

**UNIVERSIDAD LATINA DE COSTA RICA**

**ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**

Proyecto Final de Graduación para optar por el título de Ingeniero Civil con el grado académico de Licenciatura

**“PROPUESTA PARA LA DISPONIBILIDAD DE AGUA DE LOS  
PROYECTOS DE BIEN SOCIAL NUEVA HERMOSA Y SANTO TOMÁS,  
UBICADOS EN LA ZONA DE QUEBRADA AMARILLA, GARABITO”**

Tesis de Grado

Realizado por: Rodrigo Badilla Mora

Profesor Tutor: Ing. Alberto Gonzales Solera

Profesor Lector: Ing. Leonardo Moya Gonzáles

Universidad Latina Campus Heredia, agosto 2017

**COMITÉ ASESOR**

**ING. ALBERTO GONZÁLEZ SOLERA**  
**TUTOR**

**ING. LEONARDO MOYA GONZÁLEZ**  
**LECTOR**

**ING. SIRLEY ALVAREZ GONZÁLEZ**  
**REPRESENTANTE DE RECTORÍA**



UNIVERSIDAD LATINA  
DE COSTA RICA  
LAUREATE INTERNATIONAL UNIVERSITIES®

## TRIBUNAL EXAMINADOR

Este proyecto titulado: "Propuesta para la disponibilidad de agua de los proyectos de bien social Nueva Hermosa y Santo Tomas, ubicados en la zona de Quebrada Amarilla, Garabito", fue aprobado por el Tribunal Examinador de la carrera de Licenciatura en Ingeniería Civil de la Universidad Latina, Sede Heredia, como requisito para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil:

---

**ING. ALBERTO GONZÁLEZ SOLERA**

**TUTOR**

---

**ING. LEONARDO MOYA GONZÁLEZ**

**LECTOR**

---

**ING. SIRLEY ALVAREZ GONZÁLEZ**

**REPRESENTANTE DE RECTORÍA**

**CARTA DE APROBACIÓN POR PARTE DEL PROFESOR TUTOR DEL  
TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN MODALIDAD TESIS DE GRADO**

Heredia, 29 de agosto, de 2017

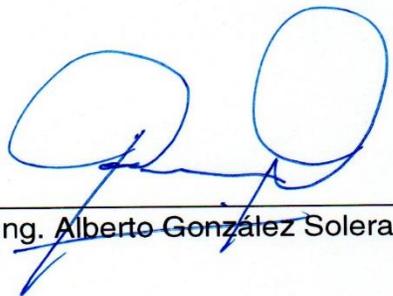
Sres.  
Miembros del Comité de Trabajos Finales de Graduación  
SD

Estimados señores:

He revisado y corregido el Trabajo Final de Graduación, modalidad Tesis de Grado bajo el título "Propuesta para la disponibilidad de agua de los proyectos de bien social Nueva Hermosa y Santo Tomas, ubicados en la zona de Quebrada Amarilla, Garabito" por parte del estudiante: Rodrigo Badilla Mora, como requisito para que el citado estudiante pueda optar por la Licenciatura en Ingeniería Civil.

**Considero que dicho trabajo cumple con los requisitos formales y de contenido exigidos por la Universidad, y por tanto lo recomiendo para su defensa oral ante el Consejo Asesor.**

Suscribe cordialmente,



Ing. Alberto González Solera



**CARTA DE APROBACIÓN POR PARTE DEL PROFESOR LECTOR DEL  
TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN MODALIDAD TESIS DE GRADO**

Heredia, 29 de agosto, de 2017

Sres.  
Miembros del Comité de Trabajos Finales de Graduación  
SD

Estimados señores:

He revisado y corregido el Trabajo Final de Graduación, modalidad Tesis de Grado bajo el título "Propuesta para la disponibilidad de agua de los proyectos de bien social Nueva Hermosa y Santo Tomas, ubicados en la zona de Quebrada Amarilla, Garabito" por parte del estudiante: Rodrigo Badilla Mora, como requisito para que el citado estudiante pueda optar por la Licenciatura en Ingeniería Civil.

**Considero que dicho trabajo cumple con los requisitos formales y de contenido exigidos por la Universidad, y por tanto lo recomiendo para su defensa oral ante el Consejo Asesor.**

Suscribe cordialmente,

---

Ing. Leonardo Moya González

San José, 05 de septiembre de 2017

Sres.  
Universidad Latina de Costa Rica  
Escuela de Ingeniería Civil S.D.

Estimados señores:

Hago constar que leí y corregí el Trabajo Final de Graduación elaborado por Rodrigo Badilla Mora, denominado "Propuesta para la disponibilidad de agua de los proyectos de bien social Nueva Hermosa y Santo Tomás, ubicados en la zona de Quebrada Amarilla, Garabito" con el fin de optar por el grado académico de Licenciatura en Ingeniería Civil.

Se revisaron errores gramaticales, de puntuación, ortográficos, de estilo, de formato y otros relacionados con el campo filológico. Con base en lo anterior, se considera que dicho trabajo cumple con los requerimientos para ser presentado como requisito de conclusión por parte del postulante al grado de Licenciatura. Por último, la edición final del documento, que incluirá o excluirá los comentarios de la filóloga, queda bajo la completa responsabilidad del solicitante del servicio.

Se suscribe de ustedes cordialmente,

María Alejandra Brenes Rodríguez

Filóloga Española

Cédula: 1-1955-0982

Carné: 094

Teléfono: (506) 8754 8904

Correo electrónico: [Alejandra.Brenes.R@gmail.com](mailto:Alejandra.Brenes.R@gmail.com)



---

Firma



## “Carta Autorización del autor(es) para uso didáctico del Trabajo Final de Graduación”

Vigente a partir del 31 de Mayo de 2016

**Instrucción:** Complete el formulario en PDF, imprima, firme, escanee y adjunte en la página correspondiente del Trabajo Final de Graduación.

Yo (Nosotros):

Escriba Apellidos, Nombre del Autor(a). Para más de un autor separe con " ; "

Rodrigo Badilla Mora

De la Carrera / Programa: Ingeniería Civil  
autor (es) del (de la) (Indique tipo de trabajo): Tesis  
titulado:

Propuesta para la disponibilidad de agua de los proyectos de bien social Nueva Hermosa y Santo Tomás, ubicados en la zona de Quebrada Amarilla, Garabito

Autorizo (autorizamos) a la Universidad Latina de Costa Rica, para que exponga mi trabajo como medio didáctico en el Centro de Recursos para el Aprendizaje y la Investigación (CRAI o Biblioteca), y con fines académicos permita a los usuarios su consulta y acceso mediante catálogos electrónicos, repositorios académicos nacionales o internacionales, página web institucional, así como medios electrónicos en general, internet, intranet, DVD, u otro formato conocido o por conocer; así como integrados en programas de cooperación bibliotecaria académicos dentro o fuera de la Red Laureate, que permitan mostrar al mundo la producción académica de la Universidad a través de la visibilidad de su contenido.

De acuerdo con lo dispuesto en la Ley No. 6683 sobre derechos de autor y derechos conexos de Costa Rica, permita copiar, reproducir o transferir información del documento, conforme su uso educativo y debiendo citar en todo momento la fuente de información; únicamente podrá ser consultado, esto permitirá ampliar los conocimientos a las personas que hagan uso, siempre y cuando resguarden la completa información que allí se muestra, debiendo citar los datos bibliográficos de la obra en caso de usar información textual o paráfrasis de esta.

La presente autorización se extiende el día (Día, fecha) 6 del mes Septiembre del año 2017 a las 7:00pm. Asimismo declaro bajo fe de juramento, conociendo las consecuencias penales que conlleva el delito de perjurio: que soy el autor(a) del presente trabajo final de graduación, que el contenido de dicho trabajo es obra original del (la) suscrito(a) y de la veracidad de los datos incluidos en el documento. Eximo a la Universidad Latina; así como al Tutor y Lector que han revisado el presente, por las manifestaciones y/o apreciaciones personales incluidas en el mismo, de cualquier responsabilidad por su autoría o cualquier situación de perjuicio que se pudiera presentar.

Firma(s) de los autores Según orden de mención al inicio de ésta carta:

Rodrigo Badilla Mora

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo es un esfuerzo grupal en el cual recibí apoyo de mis padres que son el pilar más importante de mi vida, como de profesores universitarios que me guiaron a través del proceso. Quiero agradecerle a Don Leonardo Moya y a mi profesor guía Alberto Gonzalez.

## DEDICATORIA

*A mi familia Rodrigo Badilla, Cristina Mora, Estefanía Badilla y Marvin Picado gracias por el apoyo incondicional.*

## ÍNDICE GENERAL

|                                                                                                      |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN .....                                                                       | 15 |
| 1. Antecedentes.....                                                                                 | 16 |
| 1.1 Problemáticas en la medición del recurso hídrico.....                                            | 16 |
| 1.2 Sectores que provocan una afectación negativa hacia la conservación<br>del recurso hídrico ..... | 17 |
| 2. Contexto .....                                                                                    | 19 |
| 2.1 Contexto Geográfico: .....                                                                       | 19 |
| 2.2 Contexto Temporal:.....                                                                          | 19 |
| 2.3 Contexto Especifico: .....                                                                       | 20 |
| 3. Planteamiento del problema .....                                                                  | 21 |
| 4. Objetivos .....                                                                                   | 21 |
| 4.1 Objetivo General: .....                                                                          | 21 |
| 4.2 Objetivos Específicos:.....                                                                      | 22 |
| 5. Justificación.....                                                                                | 22 |
| 6. Alcance .....                                                                                     | 23 |
| 7. Limitaciones .....                                                                                | 23 |
| 8. Impacto .....                                                                                     | 24 |
| CAPÍTULO 2. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO .....                                                    | 25 |
| 1. Ubicación del proyecto .....                                                                      | 26 |
| 2. Clima.....                                                                                        | 26 |
| CAPÍTULO 3. MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL.....                                                            | 31 |
| 1. Análisis estadístico .....                                                                        | 32 |
| 2. Conceptos de hidráulica.....                                                                      | 36 |

|                                                                                                                                                   |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3. Conceptos de Hidrología para el cálculo de la recarga hídrica de un suelo.....                                                                 | 48 |
| CAPÍTULO 4. MARCO METODOLÓGICO .....                                                                                                              | 61 |
| 1. Fase 1. Cálculo del balance hídrico para la población de Quebrada Amarilla para un período de diseño de 25 años. ....                          | 62 |
| 2. Fase 2. Calcular la recarga hídrica que presenta la zona de Quebrada Amarilla. ....                                                            | 63 |
| 3. Fase 3. Proponer una solución de extracción de agua subterránea, para abastecer los proyectos de bien social Santo Tomás y Nueva Hermosa. .... | 65 |
| CAPÍTULO 5. RESULTADOS .....                                                                                                                      | 66 |
| 1. Fase 1. Cálculo del balance hídrico para la población de Quebrada Amarilla para un período de diseño de 25 años. ....                          | 67 |
| 2. Fase 2. Calcular la recarga hídrica que presenta la zona de Quebrada Amarilla. ....                                                            | 71 |
| 3. Fase 3. Proponer una solución de extracción de agua subterránea, para abastecer los proyectos de bien social Santo Tomás y Nueva Hermosa ..... | 72 |
| CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES .....                                                                                                                    | 75 |
| CAPÍTULO. 7 RECOMENDACIONES .....                                                                                                                 | 77 |
| CAPÍTULO 8. BIBLIOGRAFÍA .....                                                                                                                    | 79 |
| CAPÍTULO 9. ANEXOS .....                                                                                                                          | 81 |
| CAPÍTULO 10. APÉNDICE .....                                                                                                                       | 92 |

## ÍNDICE DE FIGURAS Y TABLAS

|                                                                                                           |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1. Naciente de Quebrada Amarilla.....                                                              | 10 |
| Figura 2. Gráfico de promedios mensuales de temperatura.....                                              | 18 |
| Figura 3. Gráfico de promedio mensual de humedad.....                                                     | 19 |
| Tabla 1. Caudal por incendio según población.....                                                         | 35 |
| Tabla 2. Valores para pendiente (Kp).....                                                                 | 42 |
| Tabla 3. Valores para cobertura boscosa (Kv).....                                                         | 42 |
| Tabla 4. Porcentaje de punto de marchitez permanente (PMP%) y porcentaje de capacidad de campo (CC%)..... | 44 |
| Tabla 5. Porcentaje de luz solar para latitud 10°.....                                                    | 45 |
| Tabla 6. Cálculo de caudales para los 25 años de diseño.....                                              | 60 |
| Tabla 7. Tabla de Aforos de la naciente de Quebrada Amarilla.....                                         | 61 |
| Tabla 8. Balance hidráulico de la naciente de Quebrada Amarilla para el año 2041.....                     | 61 |
| Tabla 9. Cálculo de la recarga hidráulica directa para la zona de Quebrada Amarilla.....                  | 62 |
| Tabla 10. Cálculo de caudales para los proyectos de Santo Tomás y Nueva Hermosa....                       | 64 |
| Tabla 11. Pozos con ubicación y formación geológica similares a la zona de Quebrada Amarilla.....         | 65 |
| Tabla 12. Cálculo de la retención de lluvia en el follaje.....                                            | 74 |
| Tabla 13. Cálculo de la precipitación que infiltra en el suelo mensualmente.....                          | 75 |
| Tabla 14. Cálculo de la evapotranspiración potencial de la vegetación.....                                | 76 |
| Tabla 15. Cálculo de los coeficientes de humedad C1 y C2.....                                             | 78 |
| Tabla 16. Cálculo de la humedad disponible (HD).....                                                      | 78 |
| Tabla 17. Cálculo de la evapotranspiración promedio de la zona (ETR).....                                 | 80 |
| Tabla 18. Cálculo de la humedad de suelo final de mes (HSf).....                                          | 80 |
| Tabla 19. Cálculo de la recarga potencial (Rp).....                                                       | 81 |

## RESUMEN

La población de Quebrada Amarilla ubicada en el cantón de Garabito actualmente se encuentra conectada al acueducto de Esterillos, el cual abastece las zonas de Esterillos, Playa Hermosa y Quebrada Amarilla. Para el 2012 el acueducto de Esterillos no podía suplir la demanda de agua para las diferentes zonas. Por lo tanto, los desarrollos de bien social Nueva Hermosa y Santo Tomás que se pretenden desarrollar en la zona de Quebrada Amarilla, deben de tener una solución para el abastecimiento de agua potable.

Para solucionar el problema de abastecimiento de agua de los proyectos se debe de analizar si la naciente de Quebrada Amarilla ubicada cerca de los proyectos. Es capaz de abastecer la zona de Quebrada Amarilla y con esto suplir los proyectos de bien social. En el caso de que la naciente de Quebrada Amarilla no tenga el suficiente caudal para abastecer la zona, se debe de proponer la solución perforar pozos que tengan el caudal suficiente para abastecer los proyectos de bien social Nueva Hermosa y Santo Tomás.

## ABSTRACT

The population of Quebrada Amarilla located in the canton of Garabito is currently connected to the aqueduct of Esterillos, which supplies the areas of Esterillos, Playa Hermosa and Quebrada Amarilla. For 2012 the aqueduct of Esterillos could not supply the demand of water for the different zones. Therefore, the developments of social good Nueva Hermosa and Santo Tomás that are intended to develop in the area of Quebrada Amarilla, must have a solution for the supply of drinking water.

In order to solve the problem of water supply of the projects it is necessary to analyze if the source of Quebrada Amarilla located near the projects. It is able to supply the area of Quebrada Amarilla and with this to supply the projects of social good. In the event that the source of Quebrada Amarilla does not have enough water to supply the area, it is necessary to propose the solution to drill wells that have enough water to supply the Nueva Hermosa and Santo Tomas social projects

## **CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN**

## **1. Antecedentes**

### **1.1 Problemáticas en la medición del recurso hídrico**

La preocupación por la escasez de agua potable para desarrollar proyectos de construcción es cada vez más alarmante. En la actualidad el consumo desmedido del recurso hídrico hace que la recarga de los mantos acuíferos sea cada vez menor. En Costa Rica el 60% del agua para consumo humano y el 37% del agua utilizada en industrias se obtiene de acuíferos (Revista semestral de la escuela de ciencias ambientales, 2013). Una de las problemáticas más grandes del país es no poder contabilizar exactamente cuanta cantidad de agua subterránea se extrae para las diferentes actividades de desarrollo humano.

El problema de no tener certeza de la cantidad de agua que se consume en las diferentes zonas del país, hace que las zonas de recarga sufran una explotación acelerada y se agote el recurso hídrico disponible para una zona en un tiempo menor al previsto. Encarece los diseños de los acueductos debido a las constantes mejoras que hay que hacer en los diferentes sistemas de abastecimiento, para poder cumplir con las diferentes demandas de agua.

En las zonas rurales existe una falta de trabajo en equipo entre el ICT (Instituto Costarricense de Turismo), INVU, MINAE y Municipalidades de las diferentes localidades. La falta de integración de todas ellas hace fácil que las personas burlen procesos legales para construir en zonas en donde pueden afectar el ciclo hidrológico de recarga acuífera o bien en sitios en donde hay escasez de recurso hídrico, y por tanto no se puede abastecer las demandas de agua potable necesarias para el aumento de población que piensan generar en la zona.

## **1.2 Sectores que provocan una afectación negativa hacia la conservación del recurso hídrico**

### ***1.2.1 Energía hidroeléctrica***

La generación de energía hidroeléctrica en Costa Rica ha tenido un crecimiento exponencial. En el país se consume más energía de la que se produce, En el año 2009 un 78,2% de la energía eléctrica del país fue producida a partir de plantas hidroeléctricas (Estado de la nación, 2009). Como forma alternativa de producción de electricidad es viable, sin embargo, la gran cantidad de recurso hídrico que se necesita para generar energía. Generan una afectación directa en las zonas de recarga hidráulica indirecta.

### ***1.2.2 Agronomía***

La agronomía permite la infiltración de agua en el suelo, sin embargo, el alto contenido de pesticidas y químicos contamina los mantos acuíferos. La excesiva evapotranspiración hace que se necesite una mayor irrigación en los cultivos, por ende, tiene un efecto adverso en la conservación del recurso hídrico.

El sector agrónomo ha fortalecido las diferentes certificaciones (Eurogap, ISO 14001, C.A.F.E Practices, Rainforest Alliance Certified, entre otras) que benefician al medio ambiente. Todas ellas instan a los productores a trabajar bajo ciertas condiciones que regulan el vertido de sólidos, la cantidad de pesticidas utilizados y algunos fungicidas tóxicos.

### ***1.2.3 Turismo***

La cantidad de turistas que visitan las diferentes zonas de nuestro país, disparan los consumos de agua potable. Hacen necesarios desarrollos hoteleros para satisfacer su estadía en el país, desarrollos que muchas veces recargan los acueductos de las diferentes zonas y agotan los recursos para las poblaciones que rodean el desarrollo.

### ***1.3 Contaminación del recurso hídrico***

. Es importante destacar que se ha encontrado evidencia de contaminación en pozos y manantiales por nitratos, sobrepasando, en al menos una de las mediciones que se han hecho en manantiales y pozos, el nivel máximo recomendado por el Ministerio de Salud. (Estado de la nación, 2005). Esta situación indica la falta de control que maneja el país en cuestión de extracción de aguas subterráneas.

El laboratorio de hidrología ambiental de la UNA identificó compuestos orgánicos volátiles en pozos acuíferos en Barva, en la cuenca del río Virilla. (Estado de la Nación, 2005). La contaminación de los mantos acuíferos evidencia un descuido tanto de las autoridades reguladores como de los mismos usuarios.

En el país solo el 56% de la población está conectada a una red de alcantarillado y no toda la red se encuentra en un buen estado debido a los años que han transcurrido desde su construcción. El porcentaje de tratamiento de agua residual en el país con la reciente apertura de la planta de tratamiento Los Tajos (tratamiento primario), es de un 8,5%. Costa Rica está atrasada en temas de tratamiento y alcantarillado público, tema delicado puesto que toda el agua residual que no se trata, termina en los ríos del país. Situación que preocupa porque atenta contra la salud y el ambiente. La población que no está conectada a la red de alcantarillado construye tanques sépticos como una opción viable para tratar las aguas residuales. La utilización de tanques sépticos por parte de la población costarricense genera filtraciones de aguas negras, las cuales al filtrarse en los suelos ocasionan contaminación de los mantos acuíferos por medio de nitritos. (AyA,2016). Sin embargo, con el proyecto de

mejoramiento ambiental del área metropolitana de San José se pretende aumentar la población conectada a una red de alcantarillado a un 65%. También se pretende que el 8,5% del porcentaje de tratamiento de agua residual alcance un 26,8%, ambos datos para el 2021.

## **2. Contexto**

### **2.1 Contexto Geográfico:**

El poblado de Quebrada Amarilla pertenece al distrito 01- Jacó, cantón 11- Garabito y provincia 06- Puntarenas. En el poblado de Quebrada Amarilla se ubican los proyectos de bien social que se pretenden desarrollar, Nueva Hermosa y Santo Tomas.

### **2.2 Contexto Temporal:**

Actualmente el poblado de Quebrada Amarilla se abastece por medio de la Naciente de Esterillos, La cual brinda recurso hídrico a las zonas de Playa Hermosa y Esterillos. Según un estudio hecho por la empresa Óptima “Estudio Integrado de Optimización Hidráulica de los acueductos de Playa Hermosa, Quebrada Amarilla y Esterillos” en el año 2013, la naciente de Esterillos desde el año 2012 presenta carencias de agua potable para abastecer Quebrada Amarilla, Playa Hermosa y Esterillos.

Es por esta razón es que se quiere saber, por medio de un análisis de crecimiento poblacional, si es viable que la naciente de Quebrada Amarilla pueda abastecer la población de Quebrada Amarilla. Es de suma importancia recalcar que la naciente de Quebrada Amarilla fue administrada por la Asociación Administradora de Sistemas de Acueductos (ASADA) Esterillos, sin embargo, en el año 2017 el AyA tomó la dirección de la naciente.

La situación de cambio de poder sobre el manejo de la naciente de Quebrada Amarilla, deja ver la falta de organización que existe en muchas de las ASADAS del país. La mala administración lleva al país muchas veces a incurrir en gastos innecesarios y girar permisos

ambientales nocivos para las zonas de recarga hidráulica importantes o bien zonas de protección.

### **2.3 Contexto Especifico:**

En la población de Quebrada Amarilla se planea desarrollar un proyecto de bien social. El proyecto está compuesto por dos secciones, Nueva hermosa cuya cantidad de abonados va a ser de 205 unidades habitacionales. Como también de Santo Tomás que cuenta con 210 unidades habitacionales.

Se pretende analizar si la naciente de Quebrada Amarilla la cual brinda un caudal promedio de 13 L/s según aforos realizado por la antigua administración de la naciente, la Asociación Administradora de Sistemas de Acueductos (ASADA) Esterillos. Puede abastecer la demanda de agua potable en la población de Quebrada Amarilla.

Las coordenadas de ubicación de la naciente de Quebrada Amarilla, se encuentra en las Coordenadas Lambert: Longitud 401171.04 y Longitud 393265.79, de acuerdo a las mediciones realizadas con GPS (ASADA Esterillos, 2016).

Figura 1. Naciente de Quebrada Amarilla



Fuente: Estudio Integrado de Optima, 2013

### **3. Planteamiento del problema**

¿Es capaz la naciente de Quebrada Amarilla, de suplir con agua potable la población actual y futura de Quebrada Amarilla?

### **4. Objetivos**

#### **4.1 Objetivo General:**

Solucionar el abastecimiento de agua potable para los proyectos de Nueva Hermosa y Santo Tomás, localizados en la zona de Quebrada Amarilla.

#### **4.2 Objetivos Específicos:**

- Calcular el balance Hídrico para la población de Quebrada Amarilla, utilizando como fuente de captación la naciente de Quebrada Amarilla.
- Determinar la recarga hídrica que presenta la zona de Quebrada Amarilla.
- Proponer una solución de extracción de agua subterránea, para abastecer los proyectos de bien social de Santo Tomás y Nueva Hermosa.

#### **5. Justificación**

La naciente de Esterillos la cual abastece los acueductos de Esterillos, Quebrada Amarilla y Playa Hermosa. No tiene la capacidad de abastecer el crecimiento poblacional que vive en general la zona del cantón del Garabito. Es necesario buscar alternativas de abastecimiento de agua potable para los futuros desarrollos habitacionales. Es un tema Crítico debido a que la zona de Garabito presenta un desarrollo urbanístico exponencial debido a las zonas de alta plusvalía que se encuentran en ella, por tanto, hay que buscar soluciones con anticipación para poder manejar la gran demanda de agua potable que al día de hoy presenta una escasez en el recurso.

Es importante mencionar que la zona del cantón de Garabito presenta una recarga acuífera importante, por características propias de la zona. Entre ellas la precipitación, la humedad, la capacidad de infiltración del terreno, vegetación, inclinación de terreno entre otras variables. Razones por las cuales pensar en la extracción de agua subterránea es una solución viable y económica para los proyectos de bien social de Nueva Hermosa y Santo Tomás.

## **6. Alcance**

Se busca determinar si la naciente de Quebrada Amarilla es capaz de abastecer la población actual y futura de la zona de Quebrada Amarilla para un periodo de diseño de 25 años. Una vez que se analicen los resultados se va a proponer una solución de abastecimiento de agua potable para los proyectos de bien social Nueva Hermosa y Santo Tomás. La solución se va a respaldar con cálculos de recarga acuífera para comprobar la viabilidad de la propuesta. Se van a utilizar pozos ya en uso cerca de la zona de Quebrada Amarilla, los cuales presentan mismas características y dan una idea aproximada de cuantos pozos se van a necesitar para abastecer los proyectos de Santo Tomás y Nueva Hermosa.

## **7. Limitaciones**

Para el cálculo de la recarga hidráulica de la zona se necesitan datos de las estaciones meteorológicas ubicadas en la zona de Garabito, muchas de las estaciones solo toman medidas de precipitación. Es una limitante debido a que datos de temperatura y humedad relativa de la zona, son necesarios para calcular la recarga hidráulica de la zona de Quebrada Amarilla.

En el cálculo del balance hídrico, se van a necesitar los últimos censos realizados por el INEC en la población de Quebrada Amarilla. Sin embargo, el INEC solo realiza censos a nivel regional. Lo que significa que la muestra de población representativa va a ser más grande, debido a que va a ser la población del cantón de Garabito. El dato puede alterar el resultado real de la demanda de agua potable en la zona de Quebrada Amarilla.

La naciente de Quebrada Amarilla presenta datos de aforos realizados en el 2016 por la ASADA de Esterillos, se va a contar con estos datos para saber la producción de agua potable que va a tener la naciente de Quebrada Amarilla. Es decir, por limitante de tiempo no se van a realizar aforos para verificar la veracidad de los datos de aforo.

Para la propuesta de extracción de agua subterránea, no se cuenta con el presupuesto para hacer estudios de suelo en la zona. Sin embargo, nos vamos a guiar con el estudio Hidrogeológico de la zona de Garabito realizado por la UCR en el año 2013. En donde con

las características que se exponen de la zona en estudio, podemos deducir datos importantes que respalden la propuesta de extracción.

En lo que respecta a los estudios de potabilidad de agua se va a hacer la recomendación de realizarlos, sin embargo, están fuera del alcance de la tesis. Sin embargo es un tema necesario para validar la calidad de agua que se le va a brindar a la población de los proyectos.

Existe la falta de datos precisos de la explotación de pozos, manantiales o tomas de agua por parte del MINAET y SENARA. Si se quiere comparar la propuesta de una fuente alternativa nueva con una ya existente en la zona de estudio, los datos van a tener cierta incertidumbre. Inclusive podrían existir más pozos no registrados cerca de la zona de los proyectos de bien social, los cuales podrían generar un consumo mayor en cantidad de agua que se extrae del suelo.

## **8. Impacto**

Este proyecto permitirá determinar si la naciente de Quebrada Amarilla es capaz de abastecer la zona de Quebrada Amarilla y si la propuesta de extracción subterránea de agua es viable. Además, se van a respaldar la viabilidad de extracción de agua subterránea con base a la recarga acuífera de la zona. El estudio va a determinar la gran capacidad de recarga directa que posee la zona, es decir la capacidad de agua que se queda en suelo después de haber suplido necesidades de recarga de nacientes y evapotranspiración de la vegetación existente en la zona.

Va a generar una respuesta de abastecimiento de agua potable para los proyectos de bien social de Santo Tomás y Nueva Hermosa, dando paso al crecimiento y evolución de familias que viven en condiciones desfavorables. El desarrollo poblacional siempre presenta impactos positivos en las comunidades entre ellos económicos, culturales y sociales. Para las familias que se van a instalar en los proyectos generan una condición de aceptación social por parte de la sociedad.

## **CAPÍTULO 2. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO**

## 1. Ubicación del proyecto

El proyecto se encuentra ubicado en la provincia de Puntarenas, en el cantón de Garabito. Las coordenadas del cantón están dadas por  $09^{\circ}42'35''$  latitud Norte y  $84^{\circ}36'52''$  longitud Oeste. La anchura máxima del cantón es de 39 kilómetros, en dirección Noroeste a Sureste, desde la desembocadura del Río Jesús María, en el litoral pacífico hasta unos 800 metros aguas arriba de la desembocadura del Río Tusubres.

## 2. Clima

Para la información climatológica tomada del estudio hidrogeológico del cantón de Garabito de la UCR 2013. Se tomaron como referencia 5 estaciones con información climatológica, 3 estaciones que se encuentran dentro del cantón las cuales son Estación Lagunillas, Estación Punta Leona y Estación Jacó. Las 2 estaciones restantes se ubican al Este del cantón las cuales son Estación Bajo Lagunas y Estación La Gloria. Todas las estaciones meteorológicas se ubican a elevaciones menores a los 40 msnm, exceptuando la estación de La Gloria la cual se ubica a 340 msnm.

Es importante recalcar que Lagunillas es la única estación meteorológica de la región de Garabito que cuenta con información de temperatura y humedad relativa necesaria para cálculos de evapotranspiración para el balance hídrico de suelos, que nos va a ayudar a calcular la capacidad de recarga hídrica directa de la zona de Quebrada Amarilla.

Para ámbitos de la tesis se va a prestar mayor atención a la Estación La Gloria debido a la cercanía que presenta con la zona de Quebrada Amarilla, en donde se planea construir los desarrollos de bien social de Nueva Hermosa y Santo Tomás. Las coordenadas de la estación La Gloria son Longitud Oeste  $84^{\circ}27'$  O y Latitud Norte  $09^{\circ}39'$  N.

## 2.1 Precipitación

Según los datos recopilados de la estación meteorológica de La Gloria, la cual es una estación que brinda datos de precipitación. Presenta un promedio anual de 3599 mm, con base a datos entre los años 1990- 2010.

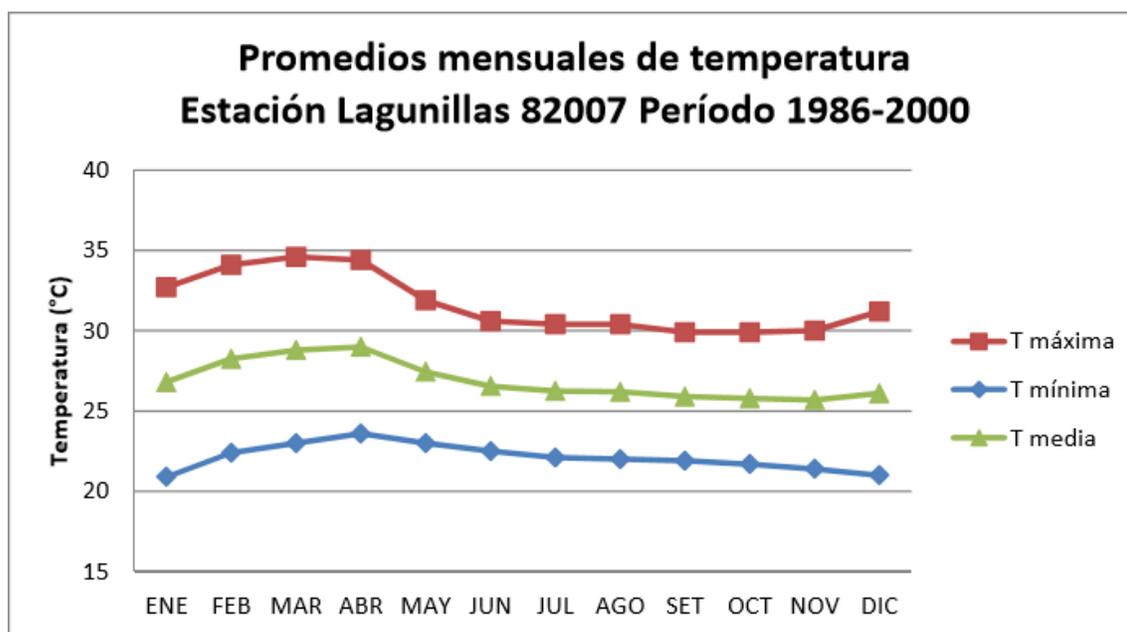
La distribución media anual de la lluvia en toda la región de estudio, presenta una época seca entre los meses de diciembre y abril, y una época lluviosa entre mayo y noviembre. Los meses de agosto, septiembre y octubre son los que presentan una mayor precipitación.

## 2.2 Temperatura

Debido a que solo la estación meteorológica de Lagunillas tiene la capacidad de medir la temperatura, se van a usar los datos de temperatura de dicha estación meteorológica. La temperatura media anual reportada es de 26,9 °C, con temperaturas mínimas promedio registradas que alcanzan los 20,9 °C en el mes de enero y máximas de 34,6 °C en el mes de marzo.

El comportamiento de la temperatura en la zona de estudio presenta las máximas temperaturas en los meses de febrero y abril, y los de menor temperatura entre octubre y enero.

Figura 2. Gráfico de promedios mensuales de temperatura

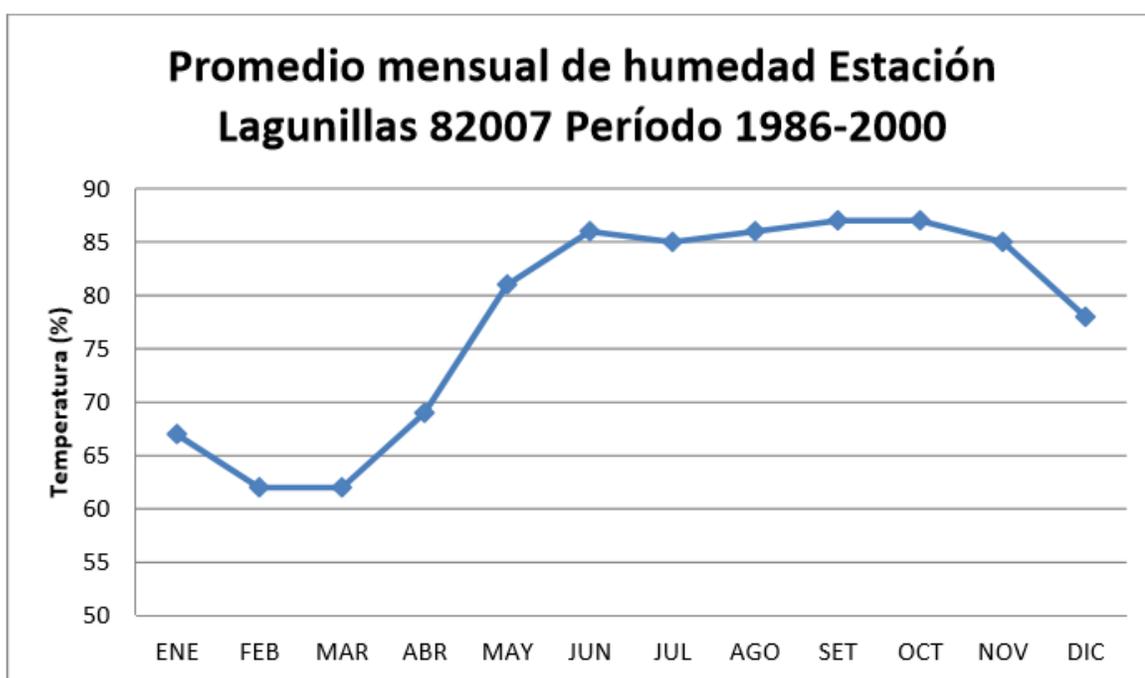


Fuente: IMN,2012

### 2.3 Humedad Relativa (HR)

La estación meteorológica de Lagunillas es la única en la zona de Garbitto con la capacidad de registrar medidas de humedad relativa. La Humedad Relativa media en la estación de Lagunillas, es de un 78%. Los valores de humedad relativa (HR) en la estación de Lagunillas, presenta fluctuaciones de un mínimo de 62% en los meses de Febrero y Marzo, a un máximo de 87%, en los meses de Septiembre y Octubre.

Figura 3. Gráfico de promedio mensual de humedad



Fuente: IMN,2012

### 3. Suelo

Es un tipo de suelo INCEPTISOL, los cuales ocurren en los sectores de “Acuíferos en llanuras aluviales bajas”. Posee características de suelo joven con horizonte b Cámbrico, son del suborden AQUEPT que poseen formaciones en climas calientes tropicales.

### **3.1 Capacidades de infiltración (Fc)**

Según el estudio hidrogeológico para los suelos sobre acuíferos en llanuras se les asignó una textura de suelo “franco arcilloso”, con capacidades de infiltración media de 0.8 cm/hr (192mm/d).

Es importante recalcar que, debido a la caracterización hidrológica de la zona de Quebrada Amarilla, Acuíferos en llanuras aluviales bajas. Existe el riesgo la intrusión salina debido a sobreexplotación, su poca altura y cercanía con el mar.

### **3.2 Uso de suelos**

Para la zona de Quebrada Amarilla la cual se caracteriza por ser una zona que se ubica, en las cuencas bajas del sector sur del cantón de Garabito. Predomina en su mayoría el uso de suelos para pastos, actividades urbanas y cultivos. Estas características presentan las siguientes implicaciones:

- **Uso Urbano:** Son suelos susceptibles a la contaminación dispersa, lineal y puntual por aguas negras y desechos industriales. Tienen mucha extensión en las cuencas bajas del sector de Garabito, principalmente en la zona sur.
- **Uso de cultivos:** Son suelos susceptibles a la contaminación dispersa por agroquímicos y puntual por desechos de la agroindustria.
- **Uso de pastos:** Reducen la capacidad de infiltración de los suelos y recarga de los acuíferos. También se aumenta la vulnerabilidad de los acuíferos a la contaminación de bacterias por la actividad agropecuaria.

#### ***4. Descripción geológica***

La zona en la que se encuentra Quebrada Amarilla se considera un depósito aluvial cuaternario, y éste tipo de depósito está compuesto de materiales aluviales y coluviales que se localizan a lo largo de todo el cantón de Garabito. Comprenden grandes extensiones planas a los lados de los cauces de los ríos.

Presentan una granulometría de arenas y limos en las llanuras aluviales costeras, todos los rellenos están intercalados con lentes de arcillas. Presentan una denudación (erosión), principalmente a causa del agua en sus diferentes facetas, ríos, torrentes, agua subterránea y océanos. Que en conjunto con el transporte alteran, desprenden y arrastran fragmentos de rocas y suelos hacia la formación de las cuencas sedimentarias.

La zona presenta fragmentos de rocas ígneas como basalto, así como también fragmentos de radiolaritas y calizas de edad cretácica. También rocas arsénicas y lutitas de la formación Punta Carballo.

## **CAPÍTULO 3. MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL**

## **1. Análisis estadístico**

Para poder estimar el balance hídrico que existe en la zona de Quebrada Amarilla, es necesario primero introducir temas de estadística básica. Con la finalidad de poder hacer proyecciones de la población actual de la zona. Entre algunos de los métodos de análisis estadísticos utilizados para proyecciones de población se encuentra el método aritmético, método geométrico y el método exponencial.

Los censos son la base de cualquier estimación de población futura. En Costa Rica se cuenta con el Censo Nacional de Población y Vivienda que lleva a cabo el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC). En el año 2011 se llevó a cabo el censo nacional más reciente, aunque para la proyección de poblacional. Se cuentan con censos de los años 1973, 1984 y 2000, lo cuales presentan información de crecimiento poblacional importante.

### ***1.1 Población Futura***

Una población está determinada por sus características definitorias. Por lo tanto, el conjunto de elementos que posea esta característica se denomina población o universo. Según Tamayo y Tamayo (2004) la población se puede definir como la totalidad del fenómeno a estudiar. Donde las unidades de la población presentan una característica en común, la que estudia y por ende da origen a los datos de la investigación.

Según las normas de diseño del AyA publicada en la gaceta el 19 de Marzo del 2007. Se debe de considerar la población de saturación del área según los planes reguladores de la zona y el último censo de la población. Otra forma de estimar la población futura si no se tuviera al alcance el último censo de la zona, es por medio de la facturación y cantidad de abonados de la zona. Información que se puede obtener por medio de las ASADAS, AyA o municipalidades.

La población futura va a ayudar a verificar cuanto recurso hídrico van a necesitar las poblaciones futuras y de cuanto recurso hídrico se va a disponer en el año específico que se quiera analizar. Ahora bien, según establece el AyA los componentes que forman parte de un sistema de acueducto (líneas de conducción, plantas de tratamiento, tanques de almacenamiento y redes de distribución), se recomiendan periodos de diseño de 20 a 30 años. Para la presente investigación se va a tomar un periodo de diseño de 25 años.

## 1.2 Método aritmético

Este método de cálculo para la población futura se utiliza en los casos en donde la situación de estudio presenta niveles de complejidad bajos y medios. De manera general, se caracteriza porque la población aumenta a una tasa constante de crecimiento aritmético, es decir que, a la población del último censo, se le adiciona un número fijo de habitantes para cada periodo. Este método es recomendado para poblaciones de poco desarrollo o con áreas de crecimiento casi nulas a futuro. Además, se utiliza para periodos de tiempo muy cortos. El método supone un crecimiento vegetativo balanceado por mortalidad y la emigración.

La proyección por medio del método aritmético se puede calcular utilizando la siguiente ecuación:

$$Pf = Puc + \frac{Puc - Pci}{Tuc - Tci} \times (Tf - Tuc) \quad (1)$$

Pf: Población correspondiente al año para el que se quiere proyectar la población. (pers).

Puc: Población correspondiente al último año censado con información. (pers)

Pci: Población correspondiente al censo inicial con información (pers)

Tuc: Año correspondiente al último censo con información

Tci: Año correspondiente al censo inicial con información.

Tf: Año al cual se requiere proyectar la información.

### 1.3 Método Geométrico

Es recomendado para niveles de complejidad de los sistemas bajo, medio y medio alto. Este método es útil en poblaciones que muestran una actividad económica importante, que generan un desarrollo apreciable y que poseen áreas de expansión importantes, las cuales pueden ser dotadas, sin mayores dificultades, de la infraestructura de servicios públicos. El crecimiento es geométrico, si el aumento es proporcional al tamaño de la misma y supone un crecimiento porcentual constante en el tiempo, es aplicable en períodos largos, lo que del punto de vista demográfico se identifica más con el comportamiento real de la población.

La proyección de la población por el método geométrico se puede calcular con las siguientes ecuaciones:

$$Pf = Puc \times (1 + T)^{(Tf - Tu)} \quad (2)$$

$$T = \left( \left( \frac{Puc}{Pci} \right)^{\frac{1}{(Tuc - Tci)}} - 1 \right) \times 100 \quad (3)$$

T: Tasa de crecimiento de la población (%)

Pf: Población correspondiente al año para el que se quiere proyectar la población (pers)

Puc: Población correspondiente al último año censado con información (pers)

Pci: Población correspondiente al censo inicial con información (pers)

Tuc: Año correspondiente al último censo con información

Tci: Año correspondiente al censo inicial con información.

Tf: Año al cual se requiere proyectar la información.

#### 1.4 Método exponencial

Este método es recomendado para niveles de complejidad de los sistemas, bajo y medio alto. En el método se asume que el crecimiento de la población se ajusta al tipo exponencial.

La proyección de la población por el método exponencial se puede calcular con las siguientes ecuaciones:

$$Pf = Pci \times e^{(T \times (Tf - Tci))} \quad (4)$$

$$T = \frac{\ln Pcp - \ln Pca}{Tcp - Tca} \quad (5)$$

T: Tasa de crecimiento de la población (%)

Pf: Población correspondiente al año para el cual se quiere proyectar la población (pers)

Pci: Población correspondiente al censo inicial con información (pers)

Tci: Año correspondiente al censo inicial con información

Tf: Año al cual se requiere proyectar la información.

Pcp: Población del censo posterior (pers)

Pca: Población del censo anterior (pers)

Tcp: Año correspondiente al censo posterior

Tca: Año correspondiente al censo anterior

Ln: Logaritmo natural o neperiano.

## 2. Conceptos de hidráulica

Para calcular la cantidad de agua que necesita la población de estudio, se necesita entender conceptos básicos de hidráulica. Específicamente conceptos para el diseño un sistema de abastecimiento de agua potable, debido a que los cálculos iniciales de dotación teórica, dotación bruta, caudales, volumen de almacenamiento entre otros. Son los que se necesitan para verificar si la naciente de Quebrada Amarilla es capaz de abastecer la población de estudio con agua potable para los 25 años de diseño.

En Costa Rica el AyA elaboró en el 2016 la “Norma Técnica para Diseño y Construcción de Sistemas de Abastecimiento de Agua Potable, Saneamiento y Sistema Pluvial”, la cual se utiliza como guía en el cálculo de conceptos como caudal máximo y mínimos, volumen de almacenamiento en tanques de almacenamiento, dotaciones entre otros.

### 2.1 *Concepto General de Caudal*

La forma más simple de describirlo, es un fluido incompresible en estado estacionario y con una distribución de velocidad uniforme, en una sección recta. Esta definición se establece en la siguiente fórmula matemática:

$$Q = V \times A \quad (6)$$

Q: Caudal ( $\frac{m^3}{s}$ )

V: Velocidad (m/s)

A: Área ( $m^2$ )

Las unidades utilizadas en la ecuación anterior son propias del Sistema Internacional (S.I). En los cálculos posteriores de la tesis el caudal se va a trabajar en metros cúbicos por día, para una fácil manipulación de los datos.

## **2.2 Dotación teórica**

Se entiende por dotación la cantidad de agua que se asigna para cada habitante y que incluye el consumo de todos los servicios que realiza en un día medio anual, tomando en cuenta las pérdidas. Se expresa en litros/habitante/día. Esta dotación es una consecuencia del estudio de las necesidades de agua de una población, quien la demanda por los usos siguientes: para saciar la sed, para el lavado de ropa, para el aseo personal, la cocina, para el aseo de la habitación, para el riego de calles, para los baños, para usos industriales y comerciales, así como para el uso público.

Según la norma técnica para diseño y construcción de Sistemas de abastecimiento de agua potable emitido en Julio del 2016 por el AyA. Se establece que, si se tienen datos reales de los patrones de consumo y demanda de la zona en estudio, se utilizarán datos reales. De otra forma se utilizarán las siguientes dotaciones proporcionadas por el AyA:

Poblaciones Rurales: 200 l/p/d

Poblaciones Urbanas: 300 l/p/d

Poblaciones Costeras: 375 l/p/d

Gran Área Metropolitana: 375 l/p/d

Sin embargo, la población de Quebrada Amarilla es una zona aislada con poca población y una demanda de 375 l/p/d, sería un dato sobreestimado. Por tanto, se va a utilizar un valor de dotación de 150 l/p/d que se establece en el código de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias 2017.

## 2.3 *Cálculo de dotación bruta para una población*

El valor para la dotación bruta de una población en estudio depende directamente de: la dotación domiciliar, dotación no domiciliar, exceso por servicios fijos y el agua no controlada del sistema. Muchos de los datos necesarios para los cálculos de las dotaciones se obtienen directamente del AyA. Se define mediante la siguiente ecuación:

### 2.3.1 *Dotación Bruta*

$$\text{Dotación: } D + ND + EF + ANC \quad (7)$$

En donde:

D: Dotación domiciliar

ND: Dotación no domiciliar

EF: Exceso por servicios fijos

ANC: Agua no controlada.

### 2.3.2 *Dotación domiciliar*

$$D = \frac{1000 \times CMS}{30.5 \times FO} \quad (8)$$

Donde:

D: Dotación domiciliar (L/Habitante/Día)

CMS: Consumo mensual por servicio (m<sup>3</sup>/servicio/mes)

FO: Número promedio de habitantes por servicio

En la fórmula los valores constantes de 1000 y 30,5 es para llevar las unidades de la dotación a L/Habitante/Día. Además, para ámbitos de cálculo la duración de un mes se toma como 30.5.

Para la obtención del consumo mensual por servicio (CMS) se puede utilizar la base de facturación de datos del AyA en el año 2011. Con la sumatoria del total de caudal consumido en el mes y la cantidad de abonados por mes se puede calcular el consumo mensual por servicio, con la siguiente ecuación:

$$\text{CMS} = \frac{\text{Volumen domiciliar}}{\text{Servicios domiciliarios}} \quad (9)$$

Donde:

Volumen domiciliar: Se obtiene de la sumatoria de volúmenes en la facturación del AyA.  
(m<sup>3</sup>/mes)

Servicios domiciliarios: Cantidad de abonados que se les está brindando el servicio.  
(m<sup>3</sup>/mes)

CMS: Consumo mensual por servicio (m<sup>3</sup>/servicio/mes)

### 2.3.3 Dotación no domiciliar

Se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$\text{ND} = \frac{\text{Volumen no domiciliar}}{\text{Volumen domiciliar}} \times D \quad (10)$$

Donde:

ND: Dotación no domiciliar (L/Habitante/día)

Volumen no domiciliar: Dato suministrado por el AyA. (m<sup>3</sup>/mes)

Volumen domiciliar: Dato proporcionado por el AyA (m<sup>3</sup>/mes)

## 2.4 Excesos por servicios fijos

El exceso de servicio fijos se calcula por medio de la siguiente ecuación:

$$EF = 0.5 \times (D + ND) \times \frac{f}{t} \quad (11)$$

Donde:

EF: Exceso de servicios fijos (L/Habitante/Día)

D: Dotación domiciliar (L/Habitante/Día)

ND: Dotación no domiciliar (L/Habitante/Día)

f/t: Razón de servicios fijos.

La razón de servicios fijos se calcula con la siguiente ecuación:

$$f/t = \frac{\text{Servicios fijos}}{\text{Servicios totales}} = 1 - \% \text{ medición} \quad (12)$$

Donde:

f/t: Razón de servicios fijos (adimensional)

Servicios fijos: Servicios fijos (m<sup>3</sup>/mes)

Servicios totales: Servicios totales (m<sup>3</sup>/mes)

En muchos casos el dato de exceso de servicios se omite debido a que representa un valor muy pequeño en comparación con las demás variables de la fórmula para la dotación bruta. El acueducto de Esterillos en general tiene macromedición de 100% por tanto se puede descartar el valor en la fórmula de dotación bruta.

## 2.5 Agua no controlada

La ecuación para el cálculo del agua no controlada se calcula con la siguiente fórmula:

$$ANC = (D + ND + EF) \left( \frac{1}{1 - \%ANC} - 1 \right) \quad (13)$$

Donde:

D: Dotación domiciliar (L/Habitante/Día)

ND: Dotación no domiciliar (L/Habitante/Día)

EF: Exceso de servicios fijos (L/Habitante/Día)

%ANC: Porcentaje de agua no controlada.

Es importante mencionar que el porcentaje de agua no controlada (%ANC), se calcula con la siguiente ecuación:

$$\%ANC = \frac{Vol\ producido - Vol\ facturado + (CMS * servicios\ domiciliarios * \frac{f}{t})^{1.5}}{Vol\ producido} \quad (14)$$

Cuando el sistema de medición de la zona en análisis es muy alto, se puede evitar el uso de los datos dentro del paréntesis. El acueducto de Esterillos presenta macromedición del 100% y en los cálculos se podrá hacer la salvedad de no utilizar los datos dentro del paréntesis.

## 2.6 Caudales de diseño hidráulico

### 2.6.1 Caudal promedio diario

Es el caudal promedio obtenido de un año de registros y es la base para la estimación del caudal máximo diario y horario (López, 2003). Se calcula con la siguiente fórmula y con unidades de litros por segundo.

$$Q_{prom} = \frac{\text{Población (hab)} \times \text{Dotación (lpd)}}{1000} \quad (15)$$

### 2.6.2 Caudal máximo diario

Es la demanda máxima que se presenta un día del año (López, 2003). Es decir, representa el día de mayor consumo del año. Se calcula con la siguiente fórmula y con unidades de L/s para efectos de la tesis.

$$Q \text{ máx diario} = K1 \times Q_{promedio} \quad (16)$$

Donde k1 es un factor de mayoración que se explica más adelante. En algunas ocasiones se le conoce a este factor como Fmd (Factor máximo diario).

### 2.6.3 Caudal máximo Horario

Es la demanda máxima que se presenta en una hora de un año completo (López, 2003). Se calcula mediante la siguiente fórmula y sus unidades en L/s para efectos de la tesis.

$$Q_{\text{máx horario}} = K2 \times Q_{promedio} \quad (17)$$

#### *2.6.4 Factores de mayoración*

El factor máximo diario es inversamente proporcional al número de habitantes. En poblaciones menores a 12000 habitantes suele ser de 1.3, aunque para poblaciones mayores a este valor suele ser de 1.2. Ahora bien, en la Norma Técnica para Diseño y Construcción de Sistemas de Abastecimiento de agua Potable establece un valor de diseño de 1.2 para el Fmd.

El factor máximo horario varía entre 1.3 y 2.5, dependiendo del tamaño de la población y la homogeneidad de las costumbres de sus habitantes (López, 2003). la Norma Técnica para Diseño y Construcción de Sistemas de Abastecimiento de agua Potable establece un valor de diseño entre 1.6 y 2.

### *3. Volumen de almacenamiento*

#### *3.1 Volumen de reserva para interrupciones*

El volumen de reserva por interrupciones en el servicio, será, como mínimo el volumen que corresponde a un período de cuatro horas del caudal promedio diario

#### *3.2 Volumen por incendios*

Se va a calcular según lo estipulado por el AyA, en la Norma Técnica para Diseño y Construcción de Sistemas de Abastecimiento de agua Potable emitido en Julio del 2016.

Tabla 1. Caudal por incendio según población.

| Población (habitantes) | Duración del Incendio (horas) | Caudal de Incendio (L/s) | Volumen de almacenamiento (m3) |
|------------------------|-------------------------------|--------------------------|--------------------------------|
| 0- 5000                | 0                             | 0                        | 0                              |
| 5000-15000             | 3                             | 8                        | 90                             |
| 15000-30000            | 3                             | 16                       | 170                            |
| 30000-60000            | 3                             | 24                       | 260                            |
| 60000-120000           | 4                             | 40                       | 580                            |
| 120000-200000          | 4                             | 48                       | 690                            |
| 200000-300000          | 4                             | 64                       | 920                            |

Fuente: Norma Técnica para Diseño y Construcción de Sistemas de Abastecimiento de Agua potable, 2016.

### 3.3 *Volumen de Regulación*

Se describe este volumen como el mínimo requerido por el tanque de almacenamiento, para amortiguar las variaciones de consumo de la población.

El AyA establece un valor de diseño para cuando no se cuente con los datos de consumo necesarios y utilizar métodos de cálculo pertinentes. Se utiliza un 14% del volumen promedio diario.

## 4. *Fuentes de extracción de agua.*

En el caso de que la población de Quebrada Amarilla no pueda ser abastecida por la naciente de Quebrada Amarilla, habría que proponer una solución viable para la extracción del recurso hídrico. La extracción de agua subterránea podría ser una solución viable y de bajo costo, siempre y cuando se cumpla con la legislación que exige el país conforme a la explotación de agua subterránea.

#### 4.1 *Características de confinamiento de un acuífero*

El agua subterránea es un recurso natural que siempre ha sido de interés para los seres humano, con el objetivo de explotarlo, cuando por diversas características de la zona no es posible disponer de agua superficial, ya sea por poca disponibilidad o por no ser apta para el consumo humano (López,2003).

Los acuíferos se pueden clasificar de diferentes formas una de ellas es por el grado de confinamiento que posea. De acuerdo al grado de confinamiento del acuífero, este se puede clasificar en:

- Acuífero no confinado
- Acuífero confinado (Artesiano)

Los acuíferos artesianos se encuentran encerrados por dos capas impermeables, denominadas acuicierres. Esto provoca que, al perforar un pozo, el agua sube por el acuicierre superior, ya que el piezométrico está por encima del mismo. En un acuífero no confinado, al perforarse un pozo el agua sube hasta el nivel piezométrico o profundidad de saturación del medio (López, 2003).

#### 4.2 *Recomendaciones mínimas para la explotación de un acuífero*

Un pozo es una estructura que se utiliza para extraer agua subterránea de un acuífero. Existen varios tipos según en la forma que se construyen y la forma en la que captan el agua. En general cualquier tipo de pozo debe de poseer las siguientes características:

- No se debe de ubicar en una zona inundable. Si el terreno es muy plano se debe hacer un relleno a manera de plataforma alrededor del pozo.

- Debe de estar ubicado lejos de cualquier fuente de contaminación como por ejemplo tanques sépticos o rellenos sanitarios.

- Debe de evitarse el acceso a toda clase de animales a los alrededores del pozo, además de proveer protección contra roedores o insectos.

Los pozos pueden ser superficiales o profundos. Los superficiales o pozos excavados se utilizan normalmente en comunidades pequeñas, en zonas rurales. Su período de diseño suele ser de 15 años. Los pozos profundos suelen tener períodos de diseño entre 15 y 25 años, dependiendo del tamaño de la población a abastecer (López,2003).

El caudal de diseño de la fuente de abastecimiento deberá ser igual al caudal máximo diario, cuando se cuenta con almacenamiento en el sistema, o igual al caudal máximo horario cuando no se tiene almacenamiento.

Cuando se tienen poblaciones o comunidades más pequeñas es suficiente explotar un pozo. A medida que el caudal demandado se incrementa se vuelve necesaria la construcción de otros pozos. Es usual utilizar un mínimo de dos pozos para producción, más un pozo de reserva por cada cinco pozos de producción. El caudal de diseño del sistema de pozos debe de ser igual a la suma de los caudales individuales de cada pozo.

#### *4.3 Clasificación de un acuífero por su proceso de construcción*

Existen diferentes tipos de pozos según su construcción, entre ellos:

- Pozos artesanales: Pozos muy superficiales, entre 3.5 a 10 metros de profundidad, por lo que son altamente contaminables. Normalmente se excavan manualmente y con secciones circulares (con diámetros entre 0.8 y 1.5 metros). Se debe de revestir el pozo en su parte superior para evitar la contaminación.

- Pozos barrenados o taladrados: Son también muy superficiales, pero de diámetros menores debido a la forma en la que son construidos. Se utiliza un taladro o barreno, ya sea manual o mecánico, y al igual que los excavados deben de ser revestidos en su parte superior.

- Pozos hincados: La construcción de un pozo hincado se basa en enterrar una tubería, generalmente de hierro, golpeándola en su parte superior con un mazo o martinete. Se logran alcanzar profundidades de hasta 30 metros. En las partes más profundas de la tubería se perforan orificios que permiten la entrada de agua a la misma, pero no lo suficientemente grandes para permitir el ingreso de partículas de arena. Aunque éstos orificios suelen estar en las partes más profundas, su ubicación depende de la litología que tenga el terreno en el sitio del pozo.

- Pozos perforados: Son pozos muy profundos (Suelen alcanzar hasta 150 metros), por lo que se obtiene mejor calidad de agua. A diferencia de los pozos mencionados con anterioridad, éstos pueden atravesar cualquier tipo de formación geológica. Existen diferentes tipos de perforación para este tipo de pozos:

- Perforación por percusión: se deja caer un martinete o barreno pesado dentro de del hueco, el cual al llegar al fondo rompe el material de formación. Luego utilizando un motor se levanta el barreno y se inyecta agua al pozo para extraer el material disgregado, normalmente con una bomba.
- Perforación hidráulica rotatoria: Se utiliza agua a presión para extraer el material triturado por el elemento rotatorio.
- Perforación por rotación y percusión: Se utiliza una combinación de los métodos anteriores.

### **3. Conceptos de Hidrología para el cálculo de la recarga hídrica de un suelo**

Es muy importante realizar un estudio del potencial de recarga hídrica de la zona que se pretende explotar, para saber si la fuente de extracción presenta un reabastecimiento positivo de agua potable. Es necesario conocer conceptos básicos de hidrología, ciencia que según Dingman (1994) se enfoca en el ciclo hidrológico que predice las variaciones especiales y temporales del agua en las etapas terrestres, oceánicas y atmosféricas de un sistema hídrico global.

A continuación, se desarrollan términos y ecuaciones necesarias para calcular la recarga hídrica de una zona con base al balance hídrico de suelo, el cual toma en cuenta variables como fracción de lluvia, infiltración, escorrentía, evapotranspiración, entre otros los cuales se van a explicar a continuación.

#### ***3.1 Fracción de lluvia interceptada por el follaje***

Las lluvias que generen un valor menor de 5 mm, no generan infiltración en el suelo debido a que, en un mes de lluvia se considera que al menos 5 mm se retienen en el follaje y no llegan al suelo. Para los cálculos se considera una retención de un 12% de la precipitación mensual. En bosques muy densos el valor se puede considerar de un 20% de la precipitación mensual. Para ámbitos de cálculos vamos a designar el coeficiente del follaje como  $C_{fo}$ , el cual varía entre los valores antes mencionados, 0.12 para vegetación normal y 0.20 para bosques con vegetación densa. Para el cálculo de la retención mensual interceptada por el follaje (Ret). Puede ocurrir que la precipitación sea menor a 5 mm mensuales y la precipitación sería igual a la retención interceptada por el follaje. Si el producto de la ecuación (18) es mayor o igual a 5 mm/mes, entonces se toma el resultado de la ecuación (18) como el valor retenido por el follaje. Si la precipitación es mayor de 5mm/mes y el producto de la ecuación (18) es menor de 5, entonces se toma como valor retenido por el follaje 5 mm/mes.

$$\text{Ret} = (P) * (\text{Cfo}) \quad (18)$$

En donde:

Ret: Retención de lluvia en follaje (mm/mes)

P: Precipitación mensual (mm/mes)

Cfo: Coeficiente de retención del follaje.

### ***3.2 Coeficiente de infiltración del suelo debido a la textura del suelo***

El coeficiente se conoce como  $K_{fc}$ , y este a su vez depende directamente de la permeabilidad del suelo saturado ( $f_c$ ). El valor del  $f_c$  se toma en cuenta en los primeros 30 centímetros de profundidad del suelo, debido a que se considera que este espesor va a estar en contacto directo con el agua de lluvia. Para obtener el valor de la permeabilidad del suelo saturado se pueden hacer pruebas de campo como por ejemplo la prueba de anillos aplicada a la superficie del terreno, la prueba de Guelph y la prueba de Porchet.

Si se tiene un rango de permeabilidad del suelo saturado ( $f_c$ ) con valores entre 16 – 1568 mm/día, se va a utilizar la siguiente ecuación:

$$K_{fc} = 0,267 \ln(f_c) - 0,000154(f_c) - 0,723 \quad (19)$$

Si se tienen valores de permeabilidad de suelo saturado ( $f_c$ ) menores a 16 mm/día. Se calcula el valor utilizando la siguiente ecuación:

$$K_{fc} = (0,0148 f_c) / 16 \quad (20)$$

Si se tienen valores de permeabilidad de suelo saturado ( $f_c$ ) mayores a 1568 mm/día el valor del coeficiente de infiltración debido a la textura del suelo va a ser igual a 1.

### ***3.3 Coeficiente de infiltración del suelo***

El coeficiente de infiltración ( $C_i$ ) es el factor por el cual hay que multiplicar la precipitación mensual para obtener el agua que se infiltra mensualmente en el suelo. El coeficiente depende directamente de la pendiente del terreno, con una pendiente menor el escurrimiento del agua se retrasa y se da una mayor infiltración de agua. Ocurre con la cobertura boscosa que entre más boscosa la zona más lento el proceso de escurrimiento y se da una mayor infiltración de agua en el suelo. La ecuación que define el coeficiente de infiltración es la siguiente:

$$C_i = K_p + K_v + K_{fc} \quad (21)$$

En donde:

$C_i$ : Es el coeficiente de infiltración. (adimensional)

$K_p$ : Fracción que infiltra por efecto de pendiente. (adimensional)

$K_v$ : Fracción que infiltra por efecto de la cobertura boscosa. (adimensional)

$K_{fc}$ : Fracción que infiltra por la textura del suelo (adimensional)

Si la ecuación (21) es mayor que 1, entonces  $C_i = 1$ . Pero si el valor obtenido de la ecuación (21) es menor o igual que 1, entonces se respeta el valor de  $C_i$  obtenido de la ecuación (21).

Tabla 2. Valores para pendiente (Kp)

| Tipo de pendiente | Pendiente   | Kp   |
|-------------------|-------------|------|
| Muy plana         | 0,02%-0,06% | 0,30 |
| Plana             | 0,3%-0,4%   | 0,20 |
| Algo plana        | 1%-2%       | 0,15 |
| Promedio          | 2%-7%       | 0,10 |
| Fuerte            | Mayor a 7%  | 0,06 |

Fuente: Revista Geológica de América Central, 2006

Tabla 3. Valores para cobertura boscosa (Kv)

| Tipo de cobertura vegetal          | Kp   |
|------------------------------------|------|
| Cobertura con zacate menos del 50% | 0,09 |
| Terrenos cultivados                | 0,10 |
| Cobertura con pastizal             | 0,18 |
| Bosques                            | 0,20 |
| Cobertura con zacate más del 75%   | 0,21 |

Fuente: Revista Geológica de América Central, 2006

### 3.4 Cálculo de infiltración pluvial mensual

Para el cálculo de la infiltración pluvial mensual, se va a utilizar la siguiente ecuación:

$$P_i = (C_i) (P - \text{Ret}) \quad (22)$$

Donde:

P<sub>i</sub>: Precipitación que se infiltra mensualmente en el suelo en (mm/mes).

C<sub>i</sub>: Coeficiente de infiltración (adimensional)

P: Precipitación mensual (mm/mes)

Ret: Retención de lluvia mensual por follaje (mm/mes)

En ningún momento el valor del coeficiente será mayor que 1, en caso de que se diera se tomará el valor de  $C_i$  como 1.

### ***3.5 Escorrentía Superficial***

El cálculo de valor de escorrentía se calcula con la siguiente ecuación:

$$ESC = P - Ret - P_i \quad (23)$$

Donde:

ESC: Escorrentía superficial (mm/mes)

P: Precipitación (mm/mes)

$P_i$ : Precipitación que infiltra mensualmente al suelo (mm/mes)

Ret: Retención de lluvia en follaje (mm/mes)

### ***3.6 Evapotranspiración real de la planta***

Es importante tener en cuenta que la máxima humedad que puede llegar a tener un suelo que no se encuentre saturado, va a ser igual a la capacidad de campo. Momento en el cual la vegetación tiene la máxima capacidad de transpiración. En el caso contrario la mínima humedad que puede presentar un suelo no saturado es lo que llamamos punto de marchitez. Cualquier valor de humedad por debajo de este punto provoca que las plantas mueran.

Definimos el concepto de evapotranspiración como la transpiración que va a tener la vegetación cuando el suelo se encuentra en capacidad de campo, la transpiración de la planta se da debido a que no se necesita la totalidad de agua que llega a las hojas de la vegetación para el proceso de fotosíntesis.

Para los cálculos de la evapotranspiración potencial real de la planta, se va a utilizar la siguiente ecuación:

$$ETPR = (HS-PM)(ET)/(CC-PM) \quad (24)$$

Donde:

ETPR: Evapotranspiración potencial real de la planta (mm/día)

HS: Humedad del suelo (%)

ET: Evapotranspiración de la planta a capacidad de campo (mm/día)

CC: Capacidad de campo (%)

PM: Punto de marchitez permanente.

Para el cálculo de la capacidad de campo (CC) y Punto de marchitez permanente (PM), se utiliza de referencia la Tabla 4.

Tabla 4. Porcentaje de punto de marchitez permanente (PMP%) y porcentaje de capacidad de campo (CC%)

| TEXTURA DEL SUELO  | Porcentaje por peso de suelo seco |       |                                        |
|--------------------|-----------------------------------|-------|----------------------------------------|
|                    | PMP%                              | CC%   | Densidad aparente (g/cm <sup>3</sup> ) |
| Arenoso            | 2-6                               | 6-12  | 1,55-1,80                              |
| Franco- arenoso    | 4-8                               | 10-18 | 1,40-1,60                              |
| Franco             | 8-12                              | 18-26 | 1,35-1,50                              |
| Franco- arcilloso  | 11-15                             | 23-31 | 1,30-1,40                              |
| Arcilloso- arenoso | 13-17                             | 27-31 | 1,25-1,35                              |
| Arcilloso          | 15-19                             | 31-39 | 1,20-1,30                              |

Fuente: Revista Geológica de América Central, 2006

Para pasar las variables de punto de marchitez permanente (PM) y la capacidad de campo (CC) a milímetros y poder darles continuidad a los cálculos en milímetros, vamos a utilizar la siguiente ecuación:

$$\% \text{ por volumen} = (\% \text{ por peso de suelo seco}) \times (\text{densidad aparente}) \quad (25)$$

De donde las variables de la ecuación se toman de la Tabla 4.

Es importante saber que para cada planta tiene una evapotranspiración diferente, la cual depende de la temperatura de ambiente, humedad relativa, radiación solar, velocidad del viento y grado de desarrollo de la planta. En zonas de estudio amplias y arbitrarias es difícil determinar la evapotranspiración de la vegetación debido a la incertidumbre de vegetación debido a la variedad y al grado de desarrollo de la vegetación. Por esta razón para los cálculos de la tesis se va a tomar el valor de la evapotranspiración de la vegetación, igual al valor de evapotranspiración potencial (ETP).

Existen muchas ecuaciones para el cálculo de la evapotranspiración potencial, muchas de éstas incluyen datos que las estaciones meteorológicas del país no ofrecen. Por eso se va a utilizar la siguiente ecuación:

$$ETP = (8,10 + 0.46T) P_s \quad (26)$$

Donde:

ETP: Evapotranspiración potencial (mm/mes)

T: Temperatura media mensual (grados centígrados)

P<sub>s</sub>: Porcentaje de horas de luz solar mensual, con respecto al año (%)

Para el cálculo del porcentaje de luz solar existen diferentes tablas dependiendo de las diferentes latitudes. Para Costa Rica utilizaremos la siguiente tabla para la latitud 10° del hemisferio norte.

Tabla 5. Porcentaje de luz solar para latitud 10°

| Mes | E    | F    | M    | A    | M    | J    | J    | A    | S    | O    | N    | D    |
|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| %   | 8,13 | 7,47 | 8,45 | 8,37 | 8,81 | 8,60 | 8,86 | 8,71 | 8,25 | 8,34 | 7,91 | 8,10 |

Fuente: Fuente: Revista Geológica de América Central, 2006

### ***3.7 Recarga al acuífero***

Cuando ocurre en fenómeno natural de la precipitación, el agua que se infiltra en los suelos se acumula en los poros del terreno, para llevarlo al término del cual se habló con anterioridad capacidad de campo. Término que se refiere a la máxima acumulación de agua que un terreno no saturado puede acumular. Una vez que el fenómeno de precipitación termina se da el proceso de evapotranspiración, el cual ocurre a través de las raíces. Las cuales toman el agua acumulada en los poros del suelo, si la cantidad de precipitación es suficiente para llevar el suelo a capacidad de campo y suplir la necesidad de la evapotranspiración, el sobrante de agua servirá para recargar el acuífero.

### ***3.8 Cálculo de coeficientes de humedad***

Usualmente el coeficiente de humedad (Ch) de un sitio se calcula con la siguiente fórmula:

$$Ch = (\text{Humedad de suelo} - \text{Punto de marchitez}) / (\text{capacidad de campo} - \text{punto de marchitez}) \quad (27)$$

Sin embargo, al empezar cualquier mes del año el suelo va a tener una humedad inicial (HSi). La cuál para ámbitos de cálculo de la tesis la vamos a obtener del estudio hidrogeológico de Garabito elaborado por la UCR. Por esta razón se van a tener 2 coeficientes de humedad, el coeficiente 1 (C1) que toma no toma en cuenta la evapotranspiración que sufre el terreno y se va a calcular con la ecuación (28). El coeficiente 2 que considera la evapotranspiración del terreno una vez ocurrida la infiltración, se va a calcular con la ecuación (29).

$$C1 = (HSi - PM + Pi) / (CC-PM) \quad (28)$$

Donde:

C1: Coeficiente de humedad al final de mes antes de que ocurra la evapotranspiración.

HSi: Humedad al inicio del mes, humedad del suelo inicial (mm)

PM: Punto de marchitez (mm)

Pi: Precipitación que infiltra (mm/mes)

CC: Capacidad de campo (mm)

$$C2 = (HSi-PM + Pi - ETR1) / (CC-PM) \quad (29)$$

$$ETR1 = (C1) \times (ETP)$$

Donde:

C2: Coeficiente de humedad al final de mes, después de que ocurra la evapotranspiración.

ETR1: Evapotranspiración potencial real (mm/mes), considera la humedad correspondiente al coeficiente C1.

ETP: Evapotranspiración potencial (mm/mes)

El coeficiente C1 nos indica la humedad máxima de la zona debido a que no considera la evapotranspiración, mientras que el coeficiente C2 indica la humedad mínima de la zona. Debido que en un mes ocurren tanto la evapotranspiración y la infiltración, se va a tener que la humedad de la zona en un mes va a ser igual al promedio de los coeficientes.

Es importante tomar en cuenta que ninguno de los coeficientes C1 y C2 pueden ser superiores a 1, ni tampoco menores que 0. Si fuera el caso de que uno de los coeficientes es mayor que 1 se va a utilizar el valor 1. En caso contrario, si alguno de los coeficientes es negativo se va a utilizar el valor 0.

### 3.9 Evapotranspiración real tentativa de una zona

El cálculo de la evapotranspiración real tentativa de una zona, se calcula por medio de la siguiente ecuación:

$$ETPR = ((C1+C2)/2) \times ETP \quad (30)$$

Donde:

ETPR: Evapotranspiración real tentativa promedio

C1: Coeficiente de humedad máximo.

C2: Coeficiente de humedad mínimo considerando evapotranspiración calculada con C1.

ETP: Evapotranspiración potencial (mm/mes)

Ahora bien, nos vamos a guiar con la ecuación de Humedad disponible (HD), para concretar ciertas conclusiones y saber que ecuación Evapotranspiración real utilizar para los cálculos de recarga hidráulica (ETR). La ecuación para la humedad disponible (HD), es la siguiente:

$$\text{Humedad Disponible (HD)} = HSi + Pi - PM \quad (31)$$

Donde:

HD: Humedad disponible (mm/mes)

HSi: Humedad de suelo inicial de mes (mm)

Pi: Precipitación que infiltra (mm/mes)

PM: punto de marchitez (mm)

Si la humedad disponible en los cálculos es menor que la ecuación (30), significa que la planta no podrá evapotranspirar dicha cantidad, sino que se va a evapotranspirar únicamente la humedad disponible. Esto debido a que no habría suficiente humedad para evapotranspirar la cantidad de agua indicada en la ecuación (30). Ahora en caso contrario si

la humedad disponible es mayor que la cantidad de agua que se indica en la ecuación (30), La planta podrá evapotranspirar la cantidad de agua que se especifica en la ecuación (30).

Si  $((C1+C2)/2) \times ETP \leq$  Humedad disponible

$$ETR = ((C1 + C2)/2) \times ETP \quad (32)$$

Si  $((C1+C2)/2) \times ETP >$  Humedad disponible

$$ETR = HSi + Pi - PM \quad (33)$$

Donde:

ETR: Evapotranspiración real promedio de la zona, ocurrida durante el mes (mm/mes)

C1: Coeficiente de humedad máximo (adimensional)

C2: Coeficiente de humedad mínimo (Adimensional)

ETP: Evapotranspiración potencial (mm/mes)

HD: Humedad disponible (mm/mes).

### ***3.10 Humedad del suelo final***

Este valor no puede ser mayor que la capacidad de campo de la zona en estudio, la humedad del suelo final se conoce como (HSf). La ecuación para la obtención de su valor es:

$$\text{Si } (HD + PM - ETR) < CC$$

$$HSf = HD + PM - ETR \quad (34)$$

$$\text{Si } (HD + PM - ETR) \geq CC$$

$$HSf = CC \quad (35)$$

Donde:

HSf: Humedad del suelo final (final de mes) (mm)

HD: Humedad disponible (mm/mes)

PM: Punto de marchitez (mm)

ETR: Evapotranspiración real (mm/mes)

CC: Capacidad de campo (mm)

En ningún momento el valor de la humedad de suelo final (HSf) podrá ser mayor que la capacidad de campo del sitio en estudio, en el caso de la presente tesis la población de Quebrada Amarilla.

Para el cálculo de la humedad de mes al inicio (HSi) se considera el valor de humedad final del mes anterior. Sin embargo, debido a que en la tesis se utiliza como guía informativa el estudio hidrogeológico de la zona de Garabito elaborado por la UCR. Se va a tomar el dato de la humedad de mes al inicio (HSi) igual al obtenido en el estudio.

### ***3.11 Fórmula para el cálculo de la recarga potencial al acuífero***

Como se mencionó anteriormente en la tesis, la recarga del acuífero se da una vez que el agua que entra al suelo puede saturar las partículas de suelo y además satisfacer la evapotranspiración de la vegetación presente en la zona de estudio. Vamos a calcular finalmente la recarga potencial con la siguiente ecuación:

$$R_p = P_i + H_{Si} - H_{Sf} - ETR \quad (36)$$

Donde:

$R_p$ : Recarga potencial mensual (mm/mes)

$P_i$ : Precipitación que infiltra en un mes (mm/mes)

$H_{Sf}$ : Humedad de suelo a final de mes (mm)

$ETR$ : Evapotranspiración real (mm/mes)

$H_{Si}$ : Humedad de suelo a inicios de mes (mm)

## **CAPÍTULO 4. MARCO METODOLÓGICO**

## **1. Fase 1. Cálculo del balance hídrico para la población de Quebrada Amarilla para un período de diseño de 25 años.**

En este apartado de la tesis se va a calcular el balance hídrico que existe en la zona de Quebrada Amarilla con respecto al agua potable, para un periodo de diseño de 25 años. El balance hídrico va a indicar la demanda de caudal de agua potable contra la disponibilidad del recurso, que existe y va a existir en la zona. El primer paso para cálculo del balance hídrico es el cálculo de la proyección poblacional que va a tener la zona. El dato de la proyección poblacional se va a obtener por medio del método geométrico según la ecuación (2) y para el porcentaje de la tasa de crecimiento la ecuación (3). Los datos de entrada la ecuación (2) se obtienen de datos estadísticos del INEC, los cuales se obtienen por medio de censos a nivel nacional que se pueden observar el Anexo 1.

Una vez calculada la proyección poblacional al año deseado, se procede al cálculo de la dotación. La dotación se puede calcular por medio de la dotación bruta según la ecuación (7), si se tienen todos los valores de entrada para poder obtener el resultado deseado. Por motivos de un traspaso de administración de la ASADA Esterillos de Parrita al AyA, no se cuenta actualmente en la zona con datos de volumen de agua no domiciliario, cantidad de servicios fijos y volumen de agua producido. Datos de entrada necesarios para el cálculo de la dotación bruta, se procede a utilizar la información de dotación establecida por el Código de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias 2017. Para una zona Costera con las características de la población de Quebrada Amarilla se establece una dotación de 150 l/p/d.

Con los datos de la población al año deseado y la dotación de 150 L/p/d que establece el Código de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias, se procede a calcular el caudal promedio de la zona. Para el cálculo del caudal promedio se va a utilizar la ecuación (15). Una vez obtenido el caudal promedio se continua con el cálculo del caudal máximo diario según la ecuación (16), Es necesario tener un factor máximo diario definido. El cual para ámbitos de cálculo va a ser un valor de 1.2, según lo establecido por el AyA en la Norma Técnica para Diseño y Construcción de Sistemas de Abastecimiento de Agua Potable, de Saneamiento y Sistema Pluvial.

Se procede de manera secuencial a calcular el caudal máximo horario según la fórmula (17), en donde al igual que en el caso del cálculo de Caudal máximo diario. Se va a necesitar un factor horario, el cual normalmente se obtiene de curvas de demanda de la zona. En un estudio realizado por la empresa Óptima publicado en el año 2013, bajo el nombre de “Estudio Integrado de Optimización Hidráulica de los Acueductos de Playa Hermosa, Quebrada Amarilla y Esterillos”. Se muestra una curva de demanda para el acueducto de Quebrada Amarilla para el año 2012, sin embargo, la curva no es representativa debido a que está incompleta y genera datos erróneos. Por lo tanto, para el desarrollo de cálculos en la tesis vamos a utilizar un factor horario de 1.80. El dato de 1.80 es un valor medio de lo que establece la Norma Técnica para Diseño y Construcción de Sistemas de Abastecimiento de Agua Potable, de Saneamiento y Sistema Pluvial.

El proceso de cálculo se repite para todos los años desde el 2017 hasta el 2042, año en el cual se cumplen los 25 años de diseño. Una vez que se tengan todos los datos tabulados para una fácil manipulación, se procede a calcular la capacidad de producción de la naciente de Quebrada Amarilla en un período de 24h. La ASADA Esterillos de Parrita antigua administradora del acueducto de Esterillos, facilitó datos de aforo para la naciente de Quebrada Amarilla. En los datos de aforo se obtiene la cantidad de caudal que genera la naciente en un tiempo de explotación de 24 horas.

Finalmente, para la comprobación del balance hídrico de la zona se comparan los datos de caudal producido por la naciente y la demanda de caudal de la población de Quebrada Amarilla. Con la comparación se deja claro el sobrante o el faltante de caudal para abastecer la zona de Quebrada Amarilla.

## **2. Fase 2. Calcular la recarga hídrica que presenta la zona de Quebrada Amarilla.**

Para comprobar la capacidad de recarga acuífera vamos a comenzar calculando la retención de lluvia en el follaje, a partir de la ecuación (18). Es la ecuación en la que se introduce un coeficiente de retención del follaje (Cfo), el cual se va a tomar como 0,12 debido a que en la zona de Quebrada Amarilla presenta una vegetación normal. En el

siguiente paso se va a calcular el coeficiente de infiltración según la ecuación (21), en la cual se requieren los valores de la fracción de agua que infiltra por efecto de la pendiente que se obtienen según la tabla 2. Fracción de agua que infiltra por cobertura boscosa la cual se obtienen con base a la tabla 3, y la fracción de agua que infiltra por la textura de suelo según la ecuación (19).

En el cálculo de la fracción de agua que infiltra por textura del suelo, se va a utilizar un factor de permeabilidad ( $f_c$ ) de 192 mm/día. El valor del factor de permeabilidad se obtuvo del estudio Hidrogeológico para la zona de Garabito elaborado por la UCR, en el estudio se caracteriza la zona de Quebrada amarilla como una llanura aluvial baja. La llanura aluvial baja presenta un tipo de suelo franco arcilloso al cual según características topográficas se le asigna el valor de 192 mm/día.

En el siguiente paso se calcula la infiltración pluvial mensual según la ecuación (22), en donde se van a utilizar los datos de precipitación de la estación meteorológica La Gloria desglosados en el Apéndice 2. La estación se ubica muy cerca de la zona de Quebrada Amarilla y puede generar datos bastante cercanos a la realidad. Una vez obtenida la infiltración mensual se procede a calcular la humedad de suelo ( $HS_f$ ), la cual se calcula por medio de la ecuación (34) o (35) según se cumpla el condicional que se establece en ambas ecuaciones. Las ecuaciones (34) y (35) poseen 3 variables necesarias para la obtención del resultado, El Punto de Marchitez (PM) obtenida de la Tabla 4, Humedad disponible (HD) y la evapotranspiración real (ETR).

La humedad disponible se va a obtener mediante la ecuación (31), utilizando una humedad de inicios de mes ( $HS_i$ ) tomada del estudio hidrogeológico elaborado por la UCR. La evapotranspiración real (ETR) se va a calcular por medio de la ecuación (32) o (33) según se cumpla el condicional establecido en ambas ecuaciones, las ecuaciones poseen la dependencia de los coeficientes de humedad ( $C_1$ ) y ( $C_2$ ) los cuales se obtienen de las ecuaciones (28) y (29) respectivamente.

El último paso es introducir los datos obtenidos de las variables de humedad de suelo final ( $HS_f$ ), la humedad de suelos en comienzos de mes ( $HS_i$ ), la evapotranspiración real (ETR) y la precipitación que infiltra en un mes ( $P_i$ ). En la ecuación (36) de recarga potencial mensual ( $R_p$ ).

**3. Fase 3. Proponer una solución de extracción de agua subterránea, para abastecer los proyectos de bien social Santo Tomás y Nueva Hermosa.**

Con base a los resultados de la demanda y la capacidad de producción de la naciente de Quebrada Amarilla, se propondrá una solución hidráulica. La cual va a generar un adecuado suministro de recurso hídrico para los proyectos de bien social de Santo Tomás y Nueva Hermosa en un periodo de diseño de 25 años. En caso de que el caudal de la fuente no produjera la cantidad de agua para los períodos de diseño estimados, se podría pensar en un pozo.

El cual se respaldaría con los resultados de la recarga hídrica que presenta la zona de Quebrada Amarilla y pozos de características similares expuestos en el estudio hidrológico de la zona de Garabito, específicamente pozos en zonas de carácter coluvio aluvial. Si la naciente de Quebrada Amarilla tuviera el suficiente caudal para abastecer la zona de Quebrada Amarilla. Se dejaría como propuesta de solución utilizar la naciente de Quebrada Amarilla, haciendo la salvedad de que la naciente sea utilizada exclusivamente para la zona de Quebrada Amarilla y no integrarlo al acueducto actual de Esterillos, que conecta con las zonas de Playa Hermosa, Esterillos y Quebrada Amarilla.

## **CAPÍTULO 5. RESULTADOS**

## 1. Fase 1. Cálculo del balance hídrico para la población de Quebrada Amarilla para un período de diseño de 25 años.

### 1.1 Población de la zona de Quebrada Amarilla en el año 2016

Para conocer la cantidad de servicios que el AyA brinda a la zona de Quebrada Amarilla, se puede deducir por medio de la facturación de la zona en estudio o bien mediante una entrevista con los funcionarios del AyA. Para el caso de este estudio se obtuvo el dato por medio del funcionario Ing. Giovanni García, quien brindó el dato que estipula que la cantidad de servicios en el año 2016 fue de 271. Adicional a la información de servicios, mencionó que la cantidad de personas por cada servicio fue de 4.2 personas.

Población (2016): 1138 personas.

#### *Cálculo de caudal promedio*

Q prom: 1,92 L/s

#### *Cálculo de caudal máximo diario*

Q máx diario: 2,30 L/s

#### *Cálculo de caudal máximo horario*

Q máx horario: 3,46 L/s

## ***1.2 Proyección Poblacional de la Zona de Quebrada Amarilla al año 2041***

El porcentaje de tasa de crecimiento de la población del cantón de Garabito, según datos de censos suministrados por el INEC. En el apéndice 1 se puede apreciar el crecimiento poblacional de la zona de Garabito desde los años 1970 hasta el año 2015. Es importante mencionar que el porcentaje de crecimiento es para toda la zona de Garabito debido a la ausencia de datos concretos del crecimiento poblacional específicamente para la población de Quebrada Amarilla.

$T\%$  (Porcentaje de Tasa de Crecimiento) = 7,42%

$P_f$  (Población futura al año 2041) = 7224 personas.

Para el cálculo de la tasa de crecimiento se utilizó la ecuación (3), la cual es referida del Método Geométrico. El cual se adecua bien al caso de estudio debido a que la zona de Garabito presenta un crecimiento económico importante y poseen zonas de expansión. El porcentaje de crecimiento nos ayuda a estimar cuanta población va a tener la zona para el año 2041, año en el que se cumplen los 25 años de diseño para el abastecimiento de agua potable.

### ***1.2.1 Cálculo de caudal promedio al año 2041***

$Q_{\text{prom}} = 12,27 \text{ L/s}$

### ***1.2.2 Caudal máximo diario***

$Q_{\text{max diario}} = 14,73 \text{ L/s}$

### ***1.2.3 Caudal máximo horario***

$Q_{\text{máx horario}} = 26,51 \text{ L/s}$

De acuerdo a lo obtenido en el punto 1 y 2, se va a generar la tabla 6. En la tabla se obtienen los resultados de caudal máximo diario para los 25 años de diseño. Dato que nos va a ayudar a comparar la demanda de caudal con el caudal disponible en la zona de Quebrada Amarilla.

Tabla 6. Cálculo de caudales para los 25 años de diseño de la población de Quebrada Amarilla

| Año  | Población | Dotación | Caudal Promedio |            |        | Coef. Mayoración |         | Caudales Máximos |       |        |         |       |
|------|-----------|----------|-----------------|------------|--------|------------------|---------|------------------|-------|--------|---------|-------|
|      |           |          |                 |            |        | Diaria           | Horaria | Diario           |       |        | Horario |       |
|      |           |          | (Pers.)         | (L/Pers/d) | (m3/d) | (m3/h)           | (L/s)   | K1               | K2    | (m3/d) | (m3/h)  | (L/s) |
| 2016 | 1138      | 150      | 170,70          | 7,11       | 1,92   | 1,2              | 1,8     | 204,84           | 8,54  | 2,30   | 12,80   | 3,46  |
| 2017 | 1226      | 150      | 183,85          | 7,66       | 2,07   | 1,2              | 1,8     | 220,62           | 9,19  | 2,48   | 13,79   | 3,72  |
| 2018 | 1320      | 150      | 198,01          | 8,25       | 2,23   | 1,2              | 1,8     | 237,61           | 9,90  | 2,67   | 14,85   | 4,01  |
| 2019 | 1422      | 150      | 213,26          | 8,89       | 2,40   | 1,2              | 1,8     | 255,91           | 10,66 | 2,88   | 15,99   | 4,32  |
| 2020 | 1531      | 150      | 229,68          | 9,57       | 2,58   | 1,2              | 1,8     | 275,62           | 11,48 | 3,10   | 17,23   | 4,65  |
| 2021 | 1649      | 150      | 247,38          | 10,31      | 2,78   | 1,2              | 1,8     | 296,85           | 12,37 | 3,34   | 18,55   | 5,01  |
| 2022 | 1776      | 150      | 266,43          | 11,10      | 3,00   | 1,2              | 1,8     | 319,71           | 13,32 | 3,60   | 19,98   | 5,40  |
| 2023 | 1913      | 150      | 286,95          | 11,96      | 3,23   | 1,2              | 1,8     | 344,34           | 14,35 | 3,87   | 21,52   | 5,81  |
| 2024 | 2060      | 150      | 309,05          | 12,88      | 3,48   | 1,2              | 1,8     | 370,86           | 15,45 | 4,17   | 23,18   | 6,26  |
| 2025 | 2219      | 150      | 332,86          | 13,87      | 3,74   | 1,2              | 1,8     | 399,43           | 16,64 | 4,49   | 24,96   | 6,74  |
| 2026 | 2390      | 150      | 358,49          | 14,94      | 4,03   | 1,2              | 1,8     | 430,19           | 17,92 | 4,84   | 26,89   | 7,26  |
| 2027 | 2574      | 150      | 386,10          | 16,09      | 4,34   | 1,2              | 1,8     | 463,33           | 19,31 | 5,21   | 28,96   | 7,82  |
| 2028 | 2772      | 150      | 415,84          | 17,33      | 4,68   | 1,2              | 1,8     | 499,01           | 20,79 | 5,61   | 31,19   | 8,42  |
| 2029 | 2986      | 150      | 447,87          | 18,66      | 5,04   | 1,2              | 1,8     | 537,45           | 22,39 | 6,05   | 33,59   | 9,07  |
| 2030 | 3216      | 150      | 482,37          | 20,10      | 5,43   | 1,2              | 1,8     | 578,84           | 24,12 | 6,51   | 36,18   | 9,77  |
| 2031 | 3463      | 150      | 519,52          | 21,65      | 5,84   | 1,2              | 1,8     | 623,43           | 25,98 | 7,01   | 38,96   | 10,52 |
| 2032 | 3730      | 150      | 559,54          | 23,31      | 6,29   | 1,2              | 1,8     | 671,44           | 27,98 | 7,55   | 41,97   | 11,33 |
| 2033 | 4018      | 150      | 602,63          | 25,11      | 6,78   | 1,2              | 1,8     | 723,16           | 30,13 | 8,14   | 45,20   | 12,20 |
| 2034 | 4327      | 150      | 649,05          | 27,04      | 7,30   | 1,2              | 1,8     | 778,86           | 32,45 | 8,76   | 48,68   | 13,14 |
| 2035 | 4660      | 150      | 699,04          | 29,13      | 7,86   | 1,2              | 1,8     | 838,85           | 34,95 | 9,44   | 52,43   | 14,16 |
| 2036 | 5019      | 150      | 752,88          | 31,37      | 8,47   | 1,2              | 1,8     | 903,46           | 37,64 | 10,16  | 56,47   | 15,25 |
| 2037 | 5406      | 150      | 810,87          | 33,79      | 9,12   | 1,2              | 1,8     | 973,04           | 40,54 | 10,95  | 60,82   | 16,42 |
| 2038 | 5822      | 150      | 873,32          | 36,39      | 9,82   | 1,2              | 1,8     | 1047,99          | 43,67 | 11,79  | 65,50   | 17,68 |
| 2039 | 6271      | 150      | 940,59          | 39,19      | 10,58  | 1,2              | 1,8     | 1128,71          | 47,03 | 12,70  | 70,54   | 19,05 |
| 2040 | 6754      | 150      | 1013,04         | 42,21      | 11,40  | 1,2              | 1,8     | 1215,64          | 50,65 | 13,68  | 75,98   | 20,51 |
| 2041 | 7274      | 150      | 1091,06         | 45,46      | 12,27  | 1,2              | 1,8     | 1309,28          | 54,55 | 14,73  | 81,83   | 22,09 |

Fuente: Propia, 2017

Para el desglose de cálculos de la Tabla 6 referirse al anexo 1 Cálculo de Caudales para los 25 años de diseño de la población de Quebrada Amarilla, en donde se desglosan los cálculos para un año de estudio. Los demás años siguen el mismo formato de cálculos.

### 1.3 Capacidad de producción de la naciente de Quebrada Amarilla

Según los aforos realizados por la ASADA de Esterillos cuando estaba en su poder la administración de la naciente de Quebrada Amarilla. Se observa que la capacidad de promedio de producción de la fuente para un período de explotación de 24 hr, es de 13,85 L/s. Para los cálculos de la zona de Quebrada Amarilla vamos a utilizar el valor más crítico de 10,28 L/s, para tener un dato más cercano a la capacidad de producción real de la naciente de Quebrada Amarilla.

Tabla 7. Tabla de Aforos de la naciente de Quebrada Amarilla

| Fuente            | Fecha       | Caudales  |           |
|-------------------|-------------|-----------|-----------|
|                   |             | Aforado   | Promedio  |
| Quebrada Amarilla | Julio 2016  | 17,42 L/s | 13,85 L/s |
|                   | Agosto 2016 | 10,28 L/s |           |

Fuente: Estudio Optima, 2013

### 1.4 Balance Hídrico

Tabla 8. Balance hidráulico de la naciente Quebrada Amarilla para el año 2041

| Aporte máximo de la fuente | Demanda máxima            | Cobertura | Déficit                | Superávit |
|----------------------------|---------------------------|-----------|------------------------|-----------|
| 888,192 m <sup>3</sup> /d  | 1309,28 m <sup>3</sup> /d | 67,83%    | 421,088 m <sup>3</sup> | 0         |

Fuente: Propia, 2017

Según los datos obtenidos con la proyección poblacional para el año 2041, se obtiene que la naciente de Quebrada Amarilla no es capaz de suplir las demandas de agua. Para el año 2041 se tendría un déficit de 421,088 m<sup>3</sup>, la capacidad para suplir la zona de Quebrada Amarilla llegaría hasta el año 2036.

La fuente de abastecimiento por medio de la naciente de Quebrada Amarilla queda descartada debido a la falta de caudal en el año 2036, es por eso que se propone la extracción

de agua subterránea para abastecer los proyectos de bien social de Santo Tomás y Nueva Hermosa.

## **2. Fase 2. Calcular la recarga hídrica que presenta la zona de Quebrada Amarilla.**

### **2.1 Cálculo de Recarga Hidráulica**

Tabla 9. Cálculo de la recarga hidráulica directa para la zona de Quebrada Amarilla.

| Cálculo de R. Hidráulica | Ene  | Feb  | Mar  | Abr   | May    | Jun    | Jul    | Ago    | Sep    | Oct    | Nov    | Dic  |
|--------------------------|------|------|------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|------|
| Rp                       | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 25,04 | 129,68 | 191,74 | 144,92 | 170,23 | 247,67 | 254,39 | 147,86 | 0,00 |

Fuente: Propia, 2017

Según los cálculos de la recarga mensual se ve que en los meses de época seca no existe una recarga hidráulica en la zona, lo cual es normal debido a la ausencia de lluvias en la zona. Los cálculos de recarga hidráulica para Tabla 9, toma en cuenta solo la recarga hidráulica directa es decir la proveniente de lluvias.

En la zona también existe la recarga hidráulica indirecta que según por la condición de la zona de estudio, ocurre debido a la infiltración de agua de los ríos que pasan cerca de la zona y además de la escorrentía de agua proveniente de los valles. Sin embargo, el cálculo de recarga hidráulica indirecta queda fuera del alcance de la tesis.

Según el concepto básico de la recarga hidráulica el agua de la lluvia entra al suelo y dentro del suelo sale por la necesidad que tienen las plantas o vegetación del proceso de evapotranspiración y la descarga de los acuíferos. Por tanto, de la Tabla 9 se puede concluir que en los meses lluvioso que van del mes de Abril hasta Noviembre el agua proveniente de la lluvia puede suplir el proceso de evapotranspiración de las plantas y la descarga del acuífero de la zona de Quebrada Amarilla.

El método utilizado para el cálculo del balance de suelos y obtener la recarga hidráulica se ha utilizado en otros estudios semejantes al estudiado en la tesis. En estudios similares ha

tenido un porcentaje de acierto mayor al 80%. Por tanto, los datos que se obtienen del estudio tienen una correlación cercana a la realidad que ocurre en la zona de estudio.

En el cálculo de la recarga hidráulica influyen factores como la textura del suelo, la pendiente de la zona, la profundidad de las raíces de la vegetación, la escorrentía superficial de la zona, la evapotranspiración real de la zona y la humedad final del suelo. El cálculo de todos los datos anteriores y por ende el de la ecuación final de la recarga hidráulica se explican con mayor detalle en el Anexo 2 Cálculo de la recarga hidráulica de Quebrada Amarilla.

### **3. Fase 3. Proponer una solución de extracción de agua subterránea, para abastecer los proyectos de bien social Santo Tomás y Nueva Hermosa**

En la Fase 1 se logró determinar que la naciente de Quebrada Amarilla, no posee el caudal necesario para un período de diseño de 25 años. Por tanto, se deben de tomar medidas alternas para poder abastecer los proyectos de bien social de Santo Tomás y Nueva Hermosa. En la Fase 2 se demuestra el alto potencial de recarga hidráulico que presenta la zona de Quebrada Amarilla. La cual es un acuífero en llanuras aluviales bajas, según el estudio Hidrogeológico elaborado por la UCR para la zona de Garabito.

La justificación de la alta recarga hidráulica que presenta la zona, demuestra que es viable la extracción de agua subterránea. Es decir, los proyectos de bien social de Santo Tomás y Nueva Hermosa se pueden abastecer por medio de pozos. En esta fase con base a la demanda de caudal que tengan los proyectos de bien social de Santo Tomás y Nueva Hermosa, se va a justificar la capacidad de producción de las posibles perforaciones de pozos en la zona. Con respaldo de información de pozos ya perforado en la zona que se encuentran en el estudio hidrogeológico de la zona de Garabito.

### **3.1 Demanda de agua para la población total de los proyectos de bien social de Nueva Hermosa y Santo Tomás.**

#### *3.1.1 Población total para los proyectos de bien social de Nueva Hermosa y Santo Tomás*

Se va a estimar que por cada casa van a vivir en promedio 4 personas. La cantidad que se proyectan construir entre ambos proyectos de bien social, suman una cantidad de 415 viviendas.

Población: 1660 personas.

#### *3.1.2 Demanda total de agua potable para los proyectos de bien social Santo Tomás y Nueva Hermosa.*

Tabla 10. Cálculo de caudales para los proyectos de Santo Tomás y Nueva Hermosa.

| Población | Dotación   | Caudal Promedio |        |       | Coef. Mayoración |         | Caudales Máximos |        |       |         |       |
|-----------|------------|-----------------|--------|-------|------------------|---------|------------------|--------|-------|---------|-------|
|           |            |                 |        |       | Diaria           | Horaria | Diario           |        |       | Horario |       |
| (Pers.)   | (L/Pers/d) | (m3/d)          | (m3/h) | (L/s) | K1               | K2      | (m3/d)           | (m3/h) | (L/s) | (m3/h)  | (L/s) |
| 1660      | 150        | 249,00          | 10,38  | 2,80  | 1,2              | 1,8     | 298,80           | 12,45  | 3,36  | 18,68   | 5,04  |

Fuente: Propia, 2017

En la Tabla 10 se puede observar que el máximo caudal diario requerido por los proyectos va ser de 3,36 L/s. Los cálculos de la Tabla 10 se pueden observar con más detalle en el Anexo 3 Cálculo de Caudales para la población de los proyectos de bien social Nueva Hermosa y Santo Tomás.

### **3.2 Características de pozos ubicados en cerca de la zona de Quebrada Amarilla.**

El comportamiento de los acuíferos en llanuras aluviales bajas, los cuales poseen características similares a la zona de Quebrada Amarilla. Estos acuíferos se encuentran en planicies entre los 0 y 60 metros sobre el nivel del mar, los caudales que se obtienen en los acuíferos mencionados van desde 0,5 l/s hasta los 43 L/s. El promedio de caudal ronda los

5,5 L/s, además presentan la ventaja de estar constituidos con materiales coluvio aluviales los cuales permiten buen almacenamiento de agua y permeabilidad a las aguas subterráneas.

Es incierto definir exactamente el caudal que se va a obtener de un pozo que no se ha perforado, sin embargo, por el perfil hidrológico de la Tabla 11 se puede deducir la varianza que puede existir en un caso de estudio similar al de la zona de Quebrada Amarilla.

Tabla 11. Pozos con ubicación y formación geológica similares a la zona de Quebrada Amarilla.

| Superficie Geológica | Altura superficie (MSNM) | Profundidad (MSNM) | Uso de pozo            | Caudal (L/s) |
|----------------------|--------------------------|--------------------|------------------------|--------------|
| HE- 29               | 6,1                      | 30                 | Industrial             | 4            |
| HE-128               | 12,2                     | 40                 | Doméstico- Riego       | 1,5          |
| HE-10                | 10                       | 30                 | Abastecimiento Público | 6,3          |

Fuente: Estudio Hidrogeológico para la zona de Garabito, 2013.

Según la tabla para el análisis de 3 pozos con formación geológica aluviones todas con una profundidad entre 30 y 40 metros de perforación. Presentan una varianza de caudales de 1,5 L/s, 4 L/s y 6,3 L/s, por lo que podría ser necesario 1 pozo para bastecer los proyectos guiándonos con el promedio de caudal de pozos de la zona de 5,5 L/s o bien 3 pozos si se presentan perforaciones con caudal bajo de 1,5 L/s.

## **CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES**

- 1) La naciente de Quebrada Amarilla puede abastecer la población de Quebrada Amarilla, hasta el año 2036. No cumple para el tiempo de diseño de 25 años.
- 2) La zona de Quebrada Amarilla presenta una alta capacidad de recarga hidráulica, sin embargo, es válido recalcar que muchos de los datos de las estaciones meteorológicas son muy antiguos. El cambio climático pudo haber variado datos de precipitación, humedad y temperatura en los años que no se tiene registro.
- 3) La propuesta de solución para poder abastecer los proyectos de bien social de Nueva Hermosa y Santo Tomás, es perforar de 1 a 3 pozos según el caudal que reporten a una profundidad de 30 a 40 metros.
- 4) Durante el desarrollo de la tesis se cambió la administración del acueducto de Esterillos, de la ASADA Esterillos de Parrita al AyA. Esto por motivos de corrupción dentro de la institución, lo que deja en claro la falta de control sobre las ASADAS del país.

## **CAPÍTULO. 7 RECOMENDACIONES**

- 1) En los cálculos de la recarga hidráulica de la zona, se utilizaron datos de la estación meteorológica de La Gloria debido a la cercanía con la zona de estudio. Sin embargo, al igual que las demás estaciones meteorológicas cercanas a la zona de Garabito no posee registro de datos de temperatura y humedad. Los datos de Temperatura y Humedad fueron tomados de la estación meteorológica de Lagunillas, lo cual puede inducir a discrepancias con la realidad de la zona en estudio.
- 2) Cuando se perforen los pozos para los proyectos de bien social de Santo Tomás y Nueva Hermosa, es importante realizar estudios de calidad de agua para saber si son adecuadas para el consumo humano. En zonas cercanas se han presentado “Dureza de magnesio” ligeramente mayor al valor permisible.
- 3) En los censos del INEC no existen censos para la zona de Quebrada Amarilla, por lo que se utilizaron los censos de zona de Garabito en general, lo cual causa una inflación en la tasa de crecimiento poblacional.
- 4) Para poder perforar los pozos se debe de pedir los permisos de explotación pertinentes y cumplir con las leyes de extracción de agua subterránea.
- 5) Para la estimación de la dotación se utilizaron datos de diseño del AyA, por falta de información sobre los servicios no contabilizados, servicios fijos y volumen producido. La falta de estos datos hace difícil para el país contabilizar el aprovechamiento real del agua potable y sus desperdicios.
- 6) Los pozos no se deben de ubicar en zonas inundables. Si el terreno es muy plano se debe hacer un relleno a manera de plataforma alrededor del pozo para evitar la entrada de agua.
- 7) Los pozos deben de estar ubicados lejos de cualquier fuente de contaminación como por ejemplo tanques sépticos o rellenos sanitarios.
- 8) Se debe de diseñar y construir un tanque de almacenamiento para poder suplir los proyectos de bien social Santo Tomás y Nueva Hermosa, el tanque debe de ser consecuente con el caudal máximo diario y además suplir necesidades de incendios y reservas.

## **CAPÍTULO 8. BIBLIOGRAFÍA**

Azevedo, J. & Acosta, G. (1976). Manual de hidráulica . (6ta Ed.) México D.F: Editorial Harper & Row Latinoamericana.

CID. (2016). Estudio Técnico "Análisis de la Capacidad Hídrica de la ASADA Esterillos de Parrita". San José.

Schosinsky N., G. (2006). Cálculo de la recarga potencial de acuíferos mediante un balance hídrico de suelos. Revista Geológica De América Central. <http://dx.doi.org/10.15517/rgac.v0i34-35.4223>

proDUS UCR. (2013). Plan Regulador Cantonal de Garabito Diagnóstico Estudio Hidrogeológico. Puntarenas.

Datos de los Censos Nacionales de Población y Vivienda 1973, 1984, 2000 y 2011. Instituto Nacional de Estadística y Censos.

Zueras, D. (08 de Junio de 2010). Costa Rica derrocha el agua. La Republica.

Presidente de la Republica, I. M. (02 de Febrero de 2005). Reglamento de las Asociaciones Administradoras de Sistemas de Acueductos y Alcantarillados Comunales. Costa Rica: Poder Ejecutivo.

Sanchez, L y Pujol, R (2013). Pronósticos de Población y Vivienda para el Plan Regulador de Garabito. Elaborado a través del Programa de Investigación en Desarrollo Urbano Sostenible de la Universidad de Costa Rica para la Municipalidad de Garabito

Sotelo, G. (1974). Hidráulica general . México D.F: LIMUSA S.A

Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. Normas de diseño de acueductos. San José, Costa Rica. 2005 y 2007.

Instituto Meteorológico Nacional (IMN). Fecha de consulta: 30 de Junio de 2017. URL: <http://www.imn.ac.cr/>

## **CAPÍTULO 9. ANEXOS**

### 9.1 Anexo 1. Cálculo de caudales para los 25 años de diseño de la población de Quebrada Amarilla.

Para el cálculo de caudales del año 2016

Población: 1138 personas

Dotación: 150 L/Pers/d

- Caudal promedio

(Población x Dotación) / 1000

$(1138 \times 150) / 1000 = 170.7 \text{ m}^3/\text{día}$

$170 / 24 = 7.11 \text{ m}^3/\text{hora}$

$$7.11 \times \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}} \times \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} \times \frac{1000 \text{ L}}{\text{m}^3} = 1.92 \frac{\text{L}}{\text{s}}$$

- Caudal máximo diario

Caudal prom x K1

$1.92 \times 1.2 = 2.30 \text{ L/s}$

- Caudal máximo horario

Caudal prom x K2

$2.30 \times 1.8 = 4.15 \text{ L/s}$

Se continúa con el mismo desglose de cálculos para los años siguientes, hasta llegar al 2041 donde se cumplen los 25 años de diseño.

## 9.2 Anexo 2. Cálculo de la recarga hidráulica de Quebrada Amarilla

- Cálculo de la retención de lluvia en el follaje (Ret)

Tabla 12. Cálculo de la retención de lluvia en el follaje.

|              | Ene  | Feb  | Mar  | Abr   | May   | Jun   | Jul   | Ago   | Sep   | Oct   | Nov   | Dic   |
|--------------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Ret (mm/mes) | 2,44 | 2,87 | 5,96 | 40,38 | 56,84 | 51,20 | 44,26 | 47,93 | 59,12 | 60,27 | 43,07 | 17,56 |

Fuente: Propia, 2017

Los datos de la tabla se obtienen según los datos de precipitación promedio mensual de la estación meteorológica de La Gloria y el coeficiente de retención de follaje (Cfo), el cual se determina según la vegetación que presenta la zona. La zona de Quebrada Amarilla presenta un tipo de vegetación no muy densa y se utiliza 0,12. Los datos de precipitación promedio de la estación meteorológica La Gloria se pueden encontrar en el Apéndice 2.

Según la ecuación (22)

$$\text{Ret} = P \times \text{Cfo}$$

Para el mes de Enero tendríamos el siguiente resultado.

$$\text{Ret} = 20,35 \times 0,12$$

$$\text{Ret} = 2,44 \text{ mm.}$$

El cálculo se hace de igual forma para todos los meses de interés.

- Cálculo de la precipitación que infiltra mensualmente al suelo (Pi)

Coeficiente de infiltración (Ci)

Según la ecuación (21)

$$C_i = K_p + K_v + K_{fc}$$

$$C_i = 0,25 + 0,12 + 0,65$$

$$C_i = 0,88$$

Para un  $f_c$  que define el estudio hidrogeológico de la zona de Garabito como 192 mm/día, utilizamos la ecuación (19).

$$K_{fc} = 0,267 \ln(192) - 0,00154(192) - 0,723$$

$$K_{fc} = 0,65 \text{ mm}$$

Por tanto, tenemos para el mes de Enero según la ecuación (22)

$$P_i = (C_i) \times (P - \text{Ret})$$

$$P_i = (0,88) \times (20,35 - 2,44)$$

$$P_i = 15,76 \text{ mm/mes}$$

Se sigue el mismo procedimiento de cálculo para los siguientes meses.

Tabla 13. Cálculo de la precipitación que infiltra en el suelo mensualmente.

|             | Ene   | Feb   | Mar   | Abr    | May    | Jun    | Jul    | Ago    | Sep    | Oct    | Nov    | Dic    |
|-------------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Pi (mm/mes) | 15,76 | 18,54 | 38,40 | 260,57 | 366,79 | 330,39 | 285,60 | 309,30 | 381,52 | 388,96 | 277,95 | 113,29 |

Fuente: Propia, 2017

- Cálculo de la evapotranspiración potencial de la vegetación (ETP)

Para el cálculo de la evapotranspiración potencial de la vegetación, vamos a utilizar la Tabla 5 para el porcentaje de luz solar mensual necesario como dato de entrada la ecuación (25). Para el dato de la temperatura promedio se van a utilizar los datos de temperatura promedio de la estación de Lagunillas.

Para el resultado del mes de Enero tendríamos lo siguiente:

$$ETP = (8,10 + 0,46T) \times Ps$$

$$ETP = (8,10 + (0,46 \times 26,8)) \times 8,13$$

$$ETP = 166,08 \text{ mm/mes}$$

El mismo procedimiento de cálculo se sigue para la obtención de la evapotranspiración potencial de vegetación, para los siguientes meses.

Tabla 14. Cálculo de la evapotranspiración potencial de la vegetación (ETP)

|              | Ene    | Feb    | Mar    | Abr    | May    | Jun    | Jul    | Ago    | Sep    | Oct    | Nov    | Dic    |
|--------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| ETP (mm/mes) | 166,08 | 157,58 | 180,39 | 179,45 | 182,60 | 174,69 | 178,75 | 175,52 | 165,12 | 166,53 | 157,58 | 162,86 |

Fuente: Propia, 2017

- Cálculo de los coeficientes de humedad

Para el mes de Enero calculamos el C1, coeficiente de humedad que no considera la evapotranspiración de la vegetación. La ecuación (27) la resolvemos de la siguiente manera.

$$C1 = (H_{si} - PM + P_i) / (CC - PM)$$

$$C1 = (52 - 70,2 + 15,76) / (145,8 - 70,2)$$

$$C1 = -0,0323$$

La humedad de suelo al inicio del mes ( $H_{si}$ ) se toma del estudio hidrogeológico de la UCR para la zona de Garabito. Además, el Punto de marchitez (PM) y la capacidad de campo (CC) se toman de la Tabla 4. Se transforman los valores de porcentajes a mm de la siguiente manera. Se escogen los datos de la tabla según la caracterización del suelo en nuestro caso un suelo franco arcilloso. La profundidad de raíces se toma como 40 cm por ser una zona en donde solo hay zacate.

$$CC = CC\% \times \text{Densidad aparente} \times 1000 \times \text{Profundidad de raíces}$$

$$CC = (27\% \times 1,35 \times 0,40 \times 1000)$$

$$CC = 145,8 \text{ mm}$$

De igual manera se procede con el cálculo del punto de marchitez (PM).

Es importante recalcar que ninguno de los coeficientes de humedad C1 y C2 pueden ser superiores a 1 o menores que 0. En caso de que sean mayores que 1 se toma el valor 1 y en el caso de que sean valores negativos se toma el valor 0. Por tanto, en el desglose de resultados para el mes de Enero C1 va a ser igual a 0, debido a que -0,0323 es un valor negativo. Se sigue la misma metodología para los siguientes meses.

El cálculo del coeficiente de humedad C2 para el mes de Enero, utiliza la ecuación (28)

$$ETR1 = (C1) \times (ETP)$$

$$ETR1 = -0,0323 \times 166,08$$

$$ETR1 = -5,362 \text{ mm/mes}$$

$$C2 = (HS_i - PM + P_i - ETR1) / (CC - PM)$$

$$C2 = (52 - 70,2 + 15,76 - (-5,362)) / (145,8 - 70,2)$$

$$C2 = 0,0386$$

Por tanto, se utiliza el mismo valor de C2 debido a que no es mayor que 1 y tampoco es un valor negativo.

Tabla 15. Cálculo de coeficientes humedad C1 y C2

| Coef. Humedad | Ene     | Feb     | Mar    | Abr     | May    | Jun     | Jul     | Ago    | Sep    | Oct    | Nov     | Dic   |
|---------------|---------|---------|--------|---------|--------|---------|---------|--------|--------|--------|---------|-------|
| C1            | -0,0323 | -0,6833 | -0,421 | 2,5181  | 3,9231 | 4,6917  | 4,09919 | 4,4126 | 5,368  | 5,466  | 3,998   | 1,82  |
| C1 final      | 0       | 0       | 0      | 1       | 1      | 1       | 1       | 1      | 1      | 1      | 1       | 1     |
| C2            | 0,03864 | 1,42884 | 1,2709 | -2,7714 | -4,865 | -6,7117 | -6,1552 | -6,395 | -6,918 | -7,137 | -4,8977 | -2,66 |
| C2 final      | 0,03864 | 1       | 1      | 0       | 0      | 0       | 0       | 0      | 0      | 0      | 0       | 0     |
| ETR1          | -5,3624 | -107,68 | -75,88 | 451,88  | 716,38 | 819,6   | 732,732 | 774,52 | 886,35 | 910,3  | 630,01  | 296,4 |

Fuente: Propia, 2017

- Cálculo de la humedad disponible

Siguiendo la memoria de cálculo para el mes de Enero, vamos a utilizar la ecuación (30) para el cálculo de la humedad disponibles, la cual como se definió en el marco teórico es la humedad que las plantas pueden tomar para el proceso de evapotranspiración.

$$HD = HSi + Pi - PM$$

$$HD = 52 + 15,76 - 70,6$$

$$HD = - 2,44 \text{ mm/mes}$$

Para el cálculo de la humedad disponibles de los siguientes meses se sigue la misma metodología.

Tabla 16. Cálculo de humedad disponible (HD)

| Humedad Disp | Ene   | Feb    | Mar    | Abr    | May    | Jun    | Jul    | Ago    | Sep    | Oct    | Nov    | Dic    |
|--------------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| HD           | -2,44 | -51,66 | -31,80 | 190,37 | 296,59 | 354,69 | 309,90 | 333,60 | 405,82 | 413,26 | 302,25 | 137,59 |

Fuente: Propia, 2017

- Cálculo de la evapotranspiración real promedio de la zona ocurrida en un mes (ETR)

Primero se debe de obtener el cálculo de la evapotranspiración real tentativa de la zona (ETPR), valor que va a condicionar el resultado final de la evapotranspiración real promedio ocurrida en un mes (ETP). Según la ecuación (29), se tiene lo siguiente:

$$ETPR = ((C1+C2)/2) \times ETP$$

$$ETPR = ((0 + 0,0386) / 2) \times 166,08$$

$$ETPR = 3,21$$

Los valores de C1 y C2 en la ecuación (29), no pueden ser mayor que el valor 1 ni valores negativos. Por lo tanto, si el valor es mayor que el valor 1 se utiliza el valor 1, en caso contrario, si el valor es negativo se utiliza el valor 0.

El cálculo del valor ETPR se realiza para el mes de Enero sin embargo se sigue la misma metodología para los demás meses de interés.

El valor de ETR se calcula según la ecuación (31) ó (32), depende directamente de si el valor de la evapotranspiración real tentativa de la zona (ETPR) es menor o igual o bien si el valor es mayor que la humedad relativa (HD). Para el caso del mes de Enero se presenta el desglose.

$$ETPR > HD$$

$$3,21 > - 2,44$$

Bajo esa condición se utiliza la ecuación (32) para el cálculo de la evapotranspiración promedio de la zona ocurrida en un mes (ETR).

$$ETR = HSi + Pi - PM$$

$$ETR = 52 + 15,76 - 70,2$$

$$ETR = - 2,44 \text{ mm/mes}$$

Tabla 17. Cálculo de la evapotranspiración promedio de la zona (ETR)

|           | Ene   | Feb    | Mar    | Abr    | May    | Jun    | Jul   | Ago   | Sep    | Oct   | Nov    | Dic   |
|-----------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|--------|-------|--------|-------|
| ETPR      | 3,21  | 78,79  | 90,20  | 89,73  | 91,30  | 87,35  | 89,38 | 87,76 | 82,56  | 83,27 | 78,79  | 81,43 |
| HD        | -2,44 | -51,66 | -31,8  | 190,37 | 296,59 | 354,69 | 309,9 | 333,6 | 405,82 | 413,3 | 302,25 | 137,6 |
| ETR Final | -2,44 | -51,66 | -31,80 | 89,73  | 91,30  | 87,35  | 89,38 | 87,76 | 82,56  | 83,27 | 78,79  | 81,43 |

Fuente: Propia, 2017

- Cálculo de la humedad de suelo final del mes (HSf)

El cálculo de la humedad de suelo final (HSf) se calcula según la ecuación (33) ó (34), queda bajo la restricción de si la siguiente ecuación es mayor o menor que la capacidad de campo (CC).

$$HD + PM - ETR < CC$$

$$-2,44 + 70,2 - (-2,44) < 145,8$$

$$70,2 < 145,8$$

Por tanto, se utiliza la ecuación (33), para obtener la humedad de suelo final del mes.

$$HSf = HD + PM - ETR$$

$$HSf = 70,2 \text{ mm}$$

Tabla 18. Cálculo de la humedad de suelo final del mes (HSf)

| Cálculo de HSf     | Ene   | Feb   | Mar   | Abr    | May    | Jun    | Jul    | Ago    | Sep    | Oct    | Nov    | Dic    |
|--------------------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| HSf                | 70,20 | 70,20 | 70,20 | 170,84 | 275,49 | 337,54 | 290,72 | 316,04 | 393,46 | 400,19 | 293,66 | 126,36 |
| Capacidad de campo | 145,8 | 145,8 | 145,8 | 145,8  | 145,8  | 145,8  | 145,8  | 145,8  | 145,8  | 145,8  | 145,8  | 145,8  |
| HSf final          | 70,20 | 70,20 | 70,20 | 145,8  | 145,8  | 145,8  | 145,8  | 145,8  | 145,8  | 145,8  | 145,8  | 126,36 |

Fuente: Propia, 2017

- Cálculo de la recarga potencial (Rp)

Para el cálculo de la recarga potencial se utiliza la ecuación (35), se desarrolla a continuación para el mes de Enero y se sigue la misma metodología para los siguientes meses de estudio.

$$R_p = P_i + H_{Si} - H_{Sf} - ETR$$

$$R_p = 15,76 + 52 - 70,2 - (-2,44)$$

$$R_p = 0 \text{ mm/mes.}$$

Tabla 19. Cálculo de la recarga potencial (Rp)

| Cálculo de R. Hidráulica | Ene  | Feb  | Mar  | Abr   | May    | Jun    | Jul    | Ago    | Sep    | Oct    | Nov    | Dic  |
|--------------------------|------|------|------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|------|
| Rp                       | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 25,04 | 129,68 | 191,74 | 144,92 | 170,23 | 247,67 | 254,39 | 147,86 | 0,00 |

Fuente: Propia, 2017

### 9.3 Anexo 3. Cálculo de Caudales para la población de los proyectos de bien social Nueva Hermosa y Santo Tomás.

Población: 1660 personas

Dotación: 150 L/Pers/d

- Caudal Promedio

(Población x Dotación) /1000

$$(1660 \times 150) / 1000 = 249 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$249/24 = 10,38 \text{ m}^3/\text{hora}$$

$$10,38 \times \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}} \times \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} \times \frac{1000 \text{ L}}{\text{m}^3} = 2,80 \text{ L/s}$$

- Caudal máximo diario

Caudal prom x K1

$$2,80 \times 1,2 = 3,36 \text{ L/s}$$

- Caudal máximo horario

Caudal prom x K2

$$2,80 \times 1,80 = 5,04 \text{ L/s}$$

## **CAPÍTULO 10. APÉNDICE**

### 10.1 Apéndice 1. Tabla de crecimiento poblacional Garabito

| Años         | 1970        | 1971        | 1972        | 1973        | 1974        | 1975        | 1976        | 1977        | 1978        | 1979        | 1980        | 1981        | 1982        | 1983        | 1984        | 1985        |
|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 0-4          | 440         | 409         | 378         | 353         | 331         | 314         | 303         | 298         | 298         | 301         | 307         | 313         | 317         | 319         | 324         | 334         |
| 5-9          | 420         | 402         | 386         | 368         | 347         | 327         | 304         | 283         | 266         | 251         | 241         | 240         | 243         | 251         | 264         | 277         |
| 10-14        | 329         | 316         | 303         | 292         | 282         | 271         | 261         | 252         | 243         | 234         | 224         | 212         | 200         | 192         | 186         | 188         |
| 15-19        | 217         | 203         | 197         | 197         | 199         | 203         | 209         | 219         | 229         | 238         | 240         | 236         | 226         | 214         | 204         | 196         |
| 20-24        | 162         | 164         | 165         | 165         | 167         | 169         | 173         | 175         | 178         | 182         | 187         | 194         | 203         | 212         | 219         | 226         |
| 25-29        | 107         | 111         | 113         | 114         | 115         | 118         | 121         | 124         | 127         | 131         | 138         | 148         | 157         | 169         | 182         | 195         |
| 30-34        | 128         | 132         | 127         | 119         | 112         | 106         | 99          | 92          | 85          | 80          | 80          | 86          | 97          | 111         | 127         | 142         |
| 35-39        | 110         | 101         | 93          | 88          | 84          | 79          | 75          | 71          | 68          | 67          | 66          | 65          | 65          | 66          | 68          | 75          |
| 40-44        | 112         | 101         | 90          | 83          | 77          | 72          | 69          | 68          | 69          | 69          | 69          | 67          | 62          | 58          | 56          | 56          |
| 45-49        | 71          | 71          | 69          | 69          | 67          | 65          | 63          | 60          | 56          | 53          | 51          | 51          | 53          | 57          | 60          | 62          |
| 50-54        | 6           | 63          | 60          | 56          | 53          | 51          | 49          | 48          | 47          | 47          | 46          | 46          | 46          | 46          | 46          | 48          |
| 55-59        | 45          | 45          | 42          | 40          | 37          | 34          | 32          | 32          | 30          | 29          | 30          | 31          | 34          | 38          | 40          | 43          |
| 60-64        | 58          | 52          | 48          | 45          | 43          | 40          | 38          | 36          | 34          | 32          | 30          | 28          | 27          | 25          | 24          | 24          |
| 65-69        | 21          | 21          | 21          | 21          | 22          | 22          | 23          | 23          | 22          | 23          | 23          | 23          | 24          | 25          | 25          | 25          |
| 70-74        | 25          | 25          | 24          | 21          | 20          | 18          | 17          | 15          | 14          | 14          | 13          | 13          | 14          | 16          | 16          | 18          |
| 75+          | 19          | 18          | 17          | 16          | 15          | 15          | 15          | 15          | 14          | 15          | 15          | 15          | 16          | 16          | 17          | 18          |
| <b>Total</b> | <b>2330</b> | <b>2234</b> | <b>2133</b> | <b>2047</b> | <b>1971</b> | <b>1904</b> | <b>1851</b> | <b>1811</b> | <b>1780</b> | <b>1766</b> | <b>1760</b> | <b>1768</b> | <b>1784</b> | <b>1815</b> | <b>1858</b> | <b>1927</b> |

| Años         | 1986        | 1987        | 1988        | 1989        | 1990        | 1991        | 1992        | 1993        | 1994        | 1995        | 1996        | 1997        | 1998        | 1999        | 2000        | 2001        |
|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 0-4          | 348         | 360         | 374         | 391         | 407         | 421         | 439         | 464         | 492         | 525         | 566         | 611         | 658         | 710         | 761         | 813         |
| 5-9          | 290         | 303         | 313         | 325         | 343         | 363         | 381         | 402         | 432         | 464         | 501         | 548         | 602         | 656         | 708         | 762         |
| 10-14        | 198         | 215         | 235         | 261         | 292         | 326         | 360         | 396         | 434         | 476         | 522         | 565         | 608         | 653         | 690         | 720         |
| 15-19        | 190         | 187         | 188         | 195         | 209         | 233         | 266         | 307         | 355         | 406         | 458         | 509         | 556         | 604         | 657         | 714         |
| 20-24        | 229         | 230         | 232         | 233         | 238         | 241         | 246         | 259         | 284         | 323         | 383         | 459         | 544         | 635         | 726         | 815         |
| 25-29        | 211         | 228         | 245         | 263         | 278         | 287         | 292         | 299         | 316         | 344         | 382         | 430         | 494         | 572         | 667         | 792         |
| 30-34        | 157         | 172         | 188         | 205         | 225         | 248         | 271         | 296         | 327         | 361         | 395         | 432         | 473         | 522         | 583         | 651         |
| 35-39        | 85          | 98          | 114         | 132         | 152         | 173         | 197         | 221         | 250         | 283         | 320         | 357         | 398         | 442         | 488         | 534         |
| 40-44        | 56          | 58          | 61          | 67          | 78          | 93          | 113         | 136         | 163         | 193         | 226         | 262         | 300         | 340         | 385         | 433         |
| 45-49        | 62          | 61          | 59          | 59          | 63          | 67          | 72          | 79          | 91          | 109         | 134         | 165         | 200         | 239         | 283         | 330         |
| 50-54        | 51          | 55          | 61          | 66          | 71          | 73          | 73          | 74          | 79          | 89          | 102         | 117         | 137         | 164         | 200         | 248         |
| 55-59        | 44          | 45          | 45          | 46          | 49          | 54          | 59          | 66          | 75          | 84          | 93          | 101         | 111         | 126         | 147         | 172         |
| 60-64        | 26          | 29          | 33          | 38          | 41          | 44          | 45          | 48          | 52          | 56          | 63          | 70          | 79          | 91          | 102         | 113         |
| 65-69        | 24          | 24          | 23          | 23          | 23          | 26          | 29          | 33          | 37          | 42          | 47          | 51          | 57          | 62          | 70          | 78          |
| 70-74        | 19          | 21          | 23          | 24          | 24          | 24          | 24          | 24          | 24          | 26          | 28          | 32          | 36          | 40          | 45          | 50          |
| 75+          | 20          | 20          | 22          | 24          | 26          | 29          | 33          | 36          | 39          | 44          | 49          | 54          | 59          | 66          | 73          | 81          |
| <b>Total</b> | <b>2010</b> | <b>2106</b> | <b>2216</b> | <b>2352</b> | <b>2519</b> | <b>2702</b> | <b>2900</b> | <b>3140</b> | <b>3450</b> | <b>3825</b> | <b>4269</b> | <b>4763</b> | <b>5312</b> | <b>5922</b> | <b>6585</b> | <b>7306</b> |

Fuente: Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC)

### 10.2 Apéndice 2. Cantidad de lluvia registrada en la estación La Gloria

| Año      | Enero | Febrero | Marzo | Abril  | Mayo   | Junio  | Julio  | Agosto | Septiembre | Octubre | Noviembre | Diciembre |
|----------|-------|---------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|------------|---------|-----------|-----------|
| 1978     |       |         | 41    | 1,6    |        |        |        | 337    | 434,5      | 563,3   | 353,7     | 0         |
| 1979     | 0     | 0       | 0     | 597,8  | 439,9  | 491,6  | 194,5  | 303,9  | 587,8      | 366,7   | 247,6     | 239,3     |
| 1980     | 60,6  | 6,5     | 6,6   | 183,7  | 567,2  | 231,1  | 312,1  | 271    | 489,7      | 704,2   | 585,1     | 193       |
| 1981     | 0     | 24,9    | 122,6 | 1020,2 | 810,1  | 633,2  | 569,6  | 941,9  | 544,2      | 606,9   | 376,2     | 297,4     |
| 1982     | 28,4  | 64,8    | 113,8 | 106,2  | 288    |        | 292    | 180,6  | 665        | 490     | 232       | 0,9       |
| 1983     | 1,7   | 23,5    |       | 109,4  | 263    | 312,1  | 338,8  |        | 455,1      | 511,7   |           | 147,2     |
| 1984     | 31,4  |         | 13,6  |        |        | 465,2  | 505,8  | 362    | 272,4      | 273,1   |           |           |
| Promedio | 20,35 | 23,94   | 49,60 | 336,48 | 473,64 | 426,64 | 368,80 | 399,40 | 492,67     | 502,27  | 358,92    | 146,30    |
| D,S,     | 24,43 | 25,24   | 55,01 | 393,91 | 224,68 | 157,90 | 141,06 | 273,16 | 125,65     | 145,25  | 141,41    | 123,46    |
| Min,     | 0,0   | 0,0     | 0,0   | 1,6    | 263,0  | 231,1  | 194,5  | 180,6  | 272,4      | 273,1   | 232,0     | 0,0       |
| Máx,     | 60,6  | 64,8    | 122,6 | 1020,2 | 810,1  | 633,2  | 569,6  | 941,9  | 665,0      | 704,2   | 585,1     | 297,4     |

Fuente: Instituto Meteorológico Nacional, 2012

### 10.3 Apéndice 3. Datos de Temperatura de la estación meteorológica Lagunillas.

| AÑO                                              | ENE  | FEB  | MAR  | ABR  | MAY  | JUN  | JUL  | AGO  | SET  | OCT  | NOV  | DIC  | Prom |
|--------------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 1986                                             |      |      |      |      | 30.8 | 29.3 | 30.0 | 30.1 | 29.9 | 29.2 | 29.9 | 31.3 | 30.1 |
| 1987                                             | 32.8 | 34.2 | 34.4 | 34.8 | 32.2 | 30.5 | 30.2 | 30.6 | 30.4 | 31.0 | 31.5 | 32.1 | 32.1 |
| 1988                                             | 33.2 | 33.9 | 33.7 | 32.9 | 31.2 | 29.7 | 29.7 | 29.7 | 29.5 | 29.4 | 30.5 | 30.9 | 31.2 |
| 1989                                             | 32.8 | 33.9 | 34.0 | 35.0 | 31.9 | 30.4 | 30.3 | 30.1 | 30.0 | 30.1 | 30.0 | 31.0 | 31.6 |
| 1990                                             | 33.4 | 33.8 |      | 35.5 | 32.6 | 32.1 | 31.4 | 32.1 | 30.5 | 30.1 | 30.1 | 30.1 | 32.0 |
| 1991                                             | 32.0 | 34.6 | 35.4 | 34.0 | 32.0 | 31.7 | 31.3 | 30.6 | 31.0 | 30.4 | 30.6 | 31.5 | 32.1 |
| 1992                                             | 33.8 | 35.1 | 37.2 | 35.8 | 34.5 | 31.7 | 30.1 | 30.8 | 30.0 | 30.0 | 29.9 | 31.2 | 32.5 |
| 1993                                             | 32.1 | 34.2 | 34.5 | 34.3 | 31.3 | 30.9 | 30.3 | 30.1 | 29.0 | 30.2 | 29.8 | 31.5 | 31.5 |
| 1994                                             | 32.2 | 33.8 | 34.0 | 33.9 | 31.3 | 29.9 | 29.8 | 29.8 | 30.1 | 29.3 | 29.4 | 31.7 | 31.3 |
| 1995                                             | 33.7 | 34.8 | 33.6 | 32.3 | 30.3 | 30.0 | 29.7 | 29.8 | 29.7 | 29.4 | 30.1 | 30.4 | 31.2 |
| 1996                                             | 31.3 | 33.3 | 34.2 | 32.9 | 29.8 | 29.0 | 29.2 | 29.3 | 29.4 |      | 28.9 | 31.3 | 30.8 |
| 1997                                             | 31.7 | 33.3 | 34.5 | 34.2 | 33.0 | 31.3 | 32.4 | 32.9 | 31.8 | 31.3 | 30.9 | 32.2 | 32.5 |
| 1998                                             | 34.6 | 35.3 | 35.8 | 36.5 | 33.5 | 30.9 | 30.1 | 29.8 | 29.7 | 28.9 | 29.4 | 29.5 | 32.0 |
| 1999                                             | 31.0 | 32.8 | 33.9 | 33.6 | 31.0 | 30.0 | 29.9 | 29.7 | 28.9 | 29.7 | 29.5 | 30.4 | 30.9 |
| 2000                                             |      | 34.2 | 34.5 | 35.2 | 32.4 | 31.0 | 31.1 | 31.0 | 29.5 | 30.2 | 29.9 |      | 31.9 |
| 2002                                             |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 32.6 | 32.6 |
| Prom.                                            | 32.7 | 34.1 | 34.6 | 34.4 | 31.9 | 30.6 | 30.4 | 30.4 | 29.9 | 29.9 | 30.0 | 31.2 | 31.6 |
| D.S.                                             | 1.04 | .71  | 1.00 | 1.20 | 1.25 | .91  | .83  | .97  | .75  | .69  | .66  | .84  |      |
| Máximo                                           | 34.6 | 35.3 | 37.2 | 36.5 | 34.5 | 32.1 | 32.4 | 32.9 | 31.8 | 31.3 | 31.5 | 32.6 |      |
| Mínimo                                           | 31.0 | 32.8 | 33.6 | 32.3 | 29.8 | 29.0 | 29.2 | 29.3 | 28.9 | 28.9 | 28.9 | 29.5 |      |
| Espacio en blanco = Ausencia de dato o mes es -9 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| D.S. = Desviación estándar                       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |

Fuente: Instituto Meteorológico Nacional, 2012

| AÑO                                              | ENE   | FEB  | MAR  | ABR  | MAY  | JUN  | JUL  | AGO  | SET  | OCT  | NOV  | DIC  | Prom. |
|--------------------------------------------------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| 1986                                             |       |      |      |      | 22.8 | 22.4 | 22.2 | 22.3 | 21.4 | 21.7 | 21.3 | 20.6 | 21.8  |
| 1987                                             | 21.6  | 23.0 | 23.7 | 24.8 |      | 23.1 | 22.6 | 22.0 | 22.3 | 22.1 | 21.3 | 21.6 | 22.6  |
| 1988                                             | 21.0  | 23.2 | 23.4 | 22.5 | 22.7 | 21.9 | 21.4 | 21.5 | 21.5 | 21.3 | 21.1 | 19.6 | 21.7  |
| 1989                                             | 19.6  | 22.0 | 21.5 | 23.9 | 22.7 | 22.4 | 22.2 | 22.0 | 22.2 | 21.6 | 22.8 | 21.9 | 22.1  |
| 1990                                             | 22.8  | 22.0 | 23.1 | 25.5 | 23.7 | 24.3 | 23.5 | 23.6 | 22.3 | 22.1 | 21.7 | 21.3 | 23.0  |
| 1991                                             | 19.9  | 23.6 | 23.0 | 23.1 | 23.0 | 23.1 | 22.0 | 21.4 | 21.7 | 21.3 | 20.4 | 20.3 | 21.9  |
| 1992                                             | 21.1  | 22.2 | 24.0 | 23.8 | 23.4 | 22.6 | 21.3 | 21.7 | 21.5 | 21.0 | 20.5 | 20.3 | 21.9  |
| 1993                                             | 20.8  | 21.7 | 22.4 | 23.4 | 23.0 | 22.4 | 21.8 | 22.1 | 21.3 | 22.0 | 20.6 | 20.2 | 21.8  |
| 1994                                             | 19.8  | 21.7 | 21.7 | 23.0 | 22.2 | 21.4 | 21.4 | 21.5 | 21.9 | 21.4 | 21.4 | 21.4 | 21.6  |
| 1995                                             | 21.8  | 23.4 | 23.3 | 23.5 | 22.4 | 22.3 | 22.2 | 22.2 | 22.2 | 21.4 | 20.8 | 20.7 | 22.2  |
| 1996                                             | 20.4  | 21.0 | 22.3 | 22.3 | 21.7 | 21.6 | 21.3 | 20.9 | 21.5 |      | 20.9 | 20.8 | 21.3  |
| 1997                                             | 19.9  | 22.1 | 23.7 | 23.5 | 24.1 | 22.6 | 23.8 | 23.3 | 22.9 | 22.7 | 22.8 | 22.1 | 22.8  |
| 1998                                             | 22.9  | 23.3 | 24.9 | 25.3 | 24.7 | 22.8 | 22.0 | 21.9 | 22.3 | 22.4 | 21.7 | 20.7 | 22.9  |
| 1999                                             | 20.0  | 21.5 | 22.4 | 22.4 | 22.3 | 22.3 | 21.6 | 21.5 | 21.6 | 22.0 | 21.5 | 21.0 | 21.7  |
| 2000                                             |       | 22.7 | 22.7 | 24.0 | 23.1 | 22.6 | 22.6 | 22.5 | 21.5 | 21.3 | 21.6 |      | 22.5  |
| 2002                                             |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 22.9 | 22.9  |
| Prom.                                            | 20.9  | 22.4 | 23.0 | 23.6 | 23.0 | 22.5 | 22.1 | 22.0 | 21.9 | 21.7 | 21.4 | 21.0 | 22.1  |
| D.S.                                             | 1.12  | .79  | .92  | 1.00 | .78  | .69  | .76  | .71  | .47  | .49  | .73  | .85  |       |
| Máximo                                           | 22.9  | 23.6 | 24.9 | 25.5 | 24.7 | 24.3 | 23.8 | 23.6 | 22.9 | 22.7 | 22.8 | 22.9 |       |
| Mínimo                                           | 19.6' | 21.0 | 21.5 | 22.3 | 21.7 | 21.4 | 21.3 | 20.9 | 21.3 | 21.0 | 20.4 | 19.6 |       |
| Espacio en blanco = Ausencia de dato o mes es -9 |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |       |
| D.S. = Desviación estándar                       |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |       |

Fuente: Instituto meteorológico Nacional, 2012

#### 10.4 Apéndice 4. Datos de humedad de la estación meteorológica Lagunilla.

| 82 7 | LAGUNILLAS, OROTINA |     |     |     |     | Lat. 9 | ° 51 ' | "N  | Long. | 84° 36 | ii  | 0   | Alt. |
|------|---------------------|-----|-----|-----|-----|--------|--------|-----|-------|--------|-----|-----|------|
|      | ENE                 | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN    | JUL    | AGO | SET   | OCT    | NOV | DIC | Pro. |
| 1986 |                     |     |     |     | 85  | 89     | 88     | 87  | 88    | 89     | 86  | 77  | 86   |
| 1987 | 65                  | 63  | 67  | 62  | 77  |        | 86     | 89  | 85    | 83     | 82  | 81  | 76   |
| 1988 | 71                  | 66  | 63  | 78  | 86  | 92     | 90     | 92  | 92    | 92     | 89  | 85  | 83   |
| 1989 | 76                  | 69  | 71  | 69  | 84  | 84     | 83     | 86  | 85    | 85     | 84  | 76  | 79   |
| 1990 | 62                  | 62  | 62  | 73  | 87  | 89     | 88     | 88  | 88    | 88     | 88  | 83  | 80   |
| 1991 | 73                  | 59  | 65  | 74  | 86  | 84     | 86     | 80  | 82    | 82     | 79  | 69  | 77   |
| 1992 | 60                  | 57  | 52  | 56  | 73  | 85     | 87     | 88  | 89    | 90     | 87  | 80  | 75   |
| 1993 | 74                  | 61  | 66  | 71  | 86  | 88     | 88     | 88  | 89    | 87     | 85  | 75  | 80   |
| 1994 | 67                  | 61  | 64  | 66  | 81  | 85     | 88     | 91  | 88    | 88     | 88  | 75  | 78   |
| 1995 | 63                  | 58  | 68  | 79  | 83  | 84     | 85     | 85  | 85    | 87     | 86  | 84  | 79   |
| 1996 |                     |     |     | 77  | 91  | 92     | 91     | 91  | 91    | 90     |     |     | 89   |
| 1997 | 72                  | 66  | 61  | 68  | 73  | 84     | 82     | 79  | 82    | 82     | 82  | 67  | 75   |
| 1998 | 55                  | 64  | 57  | 61  | 70  | 80     | 80     | 78  | 91    | 93     | 90  | 86  | 75   |
| 1999 | 76                  | 63  | 59  | 69  | 80  | 81     | 81     | 83  | 84    | 79     | 81  | 75  | 76   |
| 2000 | 62                  | 51  | 55  | 58  | 75  | 81     | 79     | 83  | 85    | 83     | 83  |     | 72   |
| Pro. | 67                  | 62  | 62  | 69  | 81  | 86     | 85     | 86  | 87    | 87     | 85  | 78  | 78   |

Fuente: Instituto Meteorológico Nacional, 2012

### 10.5 Apéndice 5. Datos de Aforos ASADA de Esterillos

|  <b>ASOCIACIÓN ADMINISTRADORA DE ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS<br/>DE ESTERILLOS DE PARRITA<br/>CÉDULA JURÍDICA 3 002 221114</b> |            |             |           |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|-------------|-----------|
| Con respecto al caudal se indica con los aforos realizados:                                                                                                                                                      |            |             |           |
| Naciente                                                                                                                                                                                                         | Julio 2016 | Agosto 2016 |           |
| Quebrada Amarilla                                                                                                                                                                                                | 17.42      | 10.28       | 13.85 l/s |
| * Memo Vega (Playa Hermosa)                                                                                                                                                                                      |            |             | 27 l/s    |
| Pozo                                                                                                                                                                                                             |            |             |           |
| #1                                                                                                                                                                                                               | 47.05      | 44.13       | 45.59 l/s |
| #2                                                                                                                                                                                                               | 41.59      | 41.30       | 41.49 l/s |
| #3                                                                                                                                                                                                               | 18.45      | 21.09       | 19.77 l/s |

\* Nota: La Naciente de Memo Vega (Playa Hermosa):

Esta naciente, los primeros 6 meses el caudal osciló entre 0 l/s y 4 l/s

El día 22 de septiembre del año en curso, el Ing. Roy Quesada efectuó un análisis sobre la presión en la red, y se realizo aforo en dicha naciente, utilizándose un medidor ultrasónico, obteniéndose un caudal de 27 l/s

Sin otro particular

  
  
 Jorge García Carballo  
 AyA

Fuente: ASADA de Esterillos, 2016

## 10.6 Apéndice 6. Permiso de perforación de pozo.



Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados  
 REGION PACIFICO CENTRAL  
 Puntarenas, Costa Rica- Apartado 295401, Teléfono 2663-68-97, Ext. 12  
 Correo Electrónico aalvarez@aya.go.cr

Puntarenas 15 de Junio del 2017  
 N° SB- GSP- OMSAP-RPC -2017-115

Ingeniero  
 José Miguel Zaldón Calderón  
 Dirección de Agua-MINAE  
 San José

Estimado Ingeniero:

Espero que esté muy bien, por este medio le informo que en vista de que el Ingeniero Alberto González Solera es el Profesional Responsable (IC-16251) del desarrollo de los proyectos habitacionales denominados como "Santo Tomás (210 unidades habitacionales) y Nueva Hermosa (205 unidades habitacionales)", proyectos que se desarrollarán en los inmuebles con Plano de Catastro N° P-1886861-2013 (Folio Real N° 6019072-000) y N° P-1906518-2016 (Folio Real N° 6197931-000) respectivamente, y tomando en consideración que el propietario de los inmuebles, el Sr. Todd Malphurs se acogió a lo fundamentado en el artículo 38 de la Ley de Planificación Urbana para obtener la viabilidad técnica de los proyectos antes citados, el Sr. Malphurs deberá de construir un pozo de producción que cumpla con los requerimientos de cantidad y de calidad necesarios para abastecer a los proyectos de su interés, así como al crecimiento vegetativo circunvecino, esto a razón de la necesidad que tenemos de contar con más del recurso hídrico en la zona. De parte nuestra, existe la posibilidad de administrar el sistema de abastecimiento del proyecto en cuestión, siempre y cuando los resultados del pozo sean los deseados y se cumpla con toda la normativa vigente que existe al respecto, así como también se realicen las donaciones y obras civiles que se requieren para estos casos en particular, por lo anteriormente expuesto es que se solicita su aval para que el Sr. Todd Malphurs pueda realizar la exploración subterránea en una de sus propiedades.

La idea es que de contar con su autorización el pozo se inscriba (caudal) de una vez a nombre del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, sin más por el momento y deseándole solo lo mejor de lo mejor se despide muy,

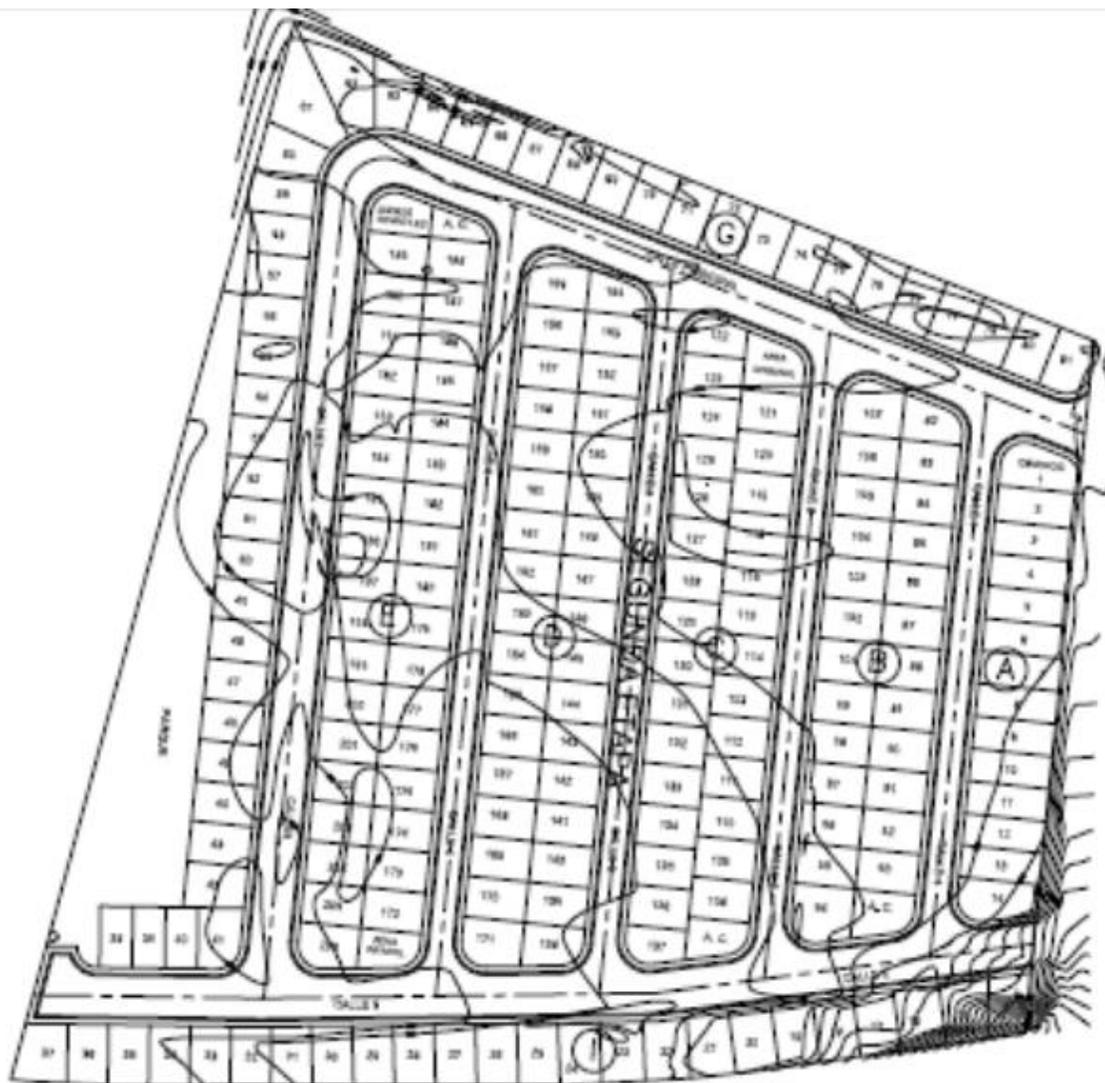
atentamente,

  
 Ing. Alexander Alvarez Barrantes  
 Dirección de Ingeniería Región Pacífico Central

cc. Ing. William Chaves Soto, Director Regional RPC  
 Licda. Silene Jiménez Aguilár, Jefa de la Cantona de Jacó  
 Ing. Alberto González Solera, Ingeniero Responsable (Proyectos)  
 Sr. Todd Malphurs, Propietario de los proyectos  
 Archivo

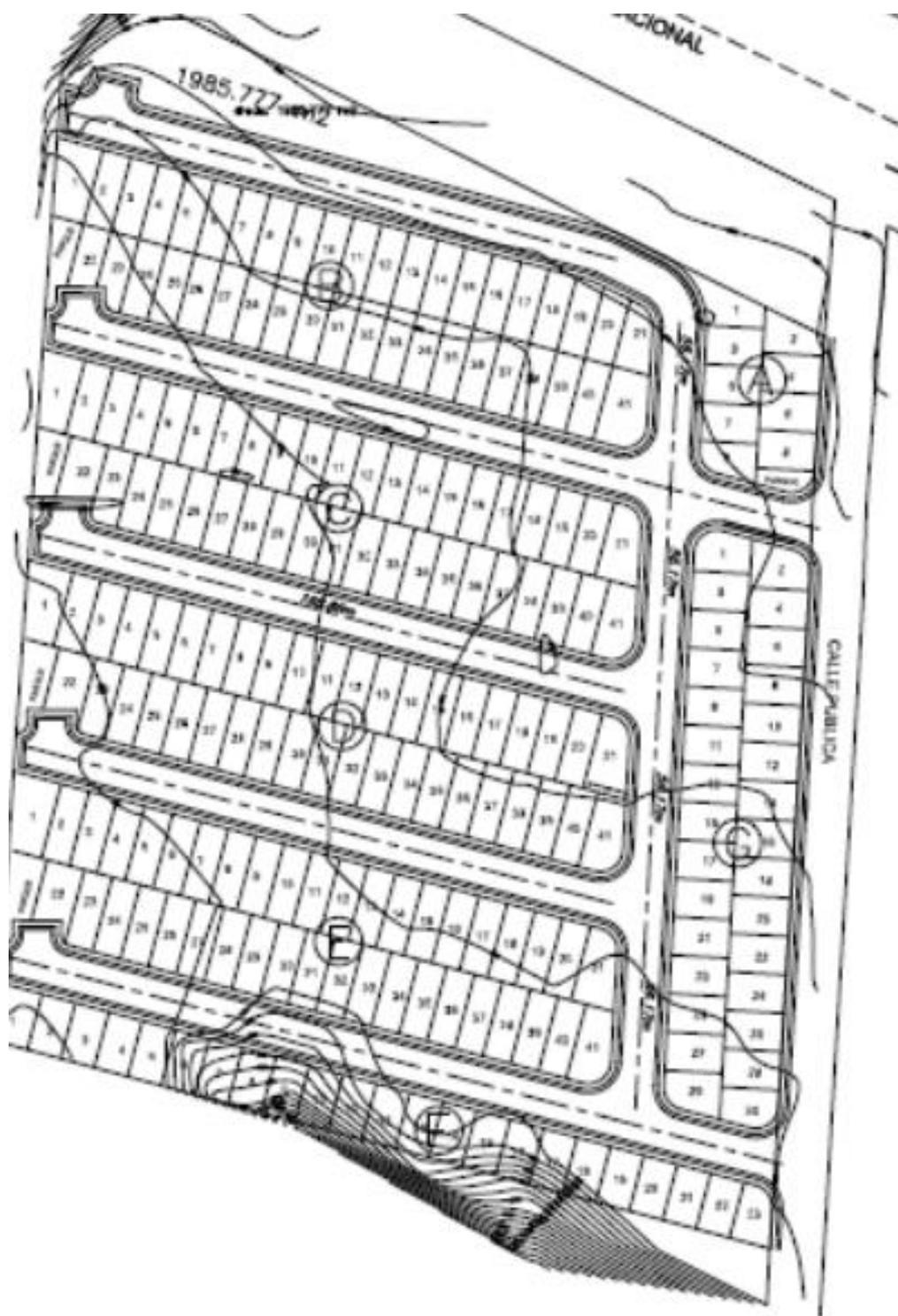


### 10.7 Apéndice 7. Diseño de proyecto Santo Tomás



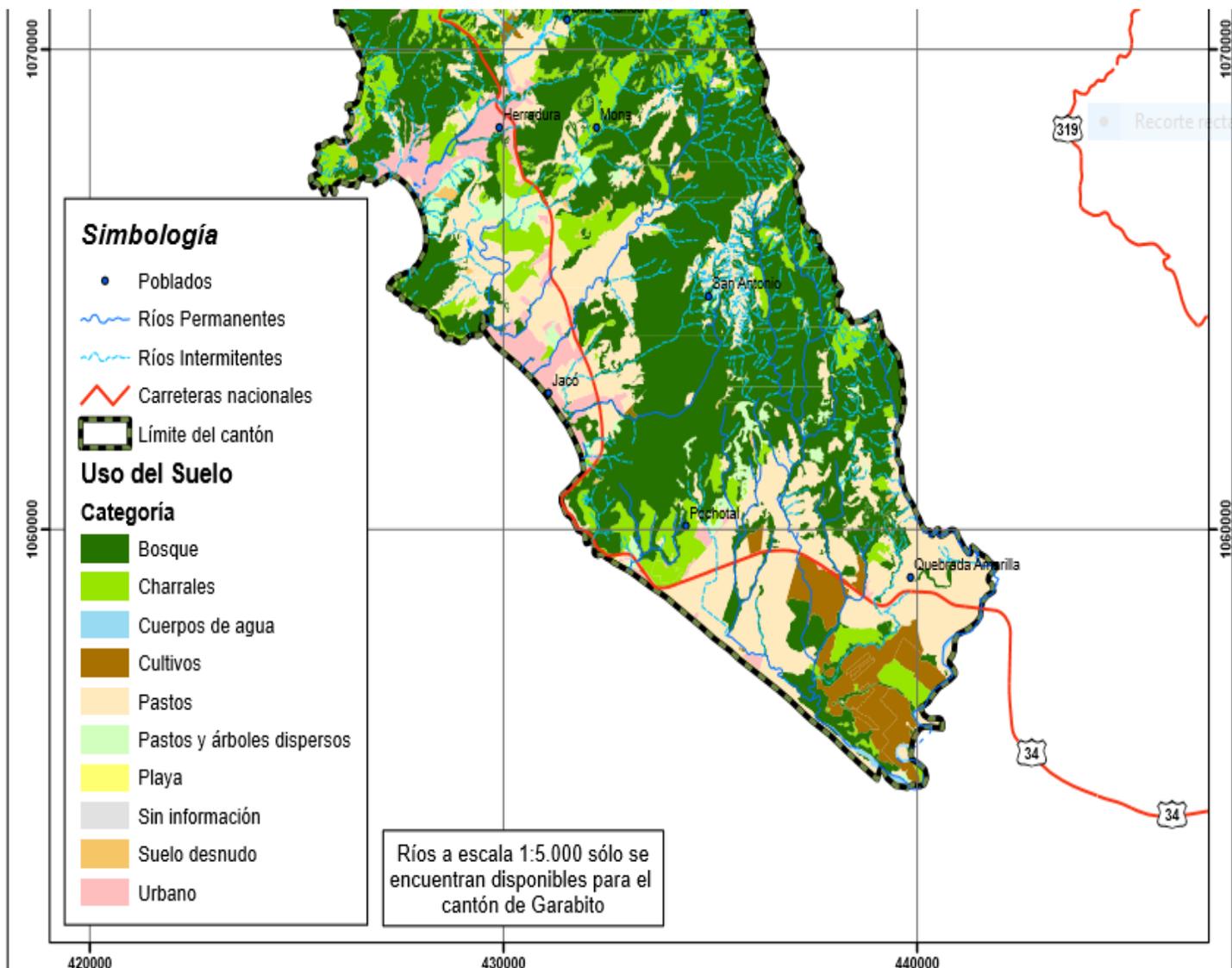
Fuente: Optima, 2013

### 10.8 Apéndice 8. Diseño de Proyecto Nueva Hermosa



Fuente: Optima, 2013

10.9 Apéndice 9. Mapa de tipo de vegetación y ubicación de Quebrada Amarilla



Mapa 1-7.9. Uso del suelo en el cantón de Garabito.

Plan Regulador del cantón de Garabito

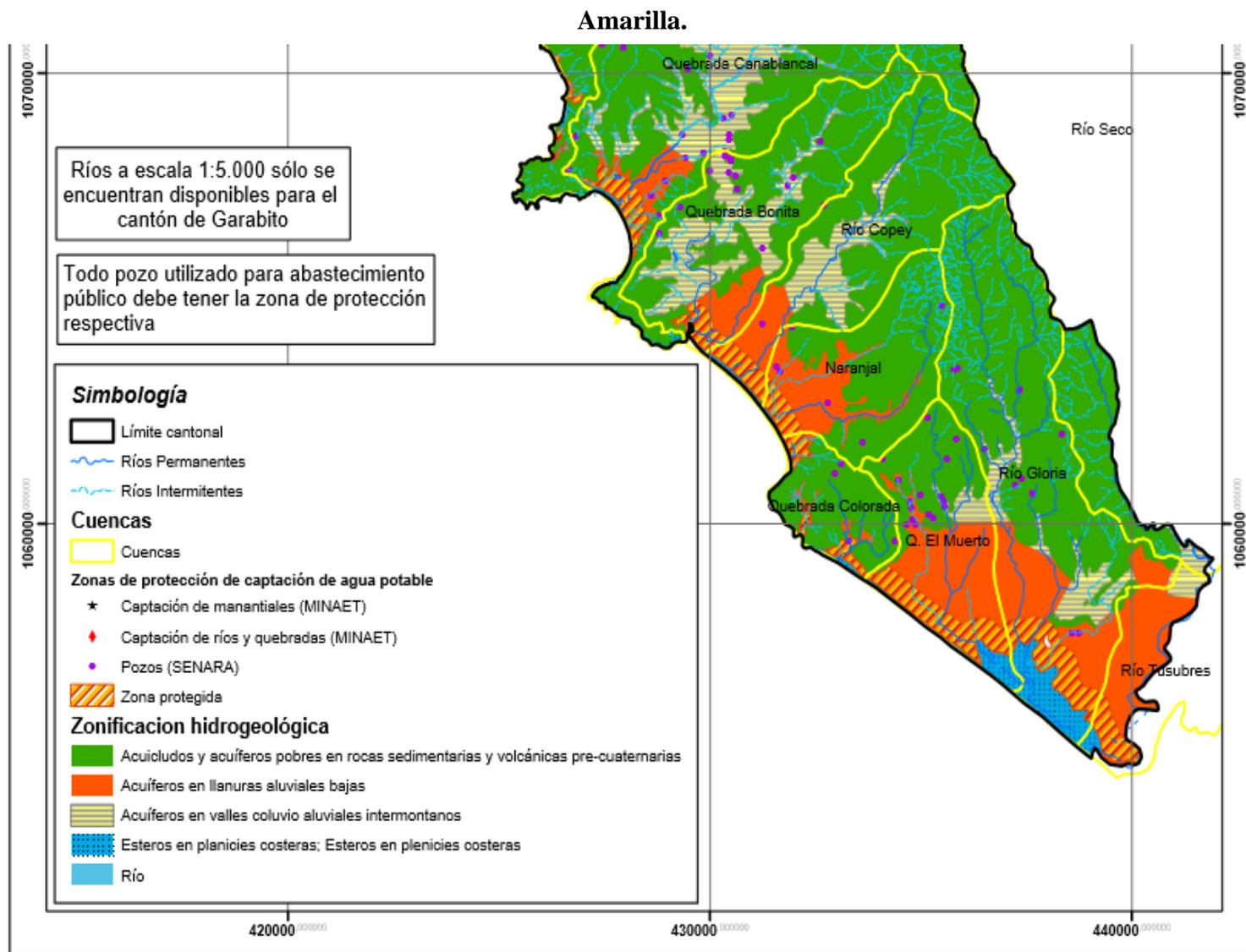
Fuente: Hojas Cartográficas de IGN, Escala 1:50000  
Fotografías Aéreas Carta 2005

0 1 2 4 Kilómetros  
Escala: 1:110.000  
Proyección CRTM 05



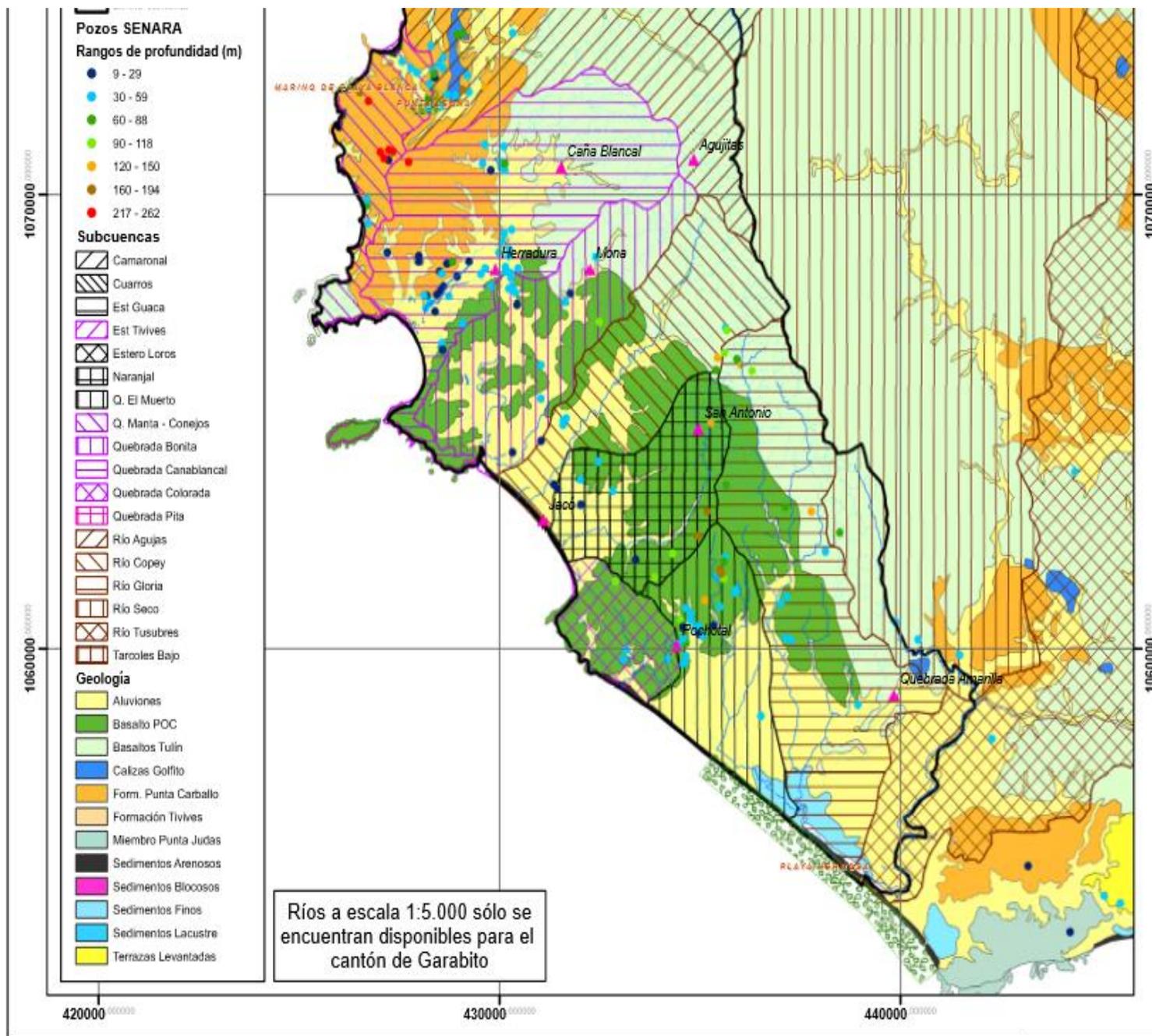
Fuente: Estudio Hidrogeológico de la UCR, 2013

10.10 Apéndice 10. Mapa de zonificación hidrogeológica de la zona de Quebrada Amarilla.



Fuente: Estudio hidrogeológico de la UCR, 2013

### 10.11 Apéndice 11. Mapa de ubicación de pozos de SENARA cerca de Quebrada Amarilla.



Fuente: Estudio Hidrogeológico de la UCR, 2013