

**Universidad de Costa Rica**  
**Facultad de Ingeniería**  
**Escuela de Ingeniería Civil**

**Diagnóstico de la Situación Actual y Propuesta de Mejoras para el  
Acueducto de Esterillos**

**Proyecto de Graduación**

Para obtener el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil

Presenta:

**Gloria Fernández Barrenechea**

Director de Proyecto de Graduación:

**Ing. Carlos Camacho Soto, M.E.**

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio

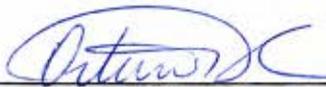
Director de Proyecto de Graduación:



---

**Ing. Carlos Camacho Soto, M.E.**

Asesores de Proyecto de Graduación:



---

**Ing. Arturo Rodríguez Castillo, M.Sc.**



---

**Ing. Federico Arellano Hartig, M.Sc.**

Graduando:



---

**Gloria Fernández Barrenechea**

**Fecha:** 2012, agosto, 1

**La suscrita, Gloria Fernández Barrenechea**, cédula 1-1273-0767, estudiante de la carrera de Licenciatura en Ingeniería Civil de la Universidad de Costa Rica, con número de carné **A42003**, manifiesta que es autora del Proyecto Final de Graduación **Diagnóstico de la Situación Actual y Propuesta de Mejoras para el Acueducto de Esterillos**, bajo la Dirección del **Ing. Carlos Camacho Soto M.E.**, quien en consecuencia tiene derechos compartidos sobre los resultados de esta investigación.

Asimismo, hago traspaso de los derechos de utilización del presente trabajo a la Universidad de Costa Rica, para fines académicos: docencia, investigación, acción social y divulgación.

**Nota:** De acuerdo con la Ley de Derechos de Autor y Derechos Conexos N° 6683, Artículo 7 (versión actualizada el 02 de julio del 2001); "no podrá suprimirse el nombre del autor en las publicaciones o reproducciones, ni hacer en ellas interpolaciones, sin una conveniente distinción entre el texto original y las modificaciones o adiciones editoriales". Además, el autor conserva el derecho moral sobre la obra, Artículo 13 de esta ley, por lo que es obligatorio citar la fuente de origen cuando se utilice información contenida en esta obra.

## **Dedicatoria**

A mis padres que todo se lo debo a ellos.

## **Reconocimientos**

A mis padres por darme la oportunidad de estudiar.

A mi Comité Asesor por su dedicación y su aporte en conocimientos y experiencia.

A todas las personas que de una u otra forma me ayudaron y me brindaron su apoyo.

## Índice de contenidos

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. JUSTIFICACIÓN.....	1
1.1.1. <i>Problema específico</i> .....	1
1.1.2. <i>Importancia</i> .....	2
1.2. OBJETIVO.....	2
1.2.1. <i>Objetivo General</i> .....	2
1.2.2. <i>Objetivos específicos</i> .....	2
1.3. MARCO TEÓRICO.....	3
1.3.1. <i>Pérdidas de energía</i> .....	3
1.3.1.1. <i>Pérdidas por fricción</i> .....	3
1.3.1.2. <i>Pérdidas locales</i> .....	4
1.3.2. <i>Golpe de ariete</i> .....	4
1.3.3. <i>Sistemas de tuberías</i> .....	5
1.3.3.1. <i>Sistemas simples</i> .....	5
1.3.3.2. <i>Sistemas compuestos</i> .....	6
1.3.4. <i>Software EPANET</i> .....	8
1.4. DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA.....	9
1.4.1. <i>Alcance</i> .....	9
1.4.2. <i>Limitaciones</i> .....	9
1.5. METODOLOGÍA.....	10
1.5.1. <i>Recopilación de información</i> .....	11
1.5.2. <i>Análisis de población y demanda</i> .....	11
1.5.3. <i>Diagnóstico del sistema actual</i> .....	11
1.5.4. <i>Mejoras al sistema</i> .....	11
1.5.5. <i>Conclusiones y recomendaciones</i> .....	12
1.6. MECANISMOS DE EVALUACIÓN DEL PROYECTO.....	12
CAPÍTULO 2. CARACTERIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	13
2.1. UBICACIÓN.....	13
2.2. CLIMA.....	14
2.2.1. <i>Brillo solar</i> .....	14
2.2.2. <i>Temperatura</i> .....	15
2.2.3. <i>Precipitación</i> .....	17
2.2.4. <i>Humedad relativa</i> .....	17
2.2.5. <i>Viento</i> .....	18
2.3. TOPOGRAFÍA.....	19
2.4. GEOLOGÍA.....	20
2.5. HIDROLOGÍA.....	21
2.6. RECURSOS HÍDRICOS DE LA ZONA.....	22
2.6.1. <i>Aguas superficiales</i> .....	22
2.6.2. <i>Aguas subterráneas</i> .....	23
2.7. SOCIOECONOMÍA DE LA ZONA.....	25
CAPÍTULO 3. POBLACIÓN.....	27

3.1. SERVICIOS FIJOS ACTUALES Y FUTUROS .....	27
3.2. MÉTODOS DE PROYECCIÓN DE POBLACIÓN .....	30
3.2.1. Método de crecimiento geométrico .....	31
3.2.2. Método de crecimiento aritmético .....	33
3.2.3. Método logístico .....	34
3.3. SELECCIÓN DE PROYECCIÓN .....	37
3.4. PROYECCIÓN DE LA POBLACIÓN EN EL ÁREA DE ESTUDIO .....	38
3.5. POBLACIÓN FLOTANTE .....	41
<b>CAPÍTULO 4. CONSUMO Y DEMANDA .....</b>	<b>44</b>
4.1. DOTACIONES .....	44
4.1.1. Población fija.....	44
4.1.2. Población flotante .....	45
4.2. DEMANDAS.....	47
4.2.1. Demanda promedio diaria .....	47
4.2.2. Demanda máxima diaria.....	47
4.2.3. Demanda máxima horaria .....	47
<b>CAPÍTULO 5. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO .....</b>	<b>50</b>
5.1. FUENTES DE ABASTECIMIENTO .....	50
5.1.1. Naciente.....	51
5.1.2. Pozos perforados .....	52
5.2. TUBERÍAS DE CONDUCCIÓN E IMPULSIÓN .....	53
5.3. TANQUE DE ALMACENAMIENTO.....	55
5.4. SISTEMA DE DESINFECCIÓN.....	56
5.5. RED DE DISTRIBUCIÓN.....	57
<b>CAPÍTULO 6. DIAGNÓSTICO DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO .....</b>	<b>59</b>
6.1. CAPACIDAD DE LAS FUENTES DE ABASTECIMIENTO.....	59
6.2. CAPACIDAD DE LA LÍNEA DE CONDUCCIÓN .....	59
6.3. CAPACIDAD DE LA LÍNEA DE IMPULSIÓN .....	63
6.4. CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO.....	64
6.5. CAPACIDAD DEL SISTEMA DE DESINFECCIÓN .....	65
6.6. CAPACIDAD DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN.....	66
<b>CAPÍTULO 7. PROPUESTA DE MEJORAS AL SISTEMA .....</b>	<b>75</b>
7.1. ZONAS DE PRESIÓN.....	75
7.2. FUENTES DE ABASTECIMIENTO .....	76
7.2.1. Zona de costa.....	77
7.2.2. Zona de montaña .....	77
7.3. LÍNEA DE CONDUCCIÓN .....	78
7.4. LÍNEAS DE IMPULSIÓN .....	79
7.4.1. Zona de costa.....	79
7.4.1.1. Diámetro de la tubería .....	79
7.4.1.2. Tipo de tubería .....	79
7.4.2. Zona de montaña .....	81
7.4.2.1. Diámetro de la tubería .....	81
7.4.2.2. Tipo de tubería .....	81
7.5. EQUIPOS DE BOMBEO .....	83
7.5.1. Zona de costa.....	83

7.5.2. Zona de montaña .....	84
7.6. TANQUES DE ALMACENAMIENTO .....	84
7.6.1. Zona de costa.....	84
7.6.2. Zona de montaña .....	85
7.7. SISTEMAS DE DESINFECCIÓN .....	87
7.8. REDES DE DISTRIBUCIÓN.....	88
7.8.1. Zona de costa.....	88
7.8.2. Zona de montaña .....	98
7.9. BLOQUES DE ANCLAJE.....	104
7.9.1. Tubería de impulsión.....	104
7.9.1.1. Zona de costa .....	105
7.9.1.2. Zona de montaña .....	105
7.9.2. Red de distribución .....	105
7.9.2.1. Zona de costa .....	105
7.9.2.2. Zona de montaña .....	106
7.10. PRESUPUESTO DE LAS OBRAS.....	108
<b>CAPÍTULO 8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>112</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>116</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>118</b>
ANEXO 1. UBICACIÓN DE POZOS CERCANOS .....	119
ANEXO 2. ANÁLISIS DE CALIDAD DE AGUA .....	121
ANEXO 3. PRUEBAS DE BOMBEO .....	128

## Índice de figuras

<b>Figura 2.1.</b> Ubicación de la zona de estudio.....	13
<b>Figura 2.2.</b> Valores promedio mensuales de brillo solar. ....	15
<b>Figura 2.3.</b> Valores promedio mensuales de temperaturas mínimas. ....	15
<b>Figura 2.4.</b> Valores promedio mensuales de temperaturas medias. ....	16
<b>Figura 2.5.</b> Valores promedio mensuales de temperaturas máximas.....	16
<b>Figura 2.6.</b> Valores promedio mensuales de precipitación.....	17
<b>Figura 2.7.</b> Valores promedio mensuales de humedad relativa. ....	18
<b>Figura 2.8.</b> Valores promedio mensuales de viento. ....	18
<b>Figura 2.9.</b> Mapa de modelo de elevaciones. ....	19
<b>Figura 2.10.</b> Mapa de geología. ....	20
<b>Figura 2.11.</b> Mapa de cuencas hidrográficas.....	21
<b>Figura 2.12.</b> Cuenca del río Tulín. ....	23
<b>Figura 3.1.</b> Ubicación de proyectos futuros.....	29
<b>Figura 3.2.</b> Gráfico de comportamiento de la población del distrito de Parrita. ....	30
<b>Figura 3.3.</b> Gráfico de resultados del método de crecimiento geométrico. ....	32
<b>Figura 3.4.</b> Gráfico de resultados del método de crecimiento aritmético. ....	34
<b>Figura 3.5.</b> Gráfico de resultados del método logístico.....	36
<b>Figura 3.6.</b> Gráfico de población proyectada en Parrita. ....	37
<b>Figura 3.7.</b> Factor de hacinamiento en el distrito de Parrita. ....	38
<b>Figura 5.1.</b> Ubicación de naciente y pozos. ....	50
<b>Figura 5.2.</b> Fotografía de la captación de la naciente. ....	51
<b>Figura 5.3.</b> Fotografía de caseta del Pozo #1.....	52
<b>Figura 5.4.</b> Fotografía de la caseta del Pozo #2. ....	53
<b>Figura 5.5.</b> Fotografía de la caseta del Pozo #3. ....	53
<b>Figura 5.6.</b> Fotografía de la tubería de conducción de 200 mm. ....	54
<b>Figura 5.7.</b> Esquema general del sistema. ....	55
<b>Figura 5.8.</b> Fotografía del tanque de almacenamiento existente.....	56
<b>Figura 5.9.</b> Esquema de equipo de cloración del acueducto de Esterillos. ....	57
<b>Figura 6.1.</b> Resultado de la modelación de la línea de conducción existente. ....	60
<b>Figura 6.2.</b> Perfil de la línea de conducción.....	62
<b>Figura 6.3.</b> Perfil de la línea de impulsión. ....	63
<b>Figura 6.4.</b> Red de distribución existente, Parte I.....	68
<b>Figura 6.5.</b> Red de distribución existente, Parte II. ....	69
<b>Figura 7.1.</b> Ubicación de pozos propuestos.....	78
<b>Figura 7.2.</b> Tanque metálico de acero vitrificado.....	85
<b>Figura 7.3.</b> Fotografía de sitio disponible para tanque en zona de montaña. ....	86
<b>Figura 7.4.</b> Ubicación del tanque propuesto en la zona de montaña. ....	86
<b>Figura 7.5.</b> Esquema de equipo de desinfección con cloro HTH.....	87
<b>Figura 7.6.</b> Red de distribución futura, Parte I. ....	89
<b>Figura 7.7.</b> Red de distribución futura, Parte II. ....	90
<b>Figura 7.8.</b> Red de distribución futura. ....	100
<b>Figura 7.9.</b> Bloque de anclaje. ....	107

<b>Figura A.1.1.</b> Ubicación de pozos cercanos al proyecto. ....	120
<b>Figura A.2.1.</b> Análisis bacteriológico de nacimiento.....	122
<b>Figura A.2.2.</b> Análisis fisicoquímico de nacimiento. ....	123
<b>Figura A.2.3.</b> Análisis bacteriológico de Pozo#2.....	124
<b>Figura A.2.4.</b> Análisis fisicoquímico de Pozo#2. ....	125
<b>Figura A.2.5.</b> Análisis bacteriológico de Pozo#3.....	126
<b>Figura A.2.6.</b> Análisis fisicoquímico de Pozo#3. ....	127
<b>Figura A.3.1.</b> Resultado de prueba de bombeo de Pozo#1. ....	129
<b>Figura A.3.2.</b> Resultado de prueba de bombeo de Pozo#1. ....	130
<b>Figura A.3.3.</b> Resultado de prueba de bombeo de Pozo#2. ....	131
<b>Figura A.3.4.</b> Resultado de prueba de bombeo de Pozo#2. ....	132
<b>Figura A.3.5.</b> Resultado de prueba de bombeo de Pozo#3. ....	133
<b>Figura A.3.6.</b> Resultado de prueba de bombeo de Pozo#3. ....	134

## Índice de cuadros

<b>Cuadro 2.1.</b> Registro de aforos realizados al río Tulín.....	22
<b>Cuadro 2.2.</b> Registro de pozos cercanos a la zona de estudio. ....	24
<b>Cuadro 3.1.</b> Servicios existentes en Esterillos hasta setiembre 2010.....	27
<b>Cuadro 3.2.</b> Proyectos a futuro en Esterillos. ....	28
<b>Cuadro 3.3.</b> Datos censales para el distrito de Parrita. ....	30
<b>Cuadro 3.4.</b> Tasas de crecimiento geométrico para el distrito de Parrita.....	32
<b>Cuadro 3.5.</b> Proyección de población con el método de crecimiento geométrico. ....	32
<b>Cuadro 3.6.</b> Tasas de crecimiento aritmético para el distrito de Parrita.....	33
<b>Cuadro 3.7.</b> Proyección de población con el método de crecimiento aritmético. ....	34
<b>Cuadro 3.8.</b> Variables del método logístico calculadas. ....	36
<b>Cuadro 3.9.</b> Proyección de población con el método logístico. ....	36
<b>Cuadro 3.10.</b> Resumen de proyecciones más probables. ....	37
<b>Cuadro 3.11.</b> Factor de hacinamiento en el distrito de Parrita.....	38
<b>Cuadro 3.12.</b> Población proyectada en Esterillos.....	39
<b>Cuadro 3.13.</b> Población proyectada en los diferentes sectores de Esterillos. ....	39
<b>Cuadro 3.14.</b> Población total de proyectos a 20 años en Esterillos. ....	40
<b>Cuadro 3.15.</b> Población flotante para la región de Esterillos. ....	41
<b>Cuadro 3.16.</b> Población flotante de años analizados para la región de Esterillos. ....	42
<b>Cuadro 3.17.</b> Población flotante para el sector de Esterillos Oeste. ....	42
<b>Cuadro 3.18.</b> Población flotante para el sector de Esterillos Centro. ....	42
<b>Cuadro 3.19.</b> Población flotante para el sector de Esterillos Este y Bejuco. ....	42
<b>Cuadro 3.20.</b> Poblaciones de los años 2012 y 2032 en Esterillos.....	43
<b>Cuadro 4.1.</b> Dotaciones para la población flotante del año 2012. ....	46
<b>Cuadro 4.2.</b> Dotaciones para la población flotante del año 2032. ....	46
<b>Cuadro 4.3.</b> Demandas existentes en el año 2012 en el pueblo de Esterillos.....	48
<b>Cuadro 4.4.</b> Demandas futuras para el año 2032 en el pueblo de Esterillos. ....	49
<b>Cuadro 5.1.</b> Cantidad de tuberías en la red de distribución. ....	58
<b>Cuadro 6.1.</b> Resultados de los nudos de la conducción existente. ....	61
<b>Cuadro 6.2.</b> Resultados de las tuberías de la conducción existente. ....	61
<b>Cuadro 6.3.</b> Volumen de almacenamiento de acuerdo al número de habitantes. ....	64
<b>Cuadro 6.4.</b> Resultados de los nudos de la red de distribución existente. ....	70
<b>Cuadro 6.5.</b> Resultados de las tuberías de la red de distribución existente. ....	72
<b>Cuadro 7.1.</b> Distribución de proyectos futuros según su ubicación. ....	75
<b>Cuadro 7.2.</b> Tuberías propuestas en la Zona de Costa.....	88
<b>Cuadro 7.3.</b> Resultados de los nudos de la red de distribución futura. ....	91
<b>Cuadro 7.4.</b> Resultados de las tuberías de la red de distribución futura. ....	93
<b>Cuadro 7.5.</b> Tuberías propuestas en la Zona de Montaña. ....	98
<b>Cuadro 7.6.</b> Resultados de los nudos de la red de distribución futura. ....	101
<b>Cuadro 7.7.</b> Resultados de las tuberías de la red de distribución futura. ....	102
<b>Cuadro 7.8.</b> Bloques de anclaje para la tubería de impulsión de la costa. ....	105
<b>Cuadro 7.9.</b> Bloques de anclaje para la tubería de impulsión de la montaña. ....	105
<b>Cuadro 7.10.</b> Bloques de anclaje para la tubería de distribución de la costa. ....	106

<b>Cuadro 7.11.</b> Bloques de anclaje para la tubería de distribución de la montaña. ....	107
<b>Cuadro 7.12.</b> Presupuesto Primera Etapa Año 2017. ....	108
<b>Cuadro 7.13.</b> Presupuesto Segunda Etapa Año 2022.....	109
<b>Cuadro 7.14.</b> Presupuesto Tercera Etapa Año 2027. ....	110
<b>Cuadro 7.15.</b> Presupuesto Cuarta Etapa Año 2027.....	110

## Índice de abreviaturas

ANC	Agua no contabilizada
ASADA	Asociación Administradora de Acueducto y Alcantarillado
AyA	Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados
C30	Clase de presión de tubería de HD
C40	Clase de presión de tubería de HD
CFIA	Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos
cm <sup>2</sup>	Centímetros cuadrados
FMD	Factor máximo diario
FMH	Factor máximo horario
HD	Hierro dúctil
HP	Caballos de fuerza
IGN	Instituto Geográfico Nacional
IMN	Instituto Meteorológico Nacional
INEC	Instituto Nacional de Estadística y Censos
kg	Kilogramos
kg/cm <sup>2</sup>	Kilogramos por centímetros cuadrados
l/s	Litros por segundo
l/p/d	Litros por persona por día
m	Metros
mca	Metros de columna de agua
mm	Milímetros
msnm	Metros sobre el nivel del mar
m/s	Metros por segundo
m <sup>2</sup>	Metros cuadrados
m <sup>3</sup>	Metros cúbicos
m/s <sup>2</sup>	Metros por segundo cuadrado
m <sup>3</sup> /s	Metros cúbicos por segundo
PVC	Cloruro de polivinilo
QPD	Caudal promedio diario

QMD	Caudal máximo diario
QMH	Caudal máximo horario
s	Segundos
SDR	Cociente del espesor de la pared de un tubo de PVC
SENARA	Servicio Nacional de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento

Fernández Barrenechea, Gloria

Diagnóstico de la Situación Actual y Propuesta de Mejoras para el Acueducto de Esterillos

Proyecto de Graduación – Ingeniería Civil – San José, C.R.:

G. Fernández B., 2012

xv, 117, [17]h; ils. col. – 18 refs.

## RESUMEN

El objetivo del presente proyecto consistió en realizar un diagnóstico del sistema de abastecimiento de agua potable actual de Esterillos de Parrita, evaluando la capacidad de sus componentes; y proponer las mejoras necesarias considerando un crecimiento poblacional a 20 años y el abastecimiento de 31 proyectos habitacionales que se esperan en la zona.

Tanto el diagnóstico como las obras propuestas se realizaron siguiendo las recomendaciones de las normas de AyA para el diseño de acueductos.

En el estado actual del acueducto de Esterillos se detectaron presiones muy bajas en su distribución, debido a diámetros de tubería pequeños; problemas de almacenamiento, ya que sólo cuentan con un tanque de almacenamiento de 400 m<sup>3</sup>; y además existe un déficit de agua de 75,69 l/s para la condición de ocupación máxima en verano.

A futuro se recomienda dividir el sistema en dos sectores, zona de costa y zona de montaña. Además se propone la construcción de nuevos pozos, la instalación de nuevas tuberías de impulsión y distribución, el reemplazo del tanque de almacenamiento existente por tres tanques de mayor volumen y la sustitución del sistema de cloración actual. El monto total de las obras propuestas es de \$ 7 801 764, distribuido entre cuatro etapas de inversión.

FUENTES DE ABASTECIMIENTO; CONDUCCIÓN; IMPULSIONES; TANQUES DE ALMACENAMIENTO; CLORACIÓN; REDES DE DISTRIBUCIÓN

Ing. Carlos Camacho Soto M.E.

Escuela de Ingeniería Civil

# CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1. Justificación

### *1.1.1. Problema específico*

El acueducto de Esterillos es administrado por la ASADA del mismo lugar y actualmente abastece a 771 servicios fijos (ASADA de Esterillos, 2010).

El sistema de abastecimiento de agua potable de esta región consiste en la captación de una naciente cuyo caudal aproximado es de 18,22 l/s (Hidrogeotecnia Ltda., 2008) en época seca y tres pozos cuyo caudal de explotación en conjunto es alrededor de 44 l/s (Hidrogeotecnia Ltda., 2008). Estos caudales van una parte hacia la red y la mayoría hacia un tanque de almacenamiento de 400 m<sup>3</sup>, el cual distribuye por gravedad hacia la población de Esterillos.

La región de Esterillos tiene un potencial de crecimiento poblacional muy alto, debido a que tiene un territorio considerable aún sin explotar en términos urbanísticos y al ímpetu que están tomando los proyectos de inversión turística en la zona. Actualmente existen un total de 31 proyectos habitacionales (ASADA de Esterillos, 2010) que se desean desarrollar en la zona.

Es por lo antes expuesto, que resulta necesario evaluar las condiciones del acueducto de Esterillos y proponer las mejoras necesarias para que éste logre abastecer la demanda futura que se proyecta en la zona.

El sistema de abastecimiento de agua potable de la región de Esterillos presenta tres principales problemas:

1. De almacenamiento debido a la capacidad de su tanque actual la cual es de tan sólo 400 m<sup>3</sup>.

1. De distribución por el tamaño de algunas de sus tuberías las cuales son menores a 100 mm de diámetro.
2. De fuentes ya que actualmente existe un déficit de agua considerable.

Además el sistema no tendría la capacidad requerida para abastecer a los proyectos turísticos que se espera se desarrollen a corto y mediano plazo.

### ***1.1.2. Importancia***

Debido al gran aumento de población esperado para los próximos 20 años en la zona de Esterillos, se hace indispensable adecuar el sistema a las necesidades. Es importante realizarlas con anticipación para evitar un colapso del sistema.

Este proyecto pretende analizar el funcionamiento del sistema de abastecimiento actual con el fin de detectar si éste presenta problemas y recomendar las soluciones necesarias considerando un aumento de población en la zona.

## **1.2. Objetivo**

### ***1.2.1. Objetivo General***

Realizar un diagnóstico del estado actual del acueducto de Esterillos y proponer las mejoras al sistema considerando un crecimiento poblacional a 20 años y la incorporación de 31 proyectos habitacionales que se esperan en la zona.

### ***1.2.2. Objetivos específicos***

- Describir el sistema de abastecimiento actual del acueducto de Esterillos.
- Analizar el funcionamiento del sistema de abastecimiento actual.
- Realizar un análisis de población y demandas futuras.

- Describir el recurso hídrico disponible en la zona, como opción para el abastecimiento futuro del acueducto de Esterillos.
- Proponer las mejoras necesarias al sistema.
- Estimar el costo de las obras propuestas para el acueducto.

### 1.3. Marco teórico

#### 1.3.1. Pérdidas de energía

##### 1.3.1.1. Pérdidas por fricción

Las pérdidas por fricción en una tubería dependen de factores como: el material de la tubería, el diámetro del tubo, la longitud, el caudal que transporta, la rugosidad del material, etc.

Una de las metodologías para el cálculo de estas pérdidas es la de Hazen – Williams. En esta teoría las pérdidas de carga se obtienen al multiplicar un coeficiente llamado módulo por el caudal elevado a una potencia denominada como  $n$ . El módulo es un factor que depende de las características de la tubería que conduce el fluido. El cálculo se realiza con la siguiente fórmula (Mata, 2001):

$$H_f = \frac{1,2080549 \cdot 10^{10} \cdot Q^n \cdot L}{D^{4,87} \cdot C^n} \quad (1)$$

Donde:

$H_f$ : pérdidas de carga por fricción, en m.

L: longitud del tramo de tubería, en m.

Q: caudal dentro de la tubería, en l/s.

D: diámetro del tubo, en mm.

C: coeficiente de Hazen-Williams que depende del material de la tubería, adimensional.

n: valor que varía según el tipo de fluido, 1,852 para agua.

### *1.3.1.2. Pérdidas locales*

Las tuberías de conducción que se utilizan en la práctica están compuestas generalmente, por tramos rectos y curvos para ajustarse a los accidentes topográficos del terreno, así como a los cambios que se presentan en la geometría de la sección y de los dispositivos para el control de las descargas. Estos cambios originan pérdidas de energía, distintas a las de fricción, localizadas en el sitio de alteración del flujo. Estas pérdidas se conocen como pérdidas locales y su magnitud se expresa como una fracción de la carga de velocidad, inmediatamente aguas debajo de donde se produjo la pérdida. La ecuación fue propuesta por Darcy-Weisbach y se expresa de la siguiente manera (López, 1999):

$$H_l = K_l \frac{v^2}{2g} \quad (2)$$

Donde:

$H_l$ : pérdidas locales, en m.

$v$ : velocidad del agua aguas debajo de la alteración, en m/s.

$g$ : aceleración de la gravedad, en  $m/s^2$ .

$K_l$ : coeficiente de pérdidas que es función del tipo de interrupción, del número de Reynolds y de la rugosidad del tubo, adimensional.

### **1.3.2. Golpe de ariete**

El golpe de ariete es la sobrepresión que sufren las tuberías cuando se producen cierres o aperturas de válvulas o llaves, arranques y paradas súbitas de equipos de bombeo o acumulación y movimiento de burbujas de aire. La fórmula para calcular esa sobrepresión está dada por (López, 1999):

$$H_a = \frac{C \cdot V}{g} \quad (3)$$

Donde:

$H_a$ : sobrepresión del golpe de ariete, en m.

C: celeridad de la onda, en m/s.

V: velocidad media del agua, en m/s.

g: aceleración de la gravedad, cuyo valor es 9,81 m/s<sup>2</sup>.

Por su parte, la celeridad y la velocidad del agua se calculan con las siguientes fórmulas (López, 1999):

$$C = \frac{9\,900}{\left(48,3 + k \cdot \frac{D}{e}\right)^{\frac{1}{2}}} \quad (4)$$

Donde:

k: coeficiente que considera los módulos de elasticidad de la tubería, adimensional.

D: diámetro de la tubería, en mm.

e: espesor de la pared del tubo, en mm.

$$V = \frac{Q}{A} \quad (5)$$

Donde:

Q: caudal dentro la tubería, en m<sup>3</sup>/s.

A: área de la sección transversal de la tubería, en m<sup>2</sup>.

### **1.3.3. Sistemas de tuberías**

#### **1.3.3.1. Sistemas simples**

Estos sistemas son los que se pueden ir reduciendo por sectores hasta obtener una sola tubería equivalente. En estos el agua sale y llega a un único punto, esto es, no se tienen bifurcaciones que dividan el fluido hacia distintos destinos. Se tienen dos tipos de sistemas simples (Mata, 2001):

- Sistema en serie: son los que están formados por tuberías con distintas características (diámetro, rugosidad, longitud) colocadas en forma continua, esto es, que todo el caudal pasa por todos los tramos de tubería que conforman la conducción.

- Sistemas en paralelo: en estos sistemas el caudal tiene varios caminos por donde fluir, los cuales se encuentran colocados en paralelo, sin embargo el caudal al inicio y al final es el mismo e igual al caudal total transportado.

#### *1.3.3.2. Sistemas compuestos*

Estos son sistemas que no pueden ser transformados en un sistema equivalente por su complejidad. La principal diferencia en este tipo de sistemas en comparación con los sistemas simples, es que el caudal que entra en un sistema compuesto por varias tuberías se divide en distintas regiones. Estos sistemas se dividen en tres tipos (Mata, 2001):

- Redes abiertas
- Redes cerradas
- Redes mixtas

Los tramos en redes se pueden clasificar como líneas secundarias o pequeñas conexiones. Las primeras se encargan de unir dos o más puntos de las tuberías principales o conducciones y las segundas se unen indistintamente con conductos primarios o secundarios de la red.

Para realizar el diseño adecuado de una red de distribución se deben tener en cuenta aspectos como la topografía del lugar, la demanda actual y futura, la densidad de población y distribución según las zonas de desarrollo urbano o comercial.

- Redes abiertas

Una red es abierta cuando los tubos que la componen se ramifican sucesivamente, sin interceptarse de nuevo para formar circuitos. Las redes se diseñan para el caudal máximo

horario. Para definir los consumos que se dan en la red se puede utilizar el método de las longitudes. Este método supone que la distribución de caudal se da proporcionalmente a la longitud del tramo como se observa en la siguiente fórmula:

$$q = \frac{Q_{mh}}{L_t} \quad (6)$$

Donde:

$q$ : consumo al final de cada tramo, en  $m^2/s$ .

$Q_{mh}$ : caudal máximo horario, en  $m^3/s$ .

$L_t$ : longitud de cada tramo, en m.

Estos consumos se localizan en los nudos y se supone que no existe consumo en el primer tramo (del tanque de almacenamiento hasta el primer nudo).

- Redes cerradas

Una red cerrada es aquella en la cual los conductos que la componen se cierran formando circuitos. Generalmente es el caso de redes de distribución de agua potable en ciudades o las de agua para industrias.

Para el análisis y diseño de redes cerradas, se utiliza el método de Hardy-Cross. El método se basa en suponer los caudales en cada tubería de la red e ir corrigiendo esta suposición considerando los diámetros de las tuberías que llegan a cada nudo, el material y la longitud de las mismas. Para poder realizar un diseño apropiado de una red se debe cumplir con las siguientes tres leyes:

- a. Ley de los tramos: en cada tramo se pueden evaluar las pérdidas mediante la ecuación de pérdidas por fricción.
- b. Ley de los nudos: en cada nudo se debe cumplir que  $\sum Q = 0$ .

c. Ley de los anillos: en cada anillo se debe cumplir que  $\sum H_f = 0$ .

Se divide la red en un sistema de mallas adyacentes y se elige un sentido de análisis (se puede asumir positivo en el sentido de las manecillas del reloj).

Los caudales se calculan de la misma forma que para las redes abiertas, con la diferencia que los consumos se dividen en partes iguales distribuyéndose en los extremos de cada tramo. Los diámetros de la red principal se determinan suponiendo una línea piezométrica paralela al terreno.

#### **1.3.4. Software EPANET**

EPANET es un software libre y muy sencillo de utilizar, desarrollado por la Agencia de Protección de los Estados Unidos. Este programa realiza simulaciones del comportamiento hidráulico y de la calidad del agua en redes de distribución.

Una red está constituida por tuberías, nudos (conexiones entre tuberías), válvulas, tanques de almacenamiento, etc. EPANET puede calcular el caudal que transporta cada tubería, las presiones en los nudos, el nivel de agua en cada tanque y la concentración de diferentes componentes químicos a través de la red durante un determinado periodo de simulación analizado en diferentes intervalos de tiempo.

Algunas de las características que presenta el análisis hidráulico realizado por EPANET son:

- No existe límite en cuánto al tamaño de red que se desee analizar.
- Calcula las pérdidas por fricción en las tuberías a partir de las metodologías de Hazen-Williams, Darcy-Weisbach, o Chezy-Manning.
- Incluye pérdidas menores en conexiones tales como codos, tees, reducciones, etc.
- Simula diferentes tipos de válvulas, entre ellas válvulas de regulación, válvulas de retención, válvulas reductoras de presión, válvulas de control de caudal, etc.

Algunas de las características que presenta la simulación de calidad de agua realizada por este programa son:

- Realiza el seguimiento a lo largo del tiempo de materiales no reactivos que se encuentren en la red.
- Modela el comportamiento de un material reactivo tanto si aumenta su concentración como si se disipa a lo largo del tiempo.
- Utiliza coeficientes y ecuaciones lineales para modelar las reacciones en la pared de la tubería.
- Permite a lo largo del tiempo entradas de concentración o masa en cualquier punto de la instalación.

#### **1.4. Delimitación del problema**

##### ***1.4.1. Alcance***

El estudio se enfocó en el diagnóstico de la situación actual del acueducto de Esterillos que abastece específicamente las regiones de Esterillos Este, Esterillos Oeste, Esterillos Centro y Bejuco, como se muestra más adelante en la Figura 2.1. También se proponen las mejoras necesarias, considerando un crecimiento poblacional en la zona y la incorporación de algunos proyectos que se van a desarrollar.

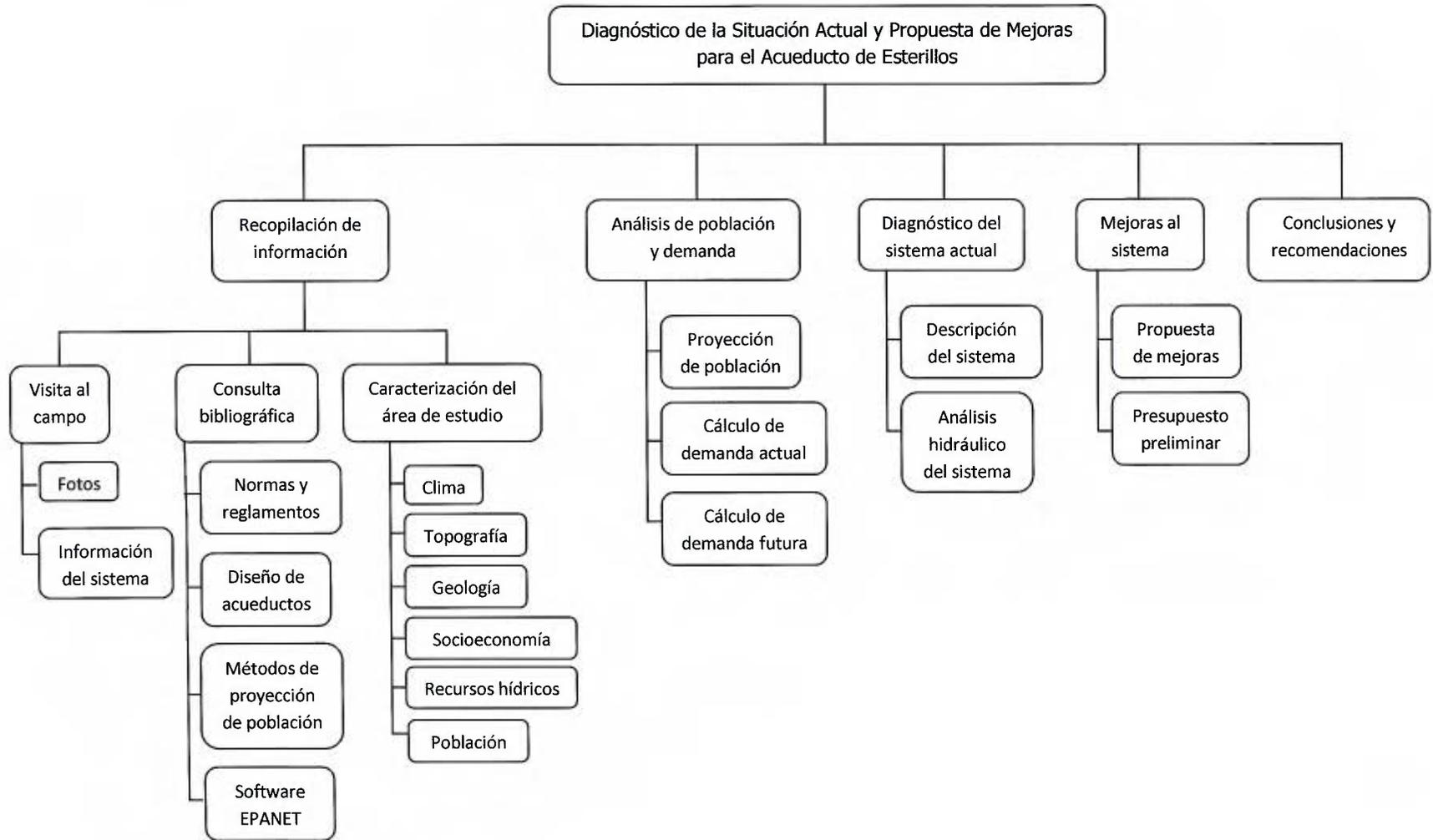
Las obras se diseñaron considerando el crecimiento poblacional a 20 años, por lo que probablemente luego de este periodo se deberán realizar nuevas mejoras al sistema.

##### ***1.4.2. Limitaciones***

- Este estudio no contempló el diseño estructural de las mejoras propuestas, ni tampoco los estudios de suelos respectivos.
- El presupuesto estimado es de carácter preliminar y no debe considerarse como definitivo.

## 1.5. Metodología

La metodología seguida para la elaboración del proyecto propuesto, se muestra a continuación:



### ***1.5.1. Recopilación de información***

En esta primera etapa se realizaron visitas de campo para observar los diferentes componentes del sistema, su funcionamiento y particularidades; esto con el fin de obtener información del sistema y un registro fotográfico del mismo. Posteriormente se hizo una consulta bibliográfica de normas que rigen el diseño de acueductos, como lo son las normas de diseño de AyA. También se consultaron tesis, libros sobre diseño de acueductos y métodos de proyección de demanda, informes realizados con anterioridad sobre el tema y se investigó sobre el software EPANET. Al final de esta etapa se consultaron diversas fuentes con el fin de caracterizar la zona de estudio en cuanto a clima, topografía, recursos hídricos disponibles, población, etc.

### ***1.5.2. Análisis de población y demanda***

En esta segunda etapa, a partir de la información recopilada en la fase anterior en cuanto a población, se prosiguió con el análisis de ésta. Se utilizaron tres métodos distintos con el fin de proyectar la población. Posteriormente se calcularon las demandas actuales y futuras a partir de los datos de población actual y futura, y de las respectivas dotaciones.

### ***1.5.3. Diagnóstico del sistema actual***

En el diagnóstico del sistema actual se comenzó con una descripción física del acueducto, de todos sus componentes. Luego se analizó el funcionamiento de cada uno de estos componentes para así detectar problemas existentes y determinar entre otras cosas: si las fuentes actualmente captadas eran suficientes para abastecer la demanda actual, si el tanque tenía la capacidad de almacenamiento requerido y si la red distribuía el agua de manera adecuada a toda la población de Esterillos.

### ***1.5.4. Mejoras al sistema***

En esta etapa se propusieron las obras necesarias para, si era el caso, mejorar las condiciones actuales del acueducto; y también aumentar su capacidad para poder así

abastecer la demanda futura considerando un crecimiento poblacional a 20 años y la incorporación de algunos desarrollos en la zona. Al tener ya definidas las mejoras se determinó el costo de éstas, se realizó un presupuesto preliminar de las obras.

#### ***1.5.5. Conclusiones y recomendaciones***

Se elaboraron las conclusiones respectivas del proyecto y además se dieron recomendaciones para el mejoramiento del sistema.

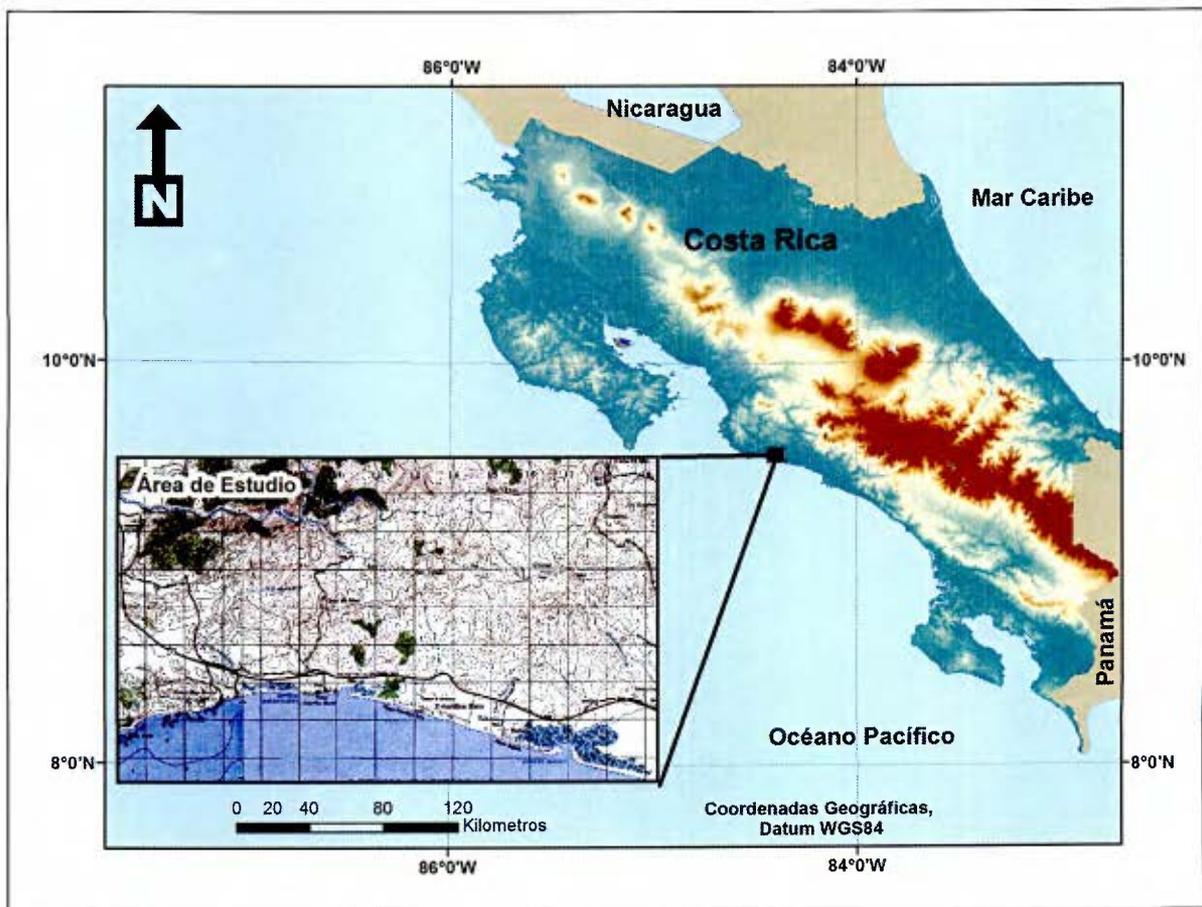
#### **1.6. Mecanismos de evaluación del proyecto**

- Eficiencia: se evaluará con el cronograma del proyecto. Los resultados deberán irse obteniendo con lo establecido en éste.
- Eficacia: se medirá con respecto a los objetivos definidos al inicio del proyecto. En el momento en que se cumplan todos los objetivos planteados se podrá decir que se logró un 100% de eficacia.
- Impacto: se definirá en cuanto se hagan las mejoras al acueducto. Se generará un efecto positivo en la población ya que se estará en capacidad de abastecer a la demanda futura.
- Pertinencia: se medirá conforme se empiece a incrementar la población en Esterillos, la cual demandará más agua potable. Con esto se podrá justificar la importancia del proyecto, ya que si se realizan las mejoras pertinentes, esta nueva demanda podrá ser abastecida por el mismo sistema.
- Perdurabilidad: se obtendrá si se realizan todas las mejoras al acueducto tal y como se proponen, y además acatando las recomendaciones planteadas.

## CAPÍTULO 2. CARACTERIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

### 2.1. Ubicación

La comunidad de Esterillos se ubica en la Vertiente Pacífica de Costa Rica. Pertenece al distrito 1° Parrita, del cantón 9° Parrita, de la provincia 6° Puntarenas. De acuerdo con el Instituto Geográfico Nacional, se localiza en las hojas cartográficas Herradura y Parrita, escala 1:50 000.



**Figura 2.1.** Ubicación de la zona de estudio.

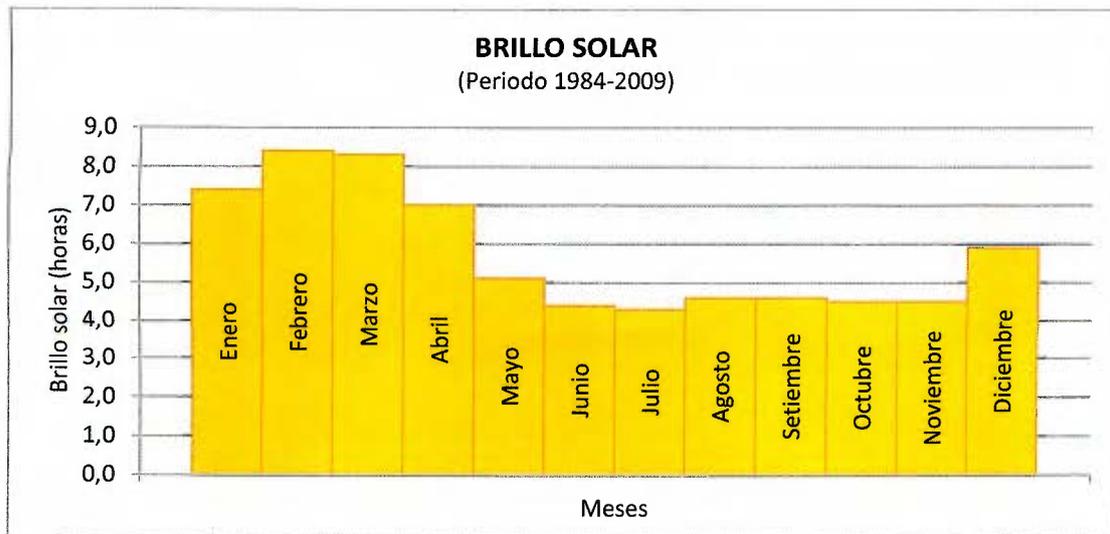
## **2.2. Clima**

Esterillos se encuentra dentro de la región climática del Pacífico Central, la cual se caracteriza por tener un clima tropical con una estación seca corta que va de enero a marzo y un periodo lluvioso que inicia en el mes mayo y finaliza en noviembre, con precipitaciones que llegan hasta los 603,5 mm en octubre.

La estación meteorológica más cercana a Esterillos es la de Damas de Quepos N° 90009, la cual es operada por el Instituto Meteorológico Nacional. Se encuentra ubicada entre las coordenadas 09° 29' Latitud Norte y 84° 12' Longitud Oeste (IMN). Los datos climáticos de esta estación corresponden a promedios mensuales entre los años 1984 y 2009 para brillo solar, temperatura, precipitación y humedad relativa. Para viento se tienen promedios mensuales entre los años 1983 y 2004.

### ***2.2.1. Brillo solar***

En los meses de diciembre a abril los promedios de horas de sol son mayores que en los meses de mayo a noviembre. Los meses donde se presentan los promedios de horas de sol más altos corresponden a los meses de la época seca. Como se puede observar en la Figura 2.2, febrero corresponde al mes con más horas de sol, con un promedio de 8,4 horas al día. Por otro lado, julio es el mes con menos horas de sol, con un promedio de 4,3 horas por día.

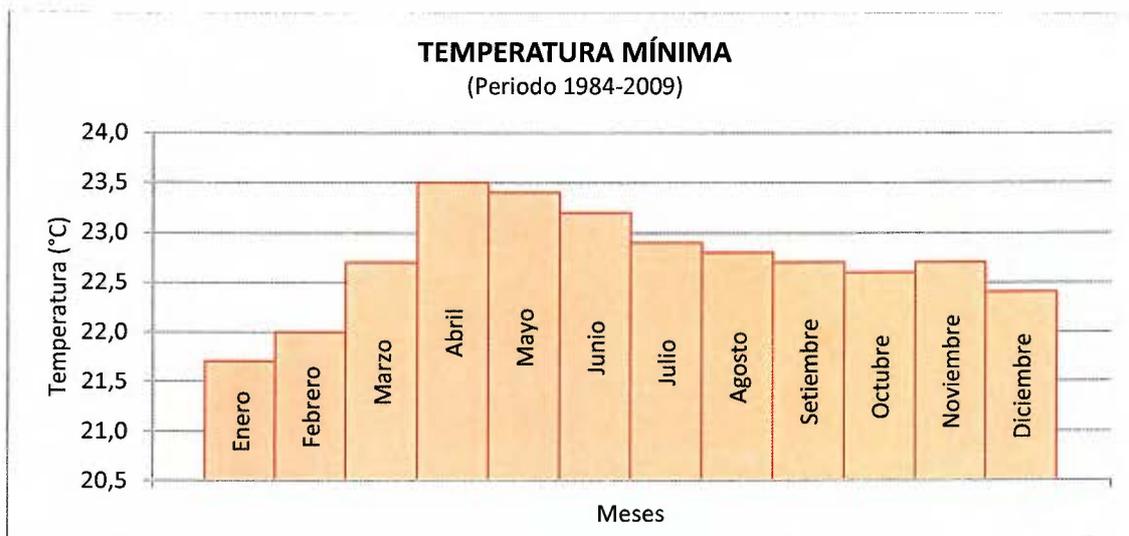


**Figura 2.2.** Valores promedio mensuales de brillo solar.

**Fuente:** IMN, Estación Damas N° 90009.

### 2.2.2. Temperatura

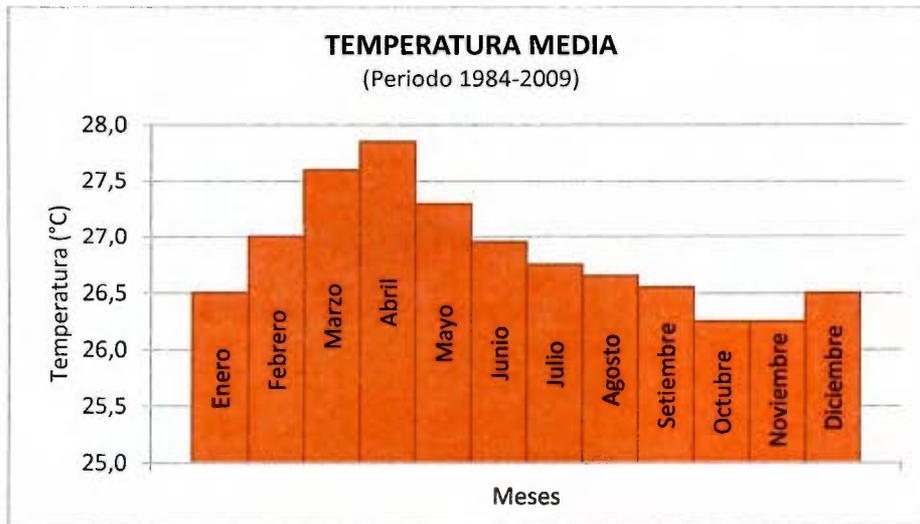
En los siguientes gráficos se muestra la variación de la temperatura mínima, media y máxima. Los meses de diciembre, enero y febrero tienen las temperaturas más bajas del año. La temperatura mínima se presenta en el mes de enero con un valor promedio de 21,7 °C.



**Figura 2.3.** Valores promedio mensuales de temperaturas mínimas.

**Fuente:** IMN, Estación Damas N° 90009.

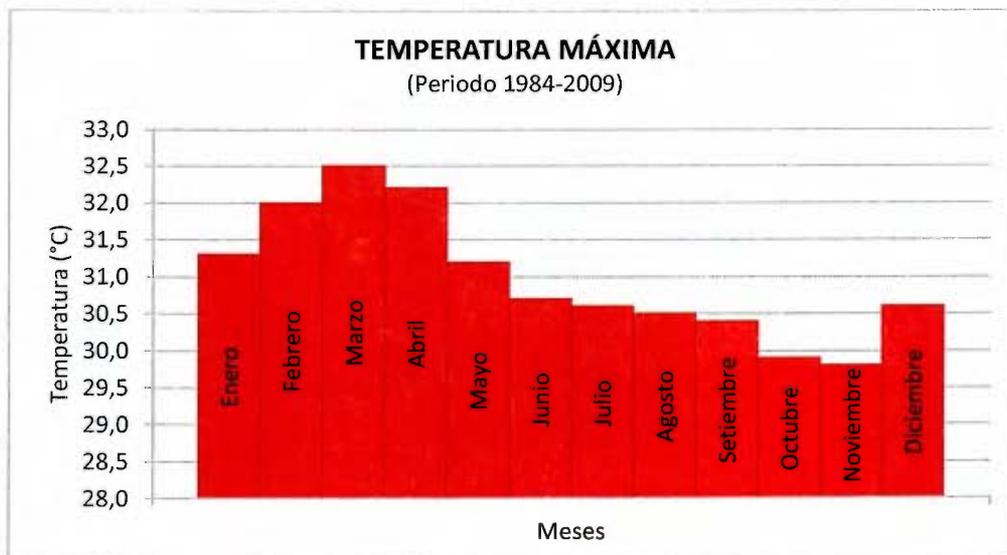
La temperatura media en la zona de Esterillos, ronda entre valores de 26,3 °C y 27,9 °C.



**Figura 2.4.** Valores promedio mensuales de temperaturas medias.

**Fuente:** IMN, Estación Damas N° 90009.

Los meses de febrero, marzo y abril representan los meses con temperaturas más altas. Marzo es el mes más caliente en la zona con temperaturas de hasta 32,5 °C.



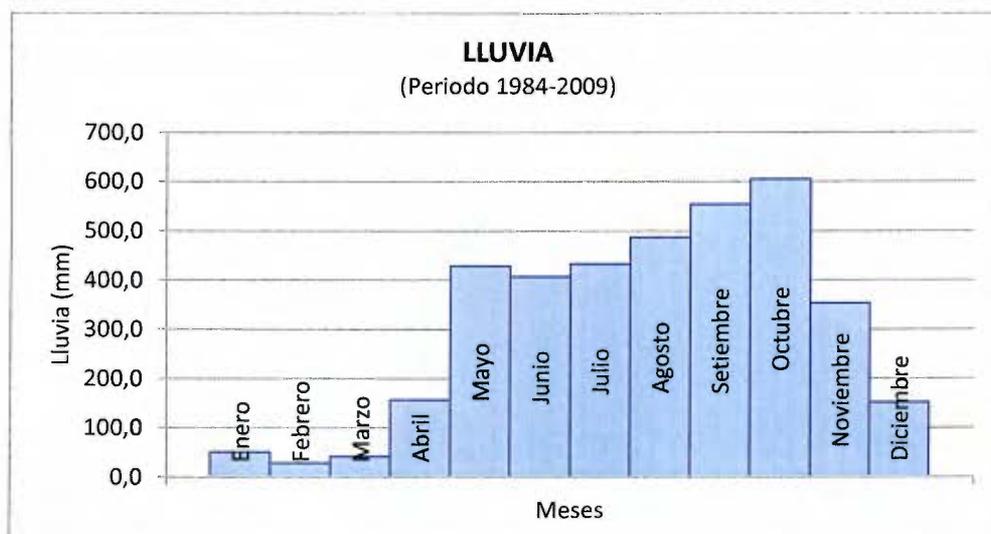
**Figura 2.5.** Valores promedio mensuales de temperaturas máximas.

**Fuente:** IMN, Estación Damas N° 90009.

### 2.2.3. Precipitación

La región del Pacífico central presenta una época lluviosa bien definida de mayo a noviembre, presentando máximos de precipitación en los meses de agosto, setiembre y octubre; como se observa en la Figura 2.6. El periodo seco va de enero a marzo, diciembre y abril son considerados como meses de transición.

El mes más lluvioso es octubre con una precipitación de 603,5 mm y el mes menos lluvioso es febrero con una precipitación de 28,3 mm. Octubre presenta 27 días con lluvia, mientras que febrero presenta tan sólo cuatro. El promedio anual de lluvia en esta zona es de 287 mm.

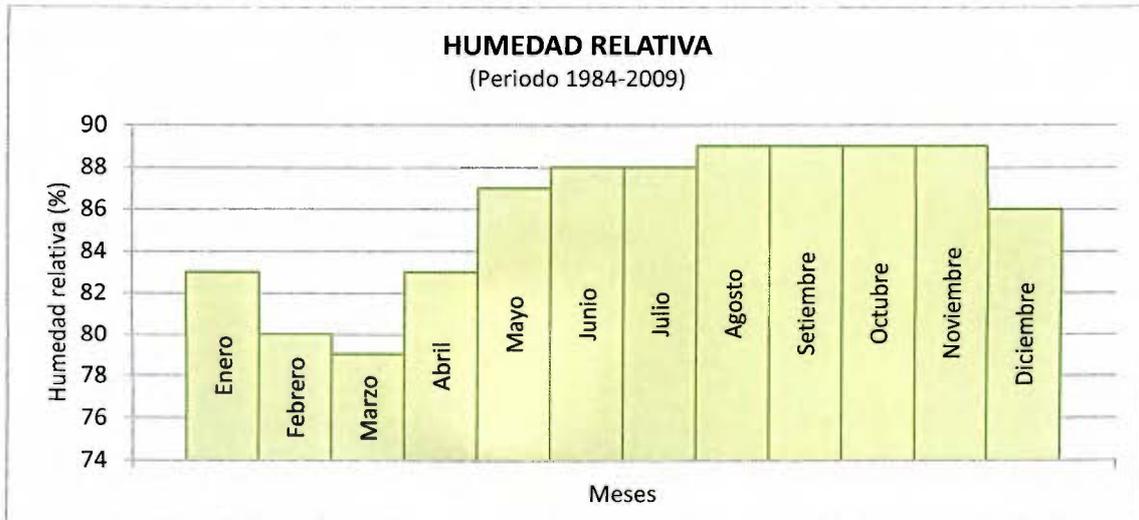


**Figura 2.6.** Valores promedio mensuales de precipitación.

**Fuente:** IMN, Estación Damas N° 90009.

### 2.2.4. Humedad relativa

Según se observa en la Figura 2.7, la humedad relativa oscila entre 87% y 89% en época seca, y entre 79% y 83% en época lluviosa. El mes con menor humedad relativa es marzo con un valor promedio de 79%. Se presenta un 89% de humedad en agosto, setiembre, octubre y noviembre, siendo los meses con mayor humedad relativa.

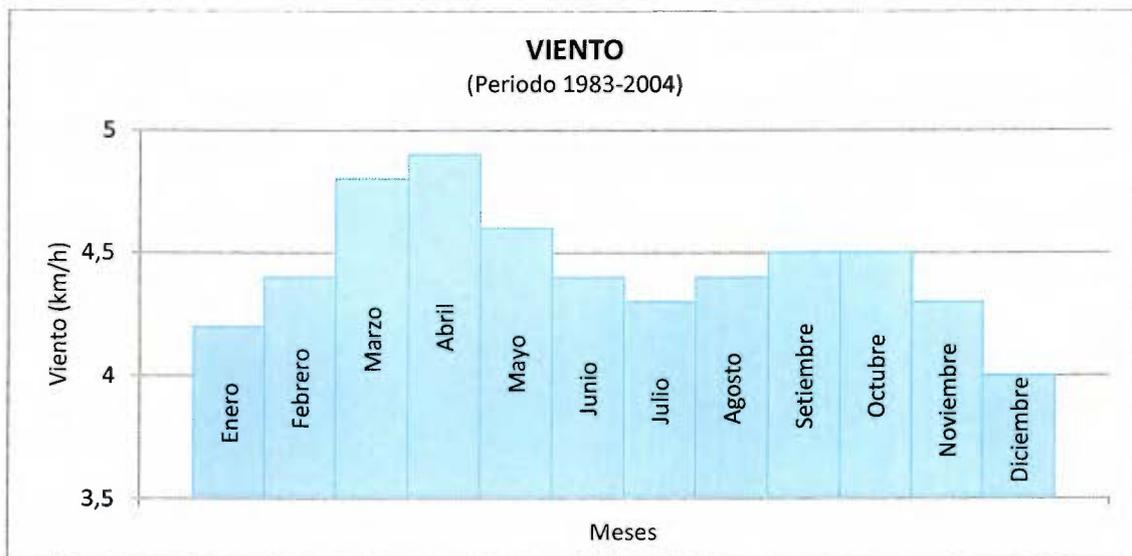


**Figura 2.7.** Valores promedio mensuales de humedad relativa.

**Fuente:** IMN, Estación Damas N° 90009.

### 2.2.5. Viento

Las direcciones predominantes del viento en esta región son Sur y Este. La velocidad promedio anual del viento es de 4,4 km/h, siendo los meses más ventosos marzo, abril y mayo; y diciembre el menos ventoso.



**Figura 2.8.** Valores promedio mensuales de viento.

**Fuente:** IMN, Estación Damas N° 90009.

### 2.3. Topografía

Las elevaciones en la zona de Esterillos oscilan entre los 0 msnm y los 192 msnm en las zonas más altas. El promedio de elevación en la zona de estudio es de 25 msnm. Se caracteriza por tener una zona costera con elevaciones bajas y una zona montañosa con elevaciones un poco más altas. En la Figura 2.9 se puede observar un modelo de elevaciones de la zona.

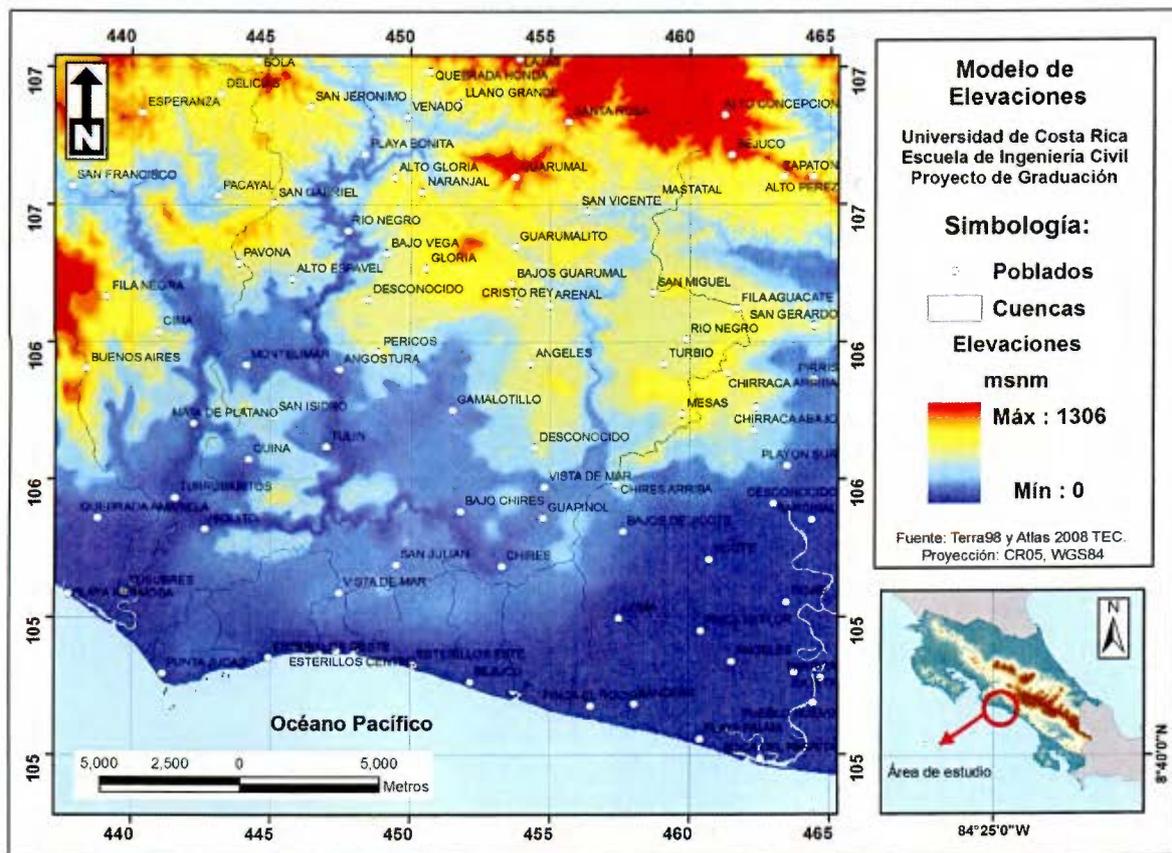


Figura 2.9. Mapa de modelo de elevaciones.

## 2.4. Geología

La región de Esterillos se encuentra emplazada en materiales sedimentarios que corresponden básicamente a areniscas finas fosilíferas. En la parte superior los suelos se encuentran bastante meteorizados, presentándose condiciones de arcillas plásticas de baja permeabilidad. En la zona aledaña se distinguen algunas formaciones geológicas como son: Complejo de Nicoya, Formación Tulín, Formación Térraba, Formación Curré, Sub - Complejo Quepos y Formación Caótica Punta Quepos (Arellano, 2008).

Como se muestra en la Figura 2.10, la zona en estudio se encuentra constituida por rocas sedimentarias y por depósitos superficiales.

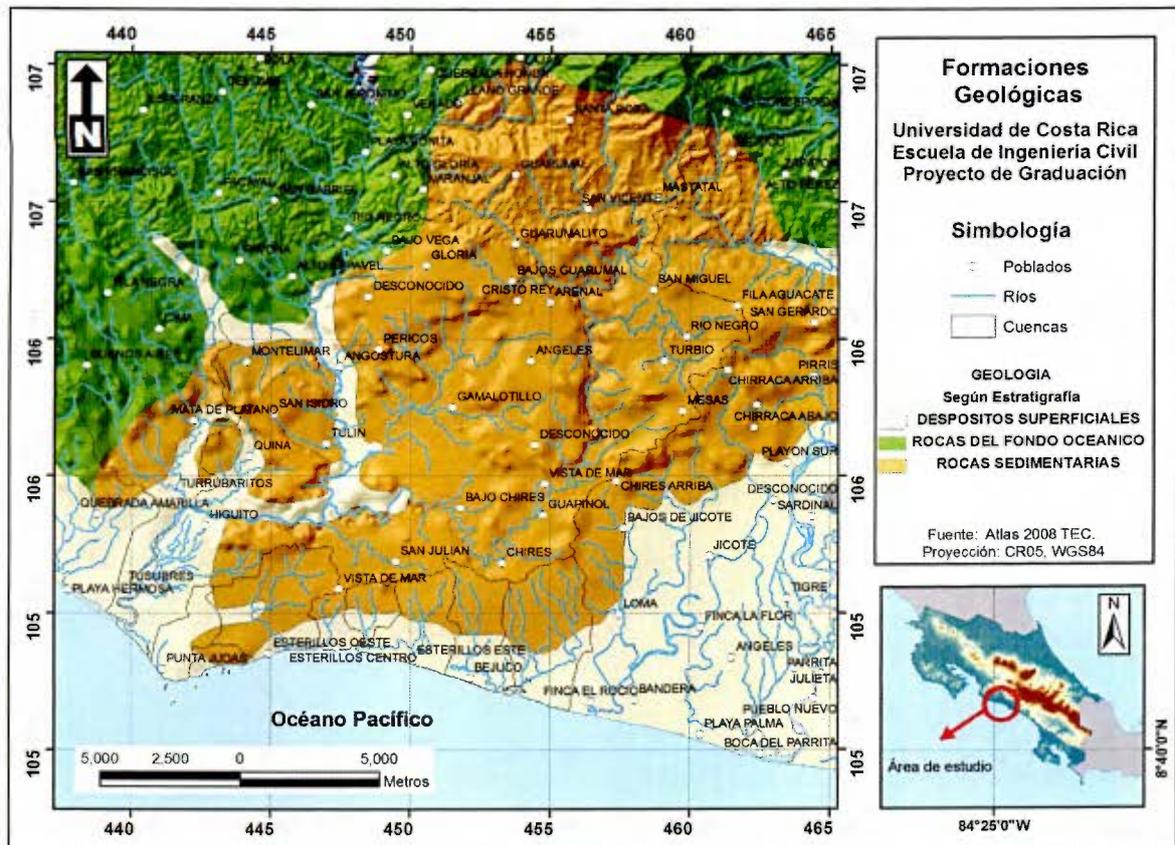


Figura 2.10. Mapa de geología.

## 2.5. Hidrología

La zona en estudio es parte de la cuenca del río Tusubres, el cual es irrigado por los ríos Chires y Tulín. Además, en el área considerada existen otras cuencas de menor tamaño como Quebrada Aserradero, Quebrada Playa Esterillos Este, Quebrada Playa Esterillos Oeste, Quebrada Bejuco, Quebrada Visita, etc.

A continuación se muestra un esquema de las cuencas presentes en la zona de Esterillos de Parrita.

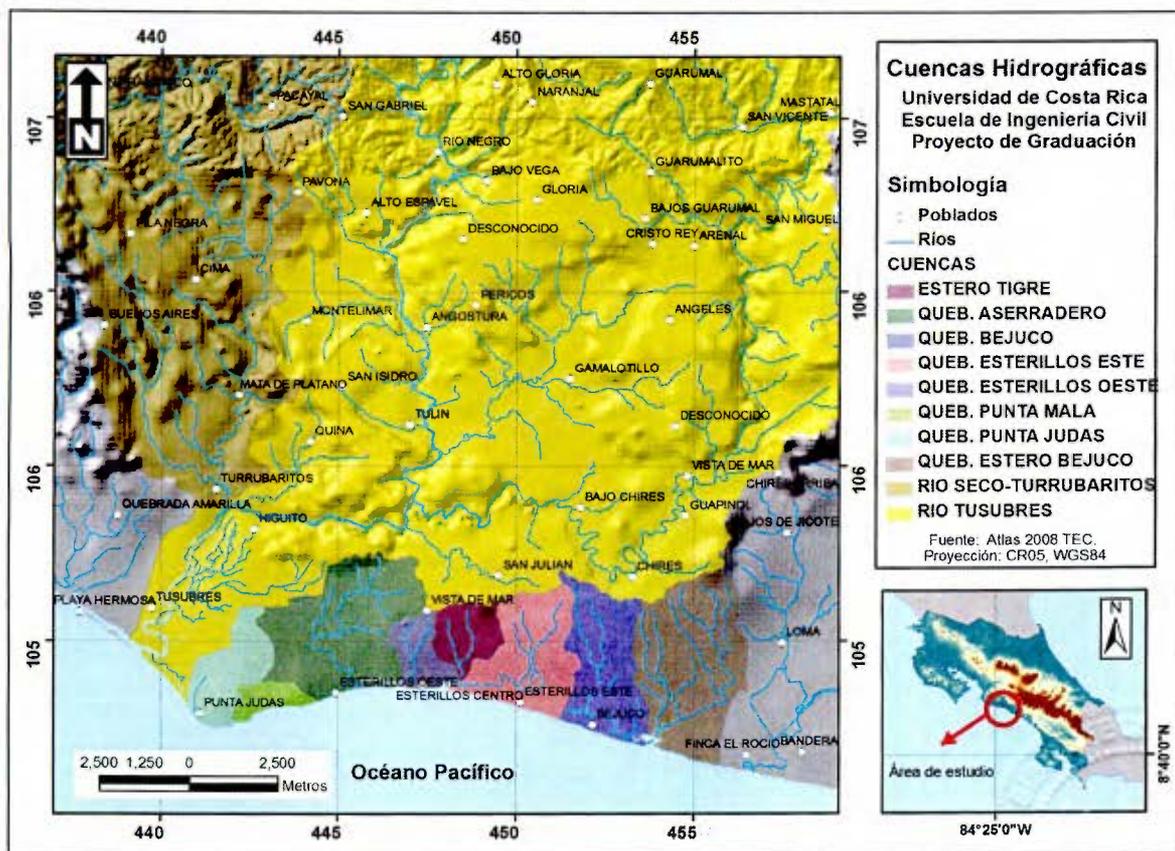


Figura 2.11. Mapa de cuencas hidrográficas.

## 2.6. Recursos hídricos de la zona

En la zona de Esterillos se encuentran varias fuentes de agua, superficiales y subterráneas, que podrían aprovecharse en el acueducto. Entre las principales opciones se encuentran:

- Cuenca del río Tulín
- Acuífero en las márgenes del río Tusubres

### 2.6.1. Aguas superficiales

Hidrogeotecnia Ltda. realizó durante los años 2007 y 2008 aforos básicos en el río Tulín, determinando que ésta es una potencial fuente que podría aprovecharse para el abastecimiento futuro del acueducto.

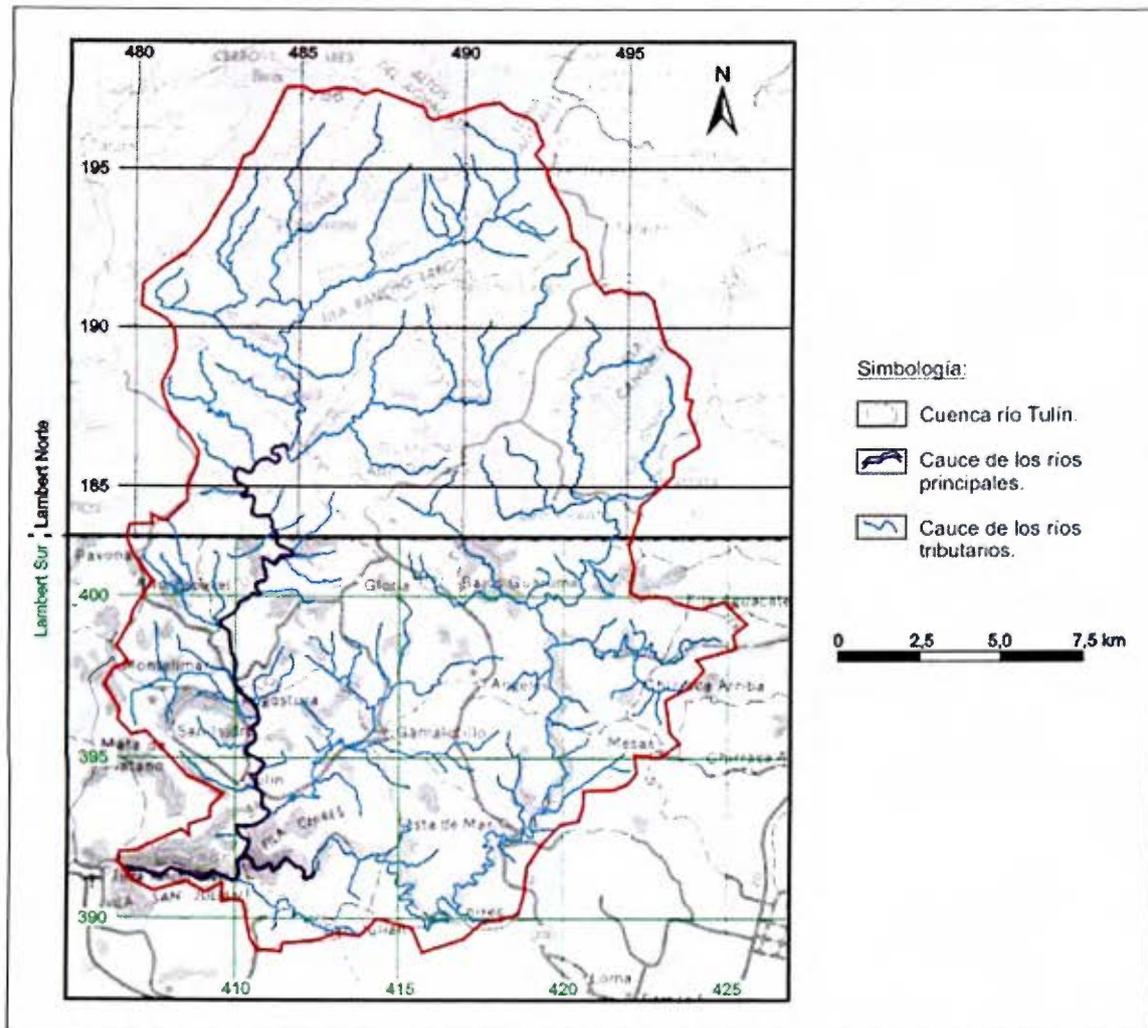
Como se observa en el Cuadro 2.1, en el año 2007 se realizaron aforos en los meses de mayo, junio, julio y diciembre (meses lluviosos) y en el 2008 en los meses de febrero, marzo y abril (meses secos). Es por esta razón que en los datos del 2007 se registraron aforos mayores que en los del año 2008. Se considera como caudal aprovechable el caudal crítico de verano, que en este caso sería de 1 158 l/s.

**Cuadro 2.1.** Registro de aforos realizados al río Tulín.

<b>Fecha de aforo</b>	<b>Caudal (l/s)</b>
28/05/2007	17 184
27/06/2007	11 437
26/07/2007	27 802
19/12/2007	5 142
20/02/2008	3 166
15/03/2008	1 824
13/04/2008	1 158

**Fuente:** Hidrogeotecnia Ltda.

La cuenca del río Tulín tiene un área de 35 956,59 Ha y en ella predominan los suelos limo arcillosos, de consistencia blanda a medio compacta y de permeabilidad baja. A continuación en la Figura 2.12 se presenta la delimitación de la cuenca del río Tulín.



**Figura 2.12.** Cuenca del río Tulín.

**Fuente:** Rodríguez, 2008.

### ***2.6.2. Aguas subterráneas***

Los pozos existentes en el acueducto de Esterillos han demostrado ser una fuente importante tanto en cantidad como en calidad del agua. Actualmente hay tres pozos en operación que registran juntos un caudal de 44 l/s.

En los registros del SENARA se tienen alrededor de 49 pozos en la zona en estudio. Los cuales tienen reportados caudales desde los 0,03 l/s hasta los 22,2 l/s. En el Cuadro 2.2 se

pueden observar las características de estos pozos y en el Anexo 1 se muestra la ubicación de los mismos.

**Cuadro 2.2.** Registro de pozos cercanos a la zona de estudio.

Código	Coordenadas		Propietario	Profundidad (m)	Nivel estático (m)	Caudal (l/s)	Nivel dinámico (m)
	Norte	Este					
HE10	390 761	405 582	AYA	30	1	6,3	
HE11	390 461	405 582	AYA	27		22,2	
HE12	390 561	405 582	AYA	29		7	
HE13	386 450	407 450	MORA JIMÉNEZ	20	1	1	12
HE14	386 550	407 220	QUESADA RAMOS				
HE15	393 061	398 282	OLAS TRANQUILAS DE JACO	15	2	2,5	
HE29	391 261	399 832	CORPORACIÓN FERRETERA S.A.	30	6	4	
BE31	393 236	398 282	GIUSEPPE SCORSONE	54	12	1,5	
EE32	394 661	398 907	SOLANO ALTAMIRANO E HIJOS S.A.	84	2	0,5	
HE33	394 286	398 907	SOLANO ALTAMIRANO E HIJOS S.A.	110	21	1	
HE34	393 371	398 632	ÓSCAR ALEXANDER PÉREZ			0,5	
HE37	395 761	401 082	INVERSIONES COTSO	40			
HE38	392 578	397 965					
HE42	393 636	397 955	NATURAL TOUCH S.A.	100		1	
HE46	392 811	398 232	MERCADEO IDEAL S.A.	45	6	2	
HE49	393 746	400 332	VOI VOP VISEU LTDA.	45	15	2	
HE50	396 342	398 957	ALEJANDRO LAVERDE VENEGAS	40		0,5	
HE53	395 766	398 493	EDUARDO ROMÁN ACOSTA	40	0,99	2,5	
EE54	392 961	397 892	LAS TRES MARIAS DE JACO S.A.	60		1	
HE58	397 711	398 582	ARGENT. CAPITAL S.A	180	100	1,5	
HE60	395 227	398 248	RUPESTRIAN PAINTING S.A	30		1	
HE61	395 011	399 442	CIPRIANO S.A	70		1	
HE62	395 861	400 432	TALLER INDUSTRIAL METASOL S.A	220		1	
HE63	387 961	406 482	INVERSIONES MUSPELL HEIM S.A	200		1	
HE65	393 011	398 382	RICHARD CLEMENTS GARSON	40		1	
HE66	392 511	397 482	SILVERCAT INVESTBENTS INC	20		1	46
HE72	392 945	403 746	INVERTRONIC CAPITAL SERVICES	30	7,6	2,5	
HE74	392 603	404 781	VALLE PERDIDO DE PLAYA HERMOSA	30		1	
HE81	394 311	397 182	COASTAL PROPERTY MANAGEMENT	35		1	
HE82	394 486	398 807	COASTAL PROPERTY MANAGEMENT	35		1	

HE83	393 811	398 432	BOSELINE BOLDINGS SITY ONE S.	100		0,5	
HE85	393 711	397 432	PRINCIPAL FOCOS ON THE MOUNTAIN	180		1	
HE86	394 386	398 832	DUNNY RAY JONES	120		1	
HE87	393 511	398 082	HOSELIME HOLDINGS SIXTY ONE S.	90		1	
HE89	393 191	398 190	PRINCIPAL FOCOS ON THE MOUNTAIN	180		1	
HE9	393 253	398 658	GAETAN CHARTRAND	40	1,82	1,7	
HE90	394 061	399 232	SALVAJEMENTE NATURAL S.A.	40		2	
HE91	393 886	400 482	ÓSCAR ALEXANDER PÉREZ	25		1	
HE92	394 886	401 432	ALBERT CURTIS CORNISH/JULIETH	45		1	
HE93	394 561	399 182	ARCHA S.A	70		1	
HE94	393 061	398 282	ARCHA S.A	70		1	
ILG	391 261	399 832	DAVID STELLAR PARLOUR			0,03	
PAT12	386 500	415 500	INVERSIONES COSTA LINDA				
PAT13	386 400	415 070	INVERSIONES COSTA LINDA				
PAT24	385 900	415 350	MIGUEL RUIZ	10	2,5		
PAT43	387 631	413 642	MONTAÑA ROCA AZUL	32	1,8		
PAT44	387 611	413 911	RANCHO MONTERREY	45	3		40
PAT47	387 738	414 565	TRES PALMERAS S.A.	160	12		12,1
PAT7	387 141	408 782	WALTER MORA QUESADA	41	7		

Fuente: Arellano, 2008.

Arellano (2008) señala, con base en la información de los pozos del acueducto y de los demás pozos cercanos, que existen condiciones favorables para el desarrollo de un campo de pozos de gran producción en ambas márgenes del río Tusubres.

## 2.7. Socioeconomía de la zona

La zona de Esterillos, al ubicarse cerca de la costa pacífica, es de gran atractivo turístico. La infraestructura presente es en su gran mayoría viviendas, restaurantes, hoteles, cabinas y desarrollos turísticos. Los bancos, supermercados, centros de salud e instituciones más cercanos se encuentran en el centro de Parrita o en Jacó.

Existe una parte de la población con un alto nivel económico, representada por los desarrolladores de proyectos turísticos y también por turistas y extranjeros que visitan estos

proyectos. En su mayoría esta población no es residente habitual de la zona, sino que llega durante los fines de semana o periodos de vacaciones.

Por otro lado existe la población local con un nivel económico de medio a bajo, unos dueños de pequeños negocios, otros dedicados a la agricultura, ganadería, pesca o turismo, profesionales, etc.

## CAPÍTULO 3. POBLACIÓN

### 3.1. Servicios fijos actuales y futuros

Se obtuvo por parte de la ASADA de Esterillos el número de servicios fijos existentes hasta setiembre del 2010, con un total de 771 servicios. Estos servicios no incluyen los hoteles y cabinas que representan parte de la población flotante de la zona, la cual será considerada más adelante. Por sectores se encuentran distribuidos de la siguiente manera:

**Cuadro 3.1.** Servicios existentes en Esterillos hasta setiembre 2010.

Sector	Nº de servicios	%
<b>ESTERILLOS OESTE</b>		
Medidos	315	48
No medidos	53	
Total	368	
<b>ESTERILLOS CENTRO</b>		
Medidos	46	6
No medidos	4	
Total	50	
<b>ESTERILLOS ESTE Y BEJUCO</b>		
Medidos	309	46
No medidos	44	
Total	353	
<b>Total General</b>	<b>771</b>	<b>100</b>

Fuente: ASADA de Esterillos.

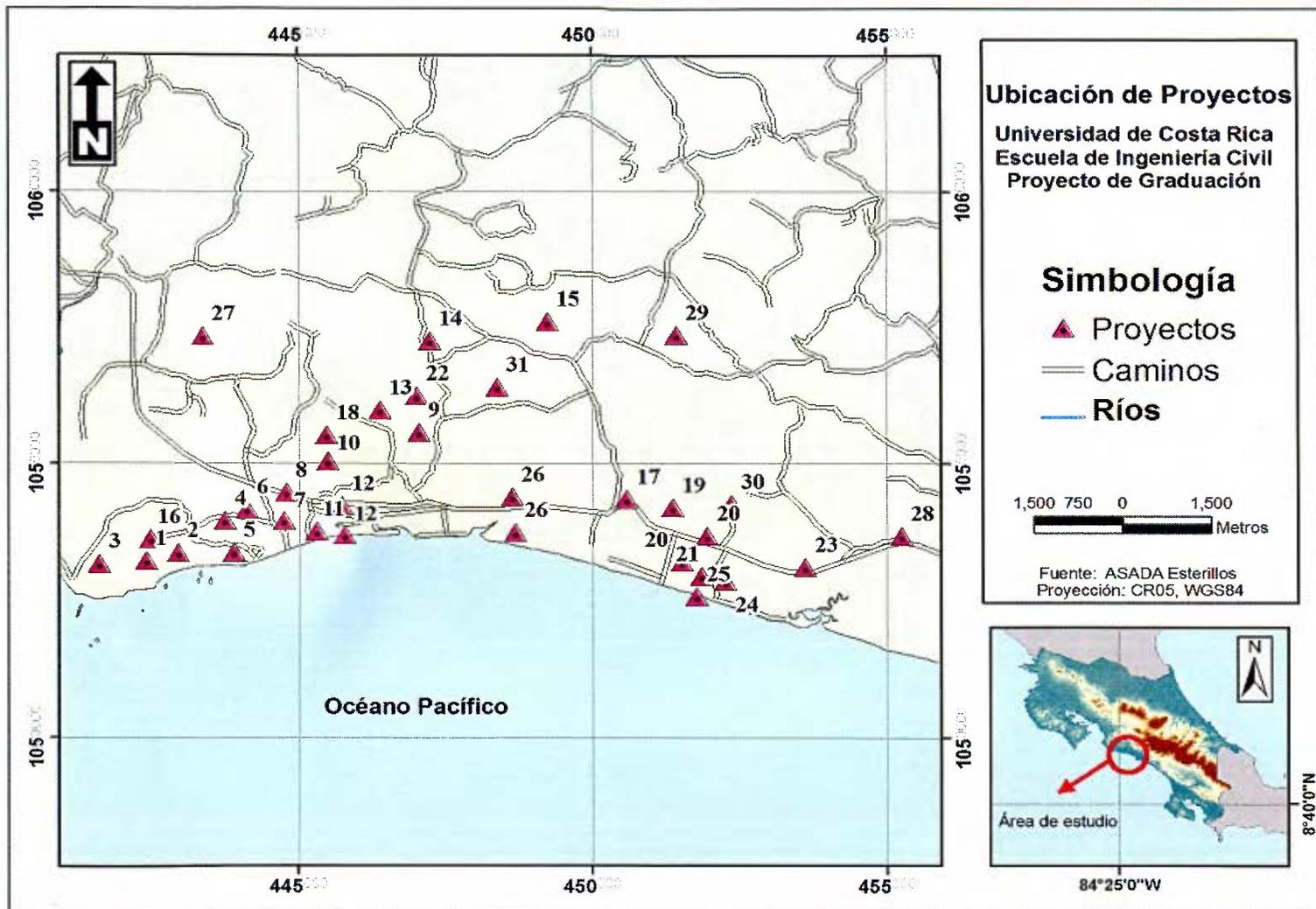
De acuerdo a la información suministrada por la ASADA, existen 31 proyectos habitacionales que se pretende desarrollar a futuro en la zona. Estos proyectos representan 17 561 nuevos servicios que se deberán incluir en el sistema en un plazo de 20 años.

En el Cuadro 3.2 se presentan estos proyectos y el número de servicios que solicita cada uno. Posteriormente, en la Figura 3.1 se muestra la ubicación de los mismos.

**Cuadro 3.2.** Proyectos a futuro en Esterillos.

<b>Proyecto N°</b>	<b>Nombre</b>	<b>N° de servicios</b>
<b>ESTERILLOS OESTE</b>		
1	Costa Bitton 1	420
2	Araya 1	105
3	Araya 2	105
4	Cabo Caletas	2 100
5	Vista Sirena	56
6	Esterillos Hills	56
7	Condominio Las Olas	350
8	Costa Reitz	245
10	Las Esmeraldas	195
11	Caliche Monge	70
12	Los Solano	105
16	Costa Bitton 2	175
18	El Mono Dorado	150
27	Los Batalla - Rancho Nuevo	2 100
<b>ESTERILLOS CENTRO</b>		
9	Pico del Estero	196
13	Costa Esterillos	287
14	Costa Reserva	298
22	Vista de Los Castro	72
<b>ESTERILLOS ESTE</b>		
17	Paradigma Monterrey	21
19	Monterrey	2 100
20	Del Pacífico	1 750
26	Pollo Macho	2 100
15	Corazón de la Tierra	1 400
29	Vista Monterrey	1 050
31	Finca Don Olman	400
<b>BEJUCO</b>		
21	Academia Coronado	280
23	Rancho Bejuco	56
24	Costa Sol	105
25	Villas de la Palma	118
28	Los Batalla - Bejuco	1 050
30	Tres Palmeras	46
<b>Total General</b>		<b>17 561</b>

Fuente: ASADA de Esterillos.



**Figura 3.1.** Ubicación de proyectos futuros.

### 3.2. Métodos de proyección de población

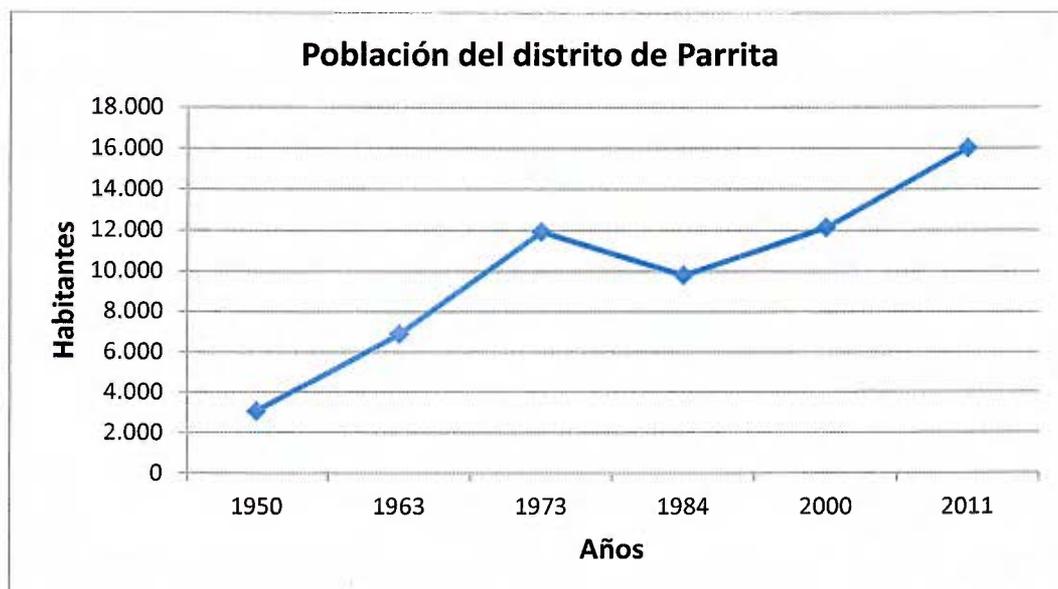
Con el fin de calcular la población futura de la zona de Esterillos, se utilizarán los datos de población de los censos de los años 1950, 1963, 1973, 1984, 2000 y los resultados preliminares del censo del año 2011 para el distrito de Parrita.

**Cuadro 3.3.** Datos censales para el distrito de Parrita.

<b>Año</b>	<b>Población</b>
1950	3 027
1963	6 877
1973	11 901
1984	9 774
2000	12 112
2011	16 010

**Fuente:** INEC.

En la Figura 3.2 se muestra el crecimiento poblacional del distrito de Parrita para los años indicados, donde se observa que en el año 1984 se rompe la tendencia de crecimiento que se seguía debido a una reducción de la población ocasionada por la salida de la compañía bananera en esa época.



**Figura 3.2.** Gráfico de comportamiento de la población del distrito de Parrita.

**Fuente:** INEC.

Se proyectará la población de Parrita para diferentes escenarios y se obtendrá el porcentaje que representa la población de Esterillos dentro del distrito de Parrita para obtener los datos poblacionales de este sector en específico.

### **3.2.1. Método de crecimiento geométrico**

Este método supone que la razón de aumento de población es proporcional al tamaño de la población (Mata, 2001):

$$\frac{dP}{dT} = KgP \quad (7)$$

Integrando esta expresión se obtiene la relación para la tasa de crecimiento (Mata, 2001):

$$Kg = \frac{\ln Pi - \ln Pa}{Ti - Ta} \quad (8)$$

Resultando la siguiente ecuación de proyecciones (Mata, 2001):

$$\ln Px = \ln Pi + Kg (Tx - Ti) \quad (9)$$

Donde:

Px: población para el año Tx que se quiere estimar.

Pi: población en el año Ti del último censo.

Kg: tasa de crecimiento geométrico.

En el Cuadro 3.4 se muestran las tasas de crecimiento geométrico para la población del distrito de Parrita, para los diferentes periodos.

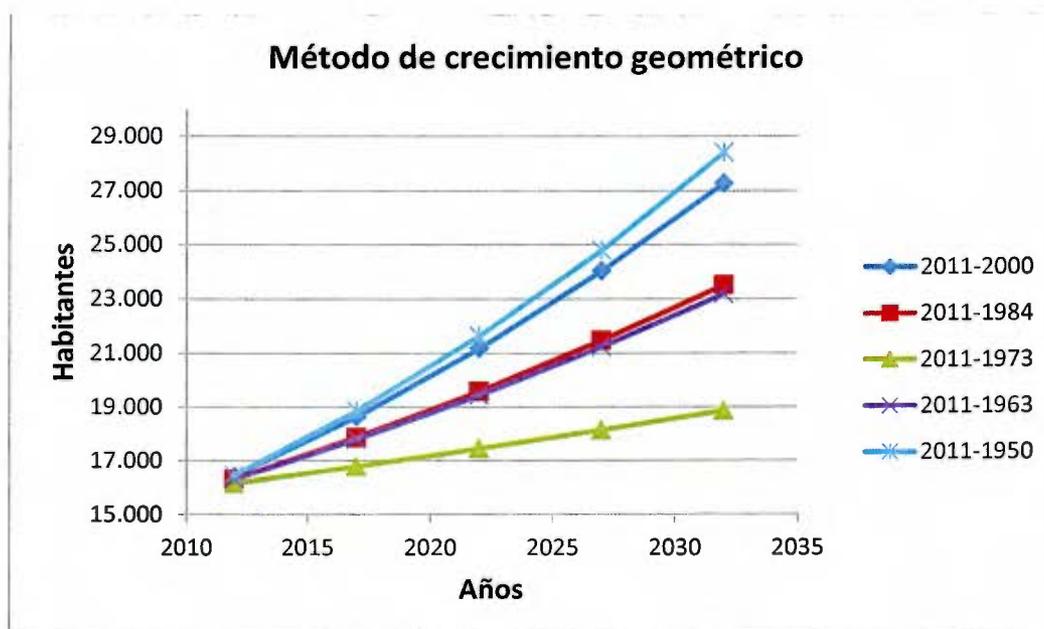
**Cuadro 3.4.** Tasas de crecimiento geométrico para el distrito de Parrita.

Periodo	Kg
2011 - 2000	0,0254
2011 - 1984	0,0183
2011 - 1973	0,0078
2011 - 1963	0,0176
2011 - 1950	0,0273

Los resultados de proyección de población para los diferentes periodos se muestran en el Cuadro 3.5 y en la Figura 3.3.

**Cuadro 3.5.** Proyección de población con el método de crecimiento geométrico.

Año	Periodo				
	2011-2000 (hab.)	2011-1984 (hab.)	2011-1973 (hab.)	2011-1963 (hab.)	2011-1950 (hab.)
2012	16 421	16 305	16 135	16 294	16 453
2017	18 642	17 866	16 778	17 794	18 860
2022	21 162	19 575	17 445	19 431	21 619
2027	24 024	21 448	18 140	21 219	24 782
2032	27 273	23 501	18 861	23 171	28 407



**Figura 3.3.** Gráfico de resultados del método de crecimiento geométrico.

### 3.2.2. Método de crecimiento aritmético

Este método se fundamenta en que la tasa de variación de la población permanece constante, e independiente del número inicial de habitantes, a partir del cual se lleva a cabo la proyección (Mata, 2001):

$$\frac{dP}{dT} = Ka \quad (10)$$

Integrando esta expresión se obtiene (Mata, 2001):

$$Ka = \frac{P_1 - Pa}{T_1 - Ta} \quad (11)$$

Siendo la ecuación de la proyección (Mata, 2001):

$$Px = P_1 + Ka (Tx - T_1) \quad (12)$$

Donde:

Px: población para el año Tx que se quiere estimar.

P<sub>1</sub>: población en el año T<sub>1</sub> del último censo.

Ka: tasa de crecimiento aritmético.

En el Cuadro 3.6 se muestran las tasas de crecimiento aritmético para la población del distrito de Parrita, para los diferentes periodos.

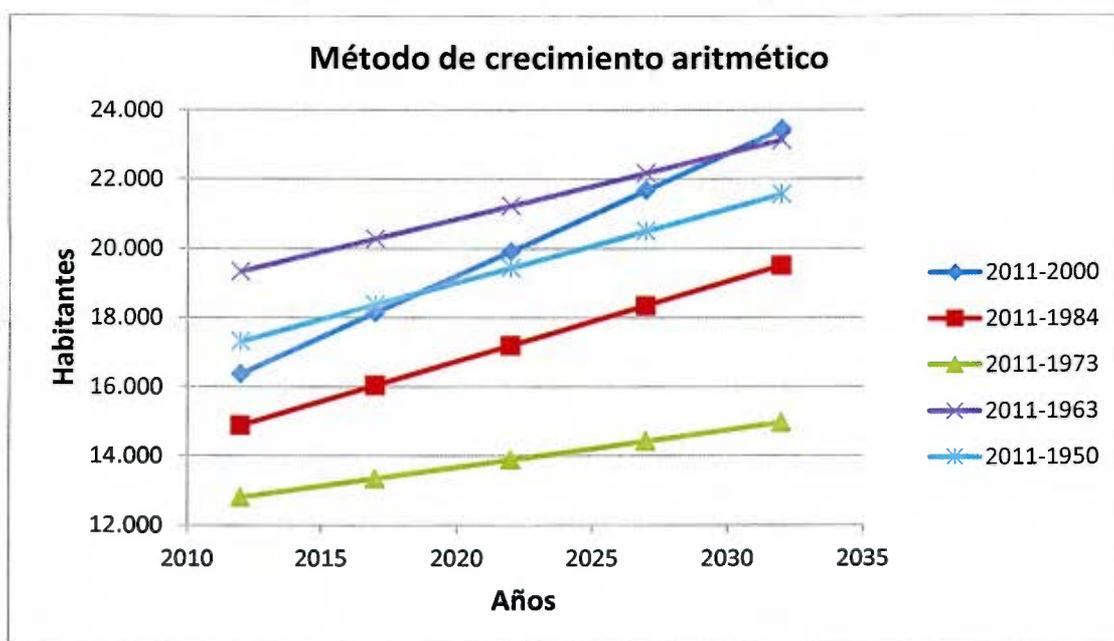
**Cuadro 3.6.** Tasas de crecimiento aritmético para el distrito de Parrita.

Periodo	Ka
2011 - 2000	354,36
2011 - 1984	230,96
2011 - 1973	108,13
2011 - 1963	190,27
2011 - 1950	212,84

Los resultados de proyección de población para los diferentes periodos se muestran en el Cuadro 3.7 y en la Figura 3.4.

**Cuadro 3.7.** Proyección de población con el método de crecimiento aritmético.

Año	Periodo				
	2011-2000 (hab.)	2011-1984 (hab.)	2011-1973 (hab.)	2011-1963 (hab.)	2011-1950 (hab.)
2012	16 364	14 884	12 802	19 322	17 306
2017	18 136	16 038	13 342	20 273	18 370
2022	19 908	17 193	13 883	21 224	19 434
2027	21 680	18 348	14 424	22 176	20 499
2032	23 452	19 503	14 964	23 127	21 563



**Figura 3.4.** Gráfico de resultados del método de crecimiento aritmético.

### 3.2.3. Método logístico

Este método calcula, en base a tres poblaciones conocidas, la población de saturación de una determinada zona.

Para el cálculo de la población de saturación se utiliza la siguiente fórmula (AyA, 1989):

$$P_s = \frac{2P_0 \cdot P_1 \cdot P_2 - P_1^2 \cdot (P_0 + P_2)}{P_0 \cdot P_2 - P_1^2} \quad (13)$$

Donde:

$P_s$ : población de saturación.

$P_0, P_1, P_2$ : poblaciones uniformemente espaciadas a intervalos  $X_1$ .

A partir de la población de saturación se calcula la población de cada año proyectado de la siguiente manera (AyA, 1989):

$$P_x = \frac{P_s}{1 + m \cdot e^{ax}} \quad (14)$$

Donde:

$P_x$ : población que se quiere estimar.

$X$ : año de  $P_x$  - año de  $P_0$ .

$m, a$ : constantes.

Por su parte,  $m$  y  $a$  se calculan con las siguientes ecuaciones (AyA, 1989):

$$m = \frac{P_s - P_0}{P_0} \quad (15)$$

$$a = \frac{1}{X_1} \cdot \ln \frac{P_0(P_s - P_1)}{P_1(P_s - P_0)} \quad (16)$$

Como se dijo anteriormente, este método requiere de poblaciones uniformemente espaciadas. Se estimarán las poblaciones de los años 1953 y 1989 para así contar con dos grupos de datos. Con esto se obtienen los siguientes periodos de análisis:

Periodo 1: 1953, 1963 y 1973, con un intervalo de años  $X_1=10$ .

Periodo 2: 1986, 2000 y 2011, con un intervalo de años  $X_1=11$ .

La población estimada en el año 1953 es de 3 677 habitantes y en el año 1989 de 8 214 habitantes.

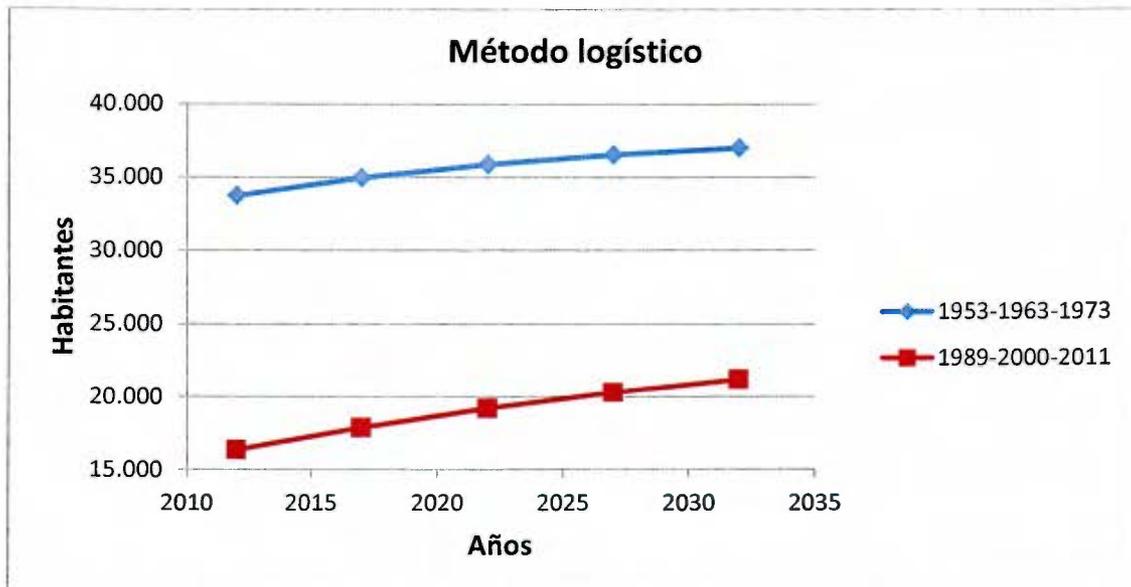
Los resultados obtenidos al aplicar este método se muestran en los cuadros 3.8 y 3.9 y en la Figura 3.5.

**Cuadro 3.8.** Variables del método logístico calculadas.

Periodo	Variables		
	Ps	m	a
1953-1963-1973	38 147	9,38	-0,07
1989-2000-2011	24 224	1,95	-0,06

**Cuadro 3.9.** Proyección de población con el método logístico.

Año	Periodo	
	1953-1963-1973 (hab.)	1989-2000-2011 (hab.)
2012	33 723	16 336
2017	34 953	17 858
2022	35 865	19 176
2027	36 528	20 282
2032	37 005	21 184



**Figura 3.5.** Gráfico de resultados del método logístico.

### 3.3. Selección de proyección

Al comparar los resultados obtenidos con los tres métodos utilizados, se eligieron como más probables las proyecciones mostradas en el Cuadro 3.10. Primeramente se descartó la proyección del método logístico de los años 1953-1963-1973, ya que los resultados obtenidos se alejaban del comportamiento de las demás proyecciones analizadas. Posteriormente se fueron descartando las proyecciones cuyos resultados se diferenciaban más del resto, hasta llegar a las tres proyecciones mostradas en el Cuadro 3.10. Llama la atención que estas proyecciones corresponden, en todos los casos, a los datos más recientes y además que los valores de población obtenidos se asemejan mucho entre sí.

**Cuadro 3.10.** Resumen de proyecciones más probables.

<b>Año</b>	<b>Método geométrico 2011-2000</b>	<b>Método aritmético 2011-2000</b>	<b>Método logístico 1989-2000-2011</b>
2012	16 421	16 364	16 336
2017	18 642	18 136	17 858
2022	21 162	19 908	19 176
2027	24 024	21 680	20 282
2032	27 273	23 452	21 184

Entre estas tres proyecciones, se elige el aritmético al considerar que los datos de este método representan valores intermedios entre las otras dos proyecciones.



**Figura 3.6.** Gráfico de población proyectada en Parrita.

### 3.4. Proyección de la población en el área de estudio

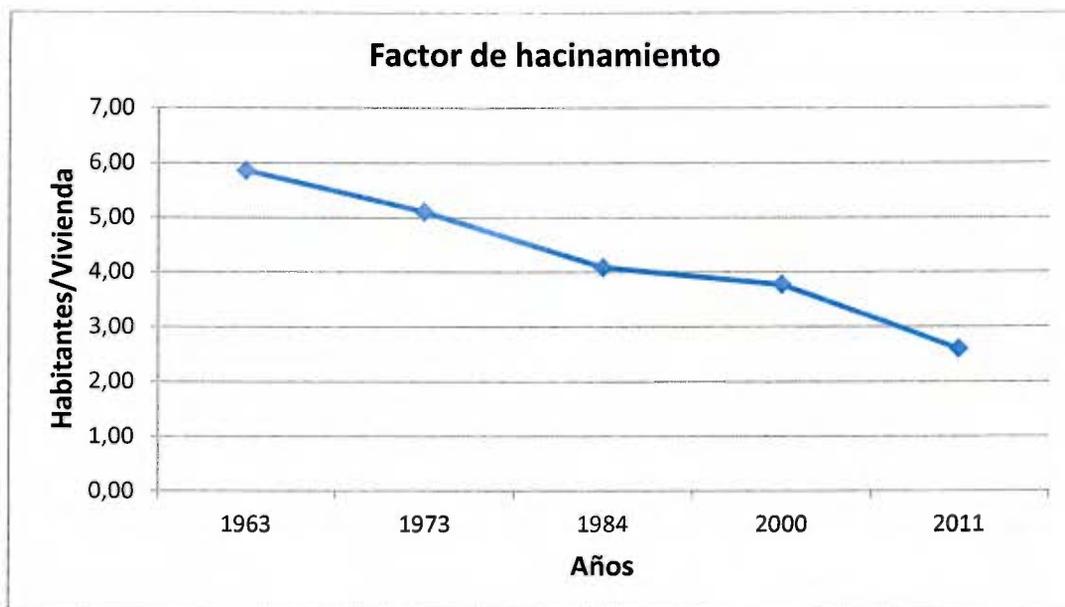
Como se dijo anteriormente el acueducto de Esterillos cuenta con 771 servicios fijos hasta setiembre del 2010. Se calculará el factor de hacinamiento por vivienda para así obtener la población de este sector en el año 2010.

Se calculó el número de habitantes por vivienda a partir de la población total y del número de viviendas, para los censos de 1963, 1973, 1984, 2000 y 2011 como se muestra en el Cuadro 3.11 y en la Figura 3.7.

**Cuadro 3.11.** Factor de hacinamiento en el distrito de Parrita.

Año	Población	Viviendas	Hab./Viv.
1963	6 877	1 175	5,85
1973	11 901	2 334	5,10
1984	9 774	2 395	4,08
2000	12 112	3 215	3,77
2011	16 010	6 190	2,59

Fuente: INEC.



**Figura 3.7.** Factor de hacinamiento en el distrito de Parrita.

Interpolando de la Figura 3.7 el factor de hacinamiento en el año 2010, se obtiene un valor de 2,7. Con esto, la población fija en la zona de Esterillos para este año es de 2 082 habitantes.

Proyectando la población para el año 2010 en el distrito de Parrita, con el método aritmético elegido anteriormente, se obtiene una población de 15 656 habitantes. La población de Esterillos en ese año representa un 13% del total de población del distrito de Parrita.

Ahora a partir de este porcentaje se calculará la población de Esterillos para los años proyectados:

**Cuadro 3.12.** Población proyectada en Esterillos.

Año	Población (hab.)	
	Parrita	Esterillos
2012	16 364	2 127
2017	18 136	2 358
2022	19 908	2 588
2027	21 680	2 818
2032	23 452	3 049

Y para los sectores de Esterillos:

**Cuadro 3.13.** Población proyectada en los diferentes sectores de Esterillos.

Año	Población (hab.)		
	Esterillos Oeste	Esterillos Centro	Esterillos Este y Bejuco
2012	1 021	128	978
2017	1 132	141	1 085
2022	1 242	155	1 191
2027	1 353	169	1 296
2032	1 463	183	1 403

Para el año 2032 se utilizará un factor de hacinamiento de 2 habitantes por vivienda, ya que según la tendencia que se sigue, se espera una reducción del factor. Sin embargo, se considera que esta reducción no será menor a 2 ya que Esterillos es una zona con mucho potencial de desarrollo y de gran interés extranjero, lo cual se ve reflejado en la cantidad de

proyectos que se esperan en la zona. Este valor deberá revisarse con los próximos censos de población.

Y con esto la población de los proyectos futuros en Esterillos se muestra a continuación en el Cuadro 3.14.

**Cuadro 3.14.** Población total de proyectos a 20 años en Esterillos.

<b>Proyecto N°</b>	<b>Nombre</b>	<b>Población (hab.)</b>
<b>ESTERILLOS OESTE</b>		
1	Costa Bitton 1	840
2	Araya 1	210
3	Araya 2	210
4	Cabo Caletas	4 200
5	Vista Sirena	112
6	Esterillos Hills	112
7	Condominio Las Olas	700
8	Costa Reitz	490
10	Las Esmeraldas	390
11	Caliche Monge	140
12	Los Solano	210
16	Costa Bitton 2	350
18	El Mono Dorado	300
27	Los Batalla - Rancho Nuevo	4 200
<b>Total</b>		12 464
<b>ESTERILLOS CENTRO</b>		
9	Pico del Estero	392
13	Costa Esterillos	574
14	Costa Reserva	596
22	Vista de Los Castro	144
<b>Total</b>		1 706
<b>ESTERILLOS ESTE</b>		
17	Paradigma Monterrey	42
19	Monterrey	4 200
20	Del Pacífico	3 500
26	Pollo Macho	4 200
15	Corazón de la Tierra	2 800
29	Vista Monterrey	2 100
31	Finca Don Olman	800
<b>Total</b>		17 642

<b>BEJUCO</b>		
21	Academia Coronado	560
23	Rancho Bejuco	112
24	Costa Sol	210
25	Villas de la Palma	236
28	Los Batalla - Bejuco	2 100
30	Tres Palmeras	92
<b>Total</b>		<b>3 310</b>
<b>Total General</b>		<b>35 122</b>

### 3.5. Población flotante

Se considerará también una población flotante debido a que esta región representa un gran atractivo turístico, tanto nacional como internacional. Los valores base para el cálculo de la población flotante se extrajeron del Plan Maestro de Abastecimiento de Agua Potable para la región de Jacó-Parrita (Hidrotecnia, 2008), estos se presentan en el Cuadro 3.15.

**Cuadro 3.15.** Población flotante para la región de Esterillos.

<b>Descripción</b>	<b>Población (hab.)</b>				
	<b>2010</b>	<b>2015</b>	<b>2020</b>	<b>2025</b>	<b>2030</b>
Hoteles y cabinas	1 050	1 114	1 291	1 497	1 735
Temporadistas	17 500	18 566	21 523	24 951	28 925
Trabajadores	700	743	861	998	1 157
Visitantes diarios	21 000	22 279	25 827	29 941	34 710

**Fuente:** Hidrotecnia, 2008.

A partir de esta tabla se interpolan los valores de población para los años 2012, 2017, 2022 y 2027. Para el cálculo de la población flotante en el año 2032 se utilizó el método aritmético, para el cual se tomaron los datos de la proyección del periodo 2025-2030. Los resultados se muestran en el siguiente cuadro:

**Cuadro 3.16.** Población flotante de años analizados para la región de Esterillos.

Descripción	Población (hab.)				
	2012	2017	2022	2027	2032
Hoteles y cabinas	1 076	1 185	1 373	1 592	1 830
Temporadistas	17 926	19 749	22 894	26 541	30 515
Trabajadores	717	790	916	1 062	1 221
Visitantes diarios	21 512	23 698	27 473	31 849	36 618

Para los sectores de Esterillos, se calculará la población flotante según el porcentaje que representan dentro de la zona como se indicó en el Cuadro 3.1.

**Cuadro 3.17.** Población flotante para el sector de Esterillos Oeste.

Descripción	Población Esterillos Oeste (hab.)				
	2012	2017	2022	2027	2032
Hoteles y cabinas	516	569	659	764	878
Temporadistas	8 605	9 479	10 989	12 739	14 647
Trabajadores	344	379	440	510	586
Visitantes diarios	10 326	11 375	13 187	15 287	17 577

**Cuadro 3.18.** Población flotante para el sector de Esterillos Centro.

Descripción	Población Esterillos Centro (hab.)				
	2012	2017	2022	2027	2032
Hoteles y cabinas	65	71	82	96	110
Temporadistas	1 075	1 185	1 374	1 593	1 831
Trabajadores	43	47	55	64	73
Visitantes diarios	1 291	1 422	1 648	1 911	2 197

**Cuadro 3.19.** Población flotante para el sector de Esterillos Este y Bejuco.

Descripción	Población Esterillos Este y Bejuco (hab.)				
	2012	2017	2022	2027	2032
Hoteles y cabinas	495	545	632	732	842
Temporadistas	8 246	9 085	10 531	12 209	14 037
Trabajadores	330	364	421	488	562
Visitantes diarios	9 895	10 901	12 638	14 651	16 844

Sumando la población fija residente, la población flotante y la población de los proyectos futuros (para el año 2032) se tendría, en la época de máxima ocupación en Esterillos, para el año actual una población total de 43 358 habitantes y para el año 2032 se espera una población total de 108 355 habitantes. Por sector de Esterillos se tendrían los siguientes resultados:

**Cuadro 3.20.** Poblaciones de los años 2012 y 2032 en Esterillos.

<b>Sector</b>	<b>Población Año 2012</b>	<b>Población Año 2032</b>
Esterillos Oeste	20 812	47 616
Esterillos Centro	2 601	6 100
Esterillos Este y Bejuco	19 944	54 640
<b>Total</b>	<b>43 358</b>	<b>108 355</b>

La población estimada en el año 2012 se utilizará más adelante en la valoración del sistema de abastecimiento actual, mientras que la población calculada para el año 2032 se utilizará como población de diseño para la propuesta de mejoras al acueducto.

## CAPÍTULO 4. CONSUMO Y DEMANDA

### 4.1. Dotaciones

#### 4.1.1. Población fija

Las normas de diseño de AyA establecen que para acueductos con más de 100 viviendas, zonas semi - urbanas o zonas turísticas; la dotación deberá estar entre 180 l/p/d y 300 l/p/d. Además el consumo por persona debe incrementarse en un 25% para considerar el agua no contabilizada.

En este caso se utilizará una dotación de 180 l/p/d para la población fija residente de la zona, y considerando el 25% de agua no contabilizada se tendría una dotación total de:

$$\text{Dotación total} = \frac{180 \text{ l/p/día}}{(1 - ANC)} = \frac{180 \text{ l/p/día}}{(1 - 0,25)} \quad (17)$$

$$\text{Dotación total} = 240 \text{ l/p/d}$$

Se eligió una dotación de 180 l/p/d para así utilizar, incluyendo el 25% de agua no contabilizada, un valor de dotación intermedio entre el rango establecido por las normas de AyA de entre 180 l/p/d y 300 l/p/d.

Esta dotación se utilizará para los servicios que cuentan con medición. La dotación de los servicios que no cuentan con micromedición, deberá incrementarse en un 50% como indica la norma. Con esto la dotación para los servicios fijos sin medición será de 360 l/p/d.

Se considera que a futuro todos los servicios contarán con micromedición y además que por año la dotación se reducirá 1 l/p/d debido a un mayor racionamiento del agua al haber más conciencia y educación al respecto, considerando el uso cada vez más frecuente de accesorios eficientes, etc. Con esto la dotación en el año 2032 para la población fija de Esterillos sería de 220 l/p/d.

#### **4.1.2. Población flotante**

Para la población flotante se utilizarán las siguientes dotaciones planteadas en el Plan Maestro de Abastecimiento de Agua Potable para la región de Jacó-Parrita (Hidrotecnia, 2008):

- Dotaciones de hoteles y cabinas:

Se considera que las dotaciones para estas instalaciones son del orden de los 400 litros por huésped. El valor de esta dotación se justifica debido a que hay que considerar los consumos de los otros servicios que poseen los hoteles como restaurantes, piscinas, riego de jardines, mayor uso del agua en tinas y baños, etc.

- Dotaciones de temporadistas:

Para este tipo de turista se ha considerado que las dotaciones serán un 20% mayores que las de la población fija residencial, dado que tendrá las mismas actividades que una persona residente en cuanto al uso del agua se refiere, lavado de ropa, uso de agua diario doméstico; pero con piscinas, riego de jardines o lavado de autos.

- Dotaciones de trabajadores:

Para esta dotación se ha considerado que estas personas en su mayoría no permanecen en la zona todo el día, sino que algunas se regresan en la noche a sus domicilios fuera de Esterillos, por lo que el uso del agua es menor que el de una persona residente. Se considerará que estas personas permanecen entre 14 a 18 horas al día en Esterillos, tomando en cuenta las tres jornadas de trabajo, que se presentan en las actividades de comercio y hotelería. Se ha considerado que el consumo de estas personas es de 90 l/p/d.

- Dotaciones de visitantes diarios:

Este tipo de visitantes se han considerado como aquellos que utilizan los comercios tales como restaurantes, tiendas y el comercio en general, el cual, de acuerdo con las normas del Código de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias del CFIA, se estima que el consumo de estos visitantes es de unos 50 a 100 l/p/d. Para los propósitos del presente estudio se utilizará una dotación de 100 l/p/d, principalmente por las razones que estos visitantes utilizan baños, inodoros, lavado de manos, que en las zonas costeras tiene mayor uso.

En la siguiente tabla se resumen las dotaciones propuestas para la población flotante:

**Cuadro 4.1.** Dotaciones para la población flotante del año 2012.

<b>Descripción</b>	<b>Dotación (l/p/d)</b>
Hoteles y cabinas	400
Temporadistas	288
Trabajadores	90
Visitantes diarios	100

**Fuente:** Hidrotecnia, 2008.

Las dotaciones del Cuadro 4.1 se utilizarán para los cálculos de las demandas actuales. A futuro se considerará, igual que para la población fija, la reducción de 1 l/p/d por las mismas consideraciones anteriores. Por lo que las dotaciones en el año 2032 para la población flotante de Esterillos, son las que se muestran en el Cuadro 4.2.

**Cuadro 4.2.** Dotaciones para la población flotante del año 2032.

<b>Descripción</b>	<b>Dotación (l/p/d)</b>
Hoteles y cabinas	380
Temporadistas	268
Trabajadores	70
Visitantes diarios	80

## **4.2. Demandas**

### **4.2.1. Demanda promedio diaria**

La demanda promedio diaria, correspondiente al caudal promedio diario (QPD), se calcula a partir de los valores de población (número de habitantes) y de dotación (l/p/d). A partir del caudal promedio diario se calcula la demanda máxima diaria y la demanda máxima horaria.

La demanda promedio diaria se obtiene con la siguiente fórmula:

$$QPD \text{ (l/s)} = \frac{\text{Población} \cdot \text{Dotación}}{86\,400} \quad (18)$$

### **4.2.2. Demanda máxima diaria**

La demanda máxima diaria, correspondiente al caudal máximo diario (QMD), se utiliza para determinar la capacidad de las líneas de conducción. Se calcula a partir del caudal promedio diario y de un factor de variación de consumo llamado factor máximo diario (FMD). En este caso se utilizará un factor máximo diario de 1,25 como se recomienda en las normas de diseño de AyA.

La demanda máxima diaria se calcula con la siguiente fórmula:

$$QMD \text{ (l/s)} = QPD \cdot FMD \quad (19)$$

### **4.2.3. Demanda máxima horaria**

La demanda máxima horaria, correspondiente al caudal máximo horario (QMH), se utiliza para determinar la capacidad de las redes de distribución. Se calcula a partir del caudal máximo diario y de un factor de variación de consumo, en este caso, el factor máximo horario (FMH). Se utilizará un factor máximo horario de 1,50 como se recomienda en las normas de diseño de AyA.

La demanda máxima horaria se obtiene a partir de la siguiente fórmula:

$$QMH (l/s) = QMD \cdot FMH \quad (20)$$

En los Cuadros 4.3 y 4.4 se presentan las demandas promedio diarias, máximas diarias y máximas horarias existentes en el año 2012 y futuras para el año 2032 en Esterillos, respectivamente. Estas demandas fueron calculadas con las fórmulas anteriormente presentadas.

**Cuadro 4.3.** Demandas existentes en el año 2012 en el pueblo de Esterillos.

Descripción	Población (hab.)	Dotación (l/p/d)	QPD (l/s)	QMD (l/s)	QMH (l/s)
<b>ESTERILLOS OESTE</b>					
Residentes medidos	874	240	2,43	3,03	4,55
Residentes no medidos	147	360	0,61	0,77	1,15
Hoteles y cabinas	516	400	2,39	2,99	4,48
Temporadistas	8 605	288	28,68	35,85	53,78
Trabajadores	344	90	0,36	0,45	0,67
Visitantes diarios	10 326	100	11,95	14,94	22,41
Total	20 812	-	46,42	58,03	87,04
<b>ESTERILLOS CENTRO</b>					
Residentes medidos	118	240	0,33	0,41	0,61
Residentes no medidos	10	360	0,04	0,05	0,08
Hoteles y cabinas	65	400	0,30	0,37	0,56
Temporadistas	1 075	288	3,58	4,48	6,72
Trabajadores	43	90	0,04	0,06	0,08
Visitantes diarios	1 291	100	1,49	1,87	2,80
Total	2 601	-	5,79	7,24	10,86
<b>ESTERILLOS ESTE Y BEJUCO</b>					
Residentes medidos	856	240	2,38	2,97	4,46
Residentes no medidos	122	360	0,51	0,63	0,95
Hoteles y cabinas	495	400	2,29	2,86	4,29
Temporadistas	8 246	288	27,49	34,36	51,54
Trabajadores	330	90	0,34	0,43	0,64
Visitantes diarios	9 895	100	11,45	14,32	21,47
Total	19 944	-	44,46	55,58	83,36
<b>TOTAL</b>	<b>43 358</b>	<b>-</b>	<b>96,67</b>	<b>120,84</b>	<b>181,26</b>

**Cuadro 4.4.** Demandas futuras para el año 2032 en el pueblo de Esterillos.

Descripción	Población (hab.)	Dotación (l/p/d)	QPD (l/s)	QMD (l/s)	QMH (l/s)
<b>ESTERILLOS OESTE</b>					
Residentes	1 463	220	3,73	4,66	6,99
Proyectos futuros	12 464	220	31,74	39,67	59,51
Hoteles y cabinas	878	380	3,86	4,83	7,24
Temporadistas	14 647	268	45,43	56,79	85,19
Trabajadores	586	70	0,47	0,59	0,89
Visitantes diarios	17 577	80	16,28	20,34	30,52
Total	47 616	-	101,51	126,89	190,33
<b>ESTERILLOS CENTRO</b>					
Residentes	183	220	0,47	0,58	0,87
Proyectos futuros	1 706	220	4,34	5,43	8,14
Hoteles y cabinas	110	380	0,48	0,60	0,91
Temporadistas	1 831	268	5,68	7,10	10,65
Trabajadores	73	70	0,06	0,07	0,11
Visitantes diarios	2 197	80	2,03	2,54	3,81
Total	6 100	-	13,07	16,33	24,50
<b>ESTERILLOS ESTE Y BEJUCO</b>					
Residentes	1 403	220	3,57	4,47	6,70
Proyectos futuros	20 952	220	53,35	66,69	100,03
Hoteles y cabinas	842	380	3,70	4,63	6,94
Temporadistas	14 037	268	43,54	54,42	81,64
Trabajadores	562	70	0,46	0,57	0,85
Visitantes diarios	16 844	80	15,60	19,50	29,24
Total	54 640	-	120,22	150,27	225,41
<b>TOTAL</b>	<b>108 355</b>	<b>-</b>	<b>234,79</b>	<b>293,49</b>	<b>440,23</b>

De los cuadros anteriores se puede observar que para el año 2012 se obtiene una demanda promedio diaria total de 96,67 l/s, una demanda máxima diaria total igual a 120,84 l/s y una demanda máxima horaria total de 181,26 l/s.

Y para el año 2032 se obtiene una demanda promedio diaria total de 234,79 l/s, una demanda máxima diaria igual a 293,49 l/s y una demanda máxima horaria de 440,23 l/s.

# CAPÍTULO 5. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO

## 5.1. Fuentes de abastecimiento

El sistema se abastece actualmente de una naciente y tres pozos perforados, su ubicación se muestra en la Figura 5.1.

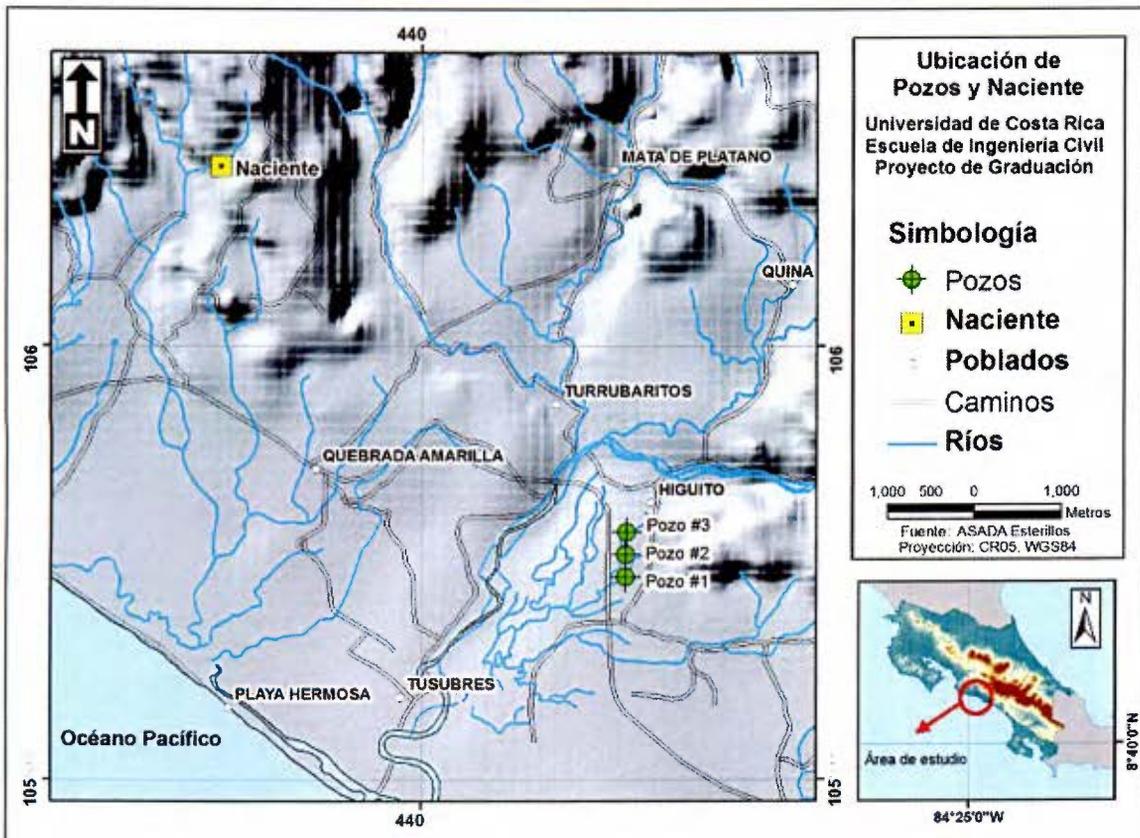


Figura 5.1. Ubicación de naciente y pozos.

### **5.1.1. Naciente**

Se encuentra en las coordenadas 1 062 142 Norte / 437 647 Este del sistema CR05, a una elevación de 175 msnm. Su producción en verano es de 18,22 l/s de acuerdo a un aforo elaborado por Hidrogeotecnia Ltda. a finales de marzo del 2008.



**Figura 5.2.** Fotografía de la captación de la naciente.

Con el fin de aprovechar al máximo la producción de la naciente, se hicieron algunos cambios al sistema, los cuales fueron propuestos en un informe realizado en el año 2008 por la empresa Hidrogeotecnia Ltda. Las mejoras realizadas al sistema fueron las siguientes:

- Instalación de un equipo de bombeo de 50 HP en el Pozo #1.
- Reinstalación del equipo que se encontraba en el Pozo #1 en el Pozo #3, el cual se encontraba fuera de funcionamiento.
- Extensión de la conducción desde el Pozo #3 hasta la línea de distribución que baja del tanque actual, con lo cual se aprovechan los 18,22 l/s que produce la naciente. Sin embargo, dado que este caudal no pasaría por el tanque de almacenamiento debe ser tratado como caudal máximo horario, por lo que equivale a 9,72 l/s de caudal promedio y 12,15 l/s de caudal máximo diario.

En el Anexo 2, se muestran los análisis fisicoquímicos y bacteriológicos realizados al agua de la naciente que indican que ésta es apta para consumo humano.

### ***5.1.2. Pozos perforados***

El acueducto cuenta con tres pozos perforados. Con las mejoras realizadas, el Pozo #1 (el más cercano a Esterillos) pasó de generar 9,4 l/s a producir 26 l/s. Este pozo tiene un diámetro de armado de 200 mm y una profundidad de 30 m.



**Figura 5.3.** Fotografía de caseta del Pozo #1.

El Pozo #2 y el Pozo #3 tienen la misma producción de 9 l/s. Los dos cuentan con un diámetro de armado de 200 mm y tienen una profundidad de 27 m.



**Figura 5.4.** Fotografía de la caseta del Pozo #2.



**Figura 5.5.** Fotografía de la caseta del Pozo #3.

## **5.2. Tuberías de conducción e impulsión**

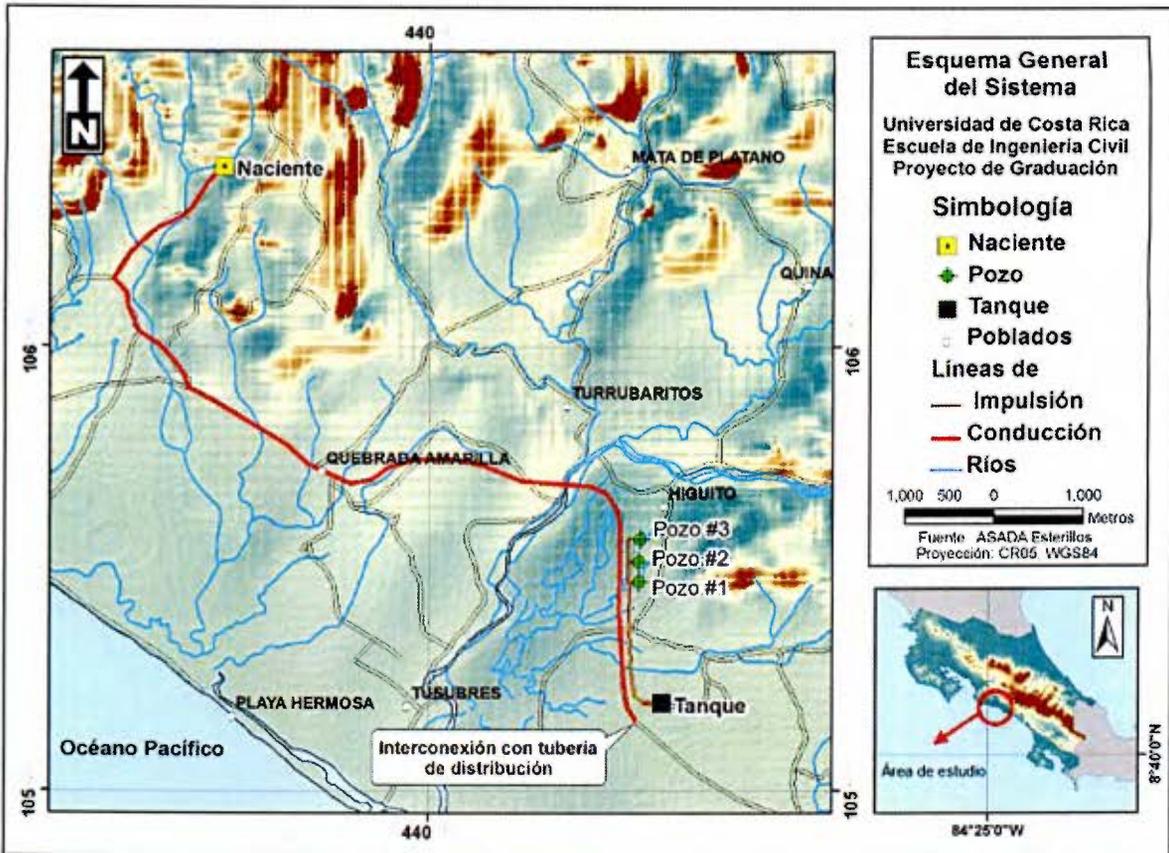
De la naciente, el agua sale por gravedad por medio de una tubería de PVC SDR 17 que inicia en un diámetro de 200 mm y luego se reduce a 150 mm. El tramo de 200 mm mide 1 760 m y el de 150 mm mide 7 170 m. Entre las mejoras realizadas, esta conducción se extendió una longitud de 2 708 m en diámetro de 150 mm, por lo tanto ésta ahora se encuentra

independiente de los pozos y se conecta directamente con la tubería de distribución que sale del tanque de almacenamiento. La extensión de la conducción es en tubería de PVC SDR 26.



**Figura 5.6.** Fotografía de la tubería de conducción de 200 mm.

Desde el Pozo #3 hasta el Pozo #2 la tubería de impulsión es de 150 mm de diámetro y mide 240 m de largo, del Pozo #2 hasta el tanque pasando por el Pozo #1 la tubería es de 200 mm de diámetro y tiene una longitud de 2 500 m. Esta tubería es de PVC SDR 17.



**Figura 5.7.** Esquema general del sistema.

### 5.3. Tanque de almacenamiento

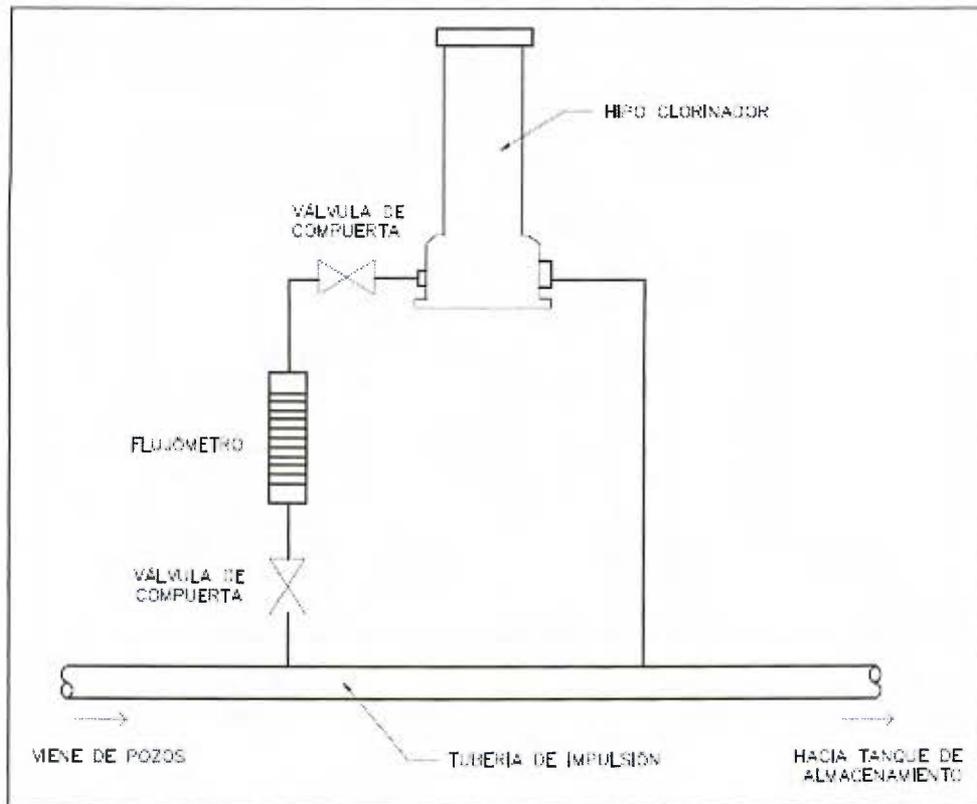
El tanque de almacenamiento se ubica en una colina cercana a la entrada de Esterillos Oeste, a una elevación de 77,14 msnm y tiene un volumen de 400 m<sup>3</sup>. Como se puede observar en la Figura 5.8 este tanque es asentado en concreto.



**Figura 5.8.** Fotografía del tanque de almacenamiento existente.

#### **5.4. Sistema de desinfección**

El acueducto cuenta con un equipo de cloración que se ubica en la tubería de entrada del tanque de almacenamiento. Consiste en un sistema de pastillas de cloro que se colocan dentro de un cilindro expuesto al flujo de agua, el cual las va disolviendo y va desinfectando el agua conforme ésta ingresa al tanque. En la Figura 5.9 se muestra un esquema de este tipo de sistema.



**Figura 5.9.** Esquema de equipo de cloración del acueducto de Esterillos.

### 5.5. Red de distribución

La red de distribución está compuesta por tuberías de PVC SDR 41 y SDR 32,5. Los diámetros van desde los 200 mm hasta los 38 mm, con algunas pequeñas extensiones en 25 mm. Cuenta con algunas válvulas de compuerta, aire y limpieza. No existen hidrantes en el sistema.

Cabe agregar que el 13% de los servicios del acueducto de Esterillos no cuenta con micromedición.

En el siguiente cuadro se indica la longitud de tuberías de acuerdo al diámetro, existentes en este acueducto.

**Cuadro 5.1.** Cantidad de tuberías en la red de distribución.

<b>Diámetro (mm)</b>	<b>Longitud (m)</b>	<b>% del total</b>
200	3 535	11
150	8 748	28
100	2 856	9
75	5 031	16
63	3 820	12
50	2 967	10
38	2 791	9
25	1 315	4
<b>Total</b>	<b>31 063</b>	<b>100</b>

En resumen el sistema de abastecimiento actual del acueducto de Esterillos está conformado por:

- Una naciente cuya producción de 18,22 l/s se conduce por una línea de 200 mm de diámetro que luego se reduce a 150 mm, la cual se conecta directamente a la tubería de distribución.
- Tres pozos cuya producción en conjunto de 44 l/s, es bombeada a través de una línea de impulsión de 150 mm de diámetro que se amplía a 200 mm, hasta un tanque de almacenamiento de 400 m<sup>3</sup>. En este tanque se realiza cloración con un sistema de pastillas de cloro.
- La red de distribución cuenta con 31 063 m de tubería con diámetros desde los 200 mm hasta los 25 mm, donde el diámetro predominante es el de 150 mm. El 87% de los servicios existentes cuenta con hidrómetro.

## **CAPÍTULO 6. DIAGNÓSTICO DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO**

### **6.1. Capacidad de las fuentes de abastecimiento**

Con las mejoras realizadas se aprovechan los 18,22 l/s producidos por la naciente. Como se dijo anteriormente; ya que este caudal no pasa por el tanque debe ser tratado como caudal máximo horario, por lo que equivale a un caudal máximo diario de 12,15 l/s.

El Pozo #1 llegó a tener una capacidad de 26 l/s, el Pozo #2 continúa produciendo un caudal de 9 l/s y el Pozo #3 genera aproximadamente la misma cantidad. Por lo que se considera que en total, los tres pozos producen un caudal de 44 l/s. Considerando una jornada de bombeo de 18 horas/día, se genera un caudal máximo diario equivalente a 33 l/s.

En total se tiene un caudal máximo diario de 45,15 l/s. La demanda máxima diaria total de la zona de Esterillos es de 120,84 l/s, por lo que actualmente se tiene un déficit de abastecimiento de 75,69 l/s para la condición de máxima ocupación en verano.

### **6.2. Capacidad de la línea de conducción**

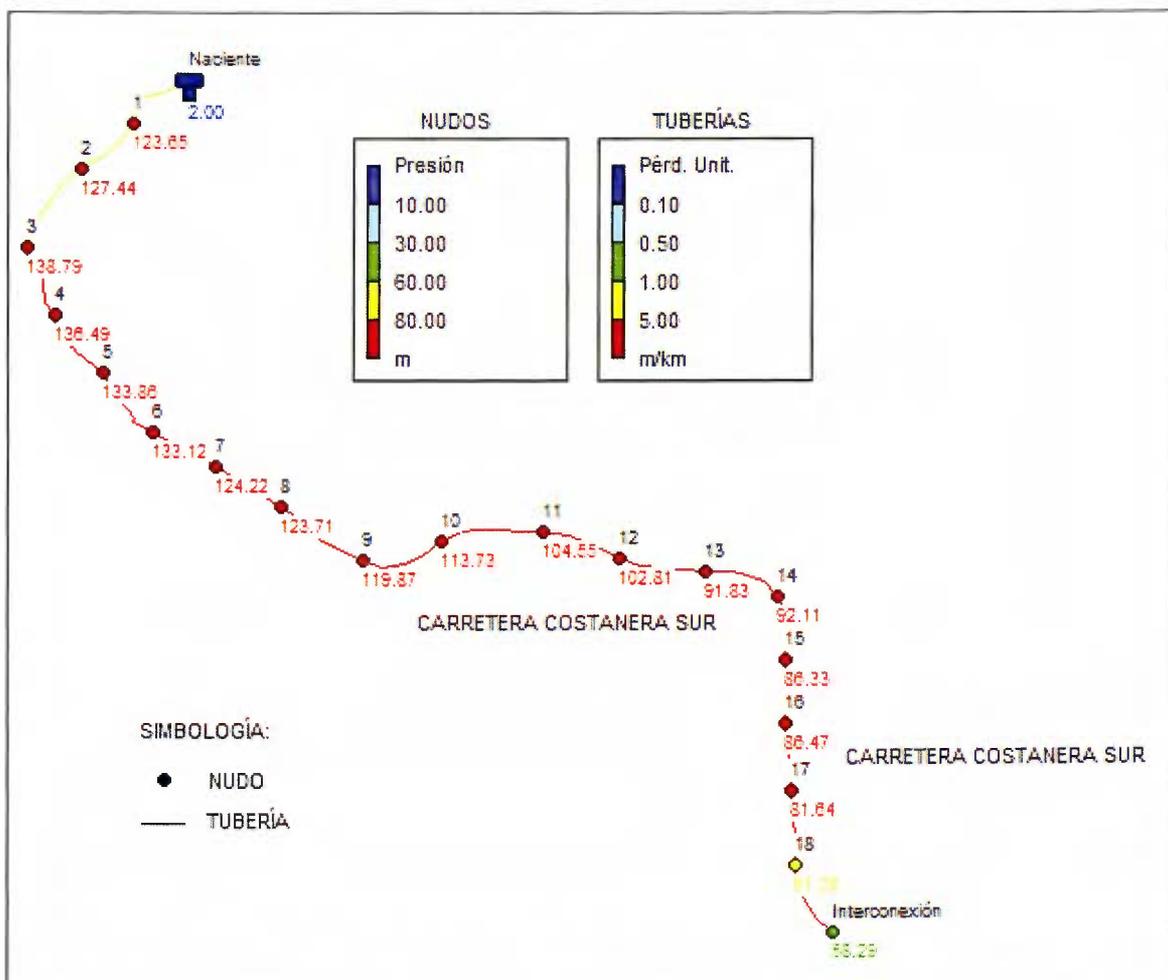
La evaluación de la línea de conducción se realizó con el programa EPANET. Se simuló la tubería de conducción desde la naciente hasta la interconexión con la tubería de distribución que sale del tanque de almacenamiento. Los datos de entrada para el programa son:

- Para los nudos: ubicación y elevación. Además, en el Nudo Interconexión se introdujo el valor de caudal que debe transportar esta línea, para así evaluar su capacidad.
- Para las tuberías: el diámetro, longitud, rugosidad de Hazen – Williams y los nudos que interconecta.

En este caso para tuberías existentes de PVC se utilizó un valor de rugosidad de Hazen – Williams de 120, al considerar que por la antigüedad de la tubería, ésta es más rugosa. En el caso de tuberías nuevas de PVC se utiliza una rugosidad de 130.

A continuación se muestra el resultado gráfico de la simulación, donde se observan presiones altas que llegan hasta los 138,79 mca. Las normas de diseño de AyA recomiendan una presión estática máxima de 80 mca en las líneas de conducción, lo cual no se cumple en este caso. Sin embargo, es indispensable una presión alta en el sitio de interconexión para garantizar la entrada del agua al sistema. Caso contrario, el agua que sale del tanque de almacenamiento podría tratar de ingresar a la línea de conducción.

Posteriormente, se presentan los resultados numéricos que brinda el programa.



**Figura 6.1.** Resultado de la modelación de la línea de conducción existente.

**Cuadro 6.1.** Resultados de los nudos de la conducción existente.

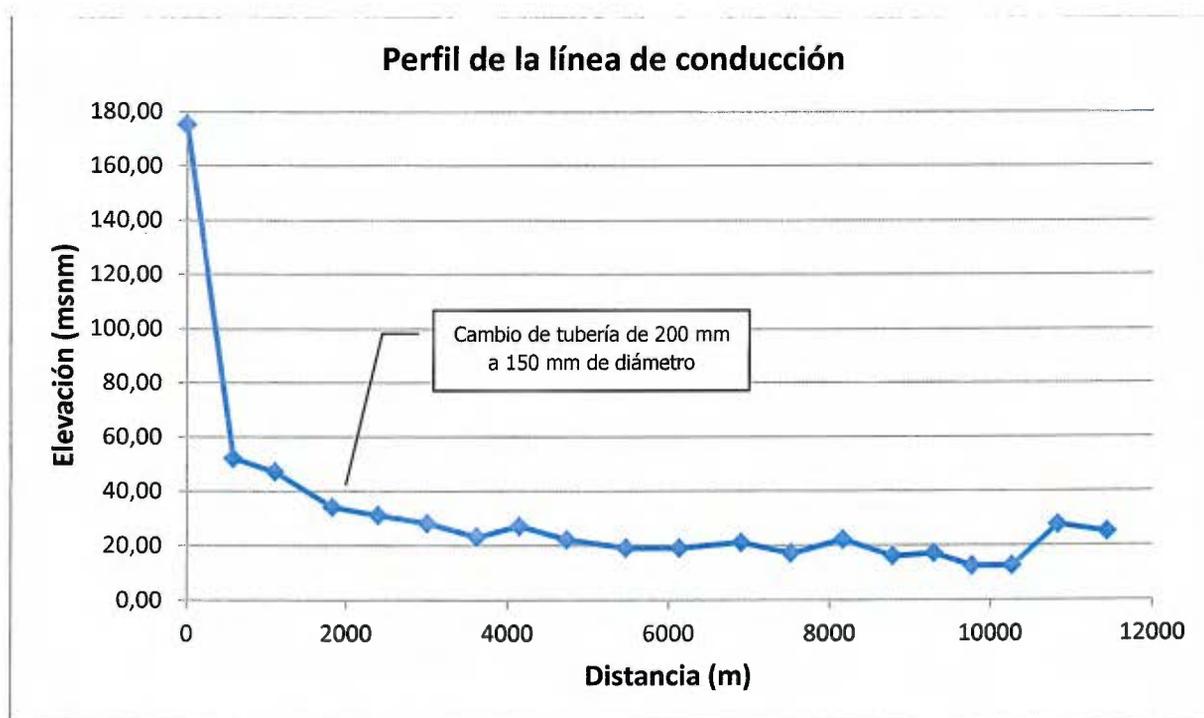
<b>ID Nudo</b>	<b>Cota (msnm)</b>	<b>Demanda (l/s)</b>	<b>Altura piez. (m)</b>	<b>Presión (mca)</b>
Nudo Naciente	175,00	-18,22	177,00	2,00
Nudo 1	52,00	0,00	175,65	123,65
Nudo 2	47,00	0,00	174,44	127,44
Nudo 3	34,00	0,00	172,79	138,79
Nudo 4	31,00	0,00	167,49	136,49
Nudo 5	28,00	0,00	161,86	133,86
Nudo 6	23,00	0,00	156,12	133,12
Nudo 7	27,00	0,00	151,22	124,22
Nudo 8	22,00	0,00	145,71	123,71
Nudo 9	19,00	0,00	138,87	119,87
Nudo 10	19,00	0,00	132,73	113,73
Nudo 11	21,00	0,00	125,55	104,55
Nudo 12	17,00	0,00	119,81	102,81
Nudo 13	22,00	0,00	113,83	91,83
Nudo 14	16,00	0,00	108,11	92,11
Nudo 15	17,00	0,00	103,33	86,33
Nudo 16	12,42	0,00	98,89	86,47
Nudo 17	12,50	0,00	94,14	81,64
Nudo 18	27,55	0,00	88,83	61,28
Nudo Interconexión	24,91	18,22	83,20	58,29

**Cuadro 6.2.** Resultados de las tuberías de la conducción existente.

<b>ID Línea</b>	<b>De nudo a nudo</b>	<b>Longitud (m)</b>	<b>Diámetro (mm)</b>	<b>Rugosidad (C)</b>	<b>Caudal (l/s)</b>	<b>Velocidad (m/s)</b>	<b>Pérdida Unit. (m/km)</b>
Tubería 1	Naciente a 1	586,70	200	120	18,22	0,58	2,29
Tubería 2	1 a 2	527,33	200	120	18,22	0,58	2,29
Tubería 3	2 a 3	721,74	200	120	18,22	0,58	2,29
Tubería 4	3 a 4	568,39	150	120	18,22	1,03	9,31
Tubería 5	4 a 5	604,62	150	120	18,22	1,03	9,31
Tubería 6	5 a 6	616,24	150	120	18,22	1,03	9,31
Tubería 7	6 a 7	526,38	150	120	18,22	1,03	9,31
Tubería 8	7 a 8	591,15	150	120	18,22	1,03	9,31
Tubería 9	8 a 9	734,07	150	120	18,22	1,03	9,31
Tubería 10	9 a 10	660,03	150	120	18,22	1,03	9,31
Tubería 11	10 a 11	769,87	150	120	18,22	1,03	9,31
Tubería 12	11 a 12	616,97	150	120	18,22	1,03	9,31
Tubería 13	12 a 13	642,18	150	120	18,22	1,03	9,31
Tubería 14	13 a 14	613,67	150	120	18,22	1,03	9,31
Tubería 15	14 a 15	512,74	150	120	18,22	1,03	9,31

Tubería 16	15 a 16	477,04	150	120	18,22	1,03	9,31
Tubería 17	16 a 17	510,30	150	120	18,22	1,03	9,31
Tubería 18	17 a 18	570,08	150	120	18,22	1,03	9,31
Tubería 19	18 a Interconexión	604,35	150	120	18,22	1,03	9,31

A continuación en la Figura 6.2 se muestra el perfil de la línea de conducción existente.



**Figura 6.2.** Perfil de la línea de conducción existente.

### 6.3. Capacidad de la línea de impulsión

El diámetro económico para líneas de impulsión, que optimiza el costo de la tubería y el costo de la electricidad, está dado por la ecuación (Rodríguez, 1984):

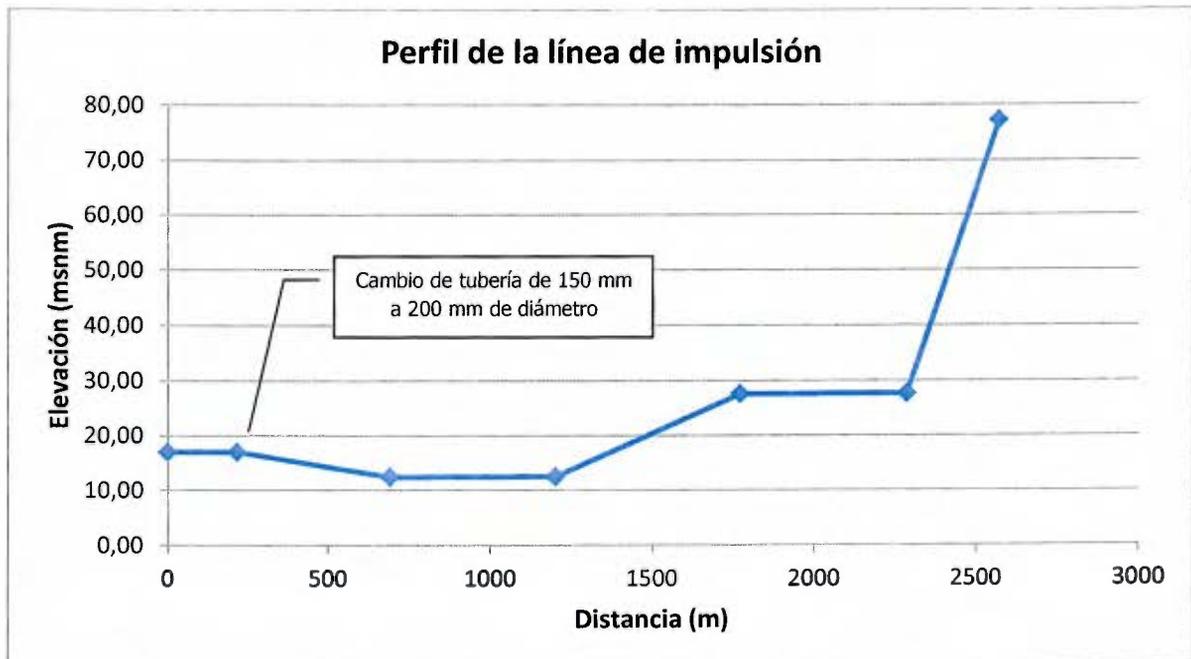
$$\varnothing = 0,9 \cdot Q^{0,45} \quad (21)$$

Donde:

$\varnothing$  = diámetro económico en m.

Q = caudal de impulsión en m<sup>3</sup>/s.

Con un caudal de impulsión de los pozos de 33 l/s, que equivale a 0,033 m<sup>3</sup>/s, el diámetro económico sería de 194 mm. Dado que la línea de impulsión tiene un pequeño tramo de 215 m en tubería de 150 mm y un tramo más largo de 2 359 m en tubería de 200 mm, ésta línea de impulsión se considera adecuada. A continuación en la Figura 6.3 se muestra el perfil de la línea de impulsión.



**Figura 6.3.** Perfil de la línea de impulsión existente.

#### 6.4. Capacidad de almacenamiento

De acuerdo a las normas de AyA, el volumen de almacenamiento está dado por la siguiente ecuación:

$$V = QMD \cdot 86.400 \cdot FA \quad (22)$$

Donde:

FA = 25% para sistemas donde los pozos bombean entre 14 y 20 horas diarias.

A este valor se le debe adicionar un volumen de almacenamiento para incendio, el cual se calcula con el siguiente cuadro:

**Cuadro 6.3.** Volumen de almacenamiento de acuerdo al número de habitantes.

Número de habitantes	Caudal de incendio (l/s)	Duración del incendio (horas)	Volumen de almacenamiento (m <sup>3</sup> )
5 000 a 15 000	8	3	90
15 000 a 30 000	16	3	170
30 000 a 60 000	24	3	260
60 000 a 120 000	40	4	580
120 000 a 200 000	48	4	690
200 000 a 300 000	64	4	920

Fuente: AyA.

En este caso, para una población de diseño de 43 358 habitantes se requiere un volumen de incendio de 260 m<sup>3</sup>.

Restándole a la demanda máxima diaria el caudal máximo diario generado por la naciente, se obtiene una demanda máxima diaria de 108,69 l/s para la cual se evalúa la capacidad de almacenamiento actual.

Por lo tanto el volumen de almacenamiento requerido actualmente puede calcularse como:

$$V = 260\,000 + 108,69 \cdot 86\,400 \cdot 0,25 = 2\,607\,704 \text{ litros} \approx 2\,610 \text{ m}^3$$

Restando a este volumen el del tanque existente ( $400 \text{ m}^3$ ) se determina que el sistema tiene actualmente un déficit de almacenamiento de  $2\,210 \text{ m}^3$ .

## **6.5. Capacidad del sistema de desinfección**

El Reglamento para la Calidad de Agua Potable establece cuatro niveles de control de calidad del agua:

“Nivel Primero (N1): corresponde al programa de control básico junto con la inspección sanitaria, para evaluar la operación y mantenimiento en la fuente, el almacenamiento y la distribución del agua potable. Los parámetros en este nivel son: coliformes termotolerantes (fecales), *Escherichia coli*, color aparente, turbiedad, olor, sabor, temperatura, pH, conductividad, y cloro residual libre o combinado.” (La Gaceta N°84, 2005)

“Nivel Segundo (N2): corresponde al programa de control básico ampliado (N1), el análisis de tendencias temporales de variaciones de calidad en las fuentes de abastecimiento, a ser aplicado en muestras de agua potable en la fuente, su almacenamiento y distribución. Los parámetros en esta etapa de control son todos los establecidos en el nivel N1, ampliados con: dureza total, cloruro, fluoruro, nitrato, sulfato, aluminio, calcio, magnesio, sodio, potasio, hierro, manganeso, zinc, cobre, plomo.” (La Gaceta N°84, 2005)

“Nivel Tercero (N3): corresponde al programa de control avanzado del agua potable. Comprende la ejecución de los parámetros del nivel N2 ampliados con: nitrito, amonio, arsénico, cadmio, cromo, mercurio, níquel, antimonio, selenio y residuos de plaguicidas.” (La Gaceta N°84, 2005)

“Nivel Cuarto (N4): corresponde a programas ocasionales ejecutados por situaciones especiales, de emergencia o porque la inspección sanitaria identifica un riesgo inminente de contaminación del agua. Los parámetros a analizar según sea la situación identificada pueden ser: sólidos totales disueltos, sulfuro de hidrógeno, cianuros, sustancias orgánicas de significado para la salud, desinfectantes y subproductos de la desinfección.” (La Gaceta N°84, 2005). “Otros parámetros como: *Sigella sp*, *Salmonella sp*, *Streptococos fecales*, *Vibrio*

cholerae 01 toxigénico, Aeromonas hydrophila, nemátodos, Entamoeba histolytica, Cryptosporidium, Virus de Hepatitis A, Enterovirus y cianobacterias tóxicas, deben estar ausentes en las muestras analizadas. Como indicadores de vulnerabilidad de un sistema pueden utilizarse los coliformes totales.” (La Gaceta N°84, 2005).

La aplicación de estos programas es como se muestra a continuación:

- Nivel Primero (N1) en todos los acueductos del país.
- Nivel Primero (N1) y Nivel Segundo (N2) en acueductos con población abastecida superior a 10 000 habitantes.
- Nivel Primero (N1), Nivel Segundo (N2) y Nivel Tercero (N3) en acueductos con población abastecida superior a 50 000 habitantes.

Se deben recolectar muestras a lo largo de todo el sistema, en fuentes, tanques de almacenamiento y redes de distribución.

Los métodos de desinfección garantizan la ausencia de indicadores de contaminación fecal entre el punto de aplicación y el punto de entrega al usuario. La desinfección deberá aplicarse además para mantener un nivel residual, que garantice la calidad del agua de eventuales contaminantes a lo largo del sistema de distribución.

El sistema de desinfección con pastillas no es el más recomendable para acueductos tan grandes como lo es el de Esterillos. La dosificación que producen sistemas de este tipo no es uniforme, siendo mayor cuando las pastillas están completas y disminuyendo conforme éstas se van desgastando. Al no existir una dosis de cloro regulada no se garantiza la presencia de cloro residual. Por lo que este sistema no es apropiado y se recomienda sustituirlo.

## **6.6. Capacidad de la red de distribución**

La red de distribución actual se simuló, al igual que la conducción, utilizando el programa EPANET. Ésta se dividió en nudos de demanda y para cada uno de ellos se definió la

ubicación, elevación y demanda máxima horaria. Luego para las tuberías se estableció el diámetro, longitud, rugosidad de Hazen – Williams y además los nudos que interconecta.

Igual que en el caso de la conducción, para tuberías existentes de PVC se utilizó un valor de rugosidad de Hazen – Williams de 120, al considerar que por la antigüedad de la tubería ésta es más rugosa. En el caso de tuberías nuevas de PVC se utiliza una rugosidad de 130.

Con esta información el programa calcula las presiones en cada nudo, el caudal que transporta cada tubería y además la pérdida unitaria en cada una de ellas.

En el caso de la red de distribución de Esterillos, los resultados indican que ésta no tiene la capacidad para transportar el caudal máximo horario y esto se ve reflejado con presiones negativas en todos los nudos de la red bajo la condición de demanda máxima horaria en la época de ocupación plena. Además se observan, en el Cuadro 6.5, velocidades de hasta 5 m/s cuando la velocidad máxima permitida para líneas de distribución es de 1,5 m/s. Estas velocidades generan grandes pérdidas en las tuberías. A continuación se muestra el resultado gráfico y posteriormente los resultados numéricos que brinda el programa EPANET.

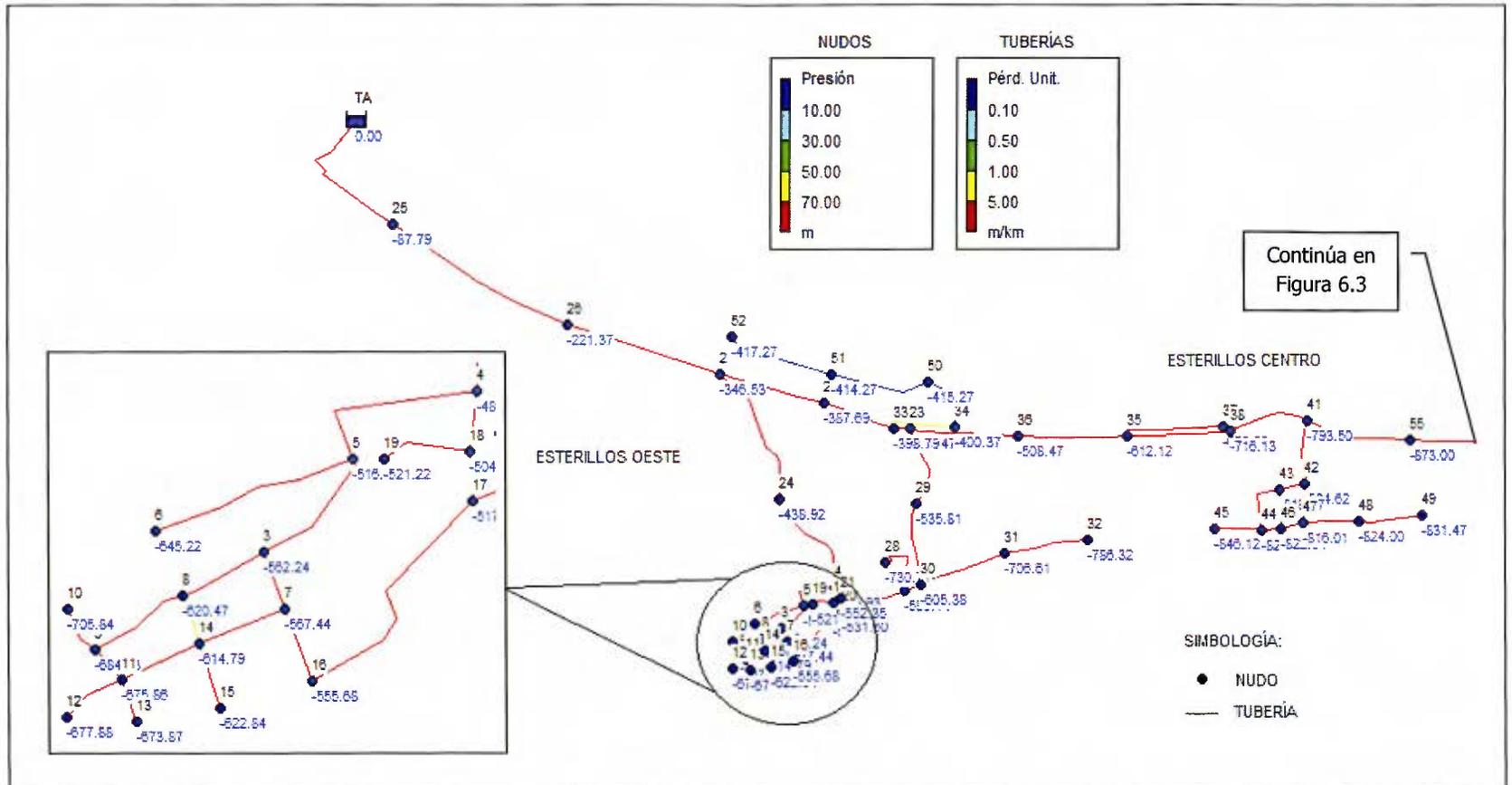
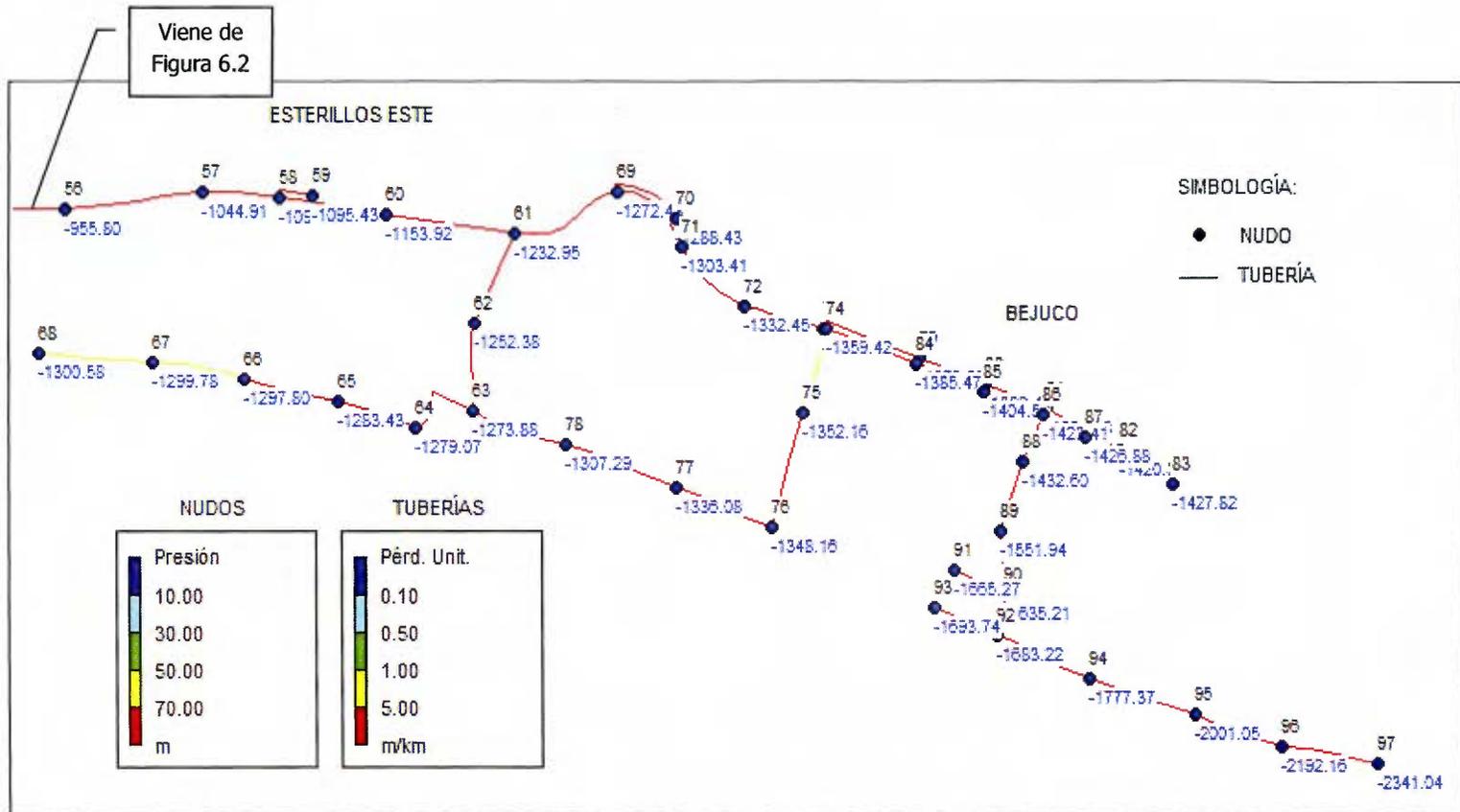


Figura 6.4. Red de distribución existente, Parte I.



**Figura 6.5.** Red de distribución existente, Parte II.

**Cuadro 6.4.** Resultados de los nudos de la red de distribución existente.

<b>ID Nudo</b>	<b>Cota (msnm)</b>	<b>Demanda (l/s)</b>	<b>Altura piez. (m)</b>	<b>Presión (mca)</b>
Nudo TA	77,14	-181,26	77,14	0,00
Nudo 2	10,67	0,65	-335,86	-346,53
Nudo 3	6,55	4,06	-555,69	-562,24
Nudo 4	5,31	3,17	-480,62	-485,93
Nudo 5	6,68	5,06	-509,71	-516,39
Nudo 6	31,30	1,24	-613,92	-645,22
Nudo 7	5,26	5,65	-562,18	-567,44
Nudo 8	10,81	4,06	-609,66	-620,47
Nudo 9	13,25	2,70	-671,38	-684,63
Nudo 10	21,52	2,70	-684,32	-705,84
Nudo 11	7,06	1,81	-668,80	-675,86
Nudo 12	7,44	0,74	-670,44	-677,88
Nudo 13	3,98	0,74	-669,89	-673,87
Nudo 14	4,94	1,81	-609,85	-614,79
Nudo 15	4,32	1,81	-618,52	-622,84
Nudo 16	4,41	4,51	-551,27	-555,68
Nudo 17	4,83	3,31	-512,63	-517,46
Nudo 18	4,87	1,09	-499,60	-504,47
Nudo 19	5,16	2,20	-516,06	-521,22
Nudo 20	5,14	3,31	-526,46	-531,60
Nudo 21	5,71	1,09	-546,64	-552,35
Nudo 22	19,82	1,22	-367,87	-387,69
Nudo 23	8,37	1,34	-394,10	-402,47
Nudo 24	14,55	7,44	-424,37	-438,92
Nudo 25	36,74	0,00	-51,05	-87,79
Nudo 26	10,75	0,65	-210,62	-221,37
Nudo 27	4,70	1,75	-585,44	-590,14
Nudo 28	5,54	4,11	-725,17	-730,71
Nudo 29	5,38	2,15	-530,43	-535,81
Nudo 30	4,62	3,24	-600,76	-605,38
Nudo 31	4,85	5,42	-701,76	-706,61
Nudo 32	4,62	5,19	-781,70	-786,32
Nudo 33	9,27	1,22	-389,52	-398,79
Nudo 34	10,10	0,88	-390,27	-400,37
Nudo 35	7,44	0,65	-604,68	-612,12
Nudo 36	9,34	0,43	-499,13	-508,47
Nudo 37	11,08	0,70	-674,75	-685,83
Nudo 38	11,48	0,16	-704,65	-716,13
Nudo 41	12,58	0,32	-780,92	-793,50

Nudo 42	3,65	1,04	-800,97	-804,62
Nudo 43	2,70	0,35	-816,57	-819,27
Nudo 44	2,41	0,69	-825,32	-827,73
Nudo 45	2,78	1,55	-843,34	-846,12
Nudo 46	2,53	0,69	-819,80	-822,34
Nudo 47	2,80	2,08	-813,21	-816,01
Nudo 48	2,46	1,04	-821,54	-824,00
Nudo 49	1,50	0,87	-829,97	-831,47
Nudo 50	25,00	0,00	-390,27	-415,27
Nudo 51	24,00	0,00	-390,27	-414,27
Nudo 52	27,00	0,00	-390,27	-417,27
Nudo 55	8,57	0,35	-864,43	-873,00
Nudo 56	7,16	0,35	-948,64	-955,80
Nudo 57	9,96	1,19	-1.034,95	-1.044,91
Nudo 58	11,79	0,24	-1.081,17	-1.092,96
Nudo 59	11,23	0,24	-1.084,20	-1.095,43
Nudo 60	7,79	0,72	-1.146,13	-1.153,92
Nudo 61	9,60	2,05	-1.223,35	-1.232,95
Nudo 62	4,32	0,68	-1.248,05	-1.252,38
Nudo 63	5,15	1,71	-1.268,73	-1.273,88
Nudo 64	3,97	1,54	-1.275,10	-1.279,07
Nudo 65	4,02	1,54	-1.279,41	-1.283,43
Nudo 66	4,22	4,10	-1.293,58	-1.297,80
Nudo 67	4,42	0,82	-1.295,36	-1.299,78
Nudo 68	4,39	1,23	-1.296,19	-1.300,58
Nudo 69	8,99	2,05	-1.263,44	-1.272,43
Nudo 70	9,02	0,41	-1.279,41	-1.288,43
Nudo 71	10,07	0,41	-1.293,34	-1.303,41
Nudo 72	11,21	0,61	-1.321,24	-1.332,45
Nudo 73	11,18	0,61	-1.347,23	-1.358,41
Nudo 74	11,18	0,00	-1.348,24	-1.359,42
Nudo 75	5,55	0,55	-1.346,61	-1.352,16
Nudo 76	4,96	0,82	-1.343,20	-1.348,16
Nudo 77	4,71	1,71	-1.331,37	-1.336,08
Nudo 78	4,71	1,02	-1.302,58	-1.307,29
Nudo 79	9,16	0,28	-1.364,39	-1.373,55
Nudo 80	8,03	0,21	-1.374,39	-1.382,42
Nudo 81	9,11	0,21	-1.382,47	-1.391,58
Nudo 82	8,28	1,71	-1.412,05	-1.420,33
Nudo 83	9,64	1,71	-1.418,18	-1.427,82
Nudo 84	9,16	0,55	-1.376,31	-1.385,47

Nudo 85	8,03	0,41	-1.396,49	-1.404,52
Nudo 86	9,11	0,41	-1.414,30	-1.423,41
Nudo 87	9,36	0,69	-1.417,52	-1.426,88
Nudo 88	5,21	5,13	-1.427,39	-1.432,60
Nudo 89	6,12	3,69	-1.545,82	-1.551,94
Nudo 90	4,97	2,14	-1.630,24	-1.635,21
Nudo 91	4,87	2,14	-1.660,40	-1.665,27
Nudo 92	4,18	2,14	-1.679,04	-1.683,22
Nudo 93	4,68	2,14	-1.689,06	-1.693,74
Nudo 94	4,55	10,59	-1.772,82	-1.777,37
Nudo 95	4,52	9,22	-1.996,53	-2.001,05
Nudo 96	4,52	8,55	-2.187,64	-2.192,16
Nudo 97	4,02	7,52	-2.337,02	-2.341,04

**Cuadro 6.5.** Resultados de las tuberías de la red de distribución existente.

<b>ID Línea</b>	<b>De nudo a nudo</b>	<b>Longitud (m)</b>	<b>Diámetro (mm)</b>	<b>Rugosidad (C)</b>	<b>Caudal (l/s)</b>	<b>Velocidad (m/s)</b>	<b>Pérdida Unit. (m/km)</b>
Tubería 1	43 a 44	287,06	38	120	0,93	0,82	30,50
Tubería 2	44 a 45	230,08	38	120	1,55	1,37	78,31
Tubería 3	4 a 5	238,76	100	120	25,14	3,20	121,85
Tubería 4	5 a 6	261,39	25	120	1,24	2,53	398,68
Tubería 5	5 a 3	158,58	75	120	18,84	4,26	289,98
Tubería 6	3 a 7	72,40	63	120	6,32	2,03	89,58
Tubería 7	3 a 8	113,60	50	120	8,47	4,31	475,10
Tubería 8	8 a 9	127,86	38	120	4,15	3,66	482,64
Tubería 9	9 a 10	59,59	38	120	2,70	2,38	217,25
Tubería 10	11 a 9	49,63	38	120	1,24	1,10	51,81
Tubería 11	11 a 12	82,80	38	120	0,74	0,65	19,82
Tubería 12	11 a 13	54,92	38	120	0,74	0,65	19,77
Tubería 13	8 a 14	62,93	38	120	0,26	0,23	2,87
Tubería 14	14 a 11	103,70	38	120	4,53	4,00	568,55
Tubería 15	14 a 15	83,48	38	120	1,81	1,60	103,87
Tubería 16	7 a 14	114,27	50	120	7,89	4,02	417,13
Tubería 17	16 a 7	94,92	63	120	7,23	2,32	114,94
Tubería 18	17 a 16	319,88	75	120	11,74	2,66	120,78
Tubería 19	4 a 18	74,33	100	120	37,49	4,77	255,45
Tubería 20	18 a 19	110,58	38	120	2,20	1,94	148,83
Tubería 21	18 a 17	60,45	100	120	34,21	4,36	215,57
Tubería 22	17 a 20	46,23	75	120	19,16	4,34	299,15
Tubería 23	20 a 21	65,19	25	120	1,09	2,21	309,48
Tubería 24	2 a 22	528,34	200	120	106,71	3,40	60,57

Tubería 25	46 a 44	96,24	38	120	1,31	1,16	57,32
Tubería 26	2 a 24	722,45	150	120	73,24	4,14	122,51
Tubería 27	24 a 4	559,77	150	120	65,80	3,72	100,47
Tubería 28	TA a 25	793,25	200	120	181,26	5,77	161,60
Tubería 29	25 a 26	987,45	200	120	181,26	5,77	161,60
Tubería 30	26 a 2	780,21	200	120	180,60	5,75	160,52
Tubería 31	20 a 27	319,44	75	120	14,76	3,34	184,62
Tubería 32	27 a 28	294,98	38	120	4,11	3,62	473,71
Tubería 33	23 a 29	398,26	50	120	7,09	3,61	342,31
Tubería 34	29 a 30	401,35	50	120	4,94	2,52	175,23
Tubería 35	27 a 30	90,38	63	120	8,91	2,86	169,47
Tubería 36	30 a 31	431,34	63	120	10,61	3,40	234,15
Tubería 37	31 a 32	416,32	50	120	5,19	2,64	192,02
Tubería 38	33 a 34	324,21	63	120	0,88	0,28	2,32
Tubería 39	33 a 23	80,15	200	120	103,38	3,29	57,13
Tubería 40	22 a 33	365,16	200	120	105,48	3,36	59,29
Tubería 41	23 a 36	530,06	150	120	94,95	5,37	198,15
Tubería 42	36 a 35	537,13	150	120	94,53	5,35	196,50
Tubería 43	35 a 37	513,90	25	120	0,70	1,42	136,36
Tubería 44	35 a 38	522,49	150	120	93,18	5,27	191,33
Tubería 47	38 a 41	399,93	150	120	93,01	5,26	190,72
Tubería 48	41 a 42	315,04	75	120	8,31	1,88	63,63
Tubería 49	42 a 43	128,71	38	120	1,97	1,73	121,20
Tubería 50	43 a 46	187,91	38	120	0,69	0,61	17,24
Tubería 51	47 a 46	113,92	38	120	1,32	1,16	57,87
Tubería 52	42 a 47	188,98	63	120	5,30	1,70	64,80
Tubería 53	47 a 48	278,46	50	120	1,90	0,97	29,91
Tubería 54	48 a 49	317,93	38	120	0,87	0,76	26,52
Tubería 55	34 a 50	326,37	75	120	0,00	0,00	0,00
Tubería 56	50 a 51	475,76	75	120	0,00	0,00	0,00
Tubería 57	51 a 52	613,34	75	120	0,00	0,00	0,00
Tubería 60	41 a 55	524,40	150	120	84,38	4,78	159,25
Tubería 61	55 a 56	532,85	150	120	84,03	4,76	158,03
Tubería 62	56 a 57	550,42	150	120	83,69	4,74	156,82
Tubería 63	57 a 58	302,73	150	120	82,49	4,67	152,69
Tubería 64	58 a 59	161,21	25	120	0,24	0,49	18,79
Tubería 65	58 a 60	429,98	150	120	82,01	4,64	151,06
Tubería 66	60 a 61	519,62	150	120	81,30	4,60	148,62
Tubería 67	61 a 62	384,85	100	120	17,78	2,26	64,18
Tubería 68	62 a 63	346,37	100	120	17,10	2,18	59,69
Tubería 69	63 a 64	333,89	100	120	9,23	1,18	19,06

Tubería 70	64 a 65	317,38	100	120	7,69	0,98	13,60
Tubería 71	65 a 66	387,94	75	120	6,16	1,39	36,53
Tubería 72	66 a 67	372,28	75	120	2,05	0,46	4,78
Tubería 73	67 a 68	449,98	75	120	1,23	0,28	1,85
Tubería 74	61 a 69	452,74	150	120	61,46	3,48	88,54
Tubería 75	69 a 70	312,88	25	120	0,41	0,84	51,04
Tubería 76	69 a 71	364,26	150	120	59,00	3,34	82,08
Tubería 77	71 a 72	344,34	150	120	58,59	3,32	81,03
Tubería 78	72 a 73	327,08	150	120	57,97	3,28	79,46
Tubería 79	73 a 74	14,91	150	120	53,25	3,01	67,90
Tubería 80	75 a 74	339,67	75	120	2,06	0,47	4,79
Tubería 81	76 a 75	459,68	75	120	2,60	0,59	7,41
Tubería 82	77 a 76	411,29	63	120	3,42	1,10	28,78
Tubería 83	78 a 77	471,63	63	120	5,13	1,65	61,03
Tubería 84	63 a 78	395,90	63	120	6,16	1,98	85,50
Tubería 85	73 a 79	425,85	63	120	4,10	1,32	40,30
Tubería 86	79 a 80	282,28	63	120	3,83	1,23	35,44
Tubería 87	80 a 81	252,51	63	120	3,62	1,16	31,99
Tubería 88	81 a 82	334,40	50	120	3,42	1,74	88,47
Tubería 89	82 a 83	250,31	50	120	1,71	0,87	24,51
Tubería 90	74 a 84	385,40	150	120	55,31	3,13	72,83
Tubería 91	84 a 85	282,28	150	120	54,76	3,10	71,51
Tubería 92	85 a 86	252,51	150	120	54,36	3,08	70,52
Tubería 93	86 a 87	186,41	38	120	0,69	0,61	17,27
Tubería 94	86 a 88	192,68	150	120	53,26	3,01	67,91
Tubería 95	88 a 89	291,91	100	120	48,13	6,13	405,73
Tubería 96	89 a 90	241,18	100	120	44,44	5,66	350,01
Tubería 97	90 a 91	212,56	38	120	2,14	1,89	141,89
Tubería 98	90 a 92	168,22	100	120	40,16	5,11	290,10
Tubería 99	92 a 93	268,67	50	120	2,14	1,09	37,30
Tubería 100	92 a 94	398,39	100	120	35,87	4,57	235,39
Tubería 101	94 a 95	447,30	75	120	25,29	5,72	500,15
Tubería 102	95 a 96	378,65	63	120	16,06	5,15	504,71
Tubería 103	96 a 97	391,68	50	120	7,52	3,83	381,38

## CAPÍTULO 7. PROPUESTA DE MEJORAS AL SISTEMA

### 7.1. Zonas de presión

La propuesta de mejoras al sistema se realizará para la población calculada al año 2032. El sistema del acueducto de Esterillos se dividió en dos zonas de presión de acuerdo a la topografía del sitio:

- **Zona baja** para abastecer los alrededores de la carretera principal y el área de playa.
- **Zona alta** para abastecer la zona montañosa.

Se estima que el crecimiento vegetativo de la población ocurrirá en la misma zona baja donde se ubica actualmente, ya que los proyectos a desarrollar en la zona alta están destinados a una clientela de clase alta y principalmente extranjeros.

En el siguiente cuadro se muestra la distribución de los proyectos futuros según su ubicación, en la costa o en la montaña.

**Cuadro 7.1.** Distribución de proyectos futuros según su ubicación.

Proyecto N°	Nombre	Población (hab.)
<b>ESTERILLOS OESTE COSTA</b>		
1	Costa Bitton 1	840
2	Araya 1	210
3	Araya 2	210
4	Cabo Caletas	4 200
5	Vista Sirena	112
6	Esterillos Hills	112
7	Condominio Las Olas	700
8	Costa Reitz	490
11	Caliche Monge	140
12	Los Solano	210
16	Costa Bitton 2	350
Total		7 574
<b>ESTERILLOS OESTE MONTAÑA</b>		

27	Los Batalla - Rancho Nuevo	4 200
10	Las Esmeraldas	390
18	El Mono Dorado	300
Total		4 890
<b>ESTERILLOS CENTRO MONTAÑA</b>		
9	Pico del Estero	392
13	Costa Esterillos	574
14	Costa Reserva	596
22	Vista de Los Castro	144
Total		1 706
<b>ESTERILLOS ESTE COSTA</b>		
17	Paradigma Monterrey	42
19	Monterrey	4 200
20	Del Pacífico	3 500
26	Pollo Macho	4 200
Total		11 942
<b>ESTERILLOS ESTE MONTAÑA</b>		
15	Corazón de la Tierra	2 800
29	Vista Monterrey	2 100
31	Finca Don Olman	800
Total		5 700
<b>BEJUCO COSTA</b>		
21	Academia Coronado	560
23	Rancho Bejuco	112
24	Costa Sol	210
25	Villas de la Palma	236
28	Los Batalla - Bejuco	2 100
30	Tres Palmeras	92
Total		3 310
<b>Total General</b>		<b>35 122</b>

## 7.2. Fuentes de abastecimiento

Para el abastecimiento del acueducto de Esterillos se tienen dos posibles alternativas, el desarrollo de un campo de pozos o la captación del río Tulín. Se propone como mejor opción la del campo de pozos ya que desde el punto de vista económico resulta la más conveniente.

El proceso de perforación, armado y equipamiento de pozos poco profundos es relativamente barato y se puede hacer por etapas conforme la demanda del sistema va aumentando.

Mientras que para la captación en el río Tulin se requiere construir, además de la obra de captación, una estación elevadora, un desarenador y una planta de tratamiento de filtros rápidos de gran tamaño. La planta de tratamiento hace uso de químicos para los distintos procesos, así como de operadores especializados durante la jornada completa, por lo que el costo operativo es igualmente considerable.

### ***7.2.1. Zona de costa***

De las fuentes existentes se tiene un caudal máximo diario total de 45,15 l/s. La demanda máxima diaria futura para la zona de costa es de 254,35 l/s, por lo que se tendría un déficit a cubrir de 209,2 l/s.

Para suplir este déficit se propone de manera preliminar perforar y equipar seis nuevos pozos. Considerando una jornada de bombeo de 18 horas/día y que cada pozo tendrá una capacidad para 47 l/s se obtiene un caudal de 211,5 l/s. Se propone la perforación de estos pozos por etapas, conforme vaya aumentando la población en la zona.

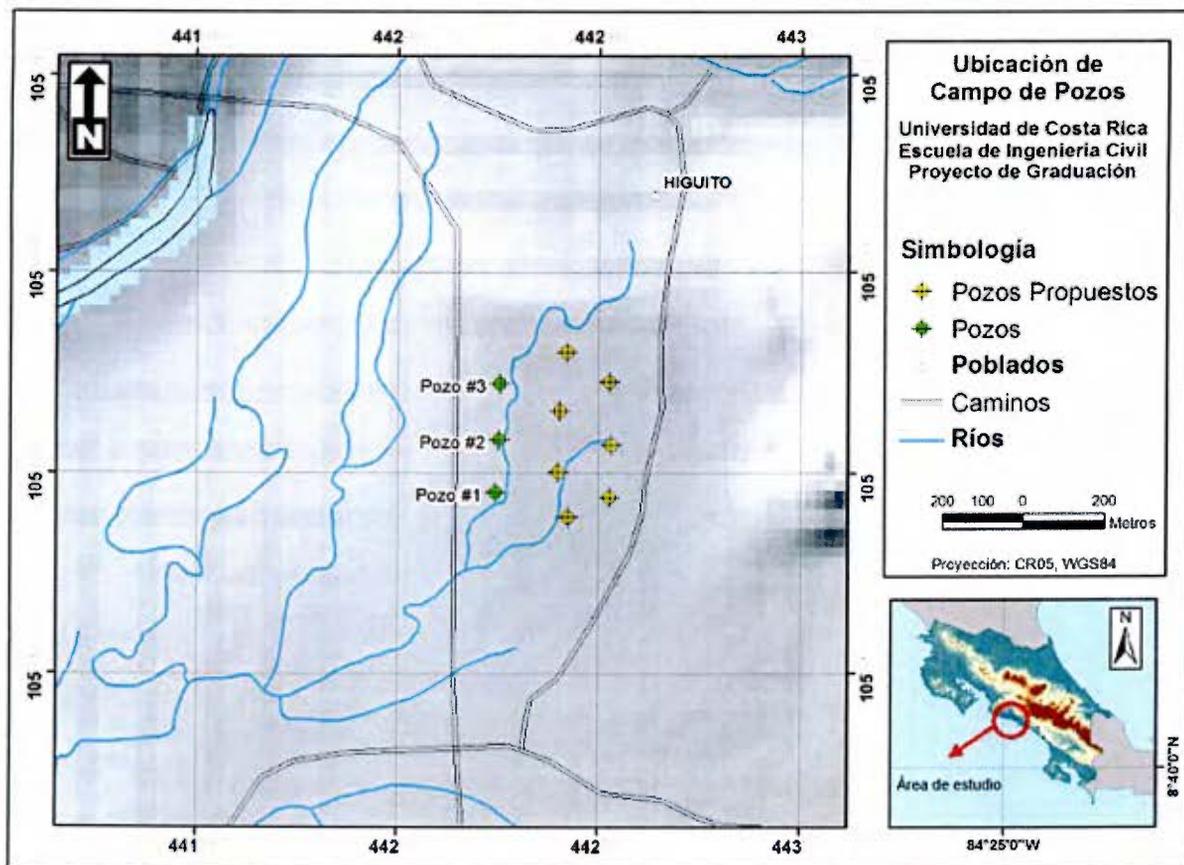
### ***7.2.2. Zona de montaña***

La demanda máxima diaria estimada para la condición futura de la zona de montaña es de 39,14 l/s. Para suplir este caudal se propone de manera preliminar perforar y equipar un pozo. Considerando una jornada de bombeo de 18 horas/día y que este pozo tendrá una capacidad de 53 l/s se obtiene un caudal de 39,75 l/s.

Se estima que los pozos para ambas zonas están en capacidad de generar este caudal, ya que como se mencionó anteriormente, Arellano (2008) señala que con base en la información de los pozos del acueducto y de los demás pozos cercanos existen condiciones favorables para el desarrollo de un campo de pozos de gran producción en ambas márgenes del río Tusubres.

Además, como dato importante Arellano (2008) menciona que el sitio en donde se encuentra el Pozo #1 tiene un potencial de producción cercano a los 80 l/s.

Sin embargo, estas propuestas deberán revisarse de acuerdo a los resultados obtenidos con la perforación de los primeros pozos.



**Figura 7.1.** Ubicación de pozos propuestos.

### 7.3. Línea de conducción

Para proteger a la tubería de conducción de las presiones estáticas y de las sobrepresiones por golpe de ariete se propone la colocación de una válvula de alivio de 100 mm de diámetro. Se propone colocarla antes del sitio de interconexión y deberá estar calibrada para abrir cuando la presión supere los 112 mca. Este tipo de válvula está diseñada para liberar un fluido cuando la presión interna de un sistema que lo contiene supere el límite establecido.

## 7.4. Líneas de impulsión

### 7.4.1. Zona de costa

El caudal total a bombear desde el campo de pozos propuesto es de 211,5 l/s.

#### 7.4.1.1. Diámetro de la tubería

Utilizando la Ecuación (21), para la zona de montaña se obtiene un diámetro económico de:

$$\varnothing = 0,9 \cdot (0,2115 \text{ m}^3/\text{s})^{0,45} = 447 \text{ mm}$$

Para la zona de costa se obtuvo un diámetro económico de 447 mm, por lo tanto se propone una línea de impulsión de 450 mm.

#### 7.4.1.2. Tipo de tubería

La tubería de impulsión debe resistir no solo la presión normal de trabajo sino también las sobrepresiones producidas por el golpe de ariete que se genera cuando se enciende o se apaga la bomba.

La presión de trabajo (PT) está dada por la diferencia topográfica ( $H_{top}$ ) y las pérdidas hidráulicas en la tubería.

$$H_{top} = \text{Elevación de tanque de almacenamiento} - \text{Elevación de campo de pozos} \quad (23)$$

$$H_{top} = 77,14 \text{ m} - 11 \text{ m} = 66,14 \text{ m}$$

Utilizando la Ecuación (1) para obtener las pérdidas de carga se obtiene:

$$H_f = \frac{1,2080549 \cdot 10^{10} \cdot (211,5 \text{ l/s})^{1,852} \cdot 2.574 \text{ m}}{(450 \text{ mm})^{4,87} \cdot (110)^{1,852}} = 12,51 \text{ mca}$$

En la fórmula anterior se utilizó un valor C de rugosidad de Hazen – Williams de 110, que se utiliza para tuberías de hierro dúctil, ya que se esperan presiones altas en la línea que sólo podrán ser soportadas por una tubería de este tipo.

Se consideran además 7,5 m de altura del tanque de almacenamiento (altura de tanque de acero vitrificado de 3 000 m<sup>3</sup>) y 2 m de pérdidas de carga locales, por lo que la presión de trabajo será de:

$$PT = 66,14 + 12,51 + 7,5 + 2 = 88,15 \text{ mca}$$

Ahora para el estimar la sobrepresión por golpe de ariete en la tubería, primero se realizará el cálculo de la celeridad a partir de la Ecuación (4):

$$C = \frac{9\,900}{\sqrt{48,3 + \frac{450 \text{ mm}}{6,9 \text{ mm}}}} = 929,19 \text{ m/s}$$

El espesor de pared para una tubería de 450 mm de HD Clase C30 es de 6,9 mm.

Luego, la velocidad del agua se calcula a partir de la Ecuación (5):

$$V = \frac{0,2115 \text{ m}^3/\text{s}}{0,1590 \text{ m}^2} = 1,33 \text{ m/s}$$

Utilizando la Ecuación (3), la sobrepresión por golpe de ariete en el sector de más alta presión sería:

$$H_a = \frac{929,19 \text{ m/s} \cdot 1,33 \text{ m/s}}{9,81 \text{ m/s}^2} = 125,98 \text{ mca}$$

En caso de que se produzca golpe de ariete la presión total ( $P_{tot}$ ) que debe soportar la tubería es:

$$P_{tot} = PT + H_a = 88,15 \text{ mca} + 125,98 \text{ mca} = 214,13 \text{ mca}$$

Con los resultados anteriores se propone hacer la tubería de impulsión de la zona de costa, de 450 mm en HD clase C30 que soporta una presión máxima admisible de hasta 367,1 mca.

#### **7.4.2. Zona de montaña**

El caudal total a bombear desde el pozo propuesto es de 39,75 l/s.

##### *7.4.2.1. Diámetro de la tubería*

Utilizando la Ecuación (21), para la zona de montaña se obtiene un diámetro económico de:

$$\varnothing = 0,9 \cdot (0,03975 \text{ m}^3/\text{s})^{0,45} = 211 \text{ mm}$$

Para la zona de montaña se obtuvo un diámetro económico de 211 mm, por lo tanto se propone una línea de impulsión de 200 mm.

##### *7.4.2.2. Tipo de tubería*

Con el fin de calcular la presión de trabajo, se calculará la diferencia topográfica a partir de la Ecuación (23):

$$H_{top} = 132 \text{ m} - 11 \text{ m} = 121 \text{ m}$$

Luego, utilizando la Ecuación (1) para obtener las pérdidas de carga se obtiene:

$$H_f = \frac{1,2080549 \cdot 10^{10} \cdot (39,75 \text{ l/s})^{1,852} \cdot 9 \text{ 072 m}}{(200 \text{ mm})^{4,87} \cdot (110)^{1,852}} = 103,53 \text{ mca}$$

En la fórmula anterior se utilizó un valor C de rugosidad de Hazen – Williams de 110, que se utiliza para tuberías de hierro dúctil, ya que se esperan presiones altas en la línea que sólo podrán ser soportadas por una tubería de este tipo.

Se consideran además 5,5 m de altura del tanque de almacenamiento (altura de tanque de acero vitrificado de 1 000 m<sup>3</sup>) y 3 m de pérdidas de carga locales, por lo que la presión de trabajo será:

$$PT = 121 + 103,53 + 5,5 + 3 = 233,03 \text{ mca}$$

Ahora para el estimar la sobrepresión por golpe de ariete en la tubería, primero se realizará el cálculo de la celeridad a partir de la Ecuación (4):

$$C = \frac{9\,900}{\sqrt{48,3 + \frac{200 \text{ mm}}{4,7 \text{ mm}}}} = 1\,038,64 \text{ m/s}$$

El espesor de pared para una tubería de 200 mm de HD Clase C40 es de 4,7 mm.

Luego, la velocidad del agua se calcula a partir de la Ecuación (5):

$$V = \frac{0,03975 \text{ m}^3/\text{s}}{0,0314 \text{ m}^2} = 1,27 \text{ m/s}$$

Utilizando la Ecuación (3), la sobrepresión por golpe de ariete en el sector de más alta presión sería:

$$H_a = \frac{1\,038,64 \text{ m/s} \cdot 1,27 \text{ m/s}}{9,81 \text{ m/s}^2} = 134,46 \text{ mca}$$

En caso de que se produzca golpe de ariete la presión total ( $P_{\text{tot}}$ ) que debe soportar la tubería es:

$$P_{tot} = PT + H_a = 233,03 \text{ mca} + 134,46 \text{ mca} = 367,49 \text{ mca}$$

Con los resultados anteriores se propone hacer la tubería de impulsión de la zona de montaña, de 200 mm en HD clase C40 que soporta una presión máxima admisible de hasta 489,5 mca.

## **7.5. Equipos de bombeo**

### ***7.5.1. Zona de costa***

Los equipos de bombeo a instalar en cada pozo deberán tener capacidad para bombear un caudal de 47 l/s contra una presión de trabajo total de:

$$PT = 87,65 \text{ m} + 15 \text{ m (Ubic. nivel dinámico pozo)} = 102,65 \text{ mca}$$

La ubicación del nivel dinámico dentro del pozo se supone de 15 m de acuerdo a los resultados de las pruebas de bombeo realizadas a los pozos existentes.

La potencia de estos equipos se calcula con la fórmula (Silvestre, 1983):

$$Pot. = \frac{Q \cdot H}{75 \cdot Ef} \quad (24)$$

Donde:

Pot. = potencia en HP.

Q = caudal en l/s = 47 l/s.

H = carga total de bombeo en mca = 102,65 mca.

Ef = eficiencia de la bomba estimada en 80%.

Se calcula una potencia de 80,41 HP por lo que se propone instalar entonces equipos de bombeo de 100 HP.

### **7.5.2. Zona de montaña**

El equipo de bombeo a instalar en este pozo deberá tener capacidad para bombear un caudal de 53 l/s contra una presión de trabajo total de:

$$PT = 233,03 \text{ m} + 15 \text{ m (Ubic. nivel dinámico pozo)} = 248,03 \text{ mca}$$

Igualmente, la ubicación del nivel dinámico dentro del pozo se supone de 15 m de acuerdo a los resultados de las pruebas de bombeo realizadas a los pozos existentes.

Utilizando la Ecuación (24) se obtiene una potencia para el equipo de bombeo de la zona de montaña de:

$$Pot. = \frac{53 \text{ l/s} \cdot 248,03 \text{ mca}}{75 \cdot 0,80} = 219,09 \text{ HP}$$

Por lo tanto, se propone instalar en este pozo un equipo de bombeo de 250 HP.

## **7.6. Tanques de almacenamiento**

### **7.6.1. Zona de costa**

A futuro, para la zona de costa, se tiene una población de diseño de 96 059 habitantes que según el Cuadro 6.3, requiere un volumen de incendio de 580 m<sup>3</sup>. A la demanda máxima diaria futura deberán restársele 12,15 l/s de la producción de la naciente ya que no pasarán por el tanque de almacenamiento.

Utilizando la Ecuación (22), el volumen de almacenamiento requerido a futuro para la zona de costa es de:

$$V = 580\,000 + 242,2 \cdot 86\,400 \cdot 0,25 = 5\,811\,520 \text{ litros} \approx 5\,812 \text{ m}^3$$

Dado que el volumen del tanque de almacenamiento existente es de sólo 400 m<sup>3</sup> y considerando el espacio disponible en este lote, se propone la demolición del tanque actual y la construcción de dos tanques de 3 000 m<sup>3</sup> cada uno. Estos se podrán construir por etapas y se encontrarán a una elevación de 77,14 msnm.

Para estos volúmenes es más económico un tanque metálico, por lo que se proponen tanques de tipo acero vitrificado, como el que se muestra en la Figura 7.2.



**Figura 7.2.** Tanque metálico de acero vitrificado.

### ***7.6.2. Zona de montaña***

A futuro, para la zona de montaña, se tiene una población de diseño de 12 296 habitantes que según el Cuadro 6.3, requiere un volumen de incendio de 90 m<sup>3</sup>.

Utilizando la Ecuación (22), el volumen de almacenamiento requerido a futuro para la zona de montaña es de:

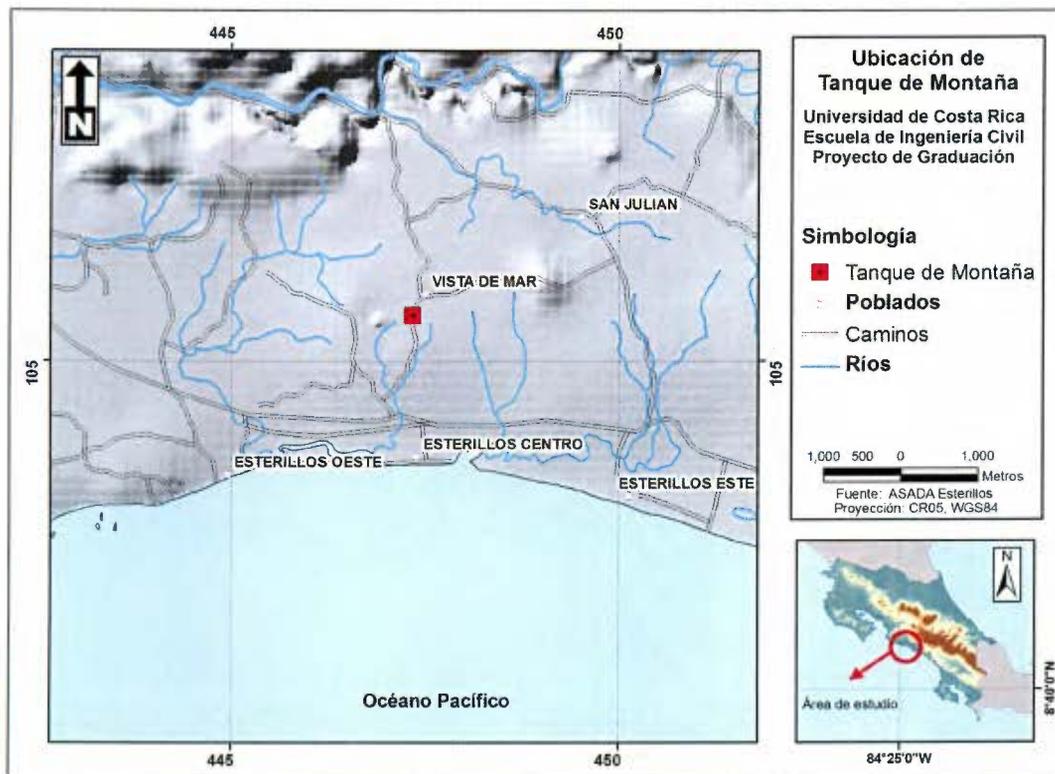
$$V = 90\,000 + 39,14 \cdot 86\,400 \cdot 0,25 = 935\,424 \text{ litros} \approx 940 \text{ m}^3$$

Para esta zona se propone igualmente la construcción de un tanque de almacenamiento metálico de 1 000 m<sup>3</sup>. Se cuenta con la disponibilidad de un lote como posible sitio de tanque ubicado en las coordenadas 1 055 677 Norte / 447 329 Este del sistema CR05, a una elevación de 132 msnm. A continuación en la Figura 7.3 se muestra una fotografía del lote

disponible para la colocación del tanque de almacenamiento de la zona de montaña y en la Figura 7.4 se muestra la ubicación del mismo.



**Figura 7.3.** Fotografía de sitio disponible para tanque en zona de montaña.



**Figura 7.4.** Ubicación del tanque propuesto en la zona de montaña.

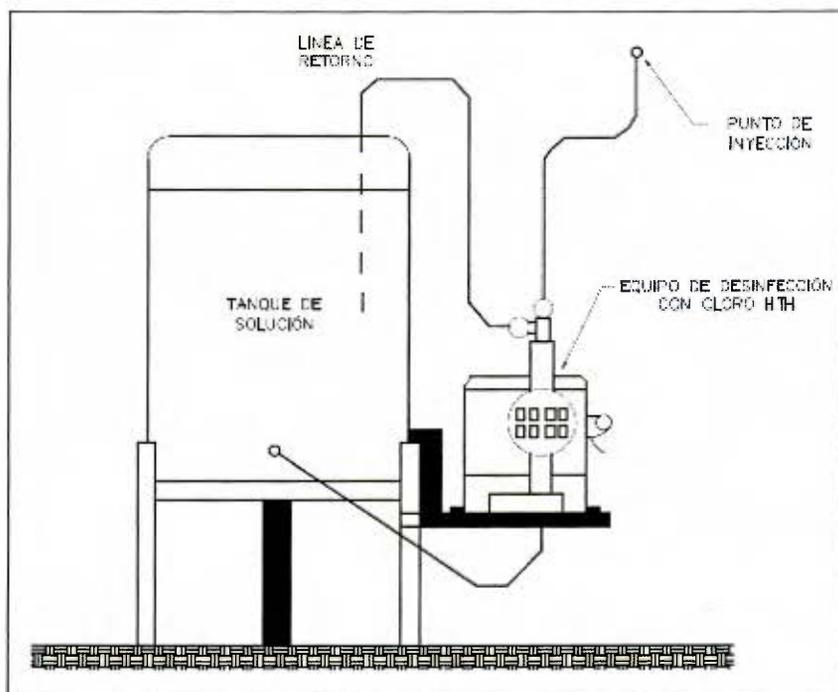
## 7.7. Sistemas de desinfección

Como se mencionó anteriormente el equipo de cloración con pastillas no es el adecuado para tratar caudales tan grandes como los requeridos por este acueducto. Por lo tanto se propone la instalación de equipos de cloración con cloro HTH. Estos sistemas se ubicarán, uno en los tanques propuestos de la zona de costa y otro en el tanque propuesto para la montaña.

Este sistema consiste en disolver cloro granular al 65% (HTH) en un tanque de solución desde el que se impulsa mediante una bomba dosificadora el cloro disuelto al punto donde se desea la desinfección. Entre sus ventajas se encuentran las siguientes:

- Se puede automatizar por horario
- Se puede clorar en línea (no requiere tanque de almacenamiento)
- Garantiza el residual de cloro

En la Figura 7.5 se muestra un esquema de este sistema, el cual requiere como mínimo energía eléctrica, una caseta y una toma de agua.



**Figura 7.5.** Esquema de equipo de desinfección con cloro HTH.

## 7.8. Redes de distribución

Para la simulación de las redes de distribución a 20 años se utilizó el programa EPANET. Como se indicó anteriormente, el acueducto se dividió en dos zonas de presión, una para la zona de costa y otra para la zona de montaña. Se agregaron nuevas tuberías y válvulas reductoras de presión hasta alcanzar presiones aceptables en la red. Se utilizó un valor del coeficiente C de Hazen - Williams de 120 para tuberías de PVC existentes y 130 para tuberías de PVC propuestas. Para las tuberías de hierro dúctil de utilizó un coeficiente de 110.

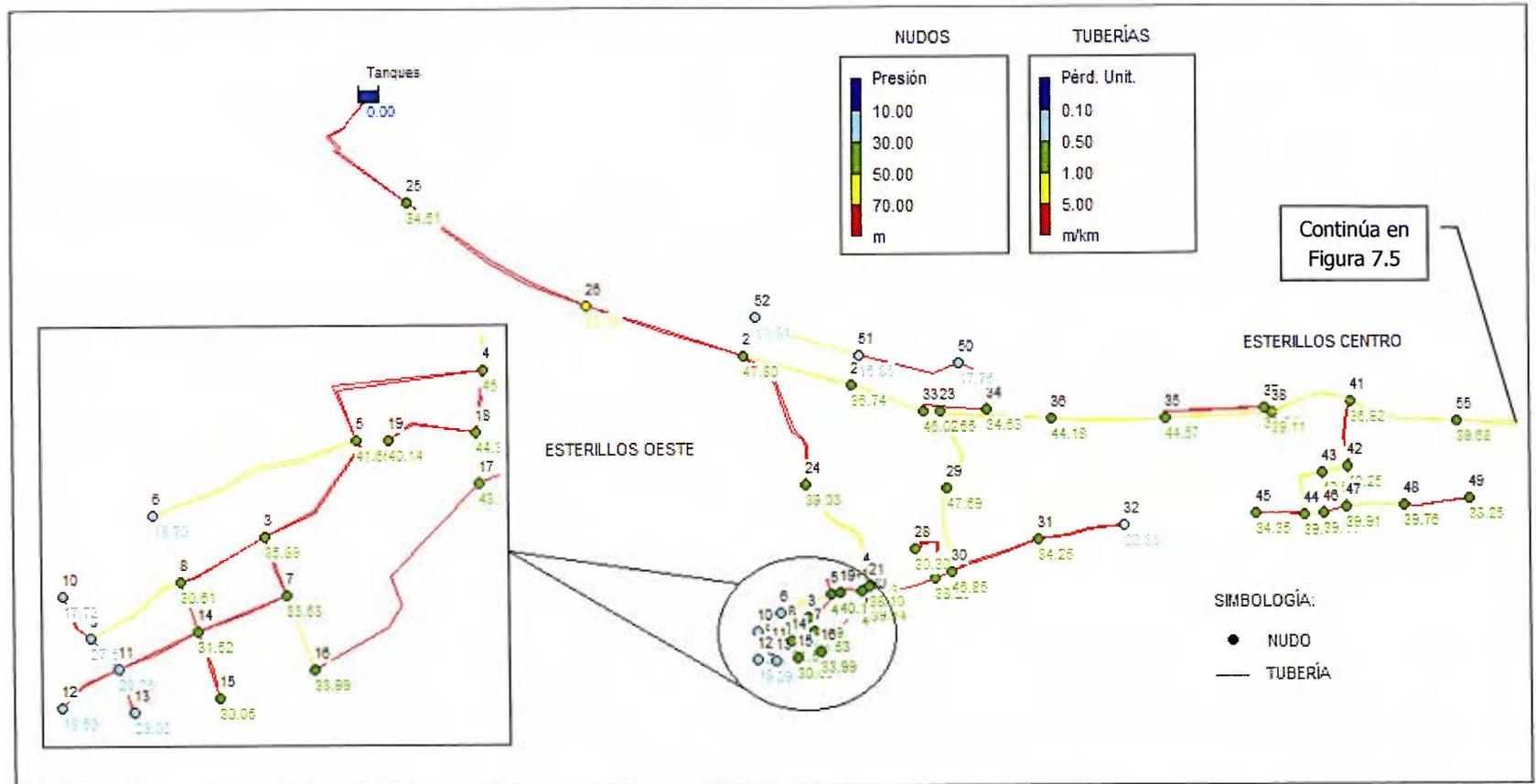
### 7.8.1. Zona de costa

Las mejoras propuestas en la costa incluyen la instalación de la siguiente cantidad de tubería:

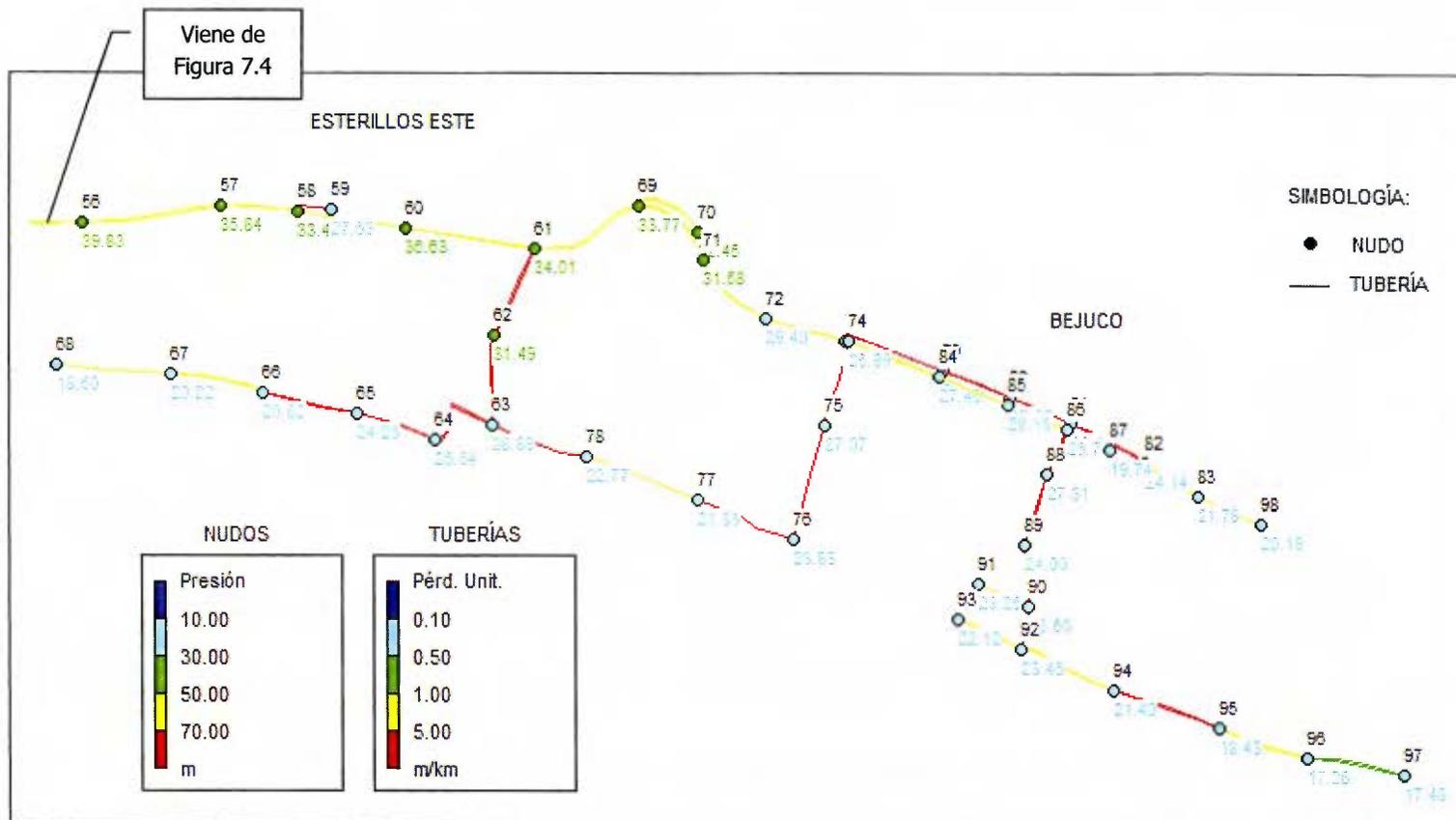
**Cuadro 7.2.** Tuberías propuestas en la Zona de Costa.

<b>Tuberías Nuevas Zona de Costa</b>		
<b>Diámetro (mm)</b>	<b>Material</b>	<b>Longitud (m)</b>
50	PVC SDR 32.5	1 717
75	PVC SDR 32.5	771
100	PVC SDR 32.5	4 594
150	PVC SDR 32.5	2 892
200	PVC SDR 32.5	2 449
250	PVC SDR 32.5	1 100
300	PVC SDR 32.5	1 282
400	HD C30	1 956
450	HD C30	453
500	HD C30	8 384
<b>Total</b>		<b>25 597</b>

Se muestran a continuación los resultados gráficos del programa y posteriormente los resultados numéricos de los nudos y las tuberías.



**Figura 7.6.** Red de distribución futura, Parte I.



**Figura 7.7.** Red de distribución futura, Parte II.

**Cuadro 7.3.** Resultados de los nudos de la red de distribución futura.

<b>ID Nudo</b>	<b>Cota (msnm)</b>	<b>Demanda (l/s)</b>	<b>Altura piez. (m)</b>	<b>Presión (mca)</b>
Nudo Tanques	77,14	-381,52	77,14	0,00
Nudo 2	10,67	1,52	58,47	47,80
Nudo 3	6,55	6,07	42,44	35,89
Nudo 4	5,31	4,75	51,44	46,13
Nudo 5	6,68	7,57	48,34	41,66
Nudo 6	31,30	2,40	48,00	16,70
Nudo 7	5,26	8,46	38,79	33,53
Nudo 8	10,81	6,07	41,42	30,61
Nudo 9	13,25	4,03	40,93	27,68
Nudo 10	21,52	6,71	39,24	17,72
Nudo 11	7,06	2,71	35,31	28,25
Nudo 12	7,44	6,12	25,94	18,50
Nudo 13	3,98	1,11	33,01	29,03
Nudo 14	4,94	2,71	36,46	31,52
Nudo 15	4,32	2,71	34,37	30,05
Nudo 16	4,41	6,76	38,40	33,99
Nudo 17	4,83	4,95	48,09	43,26
Nudo 18	4,87	1,63	49,26	44,39
Nudo 19	5,16	3,29	45,30	40,14
Nudo 20	5,14	4,95	44,78	39,64
Nudo 21	5,71	1,63	43,81	38,10
Nudo 22	19,82	5,17	56,56	36,74
Nudo 23	8,37	2,00	55,02	46,65
Nudo 24	14,55	31,19	53,58	39,03
Nudo 25	36,74	0,00	71,35	34,61
Nudo 26	10,75	0,98	64,14	53,39
Nudo 27	4,70	2,61	42,95	38,25
Nudo 28	5,54	6,15	35,84	30,30
Nudo 29	5,38	3,22	53,07	47,69
Nudo 30	4,62	4,85	51,47	46,85
Nudo 31	4,85	8,11	39,10	34,25
Nudo 32	4,62	7,77	26,98	22,36
Nudo 33	9,27	1,83	55,29	46,02
Nudo 34	10,10	1,32	44,73	34,63
Nudo 35	7,44	1,98	52,01	44,57
Nudo 36	9,34	1,31	53,52	44,18
Nudo 37	11,08	1,16	47,92	36,84
Nudo 38	11,48	0,27	50,59	39,11
Nudo 41	12,58	0,54	49,50	36,92

Nudo 42	3,65	1,72	43,90	40,25
Nudo 43	2,70	0,58	43,30	40,60
Nudo 44	2,41	1,15	42,39	39,98
Nudo 45	2,78	2,58	37,13	34,35
Nudo 46	2,53	1,15	41,97	39,44
Nudo 47	2,80	3,46	42,71	39,91
Nudo 48	2,46	1,72	42,22	39,76
Nudo 49	1,50	1,44	39,76	38,26
Nudo 50	25,00	0,00	42,75	17,75
Nudo 51	24,00	1,17	39,85	15,85
Nudo 52	27,00	1,17	38,81	11,81
Nudo 55	8,57	0,58	48,25	39,68
Nudo 56	7,16	10,55	46,99	39,83
Nudo 57	9,96	11,81	45,80	35,84
Nudo 58	11,79	0,36	45,23	33,44
Nudo 59	11,23	0,36	38,86	27,63
Nudo 60	7,79	17,78	44,42	36,63
Nudo 61	9,60	3,06	43,61	34,01
Nudo 62	4,32	1,02	35,81	31,49
Nudo 63	5,15	2,55	34,04	28,89
Nudo 64	3,97	2,30	30,61	26,64
Nudo 65	4,02	2,30	28,28	24,26
Nudo 66	4,22	6,12	25,04	20,82
Nudo 67	4,42	1,22	24,64	20,22
Nudo 68	4,39	1,84	22,89	18,50
Nudo 69	8,99	3,06	42,76	33,77
Nudo 70	9,02	0,81	41,47	32,45
Nudo 71	10,07	0,61	41,65	31,58
Nudo 72	11,21	20,97	40,61	29,40
Nudo 73	11,18	0,92	39,89	28,71
Nudo 74	11,18	0,00	37,17	25,99
Nudo 75	5,55	0,81	32,62	27,07
Nudo 76	4,96	1,22	28,79	23,83
Nudo 77	4,71	2,56	26,07	21,36
Nudo 78	4,71	1,53	27,48	22,77
Nudo 79	9,16	0,41	37,31	28,15
Nudo 80	8,03	0,31	35,68	27,65
Nudo 81	9,11	0,75	34,27	25,16
Nudo 82	8,28	2,55	32,42	24,14
Nudo 83	9,64	3,08	31,42	21,78
Nudo 84	9,16	0,81	36,61	27,45

Nudo 85	8,03	0,61	36,21	28,18
Nudo 86	9,11	0,61	35,85	26,74
Nudo 87	9,36	1,02	29,10	19,74
Nudo 88	5,21	7,65	32,52	27,31
Nudo 89	6,12	9,18	30,12	24,00
Nudo 90	4,97	3,20	28,55	23,58
Nudo 91	4,87	3,20	28,12	23,25
Nudo 92	4,18	3,20	27,64	23,46
Nudo 93	4,68	4,32	26,80	22,12
Nudo 94	4,55	15,79	25,95	21,40
Nudo 95	4,52	13,76	22,95	18,43
Nudo 96	4,52	12,75	21,80	17,28
Nudo 97	4,02	11,22	21,50	17,48
Nudo 98	9,64	10,03	29,83	20,19

Se puede observar en el Cuadro 7.3 que se alcanzaron presiones adecuadas en la red, obteniendo como presión mínima un valor de 10,02 mca y como máxima 45,84 mca. Las normas del AyA recomiendan una presión dinámica mínima de 10 mca y una presión estática máxima de 70 mca.

**Cuadro 7.4.** Resultados de las tuberías de la red de distribución futura.

ID Línea	De nudo a nudo	Longitud (m)	Diámetro (mm)	Rugosidad (C)	Caudal (l/s)	Velocidad (m/s)	Pérdida Unit. (m/km)
Tubería 1	43 a 44	287,06	38	120	0,27	0,24	3,15
Tubería 2	44 a 45	230,08	38	120	0,80	0,70	22,87
Tubería 3	4 a 5	238,76	100	120	7,51	0,96	13,00
Tubería 4	5 a 6	261,39	25	120	0,06	0,11	1,29
Tubería 5	5 a 3	158,58	75	120	6,22	1,41	37,19
Tubería 6	3 a 7	72,40	63	120	4,63	1,49	50,46
Tubería 7	3 a 8	113,60	50	120	0,99	0,50	8,92
Tubería 8	8 a 9	127,86	38	120	0,31	0,27	3,90
Tubería 9	9 a 10	59,59	38	120	0,90	0,79	28,32
Tubería 10	9 a 11	49,63	38	120	1,90	1,67	113,26
Tubería 11	11 a 12	82,80	38	120	1,90	1,67	113,11
Tubería 12	11 a 13	54,92	38	120	1,11	0,98	41,72
Tubería 13	8 a 14	62,93	38	120	1,56	1,38	78,86
Tubería 14	14 a 11	103,70	38	120	0,55	0,48	11,16
Tubería 15	14 a 15	83,48	38	120	0,84	0,74	25,01
Tubería 16	7 a 14	114,27	50	120	1,54	0,79	20,33

Tubería 17	7 a 16	94,92	63	120	1,19	0,38	4,09
Tubería 18	17 a 16	319,88	75	120	5,56	1,26	30,30
Tubería 19	4 a 18	74,33	100	120	11,66	1,48	29,35
Tubería 20	18 a 19	110,58	38	120	1,02	0,90	35,82
Tubería 21	18 a 17	60,45	100	120	9,30	1,18	19,31
Tubería 22	17 a 20	46,23	75	120	8,85	2,00	71,53
Tubería 23	20 a 21	65,19	25	120	0,21	0,43	14,89
Tubería 24	2 a 22	528,34	200	120	23,29	0,74	3,61
Tubería 25	44 a 46	96,24	38	120	0,33	0,29	4,33
Tubería 26	2 a 24	722,45	150	120	15,32	0,87	6,76
Tubería 27	24 a 4	559,77	150	120	11,28	0,64	3,83
Tubería 28	Tanques a 25	793,25	200	120	34,05	1,08	7,30
Tubería 29	25 a 26	987,45	200	120	34,05	1,08	7,30
Tubería 30	26 a 2	780,21	200	120	33,96	1,08	7,27
Tubería 31	20 a 27	319,44	75	120	2,27	0,51	5,75
Tubería 32	27 a 28	294,98	38	120	0,82	0,73	24,09
Tubería 33	23 a 29	398,26	50	120	0,72	0,36	4,90
Tubería 34	29 a 30	401,35	50	120	0,64	0,33	3,98
Tubería 35	30 a 27	90,38	63	120	6,49	2,08	94,26
Tubería 36	30 a 31	431,34	63	120	3,41	1,10	28,68
Tubería 37	31 a 32	416,32	50	120	1,87	0,95	29,09
Tubería 38	33 a 34	324,21	63	120	3,66	1,17	32,55
Tubería 39	33 a 23	80,15	200	120	22,34	0,71	3,34
Tubería 40	22 a 33	365,16	200	120	22,82	0,73	3,48
Tubería 41	23 a 36	530,06	150	120	9,58	0,54	2,83
Tubería 42	36 a 35	537,13	150	120	9,52	0,54	2,80
Tubería 43	35 a 37	513,90	25	120	0,15	0,31	7,97
Tubería 44	35 a 38	522,49	150	120	9,38	0,53	2,72
Tubería 45	73 a 79	425,85	150	130	15,65	0,89	6,06
Tubería 46	79 a 80	282,28	150	130	15,27	0,86	5,79
Tubería 47	38 a 41	399,93	150	120	9,37	0,53	2,72
Tubería 48	41 a 42	315,04	75	120	4,17	0,94	17,77
Tubería 49	42 a 43	128,71	38	120	0,34	0,30	4,74
Tubería 50	43 a 46	187,91	38	120	0,42	0,37	7,03
Tubería 51	47 a 46	113,92	38	120	0,40	0,36	6,45
Tubería 52	42 a 47	188,98	63	120	1,51	0,48	6,33
Tubería 53	47 a 48	278,46	50	120	0,41	0,21	1,75
Tubería 54	48 a 49	317,93	38	120	0,45	0,39	7,76
Tubería 55	34 a 50	326,37	75	120	2,34	0,53	6,09
Tubería 56	50 a 51	475,76	75	120	2,34	0,53	6,09
Tubería 57	51 a 52	613,34	75	120	1,17	0,26	1,69

Tubería 58	80 a 81	252,51	150	130	14,99	0,85	5,60
Tubería 59	81 a 82	334,40	150	130	14,89	0,84	5,53
Tubería 60	41 a 55	524,40	150	120	8,74	0,49	2,39
Tubería 61	55 a 56	532,85	150	120	8,71	0,49	2,38
Tubería 62	56 a 57	550,42	150	120	8,25	0,47	2,15
Tubería 63	57 a 58	302,73	150	120	7,73	0,44	1,90
Tubería 64	58 a 59	161,21	25	120	0,36	0,73	39,50
Tubería 65	58 a 60	429,98	150	120	7,70	0,44	1,89
Tubería 66	60 a 61	519,62	150	120	6,92	0,39	1,55
Tubería 67	61 a 62	384,85	100	120	9,54	1,21	20,26
Tubería 68	62 a 63	346,37	100	120	4,55	0,58	5,14
Tubería 69	63 a 64	333,89	100	120	6,61	0,84	10,27
Tubería 70	64 a 65	317,38	100	120	5,51	0,70	7,33
Tubería 71	65 a 66	387,94	75	120	2,77	0,63	8,35
Tubería 72	66 a 67	372,28	75	120	0,92	0,21	1,09
Tubería 73	67 a 68	449,98	75	120	1,84	0,42	3,89
Tubería 74	61 a 69	452,74	150	120	7,69	0,43	1,88
Tubería 75	69 a 70	312,88	25	120	0,11	0,21	4,13
Tubería 76	69 a 71	364,26	150	120	9,97	0,56	3,05
Tubería 77	71 a 72	344,34	150	120	9,92	0,56	3,02
Tubería 78	72 a 73	327,08	150	120	8,32	0,47	2,18
Tubería 79	73 a 74	14,91	150	120	90,91	5,14	182,79
Tubería 80	74 a 75	339,67	75	120	3,58	0,81	13,40
Tubería 81	75 a 76	459,68	75	120	2,77	0,63	8,32
Tubería 82	76 a 77	411,29	63	120	1,55	0,50	6,62
Tubería 83	78 a 77	471,63	63	120	1,01	0,32	3,00
Tubería 84	63 a 78	395,90	63	120	2,54	0,81	16,55
Tubería 85	73 a 79	425,85	63	120	1,47	0,47	6,06
Tubería 86	79 a 80	282,28	63	120	1,44	0,46	5,79
Tubería 87	80 a 81	252,51	63	120	1,41	0,45	5,60
Tubería 88	81 a 82	334,40	50	120	0,76	0,39	5,53
Tubería 89	82 a 83	250,31	50	120	0,64	0,33	3,98
Tubería 90	74 a 84	385,40	150	120	6,67	0,38	1,45
Tubería 91	84 a 85	282,28	150	120	6,61	0,37	1,42
Tubería 92	85 a 86	252,51	150	120	6,56	0,37	1,40
Tubería 93	86 a 87	186,41	38	120	1,02	0,90	36,23
Tubería 94	86 a 88	192,68	150	120	25,47	1,44	17,32
Tubería 95	88 a 89	291,91	100	120	5,87	0,75	8,23
Tubería 96	89 a 90	241,18	100	120	5,16	0,66	6,50
Tubería 97	90 a 91	212,56	38	120	0,22	0,19	2,02
Tubería 98	90 a 92	168,22	100	120	4,67	0,60	5,40

Tubería 99	92 a 93	268,67	50	120	0,56	0,29	3,12
Tubería 100	92 a 94	398,39	100	120	4,10	0,52	4,23
Tubería 101	94 a 95	447,30	75	120	2,47	0,56	6,72
Tubería 102	95 a 96	378,65	63	120	1,02	0,33	3,03
Tubería 103	96 a 97	391,68	50	120	0,26	0,13	0,77
Tubería 104	83 a 98	600,00	150	130	10,03	0,57	2,66
Tubería 105	Tanques a 25	793,25	500	110	347,47	1,77	7,30
Tubería 106	25 a 26	987,45	500	110	347,47	1,77	7,30
Tubería 107	26 a 2	780,21	500	110	346,58	1,77	7,27
Tubería 108	2 a 24	722,45	300	130	102,76	1,45	6,76
Tubería 109	24 a 4	559,77	300	130	75,62	1,07	3,83
Tubería 110	4 a 5	238,76	200	130	50,36	1,60	13,00
Tubería 111	5 a 6	261,39	100	130	2,34	0,30	1,29
Tubería 112	4 a 18	74,33	100	130	12,63	1,61	29,35
Tubería 113	18 a 19	110,58	50	130	2,27	1,16	35,82
Tubería 114	18 a 17	60,45	100	130	10,07	1,28	19,31
Tubería 115	5 a 3	158,58	150	130	41,68	2,36	37,19
Tubería 116	3 a 8	113,60	150	130	19,28	1,09	8,92
Tubería 117	8 a 9	127,86	150	130	12,33	0,70	3,90
Tubería 118	9 a 10	59,59	75	130	5,81	1,32	28,32
Tubería 119	3 a 7	72,40	100	130	16,92	2,15	50,46
Tubería 120	7 a 14	114,27	100	130	10,36	1,32	20,33
Tubería 121	14 a 11	103,70	100	130	7,49	0,95	11,16
Tubería 122	14 a 15	83,48	50	130	1,87	0,95	25,01
Tubería 123	11 a 12	82,80	50	130	4,23	2,15	113,11
Tubería 124	2 a 22	528,34	500	110	237,65	1,21	3,61
Tubería 125	22 a 33	365,16	500	110	232,94	1,19	3,48
Tubería 126	33 a 23	80,15	500	110	227,95	1,16	3,34
Tubería 127	23 a 29	398,26	200	130	29,73	0,95	4,90
Tubería 128	29 a 30	401,35	200	130	26,59	0,85	3,98
Tubería 129	20 a 21	65,19	50	130	1,41	0,72	14,89
Tubería 130	27 a 28	294,98	75	130	5,33	1,21	24,09
Tubería 131	82 a 83	250,31	150	130	12,47	0,71	3,98
Tubería 132	94 a 95	447,30	200	130	35,26	1,12	6,72
Tubería 133	92 a 94	398,39	250	130	49,42	1,01	4,23
Tubería 134	23 a 36	530,06	500	110	208,25	1,06	2,83
Tubería 135	30 a 31	431,34	100	130	12,47	1,59	28,68
Tubería 136	31 a 32	416,32	75	130	5,90	1,33	29,09
Tubería 137	36 a 35	537,13	500	110	207,00	1,05	2,80
Tubería 138	95 a 96	378,65	200	130	22,95	0,73	3,03
Tubería 139	35 a 38	522,49	500	110	204,00	1,04	2,72

Tubería 140	38 a 41	399,93	500	110	203,74	1,04	2,72
Tubería 141	41 a 42	315,04	100	130	9,63	1,23	17,77
Tubería 142	42 a 43	128,71	100	130	4,72	0,60	4,74
Tubería 143	42 a 47	188,98	100	130	5,51	0,70	6,33
Tubería 144	43 a 44	287,06	100	130	3,79	0,48	3,15
Tubería 145	44 a 45	230,08	50	130	1,78	0,91	22,87
Tubería 146	47 a 48	278,46	100	130	2,75	0,35	1,75
Tubería 147	48 a 49	317,93	50	130	0,99	0,51	7,76
Tubería 148	41 a 55	524,40	500	110	190,03	0,97	2,39
Tubería 149	55 a 56	532,85	500	110	189,48	0,96	2,38
Tubería 150	56 a 57	550,42	500	110	179,40	0,91	2,15
Tubería 151	57 a 58	302,73	500	110	168,11	0,86	1,90
Tubería 152	58 a 60	429,98	500	110	167,42	0,85	1,89
Tubería 153	35 a 37	513,90	50	130	1,01	0,51	7,97
Tubería 154	60 a 61	519,62	500	110	150,42	0,77	1,55
Tubería 155	61 a 62	384,85	100	130	10,34	1,32	20,26
Tubería 156	62 a 63	346,37	150	130	14,31	0,81	5,14
Tubería 157	63 a 64	333,89	100	130	7,16	0,91	10,27
Tubería 158	64 a 65	317,38	100	130	5,97	0,76	7,33
Tubería 159	65 a 66	387,94	100	130	6,41	0,82	8,35
Tubería 160	66 a 67	372,28	100	130	2,14	0,27	1,09
Tubería 161	61 a 69	452,74	450	110	126,72	0,80	1,88
Tubería 162	69 a 70	312,88	50	130	0,71	0,36	4,13
Tubería 163	69 a 71	364,26	400	110	120,56	0,96	3,05
Tubería 164	71 a 72	344,34	400	110	119,99	0,95	3,02
Tubería 165	72 a 73	327,08	400	110	100,63	0,80	2,18
Tubería 166	74 a 84	385,40	400	110	80,65	0,64	1,45
Tubería 167	84 a 85	282,28	400	110	79,90	0,64	1,42
Tubería 168	85 a 86	252,51	400	110	79,34	0,63	1,40
Tubería 169	86 a 88	192,68	200	130	58,80	1,87	17,32
Tubería 170	88 a 89	291,91	250	130	70,75	1,44	8,23
Tubería 171	89 a 90	241,18	250	130	62,27	1,27	6,50
Tubería 172	90 a 91	212,56	100	130	2,98	0,38	2,02
Tubería 173	90 a 92	168,22	250	130	56,36	1,15	5,40
Tubería 174	92 a 93	268,67	100	130	3,76	0,48	3,12
Tubería 175	96 a 97	391,68	200	130	10,95	0,35	0,77

En el Cuadro 7.4 se muestran en color azul las tuberías propuestas en la red de distribución de la costa.

### **7.8.2. Zona de montaña**

Todo el sistema propuesto en la zona de montaña es nuevo e incluye la instalación de la siguiente cantidad de tubería:

**Cuadro 7.5.** Tuberías propuestas en la Zona de Montaña.

<b>Tuberías Nuevas Zona de Montaña</b>		
<b>Diámetro (mm)</b>	<b>Material</b>	<b>Longitud (m)</b>
50	PVC SDR 32.5	207
100	PVC SDR 32.5	14 944
200	PVC SDR 32.5	2 750
300	PVC SDR 26	2 965
450	HD C30	2 581
<b>Total</b>		<b>23 447</b>

Además de la tubería, en esta zona se colocarán tres válvulas reductoras de presión para ayudar a controlar presiones altas en algunos sectores del sistema. Estas válvulas serán de 75 mm de diámetro. La válvula 53 estará calibrada para una presión de salida de 10 mca, la válvula 54 para una presión de 40 mca y la válvula 55 para una presión de salida de 30 mca.

Las válvulas reductoras de presión, limitan la presión en un punto de la red de tuberías. El programa EPANET diferencia tres estados en los que puede trabajar este tipo de válvula:

- Parcialmente abierta, para mantener una presión aguas abajo, siempre que la presión aguas arriba sea superior a esta.
- Totalmente abierta, cuando la presión aguas arriba está por debajo de la de tarado.
- Cerrada, si la presión aguas abajo es superior a la presión aguas arriba, para impedir el flujo inverso.

Se puede observar en la Figura 7.8, que los nudos 29, 36, 37 y 38 cuentan con presiones altas superiores a los 70 mca. Sin embargo, las tuberías entre estos nudos serán de HD C30

de 450 mm y de PVC SDR 26 de 300 mm de diámetro, que soportan presiones de hasta 428,3 y 112 mca respectivamente. Por lo que no existirán problemas en estos puntos.

Debido a la poca diferencia de elevación entre el sitio de tanque y los nudos 3, 43 y 44 se tendrán bajas presiones en estos nudos a la hora de máxima demanda, por lo que las tuberías deberán enterrarse a una profundidad de por lo menos dos metros, mayor a lo normal lo cual es un metro. Lo mismo ocurre en los nudos 24, 25, 26 y 27, pero para este ramal se propone colocar un "booster" entre los nudos 22 y 23, con el fin de elevar las presiones en este sector.

Se muestran a continuación los resultados gráficos del programa y posteriormente los resultados numéricos de los nudos y las tuberías.

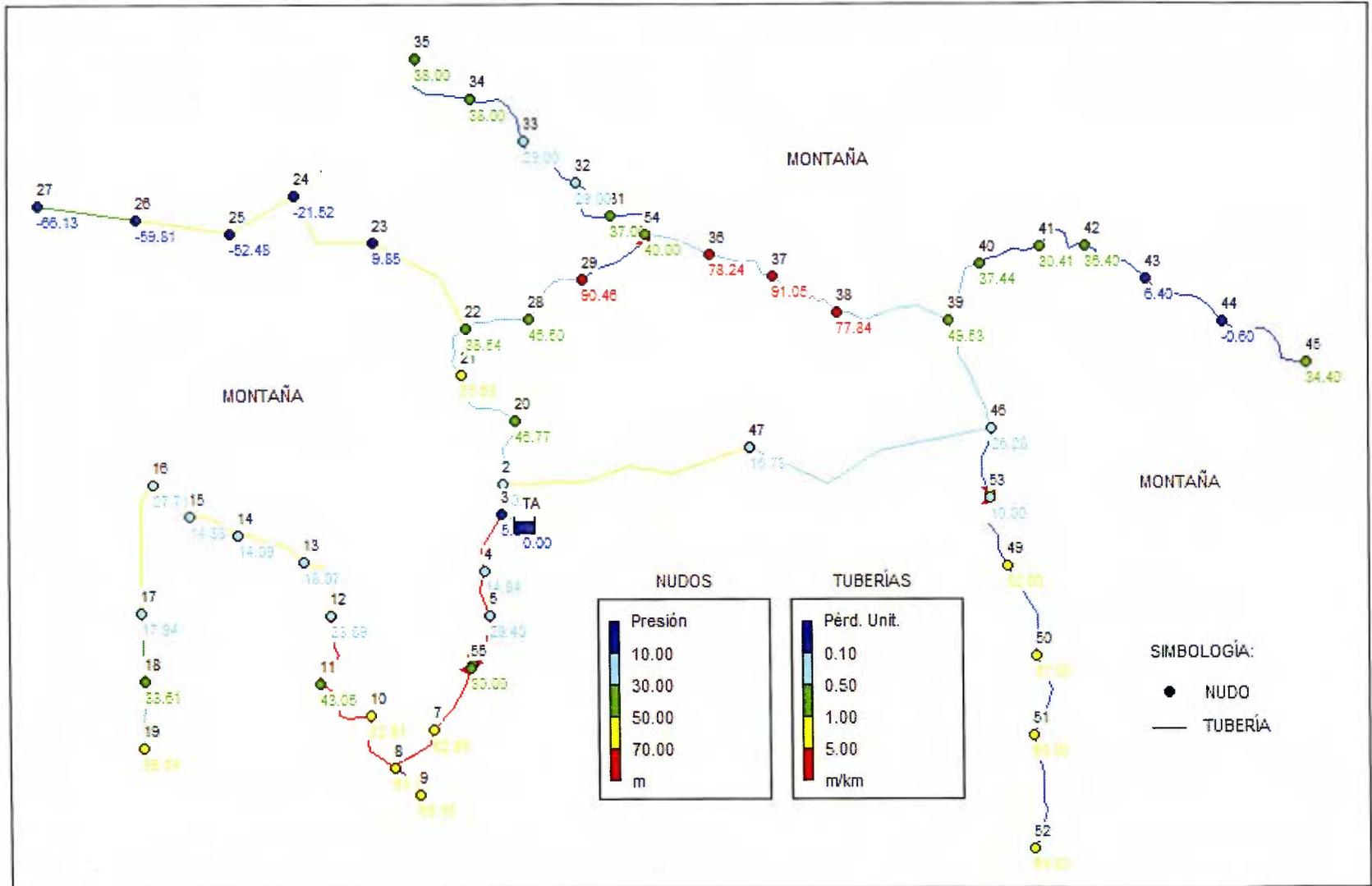


Figura 7.8. Red de distribución futura.

**Cuadro 7.6.** Resultados de los nudos de la red de distribución futura.

<b>ID Nudo</b>	<b>Cota (msnm)</b>	<b>Demanda (l/s)</b>	<b>Altura piez. (m)</b>	<b>Presión (mca)</b>
Nudo Tanque	132	-58,69	132,00	0,00
Nudo 2	121	0,00	131,88	10,88
Nudo 3	126	0,00	131,94	5,94
Nudo 4	113	0,94	127,84	14,84
Nudo 5	96	0,94	125,40	29,40
Nudo 6	75	0,00	123,24	48,24
Nudo 7	39	0,00	101,89	62,89
Nudo 8	38	0,00	99,56	61,56
Nudo 9	31	0,00	99,56	68,56
Nudo 10	44	0,00	96,91	52,91
Nudo 11	51	0,00	94,05	43,05
Nudo 12	67	1,37	90,89	23,89
Nudo 13	71	1,37	89,07	18,07
Nudo 14	74	0,00	88,09	14,09
Nudo 15	73	0,00	87,38	14,38
Nudo 16	59	0,00	86,71	27,71
Nudo 17	67	1,43	84,94	17,94
Nudo 18	51	0,93	84,61	33,61
Nudo 19	25	0,93	84,54	59,54
Nudo 20	85	0,34	131,77	46,77
Nudo 21	76	0,34	131,63	55,63
Nudo 22	93	0,00	131,54	38,54
Nudo 23	120	0,00	129,85	9,85
Nudo 24	150	0,00	128,48	-21,52
Nudo 25	180	0,00	127,52	-52,48
Nudo 26	186	10,03	126,19	-59,81
Nudo 27	192	10,03	125,87	-66,13
Nudo 28	85	1,42	131,50	46,50
Nudo 29	41	1,42	131,46	90,46
Nudo 30	32	0,00	131,42	99,42
Nudo 31	35	0,00	72,00	37,00
Nudo 32	43	0,00	72,00	29,00
Nudo 33	43	0,00	72,00	29,00
Nudo 34	34	0,00	72,00	38,00
Nudo 35	34	0,00	72,00	38,00
Nudo 36	53	0,00	131,24	78,24
Nudo 37	40	0,00	131,05	91,05
Nudo 38	53	0,00	130,84	77,84
Nudo 39	81	6,68	130,53	49,53

Nudo 40	93	6,68	130,44	37,44
Nudo 41	100	5,01	130,41	30,41
Nudo 42	94	5,01	130,40	36,40
Nudo 43	124	0,00	130,40	6,40
Nudo 44	131	0,00	130,40	-0,60
Nudo 45	96	0,00	130,40	34,40
Nudo 46	105	0,00	130,28	25,28
Nudo 47	113	3,82	129,73	16,73
Nudo 48	77	0,00	130,28	53,28
Nudo 49	35	0,00	87,00	52,00
Nudo 50	30	0,00	87,00	57,00
Nudo 51	27	0,00	87,00	60,00
Nudo 52	23	0,00	87,00	64,00
Nudo 53	77	0,00	87,00	10,00
Nudo 54	32	0,00	72,00	40,00
Nudo 55	75	0,00	105,00	30,00

**Cuadro 7.7.** Resultados de las tuberías de la red de distribución futura.

ID Línea	De nudo a nudo	Longitud (m)	Diámetro (mm)	Rugosidad (C)	Caudal (l/s)	Velocidad (m/s)	Pérdida Unit. (m/km)
Tubería 1	TA a 3	131,72	450	110	58,69	0,37	0,45
Tubería 2	3 a 2	160,40	450	110	50,78	0,32	0,35
Tubería 3	3 a 4	332,32	100	130	7,91	1,01	12,34
Tubería 4	4 a 5	249,53	100	130	6,97	0,89	9,77
Tubería 5	5 a 6	289,86	100	130	6,03	0,77	7,47
Tubería 6	55 a 7	416,05	100	130	6,03	0,77	7,47
Tubería 7	7 a 8	312,32	100	130	6,03	0,77	7,47
Tubería 8	8 a 9	207,04	50	130	0,00	0,00	0,00
Tubería 9	8 a 10	354,82	100	130	6,03	0,77	7,47
Tubería 10	10 a 11	382,63	100	130	6,03	0,77	7,47
Tubería 11	11 a 12	424,16	100	130	6,03	0,77	7,47
Tubería 12	12 a 13	392,44	100	130	4,66	0,59	4,63
Tubería 13	13 a 14	401,57	100	130	3,29	0,42	2,43
Tubería 14	14 a 15	292,04	100	130	3,29	0,42	2,43
Tubería 15	15 a 16	277,38	100	130	3,29	0,42	2,43
Tubería 16	16 a 17	727,83	100	130	3,29	0,42	2,43
Tubería 17	17 a 18	386,51	100	130	1,86	0,24	0,85
Tubería 18	18 a 19	321,17	100	130	0,93	0,12	0,23
Tubería 19	2 a 20	362,71	450	110	48,18	0,30	0,31
Tubería 20	20 a 21	438,03	450	110	47,84	0,30	0,31

Tubería 21	21 a 22	310,18	450	110	47,50	0,30	0,31
Tubería 22	22 a 23	716,74	200	130	20,06	0,64	2,36
Tubería 23	23 a 24	579,51	200	130	20,06	0,64	2,36
Tubería 24	24 a 25	403,11	200	130	20,06	0,64	2,36
Tubería 25	25 a 26	562,47	200	130	20,06	0,64	2,36
Tubería 26	26 a 27	488,01	200	130	10,03	0,32	0,65
Tubería 27	22 a 28	351,77	450	110	27,44	0,17	0,11
Tubería 28	28 a 29	404,36	450	110	26,02	0,16	0,10
Tubería 29	29 a 30	422,30	450	110	24,60	0,15	0,09
Tubería 30	54 a 31	371,54	100	130	0,00	0,00	0,00
Tubería 31	31 a 32	353,99	100	130	0,00	0,00	0,00
Tubería 32	32 a 33	406,86	100	130	0,00	0,00	0,00
Tubería 33	33 a 34	426,63	100	130	0,00	0,00	0,00
Tubería 34	34 a 35	465,85	100	130	0,00	0,00	0,00
Tubería 35	30 a 36	381,84	300	130	24,60	0,35	0,48
Tubería 36	36 a 37	397,26	300	130	24,60	0,35	0,48
Tubería 37	37 a 38	445,18	300	130	24,60	0,35	0,48
Tubería 38	38 a 39	649,32	300	130	24,60	0,35	0,48
Tubería 39	39 a 40	378,37	300	130	16,70	0,24	0,23
Tubería 40	40 a 41	343,10	300	130	10,02	0,14	0,09
Tubería 41	41 a 42	369,85	300	130	5,01	0,07	0,03
Tubería 42	42 a 43	406,02	100	130	0,00	0,00	0,00
Tubería 43	43 a 44	499,09	100	130	0,00	0,00	0,00
Tubería 44	44 a 45	581,36	100	130	0,00	0,00	0,00
Tubería 45	39 a 46	631,81	100	130	1,22	0,16	0,39
Tubería 46	46 a 47	1 416,62	100	130	1,22	0,16	0,39
Tubería 47	2 a 47	1 377,59	100	130	2,60	0,33	1,57
Tubería 48	46 a 48	373,64	100	130	0,00	0,00	0,00
Tubería 49	53 a 49	420,02	100	130	0,00	0,00	0,00
Tubería 50	49 a 50	537,08	100	130	0,00	0,00	0,00
Tubería 51	50 a 51	466,98	100	130	0,00	0,00	0,00
Tubería 52	51 a 52	647,99	100	130	0,00	0,00	0,00
Válvula 53	48 a 53	-	75	-	0,00	0,00	43,28
Válvula 54	30 a 54	-	75	-	0,00	0,00	59,42
Válvula 55	6 a 55	-	75	-	6,03	1,36	18,24

## 7.9. Bloques de anclaje

En cualquier cambio de dirección de la tubería deberá colocarse un bloque de anclaje, que transmita al terreno el empuje producido por la presión del agua. El empuje (E) se calcula con la fórmula (López, 1999):

$$E = 2 \cdot A_t \cdot P \cdot \text{sen}\left(\frac{\emptyset}{2}\right) \quad (25)$$

Donde:

$A_t$  = área del tubo en  $\text{cm}^2$ .

P = presión interna en  $\text{kg}/\text{cm}^2$ .

$\emptyset$  = ángulo de deflexión de la tubería.

El área del bloque de anclaje ( $A_b$ ) que deberá oponerse a ese empuje se calcula usando la fórmula (López, 1999):

$$A_b = \frac{E}{\sigma} \quad (26)$$

Donde:

$\sigma$  = es la resistencia del terreno en  $\text{kg}/\text{cm}^2$ .

E = empuje producido por la presión del agua en kg.

Al no contar con estudios de suelos en la zona, se utilizará un valor conservador de resistencia del terreno de  $0,5 \text{ kg}/\text{cm}^2$ .

### 7.9.1. Tubería de impulsión

Los bloques de anclaje en las líneas de impulsión se diseñarán para la presión interna en la tubería, incluyendo el golpe de ariete. Los cálculos se realizarán para la condición crítica, es decir al inicio de la línea de impulsión donde la presión es mayor.

### 7.9.1.1. Zona de costa

En la costa la presión para la cual se diseñarán los bloques de anclaje es de 213,63 mca que corresponde a 21,36 kg/cm<sup>2</sup> y para un diámetro de 450 mm.

**Cuadro 7.8.** Bloques de anclaje para la tubería de impulsión de la costa.

$\phi$	450 mm			
Ángulo	90°	45°	22,5°	11,25°
A <sub>b</sub> (cm <sup>2</sup> )	96 100,0	52 008,9	26 513,9	13 321,1
A (cm)	310	230	165	115
B (cm)	310	230	165	115

### 7.9.1.2. Zona de montaña

Igualmente, en la zona de montaña se diseñarán los bloques de anclaje para una presión de 367,49 mca y para un diámetro de 200 mm.

**Cuadro 7.9.** Bloques de anclaje para la tubería de impulsión de la montaña.

$\phi$	200 mm			
Ángulo	90°	45°	22,5°	11,25°
A <sub>b</sub> (cm <sup>2</sup> )	32 654,4	17 672,4	9 009,3	4 526,5
A (cm)	185	135	95	70
B (cm)	185	135	95	70

## 7.9.2. Red de distribución

### 7.9.2.1. Zona de costa

Los bloques de anclaje en la red de distribución de la costa, se diseñarán para la presión máxima cuyo valor es de 53,39 mca y para todos los diámetros de tubería propuestos. Los resultados se muestran a continuación:

**Cuadro 7.10.** Bloques de anclaje para la tubería de distribución de la costa.

$\phi$	50 mm				75 mm			
<b>Ángulo</b>	90°	45°	22,5°	11,25°	90°	45°	22,5°	11,25°
<b>A<sub>b</sub> (cm<sup>2</sup>)</b>	296,5	160,5	81,8	41,1	667,1	361,1	184,1	92,5
<b>A (cm)</b>	20	15	10	10	30	20	15	10
<b>B (cm)</b>	20	15	10	10	30	20	15	10

$\phi$	100 mm				150 mm			
<b>Ángulo</b>	90°	45°	22,5°	11,25°	90°	45°	22,5°	11,25°
<b>A<sub>b</sub> (cm<sup>2</sup>)</b>	1 186,0	641,9	327,2	164,4	2 668,6	1 444,2	736,3	369,9
<b>A (cm)</b>	35	25	20	15	55	40	30	20
<b>B (cm)</b>	35	25	20	15	55	40	30	20

$\phi$	200 mm				250 mm			
<b>Ángulo</b>	90°	45°	22,5°	11,25°	90°	45°	22,5°	11,25°
<b>A<sub>b</sub> (cm<sup>2</sup>)</b>	4 744,1	2 567,5	1 308,9	657,6	7 412,7	4 011,7	2 045,2	1 027,5
<b>A (cm)</b>	70	55	40	30	90	65	45	35
<b>B (cm)</b>	70	55	40	30	90	65	45	35

$\phi$	300 mm				400 mm			
<b>Ángulo</b>	90°	45°	22,5°	11,25°	90°	45°	22,5°	11,25°
<b>A<sub>b</sub> (cm<sup>2</sup>)</b>	10 674,3	5 776,9	2 945,0	1 479,6	18 976,5	10 270,0	5 235,6	2 630,5
<b>A (cm)</b>	105	80	55	40	140	105	75	55
<b>B (cm)</b>	105	80	55	40	140	105	75	55

$\phi$	450 mm				500 mm			
<b>Ángulo</b>	90°	45°	22,5°	11,25°	90°	45°	22,5°	11,25°
<b>A<sub>b</sub> (cm<sup>2</sup>)</b>	24 017,1	12 998,0	6 626,3	3 329,2	29 650,8	16 046,9	8 180,6	4 110,1
<b>A (cm)</b>	155	115	85	60	175	130	90	65
<b>B (cm)</b>	155	115	85	60	175	130	90	65

#### 7.9.2.2. Zona de montaña

De la misma manera, los bloques de anclaje en la red de distribución de la montaña se diseñarán para una presión de 99,42 mca y para todos los diámetros de tubería propuestos. Las dimensiones de los bloques de anclaje para esta zona son los siguientes:

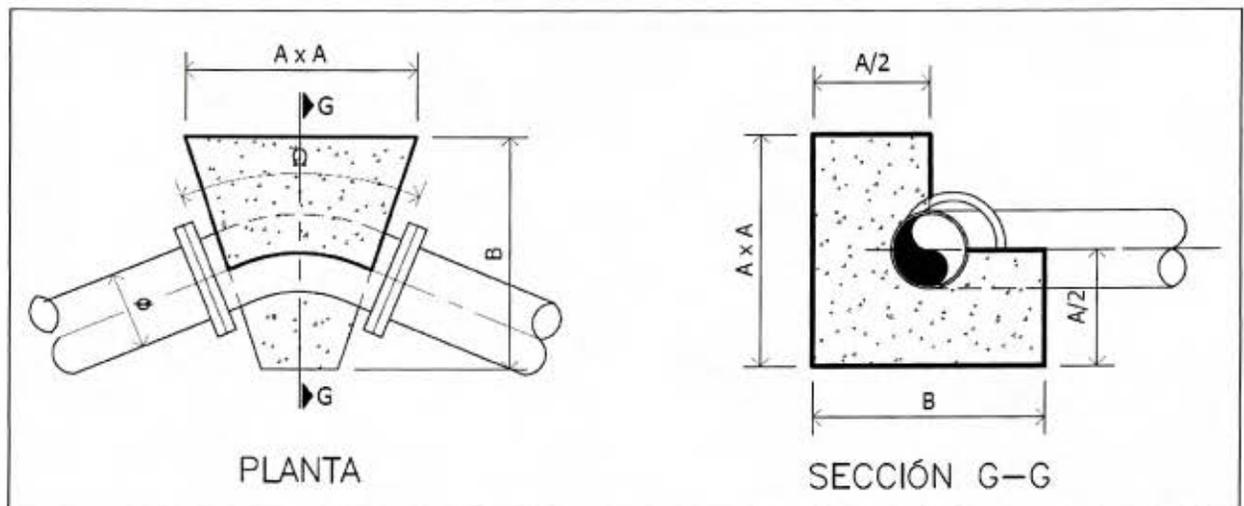
**Cuadro 7.11.** Bloques de anclaje para la tubería de distribución de la montaña.

$\phi$	50 mm				100 mm				
	Ángulo	90°	45°	22,5°	11,25°	90°	45°	22,5°	11,25°
<b>A<sub>b</sub> (cm<sup>2</sup>)</b>	552,1	298,8	152,3	76,5	2 208,6	1 195,3	609,3	306,1	
<b>A (cm)</b>	25	20	15	10	50	35	25	20	
<b>B (cm)</b>	25	20	15	10	50	35	25	20	

$\phi$	200 mm				300 mm				
	Ángulo	90°	45°	22,5°	11,25°	90°	45°	22,5°	11,25°
<b>A<sub>b</sub> (cm<sup>2</sup>)</b>	8 834,3	4 781,1	2 437,4	1 224,6	19 877,1	10 757,4	5 484,1	2 755,3	
<b>A (cm)</b>	95	70	50	35	145	105	75	55	
<b>B (cm)</b>	95	70	50	35	145	105	75	55	

$\phi$	450 mm				
	Ángulo	90°	45°	22,5°	11,25°
<b>A<sub>b</sub> (cm<sup>2</sup>)</b>	44 723,4	24 204,1	12 339,1	6 199,4	
<b>A (cm)</b>	215	160	115	80	
<b>B (cm)</b>	215	160	115	80	

Los bloques de anclaje deberán tener las dimensiones calculadas A y B, como se muestra en el siguiente esquema:



**Figura 7.9.** Bloque de anclaje.

**Fuente:** Hidrogeotecnia Ltda.

## 7.10. Presupuesto de las obras

A continuación se presenta un plan de inversiones para las mejoras propuestas en el acueducto de Esterillos de Parrita. Las obras se proponen en cuatro etapas, cada 5 años, distribuidas según su orden de prioridad dentro del sistema. Para los cálculos se utilizó la conversión 1 dólar = 500 colones. En los cuadros 7.12, 7.13, 7.14 y 7.15 se muestra el presupuesto para cada etapa propuesta.

**Cuadro 7.12.** Presupuesto Primera Etapa Año 2017.

<b>PRIMERA ETAPA AÑO 2017</b>				
<b>ITEM</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>COSTO UNITARIO (\$)</b>	<b>COSTO TOTAL (\$)</b>
<b>ZONA DE COSTA</b>				
<b>Pozos perforados</b>				
- Perforación de 2 nuevos pozos (40 m c/u)	m	80	350	28 000
- Equipamiento y cachera de 2 nuevos pozos (100 HP)	Unidad	2	24 520	49 040
<b>Línea de conducción</b>				
- Válvula de alivio, 100 mm	Unidad	1	198	198
<b>Línea de impulsión</b>				
- Tubería HD C30, 450 mm	m	2 574	134	345 122
- Accesorios de la tubería de impulsión	Global			34 512
<b>Red de distribución</b>				
- Tubería HD C30, 400 mm	m	1 956	102	199 023
- Tubería HD C30, 450 mm	m	453	134	60 738
- Tubería HD C30, 500 mm	m	8 384	140	1 171 664
- Accesorios de la tubería de distribución	Global			143 143
<b>Tanque de almacenamiento metálico de 3 000 m<sup>3</sup></b>	Unidad	1	266 040	266 040
<b>Equipo de cloración con cloro HTH</b>	Unidad	1	3 500	3 500
<b>Mano de obra</b>				805 343
<b>Subtotal</b>				3 106 322
<b>Imprevistos 10%</b>				310 632
<b>TOTAL PRIMERA ETAPA (\$)</b>				<b>3 416 955</b>

**Cuadro 7.13.** Presupuesto Segunda Etapa Año 2022.

<b>SEGUNDA ETAPA AÑO 2022</b>				
<b>ITEM</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>COSTO UNITARIO (\$)</b>	<b>COSTO TOTAL (\$)</b>
<b>ZONA DE COSTA</b>				
<b>Pozo perforado</b>				
- Perforación de 1 nuevo pozo (40 m c/u)	m	40	350	14 000
- Equipamiento y cachera de 1 nuevo pozo (100 HP)	Unidad	1	24 520	24 520
<b>Red de distribución</b>				
- Tubería PVC SDR 32.5, 200 mm	m	2 449	54	132 246
- Tubería PVC SDR 32.5, 250 mm	m	1 100	88	97 339
- Tubería PVC SDR 32.5, 300 mm	m	1 282	121	154 699
- Accesorios de la tubería de distribución	Global			38 428
<b>ZONA DE MONTAÑA</b>				
<b>Pozo perforado</b>				
- Perforación de 1 nuevo pozo (40 m c/u)	m	40	350	14 000
- Equipamiento y cachera de 1 nuevo pozo (250 HP)	Unidad	1	54 065	54 065
<b>Línea de impulsión</b>				
- Tubería HD C40, 200 mm	m	9 072	44	402 525
- Bomba booster 35 HP	Unidad	1	12 700	12 700
- Accesorios de la tubería de impulsión	Global			40 252
<b>Tanque de almacenamiento metálico de 1 000 m<sup>3</sup></b>	Unidad	1	109 818	109 818
<b>Equipo de cloración con cloro HTH</b>	Unidad	1	3 500	3 500
<b>Mano de obra</b>				384 332
<b>Subtotal</b>				1 482 425
<b>Imprevistos 10%</b>				148 242
<b>TOTAL SEGUNDA ETAPA (\$)</b>				<b>1 630 667</b>

**Cuadro 7.14.** Presupuesto Tercera Etapa Año 2027.

<b>TERCERA ETAPA AÑO 2027</b>				
<b>ITEM</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>COSTO UNITARIO (\$)</b>	<b>COSTO TOTAL (\$)</b>
<b>ZONA DE COSTA</b>				
<b>Pozos perforados</b>				
- Perforación de 2 nuevos pozos (40 m c/u)	m	80	350	28 000
- Equipamiento y cachera de 2 nuevos pozos (100 HP)	Unidad	2	24 520	49 040
<b>Tanque de almacenamiento metálico de 3 000 m<sup>3</sup></b>	Unidad	1	266 040	266 040
<b>ZONA DE MONTAÑA</b>				
<b>Red de distribución</b>				
- Tubería PVC SDR 32.5, 50 mm	m	207	4	861
- Tubería PVC SDR 32.5, 100 mm	m	14 944	13	200 250
- Tubería PVC SDR 32.5, 200 mm	m	2 750	54	148 500
- Tubería PVC SDR 26, 300 mm	m	2 965	159	471 346
- Tubería HD C30, 450 mm	m	2 581	134	346 060
- Válvula reguladora de presión de 75 mm	Unidad	3	1 330	3 990
- Accesorios de la tubería de distribución	Global			116 702
<b>Mano de obra</b>				570 776
<b>Subtotal</b>				2 201 565
<b>Imprevistos 10%</b>				220 157
<b>TOTAL TERCERA ETAPA (\$)</b>				<b>2 421 722</b>

**Cuadro 7.15.** Presupuesto Cuarta Etapa Año 2027.

<b>CUARTA ETAPA AÑO 2027</b>				
<b>ITEM</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>COSTO UNITARIO (\$)</b>	<b>COSTO TOTAL (\$)</b>
<b>ZONA DE COSTA</b>				
<b>Pozo perforado</b>				
- Perforación de 1 nuevo pozo (40 m c/u)	m	40	350	14 000
- Equipamiento y cachera de 1 nuevo pozo (100 HP)	Unidad	1	24 520	24 520
<b>Red de distribución</b>				
- Tubería PVC SDR 32.5, 50 mm	m	1 717	4	6 868
- Tubería PVC SDR 32.5, 75 mm	m	771	8	6 168
- Tubería PVC SDR 32.5, 100 mm	m	4 594	13	59 722
- Tubería PVC SDR 32.5, 150 mm	m	2 892	32	92 544
- Accesorios de la tubería de distribución	Global			16 530
<b>Mano de obra</b>				77 123
<b>Subtotal</b>				297 475
<b>Imprevistos 10%</b>				29 748
<b>TOTAL CUARTA ETAPA (\$)</b>				<b>327 223</b>

Como se observa en los cuadros anteriores, la primera etapa resulta ser la más costosa con \$ 3 416 955 y la cuarta etapa la menos costosa con \$ 327 223.

Las mejoras en la zona de montaña se propone inicien en la segunda etapa con el pozo, la línea de impulsión, el tanque de almacenamiento de 1 000 m<sup>3</sup> y el equipo de cloración para este tanque. En la zona de costa las obras comenzarán en la primera etapa, esto al ser un sistema existente que requiere de mejoras; a diferencia del sistema de montaña el cual sería un sistema completamente nuevo que queda condicionado a los proyectos futuros. Las obras en la costa inician con la construcción de dos pozos, la tubería de impulsión, los diámetros más grandes de tubería de distribución, el primer tanque de 3 000 m<sup>3</sup> y el equipo de cloración para este tanque.

El presupuesto para la zona de costa (\$ 4 943 779) es mayor que para la zona de montaña (\$ 2 857 985), ya que en este sector además de los proyectos futuros, se concentra toda la población residente y por lo mismo se deberá instalar más tubería, perforar más pozos y colocar mayor volumen de almacenamiento que en la zona de montaña.

El presupuesto de las cuatro etapas suma un total de \$ 7 801 764 (siete millones ochocientos un mil setecientos sesenta y cuatro dólares).

## **CAPÍTULO 8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

Esterillos es una zona de gran atractivo turístico por ser una región costera y poco explotada. Es por lo anterior, que existe el interés de realizar muchos proyectos en la zona, los cuales en la actualidad solicitan agua a la ASADA de Esterillos. Sin embargo, el sistema actual del acueducto de Esterillos no se encuentra en capacidad de abastecer estos 31 proyectos habitacionales que se desean desarrollar.

El sistema de abastecimiento actual del acueducto de Esterillos está conformado por:

- Una naciente cuya producción de 18,22 l/s se conduce por una línea de 200 mm de diámetro que luego se reduce a 150 mm, la cual se conecta directamente a la tubería de distribución.
- Tres pozos cuya producción en conjunto de 44 l/s, es bombeada a través de una línea de impulsión de 150 mm de diámetro que se amplía a 200 mm, hasta un tanque de almacenamiento de 400 m<sup>3</sup>. En este tanque se realiza cloración con un sistema de pastillas de cloro.
- La red de distribución cuenta con 31 063 m de tubería con diámetros desde los 200 mm hasta los 25 mm, donde el diámetro predominante es el de 150 mm.

La población calculada para el año 2012 es de 43 358 habitantes y para el año 2032 se espera una población total de 108 355 habitantes. Actualmente se tiene una demanda promedio diaria total de 96,67 l/s, una demanda máxima diaria total igual a 120,84 l/s y una demanda máxima horaria total de 181,26 l/s. Y para el año 2032 se estima se tendrá una demanda promedio diaria total de 234,79 l/s, una demanda máxima diaria igual a 293,49 l/s y una demanda máxima horaria de 440,23 l/s.

Los principales problemas que presenta el acueducto de Esterillos son:

1. En la capacidad de su red de distribución, debido a diámetros de tubería pequeños.
2. De almacenamiento, ya que sólo existe un tanque de almacenamiento en el sistema el cual cuenta con poco volumen.
3. Y de fuentes de abastecimiento ya que existe actualmente un déficit de agua de 75,69 l/s para la condición de máxima ocupación en verano.

El programa EPANET es una herramienta gratis y simple de utilizar para el análisis hidráulico de redes de distribución. Este software se utilizó para el análisis de la capacidad de la línea de conducción y de la red de distribución actual del acueducto de Esterillos. Igualmente se simuló la condición de las redes propuestas a 20 años y se propusieron los tramos de tubería necesarios para obtener una capacidad adecuada.

Se propuso dividir el acueducto de Esterillos en dos zonas de presión, de acuerdo a la ubicación de los proyectos futuros. Una zona de costa que incluye a la población residente y a los proyectos futuros ubicados en la zona baja cerca de la playa; y una zona de montaña que incluye los proyectos futuros ubicados en la zona alta. En la costa se tienen un total de 21 proyectos previstos, mientras que en la montaña se desarrollarían diez proyectos.

Para el diseño de un acueducto nuevo o la ampliación de uno existente se debe seguir con la normativa de AyA. Es importante cumplir con los parámetros de presiones máximas y mínimas, y velocidades máximas y mínimas para el correcto funcionamiento del sistema.

Para suplir el déficit de agua futuro se propone la perforación y equipamiento de siete pozos nuevos, seis para la costa y uno para la montaña. Estos pozos se ubicarán en la margen derecha del río Tusubres, cerca de los pozos existentes. Los pozos para la costa se espera generen un caudal de 47 l/s y el pozo para la montaña de 53 l/s. Esta propuesta deberá revisarse de acuerdo a los resultados obtenidos con la perforación de los primeros pozos.

Como parte de las obras propuestas deberán instalarse 11 646 m de tubería de impulsión toda en HD, 35 670 m de tubería de distribución en PVC y 13 374 m de tubería de distribución en HD. También para aumentar la capacidad de almacenamiento se propone construir tres tanques de almacenamiento, uno de 1 000 m<sup>3</sup> para la zona de montaña y dos de 3 000 m<sup>3</sup> para la zona de costa. Se propone que estos tanques sean metálicos, similares a los tanques de acero vitrificado.

La cloración en un acueducto es un aspecto muy importante e indispensable para la salud de los usuarios del servicio. Todo acueducto debe cumplir con lo establecido en el Reglamento para la Calidad de Agua Potable. Para el caso del acueducto de Esterillos deberán aplicarse

los programas N1, N2 y N3. Debido a los caudales tan grandes que deben ser tratados en este acueducto, se recomienda la instalación de sistemas de desinfección con cloro HTH. Se propone colocar dos sistemas, uno para los tanques de la costa y otro para el tanque de la montaña.

Las mejoras propuestas se plantearon para un periodo de diseño de 20 años, por lo que probablemente concluido este tiempo se deberán realizar nuevos estudios en el acueducto. Además se recomienda, ya que no formaba parte de los alcances de este proyecto, realizar un análisis del acueducto con escenarios cada 5 años, como fue planteado en el plan de inversiones.

Actualmente sólo el 87% de los servicios existentes en el acueducto de Esterillos cuenta con hidrómetro. Es importante la colocación de micromedición al 100% de los servicios existentes y nuevos por incluir y de colocar macromedidores en las líneas de conducción e impulsión. Esto con el fin de llevar un control sobre consumos (micromedición) y producciones (macromedición) en el sistema, que ayudará a detectar fugas, conexiones ilícitas, desperdicios de agua, etc.

En los proyectos donde un desarrollador necesita que se realicen inversiones para poder abastecer su proyecto lo que se acostumbra es que el mismo haga un aporte financiero proporcional al beneficio que espera obtener y que al mismo tiempo genere beneficios para la población local.

Para evitar acumulación de aire en los puntos altos de las líneas de impulsión y conducción, se recomienda la instalación de válvulas de admisión y expulsión de aire. Estas válvulas permitirán también la entrada del aire cuando por alguna razón el tubo se quede vacío. Para diámetros de tubería menores a 150 mm se utilizarán válvulas de 12 mm de diámetro y para diámetros mayores o iguales a 150 mm se utilizarán válvulas de aire de 19 mm de diámetro. Además, para facilitar la limpieza de la tubería se recomienda la instalación de válvulas de limpieza. El diámetro de estas válvulas será el mismo que el de la tubería de la que se deriva, siempre y cuando ésta no supere los 100 mm.

Con el fin de que el acueducto de Esterillos opere en condiciones óptimas en el año 2032, se deberán realizar las mejoras propuestas en este documento. Éstas se podrán realizar por etapas, como fueron planteadas en la sección 7.10, según su prioridad dentro del sistema y conforme aumente la demanda en el acueducto. Se establecieron cuatro etapas de inversión, éstas cada 5 años.

El costo total de las mejoras en el acueducto de Esterillos es de \$ 7 801 764. Se propone realizarlas en cuatro etapas, en la primera y cuarta etapa las mejoras serán solamente en la zona de costa, mientras que en la segunda y tercera etapa se realizarán obras tanto como para la zona de costa como para la de montaña. El presupuesto de la zona de costa es de \$ 4 943 779 y en la zona de montaña de \$ 2 857 985. Las mejoras en la zona de costa inician con la construcción de dos pozos, la tubería de impulsión, los diámetros más grandes de tubería de distribución, el primer tanque de 3 000 m<sup>3</sup> y el equipo de cloración para este tanque. Las obras en la zona de montaña inician con el pozo, la línea de impulsión, el tanque de almacenamiento de 1 000 m<sup>3</sup> y el equipo de cloración para este tanque.

# BIBLIOGRAFÍA

## Referencias bibliográficas

1. Arellano, F. (2008, enero). *Evaluación de las Condiciones Hidrogeológicas, Esterillos de Parrita*. Costa Rica: Hidrogeotecnia Ltda.
2. Hidrotecnia Consultores S.A. (2008). *Informe Borrador Plan Maestro de Abastecimiento de Agua Potable para la Región de Jacó - Parrita*. Costa Rica: Hidrotecnia Consultores S.A.
3. Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA). (1989). *Informe Final del Estudio de Optimización de Sistemas para el Acueducto El Pasito de Alajuela*. Costa Rica: AyA.
4. Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA). (2011). *Criterios para el Diseño de Acueductos Rurales*. Costa Rica: AyA.
5. Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA). (2001). *Normas de Diseño de Agua Potable*. Costa Rica: AyA.
6. López, R. (1999). *Diseño de Acueductos y Alcantarillados*. Colombia: Editorial Alfaomega.
7. Mata, R. (2001). Análisis Hidráulico del Acueducto de la Ciudad de Esparza. Proyecto de graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil, Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.
8. Silvestre, P. (1983). *Fundamentos de Hidráulica General*. México: Editorial Limusa.
9. Reglamento para la Calidad del Agua Potable. (2005, 3 de mayo). *La Gaceta*, pp. 2-5.

10. Rodríguez, A. (1984, julio). Análisis de los Sistemas de Bombeo de Agua Potable en Costa Rica. Proyecto de graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil, Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.
11. Rodríguez, A. (2008, enero). *Estudio de Hidrología del Río Tulín*. Costa Rica: Hidrogeotecnia Ltda.
12. Rodríguez, A. (2008, mayo). *Obras a corto plazo, Acueducto de Esterillos*. Costa Rica: Hidrogeotecnia Ltda.

### **Otros**

1. Mapas de modelo de elevaciones, geología e hidrología. Fuente: Terra 1998 y Atlas 2008.
2. Aforos, análisis de calidad de agua y pruebas de bombeo. Fuente: Hidrogeotecnia Ltda.
3. Hojas cartográficas de Herradura y Parrita, escala 1:50 000. Fuente: Instituto Geográfico Nacional.
4. Información de censos de población y vivienda. Fuente: Instituto Nacional de Estadística y Censos.
5. Información sobre servicios existentes y proyectos futuros. Fuente: ASADA de Esterillos.
6. Información de estación climática en Damas de Quepos N° 90009. Fuente: Instituto Meteorológico Nacional.
7. Software EPANET. Fuente: Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos.

# ANEXOS

## ANEXO 1. UBICACIÓN DE POZOS CERCANOS



## ANEXO 2. ANÁLISIS DE CALIDAD DE AGUA



SERVICIOS INTEGRADOS DE LABORATORIO, S.A.  
 TEL/FAX: 223-6593 • APDO. 1794-1002 SAN JOSE, COSTA RICA

Reporte: ANALISIS BACTERIOLOGICO DE AGUA Rep.: HIG07K039  
 Solicit6: HIDROGEOLOGIA WIX: 26-11-2007

IDENTIFICACION, RECOLECCION Y RECEPCION DE MUESTRAS							
IDENTIFICACION				RECOLECCION			
N°	Tipo	Punto de toma	Envase	Fecha	Hora	Lugar	Por
1	Agua	Acueducto Esterillos, N°1 naciente	SILAB	14-11-2007	9:00 am	Ester.	Hidrog.
RECEPCION				14-11-2007	9:31 pm	SILAB	HGG.

RESULTADOS						
Muestra	RECuento					PRESENCIA
N°	Total aerobio UNP/cm <sup>3</sup>	Coliformes totales NMP /100 ml.	Coliformes fecales NMF /100 ml.	E. coli. NME /100 ml.	Cloro. mp/L.	
1	4.0 x 10 <sup>4</sup>	S.I.	NEGATIVO	CIERO		NO PRESENCIA

UNP: Unidades formadoras de colonias.  
 NMP: Ampres por probador.

**OBSERVACIONES:**

Se realizaron monitoreos durante observados siguiendo las normas y especificaciones de los métodos estándares para el análisis bacteriológico de agua (A.S. 11.11.1990).

- Método utilizado: Método de agua Standard, tubos de fermentación, NMP.
- Temperatura: 37°C.
- Tiempo: 24h a 48h.
- Fuente: Hidrogeotecnia de Alvariz.

**CONCLUSION:** Conforme a los resultados obtenidos, la muestra se considera apta para consumo humano.

**APTA PARA CONSUMO HUMANO**

Dr. Rodrigo Alvariz R. (M.Q.C.).  
 LABORATORIO ALVAREZ, Reg. N° 166.

Alvariz

**Figura A.2.1.** Análisis bacteriológico de naciente.

**Fuente:** Hidrogeotecnia Ltda.

**INFORME DE ANALISIS QUIMICO POTABILIDAD DE AGUAS**

Informe N° 20112007

Tipo de muestra: Agua de Naciente. Acueducto de Esterillos

Interesado: Hidrogeotecnia SA.

Encargado de muestreo: Laboratorio Silab

Fecha de muestreo : 14-11-2007 9:00 am

Fecha de recibo de muestra: 16-11-2007

Fecha de reporte de análisis: 20-11-2007

Parámetro analizado	Valor reportado	Valor máximo permisible por Reglamento de aguas potables N°32327-S	Método de análisis
pH	7,8 ± 0,1	6,5 - 8,5	LQ AQY AP 0001
Color, U Pt/Co	0,9 ± 0,1	15 U Pt/Co	2120-B
Turbiedad, U. N. T.	0,60 ± 0,01	5 U. N. T.	2130-D
Conductividad, $\mu$ .S/cm	275 ± 21	400 $\mu$ .S/cm	LQ AQY AP 0002
Alcalinidad Total, mg/L	186 ± 2	--	LQ AQY AP 0004
Carbonatos, mg/L	0,0	--	LQ AQY AP 0004
Bicarbonatos, mg/L	227 ± 3	--	LQ AQY AP 0004
Dureza total, mg/L	188 ± 1	500 mg / L	LQ AQY AP 0005
Dureza de calcio, mg/L	179 ± 1	250 mg/L	LQ AQY AP 0006
Dureza de magnesio, mg/L	9,0 ± 0,1	208 mg/L	LQ AQY AP 0006
Calcio, mg/L	71,6 ± 0,5	100 mg / L	LQ AQY AP 0006
Magnesio, mg/L	2,16 ± 0,02	50 mg / L	LQ AQY AP 0006
Dureza carbonatada, mg/L	186 ± 2	--	LQ AQY AP 0005
Dureza no carbonatada, mg/L	2	--	LQ AQY AP 0005
Cloruros, mg/L	3,6 ± 0,1	250 mg / L	LQ AQY AP 0003
Hierro total, mg/L	0,022 ± 0,001	0,3 mg / L	LQ AQY AP AR 008
Sulfatos mg/L	2,1 ± 0,1	250 mg / L	LQ AQY AP 0007

Con base en los parámetros fisicoquímicos analizados esta muestra de agua cumple con los valores máximo permisible establecidos por el Reglamento de aguas potables N° 32327-S para consumo humano.

**METODOLOGÍA DE ANALISIS.** Standard Methods for the examination of Water and Waste Water. 21th.Ed,2005

Este informe no podrá ser reproducido en forma parcial o total sin la aprobación escrita de AQYLASA.

Los análisis con las siglas LQ AQY corresponden a métodos de análisis acreditados por el ECA. ( )

Los resultados de los análisis de este informe, solamente se refieren a las muestras aquí escritas.

Atentamente

Lidia Leonor Rodríguez

**Figura A.2.2.** Análisis fisicoquímico de naciente.

**Fuente:** Hidrogeotecnia Ltda.



**SERVICIOS INTEGRADOS DE LABORATORIO, S.A.**  
TEL/FAX: 223-6583 • APDO. 1794-1002 SAN JOSE, COSTA RICA

Reporte: ANALISIS BACTERIOLOGICO DE AGUA Rep.: 11G07K039  
Solicitó: HIDROGEOTECNIA N°: 26-11-2007

IDENTIFICACION, RECOLECCION Y RECEPCION DE MUESTRAS							
IDENTIFICACION			RECOLECCION				
N°	Tipo	Punto de toma	Envase	Fecha	Hora	Lugar	Por
2	Agua	Aconducto Esterilios, N°3 Pozo #2.	SILAB	14-11-2007	11:00 am	Ester.	Hidro
RECEPCION				14-11-2007	2:31 pm	SILAB	RIS

RESULTADOS					
Muestra	RECuento				PRESENCIA
N°	Total aerobio UMFU/mL.	Coliformes totales NMP /100 mL.	Coliformes tercales NMP /100 mL.	E. coli. NMP/ 100 mL.	Cloro mg/L.
1	$1.0 \times 10^1$	NEGATIVO	NEGATIVO	CIERO	NO DETECT.

UMFU: Unidades formadoras de colonias.  
NMP: Número más probable.

**OBSERVACIONES:**

Los análisis anteriores fueron efectuados siguiendo las normas y especificaciones de métodos "Standard" para el análisis BACTERIOLOGICO de agua (A.C.A.C. 1984).

- Medio cultivo: Agar "Standard", tubo de fermentación (DMF).
- Vial: Lactosa.
- Leche Bilio Brillante.
- Brucia de indol (Reactivo de Kovacs)

**CONCLUSION:** Conforme a los resultados obtenidos, la muestra se considera bacteriológicamente:

**APTA PARA CONSUMO HUMANO**

Dr. Rodrigo Alvarez R. (M.Q.C.).  
LABORATORIO ALVAREZ, Reg. N° 163.

Cc/Arch.

**Figura A.2.3. Análisis bacteriológico de Pozo#2.**

**Fuente:** Hidrogeotecnia Ltda.



**INFORME DE ANALISIS QUIMICO POTABILIDAD DE AGUAS**

Informe N° 20112007.2

Tipo de muestra: Agua de Pozo N° 2, Acueducto de Esterillos

Interesado: Hidrogeotecnia SA.

Encargado de muestreo: Laboratorio Silab

Fecha de muestreo : 14-11-2007

Fecha de recibo de muestra: 16-11-2007

Fecha de reporte de análisis: 20-11-2007

Parámetro analizado	Valor reportado	Valor máximo permisible por Reglamento de aguas potables N°32327-S	Método de análisis
pH	7,7 ± 0,1	6,5 – 8,5	LQ AQY AP 0001
Color. U Pt/Co	4,7 ± 0,1	15 U Pt/Co	2120-B
Turbiedad, U. N. T.	3,22 ± 0,01	5 U.N. T	2130-D
Conductividad, $\mu$ .S/cm	410 ± 31	400 $\mu$ .S/cm	LQ AQY AP 0002
Alcalinidad Total, mg/L	212 ± 3	--	LQ AQY AP 0004
Carbonatos, mg/L	0,0	--	LQ AQY AP 0004
Bicarbonatos, mg/L	258 ± 3	--	LQ AQY AP 0004
Dureza total, mg/L	195 ± 1	500 mg / L	LQ AQY AP 0005
Dureza de calcio, mg/L	135,0 ± 0,8	250 mg/L	LQ AQY AP 0006
Dureza de magnesio, mg/L	60,0 ± 0,7	208 mg/L	LQ AQY AP 0006
Calcio, mg/L	54,0 ± 0,4	100 mg / L.	LQ AQY AP 0006
Magnesio, mg/L	14,4 ± 0,1	50 mg / L.	LQ AQY AP 0006
Dureza carbonatada, mg/L	195 ± 1	--	LQ AQY AP 0005
Dureza no carbonatada, mg/L	0,0	--	LQ AQY AP 0005
Cloruros, mg/L	48 ± 2	250 mg / L	LQ AQY AP 0003
Hierro total, mg/L	0,050 ± 0,002	0,3 mg / L.	LQ AQY AP AR 008
Sulfatos mg/L	3,1 ± 0,2	250 mg / L	LQ AQY AP 0007

Con base en los parámetros fisicoquímicos analizados en esta muestra de agua el valor de Conductividad está por encima del valor máximo permisible establecido por el Reglamento de aguas potables N° 32327-S para consumo humano.

**METODOLOGÍA DE ANALISIS.** Standard Methods for the examination of Water and Waste Water. 21th.Ed.2005

Este informe no podrá ser reproducido en forma parcial o total sin la aprobación escrita de AQYLASA.

Los análisis con las siglas LQ AQY corresponden a métodos de análisis acreditados por el ECA. ( )

Los resultados de los análisis de este informe, solamente se refieren a las muestras aquí escritas.

Atentamente

Licda. Leonor Rodríguez

**Figura A.2.4.** Análisis fisicoquímico de Pozo#2.

**Fuente:** Hidrogeotecnia Ltda.



SERVICIOS INTEGRADOS DE LABORATORIO, S.A  
 TEL/FAX: 2223-8593 - APDO. 1794-1092 SAN JOSÉ, COSTA RICA

Reporte: ANALISIS BACTERIOLOGICO DE AGUA Rep.: HGD09027  
 Solicito: HIDROGROTECNIA MFC: 13-03-2009

IDENTIFICACION, RECOLECCION Y RECEPCION DE MUESTRAS							
IDENTIFICACION				RECOLECCION			
N°	tipo	Punto de toma	Envase	Fecha	Hora	Lugar	Por
1	Agua	de pozo N°3 Esterilios Fumarenas.	SILAB	13-03-2009	8:00 pm	Esteril.	SILAB
RECEPCION					14-03-2009	8:00 am	SILAB

RESULTADOS					
Muestra:	RECUENTO				PRESENCIA
N°	Total aerobio (TCA) mL.	Coliformes totales (TNT) 100 mL.	Coliformes fecales (TNT) 100 mL.	E. coli (TNT) 100 mL.	Oloro mg/L.
1	5.6 x 10 <sup>4</sup>	5 NT	3 NT	5 NT	NO DETECT.

\*NT: Unidades formadoras de colonias.  
 NMI= Numero mas probable.

**OBSERVACIONES:**

1) Los analisis anteriores fueron efectuados siguiendo las normas y especificaciones de los metodos " Standard " para el analisis BACTERIOLOGICO de agua (A.O.A.C. 2006).

- 2) Medios usados: - Recuento en Agar "Standard", tubos de fermentacion (TNT).  
 - caldo lactosado.  
 - Verde Bili Brillante.  
 - Prueba de Inocl. (Reactivo de Kovacs)

**CONCLUSION:** Conforme a los resultados obtenidos, la muestra se considera bacteriologicamente:

**APTA PARA CONSUMO HUMANO**

Dr. Rodrigo Alvarez R. ( M.Q.C. ).  
 LABORATORIO ALVAREZ. Reg. N° 168.

Dr. Area.

Figura A.2.5. Analisis bacteriologico de Pozo#3.

Fuente: Hidrogeotecnia Ltda.

**REPORTE DE ANALISIS QUIMICO POTABILIDAD DE AGUAS**  
Informe N° 23 032009

Tipo de muestra: Agua de Pozo 3 Esterillos Hidrogeotecnia S.A  
 Interesado: Laboratorio SILAB.  
 Encargado de muestreo: Interesado  
 Fecha de muestreo: 19-03-2009.  
 Fecha de reporte de análisis: 23-03-2009.

Parámetro analizado	Valor reportado	Valor máximo permisible por Reglamento de aguas potables N°32327-S	Método de análisis
pH	6,8 ± 0,1	6,5 – 8,5	LQ AQY AP 0001
Color. U Pt/Co	2,2 ± 0,1	15 U Pt/Co	2120-B
Turbiedad. U. N. T.	1,70 ± 0,01	5 U.N. T.	2130-D
Conductividad, µ S/cm	471 ± 11	400µ.S/cm	LQ AQY AP 0002
Alcalinidad Total, mg/L	222 ± 10	--	LQ AQY AP 0004
Carbonatos, mg/L	0,0	--	LQ AQY AP 0004
Bicarbonatos, mg/L.	271 ± 12	--	LQ AQY AP 0004
Dureza total, mg/L.	242 ± 6	500 mg / L.	LQ AQY AP 0005
Dureza de calcio, mg/L.	155 ± 5	250 mg/L.	LQ AQY AP 0006
Dureza de magnesio, mg/L.	87 ± 6	208 mg/L.	LQ AQY AP 0006
Calcio, mg/L.	62 ± 2	100 mg / L	LQ AQY AP 0006
Magnesio, mg/L	21 ± 3	50 mg / L.	LQ AQY AP 0006
Dureza carbonatada, mg/L	222 ± 10	--	LQ AQY AP 0005
Dureza no carbonatada, mg/L.	20±2	--	LQ AQY AP 0005
Cloruros, mg/L	38 ± 5	250 mg / L	LQ AQY AP 0003
Hierro total, mg/L	0,61 ± 0,03	0,3 mg / L	LQ AQY AP AR 008
Sulfatos mg/L	11,3 ± 0,7	250 mg / L	LQ AQY AP 0007

Con base en los parámetros fisicoquímicos analizados los parámetros de Conductividad y hierro de esta muestra de agua no cumple con los valores máximos permisibles, establecidos en el Reglamento de Aguas potables N°32327-S., para consumo humano

**METODOLOGÍA DE ANALISIS.** Standard Methods for the examination of Water and Waste Water. 21th.Ed,2005

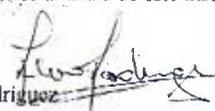
Este informe no podrá ser reproducido en forma parcial o total sin la aprobación escrita de AQYL.A.S.A

Los análisis con las siglas LQ AQY corresponden a métodos de análisis acreditados por el ECA. ([www.eca.or.cr](http://www.eca.or.cr))

Los resultados de los análisis de este informe, solamente se refieren a las muestras aquí escritas.

Atentamente

Lic. Leonor Rodríguez  
Química



**Figura A.2.6.** Análisis fisicoquímico de Pozo#3.

Fuente: Hidrogeotecnia Ltda.

## ANEXO 3. PRUEBAS DE BOMBEO

## RESUMEN EJECUTIVO

### DATOS GENERALES

LOCALIDAD	:	ESTERILLOS
POZO N°	:	# 01
FECHA DE PRUEBA	:	7-dic-2007
REALIZADA POR	:	V&A
FECHA DE ANALISIS	:	12-dic-2007
ANALIZADO POR	:	ING. FEDERICO ARELLANO HARTIG

### ARMADO GENERAL DE POZO

DIAMETRO DE PERFORACION [m]	=	0,25
DIAMETRO DE ADEME [m]	=	0,2
MATERIAL DE ADEME	=	ACERO
PROFUNDIDAD INICIO DE REJILLAS [m]	=	12
PROFUNDIDAD FINAL DE REJILLAS [m]	=	27,00
PROFUNDIDAD DE POZO [m]	=	30,00
MATERIAL DE REJILLA	=	ACERO

### PRUEBA POR ETAPAS

NUMERO DE ETAPAS	=	4,00
CAUDAL ETAPA 1 [lps]	=	7,00
CAUDAL ETAPA 2 [lps]	=	9,00
CAUDAL ETAPA 3 [lps]	=	13,50
CAUDAL ETAPA 4 [lps]	=	18,40
COEFICIENTE DE TURBULENCIA "C" [m/lps <sup>2</sup> ]	=	0,00
COEFICIENTE DE ACUIFERO "B" [m/lps-día]	=	0,11
EFICIENCIA DE POZO [%]	=	100,00

### PRUEBA DE BOMBEO

NIVEL ESTATICO - POZO BOMBEO [m]	=	2,85
NIVEL ESTATICO - POZO OBSERVACION [m]	=	
CAUDAL DE BOMBEO [lps]	=	18,40
DURACION DE BOMBEO CONTINUO [min]	=	
NIVEL DINAMICO POZO DE BOMBEO [m]	=	4,80
NIVEL DINAMICO POZO OBSERVACION [m]	=	0,00
TRASMISIVIDAD [m <sup>2</sup> /día]	=	7087,30
COEFICIENTE DE ALMACENAMIENTO	=	
RECUPERACION POZO BOMBEO (thr) [%]	=	98

### CAUDAL DE EXPLOTACION

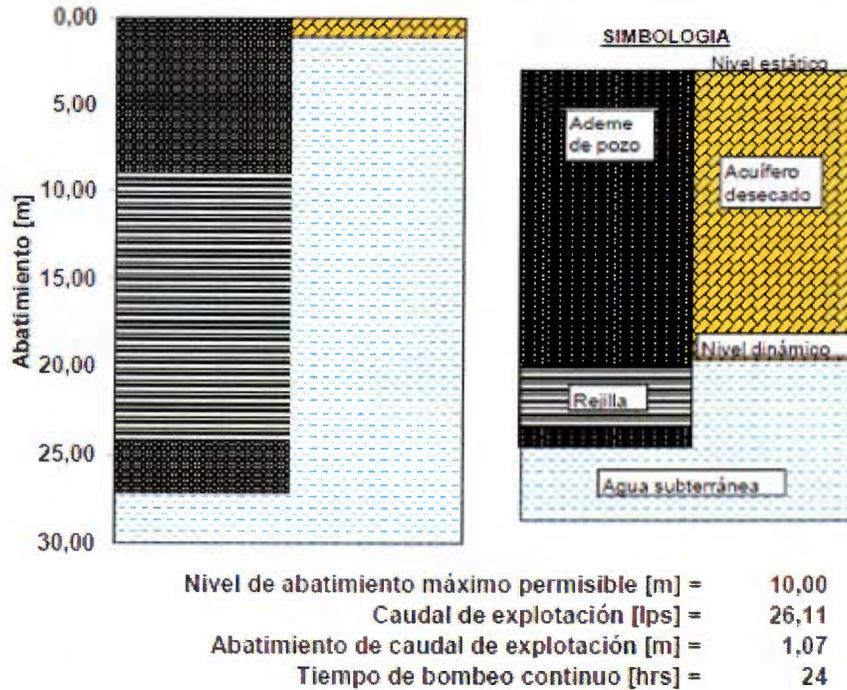
CAUDAL DE EXPLOTACION [lps]	=	26,11
ABATIMIENTO [m]	=	1,07
TIEMPO DE BOMBEO CONTINUO [hrs]	=	24,00
RADIO DE INFLUENCIA (m)	=	

**Figura A.3.1.** Resultado de prueba de bombeo de Pozo#1.

**Fuente:** Hidrogeotecnia Ltda.

## CAUDAL DE EXPLOTACION

### ESTERILLOS



*Fig 4 - Indica un perfil del armado del pozo de bombeo, con su ademe y rejilla. Además se indica el caudal y abatimiento de explotación; así como, el tiempo de bombeo continuo recomendado.*

**Figura A.3.2.** Resultado de prueba de bombeo de Pozo#1.

**Fuente:** Hidrogeotecnia Ltda.

## **RESUMEN EJECUTIVO**

### **DATOS GENERALES**

LOCALIDAD	:	ESTERILLOS
POZO N°	:	# 02
FECHA DE PRUEBA	:	7-dic-2007
REALIZADA POR	:	V&A
FECHA DE ANALISIS	:	12-dic-2007
ANALIZADO POR	:	ING. FEDERICO ARELLANO HARTIG

### **ARMADO GENERAL DE POZO**

DIAMETRO DE PERFORACION [m]	=	0,25
DIAMETRO DE ADEME [m]	=	0,2
MATERIAL DE ADEME	=	ACERO
PROFUNDIDAD INICIO DE REJILLAS [m]	=	0
PROFUNDIDAD FINAL DE REJILLAS [m]	=	24,00
PROFUNDIDAD DE POZO [m]	=	27,00
MATERIAL DE REJILLA	=	ACERO

### **PRUEBA POR ETAPAS**

NUMERO DE ETAPAS	=	4,00
CAUDAL ETAPA 1 [lps]	=	7,00
CAUDAL ETAPA 2 [lps]	=	10,00
CAUDAL ETAPA 3 [lps]	=	13,00
CAUDAL ETAPA 4 [lps]	=	16,00
COEFICIENTE DE TURBULENCIA "C" [m/lps <sup>2</sup> ]	=	0,00
COEFICIENTE DE ACUIFERO "B" [m/lps-día]	=	0,68
EFICIENCIA DE POZO [%]	=	100,00

### **PRUEBA DE BOMBEO**

NIVEL ESTÁTICO - POZO BOMBEO [m]	=	4,00
NIVEL ESTÁTICO - POZO OBSERVACION [m]	=	
CAUDAL DE BOMBEO [lps]	=	16,00
DURACION DE BOMBEO CONTINUO [min]	=	
NIVEL DINAMICO POZO DE BOMBEO [m]	=	14,41
NIVEL DINAMICO POZO OBSERVACION [m]	=	0,00
TRASMISIVIDAD [m <sup>2</sup> /día]	=	8840,00
COEFICIENTE DE ALMACENAMIENTO	=	0,02
RECUPERACION POZO BOMBEO [1hr] [%]	=	104

### **CAUDAL DE EXPLOTACION**

CAUDAL DE EXPLOTACION [lps]	=	15,92
ABATIMIENTO [m]	=	12,00
TIEMPO DE BOMBEO CONTINUO [hrs]	=	24,00
RADIO DE INFLUENCIA (m)	=	997,2462083

**Figura A.3.3.** Resultado de prueba de bombeo de Pozo#2.

**Fuente:** Hidrogeotecnia Ltda.

## CAUDAL DE EXPLOTACION

### ESTERILLOS

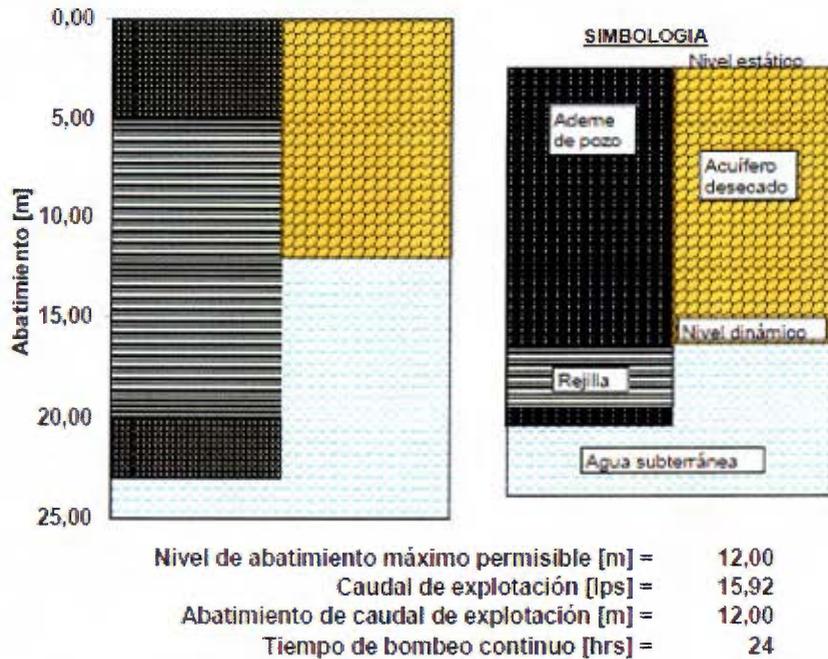


Fig 4 - Indica un perfil del armado del pozo de bombeo, con su ademe y rejilla. Además se indica el caudal y abatimiento de explotación; así como, el tiempo de bombeo continuo recomendado.

**Figura A.3.4.** Resultado de prueba de bombeo de Pozo#2.

**Fuente:** Hidrogeotecnia Ltda.

## RESUMEN EJECUTIVO

### DATOS GENERALES

LOCALIDAD	:	ESTERILLOS DE PARRITA
POZO N°	:	ESTERILLOS DE PARRITA
FECHA DE PRUEBA	:	12-mar-2009
REALIZADA POR	:	Antonio Vargas
FECHA DE ANALISIS	:	17 de marzo del 2009
ANALIZADO POR	:	Ing. Federico Arellano Hartig

### ARMADO GENERAL DE POZO

DIAMETRO DE PERFORACION [m]	=	0,25
DIAMETRO DE ADEME [m]	=	0,2
MATERIAL DE ADEME	=	ACERO
PROFUNDIDAD INICIO DE REJILLAS [m]	=	9
PROFUNDIDAD FINAL DE REJILLAS [m]	=	24,00
PROFUNDIDAD DE POZO [m]	=	27,00
MATERIAL DE REJILLA	=	ACERO

### PRUEBA POR ETAPAS

NUMERO DE ETAPAS	=	4,00
CAUDAL ETAPA 1 [lps]	=	3,00
CAUDAL ETAPA 2 [lps]	=	6,00
CAUDAL ETAPA 3 [lps]	=	12,00
CAUDAL ETAPA 4 [lps]	=	18,00
COEFICIENTE DE TURBULENCIA "C" [m <sup>3</sup> /lps <sup>2</sup> ]	=	0,00
COEFICIENTE DE ACUIFERO "B" [m <sup>3</sup> /lps-día]	=	0,14
EFICIENCIA DE POZO [%]	=	69,03

### PRUEBA DE BOMBEO

NIVEL ESTATICO - POZO BOMBEO [m]	=	3,85
NIVEL ESTATICO - POZO OBSERVACION [m]	=	
CAUDAL DE BOMBEO [lps]	=	18,00
DURACION DE BOMBEO CONTINUO [min]	=	1440
NIVEL DINAMICO POZO DE BOMBEO [m]	=	7,56
NIVEL DINAMICO POZO OBSERVACION [m]	=	0,00
TRASMISIVIDAD [m <sup>2</sup> /día]	=	1289,00
COEFICIENTE DE ALMACENAMIENTO	=	
RECUPERACION POZO BOMBEO (1hr) [%]	=	99

### CAUDAL DE EXPLOTACION

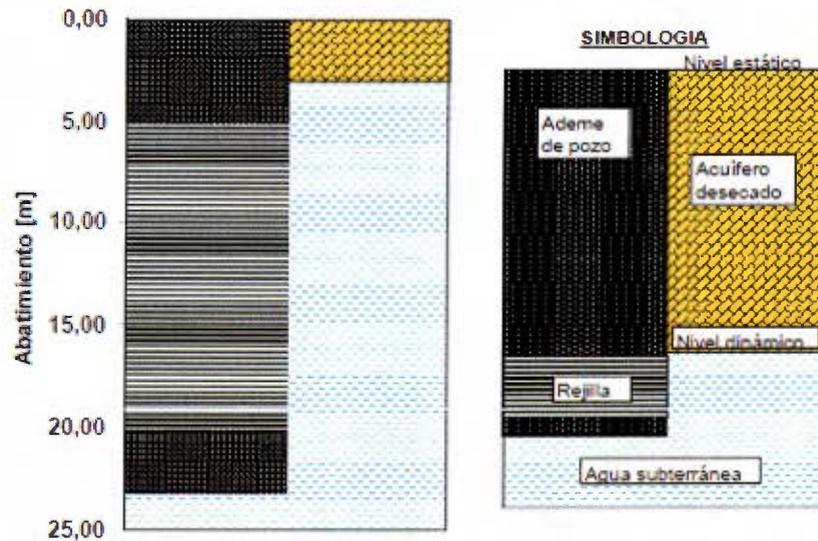
CAUDAL DE EXPLOTACION [lps]	=	26,11
ABATIMIENTO [m]	=	3,07
TIEMPO DE BOMBEO CONTINUO [hrs]	=	18,00
RADIO DE INFLUENCIA	=	

**Figura A.3.5.** Resultado de prueba de bombeo de Pozo#3.

**Fuente:** Hidrogeotecnia Ltda.

## CAUDAL DE EXPLOTACION

### ESTERILLOS DE PARRITA



Nivel de abatimiento máximo permisible [m] =	12,00
Caudal de explotación [lps] =	26,11
Abatimiento de caudal de explotación [m] =	3,07
Tiempo de bombeo continuo [hrs] =	18

*Fig 5 - Indica un perfil del armado del pozo de bombeo, con su ademe y rejilla. Además se indica el caudal y abatimiento de explotación; así como, el tiempo de bombeo continuo recomendado.*

**Figura A.3.6.** Resultado de prueba de bombeo de Pozo#3.

**Fuente:** Hidrogeotecnia Ltda.