

Universidad de Costa Rica

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Civil

Evaluación de la disponibilidad del recurso hídrico en la zona de Puriscal

Tesis de Graduación

Que para obtener el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil

Presenta:

Alejandro López Bolaños

Director de Proyecto de Graduación:

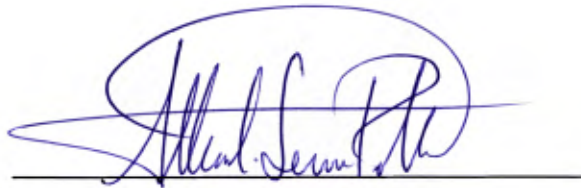
Rafael Oreamuno Vega

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio

HOJA DE APROBACIÓN

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Rafael Oreamuno Vega', written over a horizontal line.

Ing. Rafael Oreamuno Vega

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Alberto Serrano Pacheco', written over a horizontal line.

Ing. Alberto Serrano Pacheco, Ph. D.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Paola Vidal Rivera', written over a horizontal line.

Ing. Paola Vidal Rivera

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Alejandro López Bolaños', written over a horizontal line.

Alejandro López Bolaños

DERECHOS DE AUTOR

Fecha: 2020, febrero, 13

El suscrito, Alejandro López Bolaños, cédula 1-1323-0953, estudiante de la carrera Licenciatura en Ingeniería Civil de la Universidad de Costa Rica, con número de carné **A63217**, manifiesta que es autor del Proyecto Final de Graduación **Evaluación de la disponibilidad del recurso hídrico en la zona de Puriscal**, bajo la dirección del **Ing. Rafael Oreamuno Vega**, quien en consecuencia tiene derechos compartidos sobre los resultados de esta investigación.

Asimismo, hago traspaso de los derechos 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 de 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 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

Primero que todo gracias a Dios que me permitió llegar a esta etapa de mi vida a culminar una de mis metas más preciadas.

Seguidamente a mis padres y mi familia por confiar en mi persona en los momentos más difíciles de esta etapa que está por culminar, a mis amigos cercanos por apoyarme en todo momento y brindarme todos los consejos para no desfallecer aún, cuando no tenía fuerzas para continuar.

Por último a mis profesores por compartir su conocimiento conmigo para poder llegar a esta etapa y poner en práctica todo lo enseñado en servicio de la sociedad.

AGRADECIMIENTOS

A todas las personas que confiaron en mi para poder llegar a esta etapa, al supremo creador que me dio vida para poder llegar a culminar de la mejor manera en esta etapa.

TABLA DE CONTENIDO

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 El problema.....	1
1.2 Objetivos	2
1.3 Delimitación y alcance.....	2
1.4 Limitaciones	2
CAPITULO 2. METODOLOGÍA Y MARCO TEÓRICO.....	4
2.1 Metodología	4
2.2 Marco teórico	10
CAPITULO 3. CARACTERÍSTICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	16
3.1 Cuenca en estudio	16
3.2 Parámetros físicos de la cuenca.....	17
3.3 Zonas de vida.....	18
3.4 Orden de suelos	20
3.5 Capacidad del uso de suelo.....	21
3.6 Uso del suelo.....	22
CAPITULO 4. BALANCE HÍDRICO.....	24
4.1 Precipitación sobre la cuenca	24
4.2 Temperatura	29
4.3 Evapotranspiración potencial.....	30
4.4 Capacidad de agua almacenada	33
4.5 Agua retenida en el suelo	35

4.6	Coeficiente de retención	35
4.7	Balance hídrico de la cuenca en estudio	36
4.8	Análisis de períodos de recesión	39
CAPITULO 5. PROYECCIÓN DE PRODUCCIÓN Y DEMANDA DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO.....		42
5.1	Descripción del sistema de distribución de Puriscal	42
5.2	Vulnerabilidad del sistema.	43
5.3	Demanda de agua potable.....	44
5.4	Estimación de los caudales de demanda.....	48
5.6	Estimación de la oferta de caudal para el subsistema Santiago	49
5.7	Comparación de producción contra demanda.....	53
CAPITULO 6. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....		60
6.1	Cuenca en estudio	60
6.2	Balance hídrico	64
6.3	Proyecciones de población y demanda de agua potable	65
6.4	Análisis de períodos de recesión de la Naciente Cañales y Río Candelaria.....	66
CAPITULO 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		68
7.1	Conclusiones	68
7.2	Recomendaciones	70
CAPITULO 8. BIBLIOGRAFÍA.....		72
CAPITULO 9. ANEXOS.....		74
9.1	Balance Hídrico.....	74
9.2	Cálculo de evapotranspiración por el método de Hargreaves para el año 2017	74
9.3	Análisis de caudales de estación El Rey	75
9.4	Proyección de población y demanda de caudal para de las nacientes que abastecen el acueducto de Puriscal.....	82

TABLA DE FIGURAS

Figura 1. Metodología obtención curva de recesión.....	6
Figura 2. Metodología proyección de demanda de agua potable	7
Figura 3. Metodología balance hídrico	9
Figura 4. Mapa cuenca de estudio	16
Figura 5. Mapa modelo digital de elevación.	17
Figura 6. Mapa zonas de vida.....	18
Figura 7. Mapa tipos de suelo.	20
Figura 8. Mapa capacidad y uso del suelo.....	21
Figura 9. Mapa uso del suelo.....	23
Figura 10. Mapa estaciones AyA según zona de vida.	25
Figura 11. Mapa estación de precipitación 88045 San Ignacio 2.....	26
Figura 12. Precipitación promedio anual vs promedio estación 88045 San Ignacio 2.	28
Figura 13. Mapa estación de temperatura 88045 San Ignacio 2.	29
Figura 14. Caudales sintéticos naciente Cañales.....	38
Figura 15. Comparación de caudales sintéticos contra caudales aforados en la naciente Cañales para el año 2017.	39
Figura 16. Tiempo en días vs constante de recesión.....	40
Figura 17. Mapa sistema de abastecimiento de agua potable Puriscal.....	43
Figura 18. Crecimiento poblacional en la ciudad de Santiago de Puriscal desde el año 2012 al año 2017.....	44
Figura 19. Proyección de población hasta el año 2040 para el subsistema Santiago por medio del método aritmético.	47
Figura 20. Recesión de caudal fuente Cañales para la época seca del año 2017.	51
Figura 21. Recesión de caudal fuente Cañales para la época seca del año 2018.	51
Figura 22. Recesión de caudal fuente Cañalitos para la época seca del año 2018.	52
Figura 23. Recesión de caudal toma de Río Tabarcia y Negro para la época seca del año 2018.	52
Figura 24. Gráfico producción vs demanda en el año 2020 para el subsistema Santiago. Dotación 312 l/p/día	53

Figura 25. Gráfico producción vs demanda en el año 2025 para el subsistema Santiago. Dotación 312 l/p/día.	53
Figura 26. Gráfico producción vs demanda en el año 2030 para el subsistema Santiago. Dotación 312 l/p/día.	54
Figura 27. Gráfico producción vs demanda en el año 2035 para el subsistema Santiago. Dotación 312 l/p/día.	54
Figura 28. Gráfico producción vs demanda en el año 2040 para el subsistema Santiago. Dotación 312 l/p/día.	55
Figura 29. Gráfico producción vs demanda en el año 2020 para el subsistema Santiago. Dotación 200 l/p/día.	56
Figura 30. Gráfico producción vs demanda en el año 2025 para el subsistema Santiago. Dotación 200 l/p/día.	56
Figura 31. Gráfico producción vs demanda en el año 2030 para el subsistema Santiago. Dotación 200 l/p/día.	57
Figura 32. Gráfico producción vs demanda en el año 2035 para el subsistema Santiago. Dotación 200 l/p/día.	57
Figura 33. Gráfico producción vs demanda en el año 2040 para el subsistema Santiago. Dotación 200.....	58
Figura 34. Imagen satelital nacimiento Cañales	60
Figura 35. Imagen satelital nacimiento Cañales año 2018.....	61
Figura 36. Imagen satelital nacimiento Cañales año 2017.....	61
Figura 37. Imagen satelital nacimiento Cañales año 2015.....	62
Figura 38. Imagen satelital nacimiento Cañales año 2012.....	62
Figura 39. Imagen satelital nacimiento Cañales año 2003.....	63
Figura 40. Balance hídrico nacimiento Cañales.....	64
Figura 41. Gráfico producción vs demanda en el año 2020 para el subsistema Santiago. Dotación 312 l/p/día	82
Figura 42. Gráfico producción vs demanda en el año 2025 para el subsistema Santiago. Dotación 312 l/p/día.	82
Figura 43. Gráfico producción vs demanda en el año 2030 para el subsistema Santiago. Dotación 312 l/p/día.	83

Figura 44. Gráfico producción vs demanda en el año 2035 para el subsistema Santiago. Dotación 312 l/p/día.	83
Figura 45. Gráfico producción vs demanda en el año 2040 para el subsistema Santiago. Dotación 312 l/p/día.	84
Figura 46. Gráfico producción vs demanda en el año 2020 para el subsistema Mercedes. Dotación 578 l/p/día.	84
Figura 47. Gráfico producción vs demanda en el año 2025 para el subsistema Mercedes. Dotación 578 l/p/día.	85
Figura 48. Gráfico producción vs demanda en el año 2030 para el subsistema Mercedes. Dotación 578 l/p/día.	85
Figura 49. Gráfico producción vs demanda en el año 2035 para el subsistema Mercedes. Dotación 578 l/p/día.	86
Figura 50. Gráfico producción vs demanda en el año 2040 para el subsistema Mercedes. Dotación 578 l/p/día.	86
Figura 51. Gráfico producción vs demanda en el año 2020 para el subsistema Alto La Legua. Dotación 298 l/p/día.	87
Figura 52. Gráfico producción vs demanda en el año 2025 para el subsistema Alto La Legua. Dotación 298 l/p/día.	87
Figura 53. Gráfico producción vs demanda en el año 2030 para el subsistema Alto La Legua. Dotación 298 l/p/día.	88
Figura 54. Gráfico producción vs demanda en el año 2035 para el subsistema Alto La Legua. Dotación 298 l/p/día.	88
Figura 55. Gráfico producción vs demanda en el año 2040 para el subsistema Alto La Legua. Dotación 298 l/p/día.	89
Figura 56. Gráfico producción vs demanda en el año 2020 para el subsistema Fila de Mora. Dotación 229 l/p/día.	89
Figura 57. Gráfico producción vs demanda en el año 2025 para el subsistema Fila de Mora. Dotación 229 l/p/día.	90
Figura 58. Gráfico producción vs demanda en el año 2030 para el subsistema Fila de Mora. Dotación 229 l/p/día.	90
Figura 59. Gráfico producción vs demanda en el año 2035 para el subsistema Fila de Mora. Dotación 229 l/p/día.	91

Figura 60. Gráfico producción vs demanda en el año 2040 para el subsistema Fila de Mora. Dotación 229 l/p/día.	91
Figura 61. Gráfico producción vs demanda en el año 2020 para el subsistema Barbacoas. Dotación 344 l/p/día.	92
Figura 62. Gráfico producción vs demanda en el año 2025 para el subsistema Barbacoas. Dotación 344 l/p/día.	92
Figura 63. Gráfico producción vs demanda en el año 2030 para el subsistema Barbacoas. Dotación 344 l/p/día.	93
Figura 64. Gráfico producción vs demanda en el año 2035 para el subsistema Barbacoas. Dotación 344 l/p/día.	93
Figura 65. Gráfico producción vs demanda en el año 2040 para el subsistema Barbacoas. Dotación 344 l/p/día.	94
Figura 66. Gráfico producción vs demanda en el año 2020 para el subsistema San Antonio. Dotación 231 l/p/día.	94
Figura 67. Gráfico producción vs demanda en el año 2025 para el subsistema San Antonio. Dotación 231 l/p/día.	95
Figura 68. Gráfico producción vs demanda en el año 2030 para el subsistema San Antonio. Dotación 231 l/p/día.	95
Figura 69. Gráfico producción vs demanda en el año 2035 para el subsistema San Antonio. Dotación 231 l/p/día.	96
Figura 70. Gráfico producción vs demanda en el año 2040 para el subsistema San Antonio. Dotación 231 l/p/día.	96
Figura 71. Gráfico producción vs demanda en el año 2020 para el subsistema Piedades. Dotación 361 l/p/día.	97
Figura 72. Gráfico producción vs demanda en el año 2025 para el subsistema Piedades. Dotación 361 l/p/día.	97
Figura 73. Gráfico producción vs demanda en el año 2030 para el subsistema Piedades. Dotación 344 l/p/día.	98
Figura 74. Gráfico producción vs demanda en el año 2035 para el subsistema Piedades. Dotación 361 l/p/día.	98
Figura 75. Gráfico producción vs demanda en el año 2040 para el subsistema Piedades. Dotación 361 l/p/día.	99

Figura 76. Gráfico producción vs demanda en el año 2020 para el subsistema La Gloria. Dotación 227 l/p/día.	99
Figura 77. Gráfico producción vs demanda en el año 2025 para el subsistema La Gloria. Dotación 227 l/p/día.	100
Figura 78. Gráfico producción vs demanda en el año 2030 para el subsistema La Gloria. Dotación 227 l/p/día.	100
Figura 79. Gráfico producción vs demanda en el año 2035 para el subsistema La Gloria. Dotación 227 l/p/día.	101
Figura 80. Gráfico producción vs demanda en el año 2040 para el subsistema La Gloria. Dotación 227 l/p/día.	101
Figura 81. Gráfico producción vs demanda en el año 2020 para el subsistema San Gabriel. Dotación 242 l/p/día.	102
Figura 82. Gráfico producción vs demanda en el año 2025 para el subsistema San Gabriel. Dotación 242 l/p/día.	102
Figura 83. Gráfico producción vs demanda en el año 2030 para el subsistema San Gabriel. Dotación 242 l/p/día.	103
Figura 84. Gráfico producción vs demanda en el año 2020 para el subsistema San Gabriel. Dotación 242 l/p/día.	103
Figura 85. Gráfico producción vs demanda en el año 2040 para el subsistema Barbacoas. Dotación 242 l/p/día.	104
Figura 86. Gráfico producción vs demanda en el año 2020 para el subsistema Santiago. Dotación 200 l/p/día.	105
Figura 87. Gráfico producción vs demanda en el año 2025 para el subsistema Santiago. Dotación 200 l/p/día.	105
Figura 88. Gráfico producción vs demanda en el año 2030 para el subsistema Santiago. Dotación 200 l/p/día.	106
Figura 89. Gráfico producción vs demanda en el año 2035 para el subsistema Santiago. Dotación 200 l/p/día.	106
Figura 90. Gráfico producción vs demanda en el año 2040 para el subsistema Santiago. Dotación 200.....	107
Figura 91. Gráfico producción vs demanda en el año 2020 para el subsistema Mercedes. Dotación 200 l/p/día.	108

Figura 92. Gráfico producción vs demanda en el año 2025 para el subsistema Mercedes. Dotación 200 l/p/día.	108
Figura 93. Gráfico producción vs demanda en el año 2030 para el subsistema Mercedes. Dotación 200 l/p/día.	109
Figura 94. Gráfico producción vs demanda en el año 2035 para el subsistema Mercedes. Dotación 200 l/p/día.	109
Figura 95. Gráfico producción vs demanda en el año 2040 para el subsistema Mercedes. Dotación 200 l/p/día.	110
Figura 96. Gráfico producción vs demanda en el año 2020 para el subsistema Alto La Legua. Dotación 200 l/p/día.	110
Figura 97. Gráfico producción vs demanda en el año 2025 para el subsistema Alto La Legua. Dotación 200 l/p/día.	111
Figura 98. Gráfico producción vs demanda en el año 2030 para el subsistema Alto La Legua. Dotación 200 l/p/día.	111
Figura 99. Gráfico producción vs demanda en el año 2035 para el subsistema Alto La Legua. Dotación 200 l/p/día.	112
Figura 100. Gráfico producción vs demanda en el año 2040 para el subsistema Alto La Legua. Dotación 200 l/p/día.	112
Figura 101. Gráfico producción vs demanda en el año 2020 para el subsistema Fila de Mora. Dotación 242 l/p/día.	113
Figura 102. Gráfico producción vs demanda en el año 2025 para el subsistema Fila de Mora. Dotación 200 l/p/día.	113
Figura 103. Gráfico producción vs demanda en el año 2030 para el subsistema Fila de Mora. Dotación 200 l/p/día.	114
Figura 104. Gráfico producción vs demanda en el año 2035 para el subsistema Fila de Mora. Dotación 200 l/p/día.	114
Figura 105. Gráfico producción vs demanda en el año 2040 para el subsistema Fila de Mora. Dotación 200 l/p/día.	115
Figura 106. Gráfico producción vs demanda en el año 2020 para el subsistema Barbacoas. Dotación 200 l/p/día.	115
Figura 107. Gráfico producción vs demanda en el año 2025 para el subsistema Barbacoas. Dotación 200 l/p/día.	116

Figura 108. Gráfico producción vs demanda en el año 2030 para el subsistema Barbacoas. Dotación 200 l/p/día.	116
Figura 109. Gráfico producción vs demanda en el año 2035 para el subsistema Barbacoas. Dotación 200 l/p/día.	117
Figura 110. Gráfico producción vs demanda en el año 2040 para el subsistema Barbacoas. Dotación 200 l/p/día.	117
Figura 111. Gráfico producción vs demanda en el año 2020 para el subsistema San Antonio. Dotación 200 l/p/día.	118
Figura 112. Gráfico producción vs demanda en el año 2025 para el subsistema San Antonio. Dotación 200 l/p/día.	118
Figura 113. Gráfico producción vs demanda en el año 2030 para el subsistema San Antonio. Dotación 200 l/p/día.	119
Figura 114. Gráfico producción vs demanda en el año 2035 para el subsistema San Antonio. Dotación 200 l/p/día.	119
Figura 115. Gráfico producción vs demanda en el año 2040 para el subsistema. San Antonio Dotación 200 l/p/día.	120
Figura 116. Gráfico producción vs demanda en el año 2020 para el subsistema Piedades. Dotación 200 l/p/día.	120
Figura 117. Gráfico producción vs demanda en el año 2025 para el subsistema Piedades. Dotación 200 l/p/día.	121
Figura 118. Gráfico producción vs demanda en el año 2030 para el subsistema Piedades. Dotación 200 l/p/día.	121
Figura 119. Gráfico producción vs demanda en el año 2035 para el subsistema Piedades. Dotación 200 l/p/día.	122
Figura 120. Gráfico producción vs demanda en el año 2040 para el subsistema Piedades. Dotación 200 l/p/día.	122
Figura 121. Gráfico producción vs demanda en el año 2020 para el subsistema La Gloria. Dotación 200 l/p/día.	123
Figura 122. Gráfico producción vs demanda en el año 2025 para el subsistema La Gloria. Dotación 200 l/p/día.	123
Figura 123. Gráfico producción vs demanda en el año 2030 para el subsistema La Gloria. Dotación 200 l/p/día.	124

Figura 124. Gráfico producción vs demanda en el año 2035 para el subsistema La Gloria. Dotación 200 l/p/día.	124
Figura 125. Gráfico producción vs demanda en el año 2040 para el subsistema La Gloria. Dotación 200 l/p/día.	125
Figura 126. Gráfico producción vs demanda en el año 2020 para el subsistema San Gabriel. Dotación 200 l/p/día.	125
Figura 127. Gráfico producción vs demanda en el año 2025 para el subsistema San Gabriel. Dotación 200 l/p/día.	126
Figura 128. Gráfico producción vs demanda en el año 2030 para el subsistema San Gabriel. Dotación 200 l/p/día.	126
Figura 129. Gráfico producción vs demanda en el año 2035 para el subsistema San Gabriel. Dotación 200 l/p/día.	127
Figura 130. Gráfico producción vs demanda en el año 2040 para el subsistema San Gabriel. Dotación 200 l/p/día.	127

TABLA DE CUADROS

Cuadro 1. Metodología para la obtención de parámetros iniciales.....	4
Cuadro 2. Parámetros físicos de la cuenca.....	17
Cuadro 3. Descripción de capacidad y uso de suelo presente en la cuenca.....	22
Cuadro 4. Estación pluviométrica utilizada en el balance hídrico.....	24
Cuadro 5. Estaciones pluviométricas AyA en la zona de Puriscal.....	25
Cuadro 6. Datos de precipitación media mensual estación 88045 San Ignacio 2 AyA.....	27
Cuadro 7. Valores típicos de capacidad de agua almacenada según Thornthwaite y Mather (1957).....	33
Cuadro 8. Valores elegidos de capacidad de agua almacenada para la cuenca delimitada por la naciente Cañales.....	33
Cuadro 9. Profundidad efectiva según clase de suelo.....	34
Cuadro 10. Profundidad de raíz según cobertura.....	34
Cuadro 11. Balance hídrico para la naciente Cañales.....	37
Cuadro 12. Caudales sintéticos para la cuenca en estudio año 2017.....	38
Cuadro 13. Cálculo de constante de recesión de la naciente Cañales para la época seca del año 2017.....	40
Cuadro 14. Histograma de frecuencia de valores para constante de recesión del río Grande de Candelaria.....	41
Cuadro 15. Datos de producción y aforos de nacientes que componen los distintos subsistemas del acueducto del cantón de Puriscal.....	45
Cuadro 16. Cantidad de servicios y población para el subsistema Santiago.....	46
Cuadro 17. Cálculo de proyecciones de servicios por el método aritmético para el subsistema Santiago.....	46
Cuadro 18. Proyecciones de población para el subsistema Santiago por medio del método aritmético.....	46
Cuadro 19. Proyección de caudal a partir de las proyecciones de población, dotación y porcentaje de agua no contabilizada para los subsistemas del cantón de Puriscal.....	48
Cuadro 20. Caudales de Toma Ríos Negro y Tabarcia para el año 2018.....	49
Cuadro 21. Cálculo de Caudal al inicio de la época seca para lo toma de los ríos Negro y Tabarcia por medio de la constante de recesión del Río Candelaria.....	50
Cuadro 22. Caudales Naciente Cañalitos para el año 2018.....	50

Cuadro 23. Cálculo de constante de recesión de la naciente Cañalitos en el año 2018.....	50
Cuadro 24. Proyección de caudal a partir de las proyecciones de población y una dotación de 200 l/p/d, para el subsistema Santiago.	55
Cuadro 25. Resultados de producción y demanda de agua potable para una dotación de 312 l/p/día para diferentes años.	58
Cuadro 26. Resultados de producción y demanda de agua potable para una dotación de 200 l/p/día para diferentes años.	59
Cuadro 27. Proyección de caudal a partir de las proyecciones de población y una dotación de 200 l/p/d.	104

López Bolaños, Alejandro Antonio.

Evaluación de la disponibilidad del recurso hídrico en la zona de Puriscal

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

A. López B., 2019

xiv, 74, [54]h; ils.col-19 refs.

RESUMEN

Puriscal, ha sido una zona caracterizada por el faltante del recurso hídrico, y este problema se ha venido empeorando en los últimos años. Los habitantes de la zona abogan por soluciones prontas.

Este trabajo de graduación tiene como propósito realizar una evaluación de las fuentes de agua que alimentan a la ciudad de Santiago de Puriscal, y las causas del faltante del recurso hídrico, con el objetivo de plantear soluciones a mediano y largo plazo para poder resolver el faltante del recurso en la zona. En específico se quiere dar una herramienta a las autoridades con el fin de poder realizar planificación del aprovechamiento del recurso hídrico, en este caso en específico, se realizó un balance hídrico anual sobre una fuente de agua sub superficial, con el objetivo de comparar el agotamiento de la fuente a lo largo del año hidrológico y con esto obtener la curva de recesión del manantial en estudio, para poder compararla con la curva de recesión del río candelaria, y así poder calibrar un modelo para años secos, con el objetivo de realizar una adecuada planificación del recurso hídrico.

Del estudio se concluyó que existe una marcada correlación del agotamiento de la fuente y la curva de recesión generada por medio del modelo, con la curva de recesión del río Grande de Candelaria, por lo que se procedió a calibrar el modelo para que sea un insumo para las demás fuentes de dotación del recurso hídrico que abastecen la zona de estudio, y además se generaron recomendaciones para cuando se presenten diferentes escenarios climáticos ya sea años húmedos o años secos.

BALANCE HÍDRICO; PURISCAL; CURVA DE RECESIÓN.

Ing. Rafael Oreamuno Vega, M.Sc.

Escuela de Ingeniería civil

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

1.1 El problema

Durante muchos años los pobladores de la zona de Puriscal han sufrido por los constantes cortes de agua, el crecimiento poblacional en el cantón, la constante deforestación, el agotamiento paulatino de las fuentes de captación y la marcada escases del recurso hídrico, hacen de este el principal problema que enfrenta la zona en estudio, según (Ltda H. , 2013).

Se evidencia que existe la necesidad de un estudio con el cual se puedan identificar las deficiencias en el sistema de abastecimiento de agua potable actual, recomendar acciones de mejora a corto, mediano y largo plazo, para garantizar las condiciones sanitarias, el abastecimiento adecuado y continuo de agua potable, con el fin de evitar enfermedades en los habitantes, y además, de poder tener una adecuada planificación del recurso hídrico con que se cuenta. Además del estudio anteriormente mencionado no se debe dejar de lado el encontrar otras fuentes de abastecimiento, que puedan llegar a suplir la demanda actual y la demanda futura.

Si bien es cierto el gobierno de la República, a través del Instituto de Acueductos y Alcantarillados AYA, ha hecho bastantes esfuerzos con el fin de solucionar la problemática del agua en la zona de Puriscal, lamentablemente estos han sido insuficientes y el problema todavía persiste, el desabastecimiento de agua potable es constante. Es por esto que en este trabajo se plantea realizar una evaluación de la disponibilidad del recurso hídrico en la zona para poder evaluar el escenario existente y los posibles escenarios a futuro y consecuencias que puedan generar en el panorama de la región en estudio.

Como antes se mencionó el agua es vital para múltiples actividades, esto conlleva a que el desarrollo económico y social esté íntimamente ligado al recurso en estudio. Por lo que el resolver este problema es de suma importancia para garantizar a la población el bienestar en el presente y futuro.

1.2 Objetivos

Evaluar la disponibilidad del recurso hídrico para la ciudad de Santiago de Puriscal, a partir del comportamiento de un manantial.

1.2.1 Objetivos específicos

- Realizar un balance hídrico sobre el área de drenaje delimitada por la naciente Cañales.
- Determinar si la demanda del recurso hídrico es mayor que el suministro del mismo y plantear una solución al respecto.
- Realizar un análisis de recesión de caudal para el río Grande de Candelaria.
- Buscar fuentes alternas para suplir la demanda del recurso hídrico a futuro.

1.3 Delimitación y alcance

Este estudio se centrará en la zona de Puriscal, en el distrito de Santiago, cualquier distrito y cantón cerca de la zona en estudio queda fuera del alcance de este proyecto.

Se someterá a estudio solamente la fuente de agua sub superficial Cañales, la cual abastece de agua potable al distrito de Santiago de Puriscal.

El proyecto se centrará en realizar un análisis cuantitativo de la fuente anteriormente mencionada con el fin de generar resultados y conclusiones que ayuden en la planificación del recurso hídrico a futuro.

El balance hídrico será a nivel mensual durante un año, específicamente el año 2017.

1.4 Limitaciones

Una de las principales limitaciones de este trabajo se encuentra en la información brindada por dos instituciones como lo son el Instituto Meteorológico Nacional IMN y el Instituto de Acueductos y Alcantarillados AyA, ya que en el primer caso la distribución de estaciones meteorológicas en la zona de estudio es escasa, por lo que se tuvo que recurrir a una estación cerca de la zona en San Ignacio de Acosta que tuviera una serie de datos extensa

de precipitación y temperatura, y con el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados AyA, aunque tiene instrumentada la zona, las estaciones de precipitación brindadas, no se encuentran cerca de la naciente cañales ni se consideran representativas ya que no se encuentran dentro de la misma zona de vida y además el registro de datos es apenas de 4 años atrás, por lo que al realizar un análisis estadístico de correlación, no son confiables, ya que estadísticamente no son representativas.

Por otro lado, el Instituto de Acueductos y Alcantarillados AyA, solamente brindó los aforos mensuales de la naciente Cañales del año 2017, por lo que solo se pudo realizar la calibración del balance hídrico para ese año en específico, lo cual limita un poco el estudio. Además el año 2017, se encuentra un poco arriba del promedio de precipitación, por lo que no se considera un año seco.

Si bien es cierto, se realizará un balance hídrico sobre una fuente sub superficial no se tomará en cuenta la hidrogeología del lugar y solamente se trabajará con la hidrología superficial.

CAPITULO 2. METODOLOGÍA Y MARCO TEÓRICO

2.1 Metodología

El desarrollo del presente trabajo, consiste en realizar un balance hídrico sobre una naciente, tomando en cuenta la precipitación, la evapotranspiración potencial y la infiltración en el terreno, sobre el área de drenaje delimitada por la naciente Cañales. Este trabajo se basa en tres grandes fases, con el fin de poder llegar al principal objetivo de realizar un balance hídrico sobre el área de drenaje en estudio, y con esto se pueda tener una idea de la disponibilidad del recurso hídrico en la zona de Santiago de Puriscal.

2.1.1 I fase: Investigación

En cualquier proyecto de investigación, la primera fase consiste en recopilar información necesaria para poder procesarla y hacerla útil.

Para este proyecto de graduación, se utilizaron diversos insumos de diferentes fuentes, los cuales se detallan a continuación:

Cuadro 1. Metodología para la obtención de parámetros iniciales

Fuente	Insumo	Producto
Instituto Meteorológico Nacional/ ICE	Registros meteorológicas	Balance hídrico y Curva de recesión
	Registros pluviográficas	
Municipalidad de Puriscal	Información demográfica de la zona.	Balance hídrico
	Situación actual del subsistema Puriscal	
Proyectos de Graduación y Bibliografía	Datos para el balance hídrico	Insumos para balance hídrico
	Información del sistema de acueducto de	
Instituto Nacional de Estadística y Censo INEC	Datos de población	Descripción estado del sistema de distribución de agua potable
	Datos de tasa de hacinamiento en la zona Puriscal	
Instituto de Acueductos y Alcantarillados AyA	Número de abonados	Proyección de demanda de agua potable
	Demanda de agua potable actual en la zona	
Instituto Geográfico Nacional SNIT	Cartografía de la zona	Caracterización de la zona de estudio
	Curvas de nivel de la zona	

2.1.2 II Fase: Curva de recesión del río Candelaria

Con los datos de caudal recopilados por medio de información brindada por el Instituto Costarricense de Electricidad ICE para la estación fluviográfica 88-26-02 El Rey ubicada en el Río Grande de Candelaria, se obtuvieron registros diarios de caudal en la época seca desde los años 1963 hasta 1993, los cuales presentaran una disminución diaria de caudal durante treinta o más días, esto con el fin de obtener un período de recesión del acuífero que fuera estadísticamente representativo.

Seguidamente, con los datos mensuales de caudal de cada año del período en estudio, se procedió a calcular el promedio anual para así identificar los años secos, como los años que se encuentran debajo del promedio y los años húmedos arriba del promedio. Para este análisis se tomarán en cuenta solamente los años secos, para el estudio de la curva de recesión ya que se realizó un análisis del agotamiento del acuífero de la naciente Cañales para los períodos más críticos en este caso los años secos.

Una vez identificados los años secos de todo el período de análisis y sus respectivos períodos de recesión de caudal en la época seca, se tomó el dato de caudal inicial y caudal final de cada período, para poder realizar el cálculo de la constante de recesión de cada período por medio de la ecuación de Barnes.

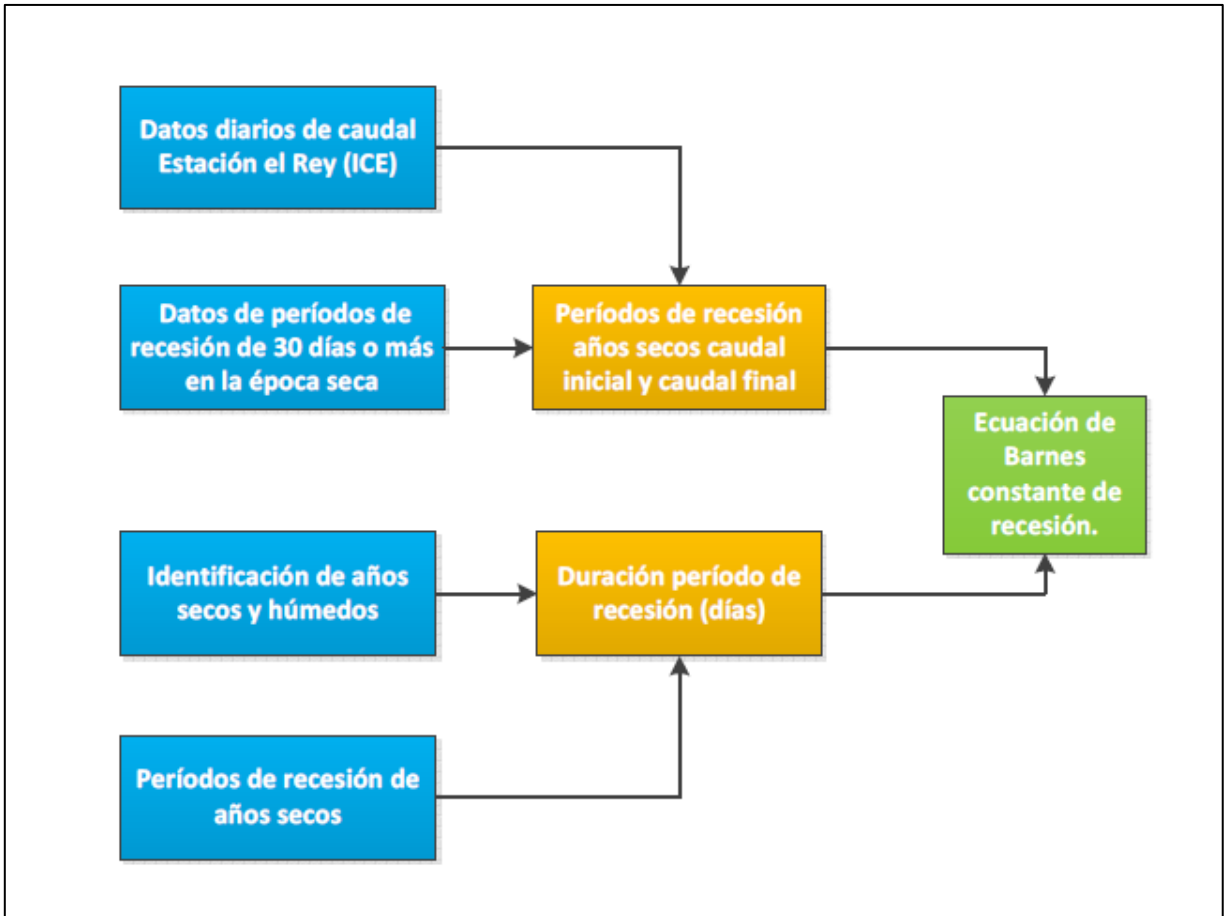


Figura 1. Metodología obtención curva de recesión

2.1.3 III Fase: Descripción de la zona de estudio

Para realizar un balance hídrico, se debe de realizar una completa caracterización tanto climática, como geomorfológica de la zona en la que se realizará el estudio, en este caso se estudiará la naciente Cañales la cual se encuentra ubicada dentro de la cuenca del Río Grande de Candelaria, por lo que con la información meteorológica brindada por el Instituto Meteorológico Nacional IMN se realizó la caracterización climática, junto con la información consultada del atlas del Instituto Tecnológico de Costa Rica ITCR 2008.

Se utilizó el software ArcGis, para realizar mapas con los diferentes parámetros climáticos y geomorfológicos con la finalidad de describir de la mejor manera la zona alrededor de la naciente Cañales.

2.1.4 IV Fase: Proyecciones de demanda de agua potable

Se utilizaron los datos de catastro suministrados por la municipalidad de Puriscal y el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados AyA, para poder realizar un recuento de la población servida con agua potable en la zona de Santiago de Puriscal, con la finalidad de tener un dato de la demanda actual de agua potable en dicha ciudad.

Seguidamente se realizaron proyecciones de crecimiento de población por medio de dos métodos aritmético y geométrico. Se seleccionaron los resultados de un solo método, y con estos datos se determinó la proyección de demanda de agua potable para la ciudad de Santiago de Puriscal para diferentes años, y además se comparó con la producción de las fuentes que abastecen el subsistema de Santiago de Puriscal, dentro de las cuales se encuentra la fuente Cañales, la cual es objeto de estudio en este trabajo de graduación.

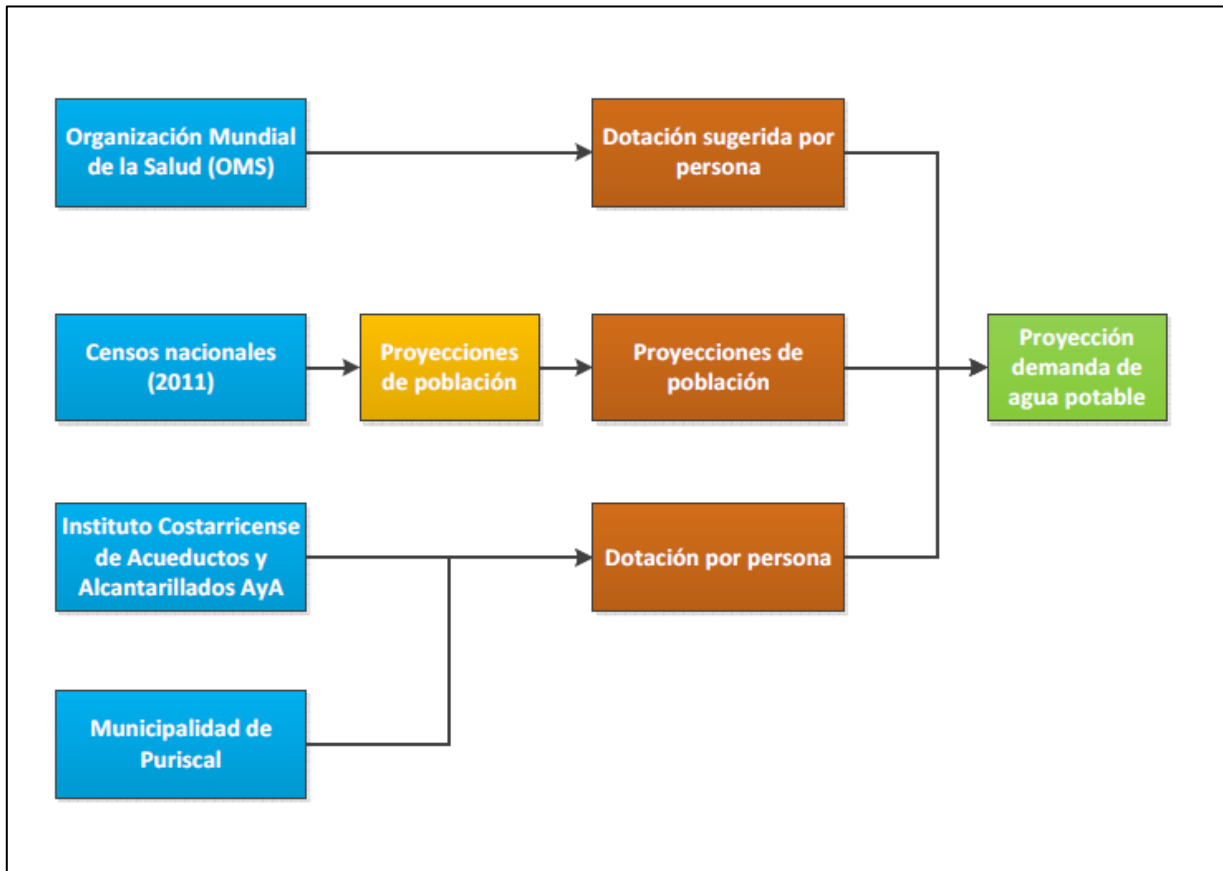


Figura 2. Metodología proyección de demanda de agua potable

2.1.5 V Fase: Balance hídrico

Una vez caracterizada la zona donde se encuentra la naciente Cañales, se realizó el balance hídrico a partir de la información meteorológica de la estación 88045 San Ignacio 2, facilitada por el Instituto Meteorológico Nacional IMN. Primeramente se obtuvo los datos de precipitación media mensual para el año 2017, luego con los datos de Temperatura mínima, media y mensual de esta estación, para el año 2017, se calculó la evapotranspiración potencial para la cuenca de la naciente cañales, por medio del método de Hargreaves.

Luego con la caracterización de los tipos de suelos de la cuenca además del tipo de vegetación predominante, se obtuvo la profundidad de raíz efectiva para saber la capacidad de retención de humedad presente en el suelo.

Con todos los insumos necesarios calculados, se procede a realizar el balance hídrico y obtener la cantidad de agua disponible para escurrir o infiltrarse por medio del método de balance hídrico de thornthwaite. Con este dato disponible para cada mes, se calibra el modelo asignando porcentajes de esa cantidad disponible para escurrir e infiltrar.

Por último, se calibró el modelo por medio de coeficientes para lo infiltrado y lo escurrido con base en los datos de aforo de la naciente Cañales para el año 2017 suministrados por el Instituto de Acueductos y Alcantarillados A y A.

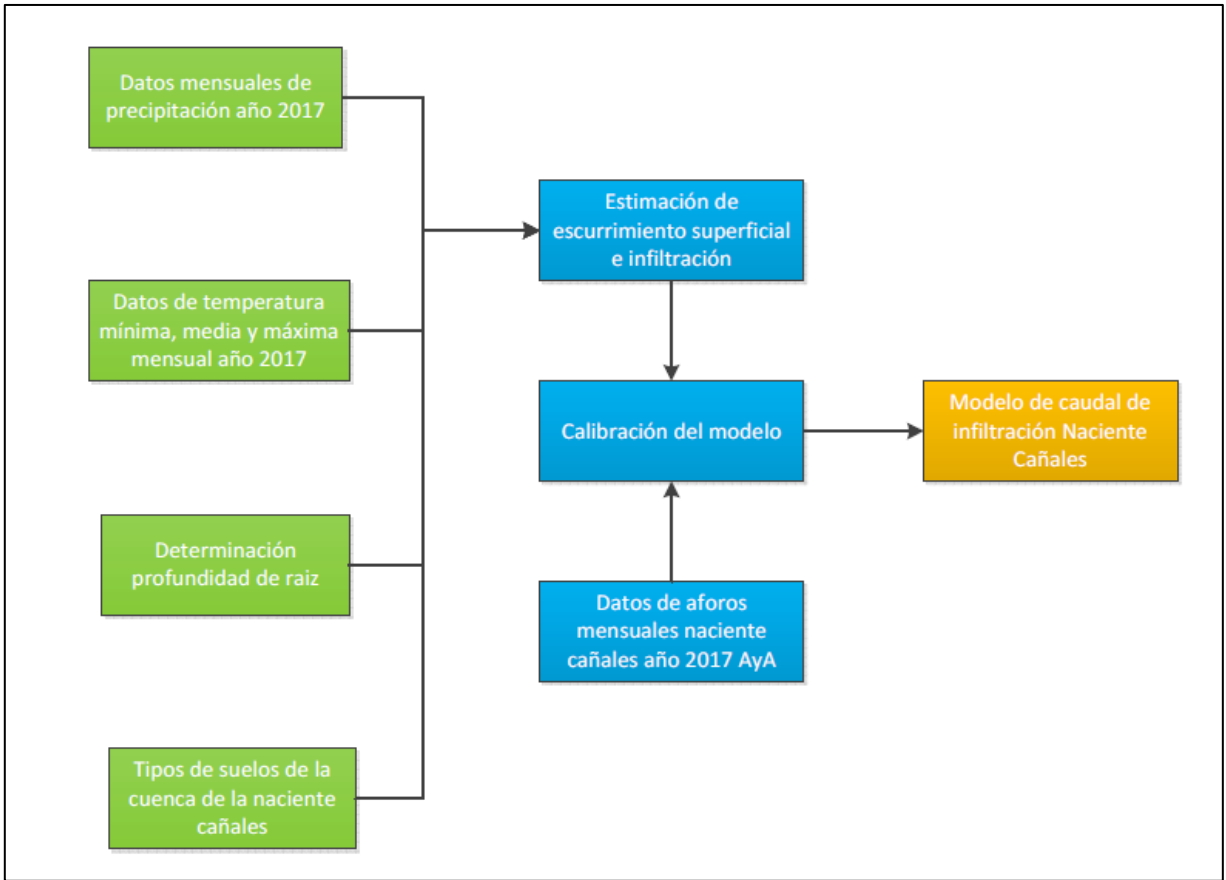


Figura 3. Metodología balance hídrico

2.2 Marco teórico

2.2.1 Recurso hídrico

Un recurso se refiere a materia prima o bien que se utiliza con un objetivo específico. Cuando el agua es utilizada para satisfacer las necesidades humanas es considerada como un recurso, en este caso recurso hídrico.

Las fuentes subterráneas son de gran importancia para el desarrollo futuro. Si bien es cierto, las fuentes superficiales son importantes y muy utilizadas en el país, a su vez son las menos estables, estas fuentes son más vulnerables ante la contaminación y cambios climáticos, la variación de las precipitaciones a lo largo de los años hace que el agua que fluye por los cauces no sea constante.

Los acuíferos presentan mejores características para abastecer las poblaciones, en tanto se preserven y se vele por el cuidado de estas áreas para que se puedan recargar de forma natural.

2.2.2 Proyecciones de población

Las proyecciones de población deben partir de información confiable captada de censos. Con el fin de estimar la población resulta esencial poder caracterizarla tanto geográficamente como políticamente, socialmente y económicamente. Los métodos de proyección objetiva se pueden dividir según (Swanson, 2004) en tres categorías principales:

a) Extrapolación de tendencias

La extrapolación de tendencias está basada en la observación de un comportamiento histórico y sus valores están basados en la continuación de la variable descrita.

b) Métodos de componentes de cohorte

Estos métodos están basados en dividir la población en grupos por edad y sexo o por nacimientos, toman en cuenta fertilidad, mortalidad y la migración de cada cohorte.

c) Modelos estructurales:

Se basan en relaciones existentes en la demografía y otras variables tales como el uso de suelo, empleo entre otros. Generalmente se buscan relaciones por medio de análisis de regresión.

Para este trabajo se analizarán métodos de extrapolación de tendencias y proyecciones elaboradas por medio de los métodos aritmético y geométrico. Además, se tomarán en cuenta relaciones con otras variables como el desarrollo de la zona para definir escenarios demográficos.

2.2.3 Balance hídrico

El balance hídrico es una cuantificación de entradas y salidas del recurso hídrico, en una determinada zona o volumen definido previamente para su estudio. A partir del estudio de un balance hídrico, es posible realizar una evaluación cuantitativa del recurso hídrico y sus modificaciones por influencia de las actividades humanas.

El conocimiento de la estructura del balance hídrico de lagos, cuencas superficiales y cuencas subterráneas, se hace fundamental para conseguir un uso más racional del recurso en el espacio y en el tiempo, así como para mejorar el control y redistribución del mismo.

Las variables que se toman en cuenta para el balance hídrico, se derivan del principio de la conservación del agua en el ciclo hidrológico. La totalidad del agua que proviene de las precipitaciones, puede evaporarse desde el suelo o ser transpirada por la vegetación (evapotranspiración real). Esta misma agua puede infiltrarse en los suelos, fuera del alcance de las raíces, lo que se considera como recarga subterránea. Por otra parte puede también escurrirse sobre la superficie hacia los cauces de quebradas, ríos o ser almacenada en forma de humedad en los suelos (nivel freático).

Un balance hídrico considera los procesos hidrológicos para plantearse una ecuación de la conservación de la masa en términos del volumen de agua. La ecuación para un sistema definido como en este caso una cuenca hidrográfica es la siguiente:

$$P + AE_{sup} + AE_{sub} - AS_{sup} - AS_{sub} - EVR = \Delta S$$

Donde

P = Precipitación (mm)

AE_{sup} = Entrada de aguas superficiales desde otras cuencas (mm)

AE_{sub} = Entrada de aguas subterráneas desde otras cuencas (mm)

AS_{sup} = Salida de aguas superficiales (mm)

AS_{sub} = Salida de aguas subterráneas (mm)

EVR = Evapotranspiración real (mm)

$\Delta S =$ Cambio en el almacenamiento del agua (mm)

Cabe destacar, que los mecanismos para determinar las entradas o salidas de agua subterránea está fuera del alcance de este trabajo por lo que los términos de agua subterránea serán asumidos como nulos.

El procedimiento a seguir para obtener cada uno de estos valores será el siguiente:

- Obtención de la precipitación media mensual para el año 2017 de la estación 88045 San Ignacio 2, del Instituto Meteorológico Nacional.
- Cálculo de la evapotranspiración potencial (EVP_i) por medio del método de Hargreaves.
- En el caso de que EVP_i sea menor a P_{ei} la evapotranspiración real (EVR_i) es igual a la potencial de lo contrario la EVR_i sería igual a la P_{ei} más lo que sea capaz de absorber del suelo (ΔHS_i) del almacenamiento de agua disponible (HS_i).
- Cuando $EVP_i < P_{ei}$ el sobrante ($P_{ei} - EVP_i$) se acumulará en el suelo hasta llegar a su cantidad máxima, la capacidad de agua almacenada (CAA). Este parámetro de CAA depende principalmente del tipo de suelo y el tipo de vegetación sobre él.
- Seguidamente se calcula el excedente como $S_i = (P_i - ETP_i) - (CAA - HS_{i-1})$, S se infiltra a capas más profundas y una fracción fluye como flujo subsuperficial ($FSS_i = C_s S_i$) y el sobrante se suma al agua retenida del período anterior (AR_{i-1}).
- El $AR_{i-1} + (1 - C_s)S_i$ se le llama agua disponible para la escorrentía (ADE_i) de la cual una fracción escurre como flujo base ($FB_i = C_b AD_i$) y el restante se convierte en AR_i .
- Para encontrar el ΔHS_i se deben de acumular los valores negativos de $P_{ei} - EVP_i$ que es la pérdida potencial de agua (PPA_i) y con la capacidad de agua almacenada en el suelo (CAA) se relacionan por medio de ecuaciones propuestas por thornthwaite y Mather (1957) para obtener el HS_i que restado al HS_{i-1} da como resultado ΔHS_i

2.2.4 Curva de recesión

Una parte importante de este trabajo de graduación es la obtención de la curva de recesión del Río Candelaria, para con esto poder obtener la constante de recesión por medio de la ecuación de Barnes y así poder comparar la curva y la constante de recesión de la naciente cañales

La curva de recesión es la parte de la curva justo después de la cresta del hidrograma y el período de recesión dura hasta que el hidrograma vuelve a aumentar. Representa la disminución del caudal durante períodos secos o después de episodios de precipitación importantes. Según Linsley et al., 1958. A continuación se presenta la ecuación de recesión de caudal para calcular la constante de recesión.

$$Q_f = Q_0 K^T$$

Dónde:

$$Q_f = \text{Caudal al final del período de recesión } \left(\frac{l}{s}\right)$$

$$Q_0 = \text{Caudal al inicio del período de recesión } \left(\frac{l}{s}\right)$$

$$T = \text{Tiempo (días)}$$

$$K = \text{Constante de recesión del río o manantial}$$

2.2.5 Planeamiento del recurso hídrico

Uno de los insumos más importante de este trabajo final de graduación, será brindar una herramienta a las autoridades encargadas de todo lo relacionado con la planificación del recurso hídrico, por lo que se hace necesario definir este concepto para poder amalgamar la realización de este trabajo con la ayuda que presentará para poder solucionar una problemática que se está dando a nivel nacional.

El aprovechamiento eficiente del recurso hídrico implica el conocimiento de los lugares de se realiza la toma del recurso, en que cantidad y calidad existe, además de su patrón de variabilidad en un lapso determinado de tiempo. La estimación de la demanda para los diversos usos del recurso tanto en el tiempo como en el espacio y establecer las normas para su uso

La planificación del recurso hídrico tiene como objetivo primordial, promover su uso sostenible, equilibrar la demanda de acuerdo con la oferta, la conservación y la protección de las fuentes naturales del recurso, en armonía con el desarrollo nacional, regional y local, así como, la protección e incremento de la cantidad de la disponibilidad del agua.

La planificación de la gestión de los recursos hídricos debe ser considerada para la elaboración de los planes en los niveles: sectorial, local, regional y nacional, en concordancia con el ordenamiento territorial, ambiental, planes de acondicionamiento territorial, de desarrollo urbano y otros de gestión territorial.

CAPITULO 3. CARACTERÍSTICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO

La zona de estudio se concentrará sobre el cantón de Puriscal, específicamente sobre el río Candelaria en su cuenca alta, de donde Acueducto y Alcantarillados AyA, utiliza fuentes superficiales y nacientes para captar el recurso hídrico, con el fin de abastecer a la mayoría de la población del cantón.

3.1 Cuenca en estudio

En este capítulo se estudiará una sub cuenca del río Grande de Candelaria, la cual se delimitará tomando en cuenta la ubicación de la naciente Cañales, cuyo punto de ubicación se muestra en las siguientes coordenadas: 1086926 N 465744 O.

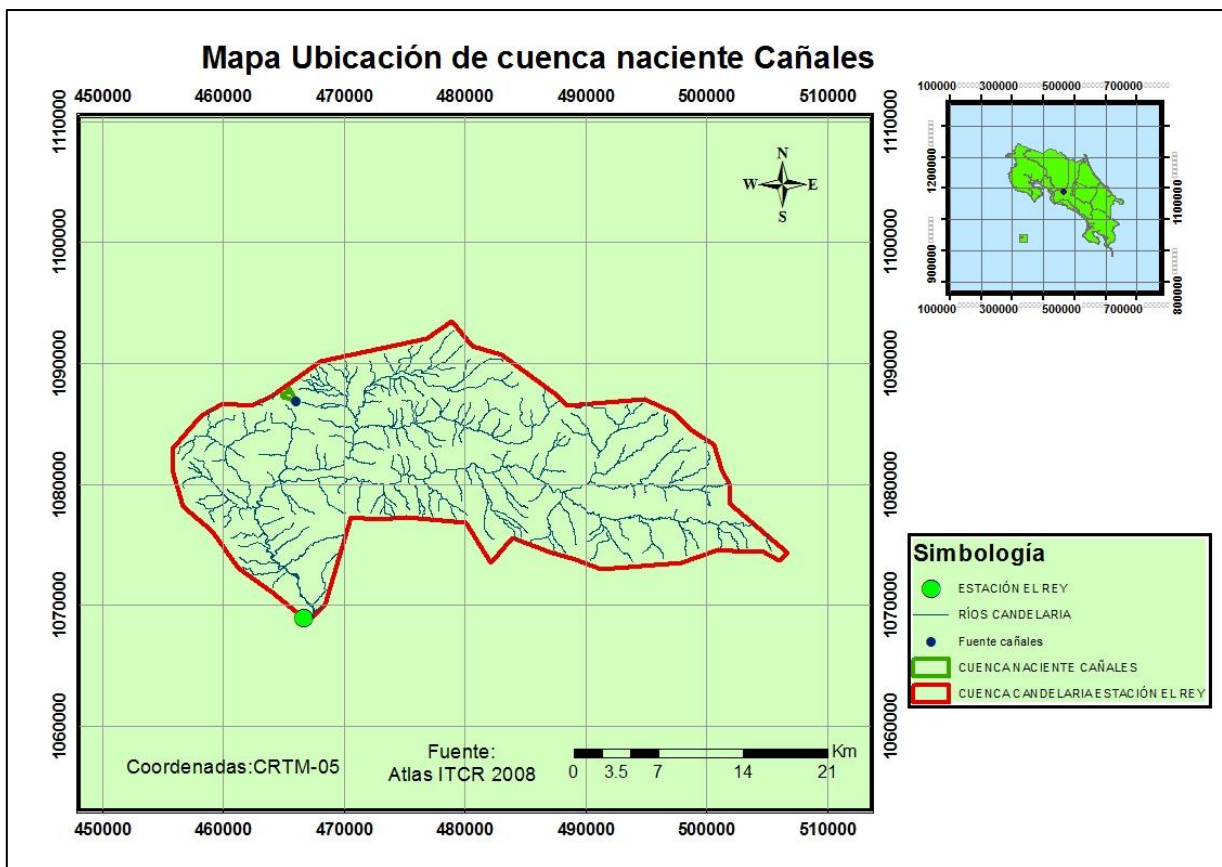


Figura 4. Mapa cuenca de estudio

3.2 Parámetros físicos de la cuenca

Por medio de las curvas de nivel del Instituto Geográfico Nacional 1:50000 obtenidas del sitio web SNIT, se delimitó la cuenca y se obtuvieron las características físicas las cuales se muestran a continuación:

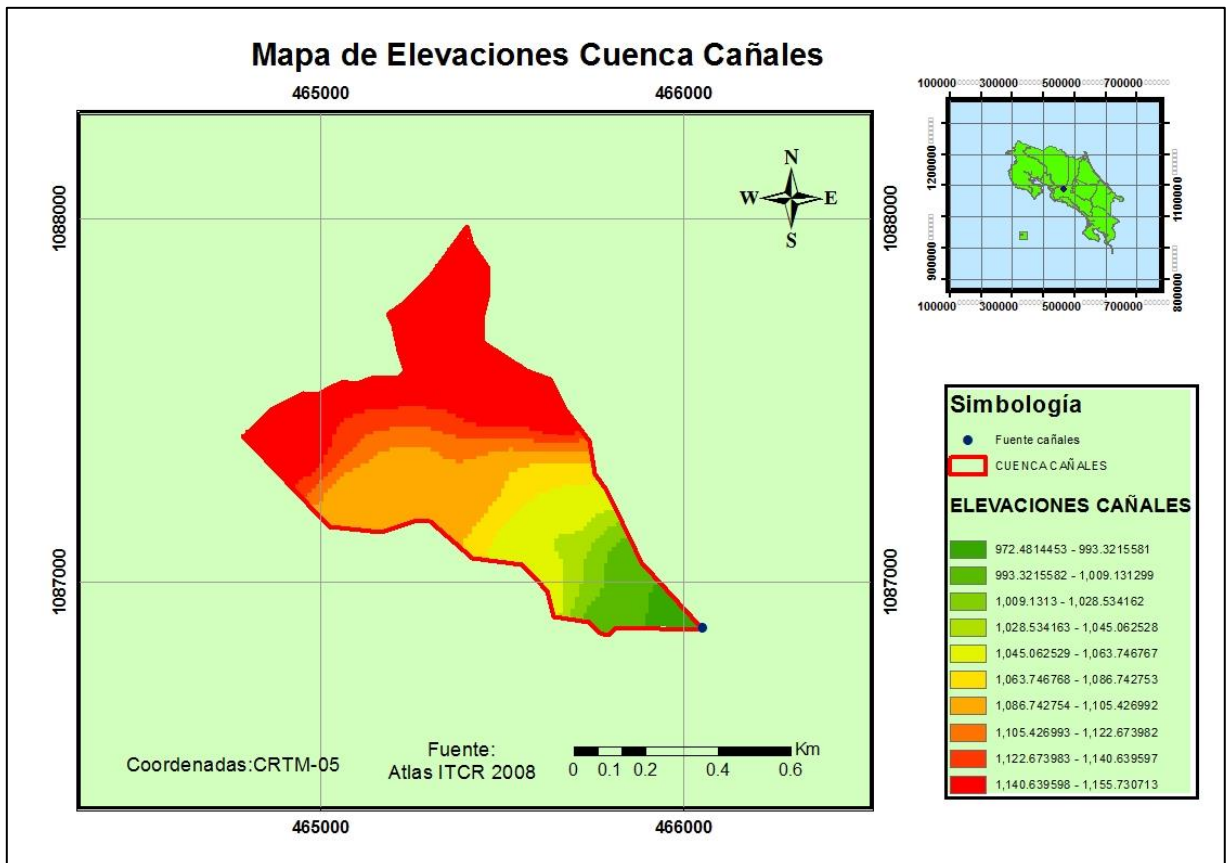


Figura 5. Mapa modelo digital de elevación.

En el siguiente cuadro se muestran los parámetros físicos de la cuenca

Cuadro 2. Parámetros físicos de la cuenca.

Generalidades Físicas de la cuenca	
Área (km ²)	0.55
Perímetro (km)	3.216
Elevación media (msnm)	1078
Altura máxima (msnm)	1155
Altura mínima (msnm)	972
Pendiente media (msnm)	40%

3.3 Zonas de vida

Holdridge (1967), definió zona de vida a los grupos de ecosistemas y asociaciones vegetales de acuerdo al parámetro temperatura dependiendo del rango según la altitud donde estos se ubican, además de precipitación y humedad. En la cuenca en estudio se identificó solamente un tipo de zona el cual se muestra en la figura 4.

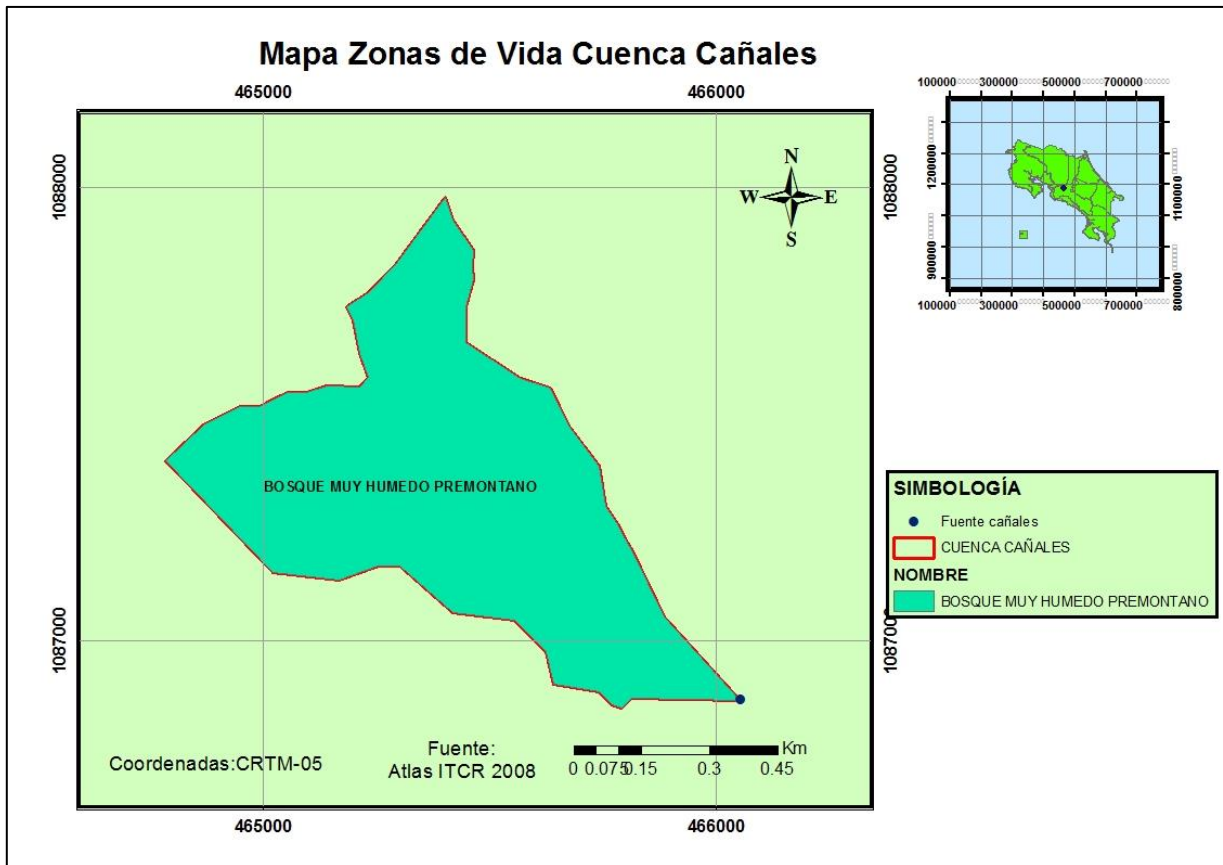


Figura 6. Mapa zonas de vida.

El mapa ecológico de Costa Rica del Centro Científico Tropical, ofrece una descripción de las principales características de las zonas de vida que existen en nuestro país, de las cuales se ofrece una descripción de la zona de vida presente en la cuenca en estudio seguidamente:

Esta es una condición favorable pero no óptima para el desarrollo de actividades del uso del suelo, debido a la abundante, aunque no excesiva, cantidad de precipitación. Los cultivos de tipo permanente y los pastos son las actividades que mejor se adaptan a este bioclima.

Posee un rango bastante amplio de precipitación que varía entre 2000 mm a 4000 mm promedio anual. El período seco en esta zona de vida es también muy variado, dependiendo de la región en la cual se esté ubicado. Puede variar de 0 a 5 meses secos.

La vegetación natural inalterada del bosque muy húmedo premontano se caracteriza por ser de mediana altura, aproximadamente entre 40 m a 30 m de altura; densidad media; de dos o tres estratos y es siempre verde, con algunas especies deciduas durante la estación seca. Hay moderada o abundante epífitas.

3.4 Orden de suelos

En la cuenca en estudio, se presenta solamente un tipo de orden de suelo dentro del orden de los Ultisoles del tipo fuertemente ondulado, los cuales presentan pendientes entre 30% y 60%.

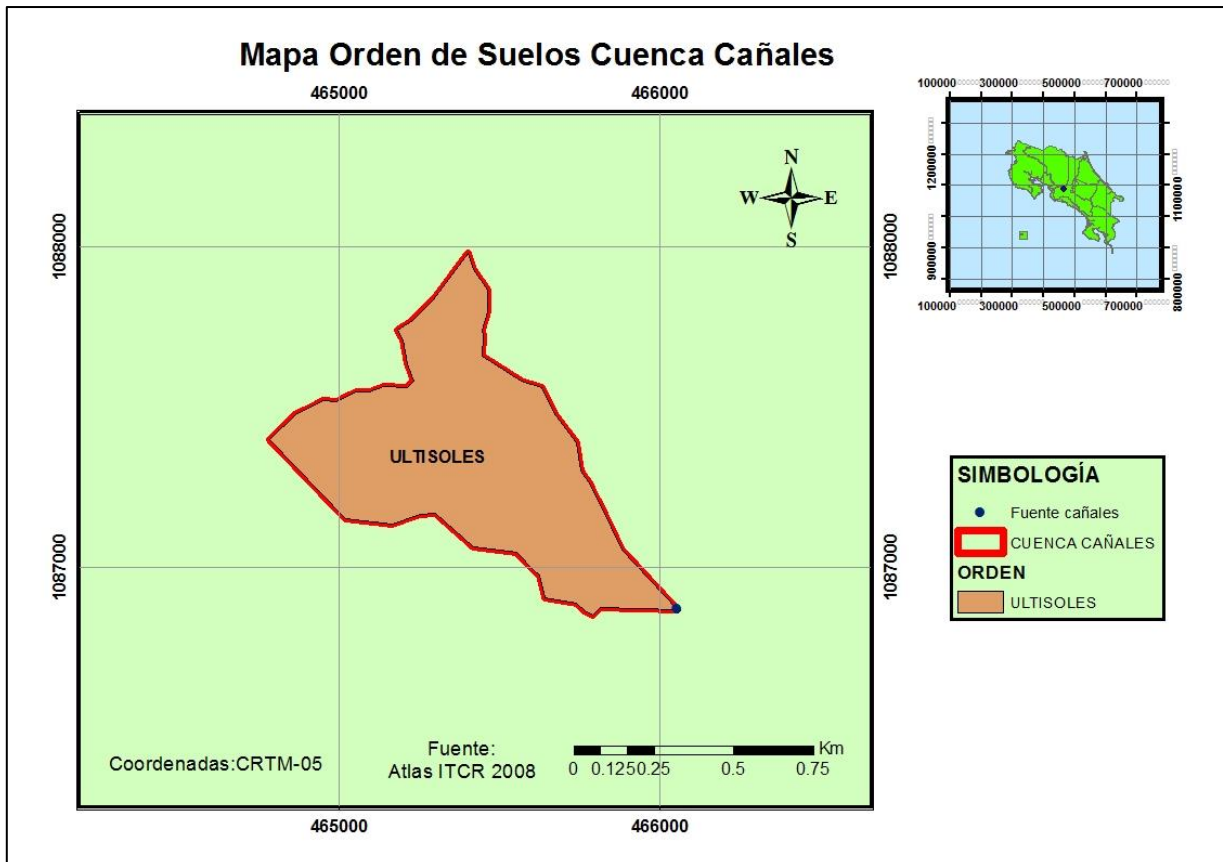


Figura 7. Mapa tipos de suelo.

3.4.1 Ultisoles

Estos suelos son altamente meteorizados que poseen una alta cantidad de arcilla. El suborden de estos suelos es Humult, lo cual indica que junto con el importante contenido de arcilla tiene un importante contenido de materia orgánica, lo que hace que presente una importante acumulación de agua por volumen.

3.5 Capacidad del uso de suelo

La capacidad del uso de suelo se define como clase a grupos de tierras que presentan condiciones similares en el grado relativo de limitaciones y riesgo de deterioro para su uso en forma sostenible. A continuación se presenta un cuadro con las características de la capacidad de uso de suelo encontradas en la cuenca.

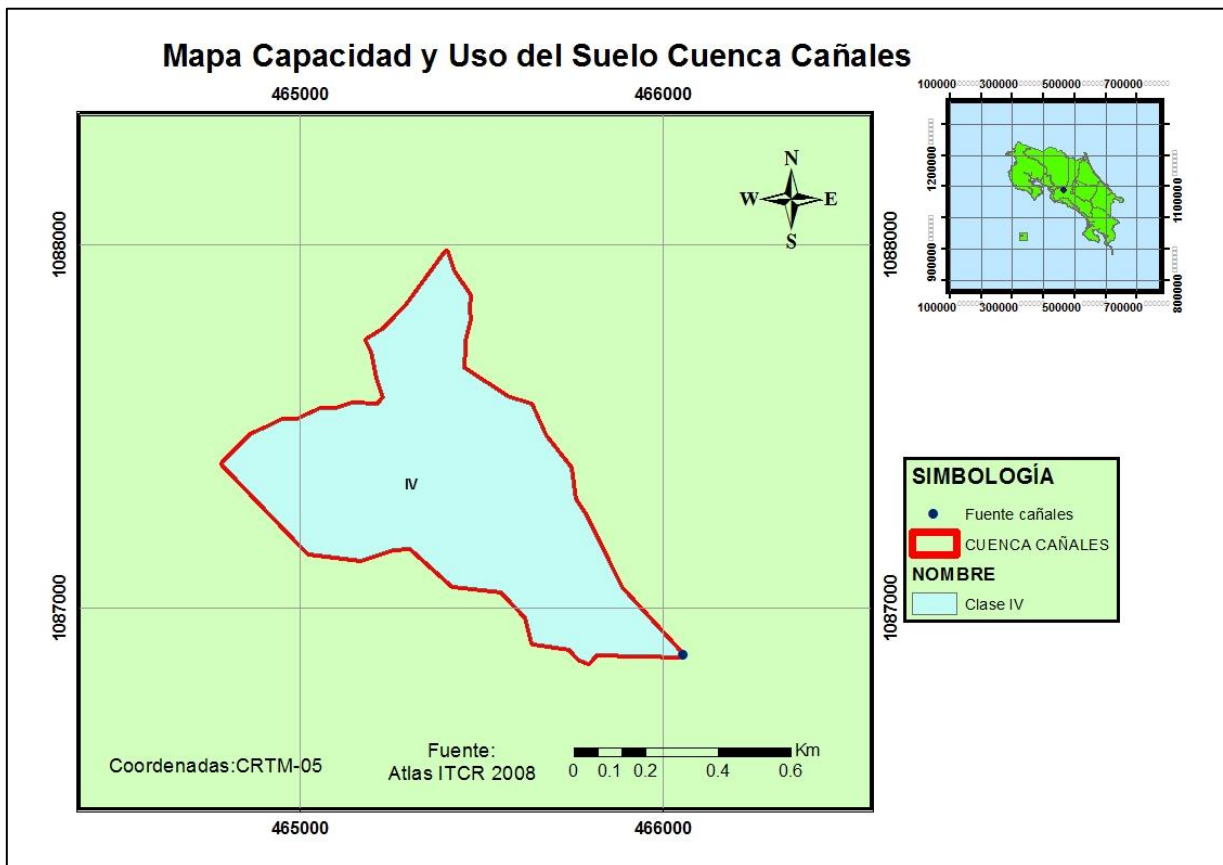


Figura 8. Mapa capacidad y uso del suelo.

Cuadro 3. Descripción de capacidad y uso de suelo presente en la cuenca.

Nombre	Capacidad	Uso
Clase IV	Terrenos con severas limitaciones que restringen la elección de cultivos, permitiendo solamente dos o tres de los más comunes, y/o que requieren un manejo, tan cuidadoso como difícil de aplicar y mantener. Las limitaciones incluyen factores tales como pendientes muy fuertes, severa susceptibilidad o daños causados por la erosión, suelos superficiales, baja capacidad de retención de humedad, frecuentes inundaciones, y/o excesiva humedad alto contenido de sales que afecta seriamente los cultivos.	Agropecuario

3.6 Uso del suelo

El uso de suelo en un determinado lugar es variable en el tiempo, esto dependerá de varias variables entre las cuales se puede mencionar el desarrollo de la economía de un determinado lugar, para este proyecto se cuenta con el mapa de cobertura proporcionado por el Instituto Tecnológico de Costa Rica en el Atlas 2008 y el cual se muestra a continuación:

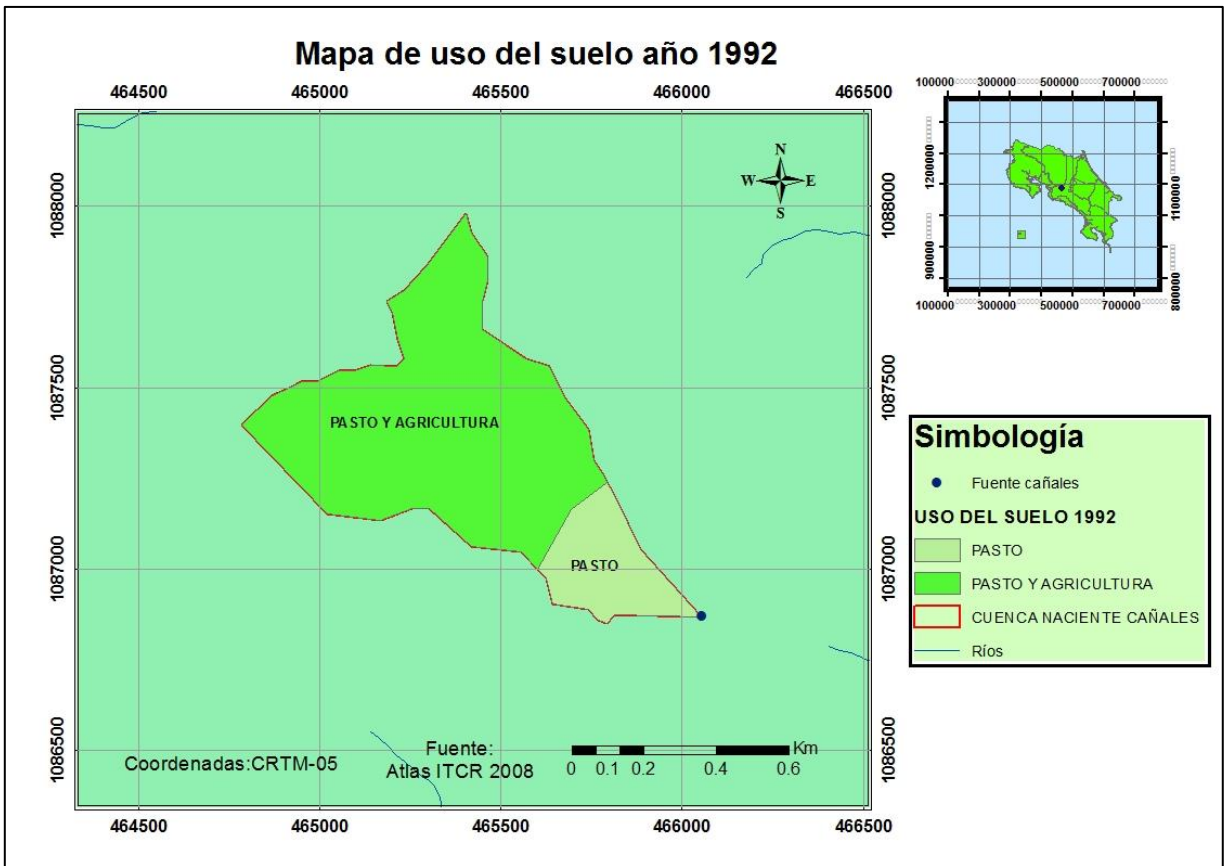


Figura 9. Mapa uso del suelo.

CAPITULO 4. BALANCE HÍDRICO

4.1 Precipitación sobre la cuenca

Esta información fue obtenida por medio de la estación pluviométrica 88045 San Ignacio 2 del Instituto Meteorológico Nacional IMN, la cual se ubica en las coordenadas 09° 47' 48" de latitud Norte y 84° 09' 47" de longitud Oeste a una altitud de 880 msnm. Dicha estación cuenta con un registro de completo de datos de precipitación promedio mensual que va desde enero de 1995 hasta diciembre de 2017, además cuenta con datos de temperatura de temperatura máxima mínima y media mensual, que va desde enero 2005 hasta diciembre del año 2017.

4.1.1 Estación pluviométrica

A continuación se muestra la estación de precipitación y temperatura seleccionada para el análisis.

Cuadro 4. Estación pluviométrica utilizada en el balance hídrico.

Número	Nombre	Latitud Norte	Longitud Oeste	Altitud (m.s.n.m)	Periodo	
					Inicio	Fin
88045	SAN IGNACIO 2	09° 47' 48"	84° 09' 47"	880	ene-95	dic-17

Cabe destacar, que el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados AyA, ha venido instrumentando la zona de las nacientes en Puriscal, debido al creciente problema de la escasez del recurso hídrico. Desde el año 2014 esta institución ha venido instrumentado varias estaciones meteorológicas con el objetivo de obtener mediciones de precipitación cercanas a las nacientes donde se capta el recurso hídrico con el fin de comparar los cambios climáticos en los últimos años. Debido a esto, se estudiaron datos de precipitación de varias estaciones en la zona de Puriscal, las cuales se muestran en el cuadro 5, con el fin de correlacionar estas con la naciente Cañales, pero debido a que ninguna se encuentra dentro de la misma zona de vida de la naciente Cañales, no se tomaron como representativas para el análisis de la naciente en estudio. A continuación se detallan las estaciones analizadas.

Cuadro 5. Estaciones pluviométricas AyA en la zona de Puriscal.

ID	NOMBRE	COORDENADAS CRTM 05		COORDENADAS CARTESIANAS	
		X	Y	Longitud	Latitud
260102	Bocana	460252.89	1080233.28	-84.36230706	9.76913899
250102	San Martín	456891.39	1076114.06	-84.39290407	9.73185992
250101	Rancho Largo	452273.12	1075302.94	-84.43498601	9.72447498
250302	Río Negro	456990.77	1072666.63	-84.39196203	9.70068999
250301	Río Tulin en Lanas	449702.72	1076654.74	-84.45842901	9.73666696

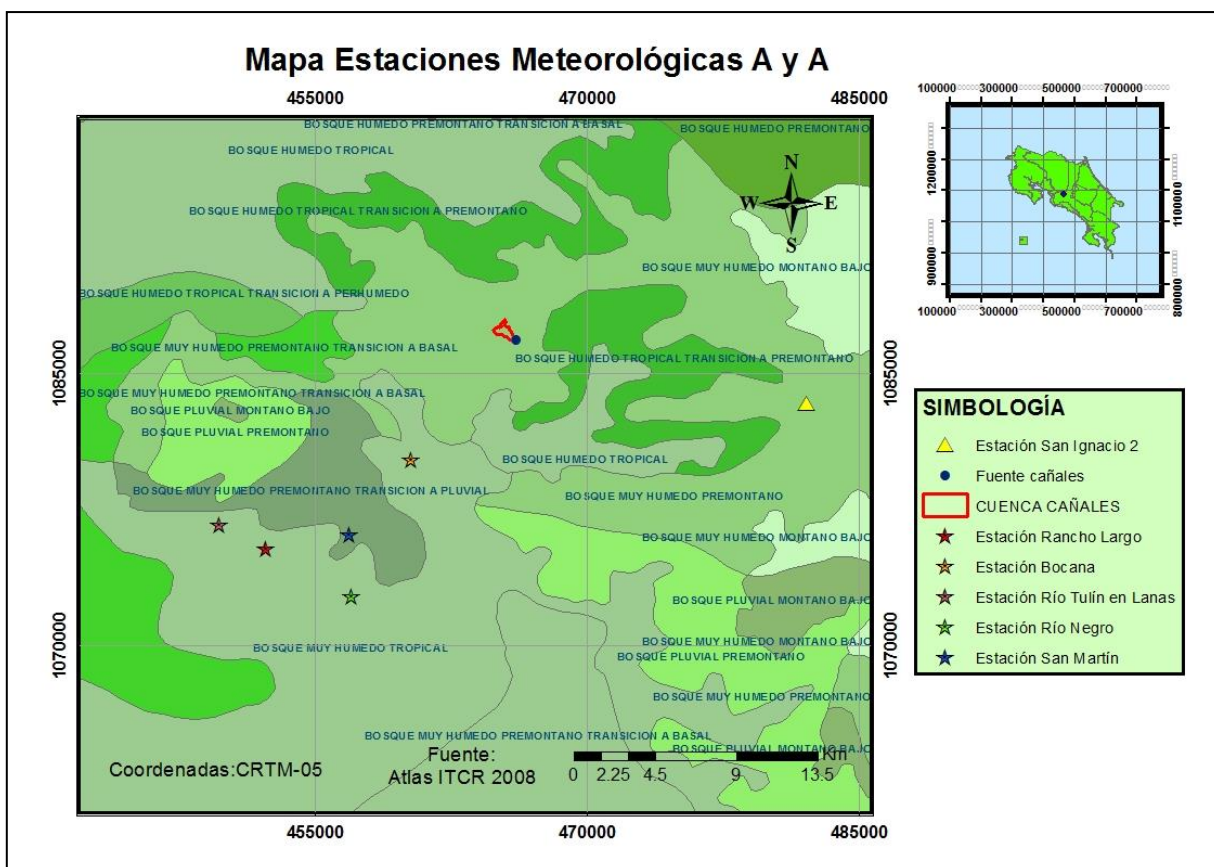


Figura 10. Mapa estaciones AyA según zona de vida.

Fuente: Atlas ITCR 2008.

4.1.2 Precipitación media sobre la cuenca.

Para poder conocer la precipitación media sobre una cuenca a través de estaciones puntuales de precipitación, existen diversas metodologías como por ejemplo la media aritmética, polígonos de Thiessen, método hipsométrico e isoyetas. Debido a que en este caso solo se cuenta con una estación representativa a la zona en estudio como se logra observar en la Figura 11, se trabajará con los datos de la estación 88045 San Ignacio 2 del IMN.

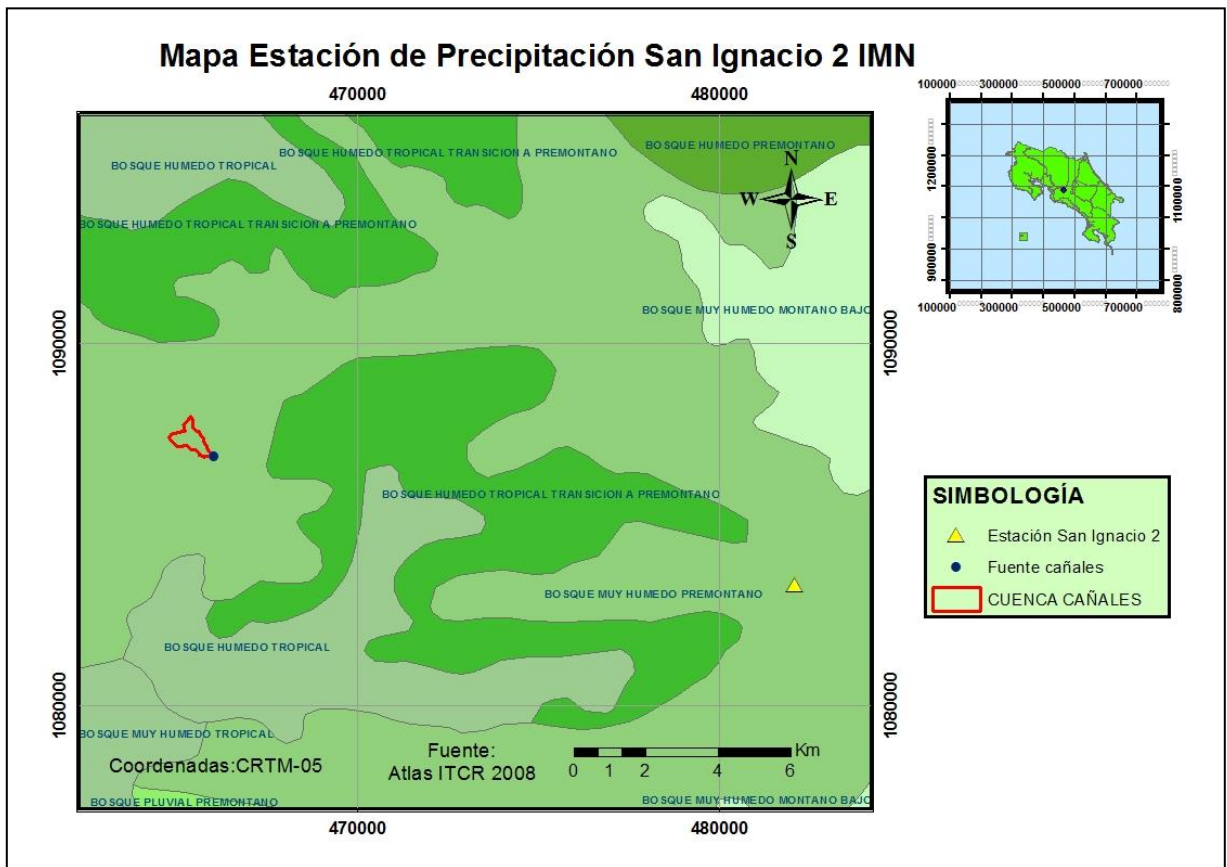


Figura 11. Mapa estación de precipitación 88045 San Ignacio 2.

Fuente: Atlas ITCR 2008.

Como se observa en la figura anterior, la estación 88045 San Ignacio 2, del Instituto Meteorológico Nacional IMN, es la única estación que se encuentra en la misma zona de vida que se encuentra la naciente Cañales. Si bien es cierto, la estación de precipitación 88045 San Ignacio 2 se encuentra a una distancia alejada de la naciente, esta presenta un promedio de precipitación promedio anual dentro del rango característico de la zona de vida donde se encuentra la naciente Cañales.

Cabe destacar, que se te tuvo a acceso a información de un par de estaciones más, que fueron proporcionadas por el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados AyA, pero estas presentan dos limitaciones, primero que el período de registro es bastante corto de apenas de 4 años, y la segunda es que estas estaciones se encuentran alejadas de la naciente Cañales y no se encuentran dentro de la misma zona de vida como se muestra en la iError! No se encuentra el origen de la referencia.

Para el período de estudio en el balance hídrico, se tienen todos los datos completos de la estación en estudio como se muestra en el Cuadro 6.

Cuadro 6. Datos de precipitación media mensual estación 88045 San Ignacio 2 AyA.

DATOS DE PRECIPITACIÓN PROMEDIO MENSUAL ESTACIÓN SAN IGNACIO 2												
Lluvia (mm)												
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1995	0.0	0.0	96.5	183.4	265.9	309.6	220.8	428.6	350.5	544.5	89.0	54.4
1996	37.8	16.4	34.8	15.2	489.4	382.0	368.9	184.2	446.3	218.9	262.7	32.1
1998	0.0	72.5	24.6	49.8	152.8	336.9	281.0	219.5	450.8	534.6	235.1	88.0
1999	3.7	90.1	33.4	167.1	307.2	213.6	78.0	365.2	602.6	300.9	143.2	36.8
2000	0.0	13.0	9.4	35.7	364.6	192.0	68.2	96.2	369.4	257.0	77.1	58.2
2001	20.6	0.1	32.9	100.0	194.8	175.6	130.4	128.3	289.9	305.9	55.9	6.1
2002	8.8	19.8	2.0	7.0	168.5	197.6	223.6	208.9	391.0	378.5	138.3	56.7
2003	0.0	1.5	128.1	131.1	298.0	408.3	81.0	177.5	365.6	392.3	172.5	80.4
2004	5.5	41.6	32.1	23.1	367.8	196.7	163.0	91.4	374.0	274.6	117.5	5.9
2005	19.9	13.4	91.2	23.0	194.6	320.1	198.9	173.9	426.0	674.1	99.9	6.8
2006	0.0	41.5	27.2	21.3	247.6	283.7	299.3	128.3	273.2	310.5	265.0	18.1
2007	9.2	6.3	47.2	154.5	583.9	283.6	232.8	430.2	310.8	670.0	139.0	8.6
2008	0.0	8.2	105.6	118.4	523.6	276.1	345.2	384.0	520.2	424.3	131.5	9.6
2009	0.9	0.0	44.9	6.4	438.9	377.4	48.0	89.4	195.1	324.3	242.6	23.5
2010	2.4	24.4	52.5	345.9	231.4	285.4	319.5	445.1	530.1	250.1	426.2	16.5
2011	16.4	80.6	38.8	134.4	222.9	251.4	219.8	224.8	309.7	703.2	80.5	16.0
2012	0.0	6.7	69.8	165.5	278.9	140.6	72.4	332.2	213.7	352.6	23.9	1.9
2013	0.0	15.6	9.7	117.8	231.9	241.5	86.7	134.8	335.2	414.5	152.3	34.7
2014	15.5	11.1	14.7	103.3	214.6	244.9	31.4	183.1	692.3	373.1	59.3	6.8
2015	0.0	6.8	26.1	35.1	194.3	167.2	118.3	81.4	177.3	321.2	233.9	51.4
2016	7.5	0.3	52.1	87.9	184.0	279.4	53.8	131.1	213.6	255.2	146.1	91.7
2017	2.2	28.1	0.9	158.9	448.9	299.1	267.8	238.0	438.3	472.7	107.3	2.5

Por lo que no se hace necesario el completado de datos para la estación pluviométrica seleccionada. Se señala en el cuadro los datos de precipitación media mensual del año 2017, ya que el balance hídrico se realizó a nivel mensual para este año en específico.

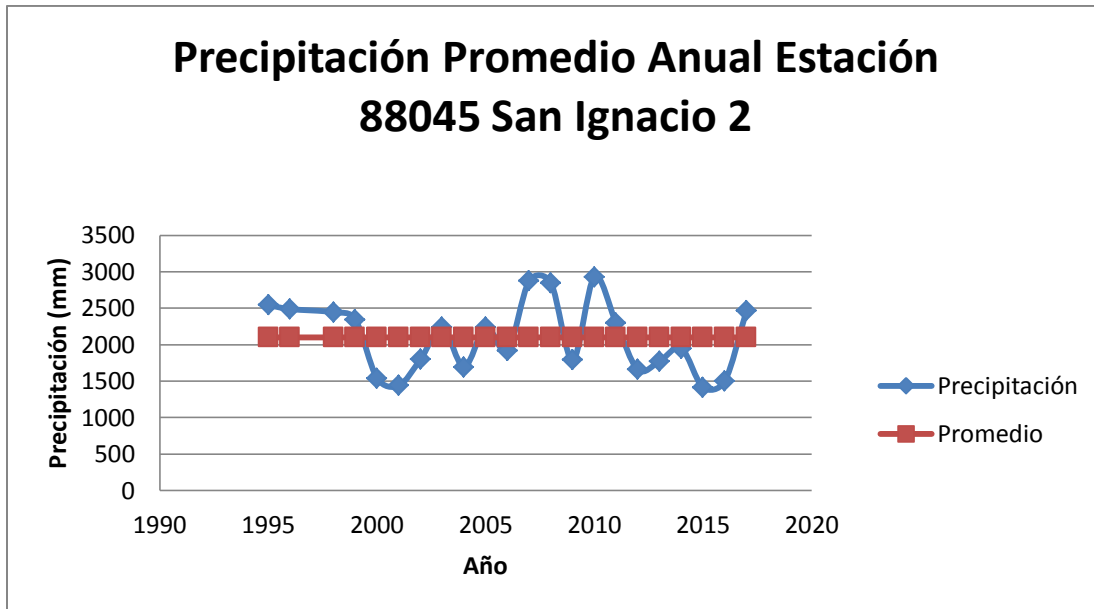


Figura 12. Precipitación promedio anual vs promedio estación 88045 San Ignacio 2.

4.2 Temperatura

Los datos de temperatura necesarios para estimar la evapotranspiración potencial sobre la cuenca, son obtenidos de la medición de temperatura de la estación 88045 San Ignacio 2, los cuales se presentan completos para el período de análisis del balance hídrico. El período de registro de temperatura de la estación 88045 San Ignacio 2, comprende el período desde el año 2005 hasta el año 2017.

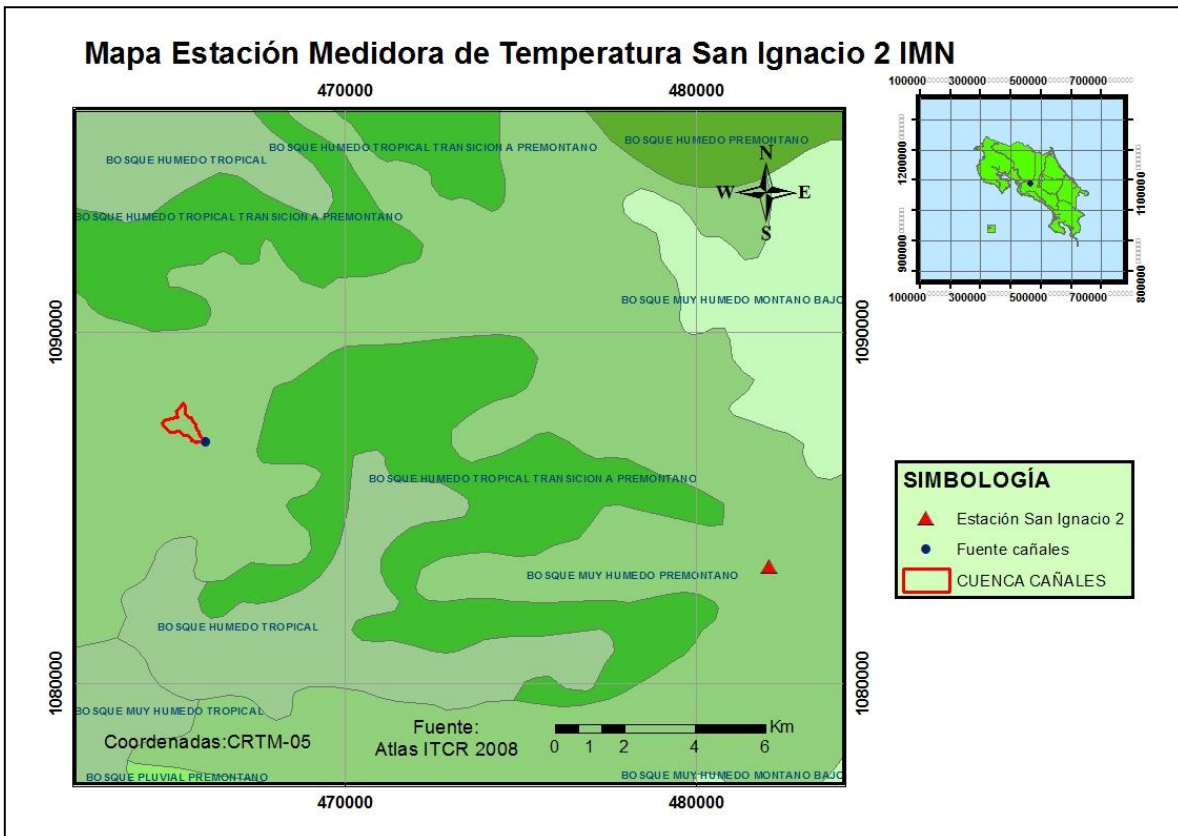


Figura 13. Mapa estación de temperatura 88045 San Ignacio 2.

Fuente: Atlas ITCR 2008.

Cabe destacar que si bien es cierto, la estación medidora de temperatura se encuentra bastante alejada de la cuenca en estudio, se hace una correlación de que la cuenca en estudio presenta la misma biotemperatura, ya que esta se encuentra dentro de la misma zona de vida que la estación medidora de temperatura 88045 San Ignacio 2 del Instituto Meteorológico Nacional IMN.

4.3 Evapotranspiración potencial

La evapotranspiración potencial (EVP), determina las pérdidas de agua desde una superficie de suelo y agua en condiciones definidas y la transpiración de las plantas de la zona. La cuantificación de las pérdidas es indispensable para el cálculo de la capacidad de agua disponible en el suelo. Esta transpiración consiste en un proceso propio de las plantas para obtener sus nutrientes. En este proceso el agua transpirada es reemplazada por agua sustraída del suelo por medio de sus raíces.

La evapotranspiración potencial define un período seco de uno húmedo, cuando el valor de evapotranspiración potencial es menor al de precipitación se le considera húmedo y de lo contrario seco.

Para el cálculo de la evapotranspiración potencial existen diversos métodos, para este trabajo en específico se cuenta con datos de temperatura media, mínima y máxima, por lo que se utilizará el método de Hargreaves y Samani en vez del método de Thornwaite, ya que el método de Hargreaves reproduce valores más cercanos al método de Penman, el cual es uno de los métodos más exactos para el cálculo de la evapotranspiración, pero debido a la escasez de datos no se puede utilizar.

Método de Hargreaves

Este método propuesto por Hargreaves y Samani en 1985, utiliza para calcular la evapotranspiración potencial dos parámetros principales los cuales son datos de temperatura y radiación solar.

La siguiente es la ecuación general:

$$ET_o = 0.0135(T_{med} + 17.78)R_s$$

Donde

ET_o = Evapotranspiración potencial diaria, mm/día.

T_{med} = Temperatura media, en °C.

R_s = Radiación Solar incidente, en mm/día.

La radiación solar incidente, R_s , se evalúa a partir de de la radiación solar extraterrestre (la que llega a la parte exterior de la atmosfera, que sería la que llegaría al suelo si no existiera atmósfera); ésta última aparece según los autores como R_o ó R_a , y se lee en los cuadros en función de la latitud del lugar y del mes. Para efectos de este trabajo se leerá como R_o .

Para la obtención de la radiación solar incidente, (Samani, 2000) propuso la siguiente relación:

$$R_s = R_o K_T \sqrt{T_{m\acute{a}x} - T_{m\acute{i}n}}$$

Donde

R_s = Radiación solar incidente

R_o = Radiación solar extraterrestre

K_T = Coeficiente

$T_{m\acute{a}x}$ = Temperatura máxima

$T_{m\acute{i}n}$ = Temperatura mínima

Los valores de R_o se encuentran en cuadros los cuales se encuentran en función de la latitud y el mes. Los datos de temperatura máxima y mínima son fácil de conseguir, por lo que la dificultad se centra en encontrar el valor de K_T .

El coeficiente K_T , es un coeficiente empírico que se puede calcular a partir de los datos atmosféricos, sin embargo Hargreaves citado en (Samani, 2000), recomienda utilizar un $K_T = 0.162$ para regiones del interior y $K_T = 0.19$ para regiones costeras.

Al sustituir el valor de R_s en la ecuación general, y tomando un valor promedio de $K_T = 0.17$ se obtiene la forma más simplificada y utilizada en la bibliografía, la cual se muestra a continuación:

$$ET_o = 0,023(T_{med} + 17.78)R_o * \pi(T_{max} - T_{min})^{0.5}$$

Donde:

ET_o = Evapotranspiración potencial diaria, mm/día.

T_{med} = Temperatura media diaria, en °C

T_{max} = Temperatura diaria máxima, en °C.

T_{min} = Temperatura diaria mínima, en °C.

R_o = Radiación solar extraterrestre, en mm/día (tabulada).

4.4 Capacidad de agua almacenada

La capacidad de agua almacenada (CAA) es un concepto que representa la cantidad de agua potencial que tiene un suelo dentro de la zona dentro de la zona radicular. Los factores que definen la capacidad para almacenar agua son la textura del suelo y la profundidad de la raíz de la cobertura vegetal. Para definir la CAA primero se le debe de asignar una capacidad de almacenamiento por unidad de volumen que depende de la cantidad de vacíos en el suelo, luego esta es capacidad es multiplicada por la profundidad de raíz para poder obtener la CAA.

Cuadro 7. Valores típicos de capacidad de agua almacenada según Thornthwaite y Mather (1957).

Tipo de Suelo	Capacidad de agua (%) del volumen
Arenoso fino	10
Franco arenoso fino	15
Franco limoso	20
Franco arcilloso	25
Arcilla	30

Según las características de cada suelo la capacidad de agua almacenada se define de la siguiente manera:

Cuadro 8. Valores elegidos de capacidad de agua almacenada para la cuenca delimitada por la naciente Cañales.

Tipo de Suelo	Capacidad de agua (%) del volumen
Ultisoles	25%

La profundidad de raíz es un parámetro que está asociado a cada tipo de vegetación y que depende del tipo de suelo donde se desarrolle naturalmente. El Ministerio de Agricultura y Ganadería MAG ha hecho mapas de la capacidad del uso del suelo en todo el país. Con el fin de clasificar la clase se utiliza un parámetro llamado profundidad efectiva como "el

grosor de las capas del suelo y subsuelo en las cuales las raíces pueden penetrar sin dificultad en busca de agua, nutrientes y sostén. Su límite inferior está definido por capas u horizontes compactos que impiden el desarrollo de las raíces como arcillas muy densas y compactas, horizontes cementados, compactos (panes endurecidos), estratos rocosos o pedregosos continuos, nivel freático asociado con gleización, horizontes con concentraciones tóxicas de algún elemento (Cu, Mn, Na)”. Para finalmente asignar la clase se debe tener en cuenta factores como la zona de vida, pH, pendiente, viento entre otras. Para la zona en estudio, el ingeniero del MAG Diógenes Cubero (citado por Umaña (2007)) recomienda las siguientes profundidades efectivas:

Cuadro 9. Profundidad efectiva según clase de suelo.

Clase del suelo	Profundidad efectiva
IV	Menor a 120 cm

De igual manera para las siguientes coberturas de suelo propone:

Cuadro 10. Profundidad de raíz según cobertura.

Cobertura	Profundidad de raíz (cm)
Pastos	50
Charral y Tacotal	100
Bosque secundario	200
Bosque intermedio	200

4.5 Agua retenida en el suelo

Thornthwaite elaboró relaciones logarítmicas que permiten estimar el agua retenida en el suelo con base en la pérdida potencial de agua almacenada (PPAA). Esta curva depende del CAA.

4.6 Coeficiente de retención

El coeficiente de retención determina el porcentaje de agua que escurre a partir del agua disponible para la escorrentía. Este coeficiente es dependiente de varios factores tales como la profundidad, la textura, fisiografía de la cuenca y del agua disponible para la escorrentía.

Thornthwaite y Mather (1957) proponen un coeficiente de retención del 50% como una aproximación inicial.

Para este análisis, se variaron los coeficientes de retención como método de calibración del balance hídrico en el año 2017 para la zona en estudio. Por un lado se conocen los valores reales de caudal mensual promedio de la naciente Cañales, y por otro lado se tienen los valores mensuales de agua disponible para escurrir que se obtuvieron a partir del balance hídrico.

Teniendo estos dos elementos, se procedió a transformar la cantidad de agua disponible a escurrir que se encuentra en unidades de mm a l/s, para poder realizar una comparación real. Seguidamente se encontró para el mes de enero el coeficiente de retención para obtener el valor de caudal retenido que será el que se infiltrará en el terreno y el resto quede disponible para escorrentía en el siguiente mes sumado con el exceso de precipitación, que en los casos donde haya déficit de precipitación el exceso será tendrá un valor de 0.

4.7 Balance hídrico de la cuenca en estudio

Para la realización del balance hídrico se introducen los siguientes parámetros calculados para la cuenca en estudio.

- Precipitación media mensual para el año 2017 según los datos ofrecidos por la estación 88045 San Ignacio 2.
- Evapotranspiración potencial calculada para cada mes del año 2017 con los datos de temperatura mínima, media y máxima ofrecidos por la estación 88045 San Ignacio 2.
- Capacidad de agua almacenada

A continuación se muestra los caudales obtenidos por medio del balance hídrico para la cuenca cañales.

Cuadro 11. Balance hídrico para la naciente Cañales

AÑO 2017												
Parámetro (mm)	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SETIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
Precipitación (P)	2.2	28.1	0.9	158.9	448.9	299.1	267.8	238.0	438.3	472.7	107.3	2.5
Evapotranspiración (EPT)	114.21	124.62	153.15	144.39	124.78	117.01	129.78	126.83	120.52	119.60	100.88	115.17
P-EPT	-112.01	-96.52	-152.25	14.51	324.12	182.09	138.0	111.2	317.8	353.1	6.4	-112.7
Pérdida de agua acumulada (mm)	-125.19	-221.71	-373.96	0.00	0.00	0.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-112.7
Reserva	106.95	66.01	30.83	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	113.86
Variación en la reserva	-80.29	-40.94	-35.18	169.17	0.00	0.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-86.1
Disponible para evapotranspirar	82.49	69.04	36.08	144.39	124.78	117.01	129.8	126.8	120.5	119.6	100.9	88.6
Déficit	31.72	55.58	117.07	0.00	0.00	0.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	26.5
Exceso	0.00	0.00	0.00	0.00	324.12	182.09	138.0	111.2	317.8	353.1	6.4	0.0
Disponible para escurrir	92.60	55.56	50.00	45.00	351.12	227.74	190.4	166.4	375.3	411.3	88.7	79.8
Escurrimiento	37.04	5.56	5.00	18.00	305.47	175.36	135.18	108.82	317.17	329.02	8.87	23.94
Detención	55.56	50.0	45.0	27.0	45.6	52.4	55.2	57.6	58.2	82.3	79.8	55.9

Cuadro 12. Caudales sintéticos para la cuenca en estudio año 2017.

Caudal promedio estimado (l/s)												
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2017	11.73	10.55	9.50	5.70	9.63	11.06	11.65	12.15	12.28	17.36	16.84	11.79

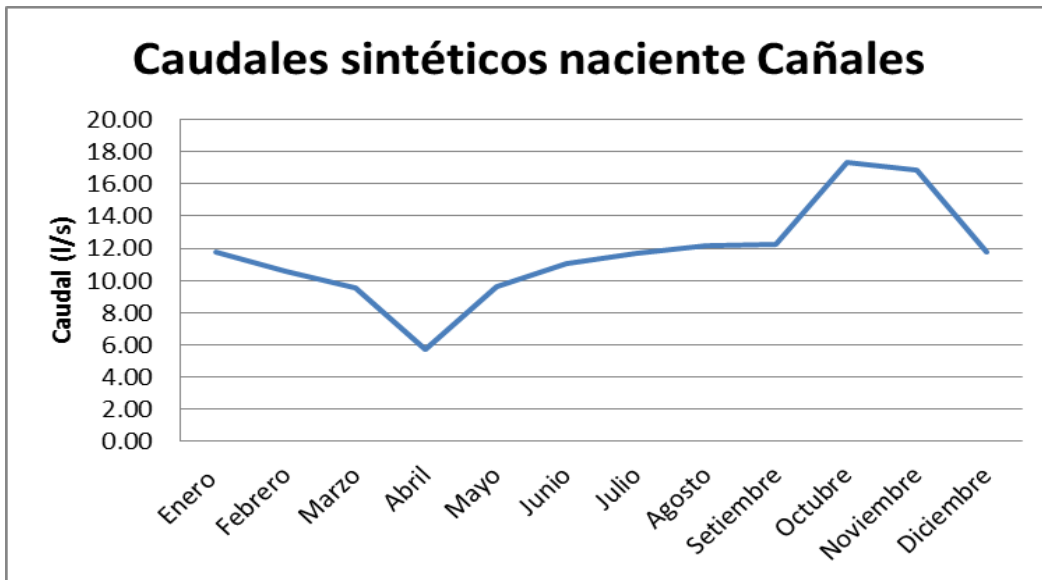


Figura 14. Caudales sintéticos naciente Cañales.

A continuación, se muestra el período de recesión del manantial para los meses de enero febrero marzo y abril, y se comparan con los datos de caudales aportados por el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados AyA.

4.8 Análisis de períodos de recesión

El balance hídrico se realizó sobre la fuente Cañales, la cual aporta un 15 % de caudal al subsistema Santiago. La parte más importante del balance hídrico se centra en pronosticar el caudal y ver la recesión del manantial de dicha fuente con el objetivo de calcular el agotamiento de caudal en la fuente. Para realizar esto se analizó el período de la época seca para obtener la constante de recesión y así comparar con la constante de recesión del Río Candelaria, el cual desagua la gran cuenca donde se encuentra la fuente cañales.

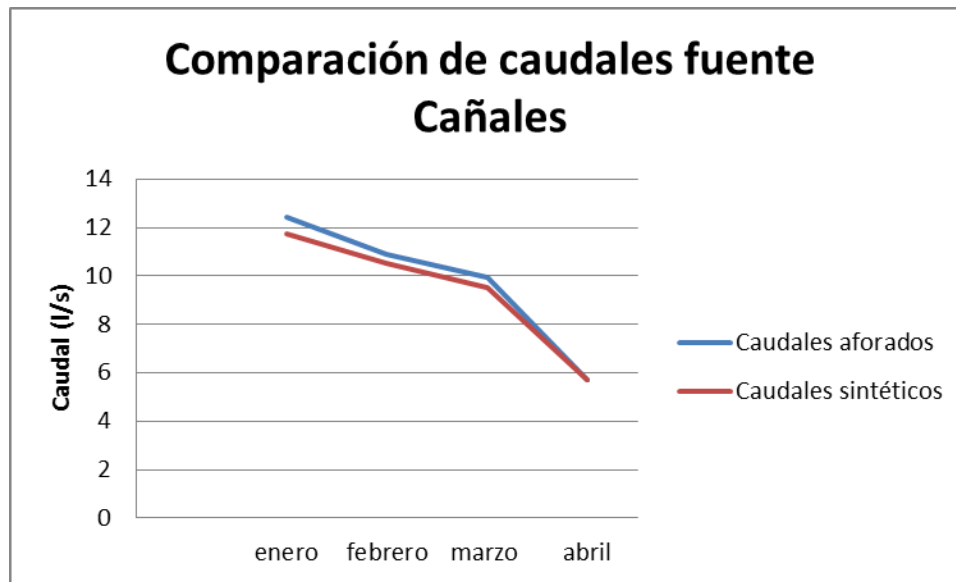


Figura 15. Comparación de caudales sintéticos contra caudales aforados en la naciente Cañales para el año 2017.

Del gráfico anterior se puede deducir que el manantial para el año 2017 tuvo dos períodos de recesión distintos, donde el período más marcado se presenta de marzo a abril, que corresponde al período más seco y el manantial presenta un decaimiento más marcado. Se realizó una comparación donde se obtuvo la constante de recesión primero para el período que comprende de enero a febrero, y luego para el período que comprende de marzo a abril. A continuación se presentan los resultados obtenidos de dicho análisis.

Cuadro 13. Cálculo de constante de recesión de la naciente Cañales para la época seca del año 2017.

Período	Q-inicial	Q-final	T(días)	k
Enero-Marzo	11.73	9.5	60	0.99425
Marzo-Abril	9.5	5.7	30	0.98312

Según los datos calculados de la constante de recesión del Río Grande de Candelaria mostrados en la Figura 16, la constante de recesión para años secos es de 0.983, y se observa que para el período que comprende de marzo a abril del año 2017, se obtiene un valor muy similar a esta constante, por lo que se concluye que para el año 2017, el manantial se agota de manera algo similar al caudal del Río Grande de Candelaria durante la época seca.

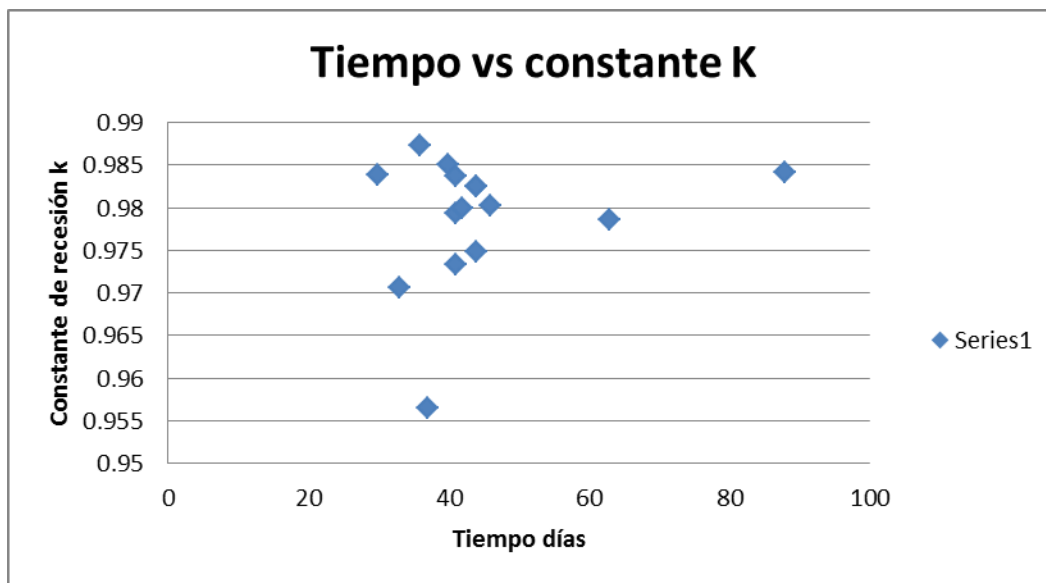


Figura 16. Tiempo en días vs constante de recesión.

Cuadro 14. Histograma de frecuencia de valores para constante de recesión del río Grande de Candelaria.

HISTOGRAMA DE FRECUENCIAS CONSTANTES DE RECESIÓN			
Intervalo	Frecuencia absoluta	Marcas de clase	Frecuencia acumulada
0.95-0.96	1	0.955	1
0.96-0.97	0	0.965	1
0.97-0.975	3	0.9725	4
0.975-0.98	3	0.9775	7
0.98-0.985	6	0.9825	13
0.985-0.99	2	0.9875	15

CAPITULO 5. PROYECCIÓN DE PRODUCCIÓN Y DEMANDA DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO.

Este capítulo se concentrará en la obtención de la demanda de agua potable y la oferta del recurso hídrico para tal fin en la ciudad de Santiago de Puriscal, a partir del balance hídrico realizado a la naciente Cañales y extrapolando los resultados obtenidos a las demás nacientes que aportan al sistema de distribución de Puriscal.

5.1 Descripción del sistema de distribución de Puriscal

El sistema de distribución de agua potable, está ubicado, en su mayoría, en el cantón de Puriscal y una parte en el cantón de Mora. Actualmente este sistema provee de agua potable a una población estimada de 27771 habitantes de la zona según datos suministrados por el Instituto de Acueductos y Alcantarillados A y A.

El sistema de Puriscal se compone de 9 subsistemas, los cuales se concentran mayoritariamente en el sector noreste del cantón, con un subsistema al suroeste y parte de un subsistema al suroeste del cantón de Mora, como se mencionó anteriormente. A continuación se enlistan los subsistemas que componen el sistema de Puriscal:

- Santiago.
- Mercedes Norte.
- Alto La Legua.
- La Fila de Mora.
- Barbacoas.
- San Antonio.
- Piedades.
- La Gloria.
- San Gabriel.

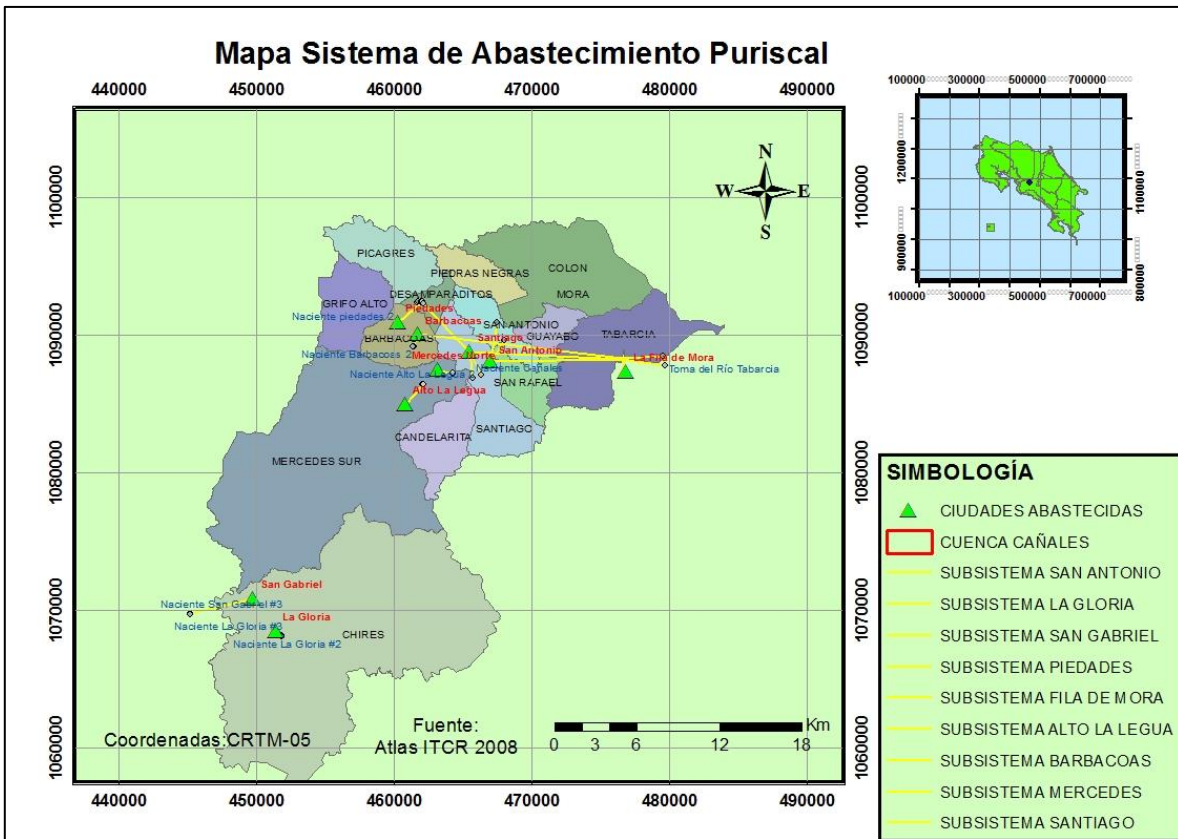


Figura 17. Mapa sistema de abastecimiento de agua potable Puriscal.

Nota: Se hace la aclaración de que las líneas que unen en el mapa las nacientes con las ciudades no representan el trazado real de las tuberías, sino que son una manera representar la conexión de las nacientes con los centros de población abastecidos.

5.2 Vulnerabilidad del sistema.

El Instituto de Acueductos y Alcantarillados A y A, se ha visto en la necesidad de realizar estudios técnicos al sistema de distribución del agua potable de la zona en estudio, esto con el fin de identificar los problemas que posee dicho sistema y cuantificar los riesgos a los cuales se encuentra expuesto a saber geológicos, climáticos, hidrológicos entre otros.

En el año 2010, ante la necesidad de evaluar la capacidad de abastecimiento del sistema, el ingeniero Jorge Merizalde Dobles del departamento de desarrollo físico del AyA, desarrolla y presenta el informe: *"Evaluación de la capacidad hidráulica del Acueducto de San Antonio de Puriscal"*, donde se concluye que los acueductos que componen el

Sistema de Santiago de Puriscal son dependientes entre ellos, entonces al aumentarse el consumo en uno afecta la disponibilidad de los otros.

5.3 Demanda de agua potable

Se concentraron esfuerzos en estudiar la demanda de agua potable para el distrito de Santiago, ya que la fuente Cañales alimenta en parte a esta población y es la fuente estudiada. Sin embargo, con los datos de producción y aforos de todas las nacientes que componen el sistema de acueducto del cantón de Puriscal para el año 2018, brindados por el Instituto de Acueductos y Alcantarillados AyA los cuales se muestran en Cuadro 15 se realizaron proyecciones de población y además se calculó la demanda.

Con base en registros históricos brindados por el Instituto de Acueductos y Alcantarillados AyA, de catastro de los usuarios pertenecientes a las poblaciones de todos los subsistemas del cantón de Puriscal, se realizan proyecciones de crecimiento de la población, para diferentes escenarios futuros: 2020, 2025, 2030, 2035 y 2040. Se utilizó el método aritmético para realizar las estimaciones de la población proyectada para el período en estudio, ya que como se muestra en la Figura 18 este sigue una tendencia lineal. Además, se utilizó un factor de hacinamiento de 3.40 Habitante/Servicio según el censo del año 2011. Los resultados de estas proyecciones se muestran a continuación.

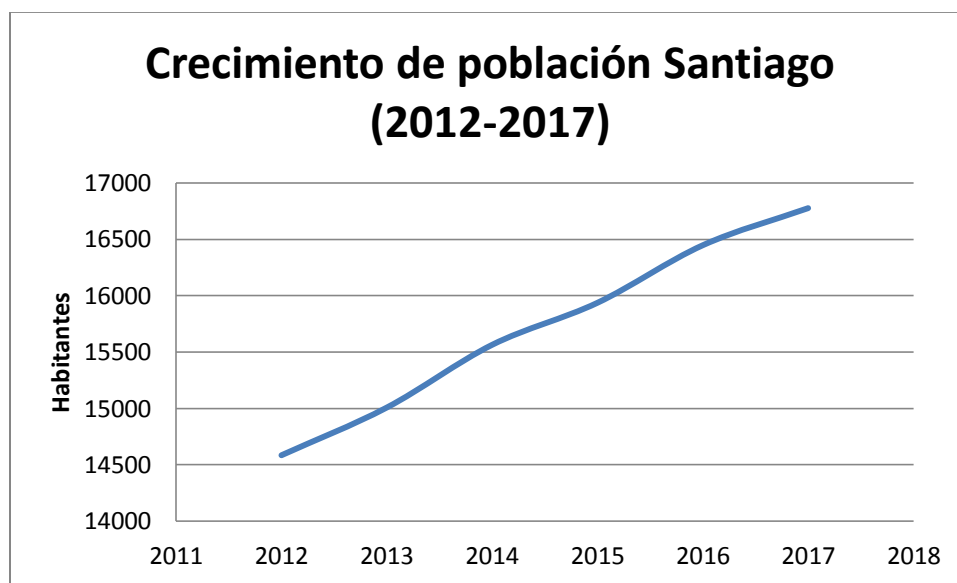


Figura 18. Crecimiento poblacional en la ciudad de Santiago de Puriscal desde el año 2012 al año 2017.

Cuadro 15. Datos de producción y aforos de nacientes que componen los distintos subsistemas del acueducto del cantón de Puriscal.

SUBSISTEMA	FUENTE	TIPO	PRODUCCIÓN NETA 2018 (L/S)											
			ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SETIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
Santiago	Ríos Tabarcia y Negro	Superficial	56.74	60.97	64.71	53.15	46.35	45.19	37.97	29.97	32.76	36.96	40.2	40.72
	Naciente Cañales	Naciente	13.04	9.82	8.79	5.2	10.08	4.39	12.21	12.62	12.14	12.24	12.01	14.16
	Naciente Cañalitos	Naciente	5.25	5.2	2.5	2.28	2.8	8.07	4.5	2.3	5.12	5.6	5.25	3.68
	Nacientes Desamparaditos	Naciente	7.62	8.09	7.86	7.86	7.86	7.86	7.86	7.86	7.86	7.86	7.86	7.86
Mercedes	Nacientes Garita	Naciente	3.89	3.74	4.16	2.71	3.92	3.5	2.81	2.99	2.88	4.43	4.29	3.89
Alto la Legua	Nacientes Alto la Legua	Naciente	2.19	1.98	2.19	2.04	2.04	2.15	2.22	2.29	2.28	2.39	2.7	1.77
Fila de mora	Nacientes Fila de Mora	Naciente	4	3.43	3.5	3.23	3.28	3.4	3.42	3.45	3.55	4.09	3.99	3.88
	Ríos Tabarcia y Negro	Superficial	0.81	0.83	0.96	0.95	0.92	0.86	0.9	0.93	0.73	0.68	0.65	0.66
Barbacoas	Nacientes Barbacoas	Naciente	3.81	3.43	3.81	3.68	3.68	3.68	3.68	3.68	3.68	3.68	3.68	3.68
	Nacientes Desamparaditos	Naciente	3.76	3.51	3.67	3.68	3.68	3.68	3.68	3.68	3.68	3.68	3.68	3.68
San Antonio	Nacientes San Antonio	Naciente	6.36	5.85	7.01	7.1	5.89	5.49	6.42	6.79	7.43	6.6	6.05	5.52
	Ríos Tabarcia y Negro	Superficial	4.86	4.51	3.84	3.84	4.59	5.68	5.71	4.77	5.65	8.36	6.47	6.44
Piedades	Nacientes Piedades	Naciente	0.58	0.61	0.48	1.94	1.5	1.81	1.73	1.88	1.62	2.54	1.28	0.94
	Nacientes Desamparaditos	Naciente	3.03	3.17	3.26	3.76	3.68	3.24	3.32	3.17	2.99	2.44	2.23	3.81
La Gloria	Nacientes La Gloria	Naciente	1.28	0.97	1.02	0.81	0.85	0.87	1.03	1.24	1.07	1.3	1.32	1.08
San Gabriel	Nacientes San Gabriel	Naciente	0.15	0.53	0.5	0.45	0.37	0.29	0.31	0.29	0.31	0.29	0.28	0.33

Cuadro 16. Cantidad de servicios y población para el subsistema Santiago.

Año	Servicios	Población
2012	4290	14585
2013	4414	15008
2014	4578	15564
2015	4687	15937
2016	4837	16447
2017	4934	16776

Fuente: Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados AyA.

Cuadro 17. Cálculo de proyecciones de servicios por el método aritmético para el subsistema Santiago.

Pci	k	2020	2025	2030	2035	2040	2050
2012	128.8	5320	5964	6608	7252	7896	9184
2013	130	5324	5974	6624	7274	7924	9224
2014	118.7	5290	5883	6477	7070	7663	8850
2015	123.5	5305	5922	6540	7157	7775	9010
2016	97	5225	5710	6195	6680	7165	8135
Promedio		5292.78	5891	6489	7087	7685	8881

Cuadro 18. Proyecciones de población para el subsistema Santiago por medio del método aritmético.

SUBSISTEMA	PROYECCIÓN DE POBLACIÓN				
	2020	2025	2030	2035	2040
SANTIAGO	17996	20029	22062	24095	26128

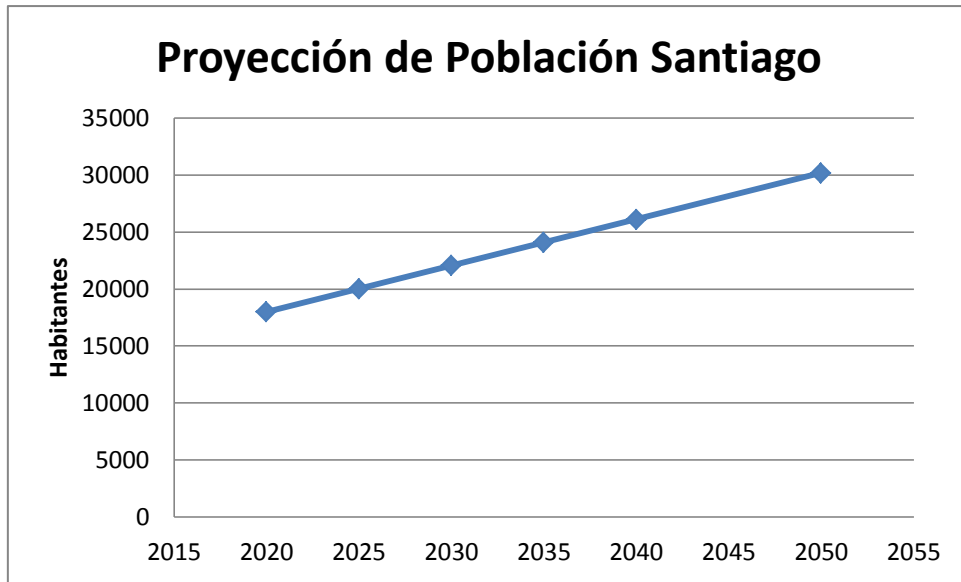


Figura 19. Proyección de población hasta el año 2040 para el subsistema Santiago por medio del método aritmético.

5.4 Estimación de los caudales de demanda

Para la estimación de los caudales de demanda, se parte de los datos de agua no contabilizada, brindados por el Instituto de Acueductos y Alcantarillados A y A, para los escenarios proyectados a futuro. A continuación se muestran las magnitudes de caudal que requerirá el subsistema Santiago para poder abastecer a futuro la población.

Cuadro 19. Proyección de caudal a partir de las proyecciones de población, dotación y porcentaje de agua no contabilizada para los subsistemas del cantón de Puriscal.

SUBSISTEMA	ANC (%)	DOTACIÓN (l/p/día)	PROYECCIÓN DE CAUDAL DE DEMANDA				
			2020	2025	2030	2035	2040
SANTIAGO	42.1	312	64.98	72.33	79.67	87.01	94.35
MERCEDES	77	578	0.67	0.77	0.86	0.96	1.06
ALTO LA LEGUA	49.3	298	1.50	1.57	1.64	1.71	1.78
FILA DE MORA	34.2	229	6.39	7.11	7.84	8.56	9.28
BARBACOAS	51.6	344	8.86	9.86	10.87	11.87	12.88
SAN ANTONIO	28.6	231	11.76	13.09	14.42	15.75	17.07
PIEDES	63.4	360.6	4.39	4.88	5.38	5.88	6.38
LA GLORIA	45	227	1.05	1.16	1.27	1.38	1.49
SAN GABRIEL	45	242	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44

Fuente: Instituto de Acueductos y Alcantarillados AyA.

5.6 Estimación de la oferta de caudal para el subsistema Santiago

De acuerdo al balance hídrico realizado en el capítulo anterior para la naciente Cañales, y tomando en cuenta los resultados obtenidos de la constante de recesión del agotamiento del manantial, se procedió a estimar los caudales de oferta para las nacientes Cañales, Cañalitos y además las tomas superficiales de los ríos Tabarcia y Negro, las cuales se encuentran dentro de la cuenca hidrográfica del Río Candelaria. Cabe destacar que no se analizó la naciente Desamparaditos la cual abastece el subsistema de Santiago de Puriscal, ya que esta no se encuentra dentro de la cuenca del Río Candelaria la cual fue analizada en este trabajo.

En el apartado anterior, se obtuvo la constante de recesión para la naciente Cañales y además, se obtuvo la constante de recesión del Río Candelaria, donde se concluyó que el manantial de la naciente Cañales, se agota de manera similar al agotamiento del caudal del Río que drena la cuenca hidrográfica a la cual pertenece dicha naciente, por lo que se procedió a calcular la constante de recesión de la naciente Cañalitos según los datos de producción brindados por el Instituto de Acueductos y Alcantarillados AyA para el año 2018. Además, utilizando el dato de caudal de abril de 2018 para las de los Ríos Tabarcia y Negro y la constante de recesión del Río Candelaria, se calculó la recesión de caudal de enero a abril de ambos Ríos. Se partió del supuesto que el dato de caudal abril fue el mayor que se tomó de la fuente superficial, ya que las nacientes en este mes presentan los caudales más bajos, por lo que se partió de este dato de caudal para con ello calcular los datos de caudal de los meses de enero, febrero y marzo, los resultados se muestran en la Figura 23 y el Cuadro 20.

Cuadro 20. Caudales de Toma Ríos Negro y Tabarcia para el año 2018.

TOMA RÍOS NEGRO Y TABARCIA	
Mes	Caudal (l/s)
Enero	271.12
Febrero	167.75
Marzo	98.59
Abril	57.94

Cuadro 21. Cálculo de Caudal al inicio de la época seca para lo toma de los ríos Negro y Tabarcia por medio de la constante de recesión del Río Candelaria.

TOMA RÍO NEGRO Y TABARCIA	
Qf	57.94
T	90
k	0.983
Qi	271.12

Seguidamente se calculó la constante de recesión de la naciente Cañalitos, la cual se encuentra dentro de la cuenca hidrográfica del Río Candelaria, esto para verificar si el agotamiento de la naciente sigue el mismo patrón del agotamiento del Río. A continuación se muestran los resultados obtenidos.

Cuadro 22. Caudales Naciente Cañalitos para el año 2018.

NACIENTE CAÑALITOS	
MES	CAUDAL (L/S)
Enero	5.25
Febrero	5.2
Marzo	2.5
Abril	2.28

Cuadro 23. Cálculo de constante de recesión de la naciente Cañalitos en el año 2018.

NACIENTE CAÑALITOS	
Qi (l/s)	5.2
Qf (l/s)	2.28
T (días)	59
k	0.985

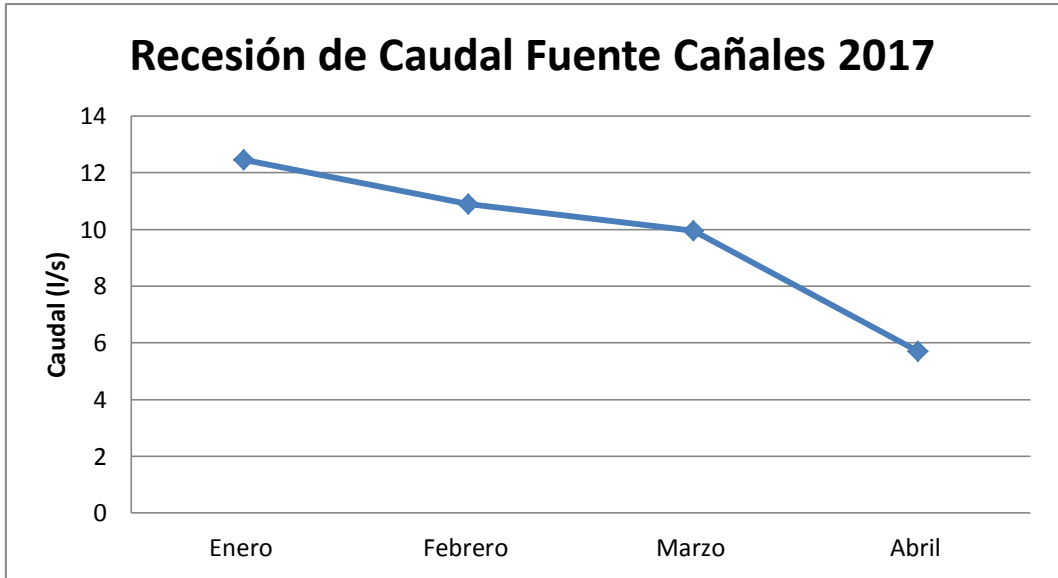


Figura 20. Recesión de caudal fuente Cañales para la época seca del año 2017.

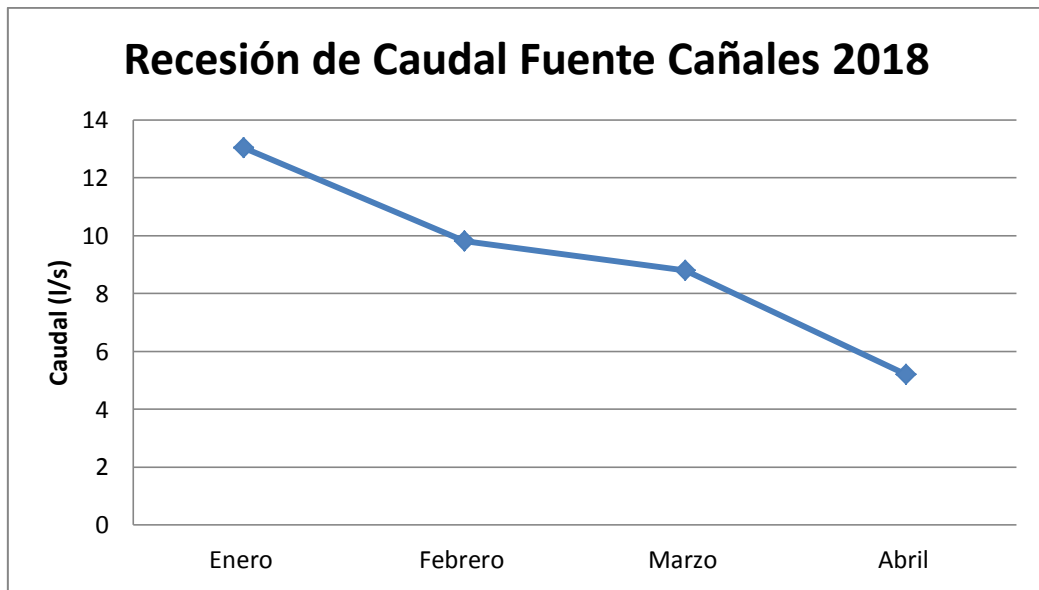


Figura 21. Recesión de caudal fuente Cañales para la época seca del año 2018.

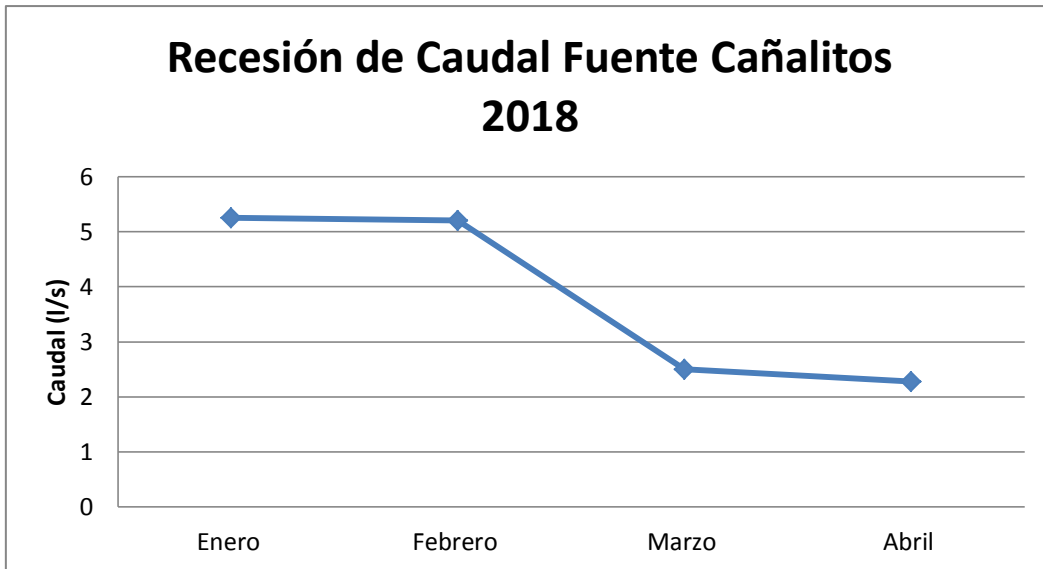


Figura 22. Recesión de caudal fuente Cañalitos para la época seca del año 2018.

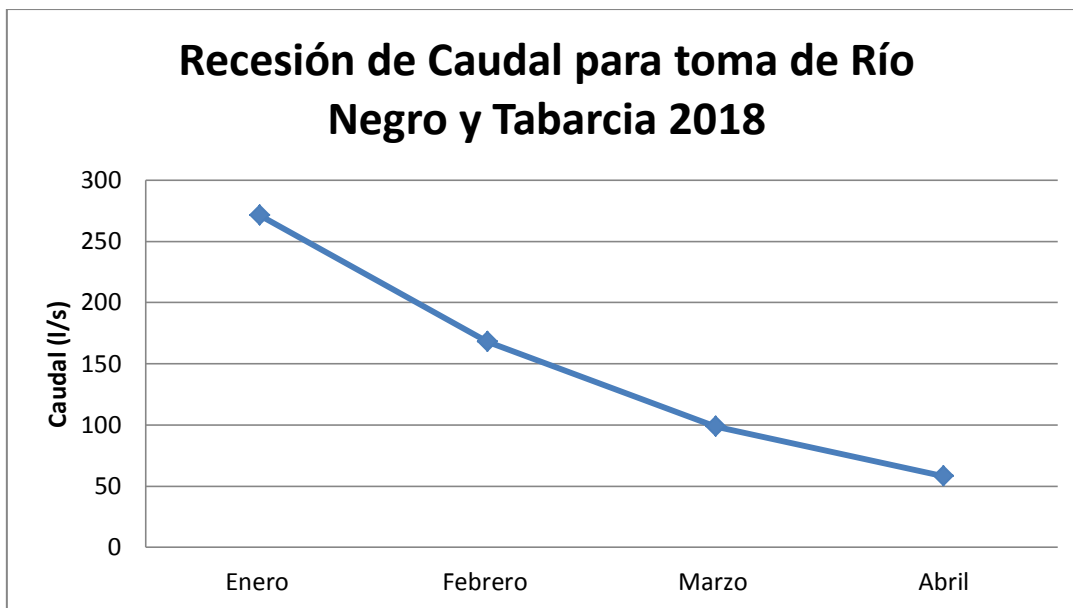


Figura 23. Recesión de caudal toma de Río Tabarcia y Negro para la época seca del año 2018.

5.7 Comparación de producción contra demanda

Seguidamente, se compararon la suma de producción de caudal de las nacientes Cañales, Cañalitos y la toma de los ríos Negro y Tabarcia, según las proyecciones calculadas por medio del método aritmético para los años 2020, 2025, 2030, 2035 y 2040.

Se realizaron las comparaciones para los meses de la época seca, que es donde se presenta la situación más crítica. A continuación se presentan los resultados obtenidos.

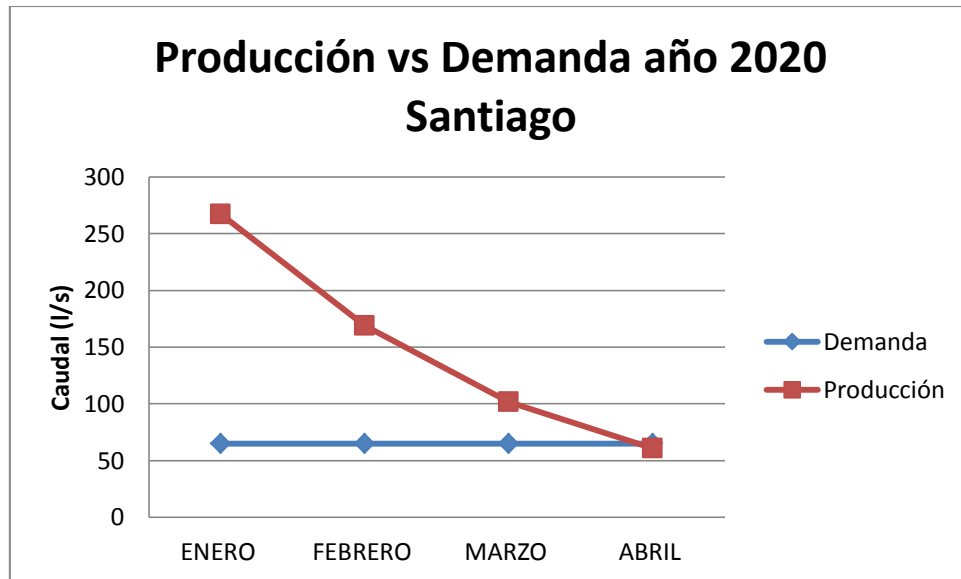


Figura 24. Gráfico producción vs demanda en el año 2020 para el subsistema Santiago. Dotación 312 l/p/día

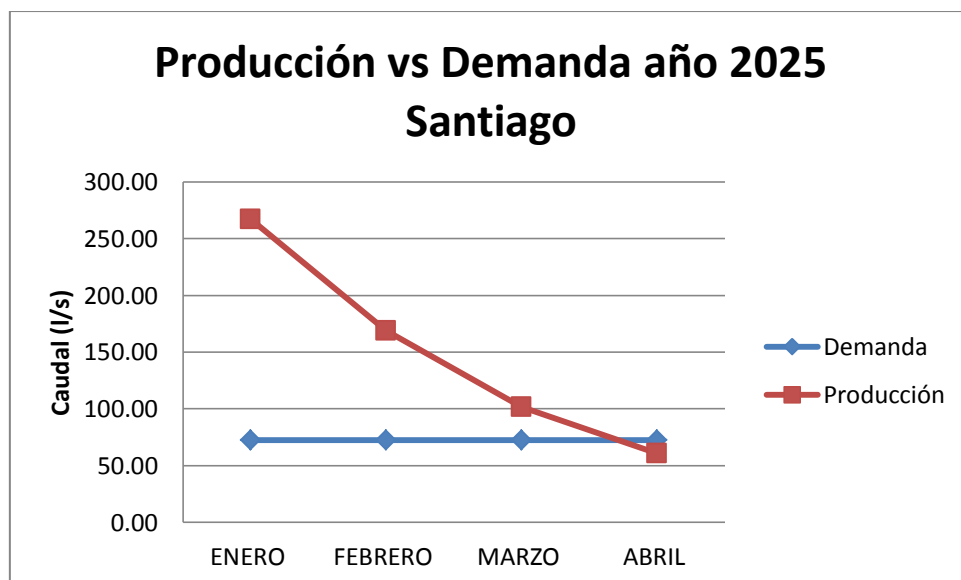


Figura 25. Gráfico producción vs demanda en el año 2025 para el subsistema Santiago. Dotación 312 l/p/día.

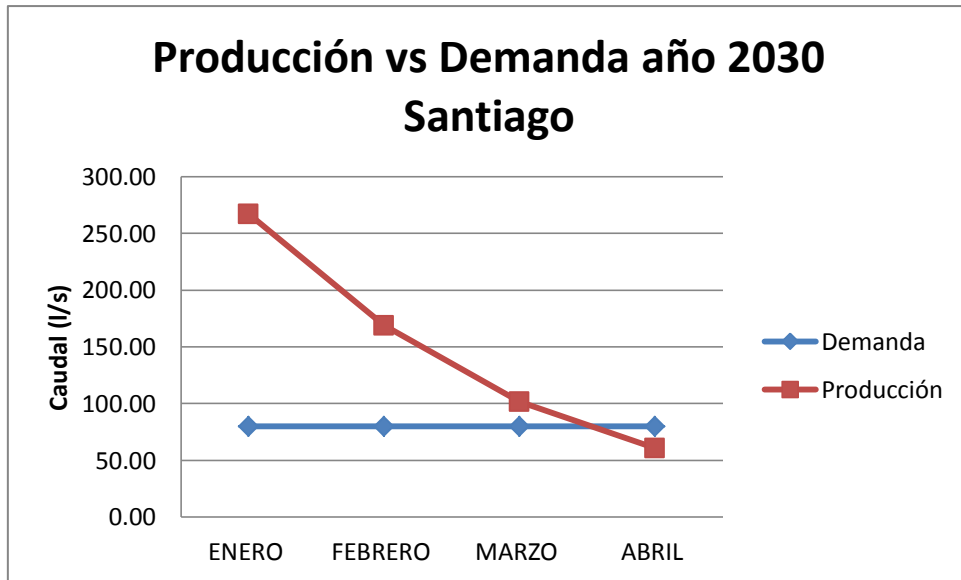


Figura 26. Gráfico producción vs demanda en el año 2030 para el subsistema Santiago. Dotación 312 l/p/día.

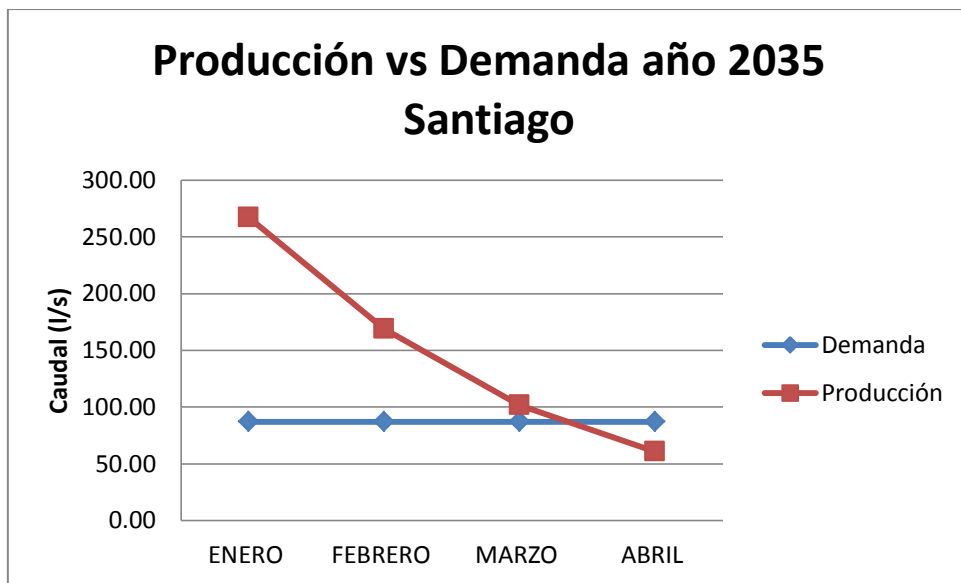


Figura 27. Gráfico producción vs demanda en el año 2035 para el subsistema Santiago. Dotación 312 l/p/día.

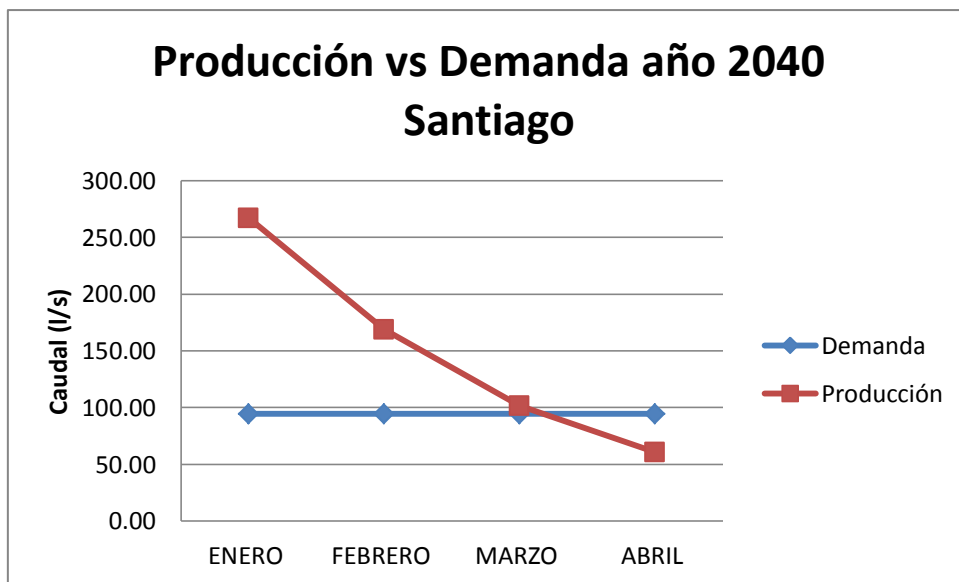


Figura 28. Gráfico producción vs demanda en el año 2040 para el subsistema Santiago. Dotación 312 l/p/día.

Seguidamente, se propuso disminuir el valor de la dotación de agua potable a 200 l/p/día para todos los subsistemas que componen el acueducto de Puriscal y realizar las proyecciones de demanda de caudal los cuales se muestran en el Cuadro 27. Esto supone realizar un esfuerzo por reducir el porcentaje de pérdida de agua no contabilizada a un 20%. Para realizar esto se debe de invertir en el acueducto, tanto en mejorar la infraestructura como en la administración eficaz del mismo. A continuación se presentan los resultados obtenidos.

Cuadro 24. Proyección de caudal a partir de las proyecciones de población y una dotación de 200 l/p/d, para el subsistema Santiago.

SUBSISTEMA	ANC(%)	DOTACIÓN (L/P/DÍA)	PROYECCIÓN DE CAUDAL DE DEMANDA				
			2020	2025	2030	2035	2040
SANTIAGO	20	200	41.66	46.36	51.07	55.77	60.48

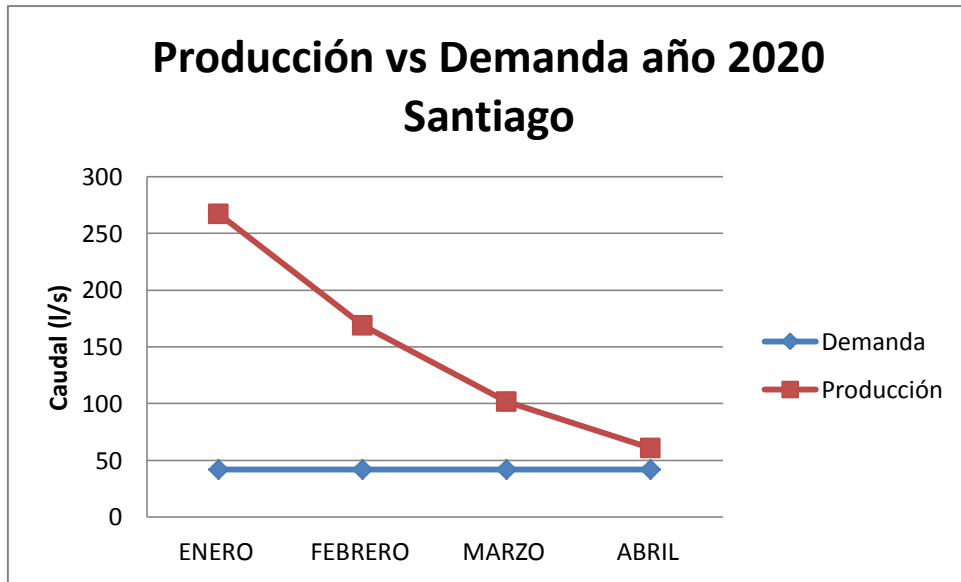


Figura 29. Gráfico producción vs demanda en el año 2020 para el subsistema Santiago. Dotación 200 l/p/día.

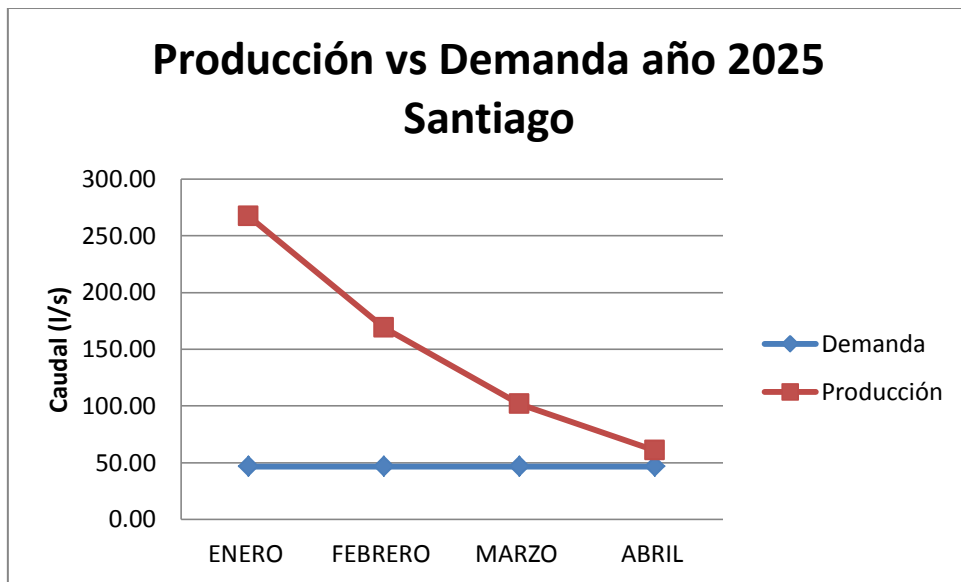


Figura 30. Gráfico producción vs demanda en el año 2025 para el subsistema Santiago. Dotación 200 l/p/día.

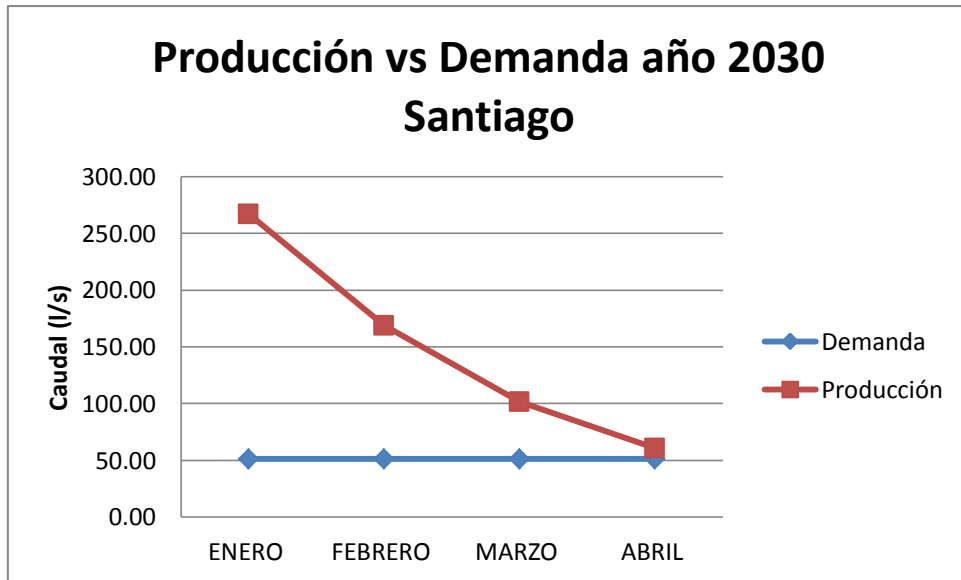


Figura 31. Gráfico producción vs demanda en el año 2030 para el subsistema Santiago. Dotación 200 l/p/día.

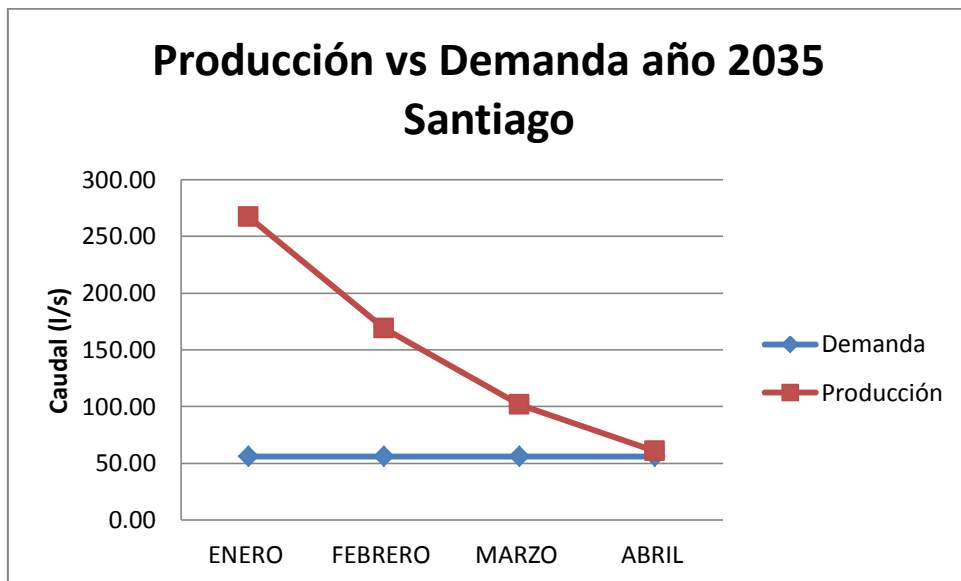


Figura 32. Gráfico producción vs demanda en el año 2035 para el subsistema Santiago. Dotación 200 l/p/día.

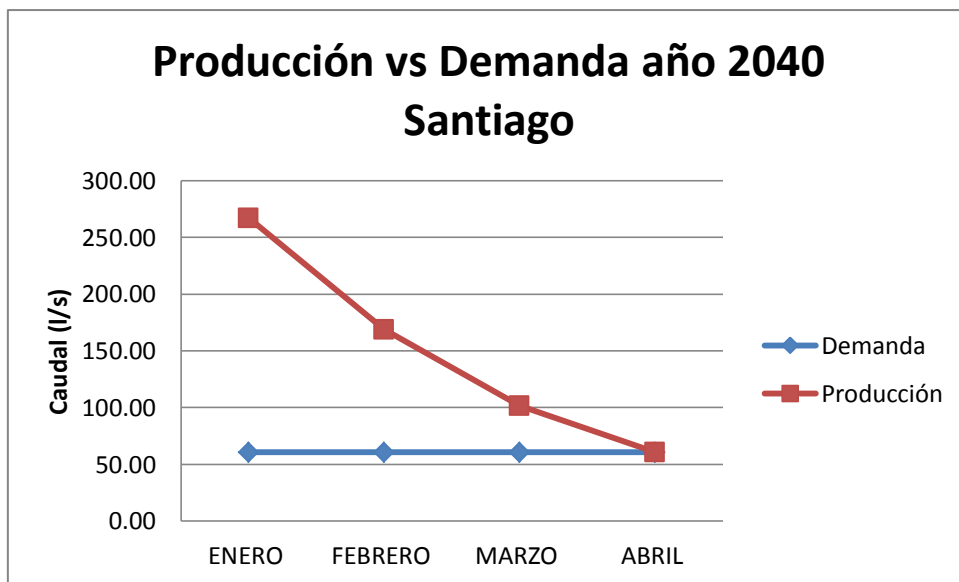


Figura 33. Gráfico producción vs demanda en el año 2040 para el subsistema Santiago. Dotación 200 l/p/día.

Cuadro 25. Resultados de producción y demanda de agua potable para una dotación de 312 l/p/día para diferentes años.

MES	AÑO									
	2020		2025		2030		2035		2040	
	OFERTA	DEMANDA	OFERTA	DEMANDA	OFERTA	DEMANDA	OFERTA	DEMANDA	OFERTA	DEMANDA
ENERO	267	64.98	267	72.33	267	79.67	267	87.01	267	94.35
FEBRERO	168.90	64.98	168.90	72.33	168.90	79.67	168.90	87.01	168.90	94.35
MARZO	101.73	64.98	101.73	72.33	101.73	79.67	101.73	87.01	101.73	94.35
ABRIL	60.63	64.98	60.63	72.33	60.63	79.67	60.63	87.01	60.63	94.35

Cuadro 26. Resultados de producción y demanda de agua potable para una dotación de 200 l/p/día para diferentes años.

MES	AÑO									
	2020		2025		2030		2035		2040	
	OFERTA	DEMANDA	OFERTA	DEMANDA	OFERTA	DEMANDA	OFERTA	DEMANDA	OFERTA	DEMANDA
ENERO	267	41.66	267	46.36	267	51.07	267	55.77	267	60.48
FEBRERO	168.90	41.66	168.90	46.36	168.90	51.07	168.90	55.77	168.90	60.48
MARZO	101.73	41.66	101.73	46.36	101.73	51.07	101.73	55.77	101.73	60.48
ABRIL	60.63	41.66	60.63	46.36	60.63	51.07	60.63	55.77	60.63	60.48

CAPITULO 6. ANÁLISIS DE RESULTADOS

6.1 Cuenca en estudio

El balance hídrico se realizó sobre el área de drenaje delimitada por la naciente Cañales, que aporta su caudal al subsistema de Santiago. Según los datos obtenidos, el área de la cuenca es de 0.574 km², con pendientes altas las cuales oscilan en el rango entre de 30% y 60%, con suelos de orden Ultisoles, los cuales presentan buen drenaje. La cuenca en estudio, según el atlas del Instituto Tecnológico de Costa Rica del año 2008 presenta un uso de suelo de pastos y pastos y agricultura, lo cual demuestra un manejo inadecuado en cuanto a la planificación de desarrollo por parte del gobierno local, el cual ha permitido que se den este tipo de actividades en posibles zonas de recarga acuífera. A continuación se muestra una serie de imágenes satelitales de la fuente en estudio desde el año 2003 hasta la actualidad.



Figura 34. Imagen satelital naciente Cañales

Fuente: Google earth, 2019.

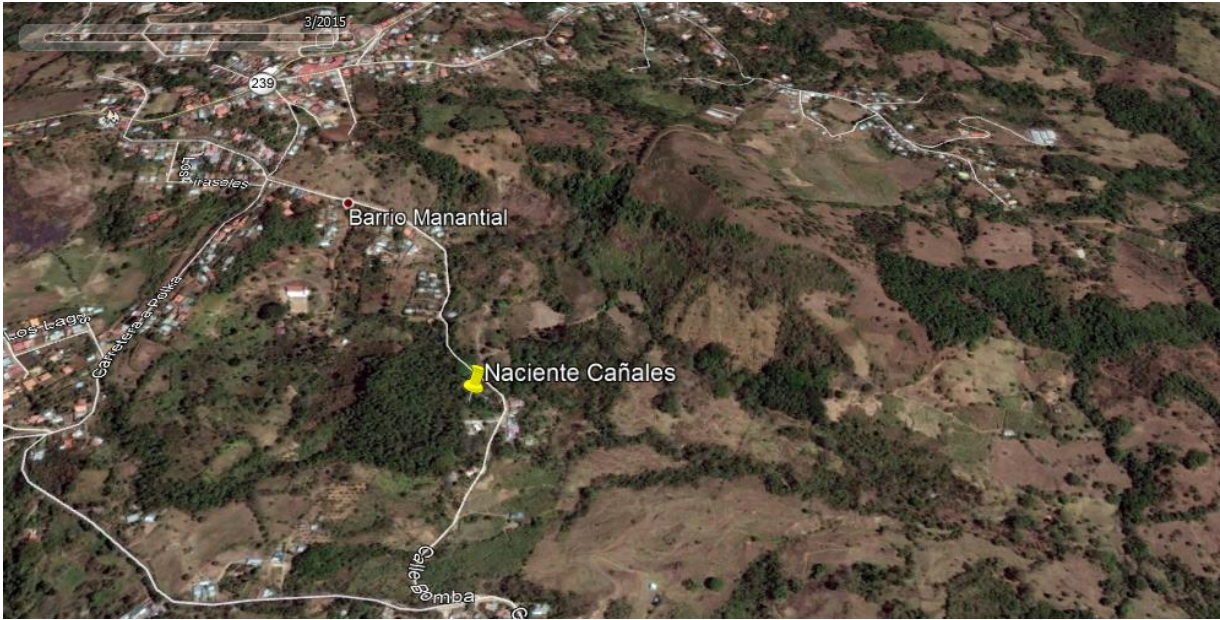


Figura 37. Imagen satelital naciente Cañales año 2015.

Fuente: Google earth, 2019.

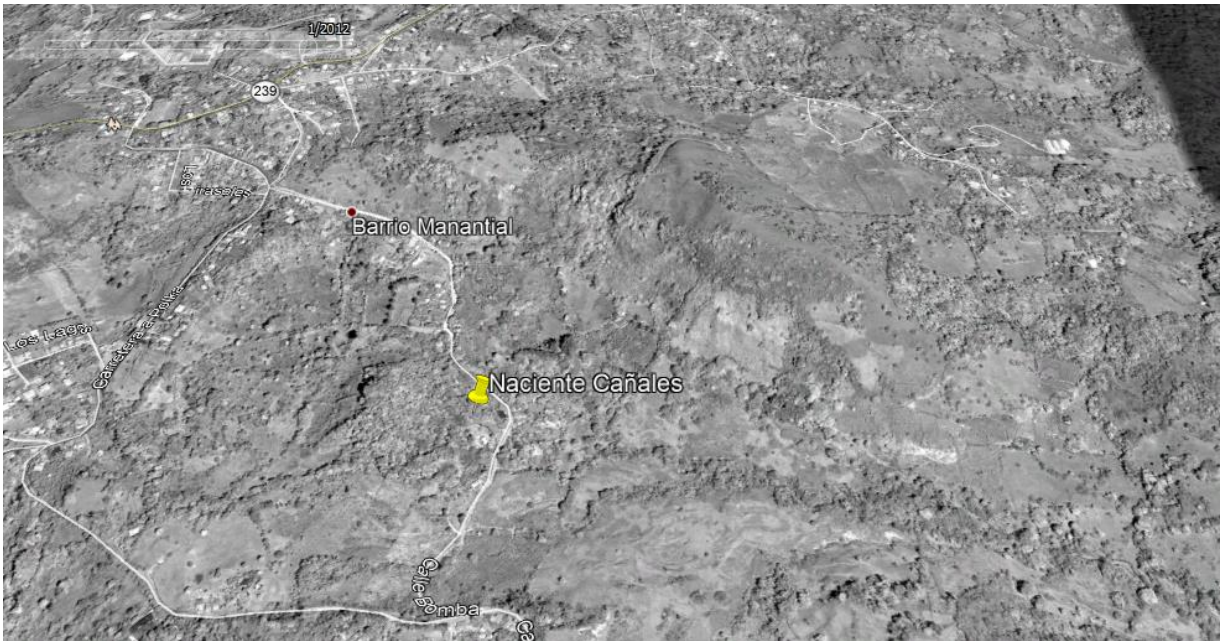


Figura 38. Imagen satelital naciente Cañales año 2012.

Fuente: Google earth, 2019.

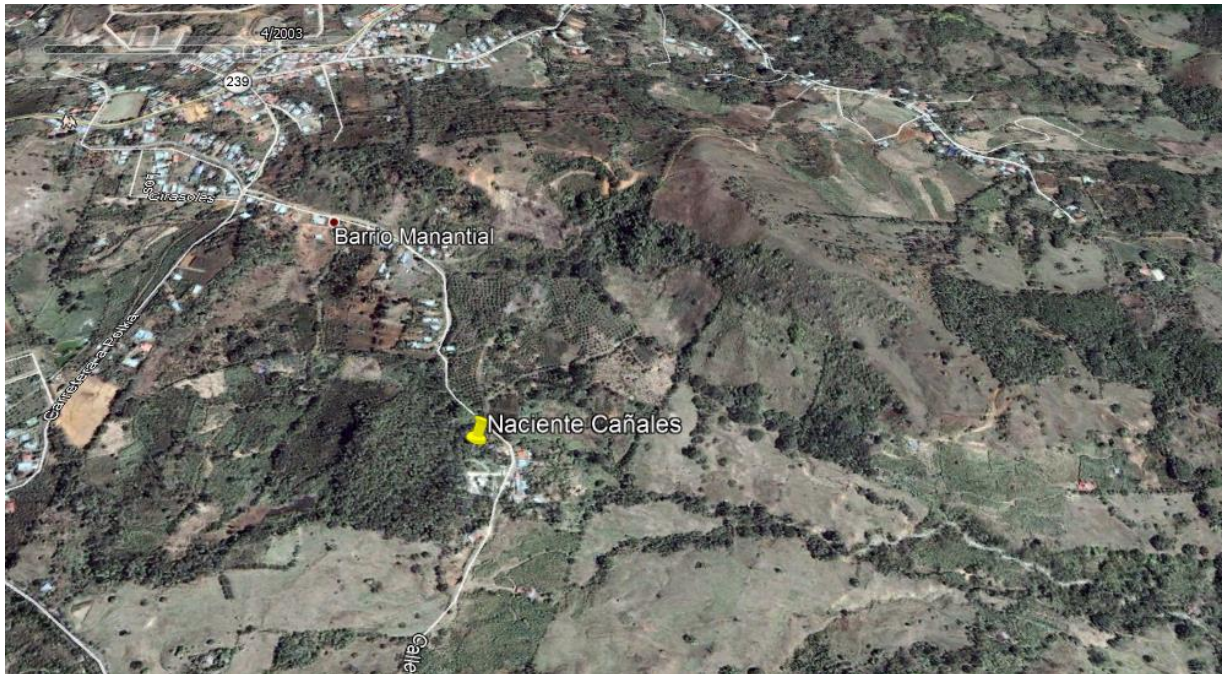


Figura 39. Imagen satelital naciente Cañales año 2003.

Fuente: Google earth, 2019.

Como se logra apreciar en las imágenes satelitales anteriores, se logra observar una gran área sin vegetación alguna al oeste de la naciente Cañales para el año 2019, si se observa en las imágenes satelitales anteriores al año 2019 está área identificada se encontraba con vegetación. Esta condición en el área identificada para el año 2019, ayuda a que se erosione el terreno y favorezca la escorrentía superficial, evitando la detención e infiltración en el terreno y así la recarga del acuífero.

Cabe destacar que en la cuenca se tiene un régimen de precipitación de alrededor de 2000 mm a 2500 mm de promedio anual, dicha cuenca se encuentra en la zona de vida Bosque Muy Húmedo Premontano. Debido a las fuertes pendientes del terreno la mayoría de la precipitación que cae sobre la cuenca escurre superficialmente, esto sumado al tipo de uso de suelo presente en la cuenca, lo cual da al traste con la recarga del acuífero.

6.2 Balance hídrico

Para la realización del balance hídrico, se tomó en cuenta datos de precipitación de la estación 88045 San Ignacio 2, además de los datos de temperatura de la estación 88045 San Ignacio 2 para el año 2017, con el objetivo de determinar los datos de evapotranspiración potencial sobre la cuenca en estudio por medio del método de Hargreaves.

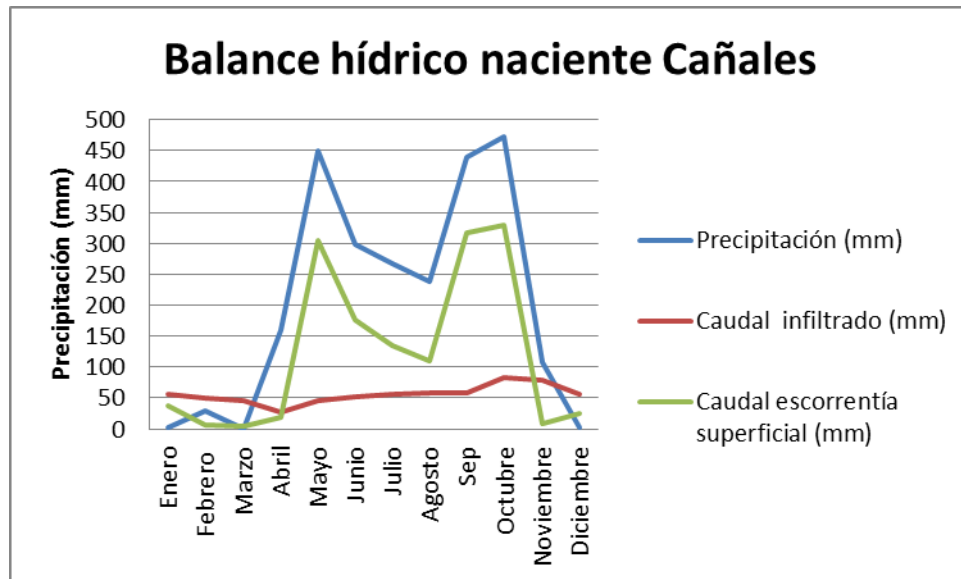


Figura 40. Balance hídrico naciente Cañales

En el gráfico anterior se puede observar claramente el comportamiento del manantial frente a la precipitación y la escorrentía superficial de la cuenca en estudio. Se logra observar el período de recesión o agotamiento del manantial al entrar la época seca en noviembre, donde se observa un descenso vertiginoso de los valores de precipitación y por ende escorrentía superficial. En esta época los valores de caudal estimado para el manantial de la naciente Cañales son mayores que los valores de precipitación, hasta llegar al final de la época seca donde los meses con casi nula precipitación y por ende nula recarga al acuífero, hacen que este se agote y presente su período de recesión y su caudal más bajo a lo largo del año.

Por último en mayo se inicia nuevamente el año hidrológico y por ende la recarga del manantial.

6.3 Proyecciones de población y demanda de agua potable

Según los resultados obtenidos en el presente trabajo, actualmente la comunidad de Santiago de Puriscal sufre de desabastecimiento del recurso hídrico, debido al deterioro de la infraestructura del acueducto en los últimos años, el crecimiento en el desarrollo comercial e industrial con una inapropiada planificación la cual ha generado deforestación y con ello erosión. A todo esto hay que sumarle los efectos producidos por el cambio climático, lo cual ha venido reduciendo la producción en las fuentes mientras tanto el crecimiento poblacional y consigo la demanda de agua potable aumenta.

Los datos de población suministrados por Instituto Costarricense de Acueductos y alcantarillados AyA, muestran que la población se ha mantenido con un crecimiento estable desde el año 2012 hasta el año 2017, esto se puede observar en la Figura 18. Debido a esto se utiliza el método aritmético para realizar las proyecciones de población para la ciudad de Santiago de Puriscal para los años 2020, 2025, 2030, 2035 y 2040. Esto se ha debido a que actualmente el déficit de agua potable en Santiago de Puriscal haya provocado que no se estén otorgando permisos de disponibilidad de agua potable y por ende permisos de construcción.

Se realizaron dos escenarios de proyección, el primero con una dotación de 312 (l/p/día) con un porcentaje de agua no contabilizada de 42.1 %, los cuales fueron suministrados por el Instituto de Acueductos y Alcantarillados AyA y el segundo con una dotación de 200 (l/p/día).

Las proyecciones de población calculadas para los años 2020, 2025, 2030, 2035 y 2040, comparado con la producción de las nacientes Cañales y Cañalitos, y la toma de los Ríos Negro y Tabarcia del subsistema Santiago para el primer escenario, demuestran que para el mes de abril existe en este momento un desabastecimiento el cual irá creciendo y a partir del año 2040 se extenderá al mes de marzo. Cabe destacar que este análisis se realizó para los meses de la época seca enero, febrero, marzo y abril.

El segundo escenario presenta una dotación de diseño recomendada por la Organización Mundial de la Salud OMS, este valor representa un valor apegado a la realidad, y baja considerablemente el caudal de demanda para la población a futuro, tanto así que para los meses de marzo y abril no existiría déficit de recurso hídrico. El Utilizar el dato brindado por

la OMS para realizar proyecciones junto con realizar un esfuerzo por disminuir el porcentaje de agua no contabilizada, son acciones a seguir con el fin de dar solución al tema del déficit del recurso hídrico en la zona de Santiago de Puriscal.

Otro esfuerzo a realizar por los gobiernos locales de la zona, es crear un programa manejo de cuencas hidrográficas, con el fin de recuperar las zonas deforestadas y alteradas y de recuperar la producción en las nacientes que abastecen el acueducto. Es por esto que se ocupa un importante acompañamiento de la Municipalidad de Puriscal, junto con el Instituto de Acueductos y Alcantarillados AyA, para poder revertir estos procesos en las cuencas de las fuentes de recarga del recurso hídrico.

6.4 Análisis de períodos de recesión de la Naciente Cañales y Río Candelaria.

La naciente Cañales, la cual fue objeto de estudio de este trabajo de graduación, se encuentra ubicada dentro de la cuenca del Río Grande de Candelaria, por lo que se obtuvo la constante de recesión de caudal de dicho río por medio de datos de caudal diarios en la estación 88-26-01 El Rey del Instituto Costarricense de Electricidad ICE, esto con la finalidad de realizar una comparación entre la constante de recesión del río y de la naciente Cañales.

Los resultados obtenidos, muestran que para los meses de la época seca del año en estudio 2017, se presentan dos períodos marcados de recesión del acuífero, con constantes de recesión diferentes, siendo el más marcado el que va de marzo a abril en el puro final de la época seca, lo cual lo hace más representativo debido a que esos son los meses con casi nula precipitación según se muestra en los datos de precipitación para el año 2017 de la estación 88045 San Ignacio 2.

Cabe destacar, que para este año en particular si se observa en la Figura 40 la cantidad de precipitación en febrero registrada por la estación 88045 San Ignacio 2, aumentó por lo que se puede deducir que se resaltan 2 períodos marcados de recesión del acuífero de la naciente Cañales, debido a que el aumento de la precipitación en febrero, produjo una variación en el comportamiento normal de la recesión del acuífero. Además podemos correlacionar mejor este comportamiento ya que en el período más marcado de recesión del acuífero que va desde marzo a abril, presenta una constante de recesión con un valor de 0.983, muy similar a la del Río Candelaria donde se obtuvo un valor de 0.9825.

La constante de recesión calculada para el segundo período de recesión de caudal de la naciente Cañales para el año 2017, presenta un valor muy similar a la constante de recesión de caudal del Río Candelaria, por lo que se comprueba que para el período de análisis de la época seca del año 2017, existe correlación entre el agotamiento del acuífero, de la naciente Cañales y el agotamiento de caudal del Río Candelaria.

CAPITULO 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 Conclusiones

Existe un déficit de caudal actualmente en la zona de Santiago de Puriscal, esto debido a la disminución de producción de las fuentes donde se toma el recurso, además esto obedece a un cúmulo de factores, que se han venido presentando con el paso del tiempo entre los cuales podemos mencionar el deterioro en la infraestructura del acueducto, el crecimiento desproporcionado de la población y el desarrollo económico e industrial con una inadecuada planificación, además de la basta deforestación de las zonas de recarga en la zona.

La naciente Cañales ha venido disminuyendo la producción del recurso hídrico a través de los últimos años, debido a un manejo inadecuado de la cuenca y zona de recarga hídrica, además de los efectos del cambio climático que se han venido presentando con más frecuencia en los últimos años por ejemplo el fenómeno del niño, lo cual se puede observar en la Figura 12 , donde se notan períodos de gran sequía y de abundantes precipitaciones, lo cual es producto de este fenómeno junto con el fenómeno de la niña y lo cual ha causado serios déficits de precipitación en la zona de estudio.

Actualmente la ciudad de Santiago de Puriscal, presenta déficit de agua potable y según las proyecciones de crecimiento de población y por ende de demanda del recurso hídrico hasta el año 2040, el déficit se irá incrementando, si las nacientes que abastecen el sistema de distribución del recurso hídrico, se mantienen en las condiciones actuales.

El porcentaje del agua no contabilizada según el Instituto de Acueductos y Alcantarillados es de 42.1 %, el cual es demasiado alto y esto ha obligado a que el valor de la dotación de diseño por persona por día sea de 312 l/d/p, un valor sumamente elevado comparado con el valor que suministra la Organización Mundial de la Salud OMS, el cual es de 200 litros por persona por día.

Las proyecciones de producción y demanda de agua potable con una dotación de 312 l/p/d, muestran que en el año 2020 ya existe un déficit de agua potable en el mes de abril y para el año 2040 en adelante se extiende al mes de marzo, todo este para la ciudad de Santiago de Puriscal.

Las proyecciones de producción y demanda de agua potable con una dotación de 200 l/p/d, revelan que no existiría déficit de recurso hídrico en la ciudad de Santiago de Puriscal para el período que va desde el año 2020 hasta el año 2040, en el mes de abril el cual es el más crítico debido a que es el final de la época seca.

Para poder llegar a una dotación de 200 l/p/día, se debe de concentrar esfuerzos en bajar el porcentaje de pérdidas de agua no contabilizada junto con una mejora en la infraestructura del acueducto.

Al haber deforestación producto de un manejo inadecuado de las cuencas y zonas de recarga hídrica, se irrumpe el proceso de intercepción e infiltración de la precipitación, favoreciendo la erosión y con ello la escorrentía superficial en detrimento de la recarga de los manantiales y con ello la disminución de la producción del acuífero.

Los datos obtenidos de la constante de recesión del río Grande de Candelaria, se relacionan satisfactoriamente con el último de período de recesión en la época seca del año en estudio, aunque no se cuenta con registro de aforos para comparar con más años los caudales obtenidos por medio del balance hídrico para años posteriores al 2017, se puede afirmar que la recesión del acuífero de la naciente Cañales sigue un patrón similar a la recesión del río Grande de Candelaria.

Si bien es cierto hubo una limitante en cuanto a las estaciones meteorológicas en el desarrollo de este trabajo final de graduación, las técnicas y suposiciones utilizadas con criterio, dieron resultados con los resultados esperados.

7.2 Recomendaciones

La principal recomendación a corto y mediano plazo para poder generar una disminución en el déficit de agua potable, se centra en enfocar esfuerzos por parte del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados y los gobiernos locales, en reducir los niveles de agua no contabilizada para así poder aprovechar mejor el recurso hídrico. Esto sumado a una adecuada planificación y ordenamiento territorial en cuanto a desarrollo económico, industrial y social por parte de los gobiernos locales permitiría por ejemplo poder revertir los daños causados a las zonas de recarga hídrica en las cuencas de las nacientes, aunado a la elaboración de un plan regulador el cual contenga un capítulo del recurso hídrico.

A continuación se generan un serie de recomendaciones con sentido enfocadas hacia la disminución de las pérdidas de agua no contabilizadas.

- Realizar un levantamiento de la red de tuberías y accesorios de cada subsistema, donde incluya diámetros espesores cantidad de válvulas.
- Una vez realizado el levantamiento, se debe de levantar en campo todas las conexiones a la red de cada subsistema y con esta información comparar con los datos de catastro y facturación de servicios para así poder identificar las conexiones ilícitas.
- Identificar el estado de las tuberías y accesorios con el fin de cuantificar fugas en la tubería de alta presión, y poder reparar o cambiar la tubería.
- Realizar una medición de caudal en un tiempo determinado a la salida de la planta y comparar durante ese tiempo cuanto se entregó según la micro medición, para así comparar si se presenta déficit y poder tomar las medidas del caso.

El modelo de balance hídrico generado en este trabajo para la cuenca de la naciente Cañales, es una herramienta de la cual se pueden valer la municipalidad de Puriscal y el Instituto de Acueductos y Alcantarillados AyA, para proyectar los caudales en época de recesión, para las demás nacientes del sistema de acueducto de Puriscal, esto con el fin de predecir los caudales en la época seca y así poder planificar ante eventos extremos de sequía, a los cuales estamos expuestos más frecuentemente producto del cambio climático.

Se recomienda a la municipalidad de Puriscal, enfocar los esfuerzos en la realización de un plan regulador donde se tome en cuenta la problemática actual la escasez del recurso hídrico,

y poder generar resultados a mediano plazo. Dentro de este plan regulador debe de ir un apartado dedicado a la protección del recurso hídrico donde como mínimo se incluya un mapa de zonificación donde se regule y se limite las zonas de cuencas de recarga hídrica de las nacientes que aportan al subsistema de Santiago de Puriscal y además, los restantes subsistemas que componen el Sistema de Puriscal, programa de reforestación de estas zonas de recarga acuífera, restricción de los tipos de cultivos que se generen en estas zonas y velar por medio de los entes encargados en el tema por las mejores prácticas agrícolas para estos cultivos.

Debido a la problemática de escasez del recurso hídrico en la zona, se insta a las autoridades correspondientes, a la ubicación e instrumentación de estaciones meteorológicas con pluviómetros y equipos para medición de temperatura media, máxima y mínima. Se sugiere ubicar estas estaciones meteorológicas en lugares en medio de la cuenca hidrográfica de cada naciente siempre y cuando esta se encuentre dentro de la misma zona de vida. Se sugiere esta recomendación con el fin de ir obteniendo información más verás acerca del comportamiento climático, para obtener resultados más precisos a la hora de realizar estudios del recurso hídrico.

Se recomienda aprovechar al máximo la fuente superficial de Río Negro y Tabarcia en la época de los meses más secos, en este caso marzo y abril, si bien es cierto esto implica más costos en el tratamiento de potabilización del agua, se hace necesario ante la escasez del recurso en la época seca.

El objetivo principal de este trabajo de graduación se basa en el comportamiento de una fuente de recarga de agua potable del subsistema de Santiago de Puriscal, por medio de un balance hídrico y el análisis del agotamiento de la naciente en la época seca, la cual es la más crítica, por lo que se insta a las autoridades correspondientes y gobiernos locales, a realizar esta misma metodología con las demás nacientes que aportan tanto al subsistema de Santiago de Puriscal como a los demás sistemas del resto del cantón.

Además, se recomienda calibrar el modelo con aforos de años secos para evaluar la disponibilidad del recurso hídrico en la zona de Santiago de Puriscal.

CAPITULO 8. BIBLIOGRAFÍA

Araya, R. (1997). Propuesta de un Diseño de evaluación de la gestión del programa de construcción de acueductos rurales del Instituto de Acueductos y Alcantarillados. Proyecto de Graduación para optar por el grado de Magister Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.

Cerdas, J. (2011). Análisis del marco legal para la administración del agua de consumo humano por parte de las asociaciones administradoras de sistemas de acueductos y alcantarillados comunales. Proyecto para optar por el grado de Licenciatura en Derecho, Facultad de Derecho, Universidad de Costa Rica, San José.

Chaudry, H. (1987). *Hidraulic Engineering*. Washington: Washington State University.

Decreto No.32529-S. (2005). Reglamento de las Asociaciones Administradoras de Sistemas de Acueductos y Alcantarillados Comunales. La Gaceta, San José, Costa Rica.

Ltda, H. (2013). *Cantonal Puriscal*. Puriscal: Departamento Gestión Ambiental.

Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. Costa Rica

Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. (s.f.)Sistemas de aprovechamiento de agua. Costa Rica: Departamento de Cuencas del AYA.

Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (2002). Agua para el consumo humano y disposición de excretas en Costa Rica: situación actual y expectativas, periodob2001-2020. Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. [En línea] Disponible en: <http://www.aya.go.cr/Administracion/DocumentosBoletines/Docs/240910090624ACHyDEEXPECTATIVAS2001-2020.pdf>, San José, Costa Rica.

Ley No.2726. (2006). Ley Constitutiva del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. La Gaceta, San José, Costa Rica.

Linsley. (1958). Correlation of rainfall intensity and topography in northern California. California: American Geophysical Union.

Merizalde, D. (2003). Análisis hidráulico del acueducto de Santiago de Puriscal. Informe de Trabajo de Graduación para obtener el grado de Licenciado en Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.

Ministerio de Agricultura y Ganadería y de Recursos Naturales, Energía y Minas. (1988). Metodología Determinación Capacidad Uso de Tierras Costa Rica. San José, Costa Rica.

Molnar, P. (2011). Watershed Modelling. In Calibration. Zurich, Suiza. Institute of Environmental Engineering, Chair of Hidrology and Water Resources Management.

Serrano, A. Notas del curso IC-0808 Hidrología. San José: Costa Rica (2016).

Swanson, S. &. (2004). The Methods and Materials of Demography. San Diego, California, Estados Unidos: Elsevier Academic Press.

Quirós, G. (2016). Diagnóstico del estado actual de los acueductos de Tres Amigos, Candelaria y Campos de Oro, San Rafael y La Cruz ubicados en la parte alta de la cuenca del río Abangares, y propuestas para su mejoramiento. Proyecto de graduación para optar por el grado de Licenciatura de Ingeniería Civil, Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica, San José.

Repretel. (2015). *198 estudiantes de Puriscal se encuentran sin lecciones por falta de agua.*

Rojas, L. (2014). "12.600 vecinos de Puriscal están sin agua potable". CRHOY, Costa Rica

Thomas Dunne, Luna B. Leopold. (1978). Water in environmental. New York: W. H. Freeman and Company.

CAPITULO 9. ANEXOS

9.1 Balance Hídrico

Parámetro	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SETIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
Precipitación (P)	2.2	28.1	0.9	158.9	448.9	299.1	267.8	238.0	438.3	472.7	107.3	2.5
Evapotranspiración (EPT)	114.21	124.62	153.15	144.39	124.78	117.01	129.78	126.83	120.52	119.60	100.88	115.17
P-ETP	-112.01	-96.52	-152.25	14.51	324.12	182.09	138.0	111.2	317.8	353.1	6.4	-112.7
Pérdida de agua acumulada	-125.19	-221.71	-373.96	0.00	0.00	0.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-112.7
Reserva	106.95	66.01	30.83	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	113.86
Variación en la reserva	-80.29	-40.94	-35.18	169.17	0.00	0.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-86.1
Disponible para evapotranspirar	82.49	69.04	36.08	144.39	124.78	117.01	129.8	126.8	120.5	119.6	100.9	88.6
Déficit	31.72	55.58	117.07	0.00	0.00	0.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	26.5
Exceso	0.00	0.00	0.00	0.00	324.12	182.09	138.0	111.2	317.8	353.1	6.4	0.0
Disponible para escurrir	92.60	55.56	50.00	45.00	351.12	227.74	190.4	166.4	375.3	411.3	88.7	79.8
Escorrentamiento	37.04	5.56	5.00	18.00	305.47	175.36	135.18	108.82	317.17	329.02	8.87	23.94
Detención	55.56	50.0	45.0	27.0	45.6	52.4	55.2	57.6	58.2	82.3	79.8	55.9

9.2 Cálculo de evapotranspiración por el método de Hargreaves para el año 2017

Datos meteorológicos iniciales							ET _o media diaria (mm/día)	ET _o media mensual (mm/mes)
Mes	Temperatura media (°C)	Temperatura máxima media mensual (°C)	Temperatura mínima media mensual (°C)	λ (MJ/kg)	S _o (MJ/m ² d)	R _o (mm/d)		
Enero	22.25	26.80	17.70	2.45	32.48	13.26	3.684	114.21
Febrero	22.85	28.30	17.40	2.45	35.30	14.43	4.451	124.62
Marzo	23.75	29.30	18.20	2.44	37.95	15.52	4.940	153.15
Abril	23.70	28.80	18.60	2.45	38.62	15.80	4.813	144.39
Mayo	22.15	26.10	18.20	2.45	38.18	15.59	4.025	124.78
Junio	21.80	25.70	17.90	2.45	37.58	15.34	3.900	117.01
Julio	22.25	26.60	17.90	2.45	37.75	15.42	4.186	129.78
Agosto	21.60	25.80	17.40	2.45	38.18	15.59	4.091	126.83
Sep	21.60	25.40	17.00	2.45	37.49	15.30	4.017	120.52
Octubre	21.40	25.60	17.20	2.45	36.20	14.77	3.858	119.60
Noviembre	21.25	25.10	17.40	2.45	33.08	13.50	3.363	100.88
Diciembre	22.45	27.30	17.60	2.45	31.56	12.89	3.715	115.17

9.3 Análisis de caudales de estación El Rey

Período (63-64)

	Inicio	Final	# Datos
Fecha	02/12/1963	03/02/1964	63
Caudal (m3/s)	29	7.4	

Caudal promedio mensual este año		De todo el registro
Mes	Caudal m3/s	Caudal m3/s
may-63	-	NR
jun-63	24.96	NR
jul-63	29.53	NR
ago-63	16.88	NR
sep-63	70.98	NR
oct-63	73.28	NR
nov-63	75.01	NR
dic-63	18.79	NR
ene-64	9.89	NR
feb-64	7.42	NR
mar-64	5.78	NR
abr-64	5.38	NR
Total	337.9	

Período (72-73)

	Inicio	Final	# Datos
Fecha	22/12/1972	24/01/1973	33
Caudal (m3/s)	21.2	7.93	

Caudal promedio mensual este año		De todo el registro
Mes	Caudal m3/s	Caudal m3/s
may-72	20.8	15.9
jun-72	18.5	32.6
jul-72	11.4	31.8
ago-72	24.9	41.8
sep-72	44.8	72.4
oct-72	69.9	97.8
nov-72	35.8	51.9
dic-72	13.2	20.2
ene-73	9.03	11.6
feb-73	6.23	7.84
mar-73	4.8	6.16
abr-73	5.68	6.53
Total	265.04	

Período (74-75)

	Inicio	Final	# Datos
Fecha	05/12/1974	19/01/1975	46
Caudal (m3/s)	22,4	8,95	

Caudal promedio mensual este año		De todo el registro
Mes	Caudal m3/s	Caudal m3/s
may-74	15.8	15,7
jun-74	48.8	37,3
jul-74	32.2	33,7
ago-74	39.7	45,6
sep-74	76.2	73,0
oct-74	76.1	95,2
nov-74	33.1	49,1
dic-74	14.4	20,2
ene-75	9.34	11,6
feb-75	7.44	7,81
mar-75	5.74	6,12
abr-75	4.49	6,30
Total	363.31	

Período (76-77)

	Inicio	Final	# Datos
Fecha	21/12/1976	30/01/1977	41
Caudal (m3/s)	13.4	6.82	

Caudal promedio mensual este año		De todo el registro
Mes	Caudal m3/s	Caudal m3/s
may-76	11.4	15.3
jun-76	33	36.7
jul-76	19.8	32.9
ago-76	17.1	43.7
sep-76	19.7	71.9
oct-76	59.3	92.3
nov-76	29.5	50
dic-76	14.4	20.3
ene-77	8.44	11.6
feb-77	5.87	7.7
mar-77	4.19	5.99
abr-77	3.78	6.11
Total	226.48	

Período (77-78)

	Inicio	Final	# Datos
Fecha	26/12/1977	07/02/1978	44
Caudal (m3/s)	15.3	7.02	

Caudal promedio mensual este año		De todo el registro
Mes	Caudal m3/s	Caudal m3/s
may-77	9.08	14.9
jun-77	26.1	36
jul-77	7.73	31.1
ago-77	23.8	42.4
sep-77	46.1	70.1
oct-77	76.2	91.1
nov-77	49.2	49.9
dic-77	19.9	20.3
ene-78	10.6	11.4
feb-78	6.85	7.64
mar-78	5.74	5.95
abr-78	4.36	5.99
Total	285.66	

Período (78-79)

	Inicio	Final	# Datos
Fecha	18/01/1979	22/02/1979	36
Caudal (m3/s)	9.16	5.79	

Caudal promedio mensual este año		De todo el registro
Mes	Caudal m3/s	Caudal m3/s
may-78	12	14.7
jun-78	19.1	34.8
jul-78	17.9	30.3
ago-78	22.3	41.1
sep-78	52.1	69
oct-78	100	91.6
nov-78	38.1	49.2
dic-78	14.6	19.9
ene-79	9.29	11.3
feb-79	6.69	7.58
mar-79	5.18	5.9
abr-79	9.99	6.24
Total	307.25	

Período (80-81)

	Inicio	Final	# Datos
Fecha	16/12/1980	25/01/1981	41
Caudal (m3/s)	27.9	9.22	

Caudal promedio mensual este año		De todo el registro
Mes	Caudal m3/s	Caudal m3/s
may-80	12.7	15.8
jun-80	30.7	35.3
jul-80	24.3	20.9
ago-80	43.1	41.2
sep-80	58.3	71.1
oct-80	72.9	92.7
nov-80	55.3	51.8
dic-80	19.5	20.3
ene-81	10.8	11.5
feb-81	7.03	7.66
mar-81	5.05	5.99
abr-81	5.53	6.24
Total	345.21	

Período (82-83)

	Inicio	Final	# Datos
Fecha	25/12/1982	07/02/1983	44
Caudal (m3/s)	12.5	5.75	

Caudal promedio mensual este año		De todo el registro
Mes	Caudal m3/s	Caudal m3/s
may-82	49.1	17.8
jun-82	56.5	38.6
jul-82	26.1	30.4
ago-82	16.1	41.3
sep-82	32.4	69.2
oct-82	59.4	90.7
nov-82	27.1	50.6
dic-82	12.4	19.9
ene-83	7.83	11.3
feb-83	6.26	7.58
mar-83	5.3	5.93
abr-83	5.34	6.22
Total	303.83	

Período (87-88)

	Inicio	Final	# Datos
Fecha	12/12/1987	28/01/1988	48
Caudal (m3/s)	17.7	5.75	

Caudal promedio mensual este año		De todo el registro
Mes	Caudal m3/s	Caudal m3/s
may-87	7.52	16.5
jun-87	13.5	35.8
jul-87	22.3	29.3
ago-87	44	39.1
sep-87	39.1	65.1
oct-87	47.7	87.3
nov-87	21.5	49.8
dic-87	12.2	19.2
ene-88	7.21	10.8
feb-88	5.05	7.32
mar-88	4.18	5.76
abr-88	3.83	5.93
Total	228.09	

Período (88-89)

	Inicio	Final	# Datos
Fecha	01/12/1988	26/02/1989	88
Caudal (m3/s)	23	5.61	

Caudal promedio mensual este año		De todo el registro
Mes	Caudal m3/s	Caudal m3/s
may-88	7.69	16.1
jun-88	22.6	35.5
jul-88	23.5	29.1
ago-88	57.2	39.8
sep-88	54	68.5
oct-88	60	90.1
nov-88	56.6	50.1
dic-88	14.8	19
ene-89	8.41	10.7
feb-89	6.08	11.3
mar-89	5.33	5.74
abr-89	4.25	5.87
Total	320.46	

Período (90-91)

	Inicio	Final	# Datos
Fecha	18/01/1991	28/02/1991	42
Caudal (m3/s)	15.3	6.52	

Caudal promedio mensual este año		De todo el registro
Mes	Caudal m3/s	Caudal m3/s
may-90	17.1	15.8
jun-90	30.6	34.5
jul-90	33.9	28.9
ago-90	19.5	38.7
sep-90	35.4	67.7
oct-90	88.1	88.6
nov-90	70.4	50.1
dic-90	26.5	19.4
ene-91	13.1	10.8
feb-91	7.84	7.3
mar-91	5.43	5.73
abr-91	5.47	5.88
Total	353.34	

Período (91-92)

	Inicio	Final	# Datos
Fecha	22/12/1991	30/01/1992	
Caudal (m3/s)	12.2	6.67	

Caudal promedio mensual este año		De todo el registro
Mes	Caudal m3/s	Caudal m3/s
may-91	16.6	15.8
jun-91	34.3	34.6
jul-91	18.5	28.5
ago-91	14.8	37.9
sep-91	29.2	66.4
oct-91	65.4	87.8
nov-91	29.1	49.4
dic-91	14.3	19.2
ene-92	8.34	10.7
feb-92	6.02	7.26
mar-92	4.35	5.68
abr-92	4.06	5.82
Total	244.97	

Período (92-93)

	Inicio	Final	# Datos
Fecha	02/02/1993	14/03/1993	
Caudal (m3/s)	9.37	3.97	

Caudal promedio mensual este año		De todo el registro
Mes	Caudal m3/s	Caudal m3/s
may-92	5.67	15.5
jun-92	27.9	34.4
jul-92	30.6	28.6
ago-92	22	37.4
sep-92	52.7	65.9
oct-92	76.7	87.4
nov-92	25.3	48.6
dic-92	18.1	19.2
ene-93	11.5	10.7
feb-93	6.63	7.24
mar-93	5.7	5.68
abr-93	6.63	5.85
Total	289.43	

9.4 Proyección de población y demanda de caudal para de las nacientes que abastecen el acueducto de Puriscal.

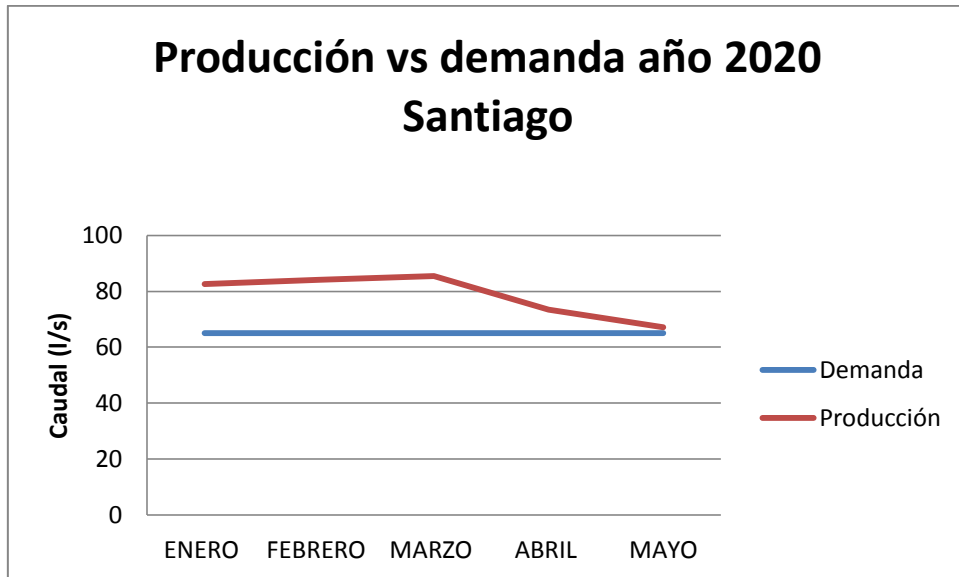


Figura 41. Gráfico producción vs demanda en el año 2020 para el subsistema Santiago. Dotación 312 l/p/día

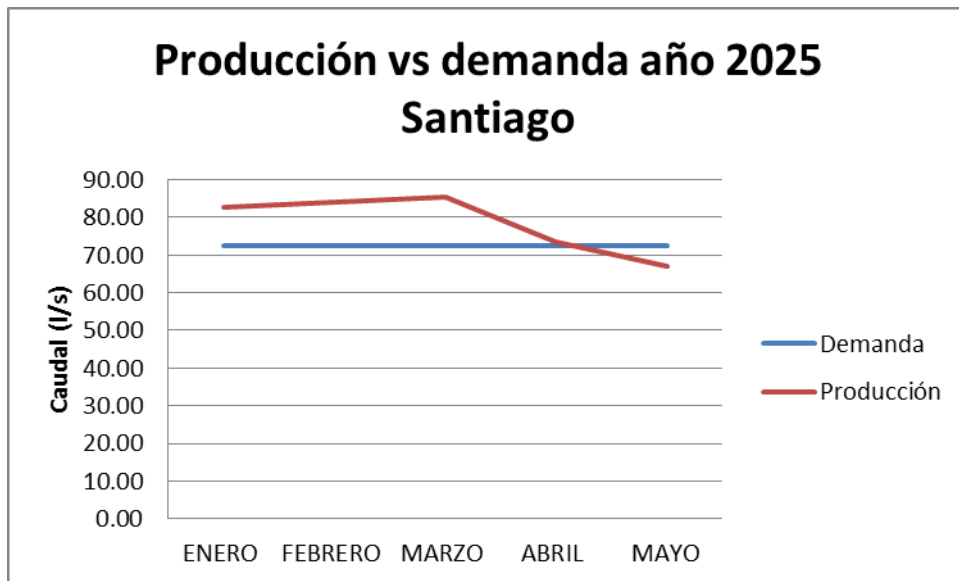


Figura 42. Gráfico producción vs demanda en el año 2025 para el subsistema Santiago. Dotación 312 l/p/día.

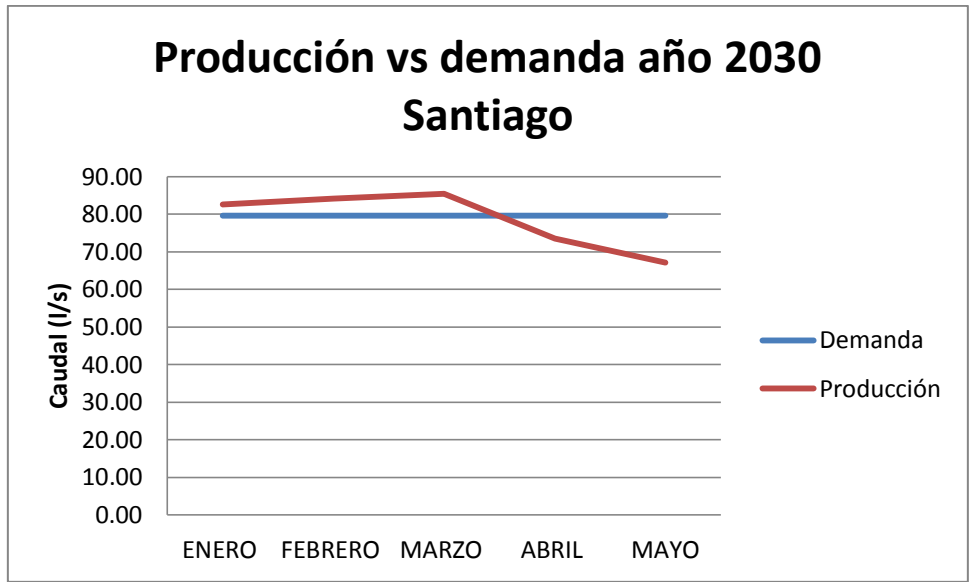


Figura 43. Gráfico producción vs demanda en el año 2030 para el subsistema Santiago. Dotación 312 l/p/día.

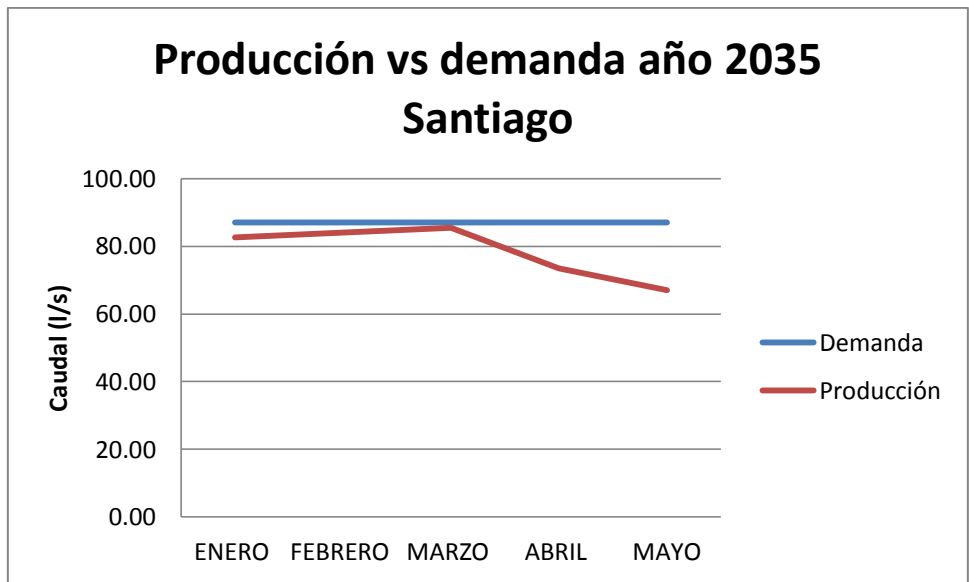


Figura 44. Gráfico producción vs demanda en el año 2035 para el subsistema Santiago. Dotación 312 l/p/día.

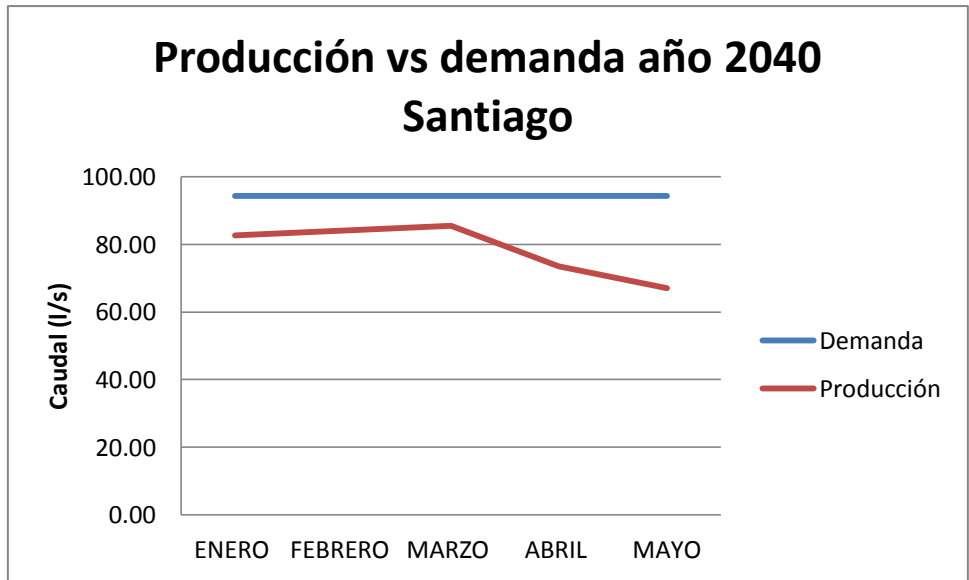


Figura 45. Gráfico producción vs demanda en el año 2040 para el subsistema Santiago. Dotación 312 l/p/día.

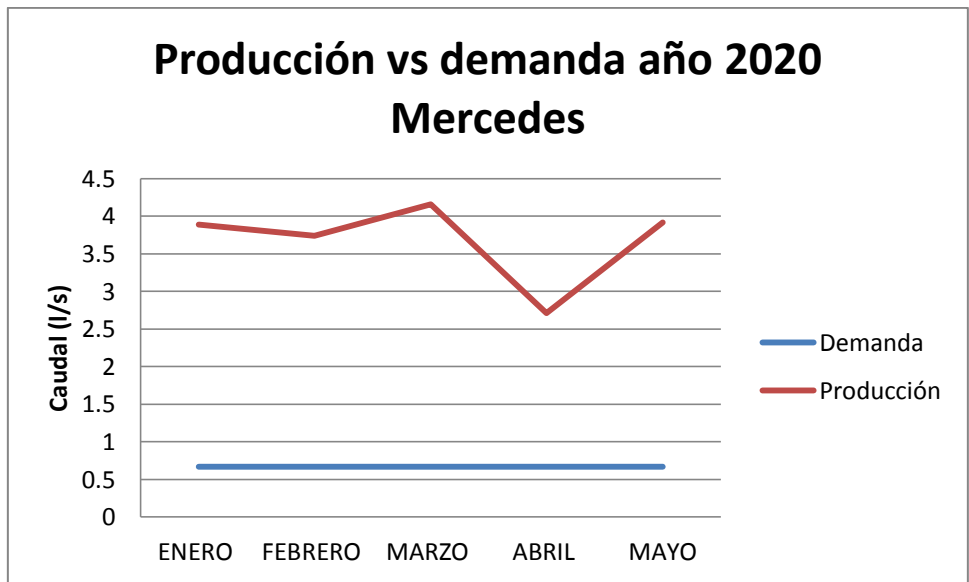


Figura 46. Gráfico producción vs demanda en el año 2020 para el subsistema Mercedes. Dotación 578 l/p/día.

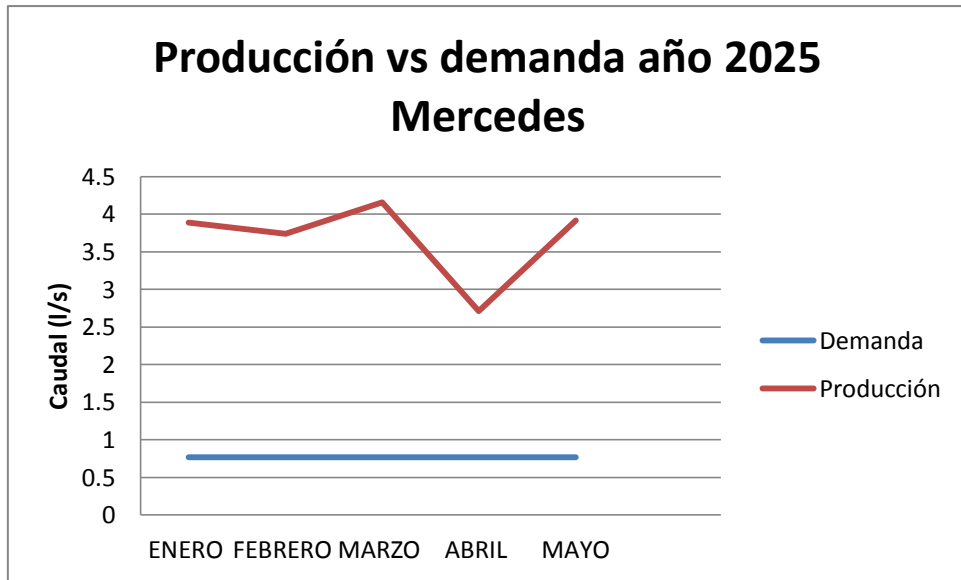


Figura 47. Gráfico producción vs demanda en el año 2025 para el subsistema Mercedes. Dotación 578 l/p/día.

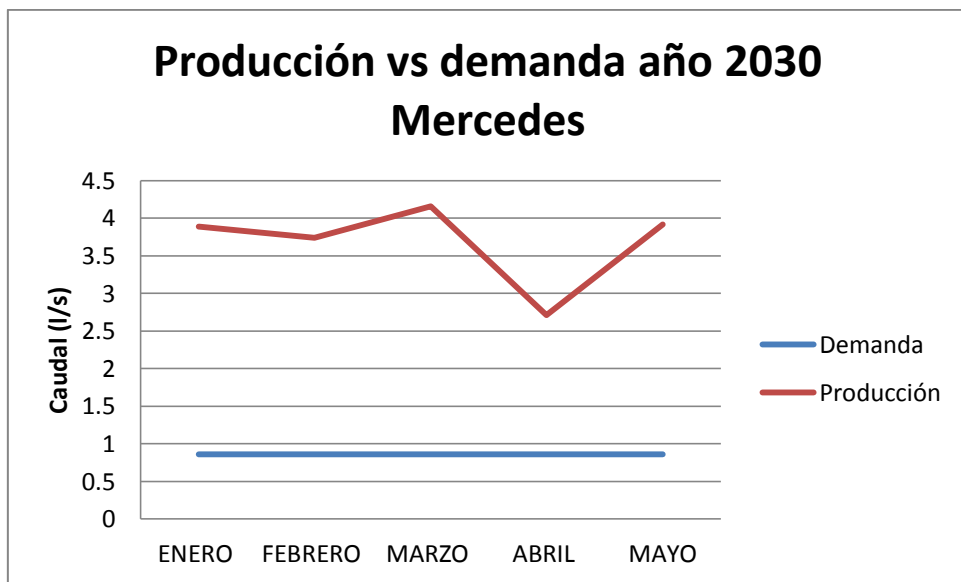


Figura 48. Gráfico producción vs demanda en el año 2030 para el subsistema Mercedes. Dotación 578 l/p/día.

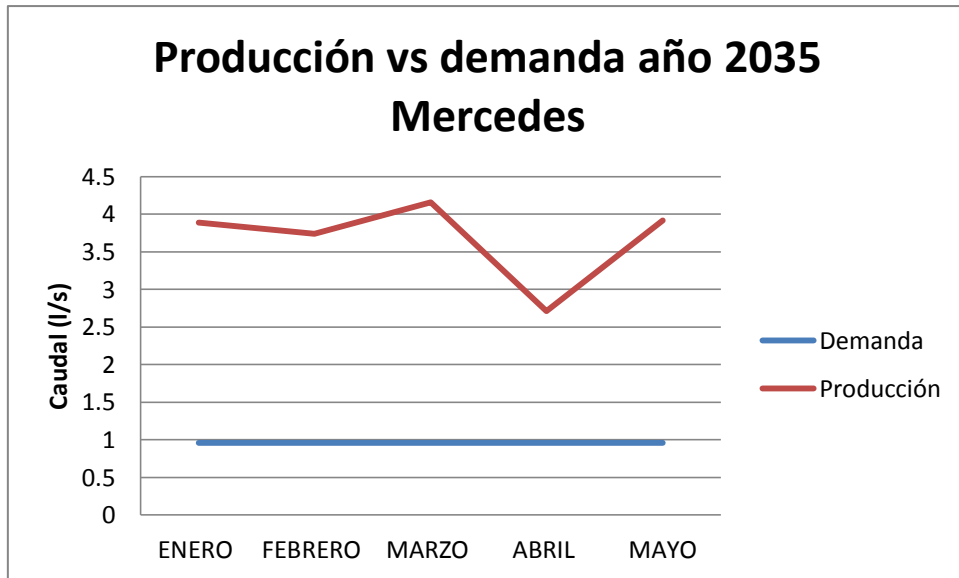


Figura 49. Gráfico producción vs demanda en el año 2035 para el subsistema Mercedes. Dotación 578 l/p/día.

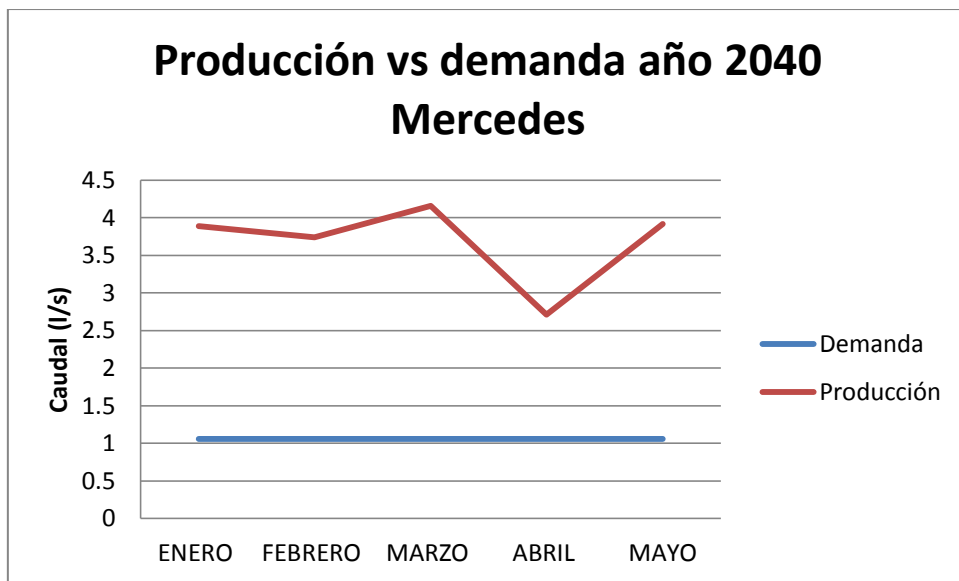


Figura 50. Gráfico producción vs demanda en el año 2040 para el subsistema Mercedes. Dotación 578 l/p/día.

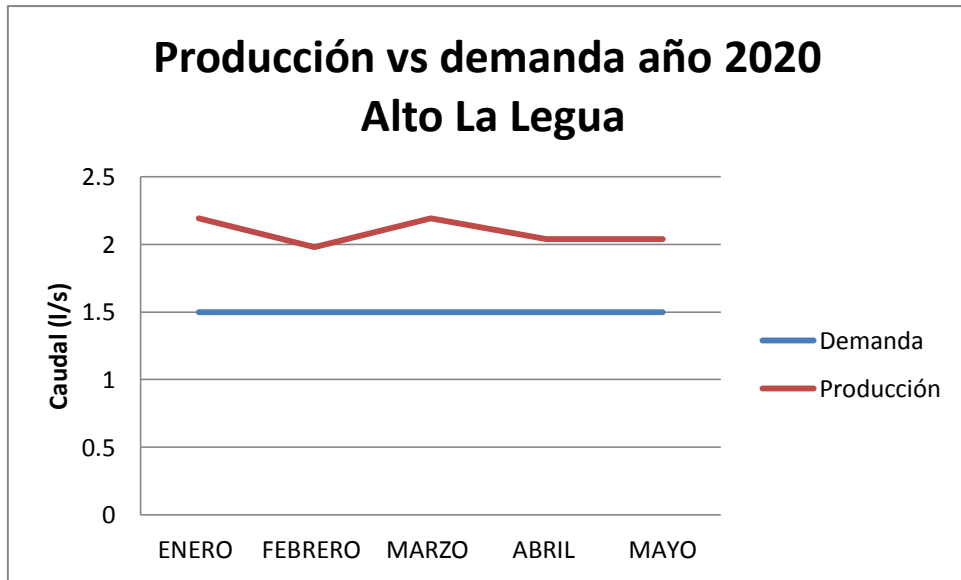


Figura 51. Gráfico producción vs demanda en el año 2020 para el subsistema Alto La Legua. Dotación 298 l/p/día.

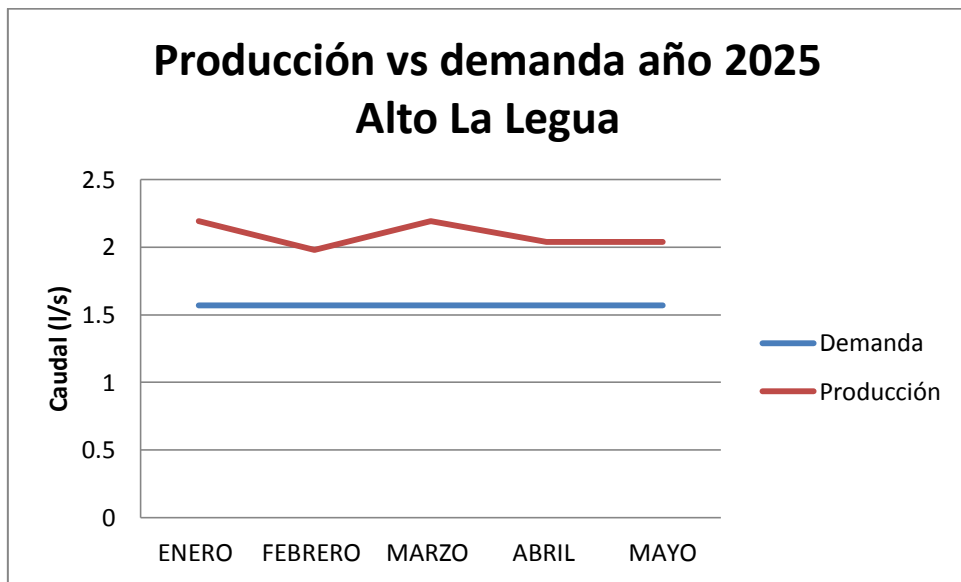


Figura 52. Gráfico producción vs demanda en el año 2025 para el subsistema Alto La Legua. Dotación 298 l/p/día.

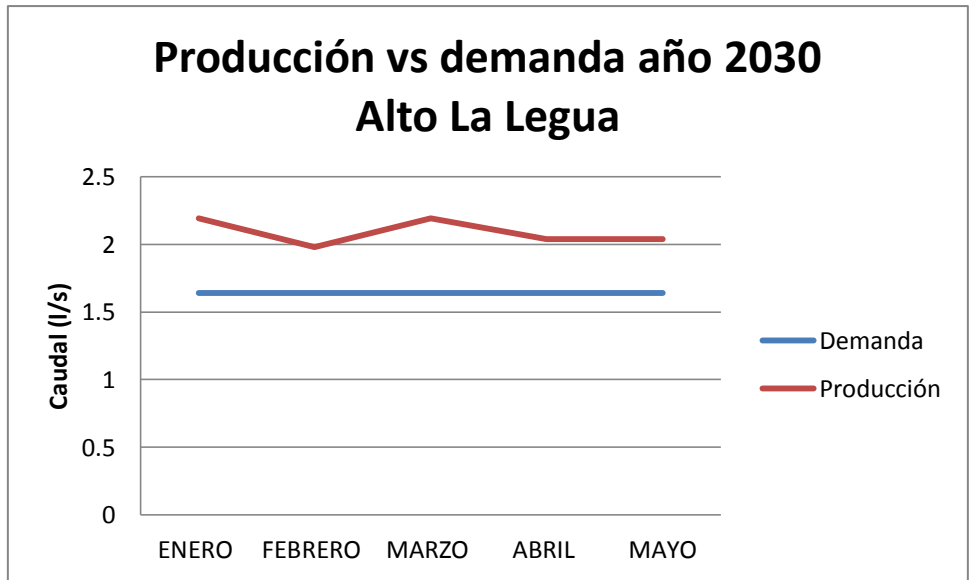


Figura 53. Gráfico producción vs demanda en el año 2030 para el subsistema Alto La Legua. Dotación 298 l/p/día.

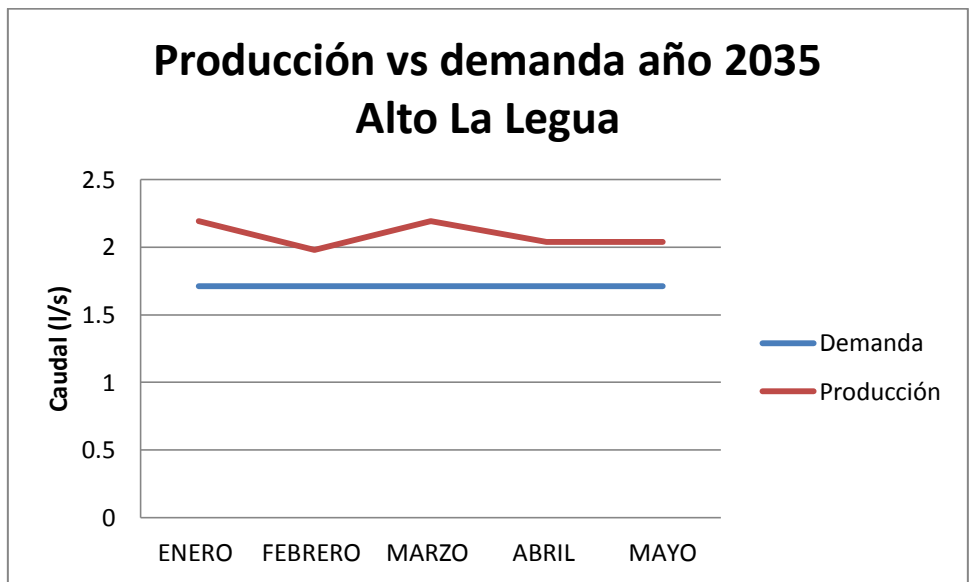


Figura 54. Gráfico producción vs demanda en el año 2035 para el subsistema Alto La Legua. Dotación 298 l/p/día.

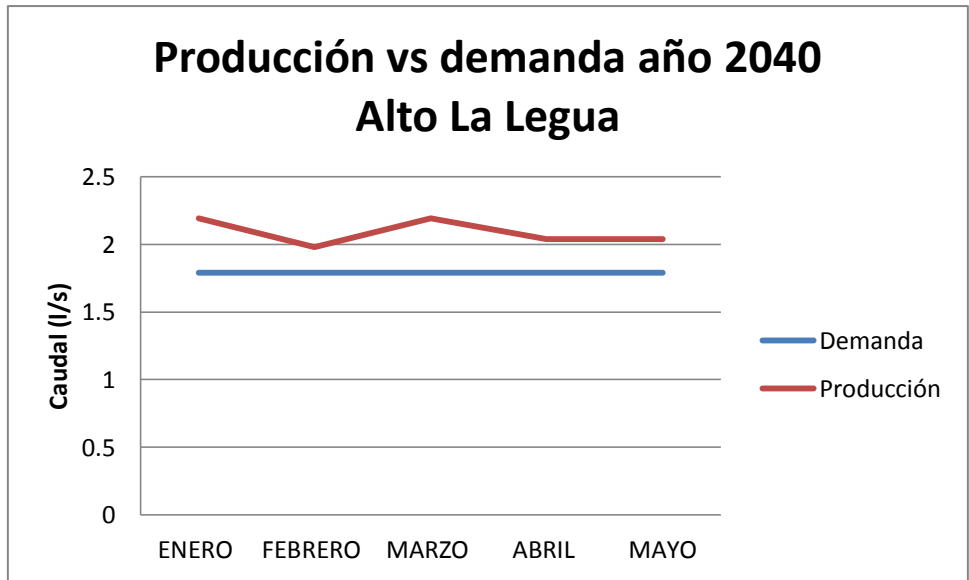


Figura 55. Gráfico producción vs demanda en el año 2040 para el subsistema Alto La Legua. Dotación 298 l/p/día.

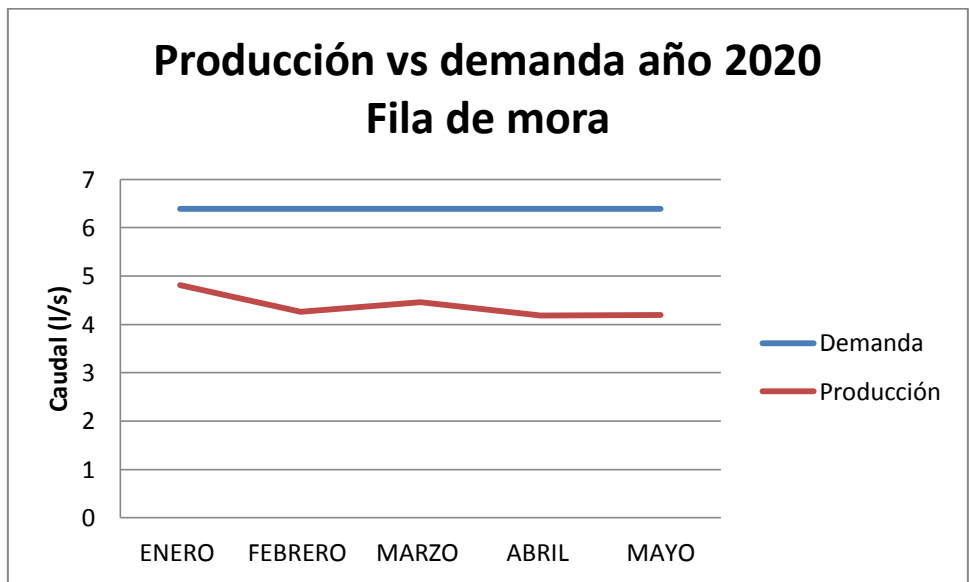


Figura 56. Gráfico producción vs demanda en el año 2020 para el subsistema Fila de Mora. Dotación 229 l/p/día.

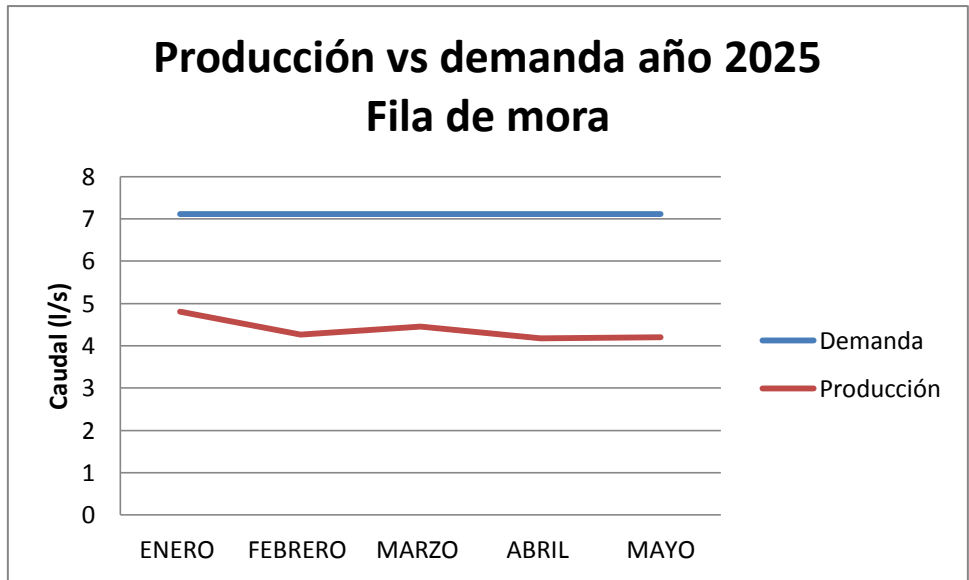


Figura 57. Gráfico producción vs demanda en el año 2025 para el subsistema Fila de Mora. Dotación 229 l/p/día.

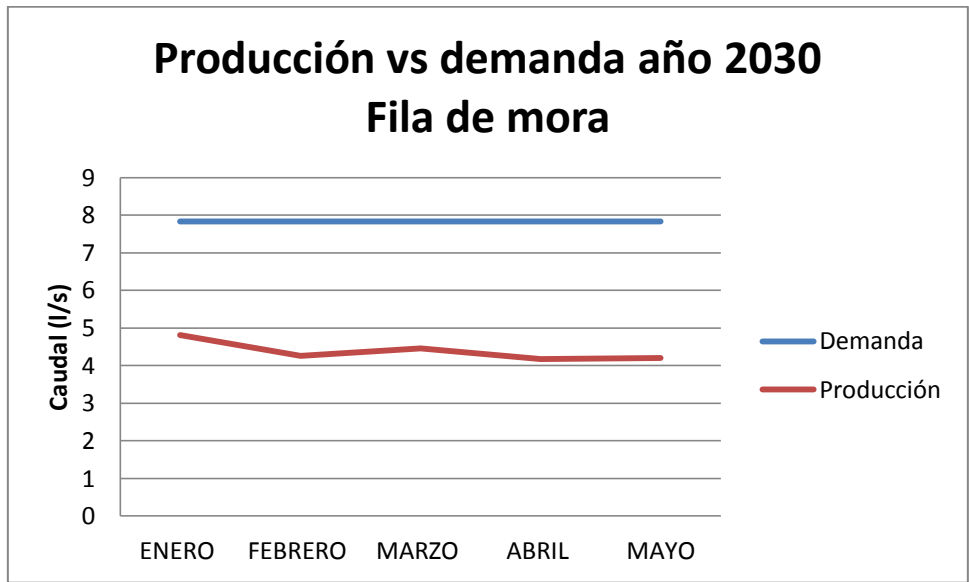


Figura 58. Gráfico producción vs demanda en el año 2030 para el subsistema Fila de Mora. Dotación 229 l/p/día.

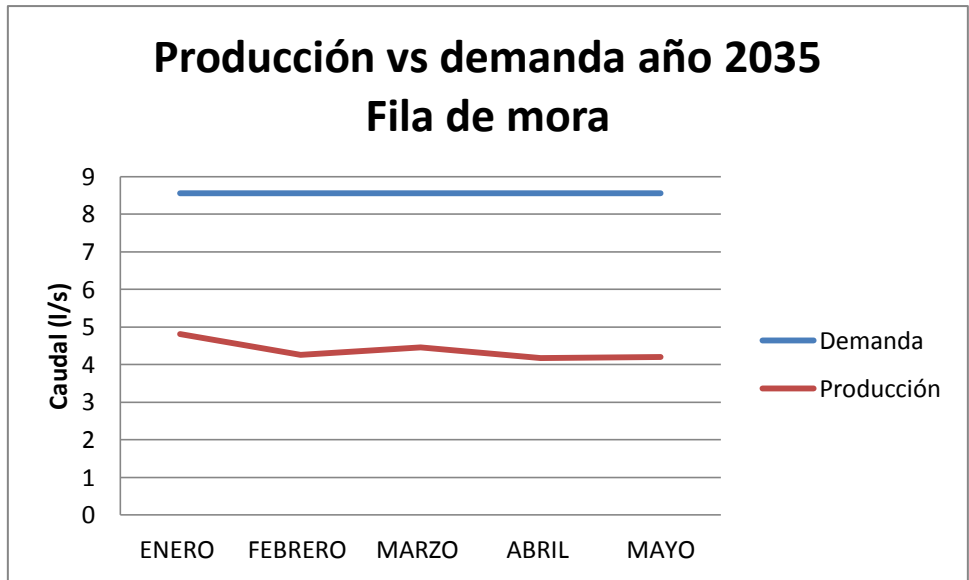


Figura 59. Gráfico producción vs demanda en el año 2035 para el subsistema Fila de Mora. Dotación 229 l/p/día.

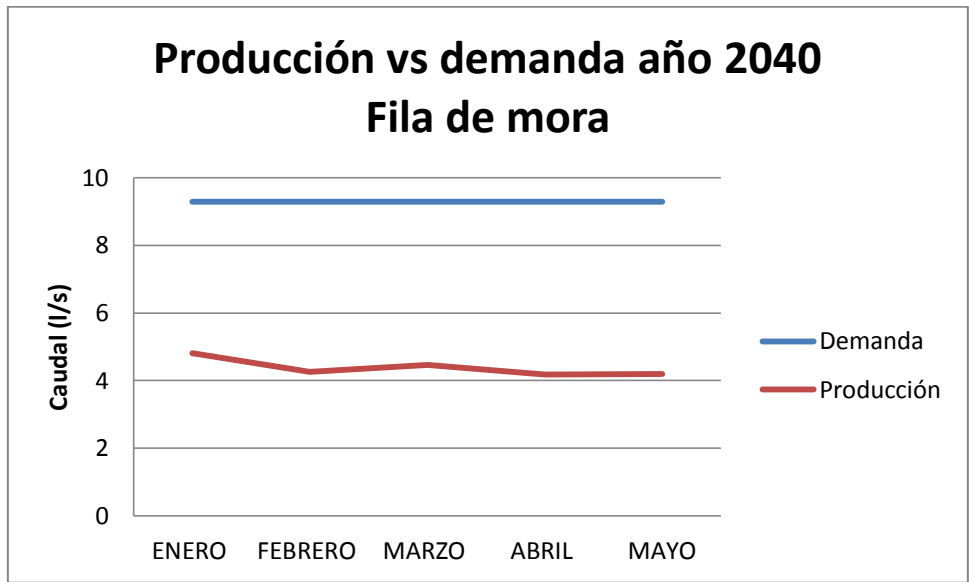


Figura 60. Gráfico producción vs demanda en el año 2040 para el subsistema Fila de Mora. Dotación 229 l/p/día.

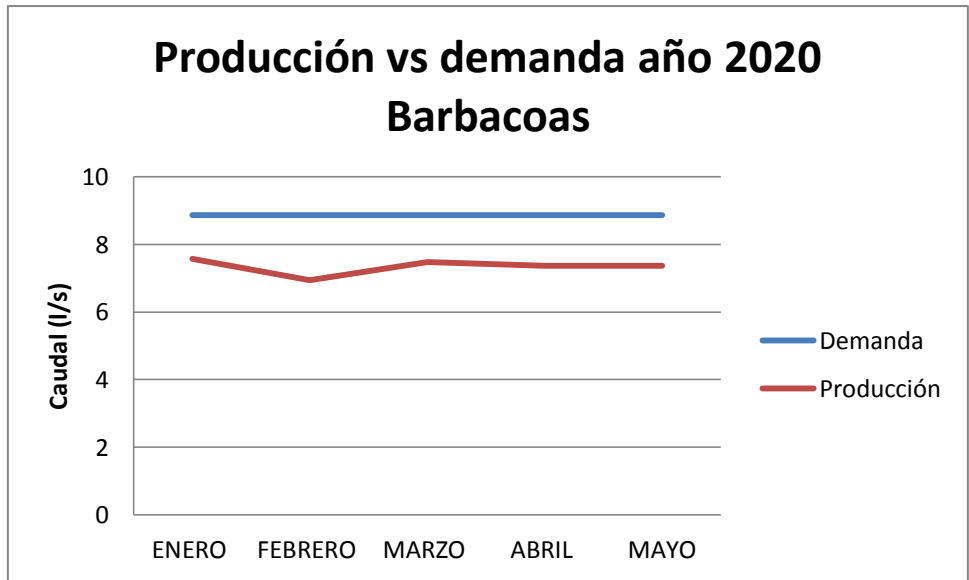


Figura 61. Gráfico producción vs demanda en el año 2020 para el subsistema Barbacoas. Dotación 344 l/p/día.

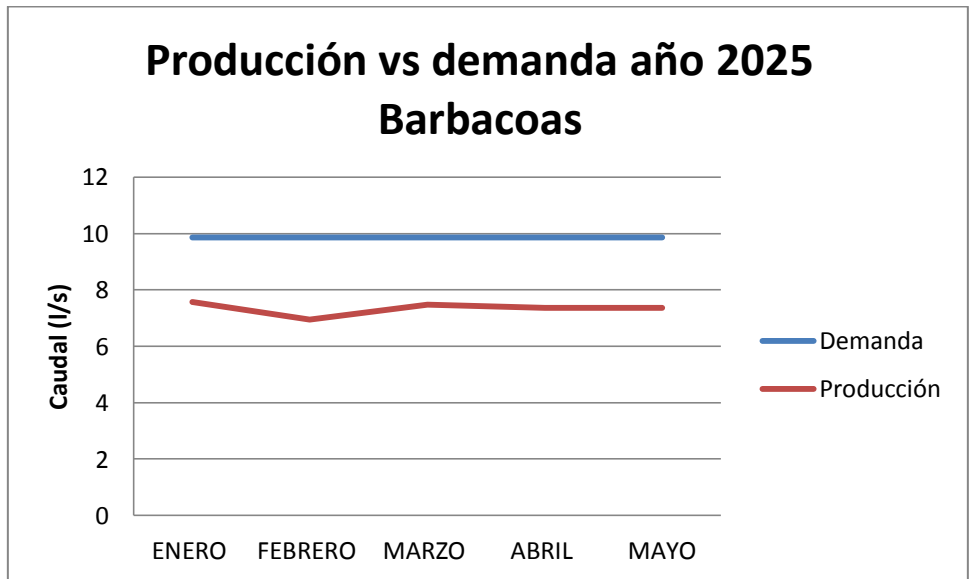


Figura 62. Gráfico producción vs demanda en el año 2025 para el subsistema Barbacoas. Dotación 344 l/p/día.

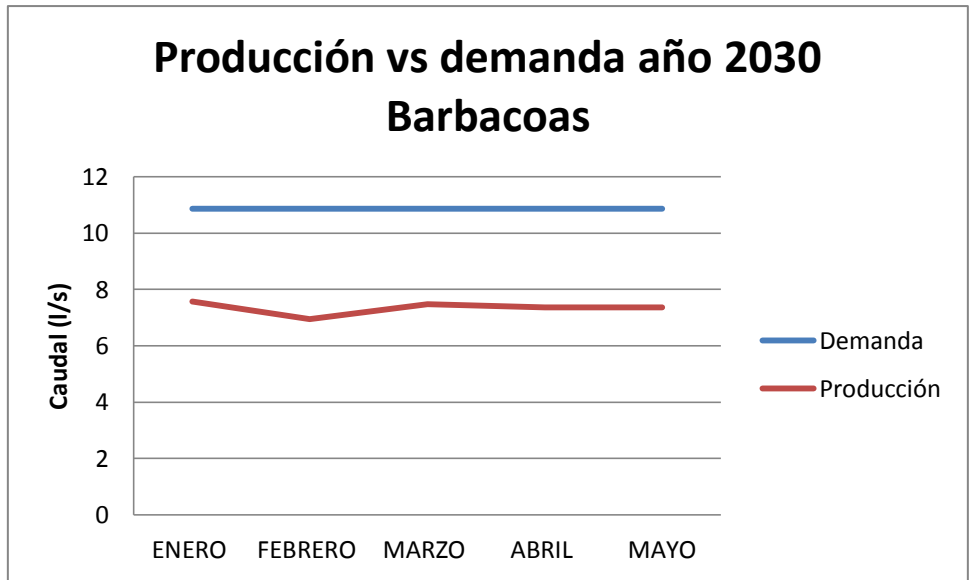


Figura 63. Gráfico producción vs demanda en el año 2030 para el subsistema Barbacoas. Dotación 344 l/p/día.

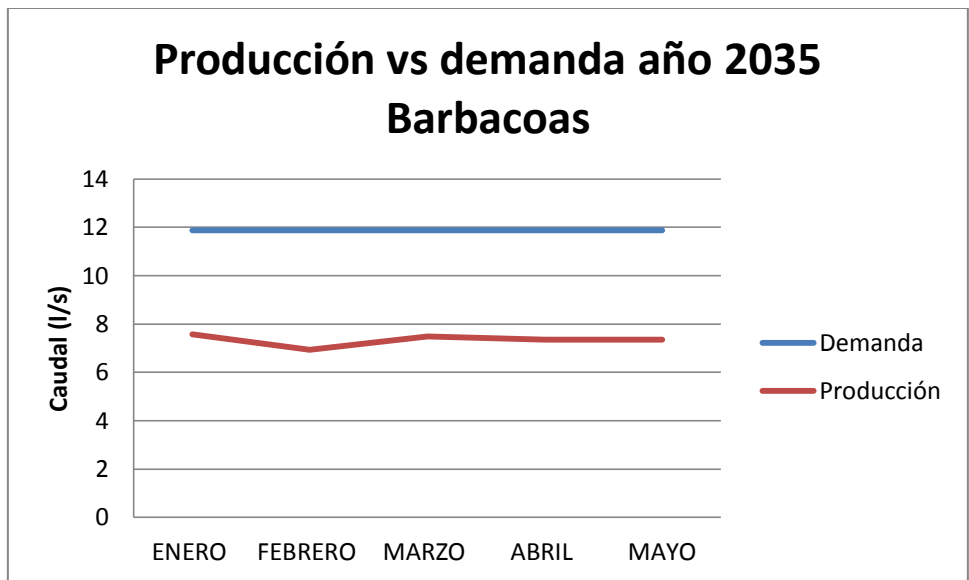


Figura 64. Gráfico producción vs demanda en el año 2035 para el subsistema Barbacoas. Dotación 344 l/p/día.

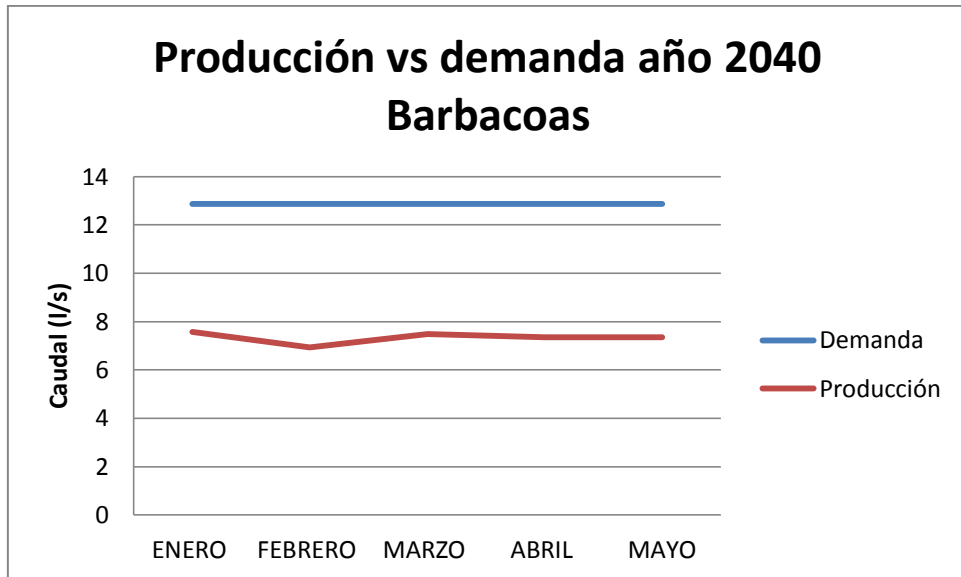


Figura 65. Gráfico producción vs demanda en el año 2040 para el subsistema Barbacoas. Dotación 344 l/p/día.

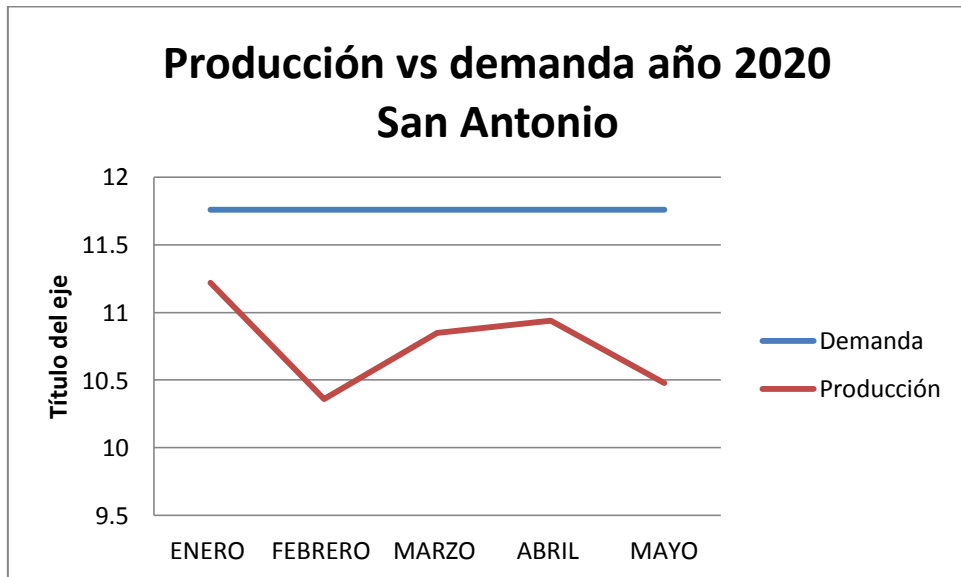


Figura 66. Gráfico producción vs demanda en el año 2020 para el subsistema San Antonio. Dotación 231 l/p/día.

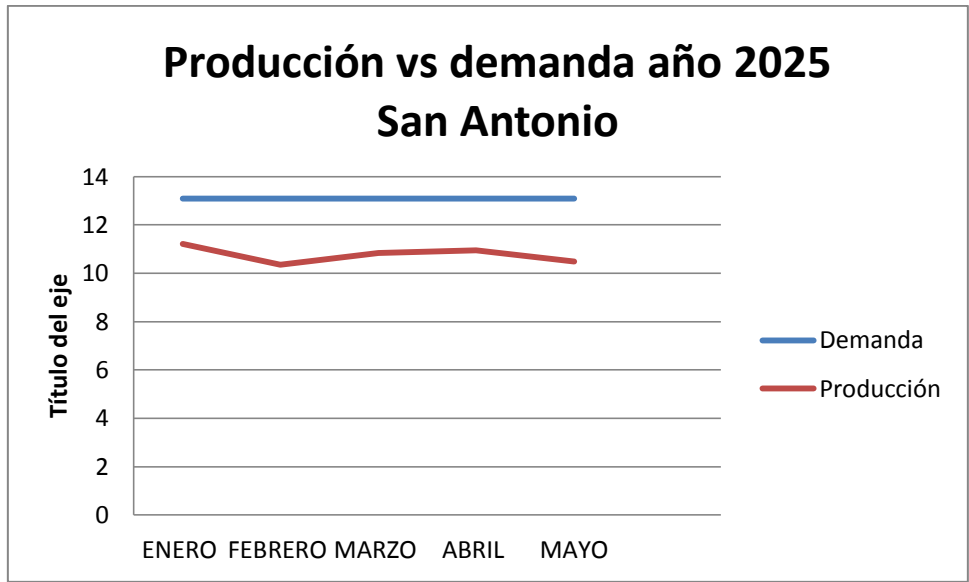


Figura 67. Gráfico producción vs demanda en el año 2025 para el subsistema San Antonio. Dotación 231 l/p/día.

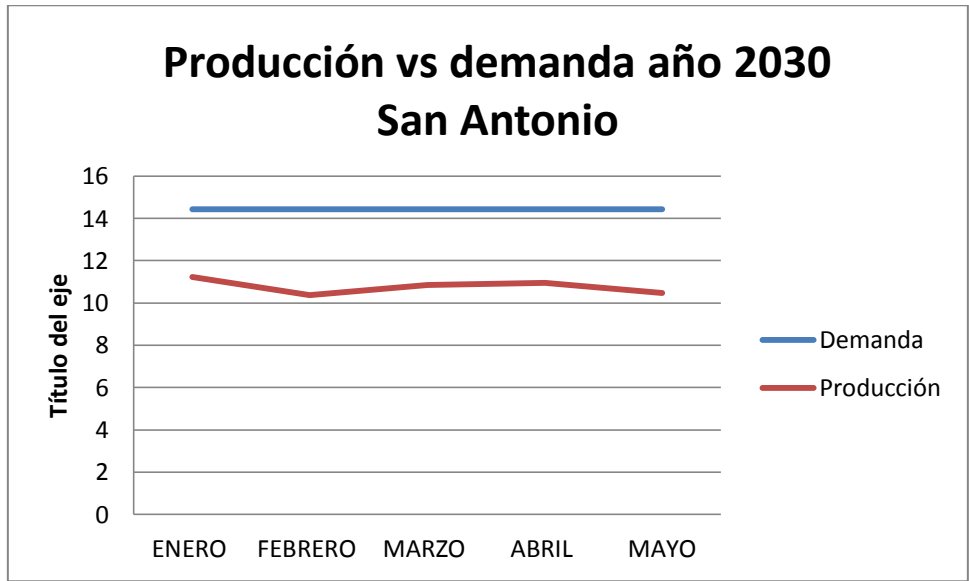


Figura 68. Gráfico producción vs demanda en el año 2030 para el subsistema San Antonio. Dotación 231 l/p/día.

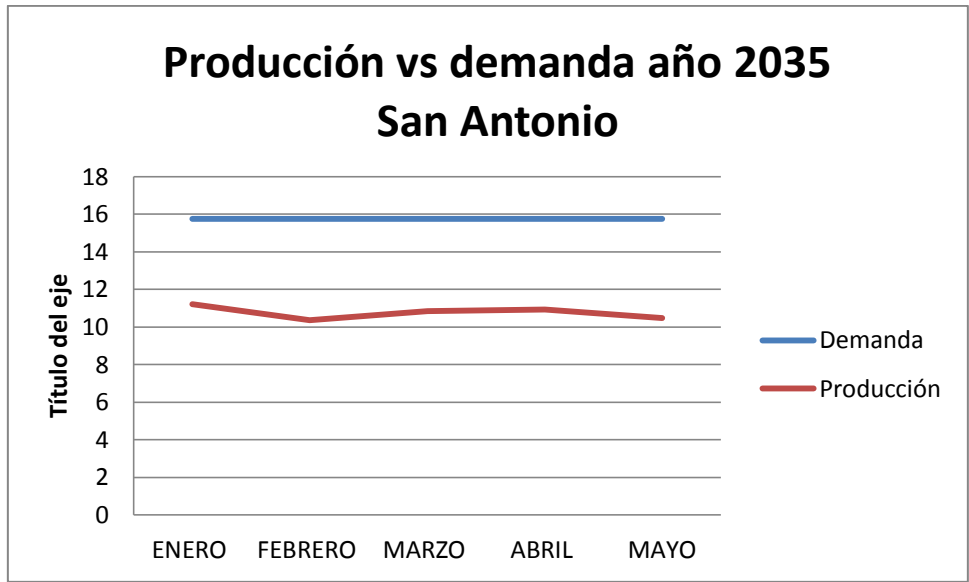


Figura 69. Gráfico producción vs demanda en el año 2035 para el subsistema San Antonio. Dotación 231 l/p/día.

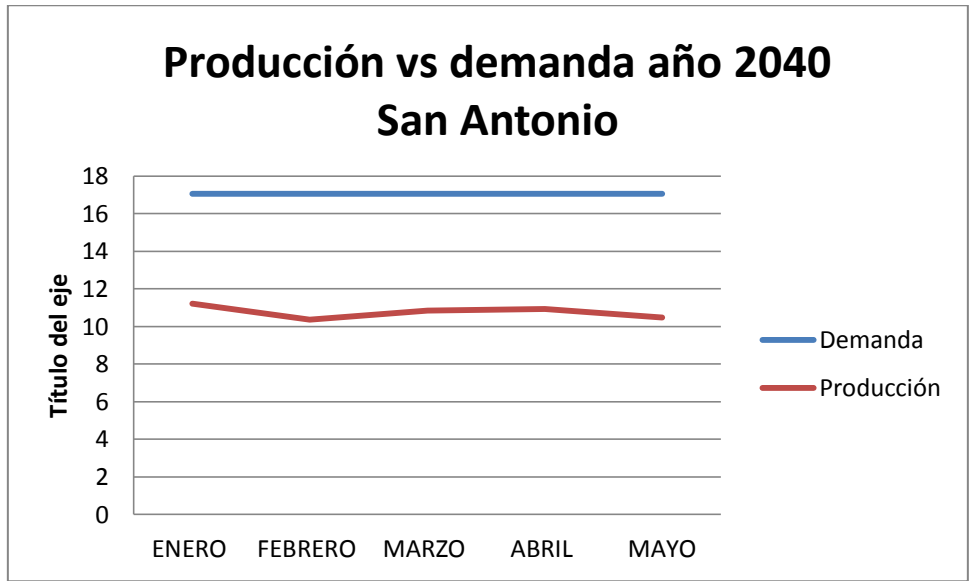


Figura 70. Gráfico producción vs demanda en el año 2040 para el subsistema San Antonio. Dotación 231 l/p/día.

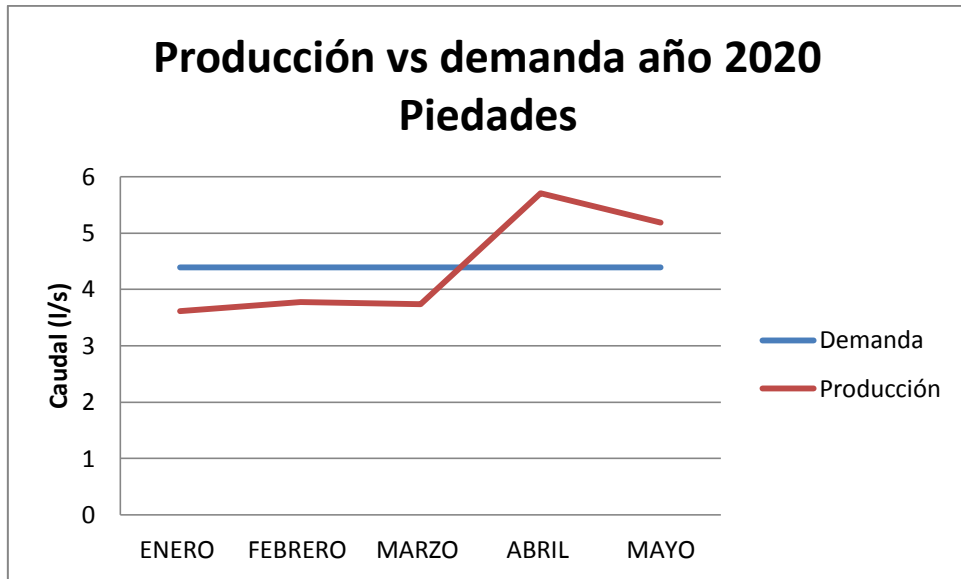


Figura 71. Gráfico producción vs demanda en el año 2020 para el subsistema Piedades. Dotación 361 l/p/día.

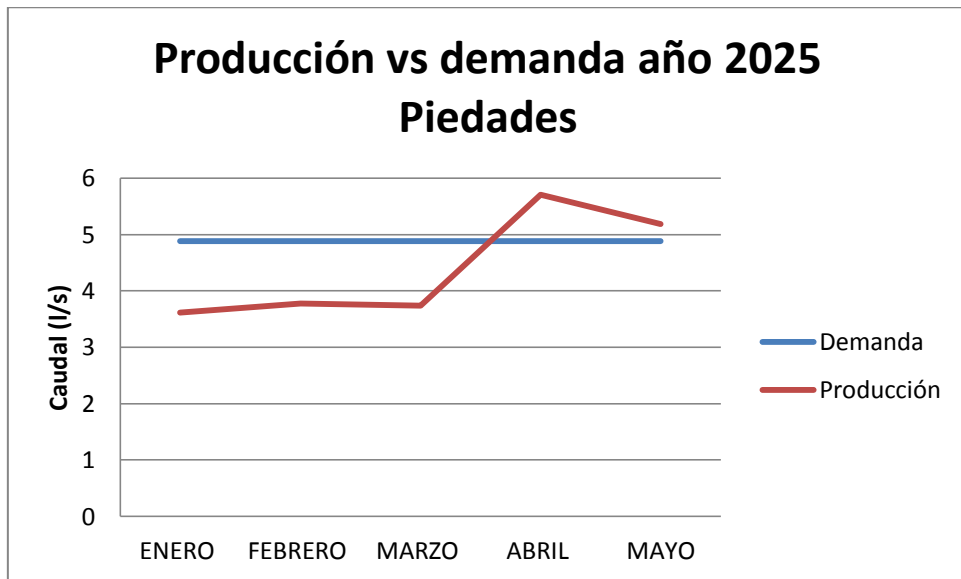


Figura 72. Gráfico producción vs demanda en el año 2025 para el subsistema Piedades. Dotación 361 l/p/día.

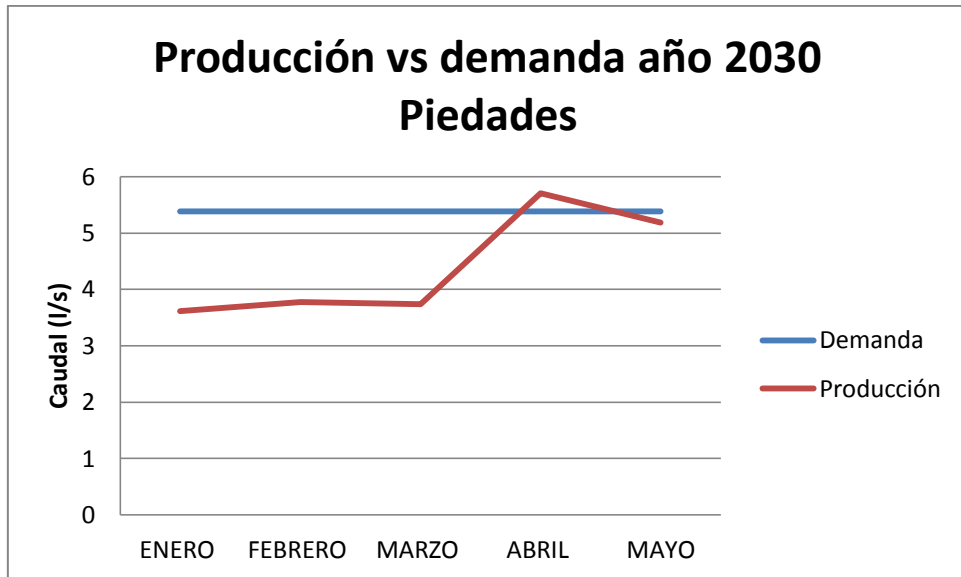


Figura 73. Gráfico producción vs demanda en el año 2030 para el subsistema Piedades. Dotación 344 l/p/día.

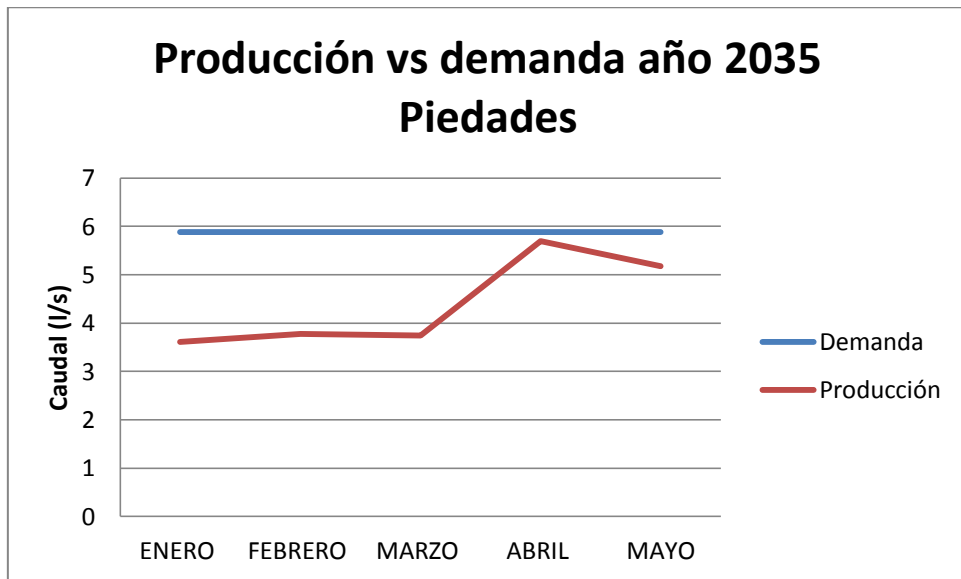


Figura 74. Gráfico producción vs demanda en el año 2035 para el subsistema Piedades. Dotación 361 l/p/día.

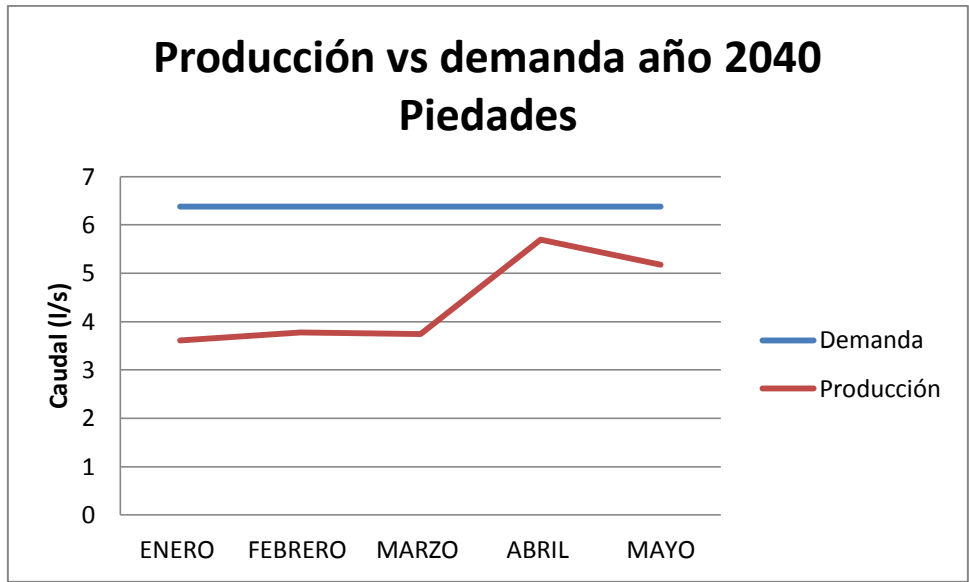


Figura 75. Gráfico producción vs demanda en el año 2040 para el subsistema Piedades. Dotación 361 l/p/día.

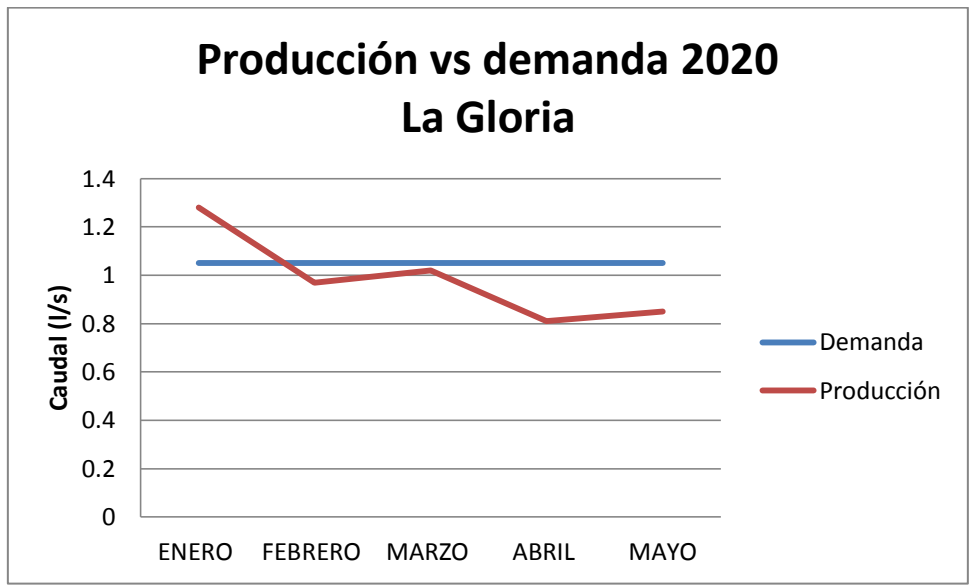


Figura 76. Gráfico producción vs demanda en el año 2020 para el subsistema La Gloria. Dotación 227 l/p/día.

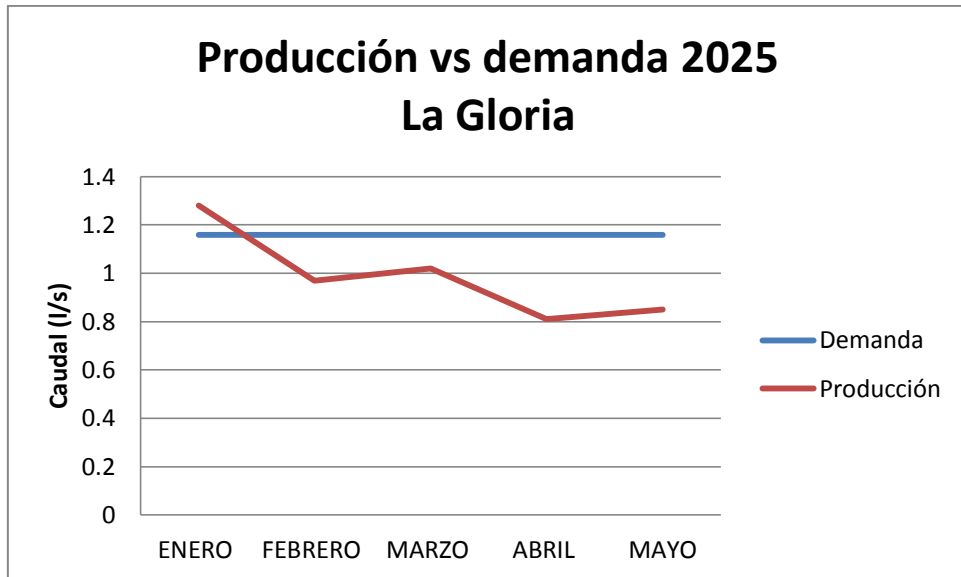


Figura 77. Gráfico producción vs demanda en el año 2025 para el subsistema La Gloria. Dotación 227 l/p/día.

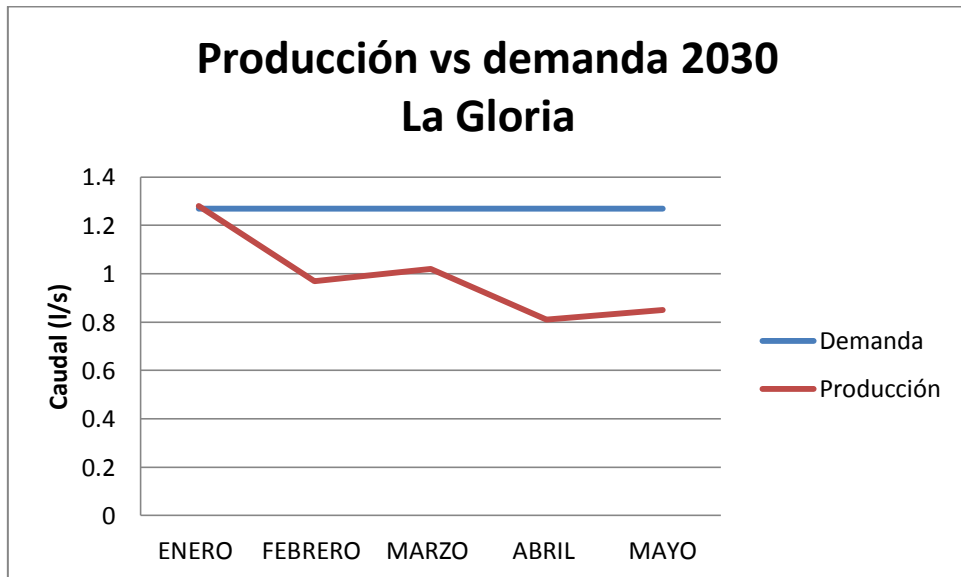


Figura 78. Gráfico producción vs demanda en el año 2030 para el subsistema La Gloria. Dotación 227 l/p/día.

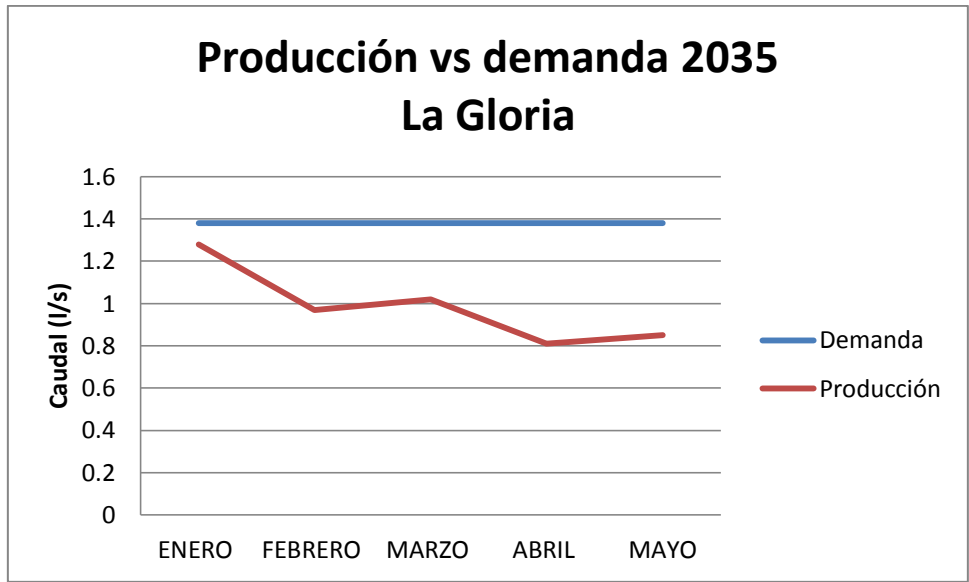


Figura 79. Gráfico producción vs demanda en el año 2035 para el subsistema La Gloria. Dotación 227 l/p/día.

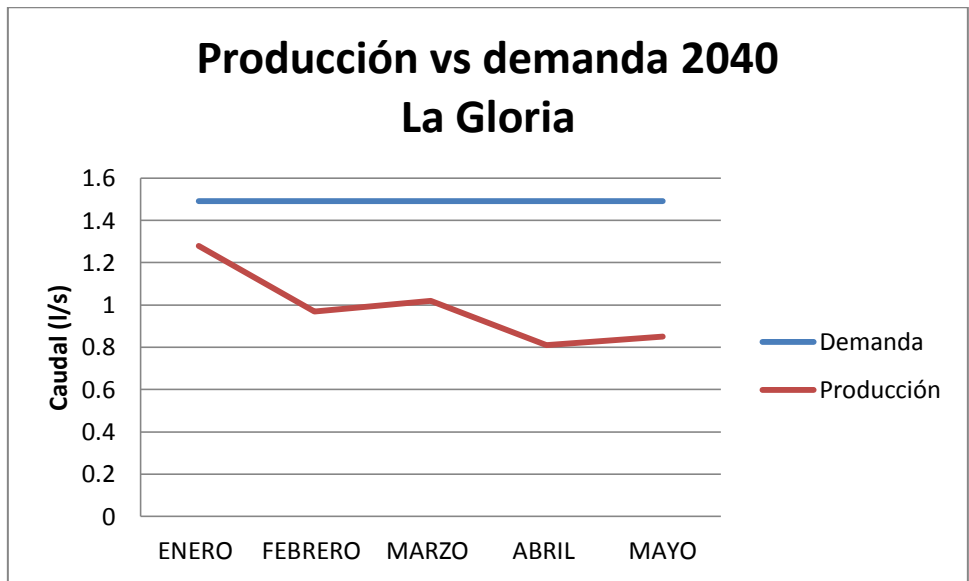


Figura 80. Gráfico producción vs demanda en el año 2040 para el subsistema La Gloria. Dotación 227 l/p/día.

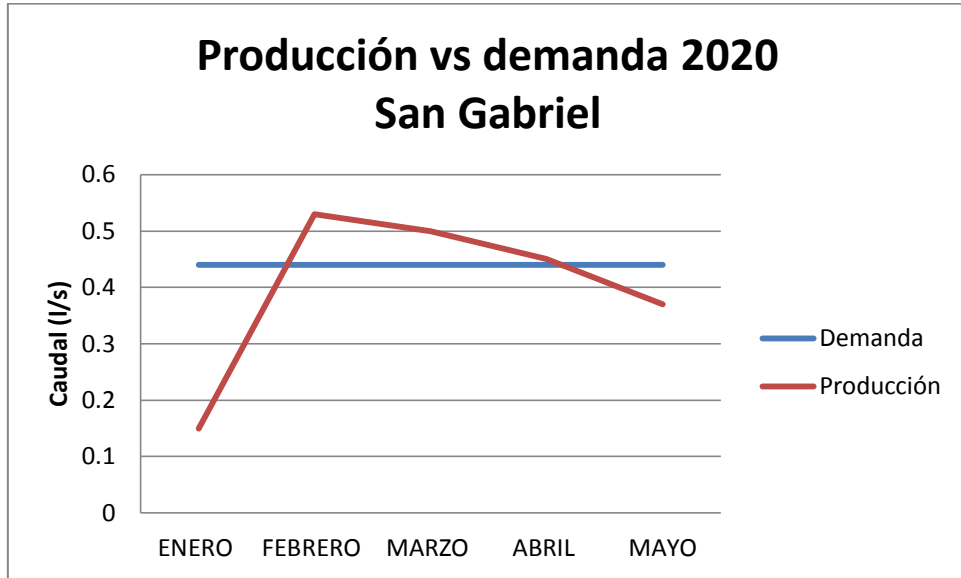


Figura 81. Gráfico producción vs demanda en el año 2020 para el subsistema San Gabriel. Dotación 242 l/p/día.

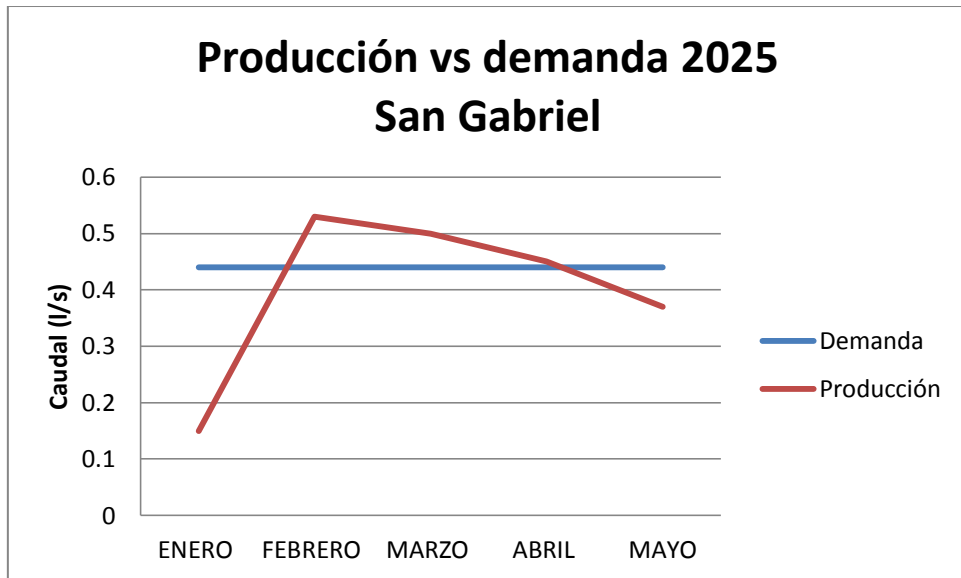


Figura 82. Gráfico producción vs demanda en el año 2025 para el subsistema San Gabriel. Dotación 242 l/p/día.

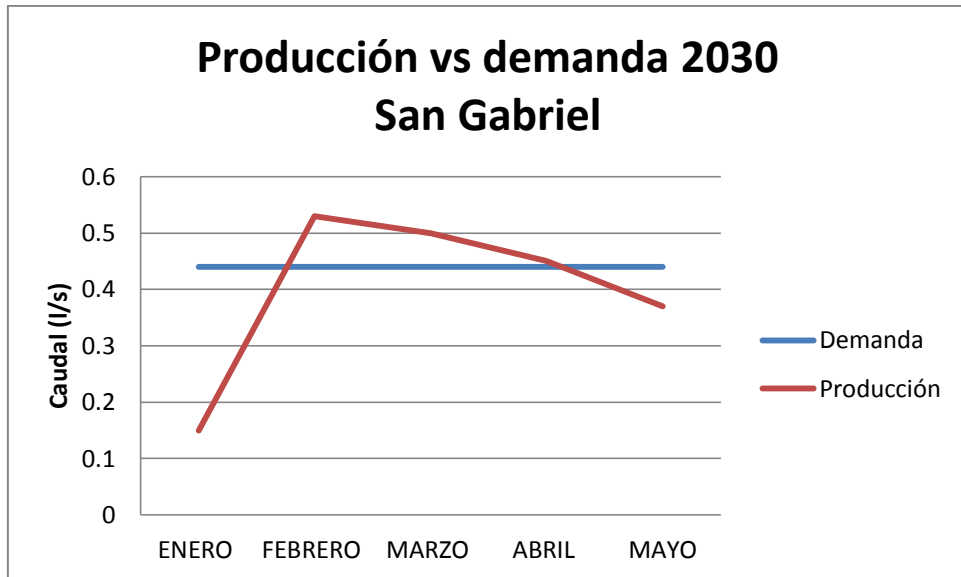


Figura 83. Gráfico producción vs demanda en el año 2030 para el subsistema San Gabriel. Dotación 242 l/p/día.

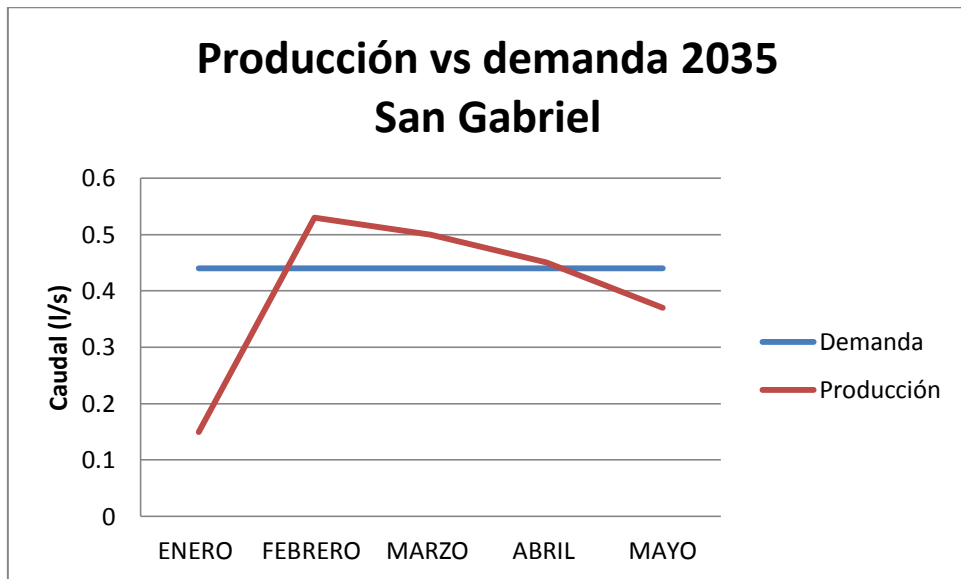


Figura 84. Gráfico producción vs demanda en el año 2020 para el subsistema San Gabriel. Dotación 242 l/p/día.

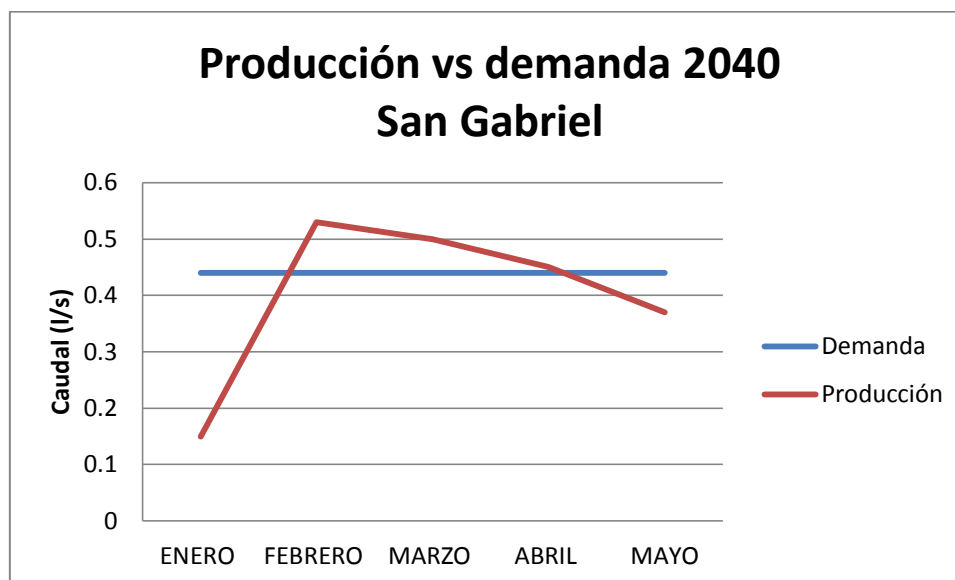


Figura 85. Gráfico producción vs demanda en el año 2040 para el subsistema Barbacoas. Dotación 242 l/p/día.

Seguidamente, se propuso disminuir el valor de la dotación de agua potable a 200 l/p/día para todos los subsistemas que componen el acueducto de Puriscal y realizar las proyecciones de demanda de caudal los cuales se muestran en el Cuadro 27. Esto supone realizar un esfuerzo por reducir el porcentaje de pérdida de agua no contabilizada a un 20%. Para realizar esto se debe de invertir en el acueducto, tanto en mejorar la infraestructura como en la administración eficaz del mismo. A continuación se presentan los resultados obtenidos.

Cuadro 27. Proyección de caudal a partir de las proyecciones de población y una dotación de 200 l/p/d.

SUBSISTEMA	ANC (%)	DOTACIÓN (l/p/día)	PROYECCIÓN DE CAUDAL DE DEMANDA				
			2020	2025	2030	2035	2040
SANTIAGO	20	200	41.66	46.36	51.07	55.77	60.48
MERCEDES	20	200	0.23	0.27	0.30	0.33	0.37
ALTO LA LEGUA	20	200	1.00	1.05	1.10	1.15	1.20
FILA DE MORA	20	200	5.58	6.21	6.84	7.47	8.11
BARBACOAS	20	200	5.15	5.73	6.32	6.90	7.49
SAN ANTONIO	20	200	10.18	11.33	12.48	13.63	14.78
PIEADAES	20	200	2.43	2.71	2.98	3.26	3.54

LA GLORIA	20	200	0.92	1.02	1.12	1.21	1.31
SAN GABRIEL	20	200	0.36	0.36	0.36	0.36	0.36

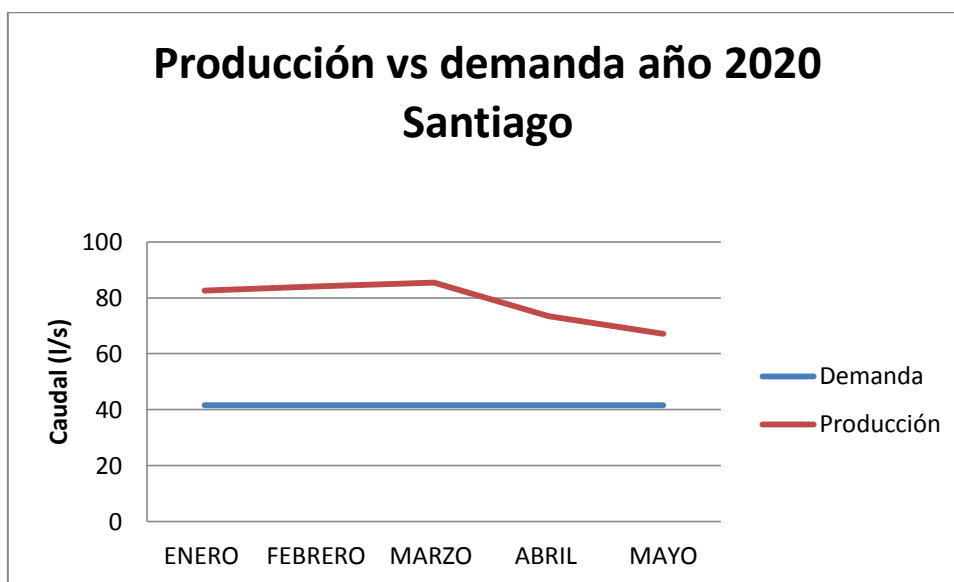


Figura 86. Gráfico producción vs demanda en el año 2020 para el subsistema Santiago. Dotación 200 l/p/día.

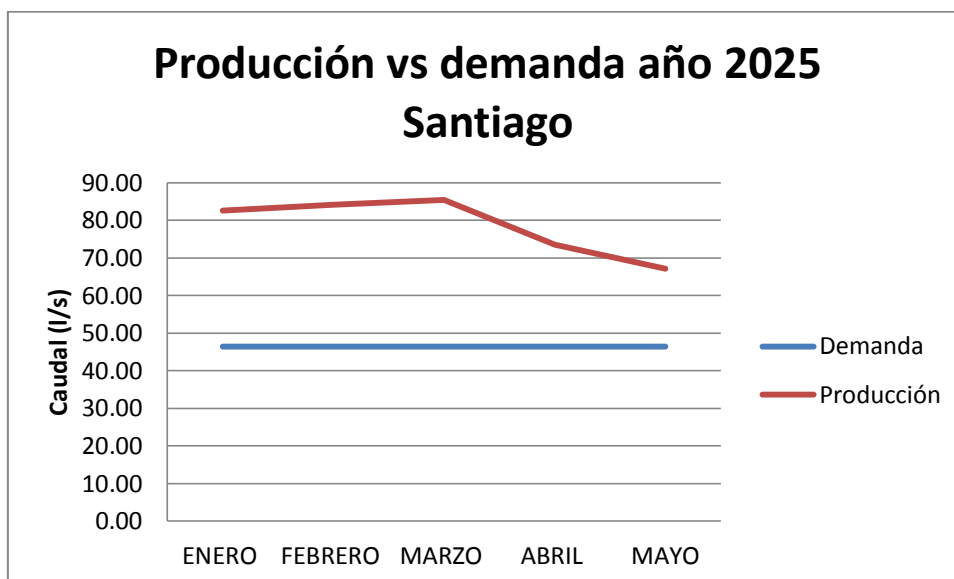


Figura 87. Gráfico producción vs demanda en el año 2025 para el subsistema Santiago. Dotación 200 l/p/día.

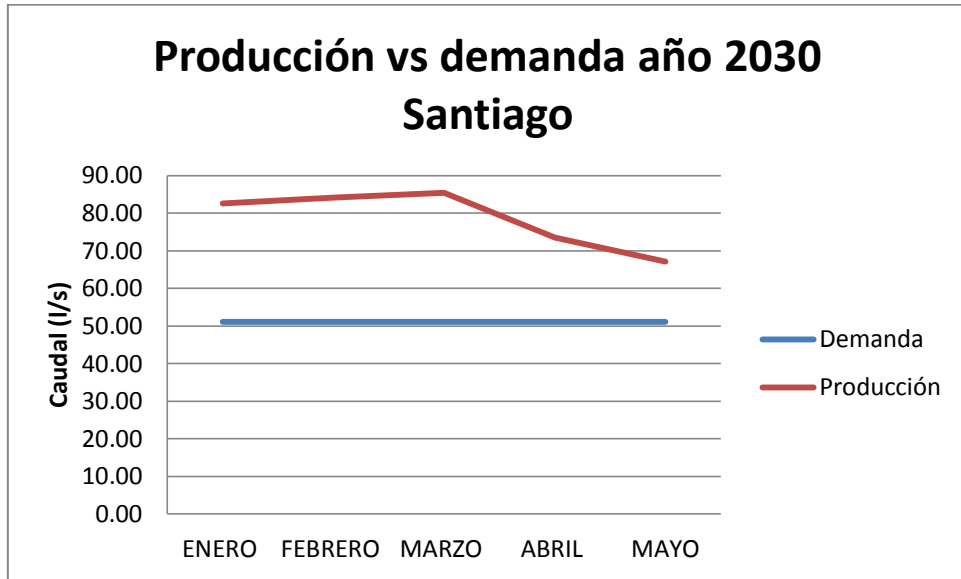


Figura 88. Gráfico producción vs demanda en el año 2030 para el subsistema Santiago. Dotación 200 l/p/día.

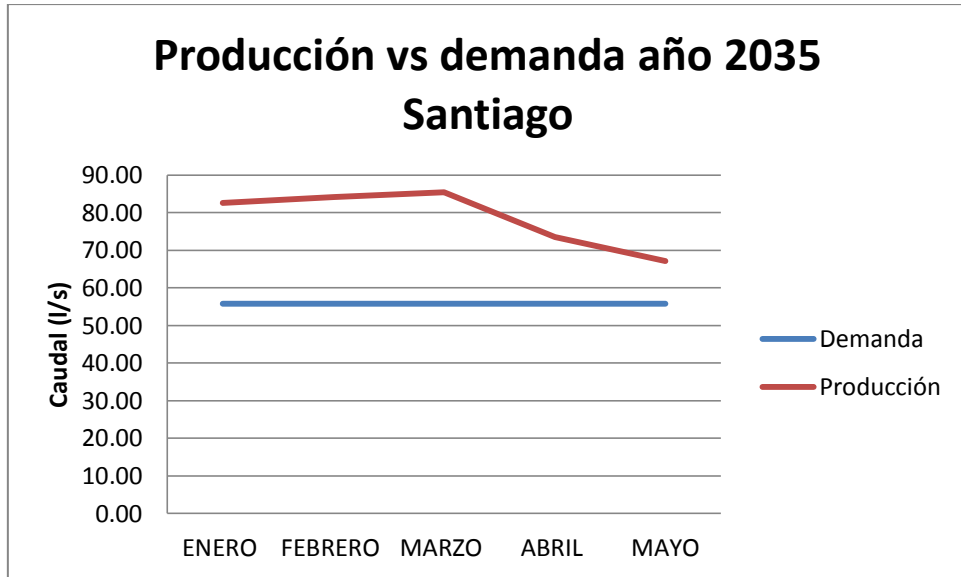


Figura 89. Gráfico producción vs demanda en el año 2035 para el subsistema Santiago. Dotación 200 l/p/día.

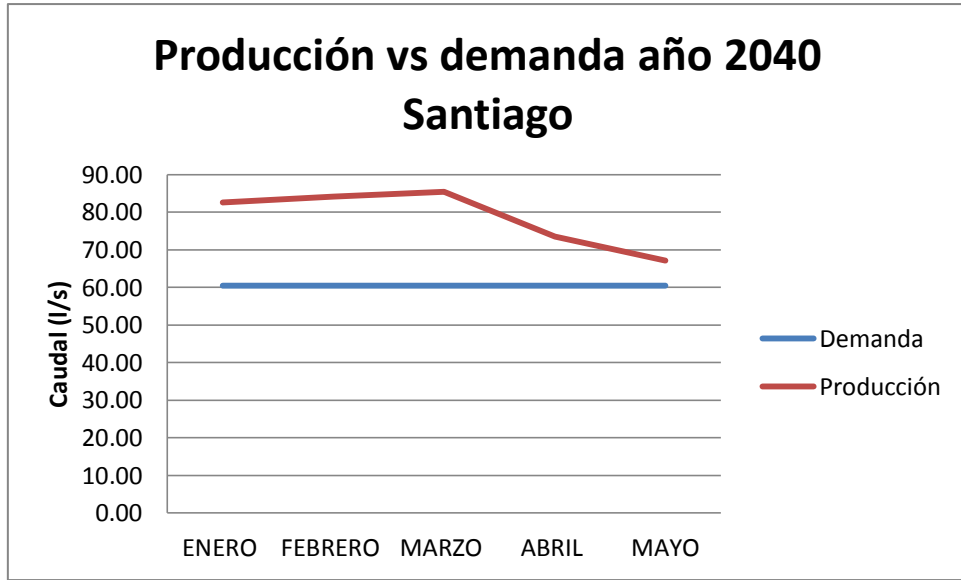


Figura 90. Gráfico producción vs demanda en el año 2040 para el subsistema Santiago. Dotación 200 l/p/día.

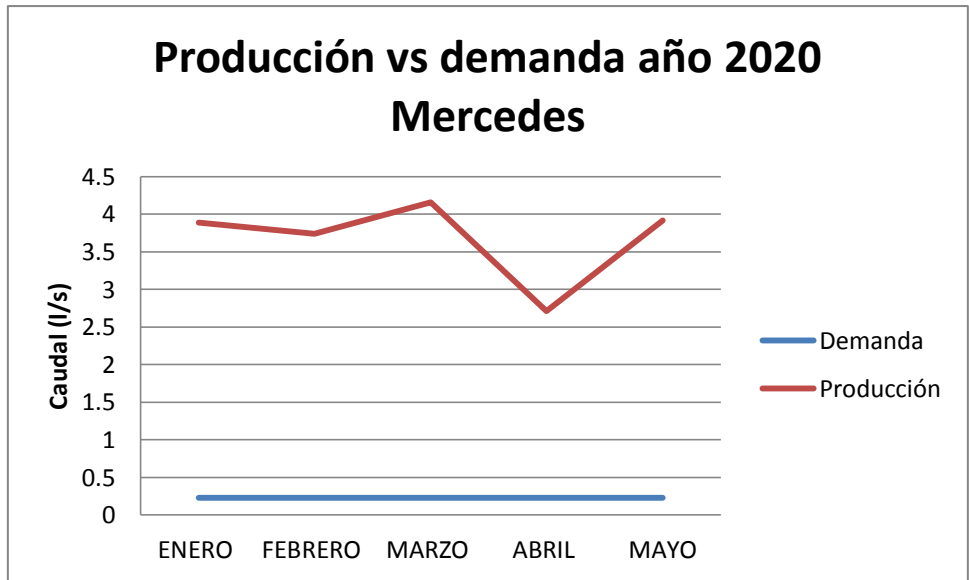


Figura 91. Gráfico producción vs demanda en el año 2020 para el subsistema Mercedes. Dotación 200 l/p/día.

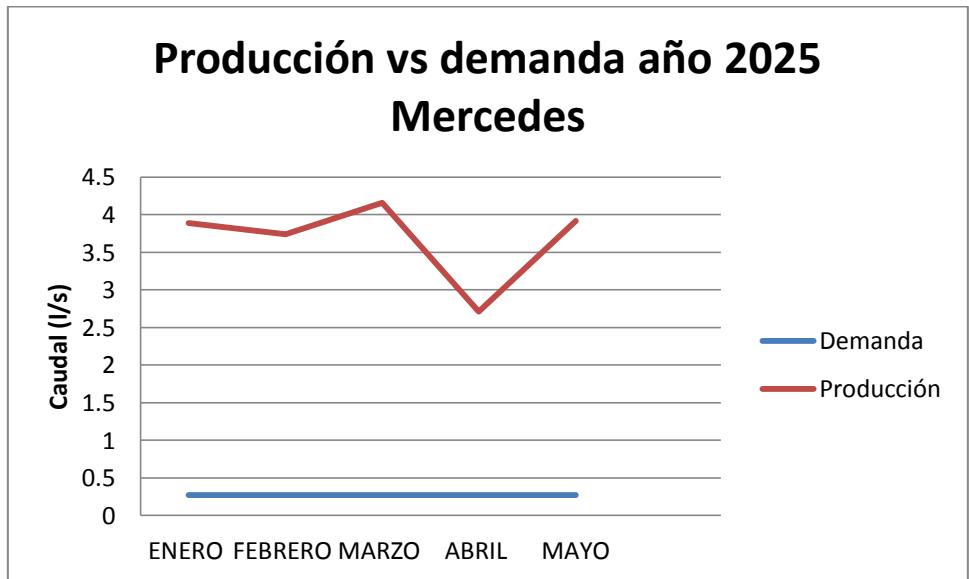


Figura 92. Gráfico producción vs demanda en el año 2025 para el subsistema Mercedes. Dotación 200 l/p/día.

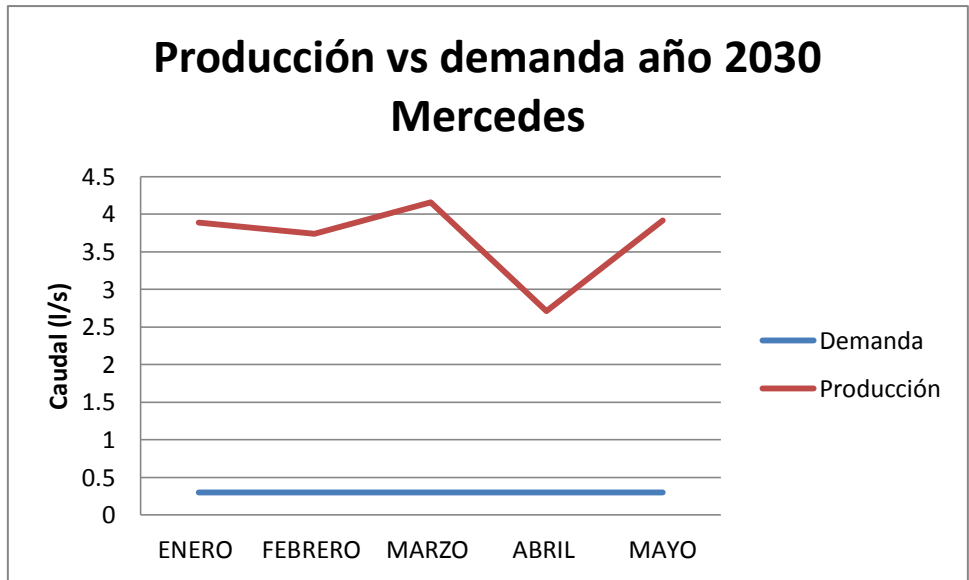


Figura 93. Gráfico producción vs demanda en el año 2030 para el subsistema Mercedes. Dotación 200 l/p/día.

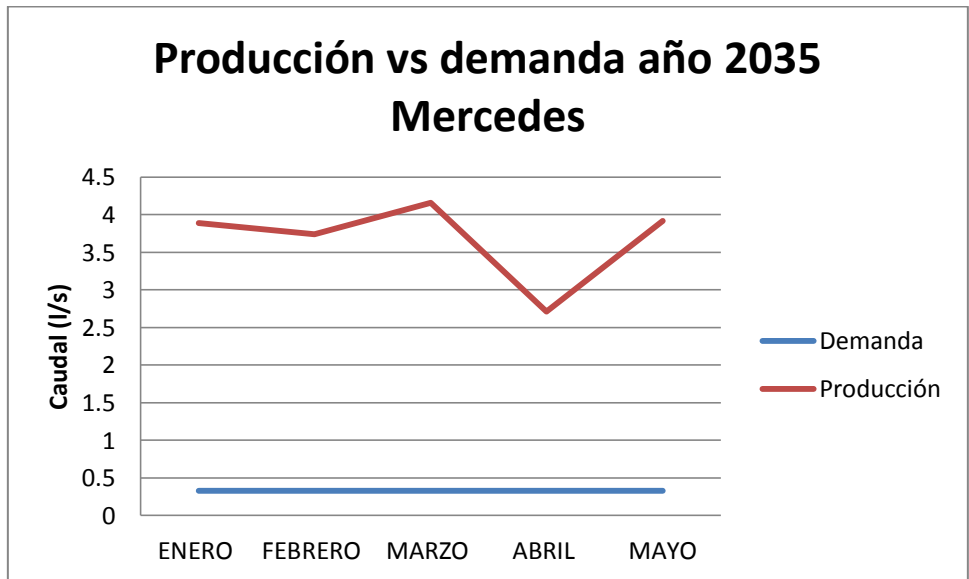


Figura 94. Gráfico producción vs demanda en el año 2035 para el subsistema Mercedes. Dotación 200 l/p/día.

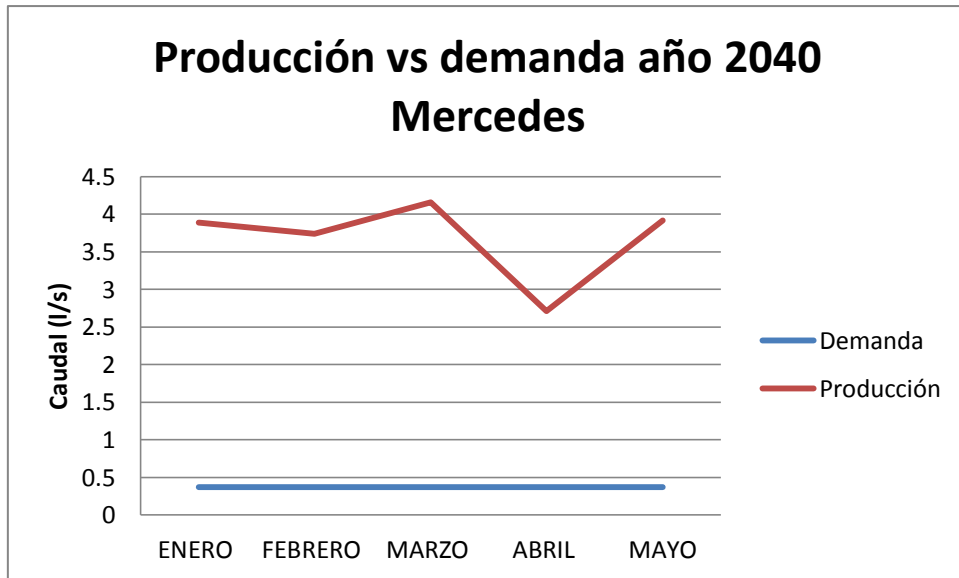


Figura 95. Gráfico producción vs demanda en el año 2040 para el subsistema Mercedes. Dotación 200 l/p/día.

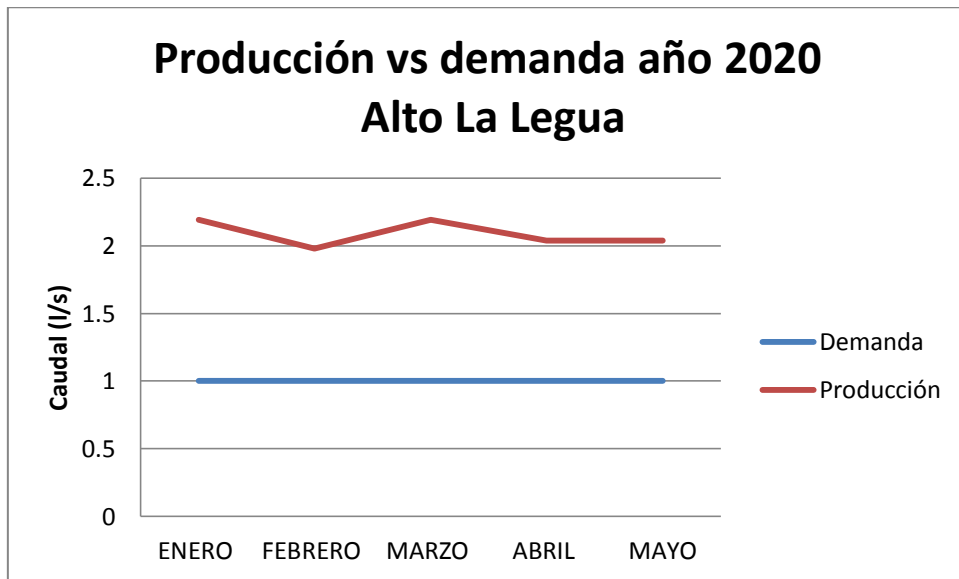


Figura 96. Gráfico producción vs demanda en el año 2020 para el subsistema Alto La Legua. Dotación 200 l/p/día.

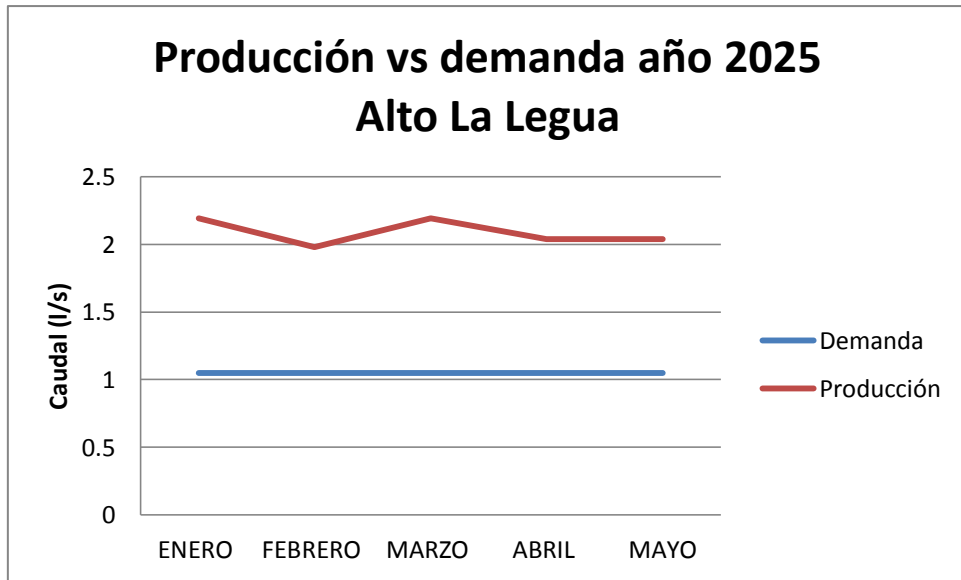


Figura 97. Gráfico producción vs demanda en el año 2025 para el subsistema Alto La Legua. Dotación 200 l/p/día.

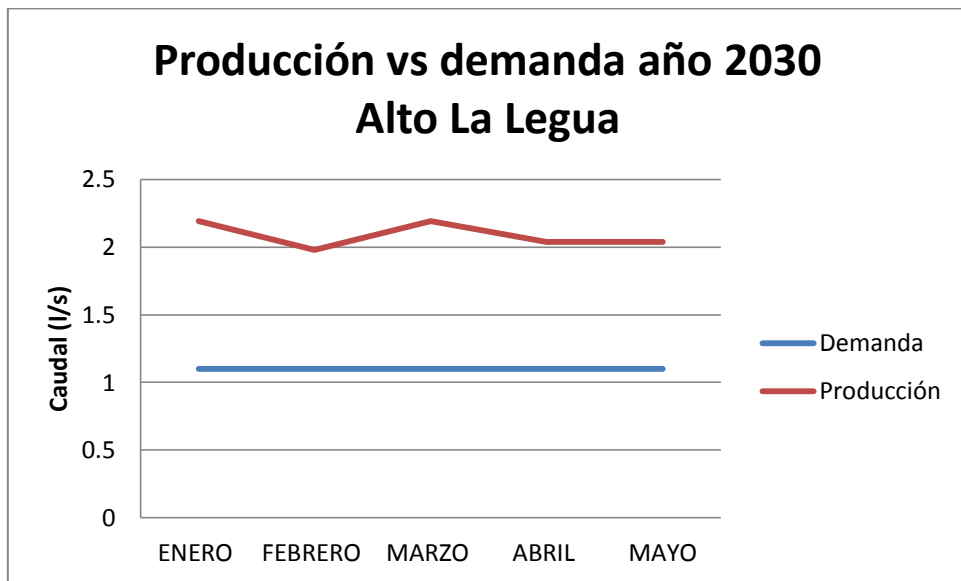


Figura 98. Gráfico producción vs demanda en el año 2030 para el subsistema Alto La Legua. Dotación 200 l/p/día.

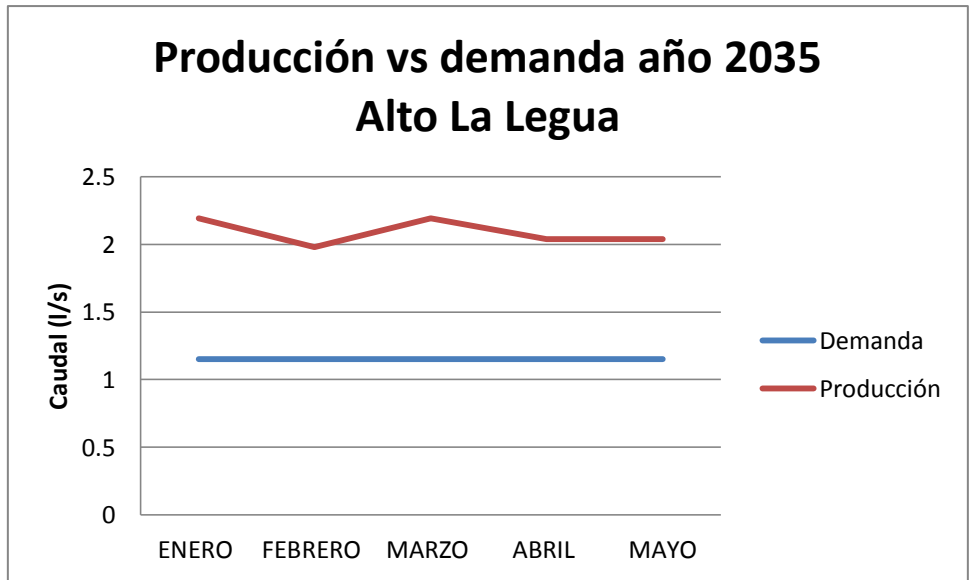


Figura 99. Gráfico producción vs demanda en el año 2035 para el subsistema Alto La Legua. Dotación 200 l/p/día.

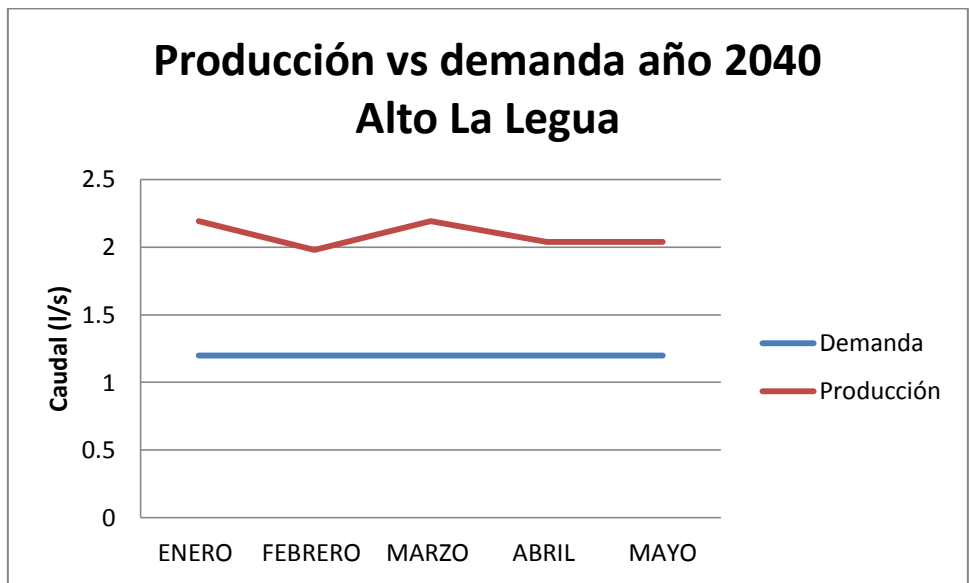


Figura 100. Gráfico producción vs demanda en el año 2040 para el subsistema Alto La Legua. Dotación 200 l/p/día.

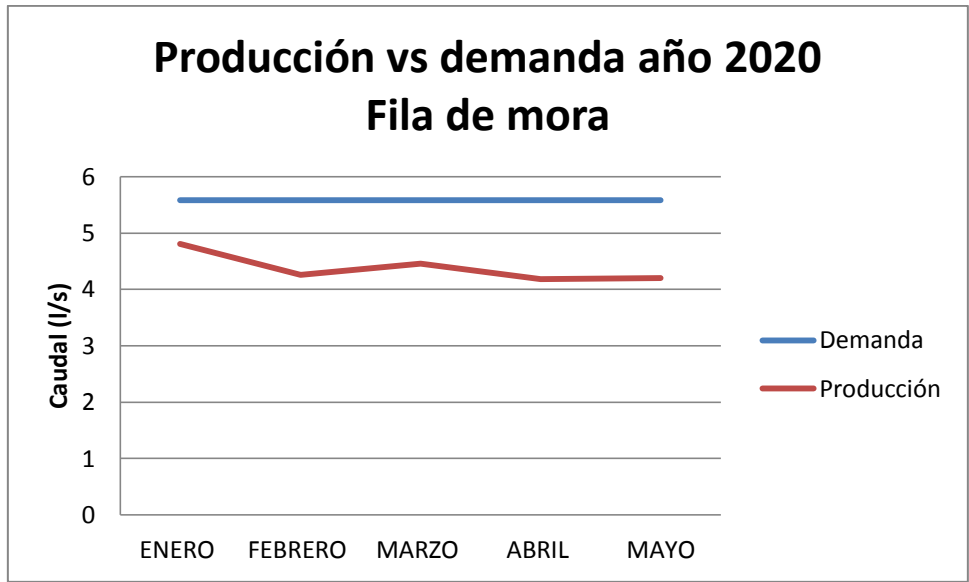


Figura 101. Gráfico producción vs demanda en el año 2020 para el subsistema Fila de Mora. Dotación 242 l/p/día.

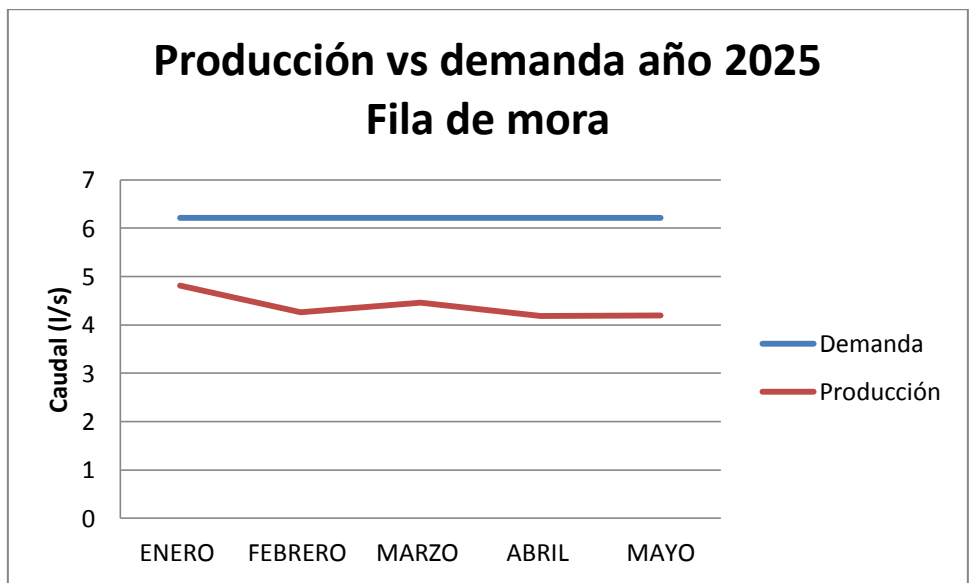


Figura 102. Gráfico producción vs demanda en el año 2025 para el subsistema Fila de Mora. Dotación 200 l/p/día.

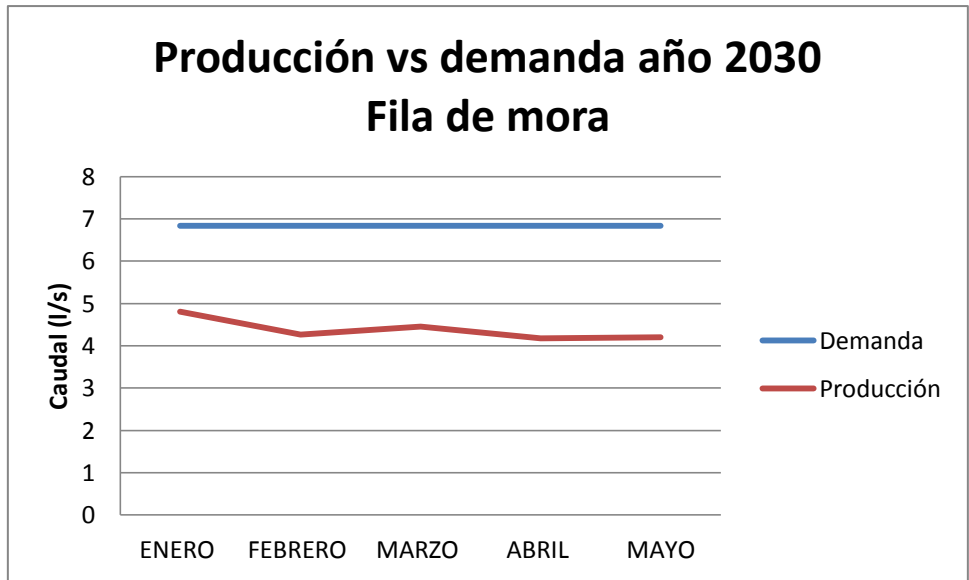


Figura 103. Gráfico producción vs demanda en el año 2030 para el subsistema Fila de Mora. Dotación 200 l/p/día.

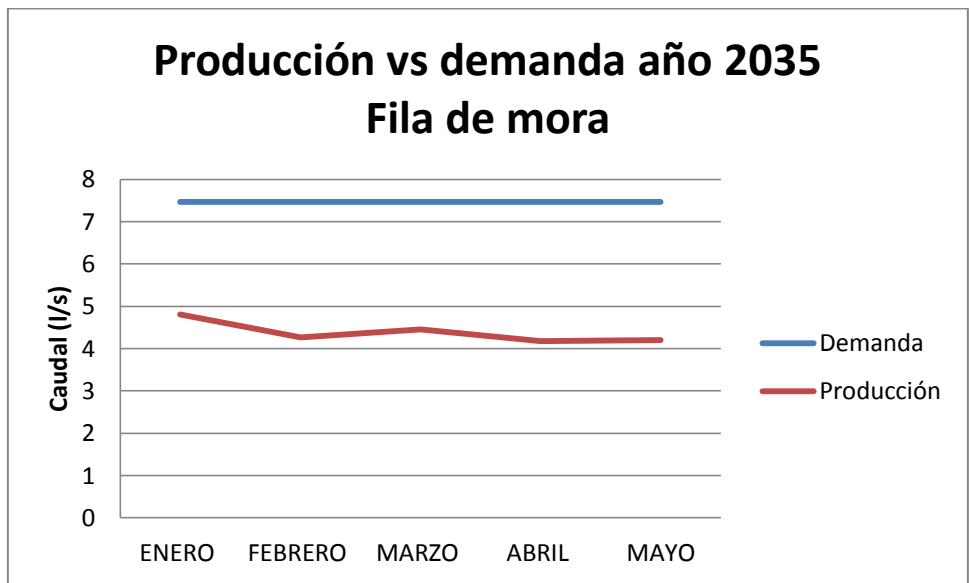


Figura 104. Gráfico producción vs demanda en el año 2035 para el subsistema Fila de Mora. Dotación 200 l/p/día.

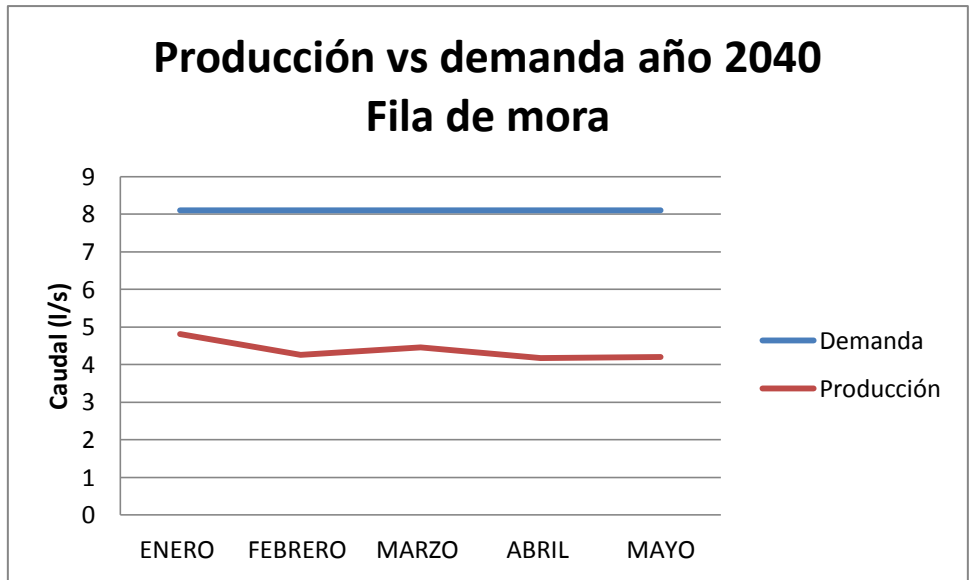


Figura 105. Gráfico producción vs demanda en el año 2040 para el subsistema Fila de Mora. Dotación 200 l/p/día.

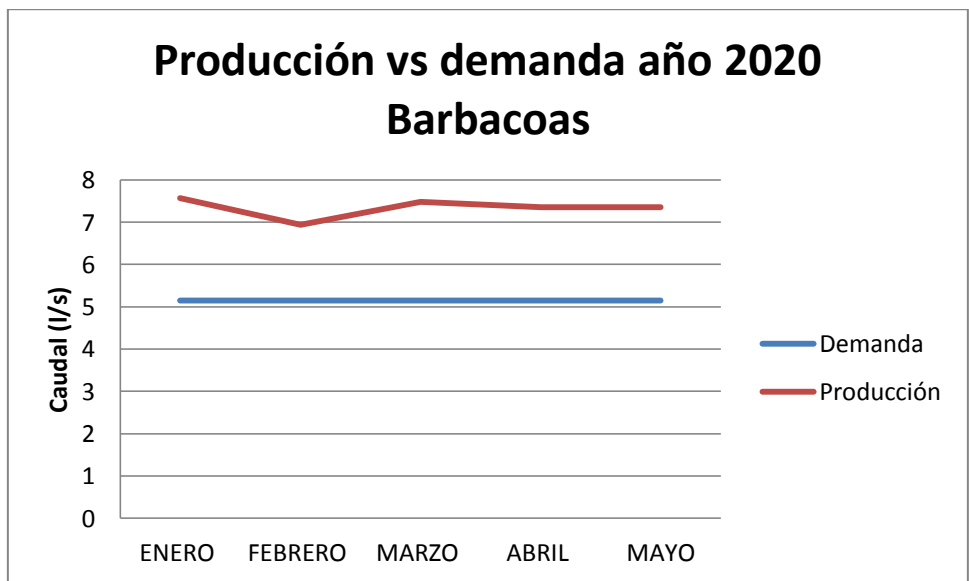


Figura 106. Gráfico producción vs demanda en el año 2020 para el subsistema Barbacoas. Dotación 200 l/p/día.

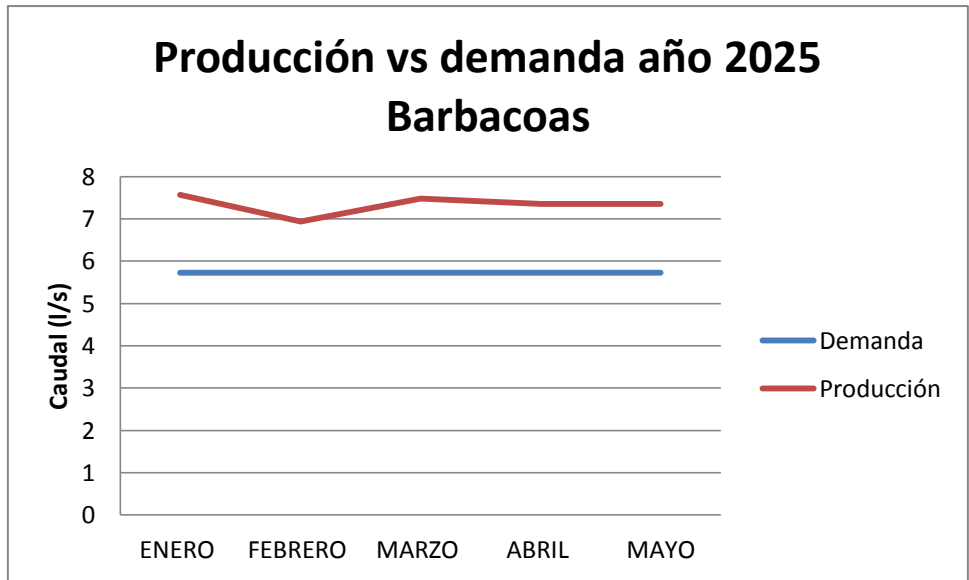


Figura 107. Gráfico producción vs demanda en el año 2025 para el subsistema Barbacoas. Dotación 200 l/p/día.

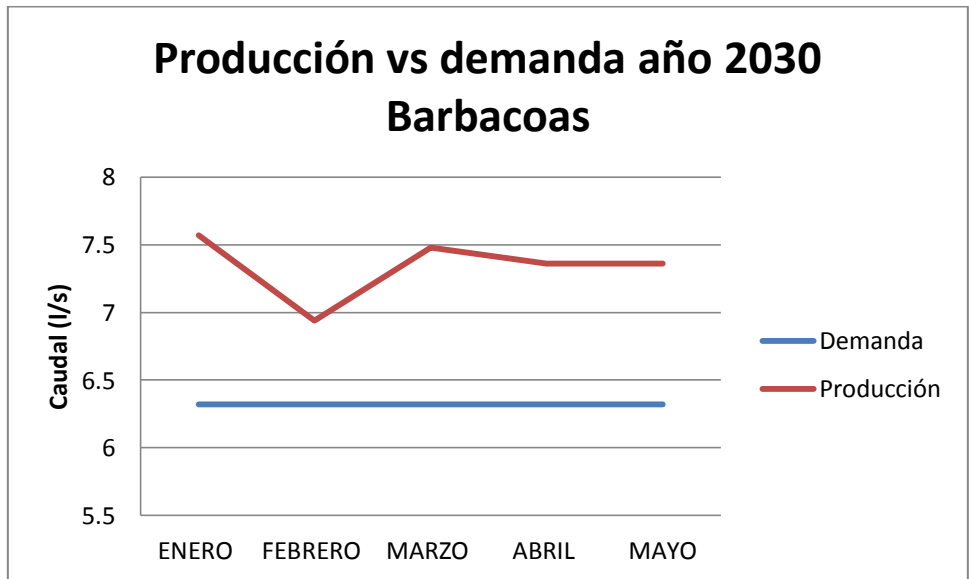


Figura 108. Gráfico producción vs demanda en el año 2030 para el subsistema Barbacoas. Dotación 200 l/p/día.

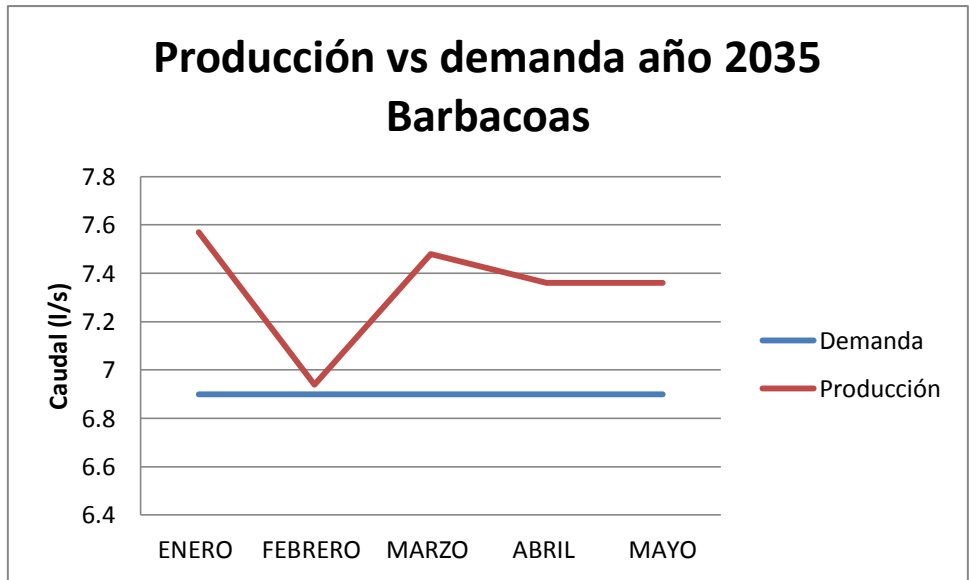


Figura 109. Gráfico producción vs demanda en el año 2035 para el subsistema Barbacoas. Dotación 200 l/p/día.

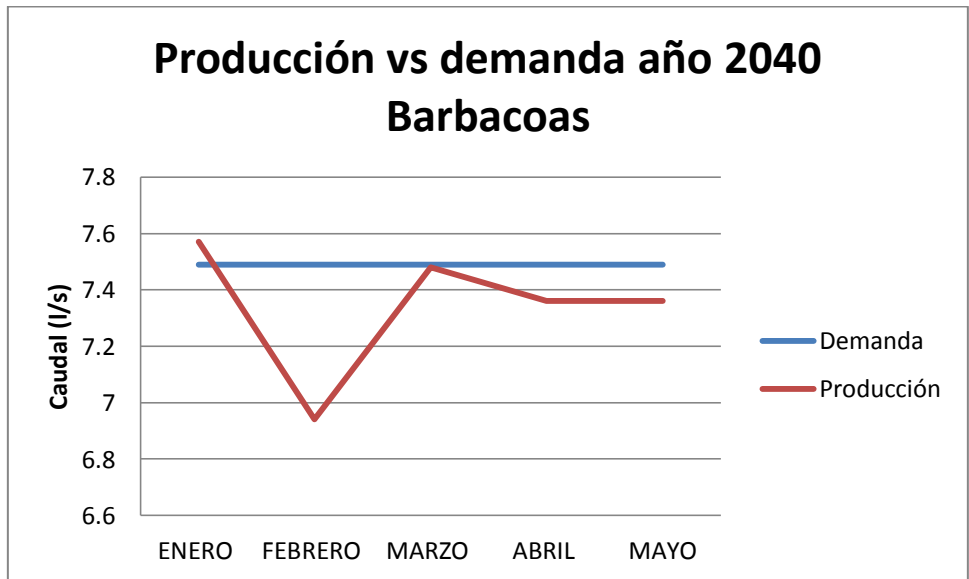


Figura 110. Gráfico producción vs demanda en el año 2040 para el subsistema Barbacoas. Dotación 200 l/p/día.

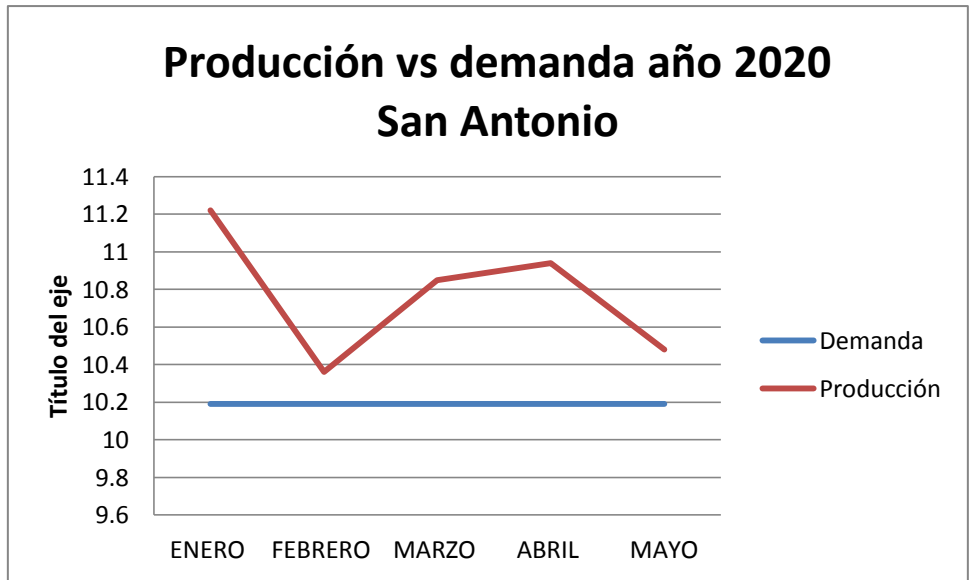


Figura 111. Gráfico producción vs demanda en el año 2020 para el subsistema San Antonio. Dotación 200 l/p/día.

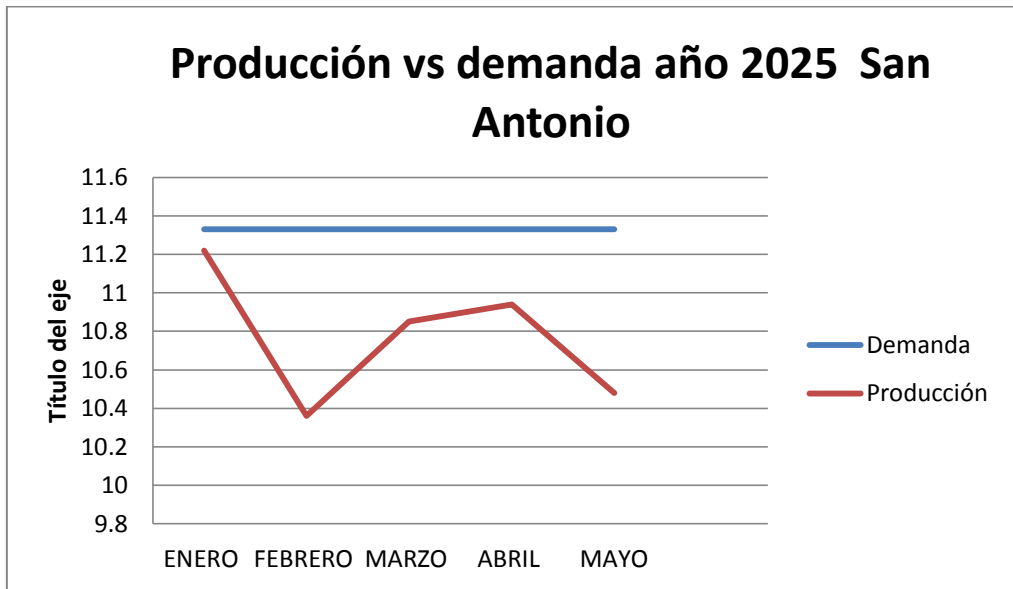


Figura 112. Gráfico producción vs demanda en el año 2025 para el subsistema San Antonio. Dotación 200 l/p/día.

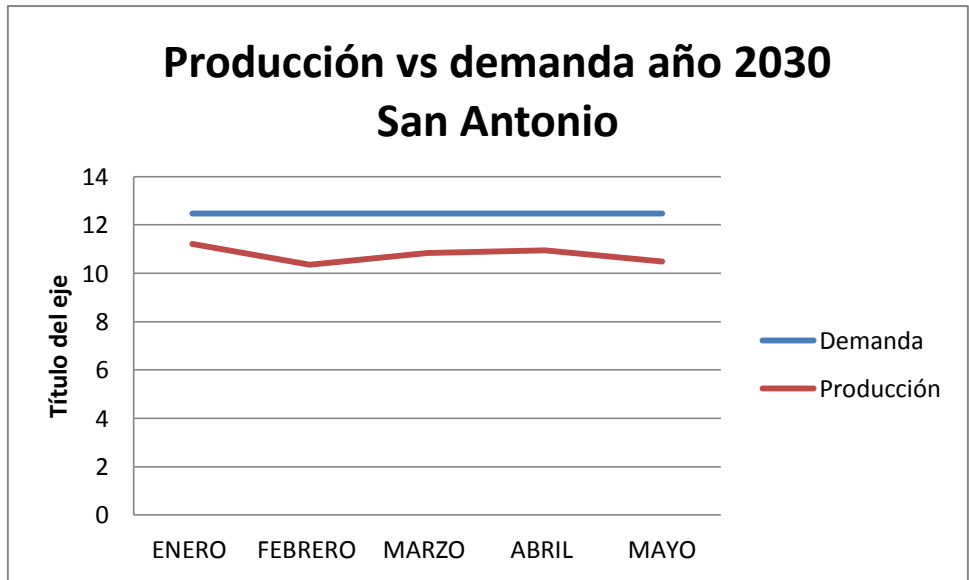


Figura 113. Gráfico producción vs demanda en el año 2030 para el subsistema San Antonio. Dotación 200 l/p/día.

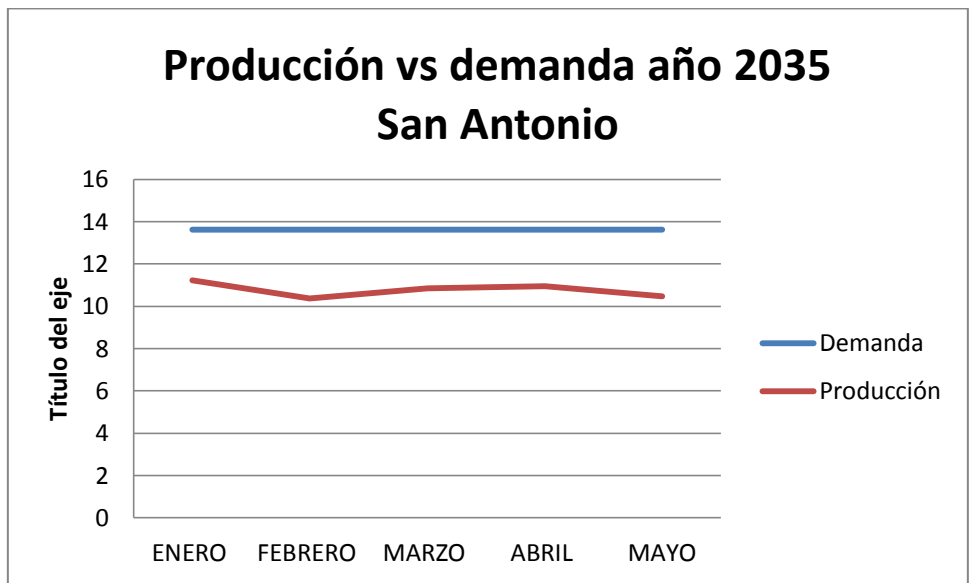


Figura 114. Gráfico producción vs demanda en el año 2035 para el subsistema San Antonio. Dotación 200 l/p/día.

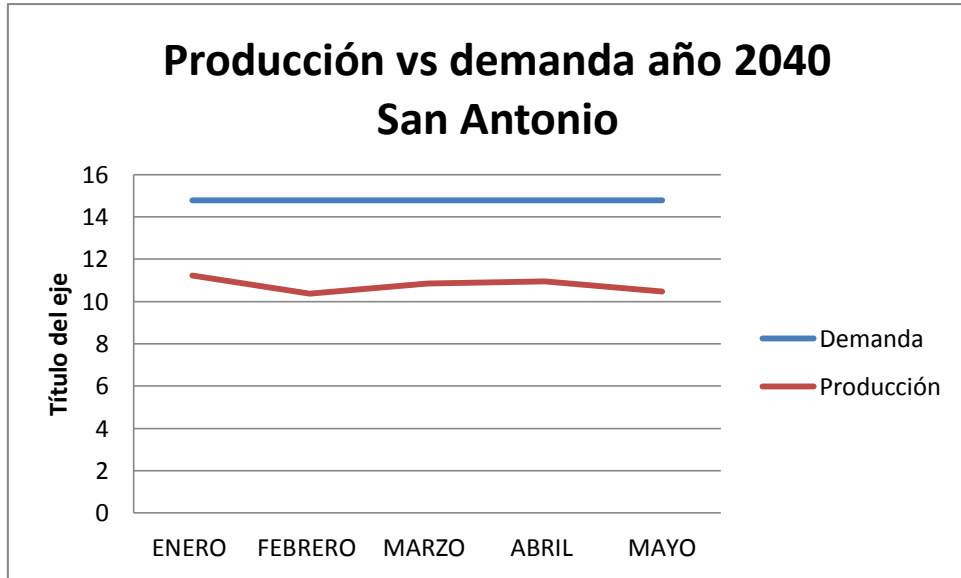


Figura 115. Gráfico producción vs demanda en el año 2040 para el subsistema. San Antonio Dotación 200 l/p/día.

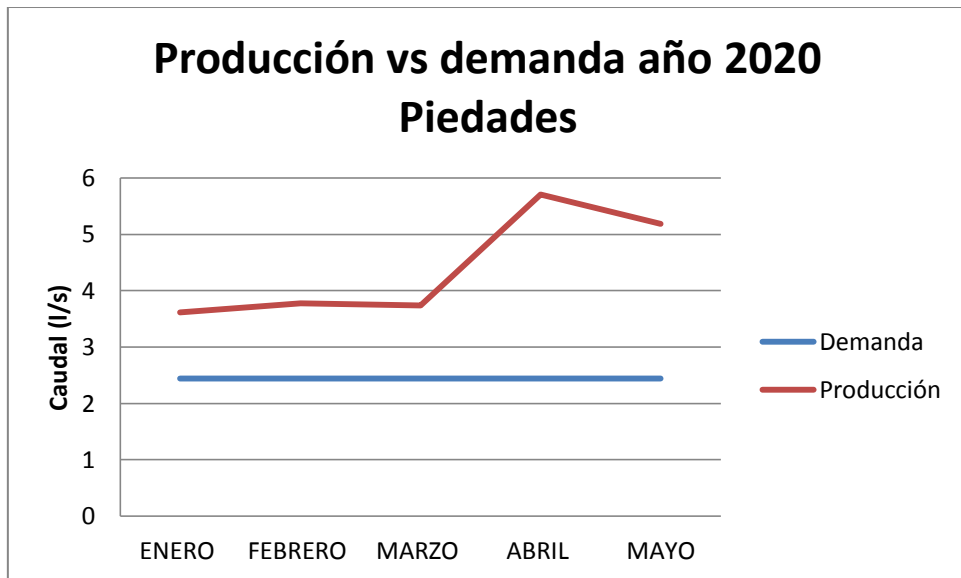


Figura 116. Gráfico producción vs demanda en el año 2020 para el subsistema Piedades. Dotación 200 l/p/día.

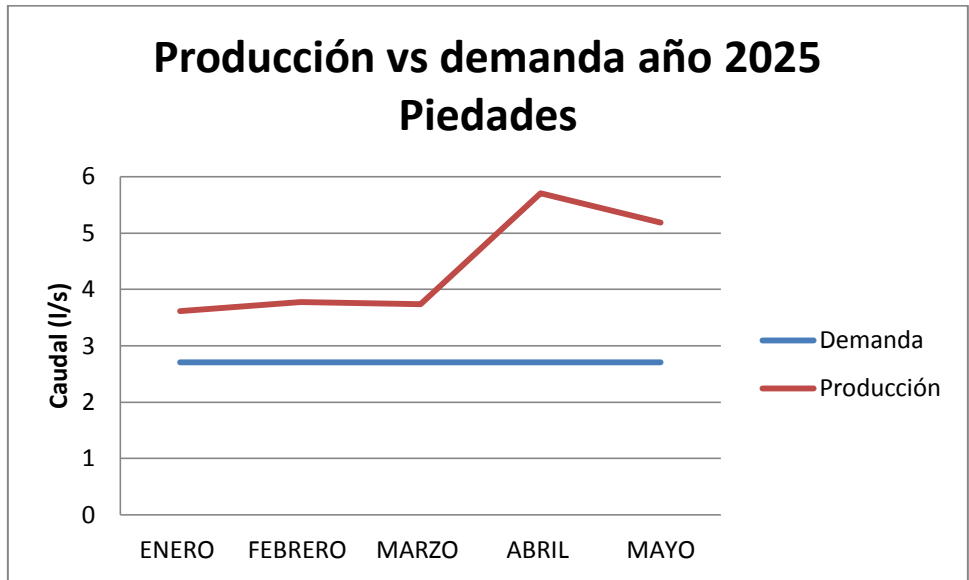


Figura 117. Gráfico producción vs demanda en el año 2025 para el subsistema Piedades. Dotación 200 l/p/día.

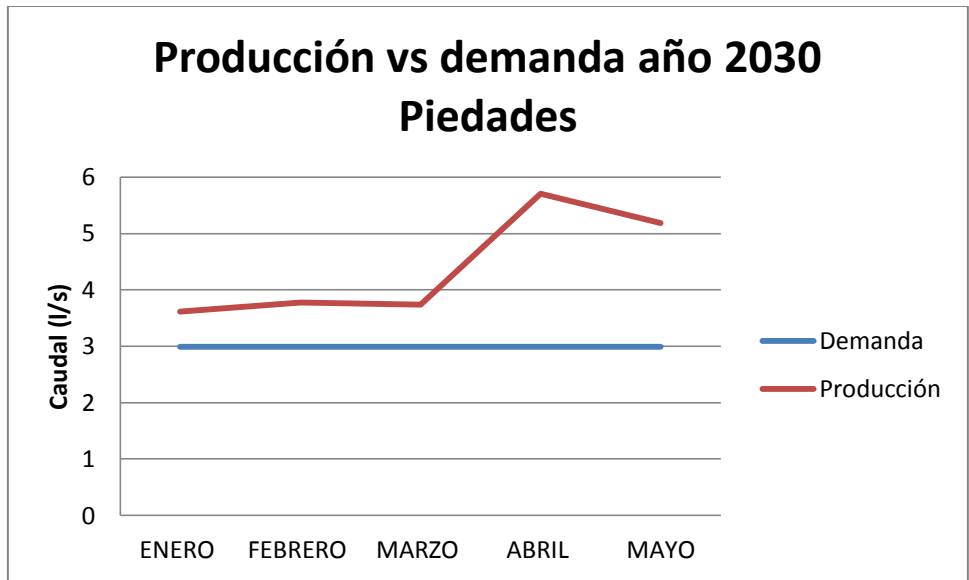


Figura 118. Gráfico producción vs demanda en el año 2030 para el subsistema Piedades. Dotación 200 l/p/día.

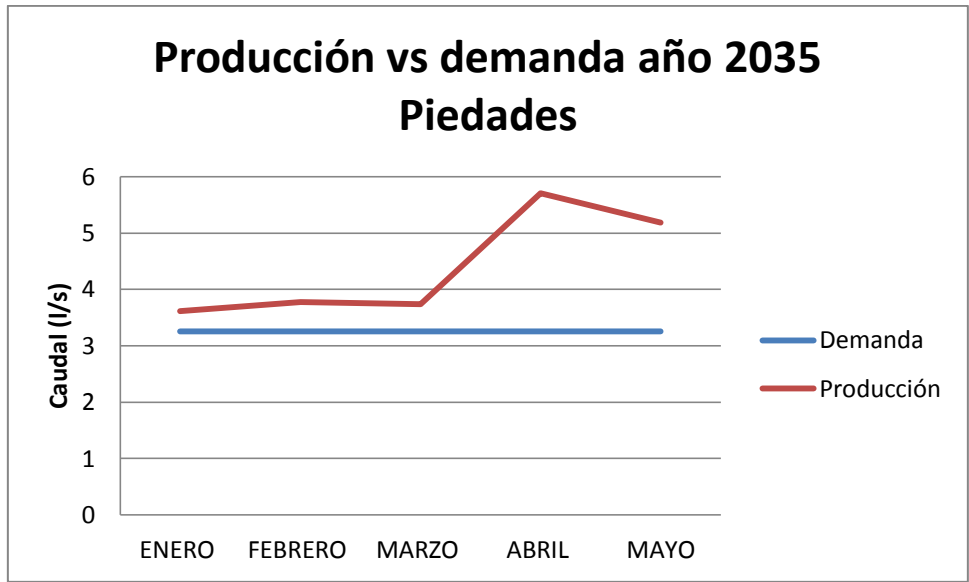


Figura 119. Gráfico producción vs demanda en el año 2035 para el subsistema Piedades. Dotación 200 l/p/día.

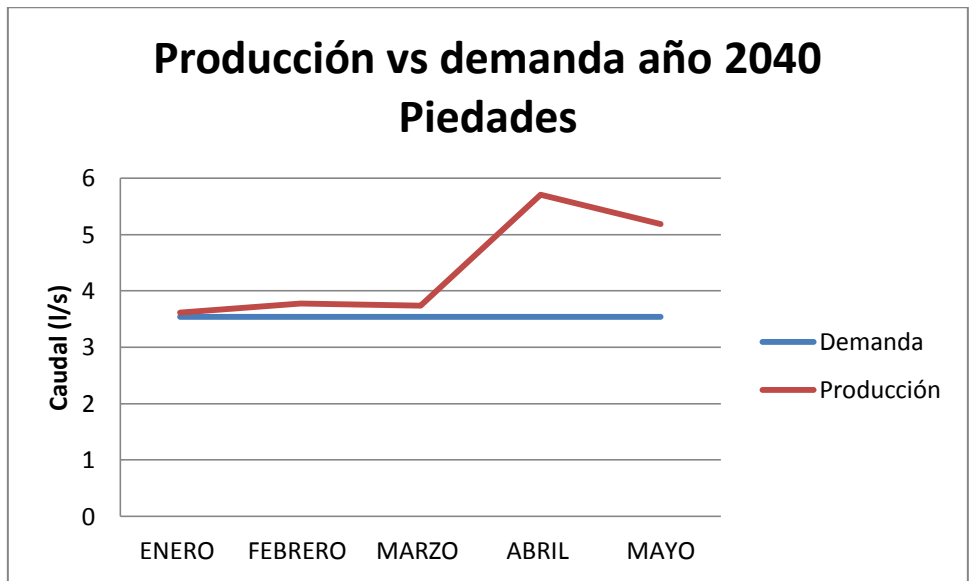


Figura 120. Gráfico producción vs demanda en el año 2040 para el subsistema Piedades. Dotación 200 l/p/día.

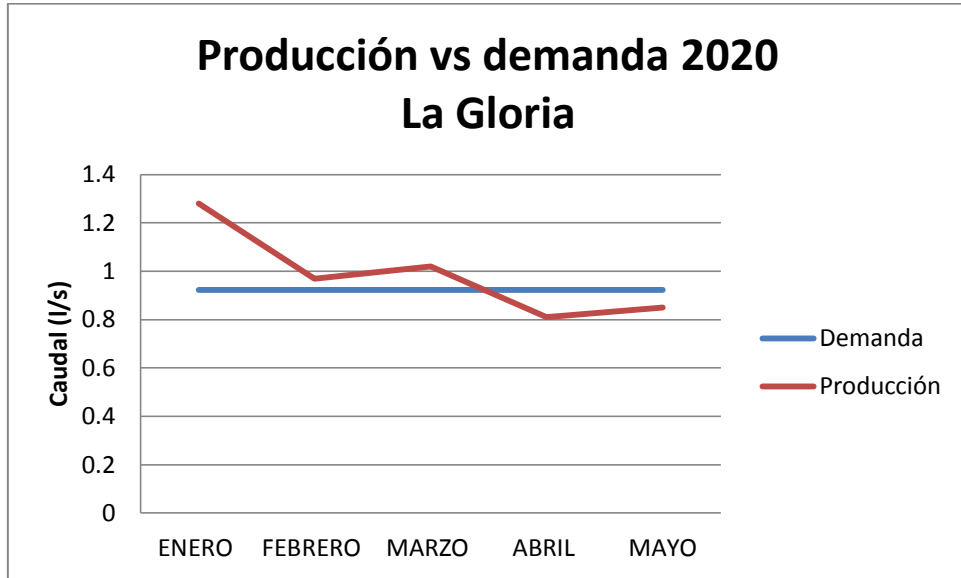


Figura 121. Gráfico producción vs demanda en el año 2020 para el subsistema La Gloria. Dotación 200 l/p/día.

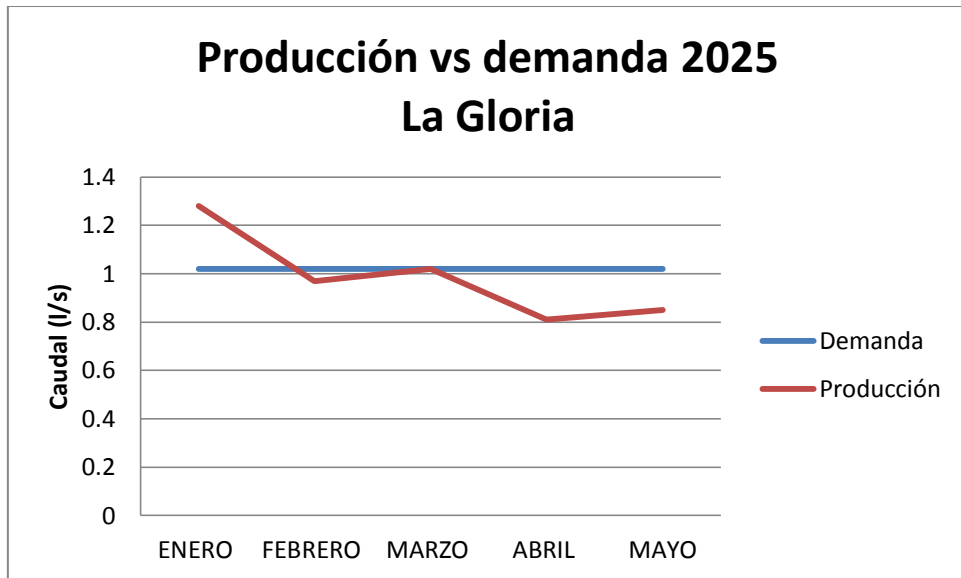


Figura 122. Gráfico producción vs demanda en el año 2025 para el subsistema La Gloria. Dotación 200 l/p/día.

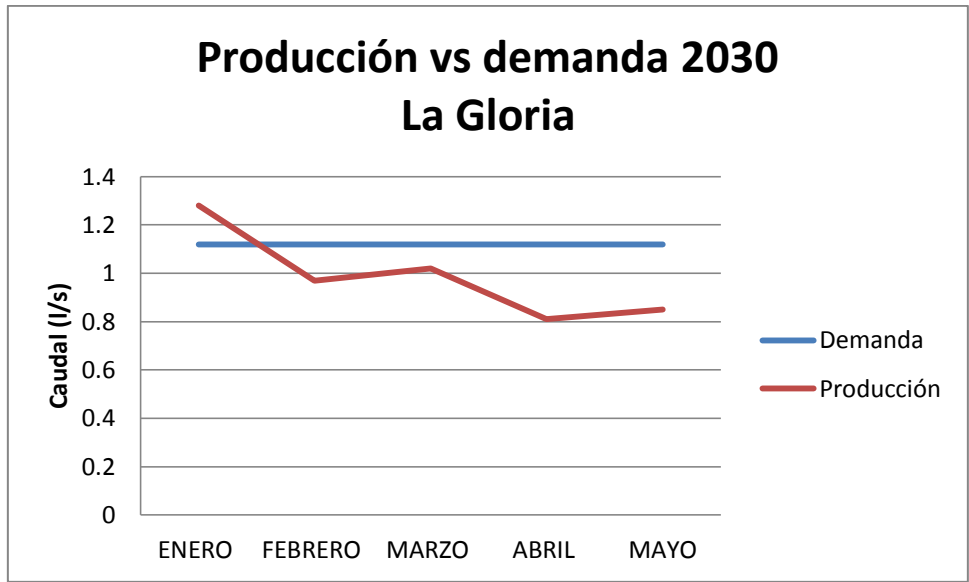


Figura 123. Gráfico producción vs demanda en el año 2030 para el subsistema La Gloria. Dotación 200 l/p/día.

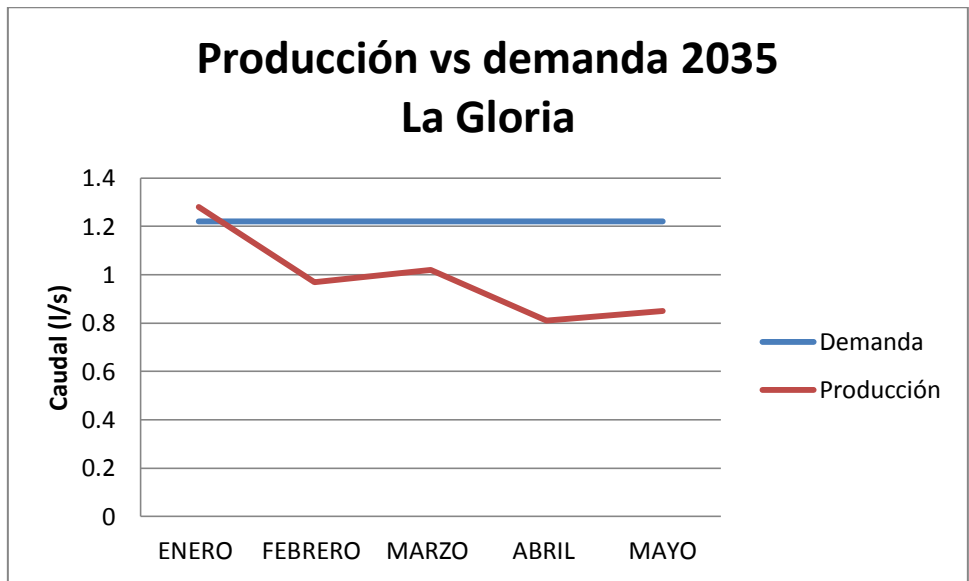


Figura 124. Gráfico producción vs demanda en el año 2035 para el subsistema La Gloria. Dotación 200 l/p/día.

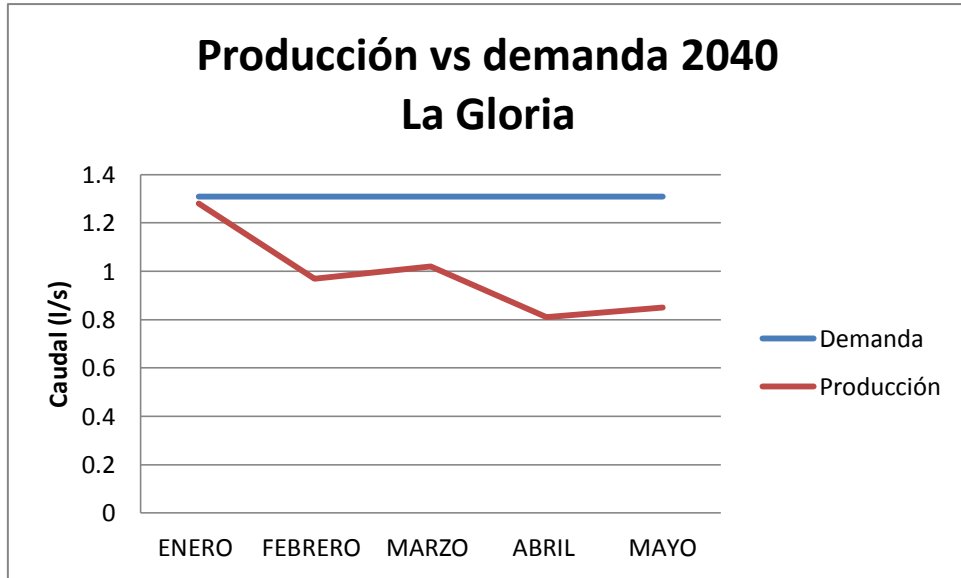


Figura 125. Gráfico producción vs demanda en el año 2040 para el subsistema La Gloria. Dotación 200 l/p/día.

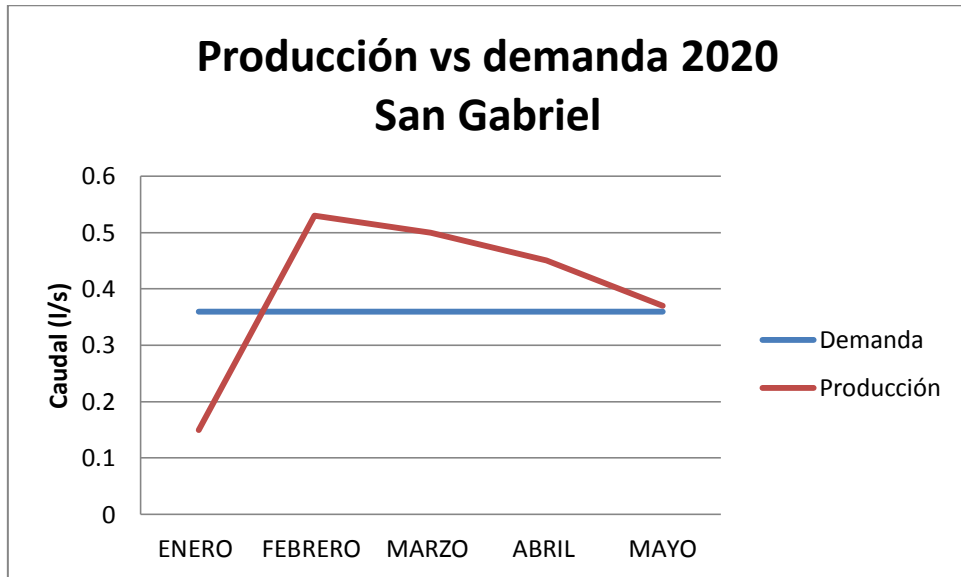


Figura 126. Gráfico producción vs demanda en el año 2020 para el subsistema San Gabriel. Dotación 200 l/p/día.

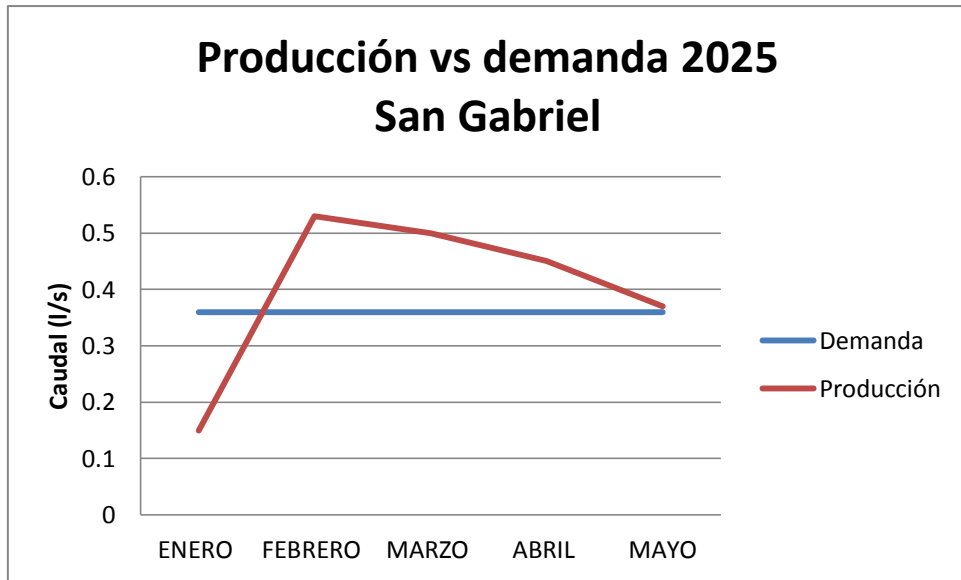


Figura 127. Gráfico producción vs demanda en el año 2025 para el subsistema San Gabriel. Dotación 200 l/p/día.

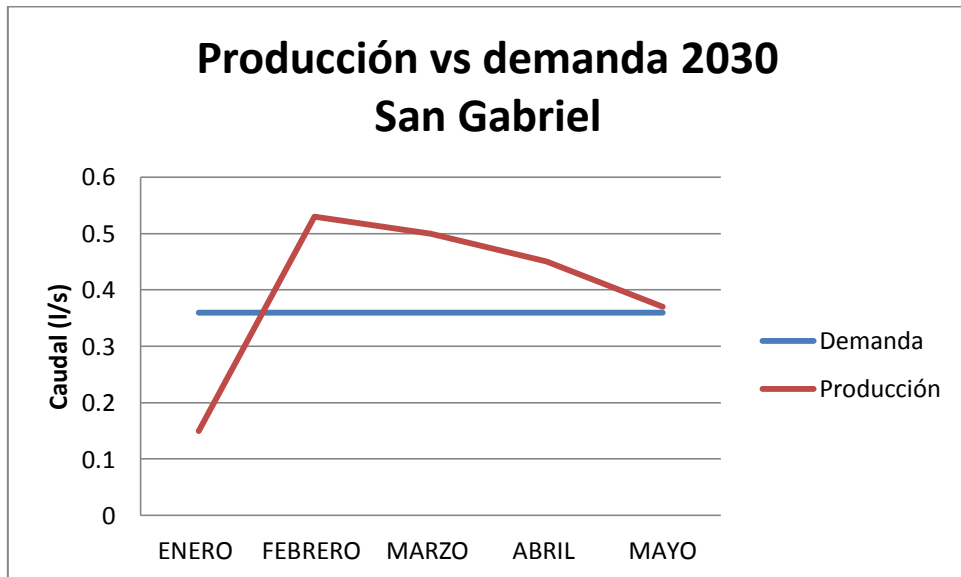


Figura 128. Gráfico producción vs demanda en el año 2030 para el subsistema San Gabriel. Dotación 200 l/p/día.

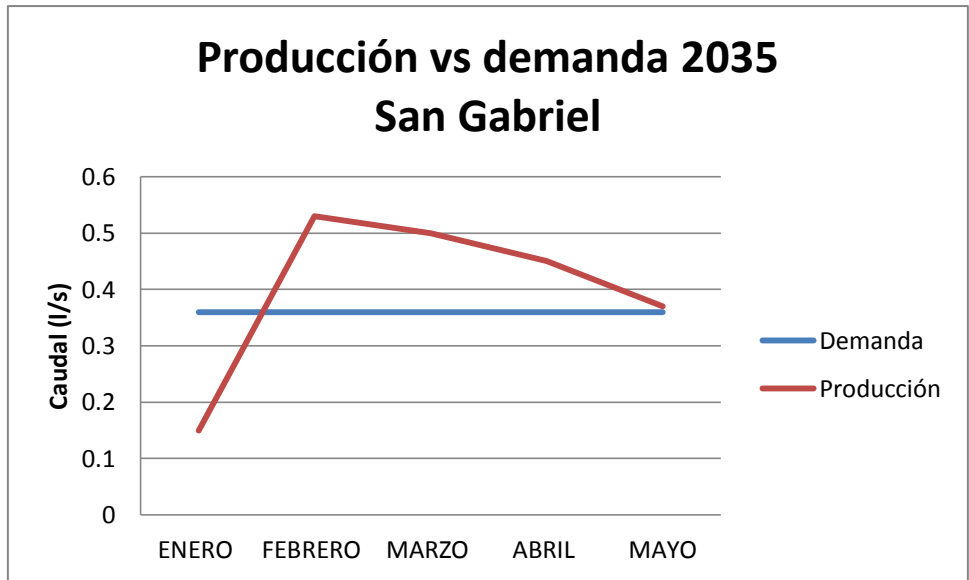


Figura 129. Gráfico producción vs demanda en el año 2035 para el subsistema San Gabriel. Dotación 200 l/p/día.

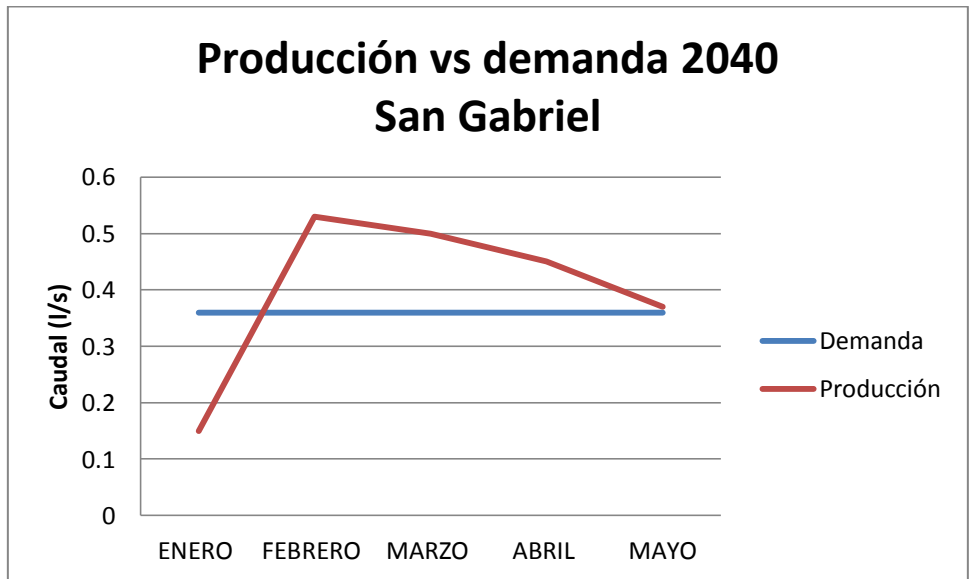


Figura 130. Gráfico producción vs demanda en el año 2040 para el subsistema San Gabriel. Dotación 200 l/p/día.