uso mayoritario, cultivos, y uso urbano. Siendo esta naciente la que presentó el mayor aumento con respecto al uso urbano, ya que pasó de 3256 m² a 9069 m², aumentando 5813 m².

Un ejemplo de la afectación que puede provocar la presencia de uso urbano aguas arriba de las nacientes ocurrió en la naciente San Miguel, en la cual según comenta el ingeniero forestal, Ignacio Sanabria Montero (comunicación personal, 25 de marzo del 2022), ocurrió un aumento en la naciente de coliformes fecales producto de la ocupación de una casa aguas arriba, convirtiéndose lo anterior en una amenaza de alto impacto, ya que esta fuente es la que alimenta gran parte del sistema San Miguel.

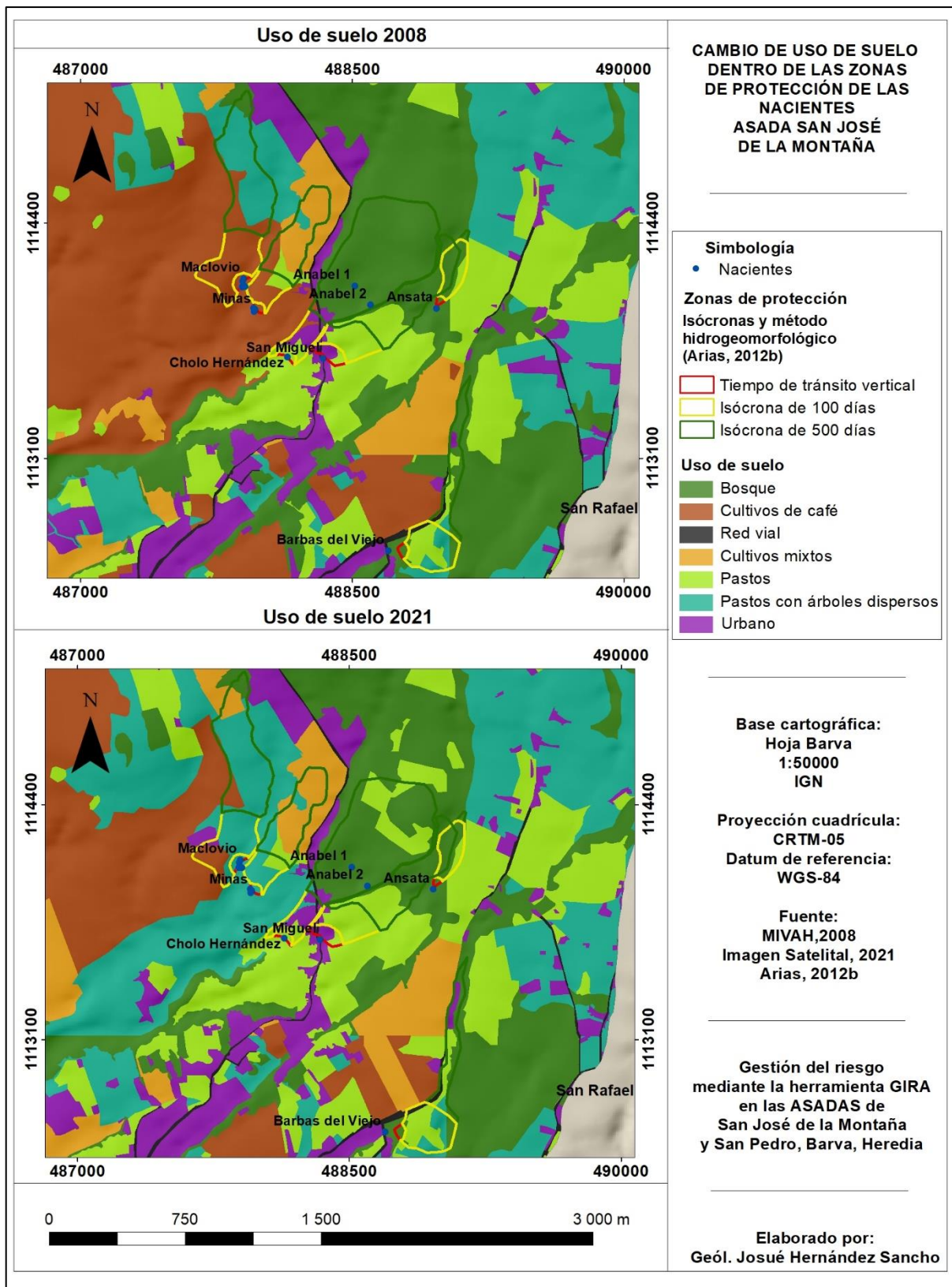


Figura N° 4.55: Cambio de uso de suelo dentro de las zonas de protección de las nacientes de la ASADA San José de la Montaña (elaboración propia).

En cuanto al área correspondiente a la zona de protección de las nacientes de la ASADA San Pedro, determinadas mediante un radio fijo de 200 m, según el artículo 31 de la Ley de Aguas N° 276, al no existir un estudio hidrogeológico que las detalle, entre el año 2008 y 2021 hubo cambios positivos en el uso de suelo, ya que como se observa en la figura N° 4.56 y el anexo 9.2, en cuanto a cultivos mixtos y cultivo de café, este último aguas arriba de las nacientes, ocurrió una transformación a pastos y principalmente a pastos con árboles dispersos, uso que pasó del 2008 no contabilizando área a ser el mayor uso en el 2021, aguas arriba de las nacientes.

No obstante, este aumento a pastos con árboles dispersos no es del todo positivo, ya que, parte del mismo pertenece a una finca dedicada a la exportación de madera, por lo que en sí el uso no es para la protección de las fuentes de abastecimiento, sino para fines comerciales, por lo que, en caso de talar estos sectores, lo anterior se convertiría en deforestación puntual aguas arriba de las nacientes, que podría terminar afectando su producción y calidad. Por otra parte, aunque también ocurrió un aumento en el uso urbano, este se dio aguas abajo de las nacientes, hacia el borde del radio de protección, representando un peligro menor.

Luego, con respecto a la naciente Chagos, la zona de protección de 200 m de radio igualmente, no presentó cambio alguno en el uso de suelo entre los dos periodos, sin embargo, aunque la naciente se encuentra en medio de una zona boscosa, es de especial cuidado la franja de zona urbana que se encuentra aguas arriba, ver figura N° 4.57.

Por el contrario, el mayor aumento de uso urbano se ha dado en las partes medias y bajas, y si representa una amenaza para los acueductos, ya que como se observa en las figuras N° 4.1 y 4.3 correspondientes a los mapas ilustrativos de los componentes del sistema y su entorno, que brinda la herramienta GIRA en el subcapítulo de caracterización de las ASADAS, se detecta un riesgo bajo en los sectores donde la tubería de conducción y distribución, debido a fugas, se pueda convertir en una entrada de sustancias contaminantes al encontrarse cerca de tanques sépticos o descargas de aguas servidas a orillas de calle en áreas urbanas, así como de actividades agropecuarias.

La ASADA de San Pedro tiene un tracto de tubería de conducción de especial atención respecto a la amenaza descrita anteriormente, específicamente en el tracto de tubería que se encuentra entre el paso elevado en la quebrada Amanda y la calle que comunica la tubería con el tanque San Pedro y Vega, en puente Salas, ya que pasa dentro de los terrenos y por lo tanto muy cerca de casas de habitación en el sector, ver figura N° 4.58. De forma que ya se han presentado problemas de ruptura por actividades constructivas sin el debido permiso municipal.

A nivel cantonal, como respuesta a este tipo de amenaza, la Municipalidad de Barva (2019) para contrarrestar la posible contaminación por tanques sépticos, mediante un acuerdo municipal del año 2010, exige en los lineamientos de construcción utilizar tanque séptico de dos fases, garantizando que el subsuelo esté libre de coliformes fecales por encima del 85%, especialmente en la zona Especial de Protección de Agua, en el Plan Regulador del cantón, aunque está pendiente su aprobación.

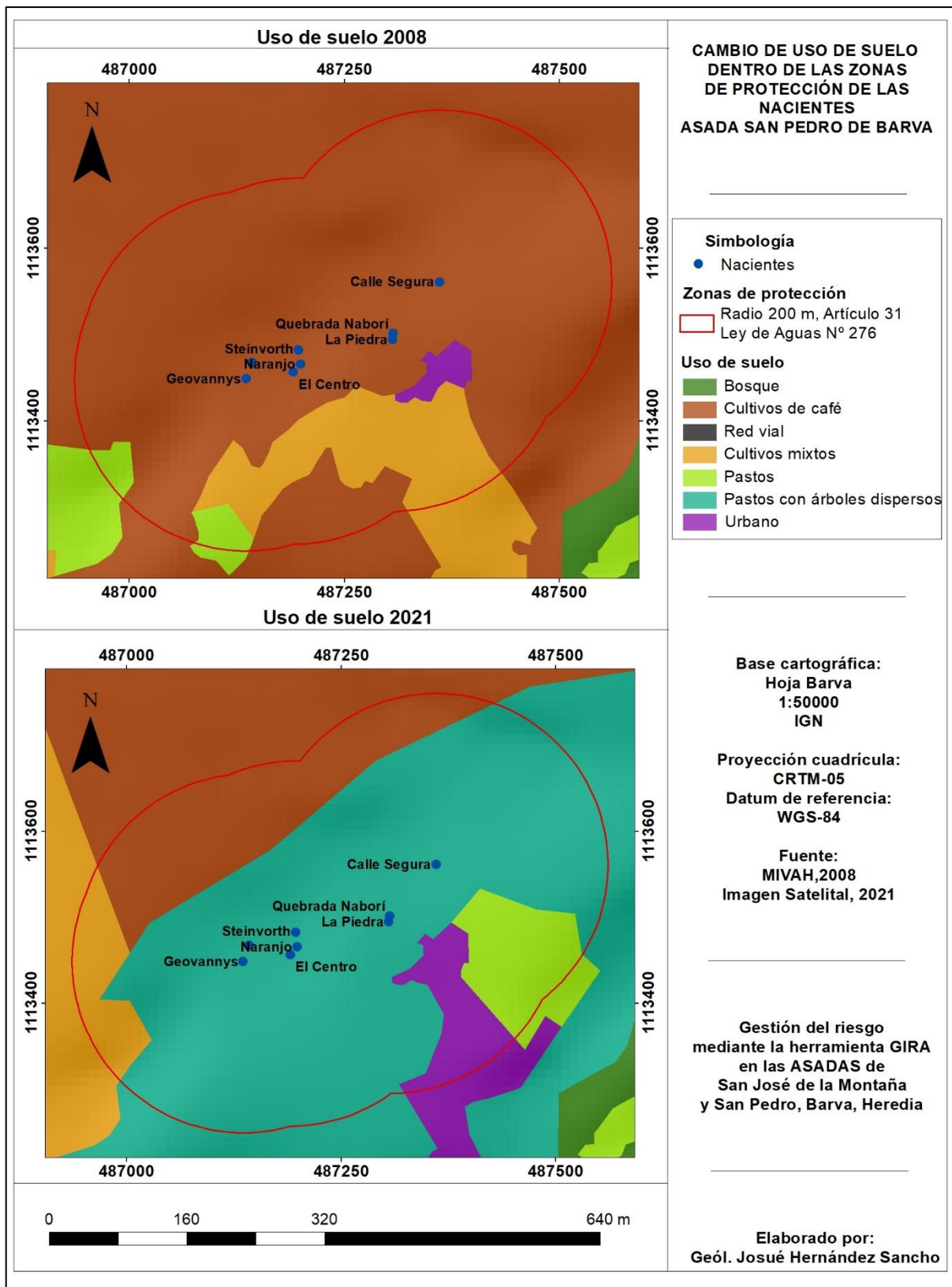


Figura N° 4.56: Cambio de uso de suelo dentro de las zonas de protección de las nacientes de la ASADA San Pedro de Barva (elaboración propia).

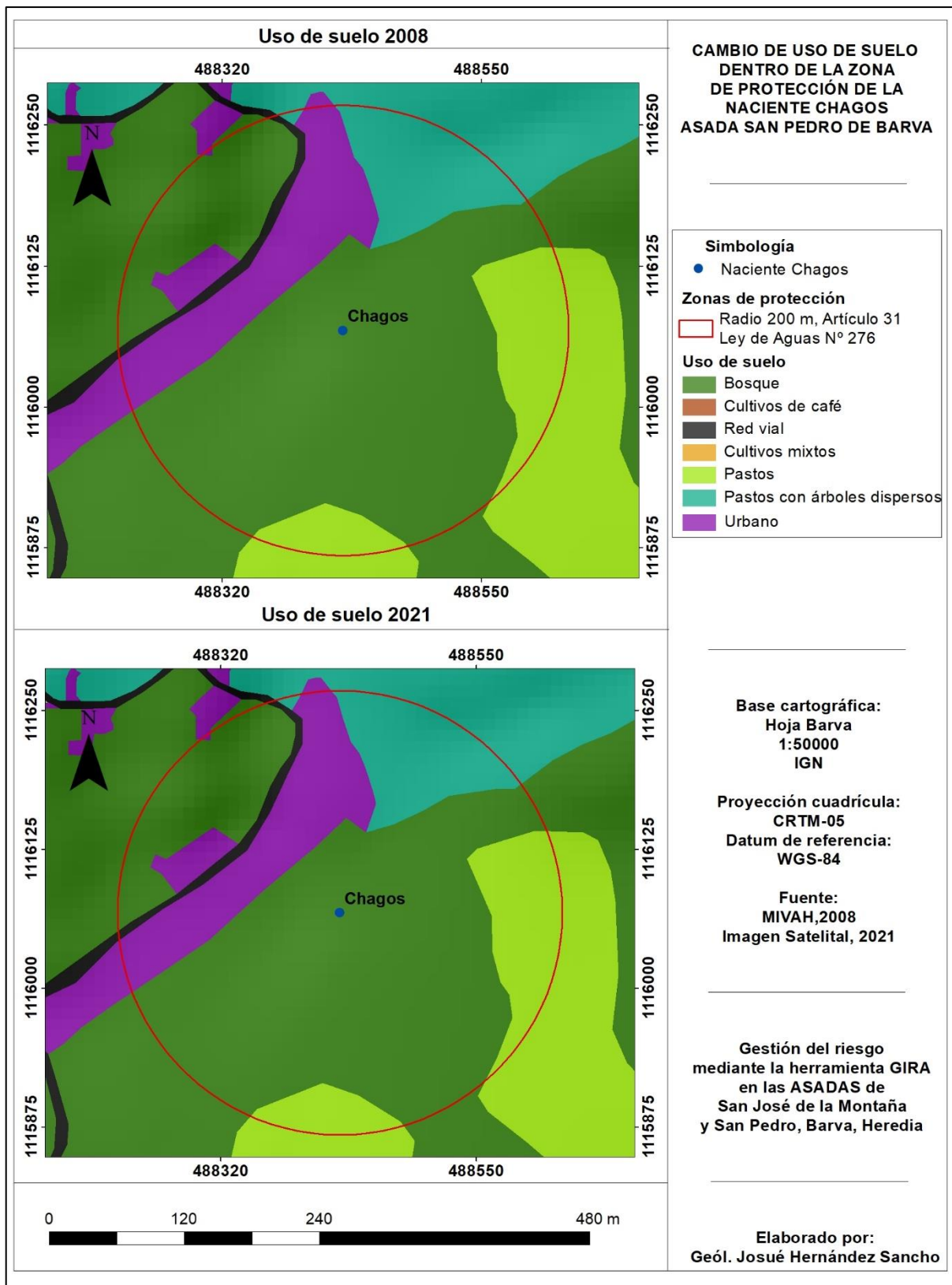


Figura N° 4.57: Cambio de uso de suelo dentro de la zona de protección de la naciente Chagos de la ASADA San Pedro de Barva (elaboración propia).



Figura N° 4.58: Tracto de la tubería de conducción de la ASADA San Pedro de especial interés por riesgo bajo a la contaminación al pasar dentro de los terrenos y por tanto encontrarse muy cerca de áreas urbanizadas. (Foto: Hernández, 2 de febrero del 2022).

f) Vandalismo

Como se puede observar en las tablas N° 4.7 y 4.8 las nacientes y tanques de almacenamiento de la ASADA de San José de la Montaña poseen mallas de protección que impiden el acceso de personas, evitando la posibilidad de vandalismo en estos componentes. Sin embargo, el administrador (Gamboa, R., comunicación personal, 5 de noviembre del 2021) indicó que en el año 2020 se presentó un robo de válvulas en el sector de Bajito Mancarrón.

En cuanto a la ASADA de San Pedro, las tablas N° 4.11 y 4.13 muestran que el pozo y los tanques de almacenamiento poseen malla de protección en buen estado impidiendo el acceso a personas, sin embargo, como se observa en las tablas N° 4.10 y 4.12, las nacientes y el filtro de agua no cuentan con esta malla de protección; con respecto a este último aspecto, el administrador (Córdoba, L.F., comunicación personal, 11 de noviembre del 2021) menciona que si bien estos componentes del acueducto se encuentran sin malla de protección, los mismos se encuentran dentro de una finca bajo régimen forestal de 42 hectáreas, por lo que el acceso a ella y por ende a los componentes es exclusivo para la ASADA. Además, como único incidente vandálico, se tiene reportado el robo del cable eléctrico que suministra de energía a la bomba del pozo Doña Elena en el año 2020, sin embargo, a raíz de este percance la ASADA ya ha implementado una mayor seguridad, recubriendo el cable e instalando una tapa de seguridad en la entrada del cable a la estructura del pozo.

C. Estimación del nivel de exposición, consecuencia y valorización del impacto de las amenazas en los sistemas de las ASADAS

Según la metodología GIRA, a través de este análisis se estudia la probabilidad de impacto que tiene cada amenaza, así como el grado de consecuencia que tendría este impacto sobre el sistema general de la ASADA. Lo anterior resulta de clasificar la exposición de la ASADA a cada amenaza en cuatro categorías: muy alta, alta, moderada y baja; así como el valorar su consecuencia por medio de un cuestionario, estimando el costo del impacto en cada componente del sistema utilizando una escala en colones, el porcentaje

de abonados que quedarían sin servicio de agua y el número de días aproximado que duraría la afectación, esto con base en la información de los subcapítulos anteriores, en donde se describen las amenazas naturales y antrópicas que podrían afectar a los acueductos. Seguidamente, se muestra el análisis para las dos ASADAS en estudio.

a) Asada San José de la Montaña

El análisis para el acueducto de San José de la Montaña se realizó el día 09 de mayo del 2022 en reunión con el administrador, el señor Rodolfo Gamboa Chaverrí (comunicación personal). Como se puede observar en la figura N° 4.59, según la información recaudada en cuanto a las posibles amenazas naturales y antrópicas que podrían darse en la subcuenca, el mayor nivel de exposición corresponde con sequía, valorada como una amenaza muy alta, seguida por las amenazas deslizamientos y exposición antropogénica, con un valor de 4, y terremoto y tormenta/inundación con un valor de 3, catalogadas igualmente como muy altas, y con un nivel de exposición de 2, se encuentran sedimentación e incendio, valoradas como altas.

Con respecto a la estimación del nivel de consecuencia en cuanto a las amenazas naturales, ver figura N° 4.60, resalta como muy alta la amenaza por erupción volcánica, debido a la cercanía de los componentes con zonas de peligro según estudios, afectando a la mayoría de usuarios durante un tiempo prolongado y con altos valores por impacto, sin embargo, tal y como menciona Brenes (2003) con respecto a la actividad del volcán Barva, existe un escenario de relativo bajo peligro volcánico a corto y largo plazo, como también que es difícil hacer una valoración total del peligro volcánico pues no se conoce mucho de su historia eruptiva y no se sabe cómo será su actividad en el futuro.

| Nombre de Subcuenca: | | RIO PORROSATI | | | | | | |
|---------------------------------------|--|---|-----------------|---------------|-------------------------|---------------|----------|-----------------------------|
| Seleccione la Subcuenca de su ASA | | | | | | | | |
| | | Sequía | Terremoto/Sismo | Deslizamiento | Tormenta/ Inundación | Sedimentación | Incendio | Exposición antropogénica |
| Nivel de Exposición (0 a 5) | | 5.0 | 3.0 | 4.0 | 3.0 | 2.0 | 2.0 | 4.0 |
| Valoración de Amenaza | | MUY ALTA | MUY ALTA | MUY ALTA | MUY ALTA | ALTA | ALTA | MUY ALTA |
| ASADAS que comparten la Subcuenca: | | ASOCIACION ADMINISTRADORA DEL ACUEDUCTO DE PORROSATI EN SAN MIGUEL DE SAN JOSE DE LA MONTAÑA BARVA DE HEREDIA ASADA SAN JOSE DE LA MONTAÑA ASADA SAN JOSE DE LA MONTAÑA | | | | | | |

Figura N° 4.59: Estimación del nivel de exposición de las amenazas en la subcuenca donde se ubica la ASADA San José de la Montaña (elaboración propia).

| Amenaza | Costo aprox. daños en infraestructura | Pérdidas comerciales | Nivel de consecuencia resultante |
|--------------------------|---------------------------------------|----------------------|----------------------------------|
| Tormenta/Inundación | 6000000 | 2340000 | BAJA |
| Terremoto/Sismo | 26000000 | 4095000 | MODERADA |
| Deslizamiento | 6000000 | 2340000 | BAJA |
| Sequía | 20000000 | 5850000 | MODERADA |
| Erupciones Volcánicas | 60000000 | 15600000 | MUY ALTA |
| Incendio Forestal/Urbano | 6000000 | 546000 | MUY BAJA |

Figura N° 4.60: Estimación del nivel de consecuencia de las amenazas naturales en la ASADA San José de la Montaña (elaboración propia).

Seguidamente, como amenazas catalogadas como moderadas, se encuentran sequía y terremoto, la primera causaría un impacto superior a los 15 millones en las fuentes de abastecimiento, mientras que la segunda si tendría un impacto en todos los componentes, nacientes y tanques entre 5 y 15 millones, y tubería y edificio o bodega entre 1 y 5, dejando ambas a la mayor parte de abonados sin servicio y prolongándose la afectación entre 7 a 15 días. Luego se encontrarían como amenazas catalogadas como bajas, los deslizamientos y tormenta/inundación, las cuales afectarían a algunas fuentes de abastecimiento y tubería de conducción y distribución, perjudicando a menos de la mitad de los abonados y la afectación no se extendería más de 15 días, y por último, la amenaza por incendio, catalogada como muy baja, debido a que su afectación igualmente sería a nacientes y tubería, pero la cantidad de abonados sería menor al 25% y la afectación se extendería una semana.

Mientras que, en cuanto a las amenazas antrópicas, ver figura N° 4.61, la amenaza con un nivel de consecuencia moderado corresponde con rotura de tuberías, ya que sería la de mayor costo de impacto, dejaría sin servicio entre el 50% y 75% de usuarios y la afectación duraría entre 7 y 15 días. Luego, el derrame de sustancias tóxicas se cataloga como baja, siendo su valor de impacto mayor en las fuentes de abastecimiento, una afectación entre el 25% y 50% de abonados y un periodo entre 7 y 15 días y, por último, catalogadas como muy bajas se encontrarían desarrollo urbano no planificado, vandalismo,

interrupción de energía y pruebas de control alteradas (agua contaminada), de las cuales la primera tendría afectación en fuentes de abastecimiento y tubería, mientras que en la segunda si se podrían ver afectados todos los componentes, afectando ambas un porcentaje menor al 25 % de usuarios y extendiéndose pocos días la afectación, mientras que las dos últimas, tendrían un nivel nulo con respecto al nivel de consecuencia.

| Amenaza | Costo aprox. daños en infraestructura | Pérdidas comerciales | Nivel de consecuencia resultante |
|---------------------------------------|---------------------------------------|----------------------|----------------------------------|
| Derrame de Sustancias Tóxicas | 13000000 | 2340000 | BAJA |
| Rotura de tuberías | 13000000 | 4095000 | MODERADA |
| Interrupción de Suministro de Energía | 0 | 0 | MUY BAJA |
| Agua Contaminada | 0 | 0 | MUY BAJA |
| Desarrollo Urbano No Planificado | 9000000 | 546000 | MUY BAJA |
| Vandalismo/Sabotaje | 9790000 | 234000 | MUY BAJA |

Figura N° 4.61: Estimación del nivel de consecuencia de las amenazas antrópicas en la ASADA San José de la Montaña (elaboración propia).

b) Asada San Pedro de Barva

Para el acueducto de San Pedro el análisis se realizó el día 22 de abril del 2022 en reunión con el administrador, el señor Luis Fabián Córdoba Rojas (comunicación personal). Como se puede observar en la figura N° 4.62, según la información de las posibles amenazas que podrían darse en la subcuenca, el mayor nivel de exposición corresponde con deslizamientos y sequía, valoradas como muy altas, seguidas por las amenazas terremoto y exposición antropogénica con un valor de 4 y tormenta/inundación con un valor de 3, catalogadas igualmente como muy altas, luego sedimentación tendría un valor de 2 y una clasificación alta e incendio un valor de 1 y una clasificación media.

| Nombre de Subcuenca: | | RIO BIRRI | | | | | |
|------------------------------------|---|-----------------|---------------|---------------------|---------------|----------|--------------------------|
| Seleccione la Subcuenca de su ASA | | | | | | | |
| | Sequia | Terremoto/Sismo | Deslizamiento | Tormenta/Inundación | Sedimentación | Incendio | Exposición antropogénica |
| Nivel de Exposición (0 a 5) | 5.0 | 4.0 | 5.0 | 2.0 | 2.0 | 1.0 | 4.0 |
| Valoración de Amenaza | MUY ALTA | MUY ALTA | MUY ALTA | MUY ALTA | ALTA | MEDIA | MUY ALTA |
| ASADAS que comparten la Subcuenca: | ASADA SANTA ROSA DE OREAMUNO ASADA RURAL DE SAN PABLO DE OREAMUNO ASADA BARRIO SAN FRANCISCO DE BIRRISITO DE PARAISO ASADA SAN RAFAEL DE IRAZU ASADA SANTA ROSA DE OREAMUNO ASOCIACION ADMINISTRADORA DEL ACUEDUCTO DE SAN PEDRO DE BARVA ASADA RURAL DE SAN PABLO DE OREAMUNO ASADA BARRIO SAN FRANCISCO DE BIRRISITO DE PARAISO | | | | | | |

Figura N° 4.62: Estimación del nivel de exposición de las amenazas en la subcuenca donde se ubica la ASADA San Pedro (elaboración propia).

The figure displays six screenshots of a risk assessment software interface, each showing the calculation of the consequence level for a specific natural threat. The interface is organized into three columns and two rows of three panels each.

- Panel 1 (Top Left):** Threat: Tormenta/Inundación. Inputs: Fuentes de abastecimiento de agua (Menor a \$1 Millón), Líneas de conducción y distribución (Entre \$1 y \$5 Millones), Tanques de almacenamiento (Sin costo), Edificio o Bodega de la ASADA (Sin costo). Result: Nivel de consecuencia resultante: MUY BAJA.
- Panel 2 (Top Middle):** Threat: Terremoto/Sismo. Inputs: Fuentes de abastecimiento de agua (Entre \$1 y \$5 Millones), Líneas de conducción y distribución (Mayor a \$15 Millones), Tanques de almacenamiento (Mayor a \$15 Millones), Edificio o Bodega de la ASADA (Entre \$5 y \$15 Millones). Result: Nivel de consecuencia resultante: ALTA.
- Panel 3 (Top Right):** Threat: Deslizamiento. Inputs: Fuentes de abastecimiento de agua (Entre \$5 y \$15 Millones), Líneas de conducción y distribución (Entre \$5 y \$15 Millones), Tanques de almacenamiento (Sin costo), Edificio o Bodega de la ASADA (Sin costo). Result: Nivel de consecuencia resultante: BAJA.
- Panel 4 (Bottom Left):** Threat: Sequia. Inputs: Fuentes de abastecimiento de agua (Mayor a \$15 Millones), Líneas de conducción y distribución (Sin costo), Tanques de almacenamiento (Sin costo), Edificio o Bodega de la ASADA (Sin costo). Result: Nivel de consecuencia resultante: MODERADA.
- Panel 5 (Bottom Middle):** Threat: Erupciones Volcánicas. Inputs: Fuentes de abastecimiento de agua (Mayor a \$15 Millones), Líneas de conducción y distribución (Entre \$1 y \$5 Millones), Tanques de almacenamiento (Sin costo), Edificio o Bodega de la ASADA (Sin costo). Result: Nivel de consecuencia resultante: MODERADA.
- Panel 6 (Bottom Right):** Threat: Incendio Forestal/Urbano. Inputs: Fuentes de abastecimiento de agua (Sin costo), Líneas de conducción y distribución (Menor a \$1 Millón), Tanques de almacenamiento (Sin costo), Edificio o Bodega de la ASADA (Sin costo). Result: Nivel de consecuencia resultante: MUY BAJA.

Figura N° 4.63: Estimación del nivel de consecuencia de las amenazas naturales en la ASADA San Pedro (elaboración propia).

Con respecto a la estimación del nivel de consecuencia en cuanto a las amenazas naturales, ver figura N° 4.63, la amenaza por terremoto presenta un nivel de consecuencia alto, ya que es la que presentaría un mayor costo estimado en impacto afectando a todos los componentes y dejaría a la mayoría de abonados sin servicio, aunque su duración sería de una semana aproximadamente. Luego se clasifican con moderado nivel de consecuencia sequía y erupciones volcánicas, ya que afectarían a la mayoría de abonados y la duración de la afectación se extendería entre 7 a 15 días, aunque el costo por impacto sería menor. Con clasificación baja se encuentran los deslizamientos, debido a que, si bien los costos por impacto si serían altos en las fuentes de abastecimiento y tubería, entre 5 y 15 millones, la duración sería entre 3 a 7 días. Por último, con una clasificación muy baja se encontrarían las amenazas tormenta/inundación e incendio, ya que los costos por

impacto, usuarios afectados y duración de la afectación serían valores bajos con respecto a los anteriores.

| Amenaza | Nivel de consecuencia resultante |
|---------------------------------------|----------------------------------|
| Derrame de Sustancias Tóxicas | MUY ALTA |
| Rotura de tuberías | MUY BAJA |
| Interrupción de Suministro de Energía | MUY BAJA |
| Agua Contaminada | MUY BAJA |
| Desarrollo Urbano No Planificado | MUY BAJA |
| Vandalismo/Sabotaje | MUY BAJA |

Figura N° 4.64: Estimación del nivel de consecuencia de las amenazas antrópicas en la ASADA San Pedro (elaboración propia).

En cuanto a las amenazas antrópicas, ver figura N° 4.64, la amenaza con un nivel de consecuencia muy alto correspondería con el derrame de sustancias tóxicas, ya que sería la amenaza con mayor costo de impacto en fuentes de abastecimiento y tubería, más de 15 millones, afectaría a la mayoría de usuarios y la afectación sería superior a los 15 días. Las demás se clasifican con un nivel de consecuencia muy bajo, la amenaza por vandalismo causaría costos por impacto en todos los componentes y desarrollo urbano no planificado en las fuentes de abastecimiento y tubería, pero el porcentaje de abonados afectados en ambas sería bajo y no provocaría la suspensión del servicio. Luego, rotura de tuberías causaría costos de impacto inferiores al millón, afectando a gran cantidad de usuarios, pero con una duración de entre 1 y 2 días, e interrupción de energía y pruebas de control de calidad alteradas (agua contaminada), que no tendrían costo por impacto ni afectación al servicio.

D. Grado de preparación ante emergencias de las ASADAS

La herramienta GIRA evalúa el grado de preparación ante emergencias mediante un cuestionario. A continuación, se muestra el detalle de las respuestas para cada una de las ASADAS en estudio.

a) Asada San José de la Montaña

Como se puede observar en la Tabla N° 4.24, el acueducto de San José de la Montaña respondió positivamente a todas las preguntas, lo que refleja que está preparada para la atención de emergencias.

Tabla N° 4.24: Medidas de preparación para emergencias, ASADA San José de la Montaña.

| Preguntas | Respuesta |
|---|-----------|
| ¿Se tienen identificadas las fuentes alternativas de agua en caso de emergencia? | Sí |
| ¿Se cuenta con fondos financieros para atender emergencias? | Sí |
| ¿Se dispone de un stock de materiales suficientes para reparar posibles daños? | Sí |
| ¿Se tiene un plano actualizado del sistema y sus accesorios? | Sí |
| ¿Están identificadas las zonas más vulnerables del sistema? | Sí |
| ¿Las instalaciones eléctricas son a prueba de agua? | NA |
| ¿Posee mecanismos alternativos de generación eléctrica? | NA |
| ¿Se tiene un plan de comunicación en caso de emergencias con: el usuario, AyA, CNE, ¿otros? | Sí |
| ¿Forma parte del comité comunal de emergencias? | Sí |
| ¿Ha desarrollado alianzas con ASADAS vecinas para coordinar apoyo mutuo en el caso de emergencia? | Sí |

b) Asada San Pedro de Barva

El acueducto de San Pedro de Barva respondió positivamente a la mayoría de las preguntas, ver tabla N° 4.25, excepto a las referentes a las instalaciones eléctricas, aunque estas están únicamente relacionadas al pozo Doña Elena, para el cual si bien no se cuenta con un mecanismo alternativo de generación eléctrica, el acueducto cuenta con un mecanismo de bypass en el tanque San Pedro para no dejar de brindar el suministro de agua en la urbanización.

Tabla N° 4.25: Medidas de preparación para emergencias, ASADA San Pedro de Barva.

| Preguntas | Respuesta |
|---|-----------|
| ¿Se tienen identificadas las fuentes alternativas de agua en caso de emergencia? | Sí |
| ¿Se cuenta con fondos financieros para atender emergencias? | Sí |
| ¿Se dispone de un stock de materiales suficientes para reparar posibles daños? | Sí |
| ¿Se tiene un plano actualizado del sistema y sus accesorios? | Sí |
| ¿Están identificadas las zonas más vulnerables del sistema? | Sí |
| ¿Las instalaciones eléctricas son a prueba de agua? | No |
| ¿Posee mecanismos alternativos de generación eléctrica? | No |
| ¿Se tiene un plan de comunicación en caso de emergencias con: el usuario, AyA, CNE, ¿otros? | Sí |
| ¿Forma parte del comité comunal de emergencias? | Sí |
| ¿Ha desarrollado alianzas con ASADAS vecinas para coordinar apoyo mutuo en el caso de emergencia? | Sí |

VALORACIÓN Y ADMINISTRACIÓN DEL RIESGO

En este capítulo, a partir de los resultados obtenidos, combinando el tipo de vulnerabilidad, probabilidad del impacto y consecuencia de cada amenaza identificada, se obtuvo el nivel de riesgo, para así, poder priorizar las medidas correctivas a implementar en el plan GIRA, así como proponer medidas preventivas en los casos que fueran necesarias. A continuación, los resultados y el análisis para cada una de las ASADAS en estudio.

5.1 Resultados del análisis de vulnerabilidad funcional y amenazas de las ASADAS San José de la Montaña y San Pedro de Barva

Desde el punto de vulnerabilidad funcional, los resultados muestran un índice de vulnerabilidad reflejado en porcentaje por área (operativa, sanitaria, administrativa e infraestructural) y la categoría de cada uno. Mientras que, como una valoración general, el método GIRA establece un peso relativo diferenciado por cada área, de manera que se refleje el nivel de importancia que tendría cada área en la gestión del riesgo.

Con respecto al resultado del análisis de las afectaciones para cada amenaza identificada, se muestra su índice de exposición en la subcuenca y su consecuencia, así como la estimación del valor económico del impacto de cada amenaza para la ASADA. Además, del valor obtenido en el grado de preparación para atender emergencias.

A. ASADA San José de la Montaña

Desde el punto de vista operativo, los únicos aspectos negativos fueron que la ASADA no cuenta con procedimientos operativos con respecto al control de presiones, fugas e instalaciones de tuberías y nuevas conexiones, es decir, estos procedimientos se realizan cotidianamente, con la práctica, de forma correcta dentro del departamento técnico de la ASADA y se reciben capacitaciones, sin embargo, no existe un procedimiento escrito que estandarice dichos procedimientos, mostrando por ejemplo los pasos a seguir y los materiales a utilizar; aspecto que considera la herramienta GIRA. Por lo que el resultado de la evaluación muestra una vulnerabilidad moderada para esta categoría, y por lo tanto la de mayor importancia en la gestión del riesgo, ver figura N° 5.1.

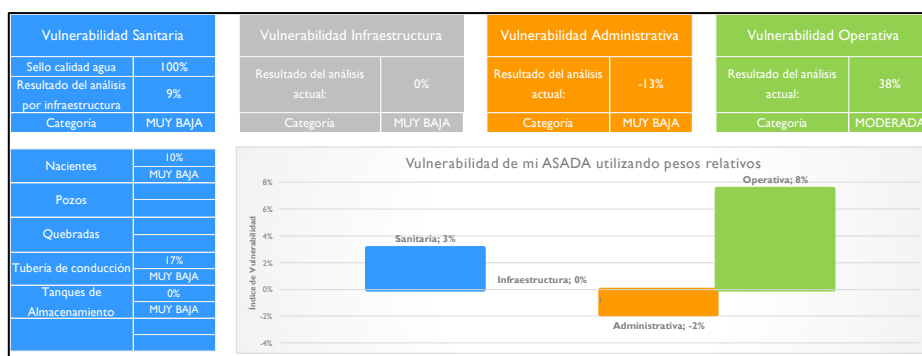


Figura N° 5.1: Resultados del análisis de la vulnerabilidad funcional de la ASADA de San José de la Montaña (elaboración propia).

Luego, en el cuestionario entorno a la vulnerabilidad administrativa, infraestructural y sanitaria, la mayoría de las respuestas fueron positivas, dando como resultado en todas estas áreas una vulnerabilidad muy baja. Como aspectos negativos destacan la ausencia de un plan anual desde el punto de vista administrativo, las variaciones significativas de presiones en la totalidad de la red de distribución, la carencia de un esquema de distribución en los sistemas 2 y 3, que la totalidad de las nacientes se encuentran ubicadas cerca de zonas con actividad industrial o agrícola y que algunos de sus componentes no se encuentran en zonas de baja vulnerabilidad, siendo estas dos últimas las más importantes, ver figura N° 5.1.

En cuanto a las amenazas, tanto naturales como antrópicas, según la figura N° 5.3, la amenaza por erupción volcánica sería la de mayor nivel de consecuencia y valor total de impacto, catalogada como catastrófica con un porcentaje de 93%, pero con un nivel de exposición bajo de 2, ya que el volcán, debido a que se considera un volcán activo que atraviesa un lapso de tranquilidad y por el momento no muestra señales de un despertar próximo, no representa un peligro a corto o mediano plazo (Alpízar, 2022). Seguidamente, con un porcentaje de 53% en nivel de consecuencia, catalogado como grave, y con un nivel de exposición de 5, se encontraría la amenaza por sequía.

Luego, igualmente catalogadas como graves, pero con porcentajes de 41% y 36% se encuentran las amenazas por terremoto y rotura de tuberías, de las cuales la primera se caracteriza por el segundo valor mayor total de impacto, mientras que ambas presentan un nivel de exposición de 3. Continuando en orden descendente se encontraría la amenaza por derrame de sustancias tóxicas con un 28% y un nivel de exposición alto de 4, así como deslizamientos y tormenta/inundación con un 26%, aunque la inestabilidad de laderas presenta un nivel de exposición alto de 4 y la otra de 3.

Por último, catalogadas como leves y con un porcentaje de nivel de consecuencia de 14%, se encuentran incendio, desarrollo urbano no planificado y vandalismo, de las cuales la primera presenta un nivel de exposición de 2 y las dos últimas de 3. Mientras que interrupción de energía y pruebas de control alteradas tendrían un nivel de exposición y consecuencia nulo.

Finalmente, el grado de preparación ante emergencias es el más alto con un valor de 100%, ya que en el cuestionario todas las respuestas fueron positivas, indicando que las relacionadas al suministro de energía no aplican, ya que este acueducto no posee ningún componente que dependa de electricidad para su funcionamiento, ver figura N° 5.2.

| | |
|--|-----------------|
| Grado de preparación ante Emergencias | MUY ALTA |
| | 100% |

Figura N° 5.2: Resultados del análisis del grado de preparación ante emergencias de la ASADA de San José de la Montaña (elaboración propia).

| Amenaza | Nivel de exposición | Nivel de consecuencia | Valor impacto Infraestructura | Valor impacto servicio | Valor total impacto |
|---------------------------------------|---------------------|-----------------------|-------------------------------|------------------------|---------------------|
| Tormenta/Inundación | 3 | 26% Grave | 6 000 000 | 2 340 000 | 8 340 000 |
| Terremoto/Sismo | 3 | 41% Grave | 26 000 000 | 4 095 000 | 30 095 000 |
| Deslizamiento | 4 | 26% Grave | 6 000 000 | 2 340 000 | 8 340 000 |
| Sequía | 5 | 53% Grave | 20 000 000 | 5 850 000 | 25 850 000 |
| Erupciones Volcánicas | 2 | 93% Catastrofica | 60 000 000 | 15 600 000 | 75 600 000 |
| Incendio Forestal/Urbano | 2 | 14% Leve | 6 000 000 | 546 000 | 6 546 000 |
| Derrame de Sustancias Tóxicas | 4 | 28% Grave | 13 000 000 | 2 340 000 | 15 340 000 |
| Rotura de tuberías | 3 | 36% Grave | 13 000 000 | 4 095 000 | 17 095 000 |
| Interrupción de Suministro de Energía | 0 | 0% Muy leve | 0 | 0 | 0 |
| Agua Contaminada | 0 | 0% Muy leve | 0 | 0 | 0 |
| Desarrollo Urbano No Planificado | 3 | 14% Leve | 6 000 000 | 546 000 | 6 546 000 |
| Vandalismo/Sabotaje | 3 | 14% Leve | 6 000 000 | 546 000 | 6 546 000 |

Figura N° 5.3: Resultados del análisis de las amenazas naturales y antrópicas de la ASADA San José de la Montaña (elaboración propia).

B. ASADA San Pedro de Barva

Con respecto al área operativa, se identificaron 2 aspectos negativos, el primero, al igual que la ASADA anterior, es que el acueducto a nivel del departamento técnico, no cuenta con documentos escritos estandarizados con respecto a los procedimientos operativos en control de presiones, fugas e instalaciones de tubería y nuevas conexiones, que muestren los pasos a seguir y contenga información técnica necesaria que sustente dichos procedimientos. El segundo es el desconocimiento de las zonas de recarga de las nacientes, ya que, si bien existe un estudio para la ASADA, este presenta errores de ubicación, por lo que como proyecto el acueducto ya está gestionando fondos para un estudio hidrogeológico en esta temática. Por tanto, es a raíz de lo anterior, que la parte operativa es la que presenta una mayor vulnerabilidad, catalogada como moderada y de mayor importancia con un valor del 10%, ver figura N° 5.4.

Seguidamente, la evaluación mostró una vulnerabilidad muy baja en las áreas administrativa, infraestructural y sanitaria, con un valor de 4%. No obstante, existen algunos aspectos negativos, en el análisis infraestructural, se indica la presencia de fugas en el sistema según el administrador y que algunos de sus componentes no se encuentran en zonas de baja vulnerabilidad, mientras en el área sanitaria, que cerca del pozo Doña Elena se encuentran letrinas o tanques sépticos a menos de 30 m y en un nivel más alto que el pozo, además de identificar otras fuentes de contaminación alrededor.

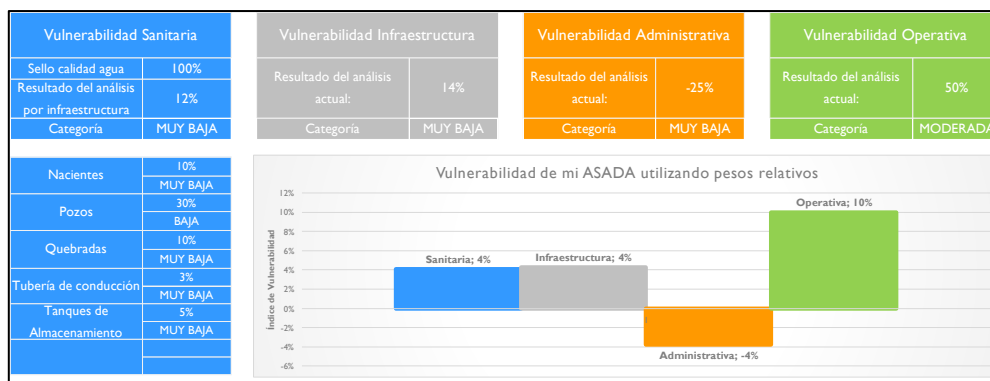


Figura N° 5.4: Resultados del análisis de la vulnerabilidad funcional de la ASADA de San Pedro de Barva (elaboración propia).

Con respecto a las amenazas, tanto naturales como antrópicas, según la figura N° 5.6, la de mayor nivel de consecuencia, catalogada como catastrófica con un porcentaje de 85%, un nivel de exposición de 4 y la de mayor valor total de impacto sería el derrame de sustancias tóxicas. Seguidamente, con un valor de impacto segundo en importancia, un nivel de exposición de 4 y catalogada como grave con un porcentaje de 58%, se encontraría la amenaza por terremotos.

Luego, con un nivel de exposición de 5, el más alto, pero con valores de impacto menores a los anteriores y catalogadas como graves, pero con porcentajes de 38% y 30%, se ubicaron respectivamente la amenaza por sequía y deslizamiento. Igualmente, otra amenaza catalogada como grave, pero con un nivel de exposición de 2, al igual que la ASADA anterior, ya que el volcán no muestra señales de un despertar próximo (Alpizar, 2022), sería la amenaza por erupciones volcánicas.

Por último, las amenazas clasificadas por un nivel de consecuencia leve, con valores de 13% y 19% respectivamente, serían tormenta/inundación y rotura de tuberías, ya que su nivel de exposición es de 3 y su valor de impacto sería bajo. Mientras que las amenazas catalogadas como muy leves, serían incendio, desarrollo urbano no planificado y vandalismo, las cuales tendrían niveles de exposición entre 1 y 3 y bajo valor de impacto por servicio o nulo, así como interrupción de suministro de energía y agua contaminada que tendrían un nivel de exposición y valor de impacto nulo.

Finalmente, el grado de preparación ante emergencias es muy alto, lo cual es beneficioso para la ASADA. Como se mencionó anteriormente, el valor de 80% responde a las respuestas negativas entorno a la ausencia de un suministro de energía alternativo para el funcionamiento del pozo Doña Elena, pero que el acueducto sí cuenta con un mecanismo alternativo para brindar el servicio a la Urbanización desde el tanque San Pedro, ver figura N° 5.5.

| | |
|--|-----------------|
| Grado de preparación ante Emergencias | MUY ALTA |
| | 80% |

Figura N° 5.5: Resultados del análisis del grado de preparación ante emergencias de la ASADA San Pedro de Barva (elaboración propia).

| Amenaza | Nivel de exposición | Nivel de consecuencia | Valor impacto Infraestructura | Valor impacto servicio | Valor total impacto |
|---------------------------------------|---------------------|-----------------------|-------------------------------|------------------------|---------------------|
| Tormenta/Inundación | 3 | 13% Leve | 3 750 000 | 640 000 | 4 390 000 |
| Terremoto/Sismo | 4 | 58% Grave | 53 000 000 | 3 733 333 | 56 733 333 |
| Deslizamiento | 5 | 30% Grave | 20 000 000 | 2 613 333 | 22 613 333 |
| Sequía | 5 | 38% Grave | 20 000 000 | 5 600 000 | 25 600 000 |
| Erupciones Volcánicas | 2 | 39% Grave | 23 000 000 | 5 600 000 | 28 600 000 |
| Incendio Forestal/Urbano | 1 | 7% Muy leve | 750 000 | 320 000 | 1 070 000 |
| Derrame de Sustancias Tóxicas | 4 | 85% Catastrófico | 40 000 000 | 21 333 333 | 61 333 333 |
| Rotura de tuberías | 3 | 19% Leve | 750 000 | 1 120 000 | 1 870 000 |
| Interrupción de Suministro de Energía | 0 | 0% Muy leve | 0 | 0 | 0 |
| Agua Contaminada | 0 | 0% Muy leve | 0 | 0 | 0 |
| Desarrollo Urbano No Planificado | 3 | 7% Muy leve | 6 000 000 | 0 | 6 000 000 |
| Vandalismo/Sabotaje | 2 | 8% Muy leve | 7 500 000 | 0 | 7 500 000 |

Figura N° 5.6: Resultados del análisis de las amenazas naturales y antrópicas de la ASADA San Pedro (elaboración propia).

5.2 Valoración del riesgo en las ASADAS de San José de la Montaña y San Pedro de Barva

En este apartado, según el tipo de vulnerabilidad y el componente asociado, junto con la probabilidad de impacto y grado de consecuencia de cada amenaza, se obtiene el nivel de riesgo, ver tablas N° 1.1, 1.2 y 1.3. De modo que la herramienta propone un listado de medidas correctivas para subsanar aquellas acciones aún no implementadas por la ASADA según los aspectos evaluados al completar los cuestionarios, resultando en un insumo para elegir aquellas que se van a implementar en el plan de gestión de riesgos. A continuación, el análisis realizado para los acueductos en estudio.

A. ASADA San José de la Montaña

El análisis de valoración del riesgo para el acueducto de San José de la Montaña se realizó el día 26 de mayo del 2022 en reunión con el administrador, el señor Rodolfo Gamboa Chaverrí, entre los componentes analizados se encuentran los siguientes.

El riesgo a contaminación debido a falta de cloro residual y por variación de presión en las líneas de conducción y distribución, representa para el acueducto vulnerabilidad de tipo sanitaria, de forma que la herramienta GIRA propuso como medidas correctivas, llevar un monitoreo del cloro residual y un control de registro y monitoreo de presiones para

identificar variaciones significativas. De igual forma, el riesgo a contaminación por grietas en la loza y presencia de raíces y hojas dentro de la captación en las nacientes, la herramienta sugiere como corrección el reparar las fisuras y eliminar la vegetación dentro del tanque de captación. De forma que estas medidas fueran implementadas con regularidad por el acueducto.

Igualmente, el riesgo a contaminación de las fuentes causada por falta de mantenimiento debido a la carencia de pruebas de las mejoras realizadas al sistema, lo cual representa vulnerabilidad de tipo operativa y relacionada al sello de calidad para la ASADA, se podría subsanar llevando una bitácora completa y actualizada de forma digitalizada, ya que actualmente esta se realiza de forma manual.

Ahora bien, el riesgo al sistema por pérdida de presión y fugas de agua representa para el acueducto vulnerabilidad infraestructural, sugiriendo la herramienta el asegurar constantemente la calidad de las tuberías. Mientras que, el riesgo asociado a procesos de comunicación deficientes con los usuarios y otras entidades, que representa vulnerabilidad para el acueducto con respecto a la atención de emergencias, se podría solucionar mediante la creación de un protocolo de comunicación para utilizarse con entidades como el AyA, CNE y la comunidad en sí.

Por último, el riesgo a una planificación deficiente en la ejecución de proyectos en pro de la ASADA, lo cual materializa para el acueducto vulnerabilidad de tipo administrativa, mejoraría al implementar un plan anual formal, con cronograma, responsables y presupuestos, ya que actualmente se van ejecutando los proyectos según acuerdo entre administración y Junta Directiva en las reuniones que se realizan.

Cabe aclarar, que los anteriores riesgos según la valorización, fueron clasificados con una probabilidad de impacto baja y un grado de consecuencia leve, por lo que la herramienta GIRA los clasificó como aceptables, ver figura N° 5.7. De forma que estas medidas correctivas no fueron elegidas para formar parte del plan de gestión del riesgo como tal, ya que la mayoría son medidas que ya se realizan y se les debe dar continuidad o se tienen que mejorar en algunos aspectos, por ejemplo, una mayor regularidad o una digitalización del mecanismo manual.

| Tipo Vulnerabilidad | Tipo de componente | Amenaza | Medida correctiva | Probabilidad de impacto de la amenaza | Grado de consecuencia de la amenaza | Nivel de Riesgo |
|---------------------|-------------------------------------|---|--|---------------------------------------|-------------------------------------|-----------------|
| Sanitaria | Líneas de Conducción y Distribución | Contaminación por falta de cloro residual en la red | Llevar un monitoreo del cloro residual, en caso de carecer. Activar el protocolo de incumplimiento de los umbrales de concentración de cloro | Baja | Leve | Aceptable (IV) |
| Sanitaria | Líneas de Conducción y Distribución | Contaminación por variación de presión en la red | Llevar un control de registro y monitoreo de presiones para identificar variaciones significativas de presiones en la red de distribución | Baja | Leve | Aceptable (IV) |
| Sanitaria | Naciente | Contaminación por grietas en la loza | Impermeabilizar y corregir grietas en las paredes de la loza superior de captación | Baja | Leve | Aceptable (IV) |
| Sanitaria | Naciente | Contaminación por raíces y hojas dentro de la captación | Eliminar plantas, raíces y hojas, algas dentro de la captación de la naciente. | Baja | Leve | Aceptable (IV) |
| Infraestructura | Prevención | Pérdida de presiones y fugas de agua | Asegurar la calidad de las tuberías de manera que se eviten las fugas de agua | Baja | Leve | Aceptable (IV) |
| Operativa | Procedimientos | Falta de pruebas de las mejoras realizadas al sistema | Llevar una bitácora completa y actualizada de las mejoras y mantenimientos realizados al sistema | Baja | Leve | Aceptable (IV) |
| Sello de Calidad | Mantenimiento | Contaminación de las fuentes causada por falta de mantenimiento | Crear un plan de mantenimiento y llevar una bitácora detallada con las mejoras realizadas a cada fuente | Baja | Leve | Aceptable (IV) |
| Emergencias | Comunicación | Procesos de comunicación deficientes con los usuarios y otras entidades | Crear un protocolo de comunicación para utilizar en caso de emergencias hacia el AYA, CNE, ORAC, Comunidad, otros | Baja | Leve | Aceptable (IV) |
| Administrativa | Planificación | Ineficiencia en la ejecución de proyectos en pro de la ASADA | Contar con el Plan Anual como instrumento de gestión para alcanzar los objetivos de la ASADA | Baja | Leve | Aceptable (IV) |

Figura N° 5.7: Valoración del riesgo, amenazas de nivel de riesgo aceptable, ASADA San José de la Montaña (elaboración propia).

Ahora bien, entre las medidas correctivas que sí se incorporaron al plan de gestión debido a la clasificación del nivel de riesgo, moderado, severo o muy severo, ver figura N° 5.8, se describen a continuación.

El riesgo a contaminación debido a la cercanía de letrinas, animales, viviendas, basura y prácticas agropecuarias poco sostenibles en las nacientes representa para el acueducto vulnerabilidad de tipo sanitaria, de forma que el riesgo se clasificó con una probabilidad de impacto moderada y un grado de consecuencia muy grave, resultando en un nivel de riesgo severo. Esto en respuesta al análisis realizado en cuanto a las amenazas antrópicas, derrame de sustancias tóxicas y desarrollo urbano no planificado. Proponiendo la herramienta GIRA como medida correctiva identificar y corregir fuentes de contaminación alrededor de la captación.

Igualmente, el riesgo a contaminación por materia fecal en tuberías y nacientes materializa para el sistema vulnerabilidad de tipo infraestructural, de forma que este se clasificó con una probabilidad de impacto moderada, un grado de consecuencia grave y un nivel de riesgo moderado. Lo anterior debido a los problemas que ya han presentado por el desarrollo urbano no planificado descritos en subcapítulos anteriores, por lo que como medida correctiva se menciona el identificar aquellas fuentes de materia fecal cerca de las tuberías o fuentes con el fin de tomar medidas de control de los focos de contaminación.

Mientras que el riesgo por altos costos de reparación en caso de desastres que afecten a los componentes representa igualmente vulnerabilidad de tipo infraestructural para el sistema, clasificándose con una probabilidad de impacto muy alta, un grado de consecuencia muy grave y un nivel de riesgo muy severo. Lo cual se solucionaría identificando las posibles mejoras en la ubicación o infraestructura de los componentes susceptibles.

Con respecto al riesgo a disminución del caudal por desabastecimiento de agua y desinformación sobre posibles fuentes de recarga subterránea, lo cual representa vulnerabilidad operativa, este se clasificó con una probabilidad de impacto moderada, un grado de consecuencia grave y un nivel de riesgo moderado. Lo anterior a raíz del escenario de sequía para finales de siglo previsto por el IMN como consecuencia del cambio climático. Estableciéndose como medidas correctivas, investigar y documentar las fuentes de agua subterránea para conjuntamente validar mediante un estudio de disponibilidad hídrica las opciones de incremento de la demanda para cubrir mínimo los siguientes 5 años.

Luego, el riesgo asociado a procedimientos de control y mantenimiento desactualizados, que representa igualmente vulnerabilidad operativa para el acueducto, se clasificó con una probabilidad de impacto moderada, un grado de consecuencia leve y un nivel de riesgo moderado. Sugiriendo la herramienta como medidas, realizar una revisión anual de dichos procedimientos para buscar mejoras, aunque para el caso de este acueducto sería el realizarlos, ya que no poseen en control de presiones, fugas e instalación de tubería y nuevas conexiones.

Por último, el riesgo a una prevención deficiente asociado a la ignorancia de las zonas vulnerables para poder gestionar previamente, lo cual representa para el acueducto vulnerabilidad desde el punto de vista de atención a emergencias, se clasificó con una probabilidad de impacto alta, un grado de consecuencia grave y un nivel de riesgo severo. Ya que el análisis realizado en el presente trabajo de investigación en cuanto a la identificación de amenazas tanto naturales como antrópicas logró identificar componentes susceptibles a impacto. Motivo por el cual, la herramienta sugiere precisamente identificar estas zonas para realizar su oportuna gestión.

| Tipo Vulnerabilidad | Tipo de componente | Amenaza | Medida correctiva | Probabilidad de impacto de la amenaza | Grado de consecuencia de la amenaza | Nivel de Riesgo |
|---------------------|--------------------|---|--|---------------------------------------|-------------------------------------|-----------------|
| Sanitaria | Naciente | Contaminación por cercanía de letrinas, animales, viviendas y basura | Identificar y corregir fuentes de contaminación alrededor de la captación (letrinas, animales, basura, viviendas) | Moderada | Muy Grave | Severo (II) |
| Infraestructura | Prevención | Contaminación por materia fecal en el agua | Identificar aquellas fuentes de materia fecal cerca de las tuberías o fuentes con el fin de tomar medidas de control de los focos de contaminación | Moderada | Grave | Moderado (III) |
| Infraestructura | Prevención | Altos costos de reparación en caso de desastres | Identificar posibles mejoras en la ubicación o infraestructura de los componentes, de manera que se disminuya la vulnerabilidad del sistema | Muy Alta | Muy Grave | Muy Severo (I) |
| Operativa | Caudal | Desabastecimiento de agua | Validar mediante un estudio de disponibilidad hídrica las opciones de incremento de la demanda para cubrir mínimo los siguientes 5 años | Moderada | Grave | Moderado (III) |
| Operativa | Caudal | Desinformación sobre posibles fuentes de recarga subterránea que sean afectadas por contaminación | Investigar y documentar las fuentes de agua subterránea | Moderada | Grave | Moderado (III) |
| Operativa | Procedimientos | Procedimientos de control y mantenimiento desactualizados | Revisar anualmente los procedimientos de control con el fin de buscar mejoras en los mismos | Moderada | Leve | Moderado (III) |
| Emergencias | Prevención | Ignorancia de las zonas vulnerables para poder gestionar previamente el riesgo | Identificar y gestionar el riesgo de las zonas más vulnerables del sistema | Alta | Grave | Severo (II) |

Figura N° 5.8: Valoración del riesgo, medidas correctivas a implementar en el Plan GIRA, ASADA San José de la Montaña (elaboración propia).

B. ASADA San Pedro de Barva

Para el acueducto de San Pedro, el análisis de valorización del riesgo se realizó el día 30 de mayo del 2022 en reunión con el administrador, el señor Luis Fabián Córdoba Rojas. A continuación, la descripción de los componentes analizados.

El riesgo a contaminación debido a raíces y hojas dentro de la captación, para el acueducto representa vulnerabilidad de tipo sanitaria, de forma que este se clasificó con una probabilidad de impacto baja, un grado de consecuencia leve y un nivel de riesgo aceptable, siendo la única con esta clasificación, ver figura N° 5.9. Por lo que al igual que el acueducto anterior, al clasificarse con un nivel de riesgo aceptable por parte de la herramienta, no se incluyó en el plan de gestión del riesgo, ya que la medida correctiva de eliminar la vegetación dentro de los tanques de captación es un procedimiento continuo para el equipo técnico.

| Tipo Vulnerabilidad | Tipo de componente | Amenaza | Medida correctiva | Probabilidad de impacto de la amenaza | Grado de consecuencia de la amenaza | Nivel de Riesgo |
|---------------------|--------------------|---|--|---------------------------------------|-------------------------------------|-----------------|
| Sanitaria | Naciente | Contaminación por raíces y hojas dentro de la captación | Eliminar plantas, raíces y hojas, algas dentro de la captación de la naciente. | Baja | Leve | Aceptable (IV) |

Figura N° 5.9: Valoración del riesgo, amenazas de nivel de riesgo aceptable, ASADA San Pedro de Barva (elaboración propia).

Por otra parte, las medidas correctivas que sí se incorporaron al plan de gestión de riesgos se muestran en la figura N° 5.10.

El riesgo a contaminación en las nacientes ante la amenaza por cercanía de letrinas, animales, viviendas, basura y actividades agropecuarias poco sostenibles, representa para el acueducto vulnerabilidad sanitaria, de forma que este, al igual que el acueducto anterior, obtuvo un nivel de riesgo severo y como medida correctiva el identificar y corregir fuentes de contaminación alrededor de la captación. Lo anterior, en respuesta al análisis realizado en cuanto al derrame de sustancias tóxicas cerca de las nacientes, las zonas de riesgo identificadas en el mapa ilustrativo de la herramienta GIRA y la no delimitación de las zonas de protección de las nacientes.

De igual forma, el riesgo a contaminación producto de fugas en las líneas de conducción y distribución, se clasificó con una probabilidad de impacto moderada y un grado de consecuencia grave, obteniendo un nivel de riesgo moderado. Mientras que el riesgo a contaminación del pozo debido a letrinas o tanques sépticos cercanos, se clasificó con una probabilidad de impacto baja, un grado de consecuencia grave y un nivel de riesgo moderado. Sugiriendo la herramienta para ambos el identificar las fuentes para tomar medidas de control sobre los focos contaminantes.

En cuanto al riesgo a contaminación por materia fecal en tuberías y nacientes y el riesgo por altos costos de reparación en caso de desastres que afecten al sistema, que para el acueducto representan vulnerabilidad de tipo infraestructural. Estos obtuvieron la misma clasificación que el acueducto anterior, un nivel de riesgo moderado y muy severo respectivamente, por lo que las medidas correctivas serían las mismas.

Con respecto al riesgo por procedimientos de control y mantenimiento desactualizados, el acueducto de San Pedro obtuvo la misma clasificación de un nivel de riesgo moderado, ya que de igual forma no poseen los manuales operativos. Mientras que el riesgo a disminución del caudal por desabastecimiento de agua y desinformación sobre posibles fuentes de recarga subterránea, al contar este acueducto con una disponibilidad hídrica menor y como consecuencia de las proyecciones de sequía del IMN para finales de siglo debido al cambio climático, el riesgo se clasificó con una probabilidad de impacto alta, un grado de consecuencia muy grave y un nivel de riesgo muy severo. Estableciéndose como solución el investigar y documentar nuevas fuentes para validar mediante estudios técnicos cubrir la demanda mínima por 5 años. Ambas situaciones de tipo vulnerabilidad operativa para la ASADA.

Luego, el riesgo por desinterés de la comunidad por cuidar el ambiente y el mal manejo de los recursos naturales representa para el acueducto vulnerabilidad desde el punto de vista de sello de calidad, obteniendo una probabilidad de impacto moderada, un grado de consecuencia grave y un nivel de riesgo moderado, el cual se podría solventar mediante la organización de programas anuales de educación ambiental en la comunidad.

Por último, el riesgo a una prevención deficiente asociado a la ignorancia de las zonas vulnerables del sistema para gestionar previamente, al igual que el acueducto anterior se clasificó con un nivel de riesgo severo, siendo la medida correctiva el identificarlas para su gestión. Mientras que el riesgo por poca o nula capacidad financiera para atender los desastres se clasificó con una probabilidad de impacto moderada, un grado de consecuencia grave y un nivel de riesgo moderado, proponiendo la herramienta como medida correctiva aumentar el ahorro dedicado para este fin. Y el riesgo a una mala organización debido a la desarticulación de apoyo entre ASADAS se clasificó igual con un nivel de riesgo moderado, estableciéndose como solución coordinar alianzas entre ASADAS vecinas para proveer apoyo mutuo, tanto en mano de obra, materiales y abastecimiento del sistema. Ya que lo descrito anteriormente representa para el acueducto vulnerabilidad en la atención de emergencias.

| Tipo Vulnerabilidad | Tipo de componente | Amenaza | Medida correctiva | Probabilidad de impacto de la amenaza | Grado de consecuencia de la amenaza | Nivel de Riesgo |
|---------------------|-------------------------------------|---|---|---------------------------------------|-------------------------------------|-----------------|
| Sanitaria | Líneas de Conducción y Distribución | Contaminación por fuga en la línea de conducción | Las fugas son fuente potencial de microorganismos y ocasionan pérdidas económicas a la ASADA, identificar y corregir fugas en la línea de conducción | Moderada | Grave | Moderado (III) |
| Sanitaria | Naciente | Contaminación por cercanía de letrinas, animales, viviendas y basura | Identificar y corregir fuentes de contaminación alrededor de la captación (letrinas, animales, basura, viviendas) | Moderada | Muy Grave | Severo (II) |
| Sanitaria | Naciente | Contaminación por cercanía de actividad agrícola | Identificar si las actividades agrícolas o industriales cercanas a la captación generan contaminación | Alta | Grave | Severo (II) |
| Sanitaria | Pozo | Contaminación por letrinas o tanques sépticos cercanos | Identificar aquellas fuentes de materia fecal cerca de las tuberías o fuentes con el fin de tomar medidas de control de los focos de contaminación | Baja | Grave | Moderado (III) |
| Infraestructura | Prevención | Contaminación por materia fecal en el agua | Identificar aquellas fuentes de materia fecal cerca de las tuberías o fuentes con el fin de tomar medidas de control de los focos de contaminación | Moderada | Grave | Moderado (III) |
| Infraestructura | Prevención | Altos costos de reparación en caso de desastres | Identificar posibles mejoras en la ubicación o infraestructura de los componentes, de manera que se disminuya la vulnerabilidad del sistema | Muy Alta | Muy Grave | Muy Severo (I) |
| Operativa | Caudal | Desabastecimiento de agua | Validar mediante un estudio de disponibilidad hídrica las opciones de incremento de la demanda para cubrir mínimo los siguientes 5 años | Alta | Muy Grave | Muy Severo (I) |
| Operativa | Caudal | Desinformación sobre posibles fuentes de recarga subterránea que sean afectadas por contaminación | Investigar y documentar las fuentes de agua subterránea | Alta | Grave | Severo (II) |
| Operativa | Procedimientos | Procedimientos de control y mantenimiento desactualizados | Revisar anualmente los procedimientos de control con el fin de buscar mejoras en los mismos | Moderada | Leve | Moderado (III) |
| Sello de Calidad | Cambio climático | Desinterés de la comunidad por cuidar el ambiente, mal manejo de los recursos naturales | Organizar programas anuales de educación ambiental en la comunidad como: talleres, campañas de limpieza, videos informativos, reforestación, entre otros. | Moderada | Grave | Moderado (III) |
| Emergencias | Financiero | Poca o nula capacidad financiera para atender los desastres | Crear un asiento contable dedicado a generar un ahorro, el cual servirá como respaldo al ser afectado por un desastre | Moderada | Grave | Moderado (III) |
| Emergencias | Prevención | Ignorancia de las zonas vulnerables para poder gestionar previamente el riesgo | Identificar y gestionar el riesgo de las zonas más vulnerables del sistema | Alta | Grave | Severo (II) |
| Emergencias | Organización | Desarticulación de apoyos entre ASADAS | Coordinar alianzas entre ASADAS vecinas para proveer apoyo mutuo en caso de emergencias | Moderada | Grave | Moderado (III) |

Figura N° 5.10: Valoración del riesgo, medidas correctivas a implementar en el Plan GIRA, ASADA San Pedro de Barva (elaboración propia).

5.3 Administración del riesgo en las ASADAS de San José de la Montaña y San Pedro de Barva

La administración del riesgo consiste en la elaboración de un plan de acción separado en dos matrices donde se establecen los pasos a seguir, responsables, financiamiento, monto aproximado de inversión y fechas aproximadas de inicio y finalización. La primera matriz se enfoca en las medidas correctivas, las cuales consisten en mejoras en la infraestructura y mantenimiento del sistema según las necesidades identificadas en la sección de análisis de riesgos, y la segunda, corresponde a la creación de proyectos estratégicos de prevención y mitigación de riesgos con visión de futuro, donde se realicen acciones preventivas de mayor impacto.

A. ASADA San José de la Montaña

Con respecto a las medidas correctivas a implementar en el acueducto de San José de la Montaña, ver figura N° 5.11. Desde el punto de vista sanitario en relación a las

nacientes, se busca identificar y subsanar la posible afectación por derrame de sustancias tóxicas en las nacientes que según el análisis realizado en la caracterización de esta amenaza resultaron más susceptibles, entre ellas las nacientes José Maclovio y Minas al ubicarse en el cauce de la quebrada Naborí, clasificada como de potencial moderado a la contaminación, según el estudio consultado en este trabajo de investigación, así como por los incidentes de presencia de desechos en la quebrada y por las actividades agropecuarias que se realizan en fincas cercanas aguas arriba.

Ligado a lo anterior, desde el punto de vista infraestructural, también se propone identificar fuentes de materia fecal, así como establecer un monitoreo periódico de coliformes fecales y *Escherichia Coli* en las nacientes identificadas con esta problemática, como lo son San Miguel debido a la presencia de una casa de habitación aguas arriba y Barbas de Viejo, la cual presenta un desarrollo urbano no planificado aguas arriba y que podría perjudicar la calidad del agua.

Luego, igualmente desde el punto de vista infraestructural, en relación a los altos costos de reparación en caso de desastres, se priorizará fortalecer el paso elevado sobre el afluente del río Porrosatí, ver figura N° 4.40, ya que resultó ser el más vulnerable, así como dar un seguimiento a los demás.

Desde la parte de atención a emergencias, se fortalecerá mediante infraestructura y se asegurarán los componentes, así como se preverá la compra de materiales y equipo necesario para reparar oportunamente la afectación, partiendo del análisis realizado por la herramienta GIRA en cuanto a los componentes más susceptibles y el valor por impacto más alto.

Por último, desde la parte operativa, se elaborarán los manuales correspondientes a los procedimientos operativos de control de presiones, fugas e instalación de tuberías y nuevas conexiones y se implementarán las recomendaciones del estudio integral de la ASADA (tanques de almacenamiento y captación), lo cual por su monto elevado de inversión corresponde a un proyecto dentro de las medidas preventivas a implementar en el acueducto, ver figura N° 5.12, estableciéndose como pasos a seguir la elaboración de un estudio financiero que contemple el costo de las obras recomendadas en el estudio, así como su logística, ubicación, diseño y materiales.

Igualmente, relacionado a estas recomendaciones, como segundo proyecto se establece el gestionar la captación y aprovechamiento de la naciente Cerro de Piedra, como una fuente de abastecimiento alternativa para aumentar el caudal aprovechable en el acueducto y de esta forma solventar el posible faltante de agua en el sector del sistema Gallito, lo anterior también como medida previsoras en respuesta al escenario de sequía producto del cambio climático propuesto por el IMN.

Finalmente, el último proyecto estaría enfocado en gestionar con respecto a las nacientes, la protección de las zonas de recarga y/o el área de protección de un radio de 200 m establecida por el artículo 31 de la ley de Aguas N° 276, esto mediante la realización de una lista de las posibles afectaciones y sus causantes, el entablar vínculos de

comunicación con las personas o empresas responsables para llegar a soluciones en corto o mediano plazo y como última opción, planificar de ser posible debido a su alto costo, la compra de terrenos aledaños a las nacientes aguas arriba.

| | | | | PLAN DE GESTIÓN DE RIESGOS | | | | | |
|---------------------|--------------------|---|--|----------------------------|--------------------------|--|----------------------------------|-----------------|-----------------------|
| Tipo Vulnerabilidad | Tipo de componente | Riesgo Asociado | Medida | Monto de Inversión aprox | Fuente de financiamiento | Pasos a seguir para la solución propuesta | Responsables | Fecha de inicio | Fecha de finalización |
| Sanitaria | Naciente | Contaminación por cercanía de letrinas, animales, viviendas y basura | Identificar y corregir fuentes de contaminación alrededor de la captación (letrinas, animales, basura, viviendas) | 1-5 millones | Tarifa ordinaria | Identificar y buscar subsanar la posible afectación por derrame de sustancias tóxicas en las nacientes susceptibles. | Equipo técnico | jul-22 | dic-22 |
| Infraestructura | Prevención | Contaminación por materia fecal en el agua | Identificar aquellas fuentes de materia fecal cerca de las tuberías o fuentes con el fin de tomar medidas de control de los focos de contaminación | 1-5 millones | Tarifa ordinaria | Identificar y buscar subsanar la posible afectación por derrame de sustancias tóxicas en las nacientes susceptible. Establecer un monitoreo periódico de coliformes fecales y Escherichia Coli en las nacientes identificadas con esta problemática. | Equipo técnico | jul-22 | dic-22 |
| Infraestructura | Prevención | Altos costos de reparación en caso de desastres | Identificar posibles mejoras en la ubicación o infraestructura de los componentes, de manera que se disminuya la vulnerabilidad del sistema | 10 millones | Tarifa ordinaria | Fortalecer mediante infraestructura resistente los componentes identificados mediante la herramienta GIRA más susceptibles y con el valor por impacto más alto. Fortalecer el paso elevado sobre el afluente del río Porrosatí. Elaborar un diseño de la obra, así como el costo estimado de la misma. | Junta Directiva y Administración | jul-22 | jul-23 |
| Operativa | Caudal | Desabastecimiento de agua | Validar mediante un estudio de disponibilidad hídrica las opciones de incremento de la demanda para cubrir mínimo los siguientes 5 años | 200 millones | Búsqueda de fondos | Implementar las recomendaciones del Estudio Integral de la ASADA (tanques de almacenamiento y captación) | Junta Directiva | jul-22 | dic-25 |
| Operativa | Caudal | Desinformación sobre posibles fuentes de recarga subterránea que sean afectadas por contaminación | Investigar y documentar las fuentes de agua subterránea | | | | | | |
| Operativa | Procedimientos | Procedimientos de control y mantenimiento desactualizados | Revisar anualmente los procedimientos de control con el fin de buscar mejoras en los mismos | 1 millón | Tarifa ordinaria | Elaborar los manuales correspondientes a los procedimientos operativos de control de presiones, fugas e instalación de tuberías y nuevas conexiones. | Administración y Equipo técnico | jul-22 | jul-23 |
| Emergencias | Prevención | Ignorancia de las zonas vulnerables para poder gestionar previamente el riesgo | Identificar y gestionar el riesgo de las zonas más vulnerables del sistema | 10 millones | Tarifa ordinaria | Fortalecer mediante infraestructura resistente los componentes identificados mediante la herramienta GIRA más susceptibles y con el valor por impacto más alto. Prever la compra de materiales y equipo necesario para reparar oportunamente la afectación de las amenazas identificadas con la probabilidad de ocurrencia más alta. Asegurar los componentes de la ASADA identificados como los más susceptibles y con el valor por impacto más alto. | Junta Directiva y Administración | jul-22 | jul-23 |

Figura N° 5.11: Plan de gestión de riesgos, medidas correctivas, ASADA San José de la Montaña (elaboración propia).

| Nombre del proyecto | Medidas preventivas propuestas | DEFINICIÓN DEL PLAN DE GESTIÓN DE RIESGOS | | | | | |
|--|---|---|---------------------------------|--|--|-----------------|-----------------------|
| | | Monto de Inversión aprox | Fuente de financiamiento | Pasos a seguir para la solución propuesta | Responsables | Fecha de inicio | Fecha de finalización |
| Gestionar la captación y aprovechamiento de la naciente Cerro de Piedra | Analizar la logística de captación y conducción del caudal aprovechable al sistema de la ASADA | 150 millones | Otras fuentes de financiamiento | Elaborar un diseño preliminar de la captación, así como de la ubicación de quebra gradientes y extensión de la tubería de conducción. Realizar un estudio financiero a detalle para estimar el costo total de la obra. | Junta Directiva | ene-22 | dic-25 |
| Gestionar la protección de las zonas de recarga de las nacientes | Analizar con base en los resultados de la herramienta GIRA la identificación de las nacientes más susceptibles. | 500 millones | Tarifa hídrica | Realizar una lista de las posibles afectaciones y sus causantes. Entablar vínculos de comunicación con las personas o empresas responsables para llegar a soluciones en un corto a mediano plazo. Planificar de ser posible la compra de terrenos aledaños a la naciente y obras de captación. | Gestor ambiental, Administración y Junta Directiva | jul-22 | dic-25 |
| Implementar las recomendaciones del Estudio Integral de la ASADA (tanques de almacenamiento y captación) | Evaluar desde el punto de vista logístico y financiero las recomendaciones propuestas. | 200 millones | Otras fuentes de financiamiento | Elaborar un estudio financiero que contemple el costo de las obras recomendadas en el estudio. Evaluar desde un punto de vista logístico, la ubicación, diseño y materiales de las obras recomendadas. | Junta Directiva | jul-22 | dic-25 |

Figura N° 5.12: Plan de gestión de riesgos, medidas preventivas, ASADA San José de la Montaña (elaboración propia).

B. ASADA San Pedro de Barva

Dentro de las medidas correctivas a implementar en la ASADA San Pedro de Barva, ver figura N° 5.14. Desde el punto de vista sanitario, al igual que el acueducto anterior, se busca identificar y subsanar la posible afectación por derrame de sustancias tóxicas en las nacientes susceptibles, que en el caso de este acueducto, al encontrarse todas relativamente cerca, en el cauce de la quebrada Naborí, presentan moderada susceptibilidad debido a la clasificación de potencial moderado a la contaminación de este cuerpo de agua según el estudio consultado en este trabajo final de graduación, sumado al hecho que cerca de las captaciones aguas arriba se desarrolla una actividad de exportación de madera que podría afectar la cantidad y calidad del agua debido a la deforestación puntual en el sitio.

También, tanto para las nacientes como para el pozo, desde el punto de vista sanitario e infraestructural, se identificarán posibles fuentes de materia fecal, llevando un control periódico de calidad del agua y, además, con respecto a las líneas de conducción y distribución, se propone revisar periódicamente y reparar las fugas existentes en el sistema.

Como medida desde el punto de vista infraestructural, se fortalecerá primeramente el paso elevado sobre la quebrada Amanda, ya que este resultó ser el más susceptible, debido a la cercanía con el tanque San Pedro, el de mayor capacidad de almacenamiento, y porque también este ya ha sufrido daños en tiempo reciente producto de la inestabilidad en el cauce, que causan la caída de árboles que perjudican la tubería y la estructura. Mientras que con respecto a los demás, se les realizará un seguimiento en orden de prioridad.

Desde el punto de vista operativo, se continuará la gestión del pozo perforado como fuente subterránea alternativa para el acueducto y se elaborará un estudio hidrogeológico para conocer las zonas de protección de las nacientes y pozo Doña Elena, lo anterior en respuesta a la amenaza de sequía y disminución de caudal como consecuencia del cambio climático según proyecciones del IMN para finales de este siglo. Además, al igual que la ASADA anterior, se elaborarán los manuales operativos faltantes.

Con respecto al sello de calidad, se abordará el desinterés de la comunidad por cuidar el ambiente y el mal manejo de los recursos naturales, mediante la elaboración de programas comunales sobre educación ambiental, en conjunto con otros organismos del cantón.

Finalmente, desde la parte de atención de emergencias, el acueducto consideró necesario el aumentar el ahorro destinado para este fin, elaborar planes conjuntos entre operadores cercanos para subsidio o préstamo de materiales y mano de obra, así como el identificar y gestionar el riesgo de las zonas más vulnerables del sistema y de valor más alto por impacto, según el análisis realizado por la herramienta GIRA, mediante la compra previa de materiales y equipo para reparación y fortalecimiento de la infraestructura.

Por otra parte, las medidas preventivas, ver figura N° 5.13, incluyen el mantener actualizado el estudio integral, de forma que se puede identificar los aspectos de mejora del acueducto en cuanto a captación, conducción, almacenamiento y distribución, con el fin de solucionar problemas de desabastecimiento en un mediano y largo plazo; el realizar un mantenimiento al pozo, una vez se haya realizado y se encuentre en funcionamiento, como por ejemplo, realizar periódicamente limpieza, verificar la vida útil de la bomba y verificar su capacidad de producción mediante una prueba de bombeo, ya que esta fuente representa la alternativa del acueducto para solventar problemas de abastecimiento en un futuro y al igual que la ASADA anterior, el gestionar la protección de las zonas de recarga y/o áreas de protección establecidas por ley de las nacientes y pozos mediante la identificación de posibles fuentes de contaminación, comunicación con las personas o empresas cercanas y la compra de terrenos cercanos aguas arriba.

| | | DEFINICIÓN DEL PLAN DE GESTIÓN DE RIESGOS | | | | | |
|---|--|---|---------------------------------|--|---|-----------------|-----------------------|
| Nombre del proyecto | Medidas preventivas propuestas | Monto de Inversión aprox | Fuente de financiamiento | Pasos a seguir para la solución propuesta | Responsables | Fecha de inicio | Fecha de finalización |
| Estudio integral y de disponibilidad hídrica con proyección a 10 años | Mantener actualizado el estudio integral. | Entre 1 y 20 millones | Otras fuentes de financiamiento | Identificar los aspectos de mejora del acueducto en cuanto a captación, conducción, almacenamiento y distribución, para solucionar problemas de desabastecimiento en un mediano y largo plazo. | Junta Directiva y Equipo administrativo | jul-22 | jul-32 |
| Realizar mantenimiento al pozo. | Asegurar el funcionamiento óptimo del pozo como fuente de abastecimiento alternativa para el acueducto | Entre 1 y 20 millones | Tarifa ordinaria | Realizar periódicamente: Limpieza del pozo. Constatar el funcionamiento de la bomba. Verificar la capacidad de extracción (caudal y abatimiento) del pozo. | Junta Directiva, Equipo administrativo y Equipo técnico | jul-22 | jul-32 |
| Gestionar la protección de las zonas de recarga de las nacientes y pozo | Analizar con base en los resultados de la herramienta GIRA y las zonas de protección de las nacientes la identificación de las nacientes más susceptibles. | Entre 500 y 800 millones | Otras fuentes de financiamiento | Realizar una lista de las posibles afectaciones y sus causantes. Entablar vínculos de comunicación con las personas o empresas responsables para llegar a soluciones en un corto a mediano plazo. Planificar de ser posible la compra de terrenos aledaños a la naciente y obras de captación. | Junta Directiva y Equipo administrativo. | jul-22 | jul-32 |

Figura N° 5.13: Plan de gestión de riesgos, medidas preventivas, ASADA San Pedro de Barva (elaboración propia).

| | | | | PLAN DE GESTIÓN DE RIESGOS | | | | | |
|---------------------|-------------------------------------|---|---|----------------------------|--------------------------|--|---|-----------------|-----------------------|
| Tipo Vulnerabilidad | Tipo de componente | Riesgo Asociado | Medida | Monto de Inversión aprox | Fuente de financiamiento | Pasos a seguir para la solución propuesta | Responsables | Fecha de inicio | Fecha de finalización |
| Sanitaria | Líneas de Conducción y Distribución | Contaminación por fuga en la línea de conducción | Las fugas son fuente potencial de microorganismos y ocasionan pérdidas económicas a la ASADA, identificar y corregir fugas en la línea de conducción | Entre 50 mil y 4 millones | Tarifa ordinaria | Revisar periódicamente y reparar las fugas existentes en el sistema. | Equipo operativo | jul-22 | ago-23 |
| Sanitaria | Naciente | Contaminación por cercanía de letrinas, animales, viviendas y basura | Identificar y corregir fuentes de contaminación alrededor de la captación (letrinas, animales, basura, viviendas) | Entre 50 mil y 4 millones | Tarifa ordinaria | Identificar y buscar subsanar la posible afectación por derrame de sustancias tóxicas en las nacientes susceptibles. | Equipo operativo y administrativo | jul-22 | jul-24 |
| Sanitaria | Naciente | Contaminación por cercanía de actividad agrícola | Identificar si las actividades agrícolas o industriales cercanas a la captación generan contaminación | Menor a 100 mil | Tarifa ordinaria | Elaborar un plan para mitigación de efectos de contaminación. | Equipo administrativo | jul-22 | jul-24 |
| Sanitaria | Pozo | Contaminación por letrinas o tanques sépticos cercanos | Identificar aquellas fuentes de materia fecal cerca de las tuberías o fuentes con el fin de tomar medidas de control de los focos de contaminación | Entre 100 mil y 1 millón | Tarifa ordinaria | Identificar y buscar subsanar la posible afectación por derrame de sustancias tóxicas. Establecer un monitoreo periódico de coliformes fecales y Escherichia Coli. | Equipo administrativo | jul-22 | jul-23 |
| Infraestructura | Prevención | Contaminación por materia fecal en el agua | Identificar aquellas fuentes de materia fecal cerca de las tuberías o fuentes con el fin de tomar medidas de control de los focos de contaminación | Entre 100 mil y 1 millón | Tarifa ordinaria | Identificar y buscar subsanar la posible afectación por derrame de sustancias tóxicas en las nacientes susceptibles. Establecer un monitoreo periódico de coliformes fecales y Escherichia Coli en las nacientes identificadas con esta problemática. | Equipo administrativo | jul-22 | jul-23 |
| Infraestructura | Prevención | Altos costos de reparación en caso de desastres | Identificar posibles mejoras en la ubicación o infraestructura de los componentes, de manera que se disminuya la vulnerabilidad del sistema | Entre 1 y 50 millones | Búsqueda de fondos | Fortalecer mediante infraestructura resistente los componentes identificados mediante la herramienta GIRA más susceptibles y con el valor por impacto más alto. Fortalecer el paso elevado sobre la quebrada Amanda. Elaborar un diseño de la obra, así como el costo estimado de la obra. | Junta Directiva y Equipo administrativo | jul-22 | ago-22 |
| Operativa | Caudal | Desabastecimiento de agua | Validar mediante un estudio de disponibilidad hídrica las opciones de incremento de la demanda para cubrir mínimo los siguientes 5 años | Entre 1 y 20 millones | Búsqueda de fondos | Mantener actualizado el estudio integral y de disponibilidad hídrica con proyección a 10 años. | Junta Directiva y Equipo administrativo | jul-22 | jul-32 |
| Operativa | Caudal | Desinformación sobre posibles fuentes de recarga subterránea que sean afectadas por contaminación | Investigar y documentar las fuentes de agua subterránea | Menor a 70 millones | Búsqueda de fondos | Elaborar un estudio hidrogeológico para conocer las zonas de protección de las nacientes y pozo. | Junta Directiva y Equipo administrativo | jul-22 | jul-24 |
| | | | | 500 millones | Tarifa ordinaria | Continuar la gestión del pozo perforado como fuente subterránea alternativa para el acueducto. | Junta Directiva y Equipo administrativo | jun-22 | jun-23 |
| Operativa | Procedimientos | Procedimientos de control y mantenimiento desactualizados | Revisar anualmente los procedimientos de control con el fin de buscar mejoras en los mismos | Menor a 2 millones | Búsqueda de fondos | Elaborar los manuales correspondientes a los procedimientos operativos de control de presiones, fugas e instalación de tuberías y nuevas conexiones. | Equipo administrativo y operativo | jul-22 | jul-24 |
| Sello de Calidad | Cambio climático | Desinterés de la comunidad por cuidar el ambiente, mal manejo de los recursos naturales | Organizar programas anuales de educación ambiental en la comunidad como: talleres, campañas de limpieza, videos informativos, reforestación, entre otros. | 5 millones | Búsqueda de fondos | Elaborar programas comunales en conjunto con otros organismos del cantón. | Equipo administrativo | jul-22 | jul-24 |
| Emergencias | Financiero | Poca o nula capacidad financiera para atender los desastres | Crear un asiento contable dedicado a generar un ahorro, el cual servirá como respaldo al ser afectado por un desastre | 2 millones | Búsqueda de fondos | Aumentar el ahorro destinado para atención de emergencias. | Equipo administrativo | jul-22 | jul-23 |
| Emergencias | Prevención | Ignorancia de las zonas vulnerables para poder gestionar previamente el riesgo | Identificar y gestionar el riesgo de las zonas más vulnerables del sistema | Entre 1 y 20 millones | Búsqueda de fondos | Fortalecer mediante infraestructura resistente los componentes identificados mediante la herramienta GIRA más susceptibles y con el valor por impacto más alto. Prever la compra de materiales y equipo necesario para reparar oportunamente la afectación de las amenazas identificadas con la probabilidad de ocurrencia más alta. Asegurar los componentes de la ASADA identificados como los más susceptibles y con el valor por impacto más alto. | Junta Directiva y Equipo administrativo | jul-22 | jul-25 |
| Emergencias | Organización | Desarticulación de apoyos entre ASADAS | Coordinar alianzas entre ASADAS vecinas para proveer apoyo mutuo en caso de emergencias | 1 millón | Tarifa ordinaria | Elaborar planes conjuntos entre operadores cercanos para subsidio o préstamo de materiales y mano de obra. | Junta Directiva y Equipo administrativo | jul-22 | jul-23 |

Figura N° 5.14: Plan de gestión de riesgos, medidas correctivas, ASADA San Pedro de Barva (elaboración propia).

DISCUSIÓN DE RESULTADOS RESPECTO A LA HERRAMIENTA GIRA

Tras la implementación de la herramienta GIRA en las dos ASADAS estudiadas, se procede, en este capítulo, a validar y valorizar los resultados obtenidos desde dos ejes principales, su metodología e interfaz.

6.1 Metodología

Primeramente, desde el punto de vista teórico, el riesgo se obtiene al relacionar la amenaza con la vulnerabilidad de los elementos expuestos, así como con la resiliencia de estos, lo cual les permite recuperarse, de una manera oportuna y efectiva, de los efectos negativos producto del impacto (CNE-INTECO, 2015). Aritméticamente, lo anterior se expresa en la siguiente ecuación.

$$R = \frac{A * E * V}{r}$$

Donde:

R = Riesgo.
A = Amenaza.
E = Exposición.
V = Vulnerabilidad.
r = Resiliencia.

Es decir, las variables en el numerador potencian el riesgo, ya que se parte de la existencia de una amenaza, para la cual, existe un elemento expuesto, que cuenta con una vulnerabilidad que le es intrínseca; mientras que la variable en el denominador, entre mayor sea la resiliencia, menor será el riesgo.

Ahora bien, en un país multiamenaza como lo es Costa Rica, que frecuentemente es afectada por actividad sísmica, volcánica, meteorológica y antrópica, la mayoría de las estructuras y edificaciones que componen los sistemas de captación, almacenamiento y distribución de agua potable custodiados por las ASADAS, son vulnerables debido a características propias como son los materiales y técnicas de construcción, su vida útil o por ubicación e influencia de amenazas naturales y antrópicas, por lo que se deduce que la vulnerabilidad no puede ser cero desde el punto de vista de gestión del riesgo, ya que esto condiciona un valor de riesgo cero.

Esto implica desde el punto de vista metodológico de la herramienta GIRA, que considerar la vulnerabilidad operativa, sanitaria, administrativa e infraestructural con valor cero, si la respuesta es positiva a todas las preguntas del cuestionario correspondiente, ver figuras N°4.1 y 4.4, contradice la teoría del riesgo, ya que este se indefiniría, y por lo tanto no tendría razón de ser la elaboración de los planes de acción en cuanto a medidas correctivas y preventivas, porque no existiría riesgo alguno.

Por ejemplo, es erróneo que la herramienta GIRA para el plan de gestión de riesgos (medidas correctivas) de la ASADA San José de la Montaña, figura N° 5.11, incorpore aspectos a mejorar por vulnerabilidad infraestructural, cuando en la visualización de los resultados de la misma ASADA se indica que esta vulnerabilidad tiene como valor cero, ver figura N° 5.1.

De igual forma, debido a problemas de automatización en la interfaz de ambas ASADAS, figuras N° 5.1 y 5.4, un gráfico de barras muestra el resultado del análisis con respecto a la vulnerabilidad administrativa con un valor negativo, lo cual no concuerda con el fundamento teórico y tampoco con las respuestas al cuestionario, ya que como se describió en el subcapítulo, Vulnerabilidad funcional, la ASADA de San Pedro respondió afirmativamente todas las preguntas y su valor fue de - 4%, mientras que la ASADA de San José de la Montaña respondió negativamente solamente a una y su valor fue de -2 %. Sin embargo, en ambos casos la herramienta las cataloga con una vulnerabilidad muy baja, lo cual concuerda con lo contestado, pero su visualización no es clara y confunde al desarrollador y futuro lector.

Otro ejemplo de error teórico en la gestión del riesgo por parte de la herramienta GIRA, es que en la etapa número 3 de su metodología, Análisis de amenazas, en el listado de amenazas naturales que se encuentran para su descripción, se incluye las erupciones volcánicas, sin embargo, en el cuadro de estimación del nivel de exposición, ver figuras N° 4.59 y 4.62, no se encuentra. Es decir, la herramienta pide caracterizar la amenaza, pero no da la opción para cuantificar su exposición. Por lo que de igual forma, se indefinire el riesgo con respecto a esta amenaza, y este se estaría excluyendo del plan de acción para las ASADAS.

Luego, en el primer paso de la herramienta GIRA, correspondiente a la caracterización del sistema, se realiza una descripción detallada de los componentes de las ASADAS y un mapa que grafica su distribución y ubicación en el entorno natural y de la comunidad siguiendo la idea de un rompecabezas, utilizando tres tipos de fichas: componentes del ambiente y comunidad, componentes del sistema de acueducto y alcantarillado y posibles amenazas causadas por la acción humana, ver figuras N° 4.1 y 4.3. El error en este mapa se encuentra en el orden lógico de análisis en la gestión del riesgo, ya que la herramienta permite integrar la información para identificar posibles zonas de riesgo clasificadas de alto a bajo según la ubicación de las fichas correspondientes a los componentes y las amenazas antrópicas identificadas. Es decir, generar un mapa de percepción del riesgo, a pesar que este paso corresponde únicamente a la descripción de los componentes del sistema y no se han evaluado las variables de amenaza, exposición y vulnerabilidad para crear uno, lo que provoca confusión en el lector.

Motivo por el cual es incorrecto plantear zonas de riesgo desde una etapa tan temprana en el análisis, sin previo al conocimiento de las variables que caracterizan el riesgo como tal. Siendo oportuno realizar el análisis en este mapa con respecto a la identificación de zonas de riesgo en la última etapa de la metodología, correspondiente a la administración del riesgo, de forma que se puedan ubicar las zonas que requieren la implementación de medidas correctivas o preventivas debido a la clasificación obtenida.

Asimismo, este mapa cuenta con otras deficiencias. La primera es que no existen fichas dentro de la herramienta para señalar amenazas naturales, aunque en ambas ASADAS se logró identificar una zona de alto riesgo en los pasos elevados de tubería, así como también zonas de riesgo bajo en las nacientes y tubería de conducción, al ubicarse ambos componentes cercanos a cauces susceptibles a deslizamientos o crecidas, y segundo, que su identificación responde a una forma subjetiva de visualizar los componentes y el entorno. Además, al ser una figura representativa, esta carece de escala, por lo que se pierde la equivalencia de las dimensiones del mapa con respecto a la realidad, desconociendo el alcance que el impacto de una amenaza pueda tener y por lo tanto el riesgo que verdaderamente representa para el acueducto.

Por otra parte, en cuanto a la identificación de amenazas, pero en la misma línea de problemas por escala, la herramienta GIRA menciona como insumos para caracterizarlas, el conocimiento generado por la CNE en cuanto a la información sobre amenazas naturales, ya que los mapas generados por la institución son considerados de carácter oficial para el país. No obstante, los mapas de la CNE se encuentran a una escala cantonal, y no a una escala de subcuenca, unidad geográfica que utiliza la herramienta GIRA, razón por la cual las amenazas descritas en estos mapas pueden no llegar a ser representativas para la zona de estudio.

Además, estos mapas si bien brindan información valiosa, son de poco alcance a la hora de caracterizar las amenazas, ya que reducen el concepto a un inventario y la información contenida puede ser cuestionable en su validez científica, limitando su utilización para la toma de decisiones. Es decir, en los mapas de la CNE, por ejemplo, se muestran los deslizamientos existentes, así como el trazo de fallas neotectónicas, más no son mapas de zonificación de inestabilidad de laderas, aceleraciones pico probables o de efectos de sitio en los distintos cantones del país, material más acorde a una caracterización de las amenazas en términos de probabilidad.

Igualmente, en los documentos descriptivos de las amenazas naturales para cada cantón por parte de la CNE, por ejemplo, para el cantón de Barva, se menciona con respecto a la amenaza volcánica que, si se han reconocido evidencias geológicas que indican actividad importante en tiempo geológico relativamente reciente, sin especificar cuáles evidencias, y de igual forma sucede con la amenaza sísmica, en la que se indica que el cantón ha sufrido daños de significancia a causa de las fuentes sísmicas de Bajos del Toro y falla Alajuela, sin indicar igualmente cuáles fueron esos daños, por lo que se tiene un inventario de amenazas sin un correspondiente documento descriptivo de estas.

Ahora bien, a la hora de analizar las amenazas, en el mapa de la CNE para el cantón de Barva, figura N° 4.21, la falla Alajuela se encuentra fuera de los límites del cantón, cerca del sector suroeste donde se encuentra el distrito y acueducto de San Pedro. Si el equipo encargado de completar la herramienta GIRA únicamente contempla los rasgos geológicos que se revierten en amenazas, ubicados dentro del área de estudio, el análisis del sistema obviará esta amenaza, a partir de la justificación, inválida, de que la falla no se extiende por su sistema. Sin embargo, al consultar estudios de mayor criterio técnico-científico, el mapa de aceleración máxima para un posible sismo de 6,4 Mw a 10 km de profundidad en la falla

Alajuela según la simulación numérica del Laboratorio de Ingeniería Sísmica de la Universidad de Costa Rica, ver figura N° 4.31, permite observar como la zona de distribución del acueducto San Pedro, se encuentra dentro del área con aceleración máxima probable de 50% g e intensidades entre VII-VIII, correspondientes con un movimiento severo a muy fuerte y un gran a moderado daño en las estructuras.

Por lo que, al considerar una información más robusta sobre la amenaza sísmica, esta clasificó como la segunda amenaza con nivel de consecuencia más alto para el acueducto, con un porcentaje de 58% y clasificación grave, así como la segunda con el valor total de impacto más alto, ₡56 733 333 y un nivel de exposición alto con un valor de 4, ver figura N° 5.6. Siendo importante, el criterio profesional en la aplicación de la herramienta para brindar apoyo a los miembros de la ASADA y/o Junta Directiva que la esté aplicando en sus acueductos.

Lo anterior demuestra, que no hay que limitarse a las amenazas existentes dentro del área de estudio, sino que también hay que incluir las cercanas o todas aquellas que puedan llegar a afectar los sistemas estudiados, de modo que se conozca su probabilidad y consecuencia, y por tanto el riesgo para con el acueducto. Un ejemplo de lo anterior, fue lo experimentado por los poblados de Sarchí y Naranjo, que sufrieron daños estructurales a raíz del terremoto de Sámara, del 5 de septiembre de 2012 cuyo epicentro se ubicó frente a las costas de la península de Nicoya, a pesar de encontrarse lejos del epicentro, debido a los efectos de sitio (características geológicas, geotécnicas y geomorfológicas) las causantes de la afectación en estos poblados (Peraldo et al., 2012). En el sector de San Pedro se mencionan daños menores como rotura de tuberías debido a la caída de árboles, así como por el movimiento sísmico en sí, a raíz del terremoto de Piedras Negras (Córdoba, L.F., comunicación personal, 17 de mayo del 2021), el cual según Montero y Rojas (2014) ocurrió en la falla Picagres el 22 de diciembre de 1990, es decir, una falla ubicada aún más lejana que la falla Alajuela, por lo que no se puede restringir el análisis de riesgo por sismicidad al área de estudio inmediata.

Similar al contexto anterior, la herramienta GIRA propone dentro de las medidas correctivas en el cuadro de valorización del riesgo con respecto a las fuentes de agua (ver figuras N° 5.8 y 5.10), identificar las fuentes de contaminación cercanas a la naciente o pozo, sin especificar a qué hace referencia con “cercanía”. Ya que, a nivel legal, las nacientes para abastecimiento público poseen un radio de protección de 200 m y los pozos un radio de 40 m según la Ley de Aguas N° 276 y sus reformas, mientras con un mayor criterio técnico-científico existen las áreas de recarga, con las cuales cuenta el acueducto de San José de la Montaña, y que involucran más área.

Por lo que se repite de forma similar la problemática del área de análisis, pero ahora con respecto a la amenaza por derrame de sustancias tóxicas y desarrollo urbano no planificado, ya que por ejemplo, la ASADA de San José de la Montaña tiene protegida el área circundante a las nacientes San Miguel y Barbas de Viejo, sin embargo, la primera ha presentado problemas de coliformes fecales debido a una casa de habitación ubicada en su área de recarga (Sanabria, I., comunicación personal, 25 de marzo del 2022), y la

segunda presenta problemas por desarrollo urbano no planificado igualmente en su área de recarga, ver figura N° 4.55.

Otro ejemplo, en relación a lo anterior, es que la herramienta al considerar las amenazas dentro de la subcuenca, el análisis realizado en las ASADAS en estudio únicamente valoró la afectación que los componentes tendrían por actividad volcánica del volcán Barva, el cual, al encontrarse en un periodo de quietud, consideraron baja su exposición, obviando la afectación que podrían tener por caída de ceniza proveniente de los volcanes Poás y Turrialba, los cuales si se encuentran activos.

Otros insumos que menciona la herramienta GIRA para caracterizar las amenazas son la información disponible en el Sistema de Apoyo y Gestión de ASADAS (SAGA) del AyA y el conocimiento local de las personas relacionadas con actividades técnicas, administrativas y de Junta Directiva en las ASADAS.

Específicamente, con respecto a la información del sistema SAGA, dentro de los archivos descargables en la página web del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) donde se encuentra la herramienta GIRA, se encuentra un archivo (.kml), el cual al abrirlo en Google Earth o algún sistema de información geográfica, brinda información de las distintas fuentes de agua de cada una de las ASADAS del país. En el caso de las nacientes de la ASADA San Pedro, dentro de sus atributos de información se indica que como amenaza presentan inestabilidad de laderas, sin especificar si es que existe algún deslizamiento cercano que las pueda afectar o si es probable que se puedan ver afectadas por uno, pero con respecto a las nacientes de la ASADA de San José de la Montaña, no se menciona ninguna afectación, sin que se aclare que la no afectación es porque no hay ninguna amenaza que las afecte, o por el contrario, que no hay información al respecto.

Sin embargo, como se mencionó en el análisis de este estudio, las nacientes de la ASADA San Pedro y las nacientes José Maclovio y Minas de la ASADA San José de la Montaña, comparten la subcuenca de la quebrada Naborí, la cual según el análisis de susceptibilidad a deslizamientos realizado en esta práctica dirigida mediante la metodología MVM, presenta una alta susceptibilidad a la inestabilidad de laderas, motivo por el cual las nacientes de San José de la Montaña deberían poseer la misma información en sus atributos, lo cual evidencia que la base de datos de este sistema no está actualizada, la información no es del todo clara y no integra la información disponible.

De igual forma, al alimentar la base de información SAGA la herramienta GIRA, esta presenta problemas a la hora de caracterizar los acueductos, ya que al analizar la información de la ficha técnica que se despliega en la herramienta, con la información brindada por las ASADAS para este trabajo de investigación, como lo son el número de abonados, nacientes concesionadas, el total de componentes y los diferentes sistemas que las componen, la información no concuerda, lo cual refleja nuevamente que la base de datos SAGA no solamente se encuentra desactualizada, sino que evidencia la problemática en el flujo de la información de quienes administran los acueductos con el AyA como ente rector y viceversa, ya que esta herramienta es del año 2019, por lo que si bien pudieron

haber ocurrido cambios en los componentes de los acueductos, no es para que la información difiera tanto. Por ejemplo, que la ficha técnica haga referencia a una cantidad de 4212 abonados para la ASADA de San Pedro, y dicha información contraste con la que dispone la administración que contabiliza 2411 (ver figuras N° 6.2 y 6.3).

Otro aspecto a considerar dentro de la herramienta GIRA y su base de información SAGA, es su definición de subcuenca, ya que tal y como lo expresa su metodología, para brindar a las ASADAS un punto de partida reconocible en su territorio, utiliza como unidad geográfica de análisis la subcuenca donde se ubican sus fuentes de agua. Como se pudo observar en los resultados obtenidos para los acueductos en estudio, la herramienta ubica a la ASADA San José de la Montaña en la subcuenca del río Porrosatí, ver figura N° 4.59, y a la ASADA San Pedro en la subcuenca del río Birrí, ver figura N° 4.62.

Sin embargo, como se puede observar en la figura N° 6.1, a nivel país, según la clasificación de las instituciones gubernamentales en materia de ambiente y escuelas académicas, el área de estudio se encuentra dentro de la cuenca del río Grande de Tárcoles, en la subcuenca del río Virilla. Ahora bien, si observamos el patrón de drenaje, las microcuencas serían por ejemplo la de los ríos Ciruelas y Segundo, que son tributarios al río Virilla como principal río colector, no obstante, estas tampoco corresponden con el área de estudio, esta sería el área comprendida por los ríos Porrosatí, Mancarrón y Ciruelas (parte alta), como ríos tributarios a las microcuencas mencionadas anteriormente.

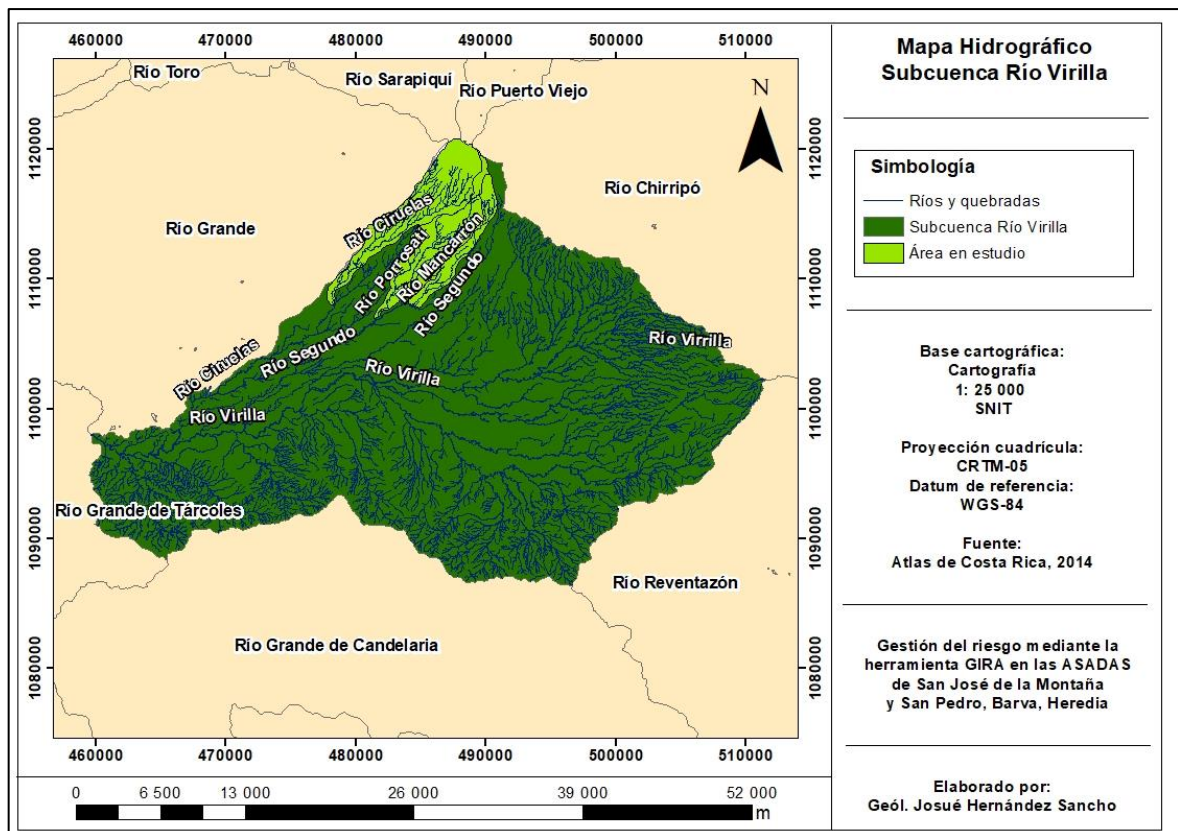


Figura N° 6.1: Mapa hidrográfico, subcuenca río Virilla (elaboración propia).

Ficha Técnica de la ASADA



| | | | | | | |
|-----------------|------------------------|------------------------------|------|------------------------------|-------------|-----|
| Nombre de ASADA | | ASADA SAN JOSE DE LA MONTAÑA | | | IDEO | 957 |
| Provincia | HEREDIA | Número de abonados | 3066 | Tipo de servicios que brinda | Acueducto | SI |
| Cantón | BARVA | Número de comunidades | 8 | | Hidrante | SI |
| Distrito | SAN JOSE DE LA MONTAÑA | Número de sistemas | 3 | | Saneamiento | NO |



Obras de infraestructura por Sistema

| Nombre del sistema | Captación | Desarenador | Conducción | Planta potabilizadora | Tanque de Almacenamiento | Redes de distribución | Sistema de bombeo | Sistema de desinfección |
|--------------------|-----------|-------------|------------|-----------------------|--------------------------|-----------------------|-------------------|-------------------------|
| Total de obras: | 13 | 0 | 6 | 0 | 8 | 8 | 0 | 4 |
| Sistema 1 | 1 | | 1 | | 1 | 1 | | 1 |
| Sistema 2 | 3 | | 3 | | 2 | 1 | | 1 |
| SISTEMA 3 | 9 | | 2 | | 5 | 6 | | 2 |

A

Ficha Técnica de la ASADA



| | | | | | | |
|-----------------|------------------------|------------------------------|------|------------------------------|-------------|-----|
| Nombre de ASADA | | ASADA SAN JOSE DE LA MONTAÑA | | | IDEO | 957 |
| Provincia | HEREDIA | Número de abonados | 1691 | Tipo de servicios que brinda | Acueducto | SI |
| Cantón | BARVA | Número de comunidades | 9 | | Hidrante | SI |
| Distrito | SAN JOSE DE LA MONTAÑA | Número de sistemas | 3 | | Saneamiento | NO |



Obras de infraestructura por Sistema

| Nombre del sistema | Captación | Desarenador | Conducción | Planta potabilizadora | Tanque de Almacenamiento | Redes de distribución | Sistema de bombeo | Sistema de desinfección |
|--------------------|-----------|-------------|------------|-----------------------|--------------------------|-----------------------|-------------------|-------------------------|
| Total de obras: | 13 | 0 | 6 | 0 | 7 | 8 | 0 | 5 |
| Sistema 1 | 8 | | 2 | | 5 | 6 | | 2 |
| Sistema 2 | 4 | | 3 | | 1 | 1 | | 2 |
| SISTEMA 3 | 1 | | 1 | | 1 | 1 | | 1 |

B

Figura N° 6.2: Ficha técnica de la ASADA San José de la Montaña. A) Sin corregir. B) Corregida. (Elaboración propia).

Ficha Técnica de la ASADA



| | | | | | | |
|-----------------|-----------|---|------|------------------------------|-------------|----|
| Nombre de ASADA | | ASOCIACION ADMINISTRADORA DEL ACUEDUCTO DE SAN PEDRO DE BARVA | | IDEO | 947 | |
| Provincia | HEREDIA | Número de abonados | 4212 | Tipo de servicios que brinda | Acueducto | SI |
| Cantón | BARVA | Número de comunidades | 2 | | Hidrante | SI |
| Distrito | SAN PEDRO | Número de sistemas | 1 | | Saneamiento | NO |



Obras de infraestructura por Sistema

| Nombre del sistema | Captación | Desarenador | Conducción | Planta potabilizadora | Tanque de Almacenamiento | Redes de distribución | Sistema de bombeo | Sistema de desinfección |
|--------------------|-----------|-------------|------------|-----------------------|--------------------------|-----------------------|-------------------|-------------------------|
| Total de obras: | 6 | 0 | 6 | 0 | 4 | 2 | 1 | 2 |
| Sistema I | 6 | | 6 | | 4 | 2 | 1 | 2 |

A

Ficha Técnica de la ASADA



| | | | | | | |
|-----------------|-----------|---|------|------------------------------|-------------|----|
| Nombre de ASADA | | ASOCIACION ADMINISTRADORA DEL ACUEDUCTO DE SAN PEDRO DE BARVA | | IDEO | 947 | |
| Provincia | HEREDIA | Número de abonados | 2411 | Tipo de servicios que brinda | Acueducto | SI |
| Cantón | BARVA | Número de comunidades | 6 | | Hidrante | SI |
| Distrito | SAN PEDRO | Número de sistemas | 3 | | Saneamiento | NO |



Obras de infraestructura por Sistema

| Nombre del sistema | Captación | Desarenador | Conducción | Planta potabilizadora | Tanque de Almacenamiento | Redes de distribución | Sistema de bombeo | Sistema de desinfección |
|--------------------|-----------|-------------|------------|-----------------------|--------------------------|-----------------------|-------------------|-------------------------|
| Total de obras: | 10 | 0 | 9 | 0 | 5 | 3 | 1 | 4 |
| Sistema I | 4 | | 4 | | 2 | 1 | | 1 |
| Sistema II | 5 | | 5 | | 2 | 1 | | 2 |
| Sistema III | 1 | | | | 1 | 1 | 1 | 1 |

B

Figura N° 6.3: Ficha técnica de la ASADA San Pedro de Barva. A) Sin corregir. B) Corregida. (Elaboración propia).

Es decir, que la base de información que utiliza la herramienta GIRA hace referencia al término subcuenca a estas unidades mínimas hidrográficas, que en términos de orden de drenaje comprenden máximo hasta un valor de 4, que serían tributarias a las microcuencas si observamos el contexto hidrográfico completo.

Lo anterior es beneficioso para las ASADAS, ya que la herramienta se enfoca específicamente en el área en que se encuentran comprendidos los componentes de sus respectivos acueductos, sin embargo, no deja de ser un término confuso como unidad geográfica al referirse a ellas como subcuencas, ya que a nivel país esta sería la del río Virilla, que pertenece a la cuenca del río Grande de Tárcoles.

Luego, con respecto al conocimiento local del equipo técnico-administrativo, al igual que los mapas de la CNE, la información sería un inventario de la ocurrencia de eventos en un espacio y tiempo definidos, así como cuál fue su afectación, por ejemplo, un deslizamiento, más no sobre la zonificación de inestabilidad de laderas.

Por lo tanto, al ser el objetivo de la herramienta GIRA convertir a las ASADAS en instituciones resilientes ante cualquier tipo de amenaza en el futuro, es que surge la necesidad de empezar a entender el análisis de amenaza en términos de probabilidad de ocurrencia y sobre ello gestionar el riego, y es por ello que en el presente trabajo se consideró no utilizar solamente los insumos propuestos por la herramienta GIRA, sino crear o consultar mayor información con criterio técnico-científico, por ejemplo, desarrollar la metodología (MVM) para estimar la susceptibilidad a la ocurrencia de deslizamientos, consultar modelos sísmicos para conocer la aceleración pico efectiva en el área administrada por las distintas ASADAS, consultar estudios académicos, y realizar observaciones geológicas mediante visitas de campo, para así obtener información que coadyuvará al conocimiento sobre las amenazas que afectarían al sistema de los acueductos, y así poder considerar la afectación a los componentes en un largo plazo. Tal y como nos permitió visualizar los modelos de cambio climático del IMN.

No obstante, hay que visualizar que la metodología que provee la herramienta GIRA es para permitirle a las Juntas Directivas y personal técnico-administrativo de las ASADAS, personas que la herramienta recomienda integren el equipo de trabajo, puedan fortalecer sus capacidades en cuanto a la identificación, evaluación y administración de los riesgos que pueden afectar a sus sistemas y a los servicios que brindan, mediante el reconocimiento de la subcuenca donde se ubican sus fuentes de agua como unidad geográfica de partida, el llenado de cuestionarios para hacer los diagnósticos y el aprovechamiento de información ya disponible en fuentes de fácil acceso y de uso oficial, mencionadas anteriormente, y el rescate del conocimiento local de los integrantes, para poder cumplir con el objetivo de desarrollar el Plan de Gestión Integral de Riesgos y pautar los procedimientos para la prevención y mitigación de los mismos y recuperarse ante eventuales impactos de las amenazas.

Por lo tanto, al ser la temática de gestión del riesgo e identificación de las amenazas no necesariamente de conocimiento obligatorio para los miembros de la comunidad que integran las Juntas Directivas, y tampoco para el personal técnico-administrativo de la

ASADA, ya que este está mejor preparado en temas de plomería y gestión financiera respectivamente, la herramienta GIRA aborda esta temática desde una metodología simple, partiendo primeramente del conocimiento previo y experiencia del personal con respecto al funcionamiento de su acueducto, y segundo, dictaminando las fuentes bibliográficas para acceder de forma práctica a información en cuanto a amenazas, para así identificar los puntos críticos y plantear un plan de trabajo en cuanto a las medidas correctivas y preventivas a realizar y brindar el seguimiento.

No obstante, lo anterior minimiza el análisis en la identificación de las amenazas, tal y como quedó demostrado con respecto a la amenaza sísmica por parte de la ASADA de San Pedro, la cual si solo hubiera utilizado la información del mapa de la CNE y no la información del Laboratorio de Ingeniería Sísmica, hubiera subestimado el impacto de esta amenaza, al no considerar que los componentes del sistema de distribución se encontraban expuestos y por lo tanto, el subestimar igualmente el riesgo que esto representa para el acueducto, minimizando el alcance y efectividad de la herramienta como instrumento para incorporar la gestión del riesgo en la administración de las ASADAS.

Lo anterior es consecuencia, de que la herramienta proponga que sean las mismas personas del equipo técnico-administrativo o de Junta Directiva, personas inexpertas en la temática de identificación de las amenazas y gestión del riesgo, las responsables de analizar dicha información y plasmar sus interpretaciones en la confección del plan de gestión, lo cual conlleva a un aumento en los errores y a un análisis subestimado del riesgo.

Según los resultados obtenidos en este trabajo final de graduación, al profundizar más desde un punto de vista técnico-científico sobre la identificación y la caracterización de las amenazas, el producto final resulta más enriquecedor para las ASADAS, ya que, si bien la herramienta GIRA identifica medidas correctivas y preventivas, el uso de la herramienta sin apoyo técnico-científico en la temática, conlleva a que la mayoría de las medidas sean de carácter correctivo y en un corto plazo, como lo son las mejoras en la infraestructura y mantenimiento del sistema. Mientras que, si se cuenta con una guía profesional, el porcentaje de medidas preventivas aumenta, de forma que el enfoque del plan de trabajo involucra proyectos estratégicos de prevención y mitigación, como reubicar algún componente del acueducto a un sitio más seguro, proteger las zonas de recarga o buscar nuevas fuentes de abastecimiento de agua, es decir, conduce a la ASADA a elaborar un plan de gestión del riesgo con una visión más a mediano y largo plazo.

Por lo tanto, es claro que la herramienta, tal cual se encuentra en este momento, posee deficiencias como instrumento para gestionar el riesgo y no debería ser usada únicamente por los miembros que componen el equipo de la ASADA, ya que, si bien la herramienta aborda a través de los cuestionarios el conocer las vulnerabilidades de la ASADA desde el punto de vista funcional, así como, al aprovechar el conocimiento del equipo, mejorar aspectos administrativos e infraestructurales, según la experiencia y formaciones con que cuentan en estos temas.

Es necesario una reestructuración de la herramienta GIRA, reformulando dentro del marco metodológico de la herramienta el análisis de la identificación de amenazas, tanto

naturales como antrópicas, desde el concepto de probabilidad de ocurrencia, así como la confección de los planes de gestión del riesgo, a cargo de un profesional o grupo de ellos, que aporten esta visión a la herramienta y también asesoren al equipo para optimizar el resultado.

6.2 Interfaz

Por otra parte, con respecto a la interfaz de la herramienta GIRA, si bien esta facilita la ejecución al ser de carácter interactiva con el usuario, mostrando un menú con los pasos básicos a completar, en donde cada vínculo abre una pestaña para ingresar la información y guardarla como insumo para los próximos vínculos, así como el contar con una opción de regresar al menú principal y agilizar la navegación dentro de la herramienta, se identificaron varios aspectos negativos al realizar el estudio en las ASADAS de San José de la Montaña y San Pedro.

Relacionado a la ficha técnica, la guía de uso de la herramienta GIRA indica que, si después de desplegarse los datos con el detalle de la ASADA hubiera correcciones o actualizaciones, estos se podrían modificar. Sin embargo, aunque se corrijan, al guardar la información en la base de datos, la ventana que se despliega con los resultados conserva los datos sin corrección, por lo que hay un error en la automatización de la herramienta, ya que los mismos se tienen que cambiar nuevamente a mano, ver figura N° 6.2 y 6.3.

Otro aspecto identificado, es que, en el apartado de análisis de amenaza para cada subcuenca, la herramienta GIRA agrupa a la ASADA San Pedro de Barva con ASADAS ubicadas en Oreamuno y Paraíso de Cartago, ver figura N° 6.4, lo cual no es correcto. El error proviene del hecho que la herramienta ubica a las ASADAS de Cartago dentro de la subcuenca Birris, mientras que a la ASADA San Pedro dentro de la subcuenca Birrí, relacionando la herramienta esta semejanza, sin embargo, lo que demuestra nuevamente son errores de automatización dentro de la configuración.

| | |
|---|--|
| <p>ASADAS que comparten la Subcuenca:</p> | <p>ASADA SANTA ROSA DE OREAMUNO ASADA RURAL DE SAN PABLO DE OREAMUNO ASADA BARRIO SAN FRANCISCO DE BIRRISITO DE PARAISO ASADA SAN RAFAEL DE IRAZU ASADA SANTA ROSA DE OREAMUNO ASOCIACION ADMINISTRADORA DEL ACUEDUCTO DE SAN PEDRO DE BARVA ASADA RURAL DE SAN PABLO DE OREAMUNO ASADA BARRIO SAN FRANCISCO DE BIRRISITO DE PARAISO</p> |
|---|--|

Figura N° 6.4: Ejemplo de error: la herramienta GIRA menciona que la ASADA de San Pedro de Barva, comparte subcuenca con ASADAS ubicadas en la provincia de Cartago (elaboración propia).

Relacionado a lo anterior, igualmente hay discordancias entre las respuestas a los cuestionarios, los resúmenes que brinda la herramienta y la visualización de los resultados, por ejemplo, la ASADA San Pedro contestó de forma negativa a dos preguntas en el cuestionario de preparación ante emergencias, por lo que en la ventana de resultados, se observa que el porcentaje es un 80%, sin embargo, en la hoja resumen de los cuestionarios, la herramienta muestra que la ASADA respondió de forma negativa cuatro preguntas indicando como resultado un 60%, ver figura N° 6.6. Es decir, a manera interna la herramienta si cuantificó correctamente, ya que el porcentaje mostrado en la ventana de

resultados coincide con las respuestas efectuadas, más no la ventana que muestra el resumen de todos los cuestionarios que se completan.

Otro ejemplo, en la misma ventana de los resultados, es en el cuadro donde se muestra el nivel de exposición, consecuencia y valor de impacto de las distintas amenazas naturales y antrópicas, ya que como se muestra en la figura N° 6.5, la fila 4 repite la amenaza de la fila 3 con valores distintos, por lo que resulta necesario ir viendo el resultado correcto en la fila 1 para cada amenaza y guardarlo en un documento aparte.

De igual forma, estos mismos errores de visualización se observan en los documentos generados por la herramienta GIRA para documentar el proceso realizado en las ASADAS, ya que se generan con el mismo error de automatización de la información, estos son archivos (.pdf) de cada una de las etapas y un archivo editable en Word denominado Informe GIRA que es un resumen del proceso, lo anterior se puede observar en los apéndices, correspondientes al Informe GIRA de las ASADAS San José de la Montaña y San Pedro.

En resumen, a consecuencia de estos múltiples errores de automatización dentro de la herramienta GIRA, estos no afectan el resultado final, ya que la información cuantitativa de las respuestas si se guarda correctamente, más los resúmenes o gráficos de visualización de los datos si se ven afectados, pudiendo perjudicar la comprensión de los resultados a las personas usuarias o lectoras.

| AMENAZA | Nivel de exposición | Nivel de Consecuencia | Valor impacto infraestructur | Valor impacto servicio | Valor total impacto |
|-----------------------|---------------------|-----------------------|------------------------------|------------------------|---------------------|
| Erupciones Volcánicas | | 62% Muy Grave | 16 000 000 | 10 920 000 | 26 920 000 |
| Sequía | 3 | 78% Muy Grave | 20 000 000 | 15 600 000 | 35 600 000 |
| Deslizamiento | 5 | 81% Muy Grave | 30 000 000 | 15 600 000 | 45 600 000 |
| Deslizamiento | 5 | 19% Leve | 9 000 000 | 1 092 000 | 10 092 000 |
| Tormenta/Inundación | | 28% Grave | 13 000 000 | 1 911 000 | 14 911 000 |

Figura N° 6.5: Ejemplo de error: la fila 4 del gráfico repite la amenaza de la fila 3 con valores distintos en cuanto a nivel de exposición, consecuencia y valores de impacto (elaboración propia).

Medidas de preparación para emergencias

1 ¿Se tienen identificadas las fuentes alternativas de agua en caso de emergencias? Sí No

2 ¿Se cuenta con fondos financieros para atender emergencias? Sí No

3 ¿Se dispone de un stock de materiales suficientes para reparar posibles daños? Sí No

4 ¿Se tiene un plano actualizado del sistema y sus accesorios? Sí No

5 ¿Están identificadas las zonas más vulnerables del sistema? Sí No

6 ¿Las instalaciones eléctricas son a prueba de agua? Sí No

7 ¿Posee mecanismos alternativos de generación eléctrica? Sí No

8 ¿Se tiene un plan de comunicación en caso de emergencias con: el usuario, AYA, CNE, otros? Sí No

9 ¿Forma parte del comité comunal de emergencias? Sí No

10 ¿Ha desarrollado alianzas con ASADAS vecinas para coordinar apoyo mutuo en el caso de una emergencia? Sí No

| | |
|--|-----------------|
| Grado de preparación ante Emergencias | MUY ALTA |
| | 80% |

| Evaluación preparativos ante emergencias (10% c/u) | Respuesta | Evaluación |
|---|----------------------|-------------------|
| ¿Se tienen identificadas las fuentes alternativas de agua en caso de un desastre? | Sí | 10% |
| ¿Realiza el Control Operativo con la frecuencia establecida en el Reglamento para la Calidad de Agua Potable (Decreto Ejecutivo N.38924-S)? | Sí | 10% |
| ¿Se dispone de un stock de materiales suficientes para reparar posibles daños? | Sí | 10% |
| ¿Se tiene un plano actualizado del sistema y sus accesorios? | Sí | 10% |
| ¿Están identificadas las zonas más vulnerables del sistema? | Sí | 10% |
| ¿Las instalaciones eléctricas son a prueba de agua? | No | 0% |
| ¿Posee mecanismos alternativos de generación eléctrica? | No | 0% |
| ¿Se tiene un plan de comunicación en caso emergencias con: el usuario, AYA, CNE, ORAC, otros? | No | 0% |
| ¿Forma parte del comité comunal de emergencias? | No | 0% |
| ¿Ha desarrollado alianzas con ASADAS vecinas para coordinar apoo mutuo en caso de una emergencia? | Sí | 10% |
| | Resultado | 60% |
| | Nivel de preparación | MUY ALTA |

Figura N° 6.6: Ejemplo de error: automatización incorrecta en la herramienta GIRA en las tablas resumen de visualización de respuestas con respecto al grado de preparación ante emergencias (elaboración propia).

CONCLUSIONES

- Las ASADAS en estudio se encuentran geológicamente sobre la Formación Barva, específicamente las nacientes de ambos acueductos afloran en el miembro Bermúdez, el cual consiste en una serie de coladas de lava andesítica a basáltica, cubiertas por el miembro Porrosatí, constituido por un depósito de piroclastos de granulometría gruesa estratificados e inter-estratificados con delgadas capas de cenizas pumíticas. De forma similar, la tubería de conducción, distribución y tanques de almacenamiento se encuentran en estos miembros geológicos, a excepción del área de distribución de San Pedro que aflora el miembro Carbonal, el cual está constituido por tobas líticas y tobas de ceniza poco consolidadas.
- A escala regional el país se encuentra en un margen tectónico de convergencia producto de los esfuerzos que la zona de subducción entre las placas del Coco y Caribe generan. Mientras que, a escala local, las ASADAS se encuentran cercanas a dos fallas intraplaca, hacia el sector suroeste se encuentra la falla Alajuela, la cual se cataloga como inversa, y hacia el sector noroeste-oeste se ubica la falla Ángel, considerada como una falla de desplazamiento dextral con una componente normal en los sectores de orientación norte-sur, al este del volcán Poás.
- La mayoría de los componentes de ambas ASADAS se encuentran dentro de la unidad Laderas volcánicas denudacionales de baja pendiente y mediano grado de disección, la cual es la de mayor área y presenta su mayor rango de pendientes moderado (10° - 20°), seguido por pendientes bajas (0° - 5°), en cuanto al área de distribución de San Pedro, esta se ubica en la unidad Laderas volcánicas denudacionales de baja pendiente y bajo grado de disección, con pendientes bajas. Mientras que las nacientes de la ASADA San Pedro y las nacientes José Maclovio y Minas de San José de la Montaña, así como parte de la tubería de conducción de ambas, se ubican dentro de la unidad Barrancos y Cárcavas, del río Porrosatí y la quebrada Naborí, unidad que posee $4,4 \text{ km}^2$ y pendientes fuertes (20° - 35°).
- El cantón de Barva presenta un período seco que va aproximadamente desde diciembre hasta abril y un período lluvioso que se extiende de mayo a noviembre, la precipitación promedio anual varía entre 2000 a 2500 mm y llueve entre 150 y 200 días en las partes bajas, mientras que en las partes más altas existe un promedio entre 2500 a 3000 mm y llueve entre 200 y 250 días, y con un comportamiento similar, la temperatura media anual oscila entre los 19 y 20 °C en las partes bajas y entre 15 y 18°C en las partes más altas y montañosas.
- El cambio en el uso de suelo a lo largo de las últimas décadas ha ocurrido en general de cobertura boscosa a pastos, luego a usos agropecuarios y finalmente a proyectos urbanísticos, observándose un retroceso de usos agropecuarios a pastos, como un cambio necesario para luego terminar de igual forma en uso urbano. Lo anterior se puede observar en fincas cafetaleras y alrededores, en donde el uso urbano

empieza a bordear la zona y esta empieza a cambiar a pastos paulatinamente para venderlos como lotes para proyectos habitacionales.

- La ASADA San José de la Montaña cuenta con 1691 abonados y abastece a nueve comunidades, las nacientes son: Cholo Hernández, José Maclovio 1, 2, 3 y 4, Las Minas 1, 2 y 3, Anabel 1 y 2, Ansata, San Miguel y Barbas del Viejo, que juntas según los caudales mínimos del mes de mayo del 2020 producen en total 37,21 l/s, los tanques son: La Marta, Nel Ruíz 1 y 2, Chaverri, Bajito, Ileana y Gallito con una capacidad de almacenamiento total de 1255 m³, posee 4 sistemas de desinfección, la tubería en general es de PVC con algunos trectos en polietileno, siendo 4,57 km en conducción y 23,83 km de distribución y se compone por 3 sistemas: el Central, San Miguel y Gallito.
- La ASADA San Pedro de Barva cuenta con 2111 abonados en el sistema por gravedad y 300 en el sistema de bombeo, abasteciendo a 6 comunidades, las nacientes son: Chagos, Calle Segura, Steinvorh, Naranjo, el Centro, el Bosque, la Piedra y Geovannys, las cuales producen en total según los caudales mínimos 19,82 l/s, mientras que el pozo Doña Elena produce 6,5 l/s, aparte el acueducto cuenta con el filtro de agua Quebrada Naborí que se utiliza únicamente en verano, los tanques son: Amada, los Gemelos, San Pedro, Vega y el Bosque con una capacidad de 1500 m³, mientras que el tanque Doña Elena posee 120 m³, posee 4 sistemas de desinfección, la tubería es mayoritariamente de PVC o polietileno con algunos trectos en hierro galvanizado, siendo en conducción 4,66 km y en distribución 26,85 km y se compone por 3 sistemas: La Máquina, San Pedro y Urbanización Doña Elena.
- En ambas ASADAS la clasificación de vulnerabilidad administrativa fue muy baja, no obstante, la ASADA de San José de la Montaña no cumple con respecto al seguimiento de un plan anual, ya que van ejecutando los proyectos basados en un plan definido entre la administración y la Junta Directiva, pero no tiene la formalidad de una programación con cronograma, responsables y presupuestos.
- En cuanto a la vulnerabilidad infraestructural, igualmente ambos acueductos obtuvieron una clasificación muy baja, sin embargo, la ASADA San Pedro si presenta fugas en el sistema.
- Desde el punto de vista de vulnerabilidad sanitaria, esta evalúa dos aspectos, el Sello de Calidad de Agua, en el cual ambas obtuvieron una calificación perfecta, y un análisis infraestructural para cada uno de los componentes, en el que la ASADA de San José de la Montaña obtuvo un 9%, mientras que la ASADA de San Pedro obtuvo un 12%, clasificando ambas como vulnerabilidad muy baja, aunque para el primer acueducto existen variaciones significativas de presiones en la totalidad de la red, falta completar un esquema del sistema de distribución en el sistema 2 y 3 y que la totalidad de las nacientes se encuentran ubicadas en zonas con actividad

agrícola o industrial, mientras que en la ASADA de San Pedro, cerca del pozo Doña Elena se encuentran letrinas o tanques sépticos a menos de 30 m y en un nivel más alto que el pozo, además de identificar otras fuentes de contaminación alrededor.

- Con respecto a la vulnerabilidad operativa, ambos acueductos obtuvieron una clasificación moderada, ya que ambos no cuentan con los procedimientos en control de presiones, control de fugas y control de las instalaciones de tuberías y nuevas conexiones, siendo importante mencionar que estos procedimientos se realizan cotidianamente en la labor del equipo técnico, y de forma correcta, pero con lo que no se cuenta es con un procedimiento escrito que establezca una guía de cómo realizarlo. Además, en el caso de la ASADA San Pedro, esta no cuenta con un estudio de zonas de recarga de sus nacientes.
- Partiendo de los resultados del estudio de grado sobre peligro volcánico del volcán Barva consultado en esta práctica dirigida, la totalidad de los dos acueductos podrían verse afectados por coladas de lava, ya que se encuentran dentro de una considerada de las más jóvenes del volcán y que además se encuentran dentro de los 15 km en los que puede haber afectación por este tipo de actividad. En cuanto a caída de piroclastos, ambos acueductos tendrían comprometidas sus nacientes a caída de cenizas, así como los tanques de almacenamiento Ileana y La Marta de la ASADA San José de la Montaña, mientras que la zona de alcance máximo de lapilli estaría afectando únicamente las nacientes José Maclovio y Minas de este mismo acueducto, encontrándose el límite muy cerca de la totalidad de las nacientes del acueducto de San Pedro. Respecto a avalanchas laháricas, estas podrían afectar las nacientes y la totalidad de la tubería de conducción de ambos acueductos al ser componentes cercanos a los ríos y quebradas.
- Respecto a la amenaza sísmica, según simulaciones realizadas por el LIS para la falla Alajué, la mayor parte de la ASADA San Pedro, incluyendo su área de distribución, se encontraría dentro del área con aceleración máxima probable de 50% g, mientras que los tanques de almacenamiento San Pedro, La Amada, las nacientes y su respectiva tubería de conducción estarían dentro del área de aceleración máxima probable de 20% g, al igual que la totalidad de la ASADA San José de la Montaña. Mientras que para la simulación de la falla Ángel, responsable del terremoto de Cinchona con magnitud de 6,2 Mw, ambas ASADAS se encuentran dentro del área con aceleración máxima probable de 10% g. Lo anterior, según las intensidades de la escala de Mercalli modificada, expondría a los acueductos a intensidades entre VI y VII, caracterizando un movimiento fuerte a muy fuerte y pocos a moderados daños.
- El análisis realizado mediante la metodología MVM para conocer la susceptibilidad a deslizamientos en el área administrada por ambos acueductos mostró que, el potencial muy bajo se ubica en la parte sur de San Pedro, donde se concentra la tubería de distribución, el calificativo bajo y moderado, siendo este último el de

mayor extensión, se encuentran en la totalidad del acueducto de San José de la Montaña y el sector norte del de San Pedro, mientras que el potencial alto se encuentra en los barrancos y cárcavas, los cuales, al encontrarse las nacientes y extenderse o pasar como pasos elevados tubería de conducción y distribución, sumado al hecho que la mayoría es de material PVC susceptible a fracturas por fuerzas externas, hace a estos componentes muy susceptibles a los deslizamientos.

- Otro aspecto que hace a los barrancos y cárcavas vulnerables, es que, según el estudio de grado consultado en este trabajo de investigación, igualmente en el volcán Barva en materia de inestabilidad de laderas, en los lugares donde hay cobertura del miembro Porrosatí, existe una inestabilidad que es intrínseca a estos materiales constituidos por capas piroclásticas y no por el sustrato rocoso, contexto que se observa en la cárcava de la quebrada Naborí, donde se encuentran las nacientes de la ASADA San Pedro y las nacientes José Maclovio y Minas de San José de la Montaña, así como en el barranco del río Porrosatí, donde se extiende tubería de conducción.
- Específicamente, la ASADA San Pedro presenta un tracto de aproximadamente 1,9 km de tubería PVC que se extiende por el barranco del río Porrosatí y cárcavas de las quebradas Naborí y Amanda y se identificaron tres pasos elevados de moderado a alto riesgo debido a lo observado en campo, pronunciada pendiente, marcado cambio topográfico y la presencia del material inestable del miembro Porrosatí sobre el estrato rocoso, mientras que la ASADA San José de la Montaña presenta un tracto de aproximadamente 1,05 km de tubería PVC que se extiende igualmente por los cuerpos de agua anteriores y el río Zanjón, identificándose 6 pasos elevados de bajo a alto riesgo por las características antes mencionadas.
- Los ríos Porrosatí, Zanjón, Mancarrón, y las quebradas Amanda y Naborí se encuentran clasificadas como susceptibles a crecidas y avalanchas por diferentes instituciones como la CNE y la Municipalidad de Barva, así como por diferentes estudios como los mapas de índice de fragilidad ambiental y la metodología MVM realizada en este trabajo final de graduación debido a efectos secundarios producto de deslizamientos como flujos de lodos y detritos, por lo que al extenderse tubería de conducción y distribución de ambos acueductos en estos cuerpos de agua, lo anterior puede llegar a afectar el sistema y por tanto el abastecimiento, siendo un ejemplo la crecida del río Porrosatí en el mes de julio del año 2021, aunque no ocurrieron daños asociados.
- Al encontrarse las nacientes de las ASADAS en estudio en el acuífero Barva, cuya recarga se da principalmente por infiltración de lluvia, variaciones en esta repercuten en el caudal de producción, por lo que los escenarios de cambio climático para Costa Rica realizados por el IMN al predecir que el clima del futuro presentaría una disminución de las precipitaciones para el Valle Central, siendo el clima muy similar al que se presenta actualmente cuando hay un fenómeno de El Niño, lo anterior

representa una grave amenaza para ambos acueductos, ya que es en los años bajo la influencia de este fenómeno que han presentado los caudales más bajos, siendo por ejemplo el año 2014 el más crítico para la ASADA San José de la Montaña.

- Se considera que la amenaza por incendios forestales no representa un riesgo para las subcuencas donde se encuentran los acueductos por el clima y vegetación que las caracteriza, sin embargo, los incendios causados por el hombre sí, ya que las nacientes limitan con una finca que produce madera para exportación, aunque nunca ha ocurrido un evento como tal.
- En cuanto al derrame de sustancias tóxicas, para esta práctica dirigida se consultó un estudio académico respecto a la carga contaminante en el área administrada por ambos acueductos mediante la metodología POSH, la cual toma en cuenta fuentes potenciales de contaminación puntuales, difusas y lineales. Específicamente para las nacientes, estas se encuentran rodeadas de actividades puntuales de potencial moderado y elevado, posiblemente relacionadas a las lecherías, establos y actividades avícolas que se encuentran cercanas; con respecto a las fuentes potenciales difusas y su relación con el uso de suelo, estas se encuentran en un uso de suelo mayoritariamente de pastos con árboles dispersos catalogado como de potencial reducido, y en relación a las fuentes potenciales lineales, la totalidad de las nacientes de la ASADA de San Pedro y las nacientes José Maclovio y Minas de San José de la Montaña se encuentran en el cauce de la quebrada Naborí, clasificada de potencial moderado.
- Las causas de rotura de tubería relacionadas al factor humano incrementan en los sectores donde esta se encuentra expuesta a lo largo de su trayecto en fincas o borde de calles, sumado al hecho que la mayor parte de la tubería de conducción y distribución en ambas ASADAS es de material PVC, material vulnerable a fracturas debido a fuerzas externas, por lo que, en este sentido, el acueducto de San Pedro presentó 19 puntos expuestos, de los cuales los 4 puntos que se extienden a la orilla de la Ruta 114 serían las más vulnerables, ya que los otros se encuentran dentro de fincas bajo régimen forestal o privadas, de acceso exclusivo para el tránsito del personal del acueducto, mientras que la ASADA San José de la Montaña solamente presentó 3 puntos expuestos, de los cuales el ubicado a un costado del puente sobre el río Zanjón, en la ruta nacional 114 y el ubicado en la servidumbre de la finca de acceso al tanque Chaverrí, al encontrarse un tubo de salida de aguas servidas sobre la tubería de distribución e ingreso al tanque, los convierte en los más susceptibles.
- La amenaza por interrupción de energía no aplica para el acueducto de San José de la Montaña ya que ninguno de sus componentes depende de la energía eléctrica, mientras para la ASADA San Pedro, el único componente que se puede ver afectado es el pozo Doña Elena, sin embargo, como medida preventiva el acueducto instaló un bypass en el tanque San Pedro, de forma que, este dispositivo se activa ante ausencia de electricidad para suministrar de agua a la Urbanización Doña Elena.

- Para ambos acueductos, las pruebas de control de calidad alteradas no son una amenaza, ya que cuentan con el sello de calidad sanitaria, lo que implica que cumplen con el control operativo según Decreto N° 38924-S-1-9-201.
- Con respecto al desarrollo urbano no planificado, el análisis de cambio de uso de suelo entre el año 2008 y el 2021 realizado en este trabajo de investigación, permitió observar según la zona de protección para cada nacimiento, en el caso del acueducto de San José de la Montaña, que las nacientes San Miguel, Cholo Hernández, José Maclovio y Barbas de Viejo presentan uso urbano aguas arriba, de las cuales el aumento de principal cuidado ocurrió en esta última, ya que pasó de 3256 m² a 9069 m², correspondiendo a construcciones sin su debido permiso. Mientras, para las nacientes de San Pedro, el uso mayoritario aguas arriba es de pastos y pastos con árboles dispersos, aunque esto no es del todo positivo debido a que parte de esta área corresponde a la finca que se dedica a exportación de madera, y aunque sí ocurrió aumento en el uso urbano, este sucedió aguas abajo de las nacientes. La única nacimiento de especial cuidado para este acueducto es la toma Chagos, debido a una franja de zona urbana ubicada aguas arriba.
- El vandalismo no representa una amenaza para ambos acueductos ya que sus componentes poseen malla de protección, logrando impedir el acceso de personas, o en el caso de San Pedro, el estar ubicadas las nacientes en una finca bajo régimen forestal de 42 hectáreas de acceso restringido.
- Ambos acueductos respondieron positivamente el cuestionario que evalúa el grado de preparación ante emergencias, por lo que según la herramienta GIRA se encuentran preparados.
- En cuanto a las amenazas, tanto naturales como antrópicas, en el caso de la ASADA de San José de la Montaña, la de mayor nivel de consecuencia y valor total de impacto, pero con un nivel de exposición bajo de 2, sería la amenaza por erupción volcánica, seguida por sequía, con un nivel de consecuencia grave y con un nivel de exposición de 5. Luego, catalogadas como graves en orden descendente se encuentran las amenazas por terremoto y rotura de tuberías con un nivel de exposición de 3, derrame de sustancias tóxicas y deslizamientos con un valor de 4 y tormenta/inundación con 3. Mientras que incendio, desarrollo urbano no planificado y vandalismo se catalogan como leves, la primera con un nivel de exposición de 2 y las dos últimas de 3.
- En cuanto a la ASADA de San Pedro, la de mayor nivel de consecuencia y valor total de impacto, con un nivel de exposición de 4, sería el derrame de sustancias tóxicas, y como segunda en importancia, catalogada como grave y con un nivel de exposición también de 4, sería la amenaza por terremotos. Luego, igualmente catalogadas como graves en orden descendente se ubican sequía, deslizamiento y

erupciones volcánicas, las dos primeras como un nivel de exposición de 5, y la tercera con un valor de 2. Finalmente, las amenazas clasificadas como leves serían tormenta/inundación y rotura de tuberías con un nivel de exposición de 3 y las clasificadas como muy leves serían incendio, vandalismo y desarrollo urbano no planificado, las cuales tendrían niveles de exposición de 1, 2 y 3 respectivamente.

- El riesgo a contaminación en las nacientes debido a la cercanía de letrinas, animales, viviendas, basura y prácticas agropecuarias poco sostenibles representa para el acueducto vulnerabilidad de tipo sanitaria, este se clasificó con una probabilidad de impacto moderada y un grado de consecuencia muy grave, resultando en un nivel de riesgo severo, por lo que las medidas correctivas son el identificar y subsanar la posible afectación en las nacientes más susceptibles, entre ellas la totalidad de las nacientes de San Pedro y las nacientes José Maclovio y Minas de San José de la Montaña.
- El riesgo a contaminación por materia fecal en tuberías y nacientes, vulnerabilidad de tipo infraestructural para el sistema, se clasificó con una probabilidad de impacto moderada y un grado de consecuencia grave, resultando en un nivel de riesgo moderado. Por lo que como medida correctiva se implementará un monitoreo periódico de coliformes fecales y Escherichia Coli en las nacientes y/o pozos identificados con esta problemática, en el caso específico de la ASADA San José de la Montaña, la naciente San Miguel.
- El riesgo por altos costos de reparación en caso de desastres que afecten a los componentes representa para el sistema vulnerabilidad de tipo infraestructural, este se clasificó con una probabilidad de impacto muy alta, un grado de consecuencia muy grave y un nivel de riesgo muy severo, tomando como medida, en el caso del acueducto de San José de la Montaña, priorizar fortalecer el paso elevado sobre el afluente del río Porrosatí, mientras que San Pedro el ubicado sobre la quebrada Amanda, así como dar seguimiento a los demás según su orden de prioridad.
- El riesgo a una prevención deficiente asociado a la ignorancia de las zonas vulnerables del sistema para gestionar previamente materializa para el acueducto vulnerabilidad desde el punto de vista de atención a emergencias, de forma que su clasificación correspondió con una probabilidad de impacto alta, un grado de consecuencia grave y un nivel de riesgo severo. De forma que ambos acueductos fortalecerán y asegurarán los componentes y preverán la compra de materiales y equipo necesario para reparación, partiendo del análisis realizado por la herramienta GIRA en cuanto a los componentes más susceptibles y el valor por impacto más alto.
- En el caso del acueducto de San Pedro, el riesgo a una mala organización debido a la desarticulación de apoyo entre ASADAS representa vulnerabilidad para atender las emergencias, clasificándose con una probabilidad de impacto moderada, un

grado de consecuencia grave y un nivel de riesgo moderado, sugiriendo la herramienta como medida correctiva elaborar planes conjuntos entre operadores cercanos para subsidio, préstamo de material y mano de obra.

- El riesgo por desinterés de la comunidad por cuidar el ambiente y el mal manejo de los recursos naturales para el acueducto de San Pedro representa una vulnerabilidad desde el punto de vista de sello de calidad, obteniendo una clasificación de probabilidad de impacto moderada, un grado de consecuencia grave y un nivel de riesgo moderado, el cual se solventará mediante la organización de programas anuales de educación ambiental en la comunidad con apoyo de otros entes cantonales.
- El riesgo asociado a procedimientos de control y mantenimiento desactualizados representan vulnerabilidad operativa para el acueducto, de forma que este se clasificó con una probabilidad de impacto moderada, un grado de consecuencia leve y un nivel de riesgo moderado, siendo la medida correctiva crear los manuales operativos que no se poseen en control de presiones, fugas e instalación de tubería y nuevas conexiones.
- El riesgo a disminución del caudal por desabastecimiento de agua y desinformación sobre posibles fuentes de recarga subterránea representa para la ASADA vulnerabilidad de tipo operativa, de forma que el riesgo se clasificó con una probabilidad de impacto moderada, un grado de consecuencia grave y un nivel de riesgo moderado en el caso de San José de la Montaña y severo para San Pedro, ya que este acueducto cuenta con una disponibilidad hídrica menor. De forma que las medidas preventivas sugeridas son gestionar la captación y aprovechamiento de nuevas fuentes de agua (nacientes o pozos), implementar y actualizar el estudio integral y gestionar la protección de las zonas de recarga de las nacientes y pozo.
- Desde el punto de vista teórico y orden lógico de análisis en la gestión del riesgo, la herramienta GIRA posee deficiencias y errores, al considerar que la vulnerabilidad puede tener un valor de cero, no permitir cuantificar el nivel de exposición de amenazas ya descritas y proponer realizar un mapa de percepción del riesgo en la primera etapa del análisis correspondiente a la descripción de los componentes del sistema para cada acueducto, aun cuando no se han evaluado las variables de amenaza, exposición y vulnerabilidad que me definen el riesgo como tal.
- La herramienta GIRA propone como insumos para caracterizar las amenazas los mapas de amenazas naturales de la CNE, la base de datos SAGA y el conocimiento local de las personas que trabajan en los departamentos técnico y administrativo de las ASADAS, sin embargo, la información institucional al poseer errores por problemas de escala, desactualización y análisis por personas inexpertas en la temática, conlleva a minimizar el análisis en la identificación de estas y por tanto subestimar el impacto y por ende el riesgo que representan para el acueducto.

- Según el marco metodológico de la herramienta GIRA y la experiencia del equipo técnico-administrativo de las ASADAS en temas de plomería, construcción y gestión financiera, los cuestionarios para conocer las vulnerabilidades desde el punto de vista funcional y las mejoras propuestas por el instrumento en infraestructura y mantenimiento del sistema, son rescatables ya que aprovechan el conocimiento del equipo.
- Se encontraron múltiples errores de automatización dentro de la herramienta GIRA, los cuales afectan la visualización de los resultados (resúmenes y gráficos), lo que podría afectar la comprensión de las personas usuarias o lectoras.

RECOMENDACIONES

- Se insta al equipo administrativo, técnico y miembros de Junta Directiva de las ASADAS en estudio, implementar las medidas correctivas y preventivas indicadas en los planes de acción que surgen de esta práctica dirigida, así como utilizar la matriz que brinda la herramienta para monitorear, dar seguimiento y evaluar el avance, y no archivar la herramienta, ya que se convertiría en un trámite o procedimiento más, sin brindar ninguna ayuda al acueducto.
- Al depender la ejecución de la mayoría de las medidas preventivas en ambos acueductos de fuentes de financiamiento ajenas a la tarifa ordinaria, se insta igualmente al departamento administrativo, buscar apoyo en organizaciones no gubernamentales dedicadas al tema ambiental, para poder gestionar la realización de los proyectos en un mediano plazo.
- La herramienta requiere de una reestructuración dentro de su marco metodológico, una primera parte que rescate el análisis que ya hace desde el punto de vista funcional de la ASADA, al proponer mejoras y mantenimiento en las áreas administrativa, operativa, sanitaria e infraestructural, y una segunda a cargo de un profesional o grupo de ellos, que aporten su conocimiento a la herramienta en el análisis de la identificación de amenazas en términos de probabilidad de ocurrencia y en la elaboración de los planes de gestión del riesgo, de forma que esta visión se vea reflejada en los cuestionarios, figuras ilustrativas, gráficos y estadística en la herramienta.
- La presencia de profesionales que apoyen a las ASADAS en la aplicación de la herramienta GIRA es necesario para contar con el criterio científico del que carecen las personas miembros del equipo técnico-administrativo de las ASADAS, de forma que su asesoramiento optimizaría el resultado, conduciendo al acueducto a un plan de gestión del riesgo con una visión más a mediano y largo plazo, y por tanto a instituciones con una mayor resiliencia.
- Es necesario reparar los problemas de automatización de la herramienta para su correcto uso, de forma que no existan problemas informáticos para su elaboración y comprensión.
- Al ser una herramienta disponible para su uso, que a nivel país ya ha sido implementada o se piensa implementar en acueductos comunales en un corto plazo, se recomienda para la ASADA que vaya a realizarla, acompañar este proceso en compañía de un profesional o grupo de ellos, para identificar con mayor criterio técnico-científico las amenazas en términos de probabilidad de ocurrencia, así como el elaborar los planes de acción con mayor conocimiento en materia de gestión del riesgo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo. (12 de enero de 2021). Informe de labores de la Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo. <http://www.fondodelagua.aecid.es/es/fcas/donde-trabaja/paises/costa-rica.html>
- Aguilar, C. H. (1976). Relaciones de las culturas precolombinas en el Intermontano Central de Costa Rica. *Vínculos*, 2 (1), 75-86.
- Alfaro Salazar, R. (2003). *Geología de la región suroeste del cerro Guararí. San José, CR* [Informe Campaña Geológica]. Escuela Centroamericana de Geología. Universidad Nacional de Costa Rica.
- Alpizar, Y. [Municipalidad de Barva]. (12 de mayo del 2022). *Geología del Volcán Barva-Cerro Zurquí*. Facebook. <https://www.facebook.com/MunicipalidadBarva/videos/1166623600770649>
- Alvarado Induni, G. E. (2000). *Volcanes de Costa Rica: Geología, historia y riqueza natural*. EUNED.
- Alvarado Induni, G. E. (2011). *Los Volcanes de Costa Rica: Geología, historia, riqueza natural y su gente*. EUNED.
- Alvarado Induni, G. E., Morales Matamoros, L. D., Montero Pohly, W., Climent Martín, A. y Rojas Quesada, W. (1988). Aspectos sismológicos y morfotectónicos en el extremo occidental de la Cordillera Volcánica Central de Costa Rica. *Revista Geológica de América Central*, 9, 75-98. DOI 10.15517/RGAC.V0I09.12967
- Arce Barrantes, A. (2015). *Propuesta Plan de Seguridad del Agua para el Acueducto Municipal de Barva, Heredia* [Tesis de Licenciatura]. Universidad Nacional de Costa Rica.
- Arias Salguero, M. (2009). *Previniendo el riesgo comunal: abordaje educativo con enfoque de género* [Informe interno]. Centro de Investigaciones en Ciencias Geológicas. Universidad de Costa Rica.
- Arias Salguero, M. (2012a). *Guía de Autoevaluación para acueductos comunales (comités, ASADAS, Municipal)* [Informe interno]. Centro de Investigaciones en Ciencias Geológicas. Universidad Nacional de Costa Rica.
- Arias Salguero, M. (2012b). *Estudio de las zonas de captura de manantiales seleccionados en los cantones de Barva y Santa Bárbara, provincia de Heredia, Costa Rica* [Informe interno]. Centro de Investigaciones en Ciencias Geológicas. Universidad Nacional de Costa Rica.

- Arredondo Li, S. (2011). *Perforación de pozos horizontales para mejorar el abastecimiento y mitigar los racionamientos de agua potable en Heredia, Costa Rica* [Tesis de maestría]. Universidad de Costa Rica.
- Arredondo Li, S. y Soto Bonilla, G. (2006). Edad de las lavas del Miembro Los Bambinos y sumario cronoestratigráfico de la Formación Barva, Costa Rica. *Revista Geológica de América Central*, 34-35, 59-71. DOI 10.15517/RGAC.V0I34-35.4226
- Arroyo Solórzano, M., Godínez Rodríguez, K., y Linkimer Abarca, L. (2017). Completitud del catálogo de la Red Sismológica Nacional de Costa Rica durante 1975-2014. *Boletín de Geología*, 39 (3), 87-98. <https://doi.org/10.18273/revbol.v39n3-2017006>
- ASADA San Pedro de Barva. (2020). Sello de calidad sanitaria periodo 2020. [Informe interno].
- Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos. (16 de enero de 2021a). *ARESEP aprueba mecanismo para proteger el recurso hídrico*. <https://aresep.go.cr/noticias/2579-aresep-aprueba-mecanismo-para-protger-el-recurso-hidrico>
- Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos. (16 de enero de 2021b). *ARESEP aprobó primera tarifa hídrica*. <https://aresep.go.cr/noticias/2882-aresep-tarifa-hidrica-aya>
- Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos. (16 de enero de 2021c). *ARESEP aprueba mecanismo para proteger el recurso hídrico*. <https://aresep.go.cr/noticias/2579-aresep-aprueba-mecanismo-para-protger-el-recurso-hidrico>
- Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos. (16 de enero de 2021d). *ARESEP aprobó primera tarifa hídrica*. <https://aresep.go.cr/noticias/2882-aresep-tarifa-hidrica-aya>
- Baetting, M., M. Wild y D. Imboden. (2007). A climate change index: where climate change may be most prominent in the 21st century. *Geophys. Res. Lett*, 34, L01705.
- Barahona Oviedo, D. (2003). *Estudio geológico de los alrededores del volcán Barva (Flanco S-SE)*. San José, CR [Informe Campaña Geológica]. Escuela Centroamericana de Geología. Universidad Nacional de Costa Rica.
- Barquero Picado, R. y Rojas Quesada, W. (2010). Resumen de la actividad sísmica en Costa Rica durante el año 2009. *Revista Geológica de América Central*, 42, 127-134. DOI 10.15517/RGAC.V0I42.4174
- Barrantes, G., Barrantes, O. y Núñez, O. (2011). Efectividad de la metodología Mora-Vahrson modificada en el caso de los deslizamientos provocados por el terremoto de Cinchona, Costa Rica. *Revista Geográfica de América Central*, 2(47), 141-162. <https://www.revistas.una.ac.cr/index.php/geografica/article/view/3970>

- Bartram, J., Corrales, L., Davison, A., Deere, D., Drury, D., Gordon, B., Howard, G., Rinehold, A. y Stevens, M. (2009). *Manual para el desarrollo de planes de seguridad del agua: metodología pormenorizada de gestión de riesgos para proveedores de agua de consumo*. Organización Mundial de la Salud. [https://www.who.int/es/publications/i/item/water-safety-plan-manual-\(wsp-manual\)](https://www.who.int/es/publications/i/item/water-safety-plan-manual-(wsp-manual))
- BGS-SENARA. (1985). Mapa hidrogeológico del Valle Central de Costa Rica. Servicio Nacional de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento. Escala 1: 50 000.
- Bolaños, R. A. y Watson, V. (1993). Mapa Ecológico de Costa Rica. Centro Científico Tropical. Escala 1: 200 000. San José, Costa Rica.
- Brenes Marín, J. (2003). *Geología y peligros volcánicos del flanco oeste y suroeste del volcán Barva, Costa Rica* [Tesis de Licenciatura]. Universidad de Costa Rica.
- Camacho, D., Chaves, J. y Murillo, D. (2004). *Diagnóstico de la susceptibilidad al deslizamiento e inundación, análisis del contexto sísmico y reconocimiento de peligros volcánicos para el cantón de Montes de Oca: una contribución al plan regulador del municipio* [Tesis de Licenciatura]. Universidad de Costa Rica.
- Carmona Arias, S. (2021). *Análisis geomorfológico de la vertiente pacífica del volcán Barva, aplicado a la determinación de procesos de remoción en masa*. [Tesis de Licenciatura]. Universidad de Costa Rica.
- Carvajal Valdés, F.A. (2019). *Análisis de vulnerabilidad ambiental por deslizamiento en la microcuenca del río Tabarcia, cantón de Mora, República de Costa Rica* [Tesis de maestría]. Universidad de Costa Rica.
- CEDARENA. (05 de mayo del 2022). *Presentación del análisis de la situación actual en materia de adaptación, resiliencia y generó de las 61 ASADAS que son parte del proyecto Asadas Resilientes*. Facebook. <https://www.facebook.com/Cedarena/videos/2736326143342549>
- Chen, T., S. Wang, W. Huang y M. Yen. (2004). Variation of the East Asian summer monsoon rainfall. *J. Climate*, 17, 744-762.
- Climent, A., Alvarado, G. E. y Boschini, I. (2006). *P.H. Toro 3: Estudio de amenaza sísmica*. <https://appcenter.grupoice.com/PEL/docsAdq/LA20110018ANE-02.pdf>
- Climent, A., Rojas, W., alvarado G.E. y benito, B. (2008). Proyecto Resis II Evaluación de la amenaza sísmica en Costa Rica. [Informe interno]. UCR. CNE. ICE.
- Colegio Federado de Ingenieros y de Arquitectos de Costa Rica (2011). Código sísmico de Costa Rica 2010. Editorial Tecnológica de Costa Rica.

- Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias. (2010). *Plan Nacional para la Gestión del Riesgo, Marco estratégico para la aplicación de la política de Gestión del Riesgo*. https://www.cac.int/sites/default/files/Costa_Rica._Plan_nacional_para_gesti%C3%B3n_riesgo_2010-2015.pdf
- Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias. (s.f.). *Amenazas de origen natural cantón Barva*. https://www.cne.go.cr/reducci%C3%B3n_riesgos/mapas_amenazas/mapas_de_amaneza/Heredia/Barva%20-20descripcion%20amenazas.pdf
- Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias. (2015). *Política Nacional de Gestión del Riesgo 2016-2030, 5 ejes de acción, Gestión del Riesgo Costa Rica*. <https://www.cne.go.cr/rectoria/politicangr/PNGR%202016%20-2030.pdf>
- Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias e Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica. (2015). *Norma de planes de preparativos y respuesta ante emergencias para centros laborales o de ocupación pública. Requisitos*. https://www.cne.go.cr/preparativos_respuestas/documentos/manuales_procedimientos/Norma_Planes_Preparativos_y_Respuesta_final.pdf
- Cordero Camacho, D. (2008). Esquemas de Pagos por Servicios Ambientales para la Conservación de Cuencas Hidrográficas en el Ecuador. *Investigación agraria. Sistemas y recursos forestales*, 17(1), 54-66. <https://recyt.fecyt.es/index.php/IA/article/download/1521/1103>
- Crandell, D. R., Booth, B., Kusumadinata, K., Shimozuru, D., Walker, G. P. L. y Westercamp, D. (1984). *Source-Book for Volcanic-Hazard Zonation*. UNESCO.
- Decreto ejecutivo 42582-S-MINAE de 2020 [con fuerza de ley]. Reglamento de las Asociaciones Administradoras de Sistemas de Acueductos y Alcantarillados Comunales. 4 de setiembre del 2020. La Gaceta No. 223, alcance 233.
- Denyer Chavarría, P. y Arias Molina, O. (1991). Estratigrafía de la región central de Costa Rica. *Revista Geológica de América Central*, 12, 1-59. DOI 10.15517/RGAC.V0I12.13039
- Denyer Chavarría, P. y Kussmaul Ruf, S. (1994). *Atlas Geológico de la Gran Área Metropolitana, Costa Rica*. Editorial Tecnológica de Costa Rica.
- Denyer Chavarría, P. y Kussmaul Ruf, S. (2012). *Geología de Costa Rica*. Editorial Tecnológica de Costa Rica.
- Denyer Chavarría, P., Montero Pholy, W. y Alvarado Induni, G.E. (2009). *Atlas tectónico de Costa Rica*. Universidad de Costa Rica.
- Echandi Echeverría, E. (1981). *Unidades volcánicas de la vertiente norte de la cuenca del río Virilla* [Tesis de Licenciatura]. Universidad de Costa Rica.

- Economic Commission for Central America and Caribbean (2011). *The Economics of climate change in Central America: Summary 2010*. United Nations.
- Fan, G., Beck, S., y Wallace, T. (1993). The seismic source parameters of the 1991 Costa Rica aftershock sequence: Evidence for a transcurrent plate boundary. *Journal of Geophysical Research*, 98(B9), 15759-15778. <https://doi.org/10.1029/93JB01557>
- Fernández, M. (1968). *Las unidades hidrogeológicas y los manantiales de la vertiente norte de la cuenca del río Virilla*. [Informe Interno]. Ministerio de Agricultura y Ganadería.
- Foster, S. Hirata, R., Gomes, D., D'elia, M. y Paris, M. (2002). *Groundwater quality protection: a guide for water service companies, municipal authorities and environmental agencies*. The World Bank.
- Foster, S. y Hirata, R. (1991). *Determinación del riesgo de contaminación de aguas subterráneas, una metodología basada en datos existentes*. Organización Panamericana de la Salud. Organización Mundial de la Salud. <http://www.ingenieroambiental.com/4014/riesgo7645.pdf>
- García, F. (2016). *Valoración histórica de caudales de las fuentes de abastecimiento*. [Informe interno]. Municipalidad de Barva.
- Giorgio, F. (2006). Climate Change hot-spots. *Geophys Res Lett*, 33, L8707.
- Goes, S., Velasco, A., Schwartz, S. y Lay, T. (1993). The April 22, 1991, Valle de la Estrella, Costa Rica (MW 7.7) earthquake and its tectonic implications: A broadband seismic study. *Journal Geophysical Research*, 98(B5), 8127-8142. <https://doi.org/10.1029/93JB00019>
- González, C. (1910). *Temblores, terremotos, inundaciones y erupciones volcánicas en Costa Rica 1608-1910*. Editorial Tecnológica de Costa Rica.
- Hernández Bonilla, E. y Retana Quirós, D. (2016). *El Enfoque Territorial Participativo como Herramienta para la Gestión de Cuencas Urbanas, el caso de la microcuenca del río Burío Quebrada Seca. Heredia-Alajuela, Costa Rica*. [Tesis de Licenciatura]. Universidad de Costa Rica.
- Ingenieros Consultores y Ejecutores de Acueductos S.A. (2011). *Estudio de evaluación y diseño 2011, sistema de agua potable, Acueducto San Pedro de Barva, Heredia*. [Informe interno]. ASADA San Pedro de Barva.
- Ingenieros Consultores y Ejecutores de Acueductos S.A. (2021). *Informe Balance Hídrico a marzo 2021*. [Informe interno]. ASADA San Pedro de Barva.
- Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados y Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo Costa Rica. (23 de agosto de 2019). Herramienta GIRA. El PNUD

en Costa Rica. <https://www.cr.undp.org/content/costarica/es/home/library/Masculinidadesytendenciasdelictivas1.html>

Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. (2013). *Manual de Procedimientos de Gestión del Riesgo para la Atención de Emergencias y Desastres en el AyA*. <https://www.aya.go.cr/centroDocumetacion/catalogoGeneral/Manual%20de%20Procedimientos%20de%20Gesti%C3%B3n%20del%20Riesgo%20para%20la%20Atenci%C3%B3n%20de%20Emergencias%20y%20Desastres%20en%20el%20AyA.pdf>

Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. (2016). *Política Nacional para el subsector de agua potable de Costa Rica 2017-2030*. https://aya.go.cr/transparencialnst/acceso_informacion/MarcoNormativo/Pol%C3%ADtica%20Nacional%20de%20Agua%20Potable.pdf

Instituto Meteorológico Nacional. (2008). *Atlas Climatológico*. <https://www.imn.ac.cr/atlas-climatologico>

Instituto Meteorológico Nacional. (2012). *Escenarios de cambio climático regionalizados para Costa Rica*. http://www.infoagro.go.cr/CambioClimatico/observatorio/docs/EscenariosClimaticosRegionalizadosCR_2012.pdf

Instituto Meteorológico Nacional. (2021a). *Informe Meteorológico #4*. https://www.imn.ac.cr/avisosmeteorologicos//asset_publisher/TRVTng7a6jE1/content/a-viso-meteorologico-imn-230721-0630am/en

Instituto Meteorológico Nacional. (2021b). *Proyecciones de cambio climático regionalizadas para Costa Rica (Escenarios RCP-2.6 y RCP-8.5)*. http://cglobal.imn.ac.cr/index.php/publications/proyecciones-de-cambio-climatico-regionalizadas-para-costa-rica-escenarios-rcp-2-6-yrcp85/?fbclid=IwAR3YZssUO6-YqIdzZYI_xE4Qld8t6_3IT36kfYDCDOaIlIgru6-u0FECU4

Instituto Meteorológico Nacional. (s.f. a). *ENOS*. <https://www.imn.ac.cr/54>

Instituto Meteorológico Nacional. (s.f. b). *El ENOS y sus efectos en Costa Rica*. <https://www.imn.ac.cr/documents/10179/37774/8EL+ENOS+Y+SUS+EFFECTOS+EN+COSTA+RICA.pdf/78ea227d-49db-4983-8b2d-e116fc7e6de1>

Instituto Nacional de Estadística y Censo. (6 de enero de 2021). *Censo Nacional de Población y Vivienda 2002*. <https://www.inec.cr/censos/censos-2000>

Instituto Nacional de Estadística y Censo. (6 de enero de 2021). *Censo Nacional de Población y Vivienda 2011*. <https://www.inec.cr/censos/censos-2011>

IPCC (2007). *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate*

Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)] Cambridge University Press.

Jerez, D. y Cline, M. (1989). Preliminary Hazard map of Poas and Barva volcanoes. Escala 1:50000. Comisión nacional de Emergencias.

La Nación (27 de mayo del 2014). Consejo Municipal de Barva suspende permisos de construcción ante escasez de agua. <https://www.nacion.com/el-pais/servicios/concejo-municipal-de-barva-suspende-permisos-de-construccion-ante-escasez-de-agua/2V4QGM26KFDCZDRTW3AFTAUST4/story/>

Laboratorio de Hidrología Ambiental. (2014). *Informe final, mapa de vulnerabilidad hidrogeológica del cantón de Barva* [Informe interno]. Universidad Nacional.

Laboratorio de Ingeniería Sísmica. (13 de octubre de 2011b). Falla Ángel. Recuperado el 26 de agosto de 2021 de <http://www.lis.ucr.ac.cr/305>

Laboratorio de Ingeniería Sísmica. (14 de octubre de 2011a). Falla Alajuela. Recuperado el 26 de agosto de 2021 de <http://www.lis.ucr.ac.cr/278>

Ley 276 de 1942. Ley de Aguas. 27 de agosto de 1942. La Gaceta No. 190.

Ley 8488 de 2006. Ley Nacional de Emergencias y Prevención del Riesgo. 11 de enero de 2006. La Gaceta No. 8.

Losilla, M. (1992). *Mapa de fuentes de acueductos y sus áreas de recarga*. FUNDECOR.

Losilla, M. y Rodríguez, H. (1994). *Normas para el cálculo de los tiempos de tránsito entre los drenajes de tanques sépticos y las fuentes de agua subterránea*. [Informe interno]. AyA.

Madrigal Solís, H., Fonseca Sánchez, A., Nuñez Solís, C. y Gómez Cruz, A. (2014). Amenaza de contaminación del agua subterránea en el sector norte del acuífero Barva, Heredia, Costa Rica. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 5(6), 103-118. <https://repositorio.una.ac.cr/handle/11056/18134>

Malavassi, E. (1991). *Magma sources and crystal processes at the Southern Terminus of the Central American Volcanic Arc*. [Tesis de Doctorado]. Universidad de California Santa Cruz.

Marshall, J., Fisher, D. y Garnier, T.W. (2000). Central Costa Rica deformed belt: Kinematics of diffuse faulting across the western Panama block. *Tectonics*, 19 (3), 468-492. <https://doi.org/10.1029/1999TC001136>

Méndez, M., Maathuis, B., Hein-Griggs, D. y Alvarado G. L. (2020). Performance Evaluation of Bias Correction Methods for Climate Change Monthly Precipitation Projections over Costa Rica. *Water*, 12 (2), 482. <https://doi.org/10.3390/w12020482>

- Ministerio de planificación Nacional y Política Económica (2018). *Costa Rica: Agua y Saneamiento 2030, análisis relacionado con los ODS 6, Agua Limpia y Saneamiento*. http://ods.cr/sites/default/files/documentos/cr_agua_y_saneamiento_2030-analisis_relacionado_a_los_ods.pdf
- Ministerio de Vivienda y Asentamientos Humanos. (2008). Productos PRUGAM. <https://www.mivah.go.cr/PRUGAM.shtml>
- Monestel, Y. (1980). Actividad residual en el Barva. *Boletín Vulcanológico*, 9, 5-7.
- Montero Pohly, W. (2001). El Cinturón Deformado del Centro de Costa Rica: Frontera oeste de la microplaca de Panamá. *Revista Geológica de América Central*, 24, 29-56. DOI 10.15517/RGAC.V0I24.8551
- Montero Pohly, W., Barahona Palomo, M., Rojas Quesada, W. y Taylor Castillo, M. (2005). Los sistemas de falla Aguacaliente y río Azul y Relevos Compresivos asociados, Valle Central de Costa Rica. *Revista Geológica de América Central*, 33, 9-27. DOI 10.15517/RGAC.V0I33.4233
- Montero Pohly, W., Soto Bonilla, G., Alvarado Induni, G.E. y Rojas Quesada, W. (2010). División del deslizamiento tectónico y transtensión en el macizo del Volcán Poás (Costa Rica), basado en estudios neotectónicos y de sismicidad histórica. *Revista Geológica de América Central*, 43, 13-36. DOI 10.15517/RGAC.V0I43.3456
- Montero, W. y Rojas, W. (2014). Las fallas Purires y Picagres y su relación con la secuencia sísmica de Puriscal de 1990. *Revista Geológica de América Central*, 50, 39-69. DOI 10.15517/RGAC.V0I50.15107
- Mora Fernández, M. (1995). *Estudio geológico de un sector de sureste de Grecia. Provincia de Alajuela, Costa Rica* [Informe Campaña Geológica]. Escuela Centroamericana de Geología. Universidad Nacional de Costa Rica.
- Mora, R., Chaves, J. y Vázquez, M. (2002). *Zonificación de la susceptibilidad al deslizamiento: Resultados obtenidos para la Península de Papagayo mediante la modificación del método Mora-Vahrson (Mora, R., Vahrson, W. y Mora, S., 1992)*. Servicios Especializados de Laboratorio de Suelos y Rocas. Escuela Centroamericana de Geología. Universidad de Costa Rica.
- Mora, R., Vahrson, W. y Mora, S. (1992). *Mapa de amenaza de deslizamientos, Valle Central, Costa Rica*. Centro de Coordinación para la prevención de desastres naturales en América Central.
- Mora, S. y Vahrson, W. (1993). Determinación a priori de la amenaza de deslizamientos utilizando indicadores morfodinámicos. *Tecnología ICE*, 3(1), 32.

- Mora, S. y Vahrson, W. (1994). Macrozonation methodology for landslide Hazard determination. *Boletín of the Association of Engineering Geologist*, 31(1), 49-58.
- Municipalidad de Barva. (2014). *Plan de Desarrollo Humano Local de Barva 2015-2020*. https://munibarva.go.cr/wp-content/uploads/2021/03/PLAN_DE_DESARROLLO_HUMANO_LOCAL.pdf
- Municipalidad de Barva. (2019). *Plan de acción por el clima, Cantón de Barva 2019-2030*. https://munibarva.go.cr/wp-content/uploads/2021/04/Plan-de-Accion-por-el-Clima-Barva_vrs_15-11-19.pdf
- Municipalidad de Barva. (23 de julio del 2021). *Atención de la CME-Barva, Río Porros, San José de la Montaña*. Facebook. <https://www.facebook.com/MunicipalidadBarva/videos/1023001908533956/>
- Neelin J, M. Munnich, H. Su, J. Meyerson, C. Holloway. (2006). Tropical drying trends in global warming models and observations. *Proc. Matl. Acad. Sci.*, 103 (16), 6110-6115.
- Obando Acuña, L. (2004). Mega-rasgos geomorfológicos del modelo de elevación digital, asociados al volcán Barva. *Revista Geológica de América Central*, 31, 81-86. DOI 10.15517/RGAC.V0I31.7248
- Oficina de Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres (s.f.). Desinventar Sendai. <https://www.desinventar.net/>
- Paniagua, S. y Soto, G. (1986). Reconocimiento de los riesgos volcánicos potenciales de la Cordillera Central de Costa Rica. *Ciencia y Tecnología*, 10 (2), 49-72.
- Peraldo Huertas, G. y Montero Pohly, W. (2007). Temblores documentados para el periodo colonial de Costa Rica. *Revista Geológica de América Central*, 36, 25-47. DOI 10.15517/RGAC.V0I36.12289
- Peraldo, G., Badilla, E. y Arias, O. (2012). Efectos morfológicos generados en Valverde Vega por el terremoto de Sámara del 5 de septiembre de 2012 (Mw = 7,6). *Entorno a la prevención, número especial Terremoto de Nicoya, 5 de septiembre de 2012*, 12, 1-11.
- Pérez Fernández, W. (2000). *Vulcanología y petroquímica del evento ignimbrítico del Pleistoceno Medio (0,33 M.a.) del valle central de Costa Rica*. [Tesis de Licenciatura]. Universidad de Costa Rica.
- Presidencia de la República. (14 de marzo de 2017). *Costa Rica en la ruta correcta del abastecimiento y el saneamiento de agua*. Recuperado el 16 de enero de 2021 de <http://presidencia.go.cr/comunicados/2017/03/costa-rica-en-la-ruta-correcta-del-abastecimiento-y-el-saneamiento-de-agua/>

- Protti Quesada, R. (1986). Geología del flanco sur del volcán Barva. *Boletín Vulcanológico*, 17, 23-31.
- Ramírez Chavarría, R. (2007). *Recarga potencial del Acuífero Colima y Barva, Valle Central, Costa Rica* [Informe interno]. SENARA.
- Ramírez Chavarría, R. (2014). *Recarga y extracción de los acuíferos Colima y Barva, Valle Central, Costa Rica* [Tesis de Maestría]. Universidad de Costa Rica.
- Rauscher, S., F. Giorgi, N. Diffenbaugh y A. Seth. (2008). Extension and Intensification of the Meso-American mid-summer drought in the twenty-first century. *Clim Dyn*, 31(5), 551-571.
- Red Sismológica Nacional. (15 de mayo de 2015). *Falla Alajuela*. Recuperado el 4 de mayo de 2021 de <https://rsn.ucr.ac.cr/component/content/article/57-sismologia/fallas-activas2/241-2-falla-alajuela?Itemid=225>
- Red Sismológica Nacional. (2009). El terremoto de Cinchona del jueves 8 de enero de 2009. *Revista Geológica de América Central*, 40, 91-95. DOI 10.15517/RGAC.V0I40.4188
- Red Sismológica Nacional. (24 de agosto de 2020). *Falla Ángel*. Recuperado el 4 de mayo de 2021 de <https://rsn.ucr.ac.cr/component/content/article/57-sismologia/fallas-activas2/40-13-falla-angel?Itemid=225>
- Rojas González, J. (2003). *Estudio geológico integrado del sector sur del Roble, Heredia, Costa Rica. San José, CR* [Informe Campaña Geológica]. Escuela Centroamericana de Geología. Universidad Nacional de Costa Rica.
- Rojas, N. (2011). *Curvas de intensidad duración frecuencia de algunas estaciones meteorológicas mecánicas*. http://www.mag.go.cr/información/curso_agua_pluvial/cidf_mecanicas.pdf
- Rojas, V., Barahona, D. y Alvarado, G.E. (2017). Geomorfología y petrografía de la colada Ángeles y del Cono Monte de la Cruz, Volcán Barva, Costa Rica. *Revista Geológica de América Central*, 56, 17-35. DOI 10.15517/RGAC.V0I56.29240
- Rojas, W., Montero, W., Schmidt, V., Hidalgo, P. y Moya, C. (2004). *Estudio de amenaza sísmica de Costa Rica y respuesta del suelo para las diez ciudades con mayor índice de población del país*. [Informe técnico final]. Fundación de la Universidad de Costa Rica para la Investigación.
- Sanabria Montero, I. (2021). Informe final de las labores realizadas por la ASADA San José de la Montaña para el programa Sello de calidad sanitaria periodo 2020. [Informe interno]. ASADA San José de la Montaña.

- Schaufelberger, P. (1931). *Apuntes de geología 4. Costa Rica*. Librería, Imprenta y Litografía Universal.
- Solano Quintero, J. (1992). *Características básicas del periodo seco en la vertiente del Pacífico de Costa Rica*. [Tesis de Licenciatura]. Universidad de Costa Rica.
- Solano Quintero, J. (1996). *Aspectos fisiográficos básicos para las principales regiones de Costa Rica*. [Informe interno]. Ministerio del Ambiente y Energía. Instituto Meteorológico Nacional.
- Solano Quintero, J. y Villalobos Flores, R. (2001). Aspectos Fisiográficos aplicados a un Bosquejo de Regionalización Geográfico Climático de Costa Rica. *Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos*, 8(1), 26-39. <http://cglobal.imn.ac.cr/documentos/revista/topicosmet20011/html5/index.html?page=1&noflash>
- Solano, J.P. y Soto, G. (12-13 de noviembre de 2020). *Geología, estratigrafía, evolución y mapa del macizo volcánico del Barva* [Poster]. Cuarto congreso geológico, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.
- Szakács, A. (1994). Redefining active volcanoes: a discussion. *Bull. Volcanol.*, 56, 321-325.
- Vahrson, W. (s.f.). Mapa preliminar de lluvias máximas anuales en Costa Rica con una duración de 24 horas y un período de retorno de 100 años. Escala 1:1000000. Mapoteca Universidad Nacional.
- Van Zuidam, R.A. (1986). *Aerial photointerpretation in terrain análisis and geomorphologic mapping*. Smits Publishers. The Hague.
- Varela Carballo, J. (2020). *Georreferenciación del sistema de la ASADA San José de la Montaña*. [Informe práctica profesional]. Escuela de Ciencias Geográficas. Universidad Nacional de Costa Rica.
- Wells, D. y Coppersmith, K. (1994). *New Empirical Relationships among Magnitude, Rupture Length, Rupture Width, Rupture Area, and Surface Displacement*. <https://www.resolutionmineeis.us/sites/default/files/references/wells-coppersmith-1994.pdf>
- Wilches-Chaux, G. (1993). *La vulnerabilidad global*. <https://www.gub.uy/sistema-nacional-emergencias/sites/sistema-nacional-emergencias/files/documentos/publicaciones/La%2Bvulnerabilidad%2Bsocial%20WILCHES%2BCHAUX.pdf>
- Williams, H. (1952). Volcanic history of the Meseta Central Occidental, Costa Rica. *University of California Publications in Geological Sciences*, 29(4), 145-180.

ANEXOS

10.1 Cuantificación del uso de suelo en el año 2008 (MIVAH, 2008) y el año 2021 (imagen satelital) en los cantones del cantón de Barva y en las subcuencas en estudio

| Usos de suelo (m ²) | Bosque | Cultivos de café | Calle | Cultivos | Pastos | Pastos con árboles dispersos | Transición a urbano | Urbano | Total |
|---------------------------------|-------------|------------------|-----------|-----------|------------|------------------------------|---------------------|------------|-------------|
| Año 2008 (MIVAH, 2008) | | | | | | | | | |
| Distritos | | | | | | | | | |
| Barva | 206362,20 | 9757,62 | 106730,02 | 22615,87 | 644,05 | 0 | 0 | 475810,87 | 821920,63 |
| San Pedro | 507078,06 | 3892951,53 | 288849,43 | 107189,30 | 337688,91 | 390907,79 | 6063,89 | 1737081,96 | 7267810,86 |
| San José de la Montaña | 17973925,25 | 4041864,03 | 307171,18 | 764117,83 | 5318868,03 | 5932851,50 | 16355,12 | 2323709,04 | 36678861,97 |
| San Pablo | 1120260,07 | 3089376,09 | 202269,17 | 297172,79 | 427626,13 | 746761,03 | 40293,19 | 1116305,94 | 7040064,42 |
| San Roque | 91804,01 | 255788,16 | 77328,55 | 268783,70 | 0 | 9027,88 | 0 | 553572,69 | 1256304,99 |
| Santa Lucía | 291067,13 | 633624,87 | 143692,04 | 117009,02 | 661708,62 | 30124,77 | 18781,39 | 999492,14 | 2895499,99 |
| Subcuencas | | | | | | | | | |
| Río Ciruelas | 11929414,06 | 730016,30 | 191089,70 | 367257,45 | 5109141,72 | 3311228,20 | 35214,40 | 1151711,82 | 22825073,65 |
| Río Porrosatí | 5200151,14 | 8670449,05 | 530314,82 | 729105,57 | 1810180,77 | 2388247,13 | 6063,89 | 3300409,87 | 22634922,25 |
| Río Mancarrón | 2994776,33 | 3371750,38 | 245551,04 | 207350,87 | 778577,31 | 1764257,03 | 24756,32 | 1379883,95 | 10766903,23 |
| Año 2021 | | | | | | | | | |
| Distritos | | | | | | | | | |
| Barva | 182409,13 | 15,01 | 106730,02 | 2816,72 | 12756,26 | 6607,30 | 0 | 510586,19 | 821920,63 |
| San Pedro | 421236,69 | 3251546,87 | 292354,11 | 119246,83 | 843128,65 | 302859,15 | 0 | 2037528,56 | 7267810,86 |
| San José de la Montaña | 17386675,21 | 2310665,68 | 307171,18 | 908139,15 | 6256188,59 | 7086207,98 | 0 | 2423814,18 | 36678861,97 |
| San Pablo | 1106940,26 | 2827290,88 | 203043,66 | 158249,38 | 678028,70 | 821573,22 | 0 | 1244938,33 | 7040064,42 |

| | | | | | | | | | |
|---------------|-------------|------------|-----------|-----------|------------|------------|---|------------|-------------|
| San Roque | 75376,68 | 184044,10 | 79275,37 | 48613,37 | 132246,26 | 20709,67 | 0 | 716039,53 | 1256304,99 |
| Santa Lucía | 181535,63 | 444316,67 | 143692,04 | 74523,09 | 679078,18 | 236330,15 | 0 | 1136024,23 | 2895499,99 |
| Subcuencas | | | | | | | | | |
| Río Ciruelas | 11606927,43 | 568257,79 | 191089,70 | 90019,11 | 5425935,81 | 3820554,56 | 0 | 1122289,25 | 22825073,6 |
| Río Porrosatí | 4859277,18 | 5941774,61 | 518101,91 | 976047,38 | 3197581,07 | 3543097,40 | 0 | 3599042,69 | 22634922,25 |
| Río Mancarrón | 2848062,66 | 2720477,08 | 249055,72 | 186195,20 | 1323453,70 | 1829024,12 | 0 | 1610634,75 | 10766903,23 |

10.2 Cuantificación del uso de suelo en el año 2008 (MIVAH, 2008) y el año 2021 (imagen satelital) en las zonas de protección de las nacientes en las ASADAS en estudio

| Usos de suelo (m ²) | Bosque | Cultivos de café | Calle | Cultivos | Pastos | Pastos con árboles dispersos | Urbano | Total |
|----------------------------------|--|------------------|---------|----------|----------|------------------------------|----------|-----------|
| Nacientes (Zona de protección) | Año 2008 (MIVAH, 2008) | | | | | | | |
| | Nacientes ASADA San Pedro de Barva | | | | | | | |
| Nacientes (Radio de 200 m) | 0 | 197000 | 0 | 29090,7 | 4698,17 | 0 | 3066,71 | 233855,58 |
| Naciente Chagos (Radio de 200 m) | 79877,52 | 0 | 2176,59 | 0 | 14052,41 | 11228,81 | 18245,71 | 125581,04 |
| | Nacientes ASADA San José de la Montaña | | | | | | | |
| José Maclovio (Isócronas) | 8265,11 | 114811 | 0 | 0 | 0 | 104191 | 499,85 | 227766,96 |
| Minas (Isócronas) | 0 | 38211,5 | 0 | 61701,21 | 18241,2 | 6123,41 | 0 | 124277,32 |
| Cholo Hernández (Isócronas) | 296046 | 6285,84 | 2601,01 | 0 | 15225,93 | 0 | 23401,28 | 343560,06 |
| San Miguel (Isócronas) | 72715,56 | 0 | 911,71 | 0 | 90323,7 | 0 | 12088,79 | 176039,76 |
| Barbas de Viejo (Isócronas) | 41569,68 | 944,11 | 7555,73 | 476,76 | 43656,33 | 22578,49 | 3256,31 | 120037,42 |
| Ansata (Isócronas) | 31319,7 | 0 | 0 | 0 | 6833,42 | 24,44 | 0 | 38177,56 |

| | | | | | | | | |
|---|--|---------|---------|----------|----------|-----------|----------|-----------|
| Anabel 2 (Zona de captura) | 66229,8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 66229,8 |
| | Año 2021 | | | | | | | |
| | Nacientes ASADA San Pedro de Barva | | | | | | | |
| Nacientes (Radio de 200 m) | 0 | 39212,2 | 0 | 11305,03 | 15655,7 | 156064,38 | 11618,27 | 233855,58 |
| Naciente Chagos (Radio de 200 m) | 79877,52 | 0 | 2176,59 | 0 | 14052,41 | 11228,81 | 18245,71 | 125581,04 |
| | Nacientes ASADA San José de la Montaña | | | | | | | |
| José Maclovio (Isócronas) | 8265,11 | 37376,4 | 0 | 14462,2 | 0 | 164858,21 | 2805,04 | 227766,96 |
| Minas (Isócronas) | 0 | 0 | 0 | 61701,21 | 18241,2 | 44334,91 | 0 | 124277,32 |
| Cholo Hernández (Isócronas) | 235268 | 0 | 2601,01 | 0 | 76003,63 | 6286,14 | 23401,28 | 343560,06 |
| San Miguel (Isócronas) | 72715,56 | 0 | 911,71 | 0 | 90323,7 | 0 | 12088,79 | 176039,76 |
| Barbas de Viejo (Isócronas) | 33022,43 | 914,66 | 7555,73 | 506,27 | 46390,65 | 22578,49 | 9069,19 | 120037,42 |
| Ansata (Isócronas) | 31319,7 | 0 | 0 | 0 | 6833,42 | 24,44 | 0 | 38177,56 |
| Anabel 2 (Zona de captura) | 41790,5 | 0 | 0 | 0 | 24439,3 | 0 | 0 | 66229,8 |

10.3 Componentes de la ASADA de San José de la Montaña

Oficinas administrativas



Oficinas administrativas de la ASADA San José de la Montaña.

Nacientes



Tanque de captación de la naciente Ansata.



Tanque de captación de la naciente Anabel 2.



Tanque de captación de la naciente Cholo Hernández.



Tanque de captación de la naciente Barbas del Viejo.



Tanque de captación de la naciente San Miguel.



Tanques de captación de las nacientes Las Minas 1, 2 y 3.



Tanques de captación de las nacientes José Maclovio 1, 2, 3 y 4.

Tanques de almacenamiento



Tanque de almacenamiento Ileana.



Tanque de almacenamiento La Amistad.



Tanque de almacenamiento Barbas de Viejo.



Tanque de almacenamiento Gallito.



Tanque de almacenamiento La Marta.



Tanque de almacenamiento Nel Ruíz 1 y 2.



Tanque de almacenamiento Chaverri.



Tanque de almacenamiento Bajito.

10.4 Componentes de la ASADA de San Pedro de Barva

Oficinas administrativas



Oficinas administrativas de la ASADA San Pedro de Barva.

Nacientes



Tanque de captación de la naciente El Bosque.



Tanque de captación de la naciente El Centro.



Tanque de captación de la naciente Naranja.



Tanque de captación de la naciente Steinvorth.



Tanque de captación de la naciente La Piedra.



Tanque de captación de la naciente Calle Segura.



Tanque de captación de la naciente Los Geovannys.

Filtro de Agua



Filtro de agua quebrada Naborí.

Pozo



Pozo Doña Elena.

Tanques de almacenamiento



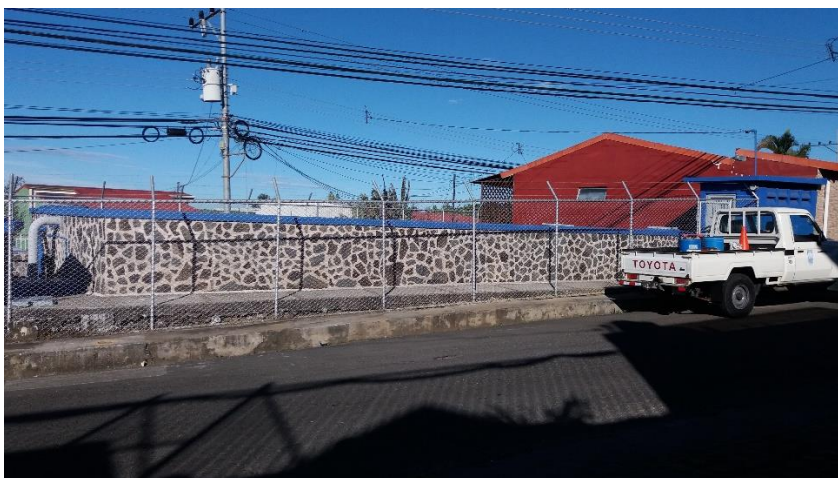
Tanque de almacenamiento La Amada.



Tanque de almacenamiento Los Gemelos.



Tanque de almacenamiento San Pedro.



Tanque de almacenamiento Vega.



Tanque de almacenamiento El Bosque.



Tanque de almacenamiento Doña Elena.

APÉNDICES

INFORME GIRA DE LA ASADA SAN JOSÉ DE LA MONTAÑA

GIRA | GESTIÓN INTEGRAL DE RIESGO EN ASADAS



ENFOQUE DE CUENCA
Adaptación al Cambio Climático

Informe Final Plan GIRA



CONTENIDO

| | |
|--|---|
| Presentación..... | 2 |
| Objetivos..... | 3 |
| Objetivo General dEL PLAN GIRA..... | 3 |
| Objetivos Específicos deL PLAN GIRA..... | 3 |
| Metodología Utilizada | 3 |
| Plan GIRA | 4 |
| Resultados del Análisis | 4 |
| Planes de acción | 6 |
| Referencias | 7 |
| Anexos | 8 |

PRESENTACIÓN

La herramienta de Gestión Integral de Riesgos en ASADAS (GIRA) ha sido implementada gracias al apoyo del Proyecto “Fortalecimiento de las capacidades de Asociaciones de Acueductos Rurales (ASADAS) para enfrentar riesgos del Cambio Climático en comunidades con estrés hídrico en el Norte de Costa Rica” (ASADAS AYA-PNUD/GEF), que se desarrolla en una colaboración entre el Instituto Costarricense de Agua y Alcantarillado (AyA) y el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), con el auspicio del Fondo Global para el Medio Ambiente (GEF).

El GIRA responde al enfoque del Modelo de Atención a ASADAS de AyA y promueve la incorporación de la gestión de riesgos en la planificación, buscando identificar y evitar las condiciones que generan riesgo, empoderar a las ASADAS como un actor fundamental en los comités municipales o comunales de emergencia, y generar espacios de reflexión sobre riesgos existentes y futuros impactos del cambio climático y otras amenazas.

La metodología GIRA inicia con la conformación de un equipo de trabajo establecido por cada ASADA, este equipo es el responsable del llenado de cuestionarios que recopilan la información necesaria para hacer un diagnóstico sobre el estado de la ASADA y la identificación de acciones correctivas o de mitigación que debe realizar en las áreas operativas, sanitarias y administrativas e infraestructura, dando origen al Plan de Gestión Integral de Riesgos en ASADAS, que incorpora lineamientos del Plan de Emergencias, el Plan de Seguridad del Agua y el Plan de Adaptación al Cambio Climático.

GIRA aprovecha la información disponible en el Sistema de Apoyo y Gestión de ASADAS (SAGA) del AyA, que a su vez se nutre de la información recopilada mediante el Formulario Unificado de Información sobre Organizaciones Comunes Prestadoras de Servicios de Agua Potable y Saneamiento (FU), rescata el conocimiento local de quienes desarrollan actividades técnicas, de fontanería y de la Junta Directiva en las ASADAS, integra conocimiento científico generado por los modelos de cambio climático de Instituto Meteorológico Nacional (IMN) y la información sobre amenazas de la Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias (CNE), y utiliza como unidad geográfica de análisis la subcuenca donde se ubican las fuentes de agua, ofreciendo a la ASADA un punto de partida para desarrollar una gestión integral e integrada del riesgo.

El presente informe Plan GIRA muestra el resultado de la metodología desarrollada utilizando dicha Herramienta GIRA, donde se obtienen los planes de acción a seguir para la ASADA, con el detalle de acuerdos generados dentro del comité seleccionado, los plazos, responsables y presupuesto asignado para cada medida de mitigación elegida como prioritaria.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL DEL PLAN GIRA

Fortalecer la gestión de la ASADA SAN JOSE DE LA MONTAÑA a través de un Plan de Gestión de Riesgos, basado en el análisis de vulnerabilidades, la identificación, valoración, administración y comunicación de los riesgos que pueden afectar la prestación de servicios que brinda la ASADA, así como desarrollar los mecanismos de respuesta y recuperación ante los impactos.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS DEL PLAN GIRA

- Conocer el estado de los componentes del sistema de agua y saneamiento, las características de su territorio y comunidad e identificar medidas de prevención, mitigación, respuesta y recuperación.
- Identificar debilidades y fortalecer la operación de la ASADA, el mantenimiento y funcionamiento del acueducto, a través de la autoevaluación de vulnerabilidades administrativas, operativas, sanitarias, de infraestructura y de atención a emergencias.
- Generar un plan de acción con las medidas preventivas y correctivas necesarias para gestionar el riesgo asociado a la ASADA, con el apoyo de información científica generada por modelos de cambio climático y amenazas internas y externas que enfrenta la ASADA, para la fortalecer así la toma de decisiones informada.

METODOLOGÍA UTILIZADA

La metodología utilizada para el Plan de Gestión Integral de Riesgos se basa en seis etapas:

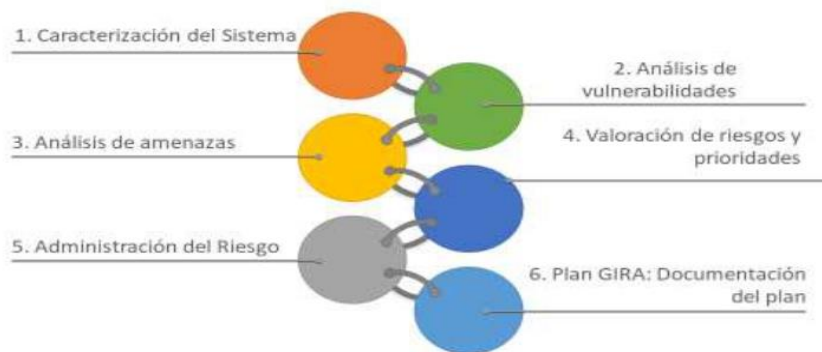


Figura 1: Metodología GIRA

1. **Caracterización del sistema:** Se realiza una descripción detallada de los componentes de infraestructura de la ASADA y un mapa de riesgos que grafica su distribución y ubicación en el entorno natural y de la comunidad
2. **Análisis de vulnerabilidades:** se procede una autoevaluación de los diferentes aspectos por lo que debe velar la ASADA, dentro de cuatro categorías: sanitaria, administrativa, operativa y de infraestructura.
3. **Análisis de amenazas de la cuenca:** Se identifica la existencia de amenazas, la probabilidad de afectación sobre las subcuencas donde se ubica la ASADA y el nivel de consecuencia de estas amenazas sobre los componentes de la infraestructura y servicios de agua. Además, se evalúa el grado de preparación ante una emergencia que tiene la ASADA.

4. **Valoración del riesgo y prioridades:** Se consolidan los resultados de los análisis anteriores, para luego valorar según la probabilidad y la consecuencia de cada situación, el nivel de riesgo que representa para la ASADA. Según este resultado se priorizan las medidas correctivas y preventivas que integrarán el plan de gestión de riesgos.
5. **Administración de riesgos:** Se define una ruta de acción para cada medida correctiva y preventiva, que detalle los montos de inversión, las fuentes de financiamiento, fechas y responsables. Además, se incorpora un instrumento de monitoreo y evaluación de los planes de acción.
6. **Documentación del plan:** Se generan documentos resultantes que registran los pasos anteriores realizados, con el fin de documentar el proceso.

En el Anexo 1 se presenta un glosario de conceptos utilizados para comprender aquellos aspectos técnicos referentes a la Gestión de Riesgos.

Los pasos realizados en cada etapa de la metodología se encuentran detallados en los Anexos de este documento:

- Anexo 2 Ficha técnica de la ASADA: Contiene el resumen de la información general de la ASADA, sus obras de infraestructura y las fuentes de captación que posee.
- Anexo 3 Mapa de Riesgos de la ASADA: Grafica las obras de infraestructura dentro del entorno de la comunidad e identifica las posibles amenazas que las rodean.
- Anexo 4 Resultados detallados de la autoevaluación: Resumen de las respuestas a los cuestionarios de autoevaluación, la puntuación resultante y la categoría de vulnerabilidad en cada caso.
- Anexo 5 Resultados de vulnerabilidad de la ASADA: Resumen por área de evaluación de los porcentajes de vulnerabilidad obtenidos y las categorías correspondientes
- Anexo 6 Valoración del Riesgo y Priorización de medidas de acción: Se observa el resumen de las medidas de acción elegidas y la valoración del riesgo de cada una.
- Anexo 7 Plan de Acción Correctivo: Presenta la planificación de las medidas correctivas a incluir en el Plan GIRA
- Anexo 8 Plan de Acción Preventivo: Presenta la planificación de medidas preventivas a incluir en el Plan GIRA
- Anexo 9 Seguimiento de los planes: Contiene el resumen del Plan GIRA en la estructura de seguimiento del plan en el tiempo.

PLAN GIRA

RESULTADOS DEL ANÁLISIS

El Plan GIRA se formula luego de desarrollar cada una de las etapas mencionadas dentro de la metodología, a continuación, se presenta un resumen de los resultados más relevantes a considerar.

El nivel de vulnerabilidad de la ASADA, considerando 4 factores de vulnerabilidad (Administrativa, Operativa, Sanitaria y de Infraestructura) es de **9%**, lo que se considera dentro de la categoría **MUY BAJA**. (Ver Anexos 4 y 5).

Para identificar las áreas de mayor oportunidad se analizan aquellas vulnerabilidades con niveles más altos, los resultados para cada caso fueron:

| Vulnerabilidad | % Resultante | Categoría |
|-----------------|--------------|-----------|
| Sanitaria | 9% | MUY BAJA |
| Sello Calidad | 100% | |
| Infraestructura | 0% | MUY BAJA |
| Operativa | 38% | MODERADA |
| Administrativa | -13% | MUY BAJA |

Por otra parte, referente al nivel de preparación ante Emergencias se obtuvo que la ASADA en el análisis del cuestionario correspondiente, de 100% está preparada a un **100%**, lo que indica una categoría de preparación **MUY ALTA**.

Referente al estudio de las amenazas relacionadas a la Subcuenca de la ASADA, se obtuvo un nivel de exposición por Amenaza descrito en la siguiente tabla.

Nombre de la Cuenca: Río Tárcoles

Nombre de la Subcuenca: RIO PORROSATI

| Amenaza | Nivel de Exposición |
|--------------------------|---------------------|
| Sequía | 5 |
| Terremoto/Sismo | 3 |
| Deslizamiento | 4 |
| Tormenta/Inundación | 3 |
| Sedimentación | 2 |
| Incendio | 2 |
| Exposición Antropogénica | 4 |

La información descrita sirve como insumo para la toma de decisiones de la ASADA con el fin de priorizar las medidas preventivas y correctivas a incluir en el Plan GIRA, considerando qué áreas de gestión son más vulnerables y que amenazas debe la ASADA considerar para una correcta preparación ante el riesgo. (Ver Anexo 6)

PLANES DE ACCIÓN

La gestión del riesgo se realiza al tomar decisiones de medidas correctivas y preventivas traducidas en planes de acción, estos planes son el compromiso de la ASADA por mitigar el riesgo identificado.

Dichos planes consideran un presupuesto para su ejecución, la fuente de financiamiento, las actividades a realizar, los responsables de realizar cada tarea y los plazos en los que se debe ejecutar. (En los Anexos 7 y 8 se presentan los planes de acción correctivos y preventivos respectivamente).

Con el fin de llevar un control del proceso de ejecución de este plan GIRA, se dará seguimiento al mismo de manera **trimestral**, utilizando la misma herramienta GIRA, que permite corroborar la planificación realizada con la realidad del avance alcanzado y las posibles diferencias en inversión y plazos definidos previamente. (Ver Anexo 9).

REFERENCIAS

- AYA. (2013). *Manual de Procedimientos de Gestión del Riesgo para la Atención de Emergencias y Desastres en el AyA*. San José.
- AYA. (2014). *Manual para el Análisis de la Vulnerabilidad y formulación del Plan de Gestión de Riesgos en los Sistemas de Agua Potable y Aguas Residuales Administrados por ASADAS*. San José.
- AYA. (2015). *Política de Organización y Fortalecimiento de la Gestión Comunitaria de los Servicios de Agua Potable y Saneamiento*. San José.
- AYA. (2017). *Manual de Entes Operadores del Programa Sello Calidad Sanitaria*. San José: Laboratorio Nacional de Aguas.
- Castillo, M. (2011). *Desarrollo rural reduciendo el riesgo en contextos de cambio climático*. Lima: GIZ.
- CNE. (noviembre de 2005). *Ley Nacional de Emergencias y Prevención del Riesgo. Decreto 8488*. San José.
- Ministerio de Salud. (2015). *Reglamento para la Calidad del Agua Potable*. San José.
- Narvaez, L., Lavell, L., & Pérez Ortega, G. (2009). *La Gestión del Riesgo de Desastres: un enfoque basado en procesos*. Lima.

Anexo 1: Glosario de Conceptos básicos utilizados

Los siguientes son los principales conceptos que se utilizan en GIRA y que han sido adaptados de diversas fuentes, (Narvaez, Lavell, & Pérez Ortega, 2009) (CNE, 2005) (AYA, 2014) para ponerlos en el contexto de las ASADAS

Amenaza: Es el peligro latente de que ocurra un fenómeno de origen natural o humano, que puede producir daños a la infraestructura, afectación al funcionamiento de la ASADA e interrumpir el abastecimiento normal del servicio de agua a sus abonados en cantidad y calidad (Ver Figura 1).

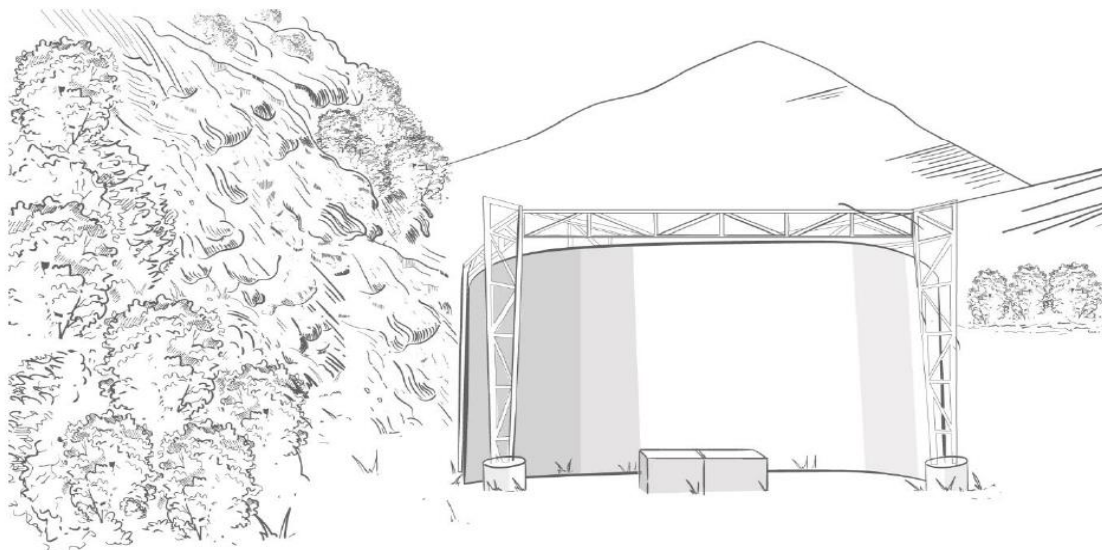


Figura 2: Ejemplo de Amenaza por un fenómeno natural de deslizamiento

Vulnerabilidad: es la probabilidad de una ASADA de ser impactada por una amenaza, debido a las condiciones propias de su exposición a la amenaza, su fragilidad administrativa, operativa, sanitaria y de infraestructura, y de sus capacidades para anticipar, resistir y recuperarse de los efectos del impacto. (AYA, 2014)

Riesgo: Probabilidad de pérdidas, daños o consecuencias económicas, sociales o ambientales debido a la interacción entre la amenaza con la vulnerabilidad de los elementos expuestos. (CNE, 2005)

Desastre: Situación o proceso que causa destrucción de infraestructura, pérdidas económicas y alteraciones intensas en el funcionamiento de una ASADA que se encuentra en situación de vulnerabilidad al ser impactada por una amenaza (Ver Figura 2).



Figura 3: Ejemplo de situación de desastre por fenómeno de deslizamiento

Gestión del riesgo: Proceso mediante el cual se identifican y analizan las amenazas y vulnerabilidades de la ASADA y su entorno, con el fin de desarrollar las medidas para prevenir, mitigar y reducir las posibilidades de que lleguen a producir un desastre, así como las medidas de preparación, atención y recuperación ante eventuales impactos.

Gestión Correctiva del Riesgo: es el conjunto de acciones tendientes a reducir el riesgo ya existente mediante medidas específicas como, por ejemplo, reparar las grietas de un tanque de almacenamiento para evitar su posible colapso o reubicar una línea de tubería que está en un sitio de deslizamiento.

Gestión Preventiva del Riesgo: son las acciones que se hagan para evitar que situaciones actuales puedan desencadenar condiciones de riesgo en el futuro. Por ejemplo, identificar y desarrollar planes de protección de zonas de recarga hídrica; trabajos de estabilización de laderas para evitar deslizamientos en zonas de grandes pendientes por donde pasa la tubería; analizar el comportamiento de caudales y crecidas de un río para seleccionar el mejor sitio de instalación de un paso a nivel.

Gestión Reactiva o “manejo del desastre”: Se refiere a las acciones para responder y atender lo inmediato de los impactos del desastre. Aún en estas circunstancias hay oportunidades de tomar decisiones para reducir los riesgos presentes y futuros.

Medidas de mitigación: Son aquellas acciones, planes o procesos que buscan reducir la vulnerabilidad ante un suceso y el impacto negativo que puede provocar. La Herramienta GIRA ayuda a la ASADA a identificar su grado de vulnerabilidad, de manera que pueda implementar medidas de mitigación (Ver Figura 3).

Riesgo mitigable: son aquellos riesgos que pueden ser intervenidos y reducidos con los recursos que la ASADA tiene disponibles o pueda conseguir.

Riesgo no mitigable: son aquellos riesgos con dimensiones o costos de atención fuera de la capacidad de resolución por parte de la ASADA, y en cuyo caso podría requerir necesidad de ayuda externa o protección financiera (seguros). Incluso puede ser un riesgo no mitigable que esté fuera de la capacidad de atención de las mismas autoridades municipales o nacionales.

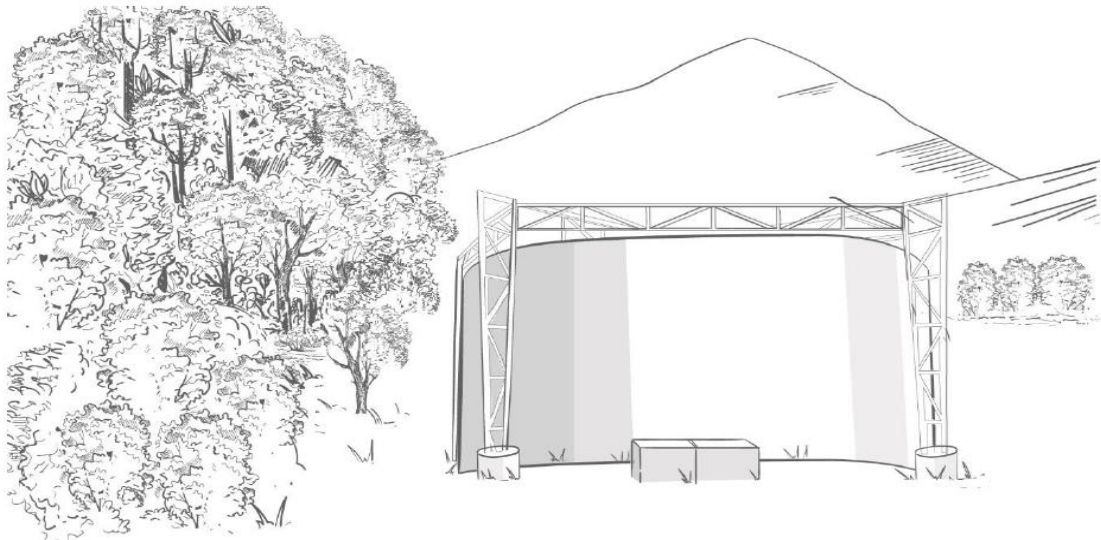


Figura 4: Ejemplo de medida de mitigación: reforestación en caso de amenaza por deslizamiento

Anexo 2: Ficha Técnica de la ASADA

Ficha Técnica de la ASADA



| | | | | | | |
|-----------------|------------------------|------------------------------|------|------------------------------|--|-----|
| Nombre de ASADA | | ASADA SAN JOSE DE LA MONTAÑA | | IDEO | | 957 |
| Provincia | HEREDIA | Número de abonados: | 1691 | Tipo de servicios que brinda | | |
| Cantón | BARVA | Número de comunidades | 9 | Acueducto | | |
| Distrito | SAN JOSE DE LA MONTAÑA | Número de sistemas | 3 | Hidrante | | |
| | | | | Saneamiento | | |
| | | | | SI | | |
| | | | | SI | | |
| | | | | NO | | |

Obras de infraestructura por Sistema



| Nombre del sistema | Captación | Desarenador | Conducción | Planta potabilizadora | Tanque de Almacenamiento | Redes de distribución | Sistema de bombeo | Sistema de desinfección |
|--------------------|-----------|-------------|------------|-----------------------|--------------------------|-----------------------|-------------------|-------------------------|
| Total de obras: | 13 | 0 | 7 | 0 | 8 | 8 | 0 | 4 |
| Sistema 1 | 9 | | 3 | | 4 | 6 | | 2 |
| Sistema 2 | 3 | | 3 | | 2 | 1 | | 1 |
| SISTEMA 3 | 1 | | 1 | | 2 | 1 | | 1 |
| 1 | | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | | |
| 4 | | | | | | | | |
| 5 | | | | | | | | |
| 6 | | | | | | | | |
| 7 | | | | | | | | |
| 8 | | | | | | | | |
| 9 | | | | | | | | |

Información de las fuentes de captación de los sistemas

| Número de nacientes: | 13 | Número de pozos: | 0 | Número de quebradas: | 0 |
|----------------------|--------------------------|------------------|--------|----------------------|---|
| Tipo de Fuente | Nombre de fuente | Poblado | Cuenca | Sub Cuenca | |
| 1 | NACIENTE BARBAS DE VIEJO | Naciente | BARBA | Río Tárcoles | |
| 2 | NACIENTE CHOLO HERNANDEZ | Naciente | BARBA | Río Tárcoles | |
| 3 | NACIENTE SAN MIGUEL | Naciente | BARBA | Río Tárcoles | |
| 4 | NACIENTE MINAS 3 | Naciente | BARBA | Río Tárcoles | |
| | | | | RIO PORROSATI | |
| | | | | RIO PORROSATI | |
| | | | | RIO PORROSATI | |
| | | | | RIO VIRILLA | |

Anexo 2: Ficha Técnica de la ASADA

| | | | | | |
|----|------------------|----------|-------|--------------|-------------|
| 5 | NACIENTE MINAS 2 | Naciente | BARBA | Río Tárcoles | RIO VIRILLA |
| 6 | NACIENTE MINAS 1 | Naciente | BARBA | Río Tárcoles | RIO VIRILLA |
| 7 | NACIENTE PEREZ 4 | Naciente | BARBA | Río Tárcoles | RIO VIRILLA |
| 8 | NACIENTE PEREZ 3 | Naciente | BARBA | Río Tárcoles | RIO VIRILLA |
| 9 | NACIENTE PEREZ 2 | Naciente | BARBA | Río Tárcoles | RIO VIRILLA |
| 10 | NACIENTE PEREZ 1 | Naciente | BARBA | Río Tárcoles | RIO VIRILLA |
| 11 | NACIENTE ANSATA | Naciente | BARBA | Río Tárcoles | RIO VIRILLA |
| 12 | NACIENTE | Naciente | BARBA | Río Tárcoles | RIO VIRILLA |
| 13 | | | | | |
| 14 | | | | | |
| 15 | | | | | |

Anexo 4: Resultados detallados de la Autoevaluación



ASADA SAN JOSE DE LA MONTAÑA

Evaluación detallada de los cuestionarios

| Vulnerabilidad Operativa (12.5% cada una) | Respuesta |
|--|------------------|
| ¿Existe más oferta de agua que la demandada por la comunidad, o al menos está balanceada? | Sí |
| ¿El acueducto cuenta con desinfección continua? | Sí |
| ¿Se conoce la zona de recarga de las fuentes de agua subterráneas? | Sí |
| ¿Se poseen procedimientos operativos de control de presiones? | No |
| ¿Se poseen procedimientos operativos de control de fugas? | No |
| ¿Se poseen procedimientos operativos de control de las instalaciones de tuberías y nuevas conexiones? | No |
| ¿Se llevan bitácoras con fecha, lugar y fotografía, de las mejoras o mantenimientos realizados al sistema? | Sí |
| ¿Se busca mejorar los procedimientos de control y mantenimiento en el sistema? | Sí |
| Resultado | |
| <i>Vulnerabilidad</i> | |

| Vulnerabilidad Sanitaria | Respuesta |
|--|------------------|
| ¿Posee planes de mantenimiento planificados y realizados para cada una de las fuentes de agua? (15pts) | Sí |
| ¿Posee planes de mantenimiento planificados y realizados para la limpieza de tanques y redes? (10 pts) | Sí |
| ¿Se realizan estudios diarios del cloro residual en la red para mantenerla dentro de los parámetros de la norma, con su respectiva bitácora? (10 pts.) | Sí |
| ¿Se organizan anualmente programas de educación ambiental a la comunidad como: talleres, campañas de limpieza de calles o ríos, videos informativos, reforestación, entre otras? (10 pts.) | Sí |
| ¿Se informa a la comunidad los resultados del control de calidad de agua potable por medios como: boletines, recibos de cobro mensual, oficina de acueducto, sitios públicos, redes sociales? (2,5 pts.) | Sí |
| ¿Realiza el Control Operativo con la frecuencia establecida en el Reglamento para la Calidad de Agua Potable (Decreto Ejecutivo N.38924-S)? (20pts) | Sí |
| ¿Todas las fuentes y los tanques se encuentran rotulados y con pintura en buen estado? (Puntuación para la gradación de estrellas) | Sí |
| Resultado | |
| Evaluación | |
| <i>Vulnerabilidad</i> | |

| Vulnerabilidad Administrativa (12.5% cada una) | Respuesta |
|--|------------------|
| ¿Cuenta con estados financieros actualizados? | Sí |
| ¿El dinero de la ASADA es custodiado en una cuenta bancaria? | Sí |
| ¿Se poseen fondos de capitalización (dinero acumulado para utilizarse en reparación y ampliación del sistema)? | Sí |
| ¿El porcentaje de morosidad de los abonados es menor a 10%? | Sí |
| ¿La ASADA ofrece el servicio de pago por Internet o depósito bancario? | Sí |
| ¿Cuenta con Sistemas Informáticos de Gestión para las ASADAS? | Sí |
| ¿La ASADA sigue un plan de trabajo anual? | No |
| ¿Cuenta con un Plan de Transparencia y Rendición de Cuentas? | Sí |
| Resultado | |
| <i>Vulnerabilidad</i> | |

Anexo 4: Resultados detallados de la Autoevaluación

| Vulnerabilidad en Infraestructura (14.3% cada una) | Respuesta |
|---|------------------|
| ¿Posee el detalle del catastro de los componentes del sistema (ubicación, profundidad, especificaciones técnicas)? | Sí |
| ¿Conoce el material, edad y condición de las tuberías y otros elementos del sistema? | Sí |
| ¿Todos los componentes del sistema se encuentran dentro su vida útil? | Sí |
| ¿Tiene identificadas las áreas dentro del sistema propensas a inundaciones? | Sí |
| ¿Tiene identificadas dentro del sistema posibles fuentes de materia fecal que se encuentren cerca de la tubería o fuentes? | Sí |
| ¿El sistema está libre de fugas? | Sí |
| ¿Los componentes del sistema están localizados en zonas de baja vulnerabilidad, y si no es así, se ha identificado que la ubicación correcta del componente para proyectar su traslado? | Sí |
| | Resultado |
| | Vulnerabilidad |

| Evaluación preparativos ante emergencias (10% c/u) | Respuesta |
|---|----------------------|
| ¿Se tienen identificadas las fuentes alternativas de agua en caso de un desastre? | Sí |
| ¿Realiza el Control Operativo con la frecuencia establecida en el Reglamento para la Calidad de Agua Potable (Decreto Ejecutivo N.38924-S)? | Sí |
| ¿Se dispone de un stock de materiales suficientes para reparar posibles daños? | Sí |
| ¿Se tiene un plano actualizado del sistema y sus accesorios? | Sí |
| ¿Están identificadas las zonas más vulnerables del sistema? | Sí |
| ¿Las instalaciones eléctricas son a prueba de agua? | Sí |
| ¿Posee mecanismos alternativos de generación eléctrica? | Sí |
| ¿Se tiene un plan de comunicación en caso emergencias con: el usuario, AYA, CNE, ORAC, otros? | Sí |
| ¿Forma parte del comité comunal de emergencias? | Sí |
| ¿Ha desarrollado alianzas con ASADAS vecinas para coordinar apoyo mutuo en caso de una emergencia? | Sí |
| | Resultado |
| | Nivel de preparación |

Sello de calidad Sanitaria - SERSA

| Evaluación de Tanque de Almacenamiento - La Amistad (10 pts c/u) | Respuesta |
|---|------------------|
| ¿Están las paredes agrietadas (concreto) o herrumbradas (metálico)? | No |
| ¿Están las tapas del tanque de almacenamiento, construida en condiciones no sanitarias? | No |
| ¿Carece la estructura externa de mantenimiento (pintura, limpieza, libre de hojas, musgo)? | No |
| ¿Está ausente o fuera de operación el sistema de cloración? | No |
| ¿Está el nivel de agua menor que un cuarto que el volumen del tanque y las escaleras internas herrumbradas? | No |
| ¿Existen sedimentos, algas, hongos dentro del tanque? | No |
| ¿Está ausente o defectuosa la malla de protección? | No |
| ¿Carece la tapa de un sistema de cierre seguro (candado, cadena, tornillo)? | No |
| ¿Carece el tanque de respiraderos o tuberías de rebalse con rejillas de protección? | No |
| ¿Existe alguna fuente de contaminación alrededor del tanque (letrinas, animales, viviendas, basura)? | No |
| | Resultado |
| | Vulnerabilidad |

Anexo 4: Resultados detallados de la Autoevaluación

| Evaluación de Tanque de Almacenamiento - Barbas de Viejo (10 pts c/u) | Respuesta |
|--|------------------|
| ¿Están las paredes agrietadas (concreto) o herrumbreadas (metálico)? | No |
| ¿Están las tapas del tanque de almacenamiento, construida en condiciones no sanitarias? | No |
| ¿Carece la estructura externa de mantenimiento (pintura, limpieza, libre de hojas, musgo)? | No |
| ¿Está ausente o fuera de operación el sistema de cloración? | No |
| ¿Está el nivel de agua menor que un cuarto que el volumen del tanque y las escaleras internas herrumbreadas? | No |
| ¿Existen sedimentos, algas, hongos dentro del tanque? | No |
| ¿Está ausente o defectuosa la malla de protección? | No |
| ¿Carece la tapa de un sistema de cierre seguro (candado, cadena, tornillo)? | No |
| ¿Carece el tanque de respiraderos o tuberías de rebalse con rejillas de protección? | No |
| ¿Existe alguna fuente de contaminación alrededor del tanque (letrinas, animales, viviendas, basura)? | No |
| | Resultado |
| | Vulnerabilidad |

| Evaluación de Líneas de conducción y distribución - Sistema 3 Gallito (10 pts c/u) | Respuesta |
|---|------------------|
| ¿Existe alguna fuga en la línea de conducción? | No |
| ¿Carecen los tanques quiebra gradientes de tapas sanitarias? | No |
| ¿En los tanques quiebra gradientes se observan rajaduras, grietas, fugas, raíces? | No |
| ¿Se observan fugas visibles en alguna red de distribución? | No |
| ¿Existen variaciones significativas de presiones en la red de distribución? | Sí |
| ¿Carece de cloro residual alguna zona de la red principal de distribución? | No |
| ¿Existen interrupciones constantes en el servicio de distribución de agua? | No |
| ¿Carece de sistemas para purgar la tubería de distribución? | No |
| ¿Carece de un fontanero o encargado de mantenimiento de la red? | No |
| ¿Carece de un esquema del sistema de distribución (planos o croquis)? | Sí |
| | Resultado |
| | Vulnerabilidad |

| Evaluación de Líneas de conducción y distribución - Sistema 2 San Miguel (10 pts c/u) | Respuesta |
|--|------------------|
| ¿Existe alguna fuga en la línea de conducción? | No |
| ¿Carecen los tanques quiebra gradientes de tapas sanitarias? | No |
| ¿En los tanques quiebra gradientes se observan rajaduras, grietas, fugas, raíces? | No |
| ¿Se observan fugas visibles en alguna red de distribución? | No |
| ¿Existen variaciones significativas de presiones en la red de distribución? | Sí |
| ¿Carece de cloro residual alguna zona de la red principal de distribución? | No |
| ¿Existen interrupciones constantes en el servicio de distribución de agua? | No |
| ¿Carece de sistemas para purgar la tubería de distribución? | No |
| ¿Carece de un fontanero o encargado de mantenimiento de la red? | No |
| ¿Carece de un esquema del sistema de distribución (planos o croquis)? | Sí |

Anexo 4: Resultados detallados de la Autoevaluación

| |
|-----------------------|
| Resultado |
| <i>Vulnerabilidad</i> |

| Evaluación de Líneas de conducción y distribución - Sistema 1 Central (10 pts c/u) | Respuesta |
|---|-----------------------|
| ¿Existe alguna fuga en la línea de conducción? | No |
| ¿Carecen los tanques quiebra gradientes de tapas sanitarias? | No |
| ¿En los tanques quiebra gradientes se observan rajaduras, grietas, fugas, raíces? | No |
| ¿Se observan fugas visibles en alguna red de distribución? | No |
| ¿Existen variaciones significativas de presiones en la red de distribución? | Sí |
| ¿Carece de cloro residual alguna zona de la red principal de distribución? | No |
| ¿Existen interrupciones constantes en el servicio de distribución de agua? | No |
| ¿Carece de sistemas para purgar la tubería de distribución? | No |
| ¿Carece de un fontanero o encargado de mantenimiento de la red? | No |
| ¿Carece de un esquema del sistema de distribución (planos o croquis)? | No |
| | Resultado |
| | <i>Vulnerabilidad</i> |

| Evaluación de Tanque de Almacenamiento - Bajito (10 pts c/u) | Respuesta |
|---|-----------------------|
| ¿Están las paredes agrietadas (concreto) o herrumbradas (metálico)? | No |
| ¿Están las tapas del tanque de almacenamiento, construida en condiciones no sanitarias? | No |
| ¿Carece la estructura externa de mantenimiento (pintura, limpieza, libre de hojas, musgo)? | No |
| ¿Está ausente o fuera de operación el sistema de cloración? | No |
| ¿Está el nivel de agua menor que un cuarto que el volumen del tanque y las escaleras internas herrumbradas? | No |
| ¿Existen sedimentos, algas, hongos dentro del tanque? | No |
| ¿Está ausente o defectuosa la malla de protección? | No |
| ¿Carece la tapa de un sistema de cierre seguro (candado, cadena, tornillo)? | No |
| ¿Carece el tanque de respiraderos o tuberías de rebalse con rejillas de protección? | No |
| ¿Existe alguna fuente de contaminación alrededor del tanque (letrinas, animales, viviendas, basura)? | No |
| | Resultado |
| | <i>Vulnerabilidad</i> |

| Evaluación de Tanque de Almacenamiento - Chaverri (10 pts c/u) | Respuesta |
|---|-----------------------|
| ¿Están las paredes agrietadas (concreto) o herrumbradas (metálico)? | No |
| ¿Están las tapas del tanque de almacenamiento, construida en condiciones no sanitarias? | No |
| ¿Carece la estructura externa de mantenimiento (pintura, limpieza, libre de hojas, musgo)? | No |
| ¿Está ausente o fuera de operación el sistema de cloración? | No |
| ¿Está el nivel de agua menor que un cuarto que el volumen del tanque y las escaleras internas herrumbradas? | No |
| ¿Existen sedimentos, algas, hongos dentro del tanque? | No |
| ¿Está ausente o defectuosa la malla de protección? | No |
| ¿Carece la tapa de un sistema de cierre seguro (candado, cadena, tornillo)? | No |
| ¿Carece el tanque de respiraderos o tuberías de rebalse con rejillas de protección? | No |
| ¿Existe alguna fuente de contaminación alrededor del tanque (letrinas, animales, viviendas, basura)? | No |
| | Resultado |
| | <i>Vulnerabilidad</i> |

Anexo 4: Resultados detallados de la Autoevaluación

| Evaluación de Tanque de Almacenamiento - El Gallito (10 pts c/u) | Respuesta |
|---|-----------------------|
| ¿Están las paredes agrietadas (concreto) o herrumbradas (metálico)? | No |
| ¿Están las tapas del tanque de almacenamiento, construida en condiciones no sanitarias? | No |
| ¿Carece la estructura externa de mantenimiento (pintura, limpieza, libre de hojas, musgo)? | No |
| ¿Está ausente o fuera de operación el sistema de cloración? | No |
| ¿Está el nivel de agua menor que un cuarto que el volumen del tanque y las escaleras internas herrumbradas? | No |
| ¿Existen sedimentos, algas, hongos dentro del tanque? | No |
| ¿Está ausente o defectuosa la malla de protección? | No |
| ¿Carece la tapa de un sistema de cierre seguro (candado, cadena, tornillo)? | No |
| ¿Carece el tanque de respiraderos o tuberías de rebalse con rejillas de protección? | No |
| ¿Existe alguna fuente de contaminación alrededor del tanque (letrinas, animales, viviendas, basura)? | No |
| | Resultado |
| | <i>Vulnerabilidad</i> |

| Evaluación de Tanque de Almacenamiento - Eleana (10 pts c/u) | Respuesta |
|---|-----------------------|
| ¿Están las paredes agrietadas (concreto) o herrumbradas (metálico)? | No |
| ¿Están las tapas del tanque de almacenamiento, construida en condiciones no sanitarias? | No |
| ¿Carece la estructura externa de mantenimiento (pintura, limpieza, libre de hojas, musgo)? | No |
| ¿Está ausente o fuera de operación el sistema de cloración? | No |
| ¿Está el nivel de agua menor que un cuarto que el volumen del tanque y las escaleras internas herrumbradas? | No |
| ¿Existen sedimentos, algas, hongos dentro del tanque? | No |
| ¿Está ausente o defectuosa la malla de protección? | No |
| ¿Carece la tapa de un sistema de cierre seguro (candado, cadena, tornillo)? | No |
| ¿Carece el tanque de respiraderos o tuberías de rebalse con rejillas de protección? | No |
| ¿Existe alguna fuente de contaminación alrededor del tanque (letrinas, animales, viviendas, basura)? | No |
| | Resultado |
| | <i>Vulnerabilidad</i> |

| Evaluación de Tanque de Almacenamiento - La Marta (10 pts c/u) | Respuesta |
|---|-----------------------|
| ¿Están las paredes agrietadas (concreto) o herrumbradas (metálico)? | No |
| ¿Están las tapas del tanque de almacenamiento, construida en condiciones no sanitarias? | No |
| ¿Carece la estructura externa de mantenimiento (pintura, limpieza, libre de hojas, musgo)? | No |
| ¿Está ausente o fuera de operación el sistema de cloración? | No |
| ¿Está el nivel de agua menor que un cuarto que el volumen del tanque y las escaleras internas herrumbradas? | No |
| ¿Existen sedimentos, algas, hongos dentro del tanque? | No |
| ¿Está ausente o defectuosa la malla de protección? | No |
| ¿Carece la tapa de un sistema de cierre seguro (candado, cadena, tornillo)? | No |
| ¿Carece el tanque de respiraderos o tuberías de rebalse con rejillas de protección? | No |
| ¿Existe alguna fuente de contaminación alrededor del tanque (letrinas, animales, viviendas, basura)? | No |
| | Resultado |
| | <i>Vulnerabilidad</i> |

Anexo 4: Resultados detallados de la Autoevaluación

| Evaluación de Tanque de Almacenamiento - Nel Ruiz (10 pts c/u) | Respuesta |
|---|-----------------------|
| ¿Están las paredes agrietadas (concreto) o herrumbradas (metálico)? | No |
| ¿Están las tapas del tanque de almacenamiento, construida en condiciones no sanitarias? | No |
| ¿Carece la estructura externa de mantenimiento (pintura, limpieza, libre de hojas, musgo)? | No |
| ¿Está ausente o fuera de operación el sistema de cloración? | No |
| ¿Está el nivel de agua menor que un cuarto que el volumen del tanque y las escaleras internas herrumbradas? | No |
| ¿Existen sedimentos, algas, hongos dentro del tanque? | No |
| ¿Está ausente o defectuosa la malla de protección? | No |
| ¿Carece la tapa de un sistema de cierre seguro (candado, cadena, tornillo)? | No |
| ¿Carece el tanque de respiraderos o tuberías de rebalse con rejillas de protección? | No |
| ¿Existe alguna fuente de contaminación alrededor del tanque (letrinas, animales, viviendas, basura)? | No |
| | Resultado |
| | <i>Vulnerabilidad</i> |

| Evaluación de Naciente - Anabel (10 pts c/u) | Respuesta |
|--|-----------------------|
| ¿Está la naciente sin malla de protección que impide el acceso de animales y personas? | No |
| ¿Está la naciente desprotegida, abierta a la contaminación ambiental (sin caseta o sin tanque de captación)? | No |
| ¿Está la tapa de captación construida en condiciones no sanitaria y sin cierre seguro (candado o tornillo)? | No |
| ¿Están las paredes y la loza superior de captación con grietas? | No |
| ¿Carece de canales perimetrales para desviar el agua de escorrentía? | No |
| ¿Carece la captación de respiraderos o tubería de rebalse con rejilla de protección? | No |
| ¿Se encuentran plantas, raíces, hojas, algas dentro de la captación de la naciente? | No |
| ¿Existen aguas estancadas sobre o alrededor de la captación? | No |
| ¿Existe alguna fuente de contaminación alrededor de la captación (letrinas, animales, viviendas, basura)? | No |
| ¿Se encuentra la captación ubicada en zonas con actividad agrícola o industrial? | Sí |
| | Resultado |
| | <i>Vulnerabilidad</i> |

| Evaluación de Naciente - Ansata (10 pts c/u) | Respuesta |
|--|-----------------------|
| ¿Está la naciente sin malla de protección que impide el acceso de animales y personas? | No |
| ¿Está la naciente desprotegida, abierta a la contaminación ambiental (sin caseta o sin tanque de captación)? | No |
| ¿Está la tapa de captación construida en condiciones no sanitaria y sin cierre seguro (candado o tornillo)? | No |
| ¿Están las paredes y la loza superior de captación con grietas? | No |
| ¿Carece de canales perimetrales para desviar el agua de escorrentía? | No |
| ¿Carece la captación de respiraderos o tubería de rebalse con rejilla de protección? | No |
| ¿Se encuentran plantas, raíces, hojas, algas dentro de la captación de la naciente? | No |
| ¿Existen aguas estancadas sobre o alrededor de la captación? | No |
| ¿Existe alguna fuente de contaminación alrededor de la captación (letrinas, animales, viviendas, basura)? | No |
| ¿Se encuentra la captación ubicada en zonas con actividad agrícola o industrial? | Sí |
| | Resultado |
| | <i>Vulnerabilidad</i> |

Anexo 4: Resultados detallados de la Autoevaluación

| Evaluación de Naciente - José Maclovio (10 pts c/u) | Respuesta |
|--|-----------------------|
| ¿Está la naciente sin malla de protección que impide el acceso de animales y personas? | No |
| ¿Está la naciente desprotegida, abierta a la contaminación ambiental (sin caseta o sin tanque de captación)? | No |
| ¿Está la tapa de captación construida en condiciones no sanitaria y sin cierre seguro (candado o tornillo)? | No |
| ¿Están las paredes y la loza superior de captación con grietas? | No |
| ¿Carece de canales perimetrales para desviar el agua de escorrentía? | No |
| ¿Carece la captación de respiraderos o tubería de rebalse con rejilla de protección? | No |
| ¿Se encuentran plantas, raíces, hojas, algas dentro de la captación de la naciente? | No |
| ¿Existen aguas estancadas sobre o alrededor de la captación? | No |
| ¿Existe alguna fuente de contaminación alrededor de la captación (letrinas, animales, viviendas, basura)? | No |
| ¿Se encuentra la captación ubicada en zonas con actividad agrícola o industrial? | Sí |
| | Resultado |
| | <i>Vulnerabilidad</i> |

Anexo 5: Resultados Generales de la Evaluación
GESTION INTEGRAL DE RIESGOS EN ASADAS



Resultados del Análisis
Por Vulnerabilidad y Amenaza



| | |
|------------------------------|---------------------|
| ASADA | Vulnerabilidad |
| ASADA SAN JOSE DE LA MONTAÑA | Resultado Categoría |
| | 9% MUY BAJA |

Actualizar resultados

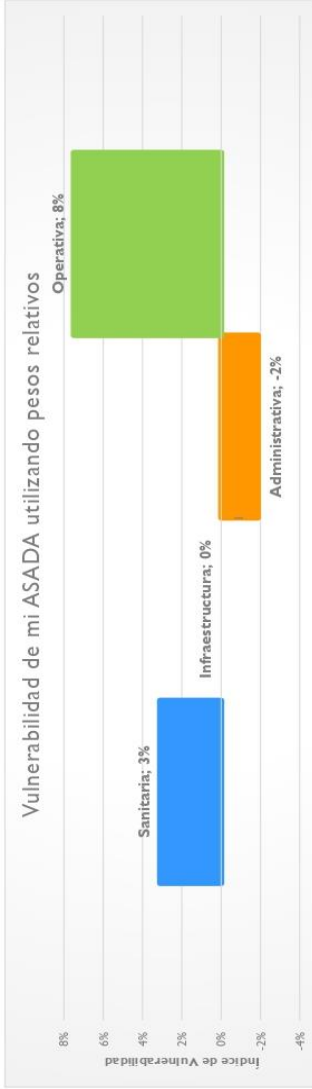
| Vulnerabilidad Sanitaria | |
|--|----------|
| Sello calidad agua | 100% |
| Resultado del análisis por infraestructura | 9% |
| Categoría | MUY BAJA |

| Vulnerabilidad Infraestructura | |
|--------------------------------|----------|
| Resultado del análisis actual: | 0% |
| Categoría | MUY BAJA |

| Vulnerabilidad Administrativa | |
|--------------------------------|----------|
| Resultado del análisis actual: | -13% |
| Categoría | MUY BAJA |

| Vulnerabilidad Operativa | |
|--------------------------------|----------|
| Resultado del análisis actual: | 38% |
| Categoría | MODERADA |

| | | |
|-----------------------|-----|----------|
| Nacientes | 10% | MUY BAJA |
| Pozos | | |
| Quebradas | | |
| Tubería de conducción | 17% | MUY BAJA |
| Fanques de | 0% | MUY BAJA |
| Almacenamiento | | |



| AMENAZA | Nivel de exposición | Nivel de Consecuencia | Valor impacto infraestructura | Valor impacto servicio | Valor total impacto |
|----------------------------------|---------------------|-----------------------|-------------------------------|------------------------|---------------------|
| Vandalismo/Sabotaje | | 12% Leve | 9 750 000 | 234 000 | 9 984 000 |
| Desarrollo Urbano No Planificado | | 14% Leve | 6 000 000 | 546 000 | 6 546 000 |
| Rotura de tuberías | | 36% Grave | 13 000 000 | 4 095 000 | 17 095 000 |
| Rotura de tuberías | | 28% Grave | 13 000 000 | 2 340 000 | 15 340 000 |
| Incendio Forestal/Urbano | | 14% Leve | 6 000 000 | 546 000 | 6 546 000 |

| | |
|---------------------------------------|----------|
| Grado de preparación ante Emergencias | 100% |
| | MUY ALTA |

Anexo 6: Valoración del Riesgo y Priorización de medidas de acción

Valoración de los Riesgos - Priorización de medidas de acción

| Tipo Vulnerabilidad | Tipo de componente | Amenaza | Medida correctiva | Probabilidad de impacto de la amenaza | Grado de consecuencia de la amenaza | Nivel de Riesgo | Marque X que medidas implementar |
|---------------------|--------------------|---|--|---------------------------------------|-------------------------------------|-----------------|----------------------------------|
| Sanitaria | Naciente | Contaminación por cercanía de letrinas, animales, viviendas y basura | Identificar y corregir fuentes de contaminación alrededor de la captación (letrinas, animales, basura, viviendas) | Moderada | Muy Grave | Severo (II) | X |
| Infraestructura | Prevención | Contaminación por materia fecal en el agua | Identificar aquellas fuentes de materia fecal cerca de las tuberías o fuentes con el fin de tomar medidas de control de los focos de contaminación | Moderada | Grave | Moderado (II) | X |
| Infraestructura | Prevención | Altos costos de reparación en caso de desastres | Identificar posibles mejoras en la ubicación o infraestructura de los componentes, de manera que se disminuya la vulnerabilidad del sistema | Muy Alta | Muy Grave | Muy Severo (I) | X |
| Operativa | Caudal | Desabastecimiento de agua | Validar mediante un estudio de disponibilidad hídrica las opciones de incremento de la demanda para cubrir mínimo los siguientes 5 años | Moderada | Grave | Moderado (III) | X |
| Operativa | Caudal | Desinformación sobre posibles fuentes de recarga subterránea que sean afectadas por contaminación | Investigar y documentar las fuentes de agua subterránea | Moderada | Grave | Moderado (III) | X |
| Operativa | Procedimientos | Procedimientos de control y mantenimiento desactualizados | Revisar anualmente los procedimientos de control con el fin de buscar mejoras en los mismos | Moderada | Leve | Moderado (II) | X |
| Emergencias | Prevención | Ignorancia de las zonas vulnerables para poder gestionar previamente el riesgo | Identificar y gestionar el riesgo de las zonas más vulnerables del sistema | Alta | Grave | Severo (II) | X |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |



Administración de Riesgos: Plan de Acción Medidas correctivas



Anexo 7: Plan de Acción Correctivo

La siguiente lista incorpora aquellas medidas correctivas, que se eligieron para ser incluidas en el plan de acción. El siguiente paso es completar las columnas en color "Gris".

| PLAN DE GESTIÓN DE RIESGOS | | | | | | | | | |
|----------------------------|--------------------|---|--|--------------------------|--------------------------|--|----------------------------------|-----------------|-----------------------|
| Tipo Vulnerabilidad | Tipo de componente | Riesgo Asociado | Medida | Monto de Inversión aprox | Fuente de financiamiento | Pasos a seguir para la solución propuesta | Responsables | Fecha de inicio | Fecha de finalización |
| Sanitaria | Naciente | Contaminación por cercanía de letrinas, animales, viviendas y basura | Identificar y corregir fuentes de contaminación alrededor de la captación (ecrinas, animales, basura, viviendas) | 1-5 millones | Tarifa ordinaria | Identificar y buscar subsanar la posible afectación por derrame de sustancias tóxicas en las nacientes susceptibles. | Equipo técnico | jul-22 | dic-22 |
| Infraestructura | Prevención | Contaminación por materia fecal en el agua | Identificar aquellas fuentes de materia fecal cerca de las tuberías o fuentes con el fin de tomar medidas de control de los focos de contaminación | 1-5 millones | Tarifa ordinaria | Identificar y buscar subsanar la posible afectación por derrame de sustancias tóxicas en las nacientes susceptible. Establecer un monitoreo periódico de coliformes fecales y Escherichia Coli en las nacientes identificadas con esta problemática. | Equipo técnico | jul-22 | dic-22 |
| Infraestructura | Prevención | Altos costos de reparación en caso de desastres | Identificar posibles mejoras en la ubicación o infraestructura de los componentes, de manera que se disminuya la vulnerabilidad del sistema | 10 millones | Tarifa ordinaria | Fortalecer mediante infraestructura resistente los componentes identificados mediante la herramienta GIRA más susceptibles y con el valor por impacto más alto. Fortalecer el paso elevado sobre el afluente del río Porrosati. Elaborar un diseño de la obra, así como el costo estimado de la misma. | Junta Directiva y Administración | jul-22 | jul-23 |
| Operativa | Caudal | Desabastecimiento de agua | Validar mediante un estudio de disponibilidad hídrica las opciones de incremento de la demanda para cubrir mínimo los siguientes 5 años | 200 millones | Búsqueda de fondos | Implementar las recomendaciones del Estudio Integral de la ASADA (tanques de almacenamiento y captación) | Junta Directiva | jul-22 | dic-25 |
| Operativa | Caudal | Desinformación sobre posibles fuentes de recarga subterránea que sean afectadas por contaminación | Investigar y documentar las fuentes de agua subterránea | | | | | | |



Anexo 8: Plan de Acción Preventivo

Administración de Riesgos: Plan de Acción Medidas preventivas

En la siguiente tabla se formulan aquellos proyectos necesarios en la ASADA para mitigar las amenazas más importantes identificadas. Se debe trabajar en conjunto para establecer las medidas preventivas o prospectivas necesarias para completar el proyecto



| DEFINICIÓN DEL PLAN DE GESTIÓN DE RIESGOS | | | | | | | |
|--|---|--------------------------|---------------------------------|--|--|-----------------|-----------------------|
| Nombre del proyecto | Medidas preventivas propuestas | Monto de Inversión aprox | Fuente de financiamiento | Pasos a seguir para la solución propuesta | Responsables | Fecha de inicio | Fecha de finalización |
| Gestionar la captación y aprovechamiento de la naciente Cerro de Piedra | Analizar la logística de captación y conducción del caudal aprovechable al sistema de la ASADA | 150 millones | Otras fuentes de financiamiento | Elaborar un diseño preliminar de la captación, así como de la ubicación de quiebra gradientes y extensión de la tubería de conducción. Realizar un estudio financiero a detalle para estimar el costo total de la obra. | Junta Directiva | ene-22 | dic-25 |
| Gestionar la protección de las zonas de recarga de las nacientes | Analizar con base en los resultados de la herramienta GIRA la identificación de las nacientes más susceptibles. | 500 millones | Tarifa hídrica | Realizar una lista de las posibles afectaciones y sus causantes. Establecer vínculos de comunicación con las personas o empresas responsables para llegar a soluciones en un corto a mediano plazo. Planificar de ser posible la compra de terrenos aledaños a la naciente y obras de captación. | Gestor ambiental, Administración y Junta Directiva | jul-22 | dic-25 |
| Implementar las recomendaciones del Estudio Integral de la ASADA (tanques de almacenamiento y captación) | Evaluar desde el punto de vista logístico y financiero las recomendaciones propuestas. | 200 millones | Otras fuentes de financiamiento | Elaborar un estudio financiero que contemple el costo de las obras recomendadas en el estudio. Evaluar desde un punto de vista logístico, la ubicación, diseño y materiales de las obras recomendadas. | Junta Directiva | jul-22 | dic-25 |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |



Anexo 9: PLAN GIRA - Seguimiento del Plan

Administración de Riesgos: PLAN GIRA

Monitoreo, Seguimiento y Evaluación



En la siguiente tabla se enlistan los proyectos correctivos y preventivos planteados, en este apartado se dará seguimiento al proceso de ejecución de los procesos Complete las columnas en gris para monitorear y evaluar el seguimiento de los proyectos

| Nombre del proyecto | Medidas de prevención y corrección | Pasos a seguir para la solución propuesta | Responsables | Fecha de inicio | Fecha de fin | Inversión presupuestada | Fecha de revisión | Estado de cumplimiento | Inversión realizada | Observaciones |
|---|--|--|----------------------------------|-----------------|--------------|-------------------------|-------------------|------------------------|---------------------|---------------|
| Contaminación por cercanía de letrinas, animales, viviendas y basura | Identificar y corregir fuentes de contaminación alrededor de la captación (letrinas, animales, basura, viviendas) | Identificar y buscar subsanar la posible afectación por derrame de sustancias tóxicas en las nacientes susceptibles. | Equipo técnico | Jul-22 | dic-22 | 1-5 millones | | | | |
| Contaminación por materia fecal en el agua | Identificar aquellas fuentes de materia fecal cerca de las tuberías o fuentes con el fin de tomar medidas de control de los focos de contaminación | Identificar y buscar subsanar la posible afectación por derrame de sustancias tóxicas en las nacientes susceptible. Establecer un monitoreo periódico de coliformes fecales y Escherichia Coli en las nacientes identificadas con esta problemática. | Equipo técnico | Jul-22 | dic-22 | 1-5 millones | | | | |
| Altos costos de reparación en caso de desastres | Identificar posibles mejoras en la ubicación o infraestructura de los componentes, de manera que se disminuya la vulnerabilidad del sistema | Fortalecer mediante infraestructura resistente los componentes identificados mediante la herramienta GIRA más susceptibles y con el valor por impacto más alto. Fortalecer el paso elevado sobre el afluente del río Porrosati. Elaborar un diseño de la obra, así como el costo estimado de la misma. | Junta Directiva y Administración | Jul-22 | Jul-23 | 10 millones | | | | |
| Desabastecimiento de agua | Validar mediante un estudio de disponibilidad hídrica las opciones de incremento de la demanda para cubrir mínimo los siguientes 5 años | Implementar las recomendaciones del Estudio Integral de la ASADA (tanques de almacenamiento y captación) | Junta Directiva | Jul-22 | dic-25 | 200 millones | | | | |
| Desinformación sobre posibles fuentes de recarga subterránea que sean afectadas por contaminación | Investigar y documentar las fuentes de agua subterránea | | | | | | | | | |

Seguimiento de medidas correctivas

1/7/2022

Herramienta GIRA_ASADA San José de la Montaña

Anexo 9: PLAN GIRA - Seguimiento del Plan

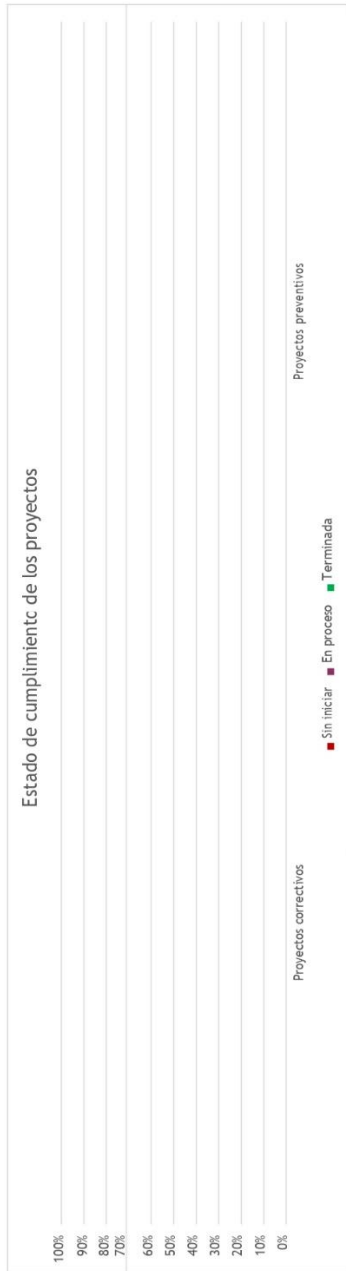
| Procedimientos de control y mantenimiento desactualizados | Revisar anualmente los procedimientos de control con el fin de buscar mejoras en los mismos | Elaborar los manuales correspondientes a los procedimientos operativos de control de presiones, fugas e instalación de tuberías y nuevas conexiones. | Administración y Equipo técnico | jul-22 | jul-23 | 1 millón | | | |
|--|---|--|----------------------------------|--------|--------|-------------|--|--|--|
| Ignorancia de las zonas vulnerables para poder gestionar previamente el riesgo | Identificar y gestionar el riesgo de las zonas más vulnerables del sistema | Fortalecer mediante infraestructura resistente los componentes identificados mediante la herramienta GIRA más susceptibles y con el valor por impacto más alto. Prever la compra de materiales y equipo necesario para reparar oportunamente la afectación de las amenazas identificadas con la probabilidad de ocurrencia más alta. Asegurar los componentes de la ASADA identificados como los más susceptibles y con el valor por impacto más alto. | Junta Directiva y Administración | jul-22 | jul-23 | 10 millones | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |

Anexo 9: PLAN GIRA - Seguimiento del Plan

| Seguimiento de medidas preventivas | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|--|---|---|---------------|---------------|---------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| <p>Gestionar la captación y aprovechamiento de la naciente Cerro Piedra</p> | <p>Analizar la logística de captación y conducción del caudal aprovechable al sistema de la ASADA</p> | <p>Elaborar un diseño preliminar de la captación, así como de la ubicación de quiebra gradientes y extensión de la tubería de conducción. Realizar un estudio financiero a detalle para estimar el costo total de la obra.</p> | <p>Junta Directiva</p> | <p>ene-22</p> | <p>dic-25</p> | <p>150 millones</p> | | | | | | | | | | | | | | |
| <p>Gestionar la protección de las zonas de recarga de las nacientes</p> | <p>Analizar con base en los resultados de la herramienta GIRA la identificación de las nacientes más susceptibles.</p> | <p>Realizar una lista de las posibles afectaciones y sus causantes. Entablar vínculos de comunicación con las personas o empresas responsables para llegar a soluciones en un corto a mediano plazo. Planificar de ser posible la compra de terrenos aledaños a la naciente y obras de captación.</p> | <p>Gestor ambiental, Administración y Junta Directiva</p> | <p>jul-22</p> | <p>dic-25</p> | <p>500 millones</p> | | | | | | | | | | | | | | |
| <p>Implementar las recomendaciones del Estudio Integral de la ASADA (tanques de almacenamiento y captación)</p> | <p>Evaluar desde el punto de vista logístico y financiero las recomendaciones propuestas.</p> | <p>Elaborar un estudio financiero que contemple el costo de las obras recomendadas en el estudio. Evaluar desde un punto de vista logístico, la ubicación, diseño y materiales de las obras recomendadas.</p> | <p>Junta Directiva</p> | <p>jul-22</p> | <p>dic-25</p> | <p>200 millones</p> | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Anexo 9: PLAN GIRA - Seguimiento del Plan

Resultados de evaluación del seguimiento de los proyectos



INFORME GIRA DE LA ASADA SAN PEDRO DE BARVA

GIRA | GESTIÓN INTEGRAL DE RIESGO EN ASADAS



ENFOQUE DE CUENCA
Adaptación al Cambio Climático

Informe Final Plan GIRA



CONTENIDO

| | |
|---|---|
| Presentación..... | 2 |
| Objetivos..... | 3 |
| Objetivo General dEL PLAN GIRA..... | 3 |
| Objetivos Específicos deL PLAN GIRA | 3 |
| Metodología Utilizada | 3 |
| Plan GIRA | 4 |
| Resultados del Análisis | 4 |
| Planes de acción | 6 |
| Referencias | 7 |
| Anexos | 8 |

PRESENTACIÓN

La herramienta de Gestión Integral de Riesgos en ASADAS (GIRA) ha sido implementada gracias al apoyo del Proyecto “Fortalecimiento de las capacidades de Asociaciones de Acueductos Rurales (ASADAS) para enfrentar riesgos del Cambio Climático en comunidades con estrés hídrico en el Norte de Costa Rica” (ASADAS AYA-PNUD/GEF), que se desarrolla en una colaboración entre el Instituto Costarricense de Agua y Alcantarillado (AyA) y el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), con el auspicio del Fondo Global para el Medio Ambiente (GEF).

El GIRA responde al enfoque del Modelo de Atención a ASADAS de AyA y promueve la incorporación de la gestión de riesgos en la planificación, buscando identificar y evitar las condiciones que generan riesgo, empoderar a las ASADAS como un actor fundamental en los comités municipales o comunales de emergencia, y generar espacios de reflexión sobre riesgos existentes y futuros impactos del cambio climático y otras amenazas.

La metodología GIRA inicia con la conformación de un equipo de trabajo establecido por cada ASADA, este equipo es el responsable del llenado de cuestionarios que recopilan la información necesaria para hacer un diagnóstico sobre el estado de la ASADA y la identificación de acciones correctivas o de mitigación que debe realizar en las áreas operativas, sanitarias y administrativas e infraestructura, dando origen al Plan de Gestión Integral de Riesgos en ASADAS, que incorpora lineamientos del Plan de Emergencias, el Plan de Seguridad del Agua y el Plan de Adaptación al Cambio Climático.

GIRA aprovecha la información disponible en el Sistema de Apoyo y Gestión de ASADAS (SAGA) del AyA, que a su vez se nutre de la información recopilada mediante el Formulario Unificado de Información sobre Organizaciones Comunales Prestadoras de Servicios de Agua Potable y Saneamiento (FU), rescata el conocimiento local de quienes desarrollan actividades técnicas, de fontanería y de la Junta Directiva en las ASADAS, integra conocimiento científico generado por los modelos de cambio climático de Instituto Meteorológico Nacional (IMN) y la información sobre amenazas de la Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias (CNE), y utiliza como unidad geográfica de análisis la subcuenca donde se ubican las fuentes de agua, ofreciendo a la ASADA un punto de partida para desarrollar una gestión integral e integrada del riesgo.

El presente informe Plan GIRA muestra el resultado de la metodología desarrollada utilizando dicha Herramienta GIRA, donde se obtienen los planes de acción a seguir para la ASADA, con el detalle de acuerdos generados dentro del comité seleccionado, los plazos, responsables y presupuesto asignado para cada medida de mitigación elegida como prioritaria.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL DEL PLAN GIRA

Fortalecer la gestión de la ASOCIACION ADMINISTRADORA DEL ACUEDUCTO DE SAN PEDRO DE BARVA a través de un Plan de Gestión de Riesgos, basado en el análisis de vulnerabilidades, la identificación, valoración, administración y comunicación de los riesgos que pueden afectar la prestación de servicios que brinda la ASADA, así como desarrollar los mecanismos de respuesta y recuperación ante los impactos.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS DEL PLAN GIRA

- Conocer el estado de los componentes del sistema de agua y saneamiento, las características de su territorio y comunidad e identificar medidas de prevención, mitigación, respuesta y recuperación.
- Identificar debilidades y fortalecer la operación de la ASADA, el mantenimiento y funcionamiento del acueducto, a través de la autoevaluación de vulnerabilidades administrativas, operativas, sanitarias, de infraestructura y de atención a emergencias.
- Generar un plan de acción con las medidas preventivas y correctivas necesarias para gestionar el riesgo asociado a la ASADA, con el apoyo de información científica generada por modelos de cambio climático y amenazas internas y externas que enfrenta la ASADA, para la fortalecer así la toma de decisiones informada.

METODOLOGÍA UTILIZADA

La metodología utilizada para el Plan de Gestión Integral de Riesgos se basa en seis etapas:

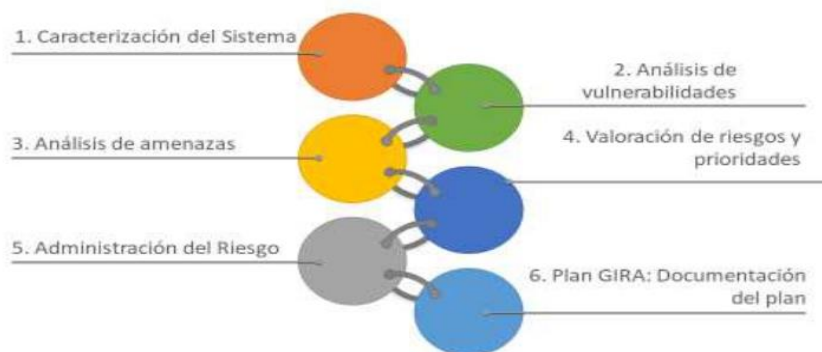


Figura 1: Metodología GIRA

1. **Caracterización del sistema:** Se realiza una descripción detallada de los componentes de infraestructura de la ASADA y un mapa de riesgos que grafica su distribución y ubicación en el entorno natural y de la comunidad
2. **Análisis de vulnerabilidades:** se procede una autoevaluación de los diferentes aspectos por lo que debe velar la ASADA, dentro de cuatro categorías: sanitaria, administrativa, operativa y de infraestructura.
3. **Análisis de amenazas de la cuenca:** Se identifica la existencia de amenazas, la probabilidad de afectación sobre las subcuencas donde se ubica la ASADA y el nivel de consecuencia de estas amenazas sobre los componentes de la infraestructura y servicios de agua. Además, se evalúa el grado de preparación ante una emergencia que tiene la ASADA.

4. **Valoración del riesgo y prioridades:** Se consolidan los resultados de los análisis anteriores, para luego valorar según la probabilidad y la consecuencia de cada situación, el nivel de riesgo que representa para la ASADA. Según este resultado se priorizan las medidas correctivas y preventivas que integrarán el plan de gestión de riesgos.
5. **Administración de riesgos:** Se define una ruta de acción para cada medida correctiva y preventiva, que detalle los montos de inversión, las fuentes de financiamiento, fechas y responsables. Además, se incorpora un instrumento de monitoreo y evaluación de los planes de acción.
6. **Documentación del plan:** Se generan documentos resultantes que registran los pasos anteriores realizados, con el fin de documentar el proceso.

En el Anexo 1 se presenta un glosario de conceptos utilizados para comprender aquellos aspectos técnicos referentes a la Gestión de Riesgos.

Los pasos realizados en cada etapa de la metodología se encuentran detallados en los Anexos de este documento:

- Anexo 2 Ficha técnica de la ASADA: Contiene el resumen de la información general de la ASADA, sus obras de infraestructura y las fuentes de captación que posee.
- Anexo 3 Mapa de Riesgos de la ASADA: Grafica las obras de infraestructura dentro del entorno de la comunidad e identifica las posibles amenazas que las rodean.
- Anexo 4 Resultados detallados de la autoevaluación: Resumen de las respuestas a los cuestionarios de autoevaluación, la puntuación resultante y la categoría de vulnerabilidad en cada caso.
- Anexo 5 Resultados de vulnerabilidad de la ASADA: Resumen por área de evaluación de los porcentajes de vulnerabilidad obtenidos y las categorías correspondientes
- Anexo 6 Valoración del Riesgo y Priorización de medidas de acción: Se observa el resumen de las medidas de acción elegidas y la valoración del riesgo de cada una.
- Anexo 7 Plan de Acción Correctivo: Presenta la planificación de las medidas correctivas a incluir en el Plan GIRA
- Anexo 8 Plan de Acción Preventivo: Presenta la planificación de medidas preventivas a incluir en el Plan GIRA
- Anexo 9 Seguimiento de los planes: Contiene el resumen del Plan GIRA en la estructura de seguimiento del plan en el tiempo.

PLAN GIRA

RESULTADOS DEL ANÁLISIS

El Plan GIRA se formula luego de desarrollar cada una de las etapas mencionadas dentro de la metodología, a continuación, se presenta un resumen de los resultados más relevantes a considerar.

El nivel de vulnerabilidad de la ASADA, considerando 4 factores de vulnerabilidad (Administrativa, Operativa, Sanitaria y de Infraestructura) es de **15%**, lo que se considera dentro de la categoría **MUY BAJA**. (Ver Anexos 4 y 5).

Para identificar las áreas de mayor oportunidad se analizan aquellas vulnerabilidades con niveles más altos, los resultados para cada caso fueron:

| Vulnerabilidad | % Resultante | Categoría |
|-----------------|--------------|-----------|
| Sanitaria | 12% | MUY BAJA |
| Sello Calidad | 100% | |
| Infraestructura | 14% | MUY BAJA |
| Operativa | 50% | MODERADA |
| Administrativa | -25% | MUY BAJA |

Por otra parte, referente al nivel de preparación ante Emergencias se obtuvo que la ASADA en el análisis del cuestionario correspondiente, de 100% está preparada a un **80%**, lo que indica una categoría de preparación **MUY ALTA**.

Referente al estudio de las amenazas relacionadas a la Subcuenca de la ASADA, se obtuvo un nivel de exposición por Amenaza descrito en la siguiente tabla.

Nombre de la Cuenca: Río Tárcoles

Nombre de la Subcuenca: RIO BIRRI

| Amenaza | Nivel de Exposición |
|--------------------------|---------------------|
| Sequía | 5 |
| Terremoto/Sismo | 4 |
| Deslizamiento | 5 |
| Tormenta/Inundación | 3 |
| Sedimentación | 2 |
| Incendio | 1 |
| Exposición Antropogénica | 4 |

La información descrita sirve como insumo para la toma de decisiones de la ASADA con el fin de priorizar las medidas preventivas y correctivas a incluir en el Plan GIRA, considerando qué áreas de gestión son más vulnerables y que amenazas debe la ASADA considerar para una correcta preparación ante el riesgo. (Ver Anexo 6).

PLANES DE ACCIÓN

La gestión del riesgo se realiza al tomar decisiones de medidas correctivas y preventivas traducidas en planes de acción, estos planes son el compromiso de la ASADA por mitigar el riesgo identificado.

Dichos planes consideran un presupuesto para su ejecución, la fuente de financiamiento, las actividades a realizar, los responsables de realizar cada tarea y los plazos en los que se debe ejecutar. (En los Anexos 7 y 8 se presentan los planes de acción correctivos y preventivos respectivamente).

Con el fin de llevar un control del proceso de ejecución de este plan GIRA, se dará seguimiento al mismo de manera **trimestral**, utilizando la misma herramienta GIRA, que permite corroborar la planificación realizada con la realidad del avance alcanzado y las posibles diferencias en inversión y plazos definidos previamente. (Ver Anexo 9).

REFERENCIAS

- AYA. (2013). *Manual de Procedimientos de Gestión del Riesgo para la Atención de Emergencias y Desastres en el AyA*. San José.
- AYA. (2014). *Manual para el Análisis de la Vulnerabilidad y formulación del Plan de Gestión de Riesgos en los Sistemas de Agua Potable y Aguas Residuales Administrados por ASADAS*. San José.
- AYA. (2015). *Política de Organización y Fortalecimiento de la Gestión Comunitaria de los Servicios de Agua Potable y Saneamiento*. San José.
- AYA. (2017). *Manual de Entes Operadores del Programa Sello Calidad Sanitaria*. San José: Laboratorio Nacional de Aguas.
- Castillo, M. (2011). *Desarrollo rural reduciendo el riesgo en contextos de cambio climático*. Lima: GIZ.
- CNE. (noviembre de 2005). *Ley Nacional de Emergencias y Prevención del Riesgo. Decreto 8488*. San José.
- Ministerio de Salud. (2015). *Reglamento para la Calidad del Agua Potable*. San José.
- Narvaez, L., Lavell, L., & Pérez Ortega, G. (2009). *La Gestión del Riesgo de Desastres: un enfoque basado en procesos*. Lima.

Anexo 1: Glosario de Conceptos básicos utilizados

Los siguientes son los principales conceptos que se utilizan en GIRA y que han sido adaptados de diversas fuentes, (Narvaez, Lavell, & Pérez Ortega, 2009) (CNE, 2005) (AYA, 2014) para ponerlos en el contexto de las ASADAS

Amenaza: Es el peligro latente de que ocurra un fenómeno de origen natural o humano, que puede producir daños a la infraestructura, afectación al funcionamiento de la ASADA e interrumpir el abastecimiento normal del servicio de agua a sus abonados en cantidad y calidad (Ver Figura 1).

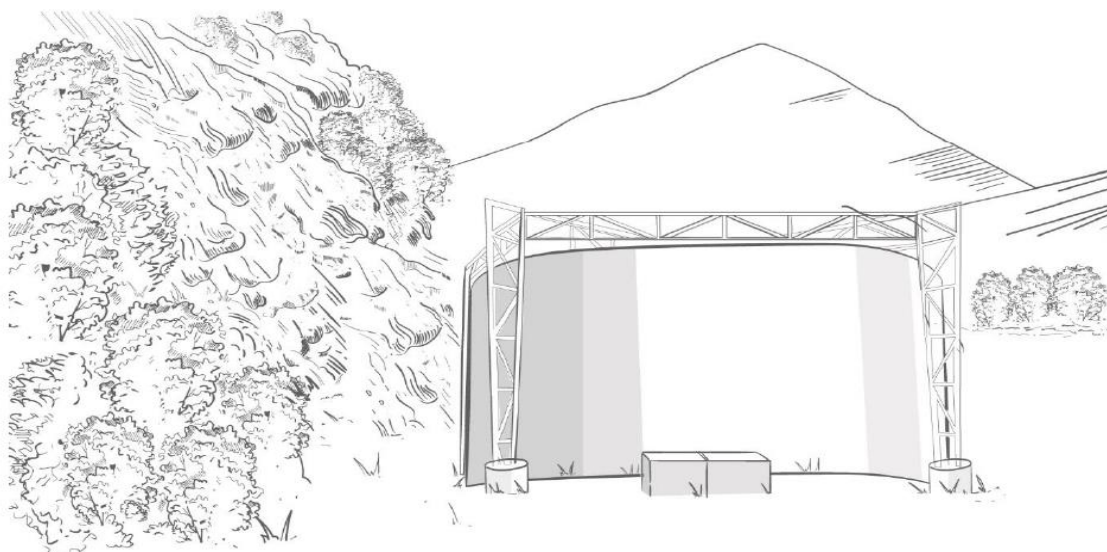


Figura 2: Ejemplo de Amenaza por un fenómeno natural de deslizamiento

Vulnerabilidad: es la probabilidad de una ASADA de ser impactada por una amenaza, debido a las condiciones propias de su exposición a la amenaza, su fragilidad administrativa, operativa, sanitaria y de infraestructura, y de sus capacidades para anticipar, resistir y recuperarse de los efectos del impacto. (AYA, 2014)

Riesgo: Probabilidad de pérdidas, daños o consecuencias económicas, sociales o ambientales debido a la interacción entre la amenaza con la vulnerabilidad de los elementos expuestos. (CNE, 2005)

Desastre: Situación o proceso que causa destrucción de infraestructura, pérdidas económicas y alteraciones intensas en el funcionamiento de una ASADA que se encuentra en situación de vulnerabilidad al ser impactada por una amenaza (Ver Figura 2).



Figura 3: Ejemplo de situación de desastre por fenómeno de deslizamiento

Gestión del riesgo: Proceso mediante el cual se identifican y analizan las amenazas y vulnerabilidades de la ASADA y su entorno, con el fin de desarrollar las medidas para prevenir, mitigar y reducir las posibilidades de que lleguen a producir un desastre, así como las medidas de preparación, atención y recuperación ante eventuales impactos.

Gestión Correctiva del Riesgo: es el conjunto de acciones tendientes a reducir el riesgo ya existente mediante medidas específicas como, por ejemplo, reparar las grietas de un tanque de almacenamiento para evitar su posible colapso o reubicar una línea de tubería que está en un sitio de deslizamiento.

Gestión Preventiva del Riesgo: son las acciones que se hagan para evitar que situaciones actuales puedan desencadenar condiciones de riesgo en el futuro. Por ejemplo, identificar y desarrollar planes de protección de zonas de recarga hídrica; trabajos de estabilización de laderas para evitar deslizamientos en zonas de grandes pendientes por donde pasa la tubería; analizar el comportamiento de caudales y crecidas de un río para seleccionar el mejor sitio de instalación de un paso a nivel.

Gestión Reactiva o “manejo del desastre”: Se refiere a las acciones para responder y atender lo inmediato de los impactos del desastre. Aún en estas circunstancias hay oportunidades de tomar decisiones para reducir los riesgos presentes y futuros.

Medidas de mitigación: Son aquellas acciones, planes o procesos que buscan reducir la vulnerabilidad ante un suceso y el impacto negativo que puede provocar. La Herramienta GIRA ayuda a la ASADA a identificar su grado de vulnerabilidad, de manera que pueda implementar medidas de mitigación (Ver Figura 3).

Riesgo mitigable: son aquellos riesgos que pueden ser intervenidos y reducidos con los recursos que la ASADA tiene disponibles o pueda conseguir.

Riesgo no mitigable: son aquellos riesgos con dimensiones o costos de atención fuera de la capacidad de resolución por parte de la ASADA, y en cuyo caso podría requerir necesidad de ayuda externa o protección financiera (seguros). Incluso puede ser un riesgo no mitigable esté fuera de la capacidad de atención de las mismas autoridades municipales o nacionales.

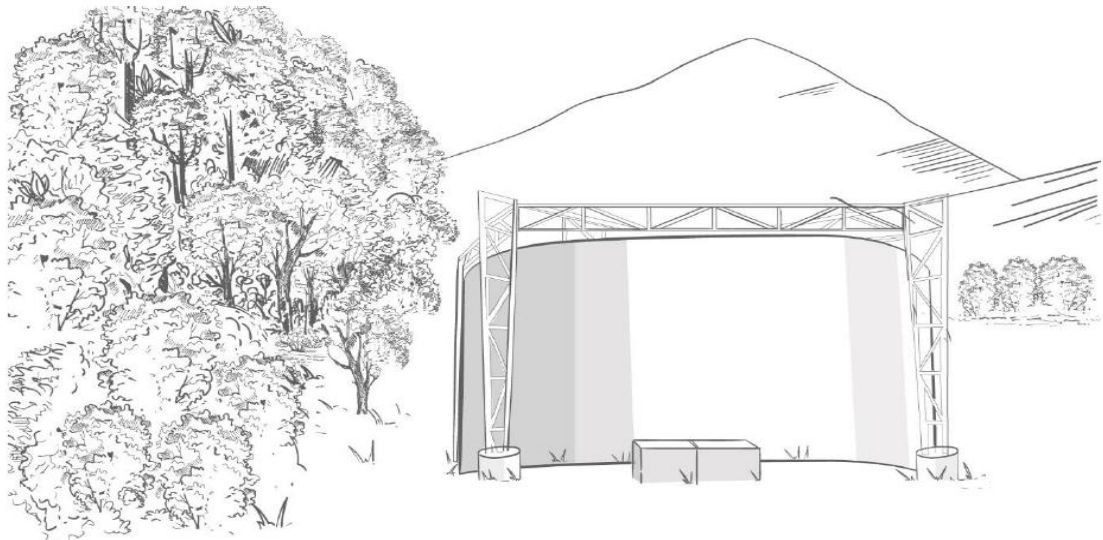


Figura 4: Ejemplo de medida de mitigación: reforestación en caso de amenaza por deslizamiento

Anexo 2: Ficha Técnica de la ASADA

Ficha Técnica de la ASADA



| | | | | | |
|-----------------|-----------|--|------|------------------------------|-----|
| Nombre de ASADA | | COMUNIDAD ADMINISTRADORA DEL ACUEDUCTO DE SAN PEDRO DE BARVA | | IDEO | 947 |
| Provincia | HEREDIA | Número de abomados | 2411 | Tipo de servicios que brinda | |
| Cantón | BARVA | Número de comunidades | 6 | Acueducto | SI |
| Distrito | SAN PEDRO | Número de sistemas | 3 | Hidrante | SI |
| | | | | Saneamiento | NO |

Obras de infraestructura por Sistema



| Nombre del sistema | Captación | Desarenador | Conducción | Planta potabilizadora | Tanque de Almacenamiento | Redes de distribución | Sistema de bombeo | Sistema de desinfección |
|--------------------|-----------|-------------|------------|-----------------------|--------------------------|-----------------------|-------------------|-------------------------|
| Total de obras: | 10 | 0 | 9 | 0 | 5 | 3 | 1 | 4 |
| Sistema I | 4 | | 4 | | 2 | 1 | | 1 |
| Sistema II | 5 | | 5 | | 2 | 1 | | 2 |
| Sistema III | 1 | | | | 1 | 1 | 1 | 1 |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |

Información de las fuentes de captación de los sistemas

| Número de nacientes: | | 8 | Número de pozos: | | 1 | Número de quebradas: | | 1 |
|----------------------|---------------------|----------|------------------|-------------|---|----------------------|--|---|
| Tipo de Fuente | Nombre de fuente | Poblado | Cuenca | Sub Cuenca | | | | |
| 1 | POZO DOÑA ELENA | Pozo | Río Tarcoles | RIO BIRRI | | | | |
| 2 | NACIENTE EL BOSQUE | Naciente | Río Tarcoles | RIO VIRILLA | | | | |
| 3 | NACIENTE EL CENTRO | Naciente | Río Tarcoles | RIO VIRILLA | | | | |
| 4 | NACIENTE EL NARANJO | Naciente | Río Tarcoles | RIO VIRILLA | | | | |
| 5 | NACIENTE STEINWORTH | Naciente | Río Tarcoles | RIO VIRILLA | | | | |

Anexo 2: Ficha Técnica de la ASADA

| | | | | | |
|----|-----------------------|----------|-------|--------------|----------------|
| 6 | NACIENTE CALLE SEGURA | Naciente | BARBA | Río Tárcoles | RIO VIRILLA |
| 7 | NACIENTE LA PIEDRA | Naciente | BARBA | Río Tárcoles | QUEBRADA BIRRI |
| 8 | NACIENTE GEOVANINYS | Naciente | BARBA | Río Tárcoles | RIO VIRILLA |
| 9 | NACIENTE CHAGOS | Naciente | BARBA | Río Tárcoles | RIO VIRILLA |
| 10 | QUEBRADA NABORÍ | Quebrada | BARBA | Río Tárcoles | RIO VIRILLA |
| 11 | | | | | |
| 12 | | | | | |
| 13 | | | | | |
| 14 | | | | | |
| 15 | | | | | |

Anexo 4: Resultados detallados de la Autoevaluación



ASOCIACION ADMINISTRADORA DEL ACUEDUCTO DE SAN PEDRO DE BARVA

Evaluación detallada de los cuestionarios

| Vulnerabilidad Operativa (12.5% cada una) | Respuesta |
|--|-----------------------|
| ¿Existe más oferta de agua que la demandada por la comunidad, o al menos está balanceada? | Sí |
| ¿El acueducto cuenta con desinfección continua? | Sí |
| ¿Se conoce la zona de recarga de las fuentes de agua subterráneas? | No |
| ¿Se poseen procedimientos operativos de control de presiones? | No |
| ¿Se poseen procedimientos operativos de control de fugas? | No |
| ¿Se poseen procedimientos operativos de control de las instalaciones de tuberías y nuevas conexiones? | No |
| ¿Se llevan bitácoras con fecha, lugar y fotografía, de las mejoras o mantenimientos realizados al sistema? | Sí |
| ¿Se busca mejorar los procedimientos de control y mantenimiento en el sistema? | Sí |
| | Resultado |
| | Vulnerabilidad |

| Vulnerabilidad Sanitaria | Respuesta |
|--|-----------------------|
| ¿Posee planes de mantenimiento planificados y realizados para cada una de las fuentes de agua? (15pts) | Sí |
| ¿Posee planes de mantenimiento planificados y realizados para la limpieza de tanques y redes? (10 pts) | Sí |
| ¿Se realizan estudios diarios del cloro residual en la red para mantenerla dentro de los parámetros de la norma, con su respectiva bitácora? (10 pts.) | Sí |
| ¿Se organizan anualmente programas de educación ambiental a la comunidad como: talleres, campañas de limpieza de calles o ríos, videos informativos, reforestación, entre otras? (10 pts.) | Sí |
| ¿Se informa a la comunidad los resultados del control de calidad de agua potable por medios como: boletines, recibos de cobro mensual, oficina de acueducto, sitios públicos, redes sociales? (2,5 pts.) | Sí |
| ¿Realiza el Control Operativo con la frecuencia establecida en el Reglamento para la Calidad de Agua Potable (Decreto Ejecutivo N.38924-S)? (20pts) | Sí |
| ¿Todas las fuentes y los tanques se encuentran rotulados y con pintura en buen estado? (Puntuación para la gradación de estrellas) | Sí |
| | Resultado |
| | Evaluación |
| | Vulnerabilidad |

| Vulnerabilidad Administrativa (12.5% cada una) | Respuesta |
|--|-----------------------|
| ¿Cuenta con estados financieros actualizados? | Sí |
| ¿El dinero de la ASADA es custodiado en una cuenta bancaria? | Sí |
| ¿Se poseen fondos de capitalización (dinero acumulado para utilizarse en reparación y ampliación del sistema)? | Sí |
| ¿El porcentaje de morosidad de los abonados es menor a 10%? | Sí |
| ¿La ASADA ofrece el servicio de pago por Internet o depósito bancario? | Sí |
| ¿Cuenta con Sistemas Informáticos de Gestión para las ASADAS? | Sí |
| ¿La ASADA sigue un plan de trabajo anual? | Sí |
| ¿Cuenta con un Plan de Transparencia y Rendición de Cuentas? | Sí |
| | Resultado |
| | Vulnerabilidad |

Anexo 4: Resultados detallados de la Autoevaluación

| Vulnerabilidad en Infraestructura (14.3% cada una) | Respuesta |
|---|------------------|
| ¿Posee el detalle del catastro de los componentes del sistema (ubicación, profundidad, especificaciones técnicas)? | Sí |
| ¿Conoce el material, edad y condición de las tuberías y otros elementos del sistema? | Sí |
| ¿Todos los componentes del sistema se encuentran dentro su vida útil? | Sí |
| ¿Tiene identificadas las áreas dentro del sistema propensas a inundaciones? | Sí |
| ¿Tiene identificadas dentro del sistema posibles fuentes de materia fecal que se encuentren cerca de la tubería o fuentes? | Sí |
| ¿El sistema está libre de fugas? | No |
| ¿Los componentes del sistema están localizados en zonas de baja vulnerabilidad, y si no es así, se ha identificado que la ubicación correcta del componente para proyectar su traslado? | Sí |
| | Resultado |
| | Vulnerabilidad |

| Evaluación preparativos ante emergencias (10% c/u) | Respuesta |
|---|----------------------|
| ¿Se tienen identificadas las fuentes alternativas de agua en caso de un desastre? | Sí |
| ¿Realiza el Control Operativo con la frecuencia establecida en el Reglamento para la Calidad de Agua Potable (Decreto Ejecutivo N.38924-S)? | Sí |
| ¿Se dispone de un stock de materiales suficientes para reparar posibles daños? | Sí |
| ¿Se tiene un plano actualizado del sistema y sus accesorios? | Sí |
| ¿Están identificadas las zonas más vulnerables del sistema? | Sí |
| ¿Las instalaciones eléctricas son a prueba de agua? | No |
| ¿Posee mecanismos alternativos de generación eléctrica? | No |
| ¿Se tiene un plan de comunicación en caso emergencias con: el usuario, AYA, CNE, ORAC, otros? | No |
| ¿Forma parte del comité comunal de emergencias? | No |
| ¿Ha desarrollado alianzas con ASADAS vecinas para coordinar apoyo mutuo en caso de una emergencia? | Sí |
| | Resultado |
| | Nivel de preparación |

Sello de calidad Sanitaria - SERSA

| Evaluación de Quebrada - Quebrada Naborí (10 pts c/u) | Respuesta |
|---|------------------|
| ¿Está la captación fuera de un área protegida o zona de conservación? | No |
| ¿Está la toma de agua desprovista de infraestructura que la proteja? | No |
| ¿Está el área alrededor de la toma sin cerca ni malla de protección? | Sí |
| ¿Existe actividad agrícola, ganadera, industrial o de desarrollo habitacional que descarguen sus residuos aguas arriba de la captación de agua? | No |
| ¿Existe alguna otra fuente de contaminación alrededor de la toma, ejemplo: tanque séptica, basura u otro? | No |
| ¿Tiene las personas y animales acceso a la captación del río? | No |
| ¿Están las rejillas de la toma en malas condiciones (ausentes, quebradas, deterioradas)? | No |
| ¿Se encuentran plantas, raíces, hojas obstruyendo las rejillas de la toma? | No |
| ¿Existen condiciones de deforestación y erosión en los alrededores de la toma? | No |
| ¿Está ausente el desarenador después de la toma de agua? | No |
| | Resultado |
| | Vulnerabilidad |

Anexo 4: Resultados detallados de la Autoevaluación

| Evaluación de Tanque de Almacenamiento - Tanque Doña Elena (10 pts c/u) | Respuesta |
|---|------------------|
| ¿Están las paredes agrietadas (concreto) o herrumbradas (metálico)? | No |
| ¿Están las tapas del tanque de almacenamiento, construida en condiciones no sanitarias? | No |
| ¿Carece la estructura externa de mantenimiento (pintura, limpieza, libre de hojas, musgo)? | No |
| ¿Está ausente o fuera de operación el sistema de cloración? | No |
| ¿Está el nivel de agua menor que un cuarto que el volumen del tanque y las escaleras internas herrumbradas? | No |
| ¿Existen sedimentos, algas, hongos dentro del tanque? | No |
| ¿Está ausente o defectuosa la malla de protección? | No |
| ¿Carece la tapa de un sistema de cierre seguro (candado, cadena, tornillo)? | No |
| ¿Carece el tanque de respiraderos o tuberías de rebalse con rejillas de protección? | No |
| ¿Existe alguna fuente de contaminación alrededor del tanque (letrinas, animales, viviendas, basura)? | No |
| | Resultado |
| | Vulnerabilidad |

| Evaluación de Tanque de Almacenamiento - Tanque El Bosque (10 pts c/u) | Respuesta |
|---|------------------|
| ¿Están las paredes agrietadas (concreto) o herrumbradas (metálico)? | No |
| ¿Están las tapas del tanque de almacenamiento, construida en condiciones no sanitarias? | No |
| ¿Carece la estructura externa de mantenimiento (pintura, limpieza, libre de hojas, musgo)? | No |
| ¿Está ausente o fuera de operación el sistema de cloración? | No |
| ¿Está el nivel de agua menor que un cuarto que el volumen del tanque y las escaleras internas herrumbradas? | No |
| ¿Existen sedimentos, algas, hongos dentro del tanque? | No |
| ¿Está ausente o defectuosa la malla de protección? | No |
| ¿Carece la tapa de un sistema de cierre seguro (candado, cadena, tornillo)? | No |
| ¿Carece el tanque de respiraderos o tuberías de rebalse con rejillas de protección? | No |
| ¿Existe alguna fuente de contaminación alrededor del tanque (letrinas, animales, viviendas, basura)? | No |
| | Resultado |
| | Vulnerabilidad |

| Evaluación de Tanque de Almacenamiento - Amada (10 pts c/u) | Respuesta |
|---|------------------|
| ¿Están las paredes agrietadas (concreto) o herrumbradas (metálico)? | Sí |
| ¿Están las tapas del tanque de almacenamiento, construida en condiciones no sanitarias? | No |
| ¿Carece la estructura externa de mantenimiento (pintura, limpieza, libre de hojas, musgo)? | No |
| ¿Está ausente o fuera de operación el sistema de cloración? | No |
| ¿Está el nivel de agua menor que un cuarto que el volumen del tanque y las escaleras internas herrumbradas? | No |
| ¿Existen sedimentos, algas, hongos dentro del tanque? | No |
| ¿Está ausente o defectuosa la malla de protección? | No |
| ¿Carece la tapa de un sistema de cierre seguro (candado, cadena, tornillo)? | No |
| ¿Carece el tanque de respiraderos o tuberías de rebalse con rejillas de protección? | No |
| ¿Existe alguna fuente de contaminación alrededor del tanque (letrinas, animales, viviendas, basura)? | No |

Anexo 4: Resultados detallados de la Autoevaluación

| |
|-----------------------|
| Resultado |
| <i>Vulnerabilidad</i> |

| Evaluación de Naciente - Steinfeld (10 pts c/u) | Respuesta |
|--|-----------------------|
| ¿Está la naciente sin malla de protección que impide el acceso de animales y personas? | Sí |
| ¿Está la naciente desprotegida, abierta a la contaminación ambiental (sin caseta o sin tanque de captación)? | No |
| ¿Está la tapa de captación construida en condiciones no sanitaria y sin cierre seguro (candado o tornillo)? | No |
| ¿Están las paredes y la loza superior de captación con grietas? | No |
| ¿Carece de canales perimetrales para desviar el agua de escorrentía? | No |
| ¿Carece la captación de respiraderos o tubería de rebalse con rejilla de protección? | No |
| ¿Se encuentran plantas, raíces, hojas, algas dentro de la captación de la naciente? | No |
| ¿Existen aguas estancadas sobre o alrededor de la captación? | No |
| ¿Existe alguna fuente de contaminación alrededor de la captación (letrinas, animales, viviendas, basura)? | No |
| ¿Se encuentra la captación ubicada en zonas con actividad agrícola o industrial? | No |
| | Resultado |
| | <i>Vulnerabilidad</i> |

| Evaluación de Naciente - Calle Segura (10 pts c/u) | Respuesta |
|--|-----------------------|
| ¿Está la naciente sin malla de protección que impide el acceso de animales y personas? | Sí |
| ¿Está la naciente desprotegida, abierta a la contaminación ambiental (sin caseta o sin tanque de captación)? | No |
| ¿Está la tapa de captación construida en condiciones no sanitaria y sin cierre seguro (candado o tornillo)? | No |
| ¿Están las paredes y la loza superior de captación con grietas? | No |
| ¿Carece de canales perimetrales para desviar el agua de escorrentía? | No |
| ¿Carece la captación de respiraderos o tubería de rebalse con rejilla de protección? | No |
| ¿Se encuentran plantas, raíces, hojas, algas dentro de la captación de la naciente? | No |
| ¿Existen aguas estancadas sobre o alrededor de la captación? | No |
| ¿Existe alguna fuente de contaminación alrededor de la captación (letrinas, animales, viviendas, basura)? | No |
| ¿Se encuentra la captación ubicada en zonas con actividad agrícola o industrial? | No |
| | Resultado |
| | <i>Vulnerabilidad</i> |

| Evaluación de Naciente - El Bosque (10 pts c/u) | Respuesta |
|--|------------------|
| ¿Está la naciente sin malla de protección que impide el acceso de animales y personas? | Sí |
| ¿Está la naciente desprotegida, abierta a la contaminación ambiental (sin caseta o sin tanque de captación)? | No |
| ¿Está la tapa de captación construida en condiciones no sanitaria y sin cierre seguro (candado o tornillo)? | No |
| ¿Están las paredes y la loza superior de captación con grietas? | No |
| ¿Carece de canales perimetrales para desviar el agua de escorrentía? | No |
| ¿Carece la captación de respiraderos o tubería de rebalse con rejilla de protección? | No |
| ¿Se encuentran plantas, raíces, hojas, algas dentro de la captación de la naciente? | No |
| ¿Existen aguas estancadas sobre o alrededor de la captación? | No |

Anexo 4: Resultados detallados de la Autoevaluación

| | |
|---|-----------------------|
| ¿Existe alguna fuente de contaminación alrededor de la captación (letrinas, animales, viviendas, basura)? | No |
| ¿Se encuentra la captación ubicada en zonas con actividad agrícola o industrial? | No |
| | Resultado |
| | <i>Vulnerabilidad</i> |

Anexo 4: Resultados detallados de la Autoevaluación

| Evaluación de Naciente - Chagos (10 pts c/u) | Respuesta |
|--|-----------------------|
| ¿Está la naciente sin malla de protección que impide el acceso de animales y personas? | Sí |
| ¿Está la naciente desprotegida, abierta a la contaminación ambiental (sin caseta o sin tanque de captación)? | No |
| ¿Está la tapa de captación construida en condiciones no sanitaria y sin cierre seguro (candado o tornillo)? | No |
| ¿Están las paredes y la loza superior de captación con grietas? | No |
| ¿Carece de canales perimetrales para desviar el agua de escorrentía? | No |
| ¿Carece la captación de respiraderos o tubería de rebalse con rejilla de protección? | No |
| ¿Se encuentran plantas, raíces, hojas, algas dentro de la captación de la naciente? | No |
| ¿Existen aguas estancadas sobre o alrededor de la captación? | No |
| ¿Existe alguna fuente de contaminación alrededor de la captación (letrinas, animales, viviendas, basura)? | No |
| ¿Se encuentra la captación ubicada en zonas con actividad agrícola o industrial? | No |
| | Resultado |
| | <i>Vulnerabilidad</i> |

| Evaluación de Pozo - Doña Elena (10 pts c/u) | Respuesta |
|--|-----------------------|
| ¿Está la naciente sin malla de protección que impide el acceso de animales y personas? | No |
| ¿Está la naciente desprotegida, abierta a la contaminación ambiental (sin caseta o sin tanque de captación)? | No |
| ¿Está la tapa de captación construida en condiciones no sanitaria y sin cierre seguro (candado o tornillo)? | No |
| ¿Están las paredes y la loza superior de captación con grietas? | Sí |
| ¿Carece de canales perimetrales para desviar el agua de escorrentía? | Sí |
| ¿Carece la captación de respiraderos o tubería de rebalse con rejilla de protección? | Sí |
| ¿Se encuentran plantas, raíces, hojas, algas dentro de la captación de la naciente? | No |
| ¿Existen aguas estancadas sobre o alrededor de la captación? | No |
| ¿Existe alguna fuente de contaminación alrededor de la captación (letrinas, animales, viviendas, basura)? | No |
| ¿Se encuentra la captación ubicada en zonas con actividad agrícola o industrial? | No |
| | Resultado |
| | <i>Vulnerabilidad</i> |

| Evaluación de Líneas de conducción y distribución - Sistema 3 Urbanización Doña Elena | Respuesta |
|--|-----------------------|
| ¿Existe alguna fuga en la línea de conducción? | No |
| ¿Carecen los tanques quiebra gradientes de tapas sanitarias? | No |
| ¿En los tanques quiebra gradientes se observan rajaduras, grietas, fugas, raíces? | No |
| ¿Se observan fugas visibles en alguna red de distribución? | No |
| ¿Existen variaciones significativas de presiones en la red de distribución? | No |
| ¿Carece de cloro residual alguna zona de la red principal de distribución? | No |
| ¿Existen interrupciones constantes en el servicio de distribución de agua? | No |
| ¿Carece de sistemas para purgar la tubería de distribución? | No |
| ¿Carece de un fontanero o encargado de mantenimiento de la red? | No |
| ¿Carece de un esquema del sistema de distribución (planos o croquis)? | No |
| | Resultado |
| | <i>Vulnerabilidad</i> |

Anexo 4: Resultados detallados de la Autoevaluación

| Evaluación de Líneas de conducción y distribución - Sistema 2 San Pedro (10 pts) | Respuesta |
|---|-----------------------|
| ¿Existe alguna fuga en la línea de conducción? | Sí |
| ¿Carecen los tanques quiebra gradientes de tapas sanitarias? | No |
| ¿En los tanques quiebra gradientes se observan rajaduras, grietas, fugas, raíces? | No |
| ¿Se observan fugas visibles en alguna red de distribución? | No |
| ¿Existen variaciones significativas de presiones en la red de distribución? | No |
| ¿Carece de cloro residual alguna zona de la red principal de distribución? | No |
| ¿Existen interrupciones constantes en el servicio de distribución de agua? | No |
| ¿Carece de sistemas para purgar la tubería de distribución? | No |
| ¿Carece de un fontanero o encargado de mantenimiento de la red? | No |
| ¿Carece de un esquema del sistema de distribución (planos o croquis)? | No |
| | Resultado |
| | <i>Vulnerabilidad</i> |

| Evaluación de Líneas de conducción y distribución - Sistema 1 La Maquina (10 p | Respuesta |
|---|-----------------------|
| ¿Existe alguna fuga en la línea de conducción? | No |
| ¿Carecen los tanques quiebra gradientes de tapas sanitarias? | No |
| ¿En los tanques quiebra gradientes se observan rajaduras, grietas, fugas, raíces? | No |
| ¿Se observan fugas visibles en alguna red de distribución? | No |
| ¿Existen variaciones significativas de presiones en la red de distribución? | No |
| ¿Carece de cloro residual alguna zona de la red principal de distribución? | No |
| ¿Existen interrupciones constantes en el servicio de distribución de agua? | No |
| ¿Carece de sistemas para purgar la tubería de distribución? | No |
| ¿Carece de un fontanero o encargado de mantenimiento de la red? | No |
| ¿Carece de un esquema del sistema de distribución (planos o croquis)? | No |
| | Resultado |
| | <i>Vulnerabilidad</i> |

| Evaluación de Tanque de Almacenamiento - Vega (10 pts c/u) | Respuesta |
|---|-----------------------|
| ¿Están las paredes agrietadas (concreto) o herrumbradas (metálico)? | Sí |
| ¿Están las tapas del tanque de almacenamiento, construida en condiciones no sanitarias? | No |
| ¿Carece la estructura externa de mantenimiento (pintura, limpieza, libre de hojas, musgo)? | No |
| ¿Está ausente o fuera de operación el sistema de cloración? | No |
| ¿Está el nivel de agua menor que un cuarto que el volumen del tanque y las escaleras internas herrumbradas? | No |
| ¿Existen sedimentos, algas, hongos dentro del tanque? | No |
| ¿Está ausente o defectuosa la malla de protección? | No |
| ¿Carece la tapa de un sistema de cierre seguro (candado, cadena, tornillo)? | No |
| ¿Carece el tanque de respiraderos o tuberías de rebalse con rejillas de protección? | No |
| ¿Existe alguna fuente de contaminación alrededor del tanque (letrinas, animales, viviendas, basura)? | No |
| | Resultado |
| | <i>Vulnerabilidad</i> |

Anexo 4: Resultados detallados de la Autoevaluación

| Evaluación de Tanque de Almacenamiento - San Pedro (10 pts c/u) | Respuesta |
|---|-----------------------|
| ¿Están las paredes agrietadas (concreto) o herrumbradas (metálico)? | No |
| ¿Están las tapas del tanque de almacenamiento, construida en condiciones no sanitarias? | No |
| ¿Carece la estructura externa de mantenimiento (pintura, limpieza, libre de hojas, musgo)? | No |
| ¿Está ausente o fuera de operación el sistema de cloración? | No |
| ¿Está el nivel de agua menor que un cuarto que el volumen del tanque y las escaleras internas herrumbradas? | No |
| ¿Existen sedimentos, algas, hongos dentro del tanque? | No |
| ¿Está ausente o defectuosa la malla de protección? | No |
| ¿Carece la tapa de un sistema de cierre seguro (candado, cadena, tornillo)? | No |
| ¿Carece el tanque de respiraderos o tuberías de rebalse con rejillas de protección? | No |
| ¿Existe alguna fuente de contaminación alrededor del tanque (letrinas, animales, viviendas, basura)? | No |
| | Resultado |
| | <i>Vulnerabilidad</i> |



Resultados del Análisis Por Vulnerabilidad y Amenaza

Anexo 5: Resultados Generales de la Evaluación GESTION INTEGRAL DE RIESGOS EN ASADAS

| | | |
|--|------------------------|----------|
| ASADA ASOCIACION ADMINISTRADORA DEL ACUEDUCTO DE SAN PEDRO DE BARVA | Vulnerabilidad | 15% |
| | Resultado Categoría | MUY BAJA |



Actualizar resultados

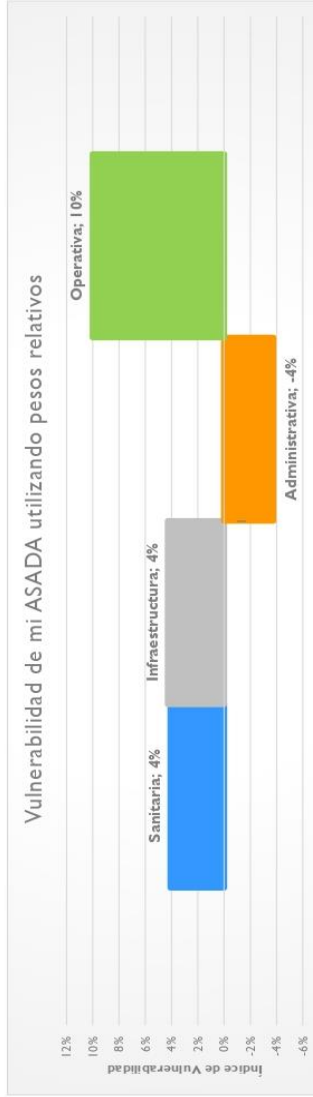
| | |
|--|----------|
| Vulnerabilidad Sanitaria | |
| Sello calidad agua | 100% |
| Resultado del análisis por infraestructura | 12% |
| Categoría | MUY BAJA |

| | |
|--------------------------------|----------|
| Vulnerabilidad Infraestructura | |
| Resultado del análisis actual: | 14% |
| Categoría | MUY BAJA |

| | |
|--------------------------------|----------|
| Vulnerabilidad Administrativa | |
| Resultado del análisis actual: | -25% |
| Categoría | MUY BAJA |

| | |
|--------------------------------|----------|
| Vulnerabilidad Operativa | |
| Resultado del análisis actual: | 50% |
| Categoría | MODERADA |

| | |
|---------------------------|----------|
| Nacientes | 10% |
| | MUY BAJA |
| Pozos | 30% |
| | BAJA |
| Quebradas | 10% |
| | MUY BAJA |
| Tubería de conducción | 3% |
| | MUY BAJA |
| Tanques de Almacenamiento | 5% |
| | MUY BAJA |



| AMENAZA | Nivel de exposición | Nivel de Consecuencia | Valor impacto infraestructura | Valor impacto servicio | Valor total impacto |
|----------------------------------|---------------------|-----------------------|-------------------------------|------------------------|---------------------|
| Vandalismo/Sabotaje | | 8% Muy leve | 7 500 000 | - | 7 500 000 |
| Desarrollo Urbano No Planificado | | 7% Muy leve | 6 000 000 | - | 6 000 000 |
| Agua Contaminada | | 0% Muy leve | - | - | - |
| Agua Contaminada | | 0% Muy leve | - | - | - |
| Rotura de tuberías | | 19% Leve | 750 000 | 1 120 000 | 1 870 000 |

| | |
|---------------------------------------|----------|
| Grado de preparación ante Emergencias | 80% |
| | MUY ALTA |

Anexo 6: Valoración del Riesgo y Priorización de medidas de acción

Valoración de los Riesgos - Priorización de medidas de acción

| Tipo Vulnerabilidad | Tipo de componente | Amenaza | Medida correctiva | Probabilidad de impacto de la amenaza | Grado de consecuencia de la amenaza | Nivel de Riesgo | Marque X que medidas implementar |
|---------------------|-------------------------------------|---|---|---------------------------------------|-------------------------------------|-----------------|----------------------------------|
| Sanitaria | Líneas de Conducción y Distribución | Contaminación por fuga en la línea de conducción | Las fugas son fuente potencial de microorganismos y ocasionan pérdidas económicas a la ASADA, identificar y corregir fugas en la línea de conducción | Moderada | Grave | Moderado (III) | X |
| Sanitaria | Naciente | Contaminación por cercanía de letrinas, animales, viviendas y basura | Identificar y corregir fuentes de contaminación alrededor de la captación (letrinas, animales, basura, viviendas) | Moderada | Muy Grave | Severo (II) | X |
| Sanitaria | Naciente | Contaminación por cercanía de actividad agrícola | Identificar si las actividades agrícolas o industriales cercanas a la captación generan contaminación | Alta | Grave | Severo (II) | X |
| Sanitaria | Pozo | Contaminación por letrinas o tanques sépticos cercanos | Identificar aquellas fuentes de materia fecal cerca de las tuberías o fuentes con el fin de tomar medidas de control de los focos de contaminación | Baja | Grave | Moderado (III) | X |
| Infraestructura | Prevención | Contaminación por materia fecal en el agua | Identificar aquellas fuentes de materia fecal cerca de las tuberías o fuentes con el fin de tomar medidas de control de los focos de contaminación | Moderada | Grave | Moderado (III) | X |
| Infraestructura | Prevención | Altos costos de reparación en caso de desastres | Identificar posibles mejoras en la ubicación o infraestructura de los componentes, de manera que se disminuya la vulnerabilidad del sistema | Muy Alta | Muy Grave | Muy Severo (I) | X |
| Operativa | Caudal | Desabastecimiento de agua | Validar mediante un estudio de disponibilidad hídrica las opciones de incremento de la demanda para cubrir mínimo los siguientes 5 años | Alta | Muy Grave | Muy Severo (I) | X |
| Operativa | Caudal | Desinformación sobre posibles fuentes de recarga subterránea que sean afectadas por contaminación | Investigar y documentar las fuentes de agua subterránea | Alta | Grave | Severo (II) | X |
| Operativa | Procedimientos | Procedimientos de control y mantenimiento desactualizados | Revisar anualmente los procedimientos de control con el fin de buscar mejoras en los mismos | Moderada | Leve | Moderado (III) | X |
| Sello de Calidad | Cambio climático | Desinterés de la comunidad por cuidar el ambiente, mal manejo de los recursos naturales | Organizar programas anuales de educación ambiental en la comunidad como: talleres, campañas de limpieza, videos informativos, reforestación, entre otros. | Moderada | Grave | Moderado (III) | X |
| Emergencias | Financiero | Poca o nula capacidad financiera para atender los desastres | Crear un asiento contable dedicado a generar un ahorro, el cual servirá como respaldo al ser afectado por un desastre | Moderada | Grave | Moderado (III) | X |

Anexo 6: Valoración del Riesgo y Priorización de medidas de acción

| Emergencias | Prevenición | Ignorancia de las zonas vulnerables para poder gestionar previamente el riesgo | Identificar y gestionar el riesgo de las zonas más vulnerables del sistema | Alta | Grave | Severo (II) | X |
|-------------|--------------|--|---|----------|-------|----------------|---|
| Emergencias | Organización | Desarticulación de apoyos entre ASADAS | Coordinar alianzas entre ASADAS vecinas para proveer apoyo mutuo en caso de emergencias | Moderada | Grave | Moderado (III) | X |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |



#5
Análisis de
Riesgos

Anexo 7: Plan de Acción Correctivo

Administración de Riesgos: Plan de Acción Medidas correctivas



La siguiente lista incorpora aquellas medidas correctivas, que se eligieron para ser incluidas en el plan de acción. El siguiente paso es completar las columnas en color "Gris".

| PLAN DE GESTIÓN DE RIESGOS | | | | | | | | | |
|----------------------------|-------------------------------------|--|--|---------------------------|--------------------------|---|-----------------------------------|-----------------|-----------------------|
| Tipo | Tipo de componente | Riesgo Asociado | Medida | Monto de Inversión aprox | Fuente de financiamiento | Pasos a seguir para la solución propuesta | Responsables | Fecha de inicio | Fecha de finalización |
| Sanitaria | Líneas de Conducción y Distribución | Contaminación por fuga en la línea de conducción | Las fugas son fuente potencial de microorganismos y ocasionan pérdidas económicas a la ASADA, identificar y corregir fugas en la línea de conducción | Entre 50 mil y 4 millones | Tarifa ordinaria | Revisar periódicamente y reparar las fugas existentes en el sistema. | Equipo operativo | jul-22 | ago-23 |
| Sanitaria | Naciente | Contaminación por cercanía de letrinas, animales, viviendas y basura | Identificar y corregir fuentes de contaminación alrededor de la captación (letrinas, animales, basura, viviendas) | Entre 50 mil y 4 millones | Tarifa ordinaria | Identificar y buscar subsanar la posible afectación por derrame de sustancias tóxicas en las nacientes susceptibles. | Equipo operativo y administrativo | jul-22 | jul-24 |
| Sanitaria | Naciente | Contaminación por cercanía de actividad agrícola | Identificar si las actividades agrícolas o industriales cercanas a la captación generan contaminación | Menor a 100 mil | Tarifa ordinaria | Elaborar un plan para mitigación de efectos de contaminación. | Equipo administrativo | jul-22 | jul-24 |
| Sanitaria | Pozo | Contaminación por letrinas o tanques sépticos cercanos | Identificar aquellas fuentes de materia fecal cerca de las tuberías o fuentes con el fin de tomar medidas de control de los focos de contaminación | Entre 100 mil y 1 millón | Tarifa ordinaria | Identificar y buscar subsanar la posible afectación por derrame de sustancias tóxicas. Establecer un monitoreo periódico de coliformes fecales y Escherichia Coli. | Equipo administrativo | jul-22 | jul-23 |
| Infraestructura | Prevención | Contaminación por materia fecal en el agua | Identificar aquellas fuentes de materia fecal cerca de las tuberías o fuentes con el fin de tomar medidas de control de los focos de contaminación | Entre 100 mil y 1 millón | Tarifa ordinaria | Identificar y buscar subsanar la posible afectación por derrame de sustancias tóxicas en las nacientes susceptibles. Establecer un monitoreo periódico de coliformes fecales y Escherichia Coli en las nacientes identificadas con esta problemática. | Equipo administrativo | jul-22 | jul-23 |

Anexo 7: Plan de Acción Correctivo

| | | | | | | | | | |
|-------------------------|------------------|---|---|-----------------------|--------------------|--|---|--------|--------|
| Infraestructura | Prevención | Altos costos de reparación en caso de desastres | Identificar posibles mejoras en la ubicación o infraestructura de los componentes, de manera que se disminuya la vulnerabilidad del sistema | Entre 1 y 50 millones | Búsqueda de fondos | Fortalecer mediante infraestructura resistente los componentes identificados mediante la herramienta GIRA más susceptibles y con el valor por impacto más alto. Fortalecer el paso elevado sobre la quebrada Amanda. Elaborar un diseño de la obra, así como el costo estimado de la obra. | Junta Directiva y Equipo administrativo | jul-22 | ago-22 |
| Operativa | Caudal | Desabastecimiento de agua | Validar mediante un estudio de disponibilidad hídrica las opciones de incremento de la demanda para cubrir mínimo los siguientes 5 años | Entre 1 y 20 millones | Búsqueda de fondos | Mantener actualizado el estudio integral y de disponibilidad hídrica con proyección a 10 años. | Junta Directiva y Equipo administrativo | jul-22 | jul-23 |
| Operativa | Caudal | Desinformación sobre posibles fuentes de recarga subterránea que sean afectadas por contaminación | Investigar y documentar las fuentes de agua subterránea | Menor a 70 millones | Búsqueda de fondos | Elaborar un estudio hidrogeológico para conocer las zonas de protección de las nacientes y pozos. | Junta Directiva y Equipo administrativo | jul-22 | jul-24 |
| Operativa | Procedimientos | Procedimientos de control y mantenimiento desactualizados | Revisar anualmente los procedimientos de control con el fin de buscar mejoras en los mismos | Menor a 2 millones | Búsqueda de fondos | Continuar la gestión del pozo perforado como fuente subterránea alternativa para el acueducto. | Junta Directiva y Equipo administrativo | jun-22 | jun-23 |
| Sello de Calidad | Cambio climático | Desinterés de la comunidad por cuidar el ambiente, mal manejo de los recursos naturales | Organizar programas anuales de educación ambiental en la comunidad como: talleres, campañas de limpieza, videos informativos, reforestación, entre otros. | 5 millones | Búsqueda de fondos | Elaborar los manuales correspondientes a los procedimientos operativos de control de presiones, fugas e instalación de tuberías y nuevas conexiones. | Equipo administrativo y operativo | jul-22 | jul-24 |
| Emergencias | Financiero | Poca o nula capacidad financiera para atender los desastres | Crear un asiento contable dedicado a generar un ahorro, el cual servirá como respaldo al ser afectado por un desastre | 2 millones | Búsqueda de fondos | Elaborar programas comunales en conjunto con otros organismos del cantón. | Equipo administrativo | jul-22 | jul-24 |
| | | | | | | Aumentar el ahorro destinado para atención de emergencias. | Equipo administrativo | jul-22 | jul-23 |



Anexo 8: Plan de Acción Preventivo

Administración de Riesgos: Plan de Acción Medidas preventivas



En la siguiente tabla se formulan aquellos proyectos necesarios en la ASADA para mitigar las amenazas más importantes identificadas. Se debe trabajar en conjunto para establecer las medidas preventivas o prospectivas necesarias para completar el proyecto

| DEFINICIÓN DEL PLAN DE GESTIÓN DE RIESGOS | | | | | | | |
|---|--|--------------------------|---------------------------------|--|---|-----------------|-----------------------|
| Nombre del proyecto | Medidas preventivas propuestas | Monto de Inversión aprox | Fuente de financiamiento | Pasos a seguir para la solución propuesta | Responsables | Fecha de inicio | Fecha de finalización |
| Estudio integral y de disponibilidad hídrica con proyección a 10 años | Mantener actualizado el estudio integral. | Entre 1 y 20 millones | Otras fuentes de financiamiento | Identificar los aspectos de mejora del acueducto en cuanto a captación, conducción, almacenamiento y distribución, para solucionar problemas de desabastecimiento en un mediano y largo plazo. | Junta Directiva y Equipo administrativo | jul-22 | jul-32 |
| Realizar mantenimiento al pozo. | Asegurar el funcionamiento óptimo del pozo como fuente de abastecimiento alternativa para el acueducto | Entre 1 y 20 millones | Tarifa ordinaria | Realizar periódicamente: Limpieza del pozo. Constatar el funcionamiento de la bomba. Verificar la capacidad de extracción (caudal y abatimiento) del pozo. | Junta Directiva, Equipo administrativo y Equipo técnico | jul-22 | jul-32 |
| Gestionar la protección de las zonas de recarga de las nacientes y pozo | Analizar con base en los resultados de la herramienta GIRA y las zonas de protección de las nacientes la identificación de las nacientes más susceptibles. | Entre 500 y 800 millones | Otras fuentes de financiamiento | Realizar una lista de las posibles afectaciones y sus causantes. Establecer vínculos de comunicación con las personas o empresas responsables para llegar a soluciones en un corto a mediano plazo. Planificar de ser posible la compra de terrenos aledaños a la naciente y obras de captación. | Junta Directiva y Equipo administrativo. | jul-22 | jul-32 |



Administración de Riesgos: PLAN GIRA

Monitoreo, Seguimiento y Evaluación



Anexo 9: PLAN GIRA - Seguimiento del Plan

En la siguiente tabla se enlistan los proyectos correctivos y preventivos planteados, en este apartado se dará seguimiento al proceso de ejecución de los procesos. Complete las columnas en gris para monitorear y evaluar el seguimiento de los proyectos

| Nombre del proyecto | Medidas de prevención y corrección | Pasos a seguir para la solución propuesta | Responsables | Fecha de inicio | Fecha de fin | Inversión presupuestada | Fecha de revisión | Estado de cumplimiento | Inversión realizada | Observaciones |
|--|--|---|---|-----------------|--------------|---------------------------|-------------------|------------------------|---------------------|---------------|
| Contaminación por fuga en la línea de conducción | Las fugas son fuente potencial de microorganismos y ocasionan pérdidas económicas a la ASADA, identificar y corregir fugas en la línea de conducción | Revisar periódicamente y reparar las fugas existentes en el sistema. | Equipo operativo | Jul-22 | ago-23 | Entre 50 mil y 4 millones | | | | |
| Contaminación por cercanía de letrinas, animales, viviendas y basura | Identificar y corregir fuentes de contaminación alrededor de la captación (letrinas, animales, basura, viviendas) | Identificar y buscar subsanar la posible afectación por derrame de sustancias tóxicas en las nacientes susceptibles. | Equipo operativo y administrativo | Jul-22 | Jul-24 | Entre 50 mil y 4 millones | | | | |
| Contaminación por cercanía de actividad agrícola | Identificar si las actividades agrícolas o industriales cercanas a la captación generan contaminación | Elaborar un plan para mitigación de efectos de contaminación. | Equipo administrativo | Jul-22 | Jul-24 | Menor a 100 mil | | | | |
| Contaminación por letrinas o tanques sépticos cercanos | Identificar aquellas fuentes de materia fecal cerca de las tuberías o fuentes con el fin de tomar medidas de control de los focos de contaminación | Identificar y buscar subsanar la posible afectación por derrame de sustancias tóxicas. Establecer un monitoreo periódico de coliformes fecales y Escherichia Coli. | Equipo administrativo | Jul-22 | Jul-23 | Entre 100 mil y 1 millón | | | | |
| Contaminación por materia fecal en el agua | Identificar aquellas fuentes de materia fecal cerca de las tuberías o fuentes con el fin de tomar medidas de control de los focos de contaminación | Identificar y buscar subsanar la posible afectación por derrame de sustancias tóxicas en las nacientes susceptibles. Establecer un monitoreo periódico de coliformes fecales y Escherichia Coli en las nacientes identificadas con esta problemática. | Equipo administrativo | Jul-22 | Jul-23 | Entre 100 mil y 1 millón | | | | |
| Altos costos de reparación en caso de desastres | Identificar posibles mejoras en la ubicación o infraestructura de los componentes, de manera que se disminuya la vulnerabilidad del sistema | Fortalecer mediante infraestructura resistente los componentes identificados mediante la herramienta GIRA más susceptibles y con el valor por impacto más alto. | Junta Directiva y Equipo administrativo | Jul-22 | ago-22 | Entre 1 y 50 millones | | | | |

Seguimiento de medidas correctivas

Anexo 9: PLAN GIRA - Seguimiento del Plan

| | | | | | | | | | | |
|---|---|--|---|--------|--------|-----------------------|--|--|--|--|
| Desabastecimiento de agua | Validar mediante un estudio de disponibilidad hídrica las opciones de incremento de la demanda para cubrir mínimo los siguientes 5 años | Mantener actualizado el estudio integral y disponibilidad hídrica con proyección a 10 años. | Junta Directiva y Equipo administrativo | jul-22 | jul-22 | Entre 1 y 20 millones | | | | |
| Desinformación sobre posibles fuentes de recarga subterránea que sean afectadas por contaminación | Investigar y documentar las fuentes de agua subterránea | Elaborar un estudio hidrogeológico para conocer las zonas de protección de las nacientes y pozo. | Junta Directiva y Equipo administrativo | jul-22 | jul-24 | Menor a 70 millones | | | | |
| Procedimientos de control y mantenimiento desactualizados | Revisar anualmente los procedimientos de control con el fin de buscar mejoras en los mismos | Continuar la gestión del pozo perforado como fuente subterránea alternativa para el acueducto. | Junta Directiva y Equipo administrativo | jun-22 | jun-23 | 500 millones | | | | |
| Desinterés de la comunidad por cuidar el ambiente, mal manejo de los recursos naturales | Organizar programas anuales de educación ambiental en la comunidad como: talleres, campañas de limpieza, videos informativos, reforestación, entre otros. | Elaborar los manuales correspondientes a los procedimientos operativos de control de presiones, fugas e instalación de tuberías y nuevas conexiones. | Equipo administrativo y operativo | jul-22 | jul-24 | Menor a 2 millones | | | | |
| Poca o nula capacidad financiera para atender los desastres | Crear un asiento contable dedicado a generar un ahorro, el cual servirá como respaldo al ser afectado por un desastre | Elaborar programas comunales en conjunto con otros organismos del cantón. | Equipo administrativo | jul-22 | jul-24 | 5 millones | | | | |
| Ignorancia de las zonas vulnerables para poder gestionar previamente el riesgo | Identificar y gestionar el riesgo de las zonas más vulnerables del sistema | Aumentar el ahorro destinado para atención de emergencias. | Equipo administrativo | jul-22 | jul-23 | 2 millones | | | | |
| | | Fortalecer mediante infraestructura resistente los componentes identificados mediante la herramienta GIRA más susceptibles y con el valor por impacto más alto. Prever la compra de materiales y equipo necesario para reparar oportunamente la afectación de las amenazas identificadas con la probabilidad de ocurrencia más alta. Asegurar los componentes de la ASADA identificados como los más susceptibles y con el valor por impacto más alto. | Junta Directiva y Equipo administrativo | jul-22 | jul-25 | Entre 1 y 20 millones | | | | |

Anexo 9: PLAN GIRA - Seguimiento del Plan

| Desarticulación de apoyos entre ASADAS | Coordinar alianzas entre ASADAS para proveer apoyo mutuo en caso de emergencias | Elaborar planes conjuntos entre operadores cercanos para subsidio o préstamo de materiales y mano de obra. | Junta Directiva y Equipo administrativo | jul-22 | jul-23 | 1 millón | | | |
|---|---|--|--|--------|--------|--------------------------|--|--|--|
| Estudio integral y de disponibilidad hídrica con proyección a 10 años | Mantener actualizado el estudio integral. | Identificar los aspectos de mejora del acueducto en cuanto a captación, conducción, almacenamiento y distribución, para solucionar problemas de desabastecimiento en un mediano y largo plazo. | Junta Directiva y Equipo administrativo | jul-22 | jul-32 | Entre 1 y 20 millones | | | |
| Realizar mantenimiento al pozo. | Asegurar el funcionamiento óptimo del pozo como fuente de abastecimiento alternativa para el acueducto | Realizar periódicamente: Limpieza del pozo. Constatar el funcionamiento de la bomba. Verificar la capacidad de extracción (caudal y abatimiento) del pozo. | Junta Directiva, Equipo administrativo y Equipo técnico. | jul-22 | jul-32 | Entre 1 y 20 millones | | | |
| Seguimiento de medidas preventivas | Analizar con base en los resultados de la herramienta GIRA y las zonas de protección de las nacientes la identificación de las nacientes más susceptibles | Realizar una lista de las posibles afectaciones y sus causantes. Establecer vínculos de comunicación con las personas o empresas responsables para llegar a soluciones en un corto a mediano plazo. Planificar de ser posible la compra de terrenos aledaños a la naciente y obras de captación. | Junta Directiva y Equipo administrativo. | jul-22 | jul-32 | Entre 500 y 800 millones | | | |

Anexo 9: PLAN GIRA - Seguimiento del Plan

Resultados de evaluación del seguimiento de los proyectos

