



BID
Banco Interamericano
de Desarrollo



Elaboración de Balances Hídricos por Cuencas Hidrográficas y Propuesta de Modernización de las Redes de Medición en Costa Rica

Balances Hídricos Mensuales Oferta y Demanda



INFORME FINAL

San José, Costa Rica, Mayo 2008



ELABORACIÓN DE BALANCES HÍDRICOS POR CUENCAS HIDROGRÁFICAS Y PROPUESTA DE MODERNIZACIÓN DE LAS REDES DE MEDICIÓN EN COSTA RICA

BALANCES HÍDRICOS MENSUALES

OFERTA Y DEMANDA

Elaborado por
Instituto Mexicano de Tecnología del Agua
Jaqueline Lafragua

Con la colaboración de
Luis Felipe Sánchez
Delia González
Alberto Bahena
Isabel García

Para
Departamento de Aguas del
Ministerio de Ambiente y Energía,
Costa Rica.

Financiado por
Banco Interamericano de Desarrollo

San José, Costa Rica, Mayo 2008

CONTENIDO

RESUMEN	ix
1 INTRODUCCIÓN.....	1
2 CUENCAS EN ESTUDIO.....	4
2.1 LÍMITES DE LAS CUENCAS.....	5
2.2 ESTACIONES METEOROLÓGICAS E HIDROMÉTRICAS	10
2.3 CARACTERÍSTICAS GENERALES	11
3 BALANCE HÍDRICO SUPERFICIAL	24
3.1 OFERTA	25
3.1.1 Volumen de escurrimiento por cuenca propia.....	26
3.1.1.1 Volumen de lluvia	26
3.1.1.2 Intercepción.....	29
3.1.1.3 Evapotranspiración.....	33
3.1.1.4 Infiltración.....	34
3.1.1.5 Resultados <i>Cp</i>	39
3.1.2 Volumen de importación entre cuencas	39
3.1.3 Retornos de agua	40
3.1.4 Volumen aportado por manantiales.....	41
3.1.5 Extracciones por bombeo	45
3.1.6 Volumen de escurrimiento desde aguas arriba.....	48
3.1.7 Resultados <i>OP</i>	48
3.2 DEMANDA	49
3.2.1 Usos de consumo.....	49
3.2.1.1 Volumen de concesiones de agua del MINAE.....	50
3.2.1.2 Volumen para generación hidroeléctrica del ICE	65
3.2.2 Fugas en la red de distribución de agua potable.....	67
3.2.3 Evaporación en cuerpos de agua	67
3.2.4 Volumen de exportación entre cuencas.....	67
3.2.5 Resultados <i>DP</i>	69
3.3 VARIACIÓN DE VOLUMEN	69
3.4 VOLUMEN DE ESCURRIMIENTO HACIA AGUAS ABAJO.....	70
3.5 DISPONIBILIDAD DE AGUA SUPERFICIAL	78

4	SITUACIÓN DEL AGUA SUBTERRÁNEA.....	88
4.1	CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS ACUÍFEROS	88
4.2	CALIDAD DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS	95
4.3	BALANCE HÍDRICO	97
4.3.1	Ecuación de balance	102
5	ESCENARIOS.....	107
5.1	ESCENARIOS DE PRECIPITACIÓN.....	108
5.2	ESCENARIOS DE DEMANDAS DE AGUA	129
6	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	144

REFERENCIAS

ANEXOS DIGITALES

- A. Información hidroclimatológica
- B. Infiltración
- C. Volúmenes de concesiones MINAE
- D. Plantas hidroeléctricas (Concesiones, ICE y Atlas2000)
- E. Fugas en redes de distribución de agua potable
- F. Disponibilidad de agua superficial mensual
- G. Balance subterráneo mensual
- H. Balances hídricos mensuales por escenarios de precipitación
- I. Volúmenes de demanda de agua estimados por Rivera, 2007.
- J. Balances hídricos mensuales con el escenario base y proyecciones a los años 2010, 2020 y 2030.

DOCUMENTOS ANEXOS

- 1. Propuesta de modernización de las redes de medición
- 2. Información de la calidad del agua
- 3. Caudal ambiental
- 4. Capacitación y transferencia

ÍNDICE DE FIGURAS

2.1. Cuencas hidrográficas de Costa Rica.....	4
2.2. Hojas topográficas desfasadas.....	5
2.3. Cuenca hidrográfica del Río San Carlos.....	6
2.4. Cuenca hidrográfica Sarapiquí-Chirripó.....	7
2.5. Cuenca de balance hídrico Tempisque-Bebedero.....	8
2.6. Límites de las cuencas hidrográficas de estudio.....	8
2.7. Brazo del río Reventazón que se unía con el río Pacuare y ubicación de los diques.....	16
2.8. Ubicación de la zona hidrológica del acuífero Nimboyores y de la Playa Conchal.....	23
3.1. Volúmenes de importaciones a la cuenca Grande de Tárcoles.....	40
3.2. Volúmenes de importaciones a las cuencas Bebedero y Tempisque.....	40
3.3. Concesiones superficiales con mayor volumen en la cuenca Tempisque.....	57
3.4. Concesiones superficiales con mayor volumen en la cuenca Bebedero.....	58
3.5. Ubicación del DRAT.....	59
3.6. Concesiones superficiales con mayor volumen en la cuenca Reventazón.....	60
3.7. Concesiones superficiales con mayor volumen en la cuenca San Carlos 2.....	61
3.8. Concesiones superficiales con mayor volumen en la cuenca Grande de Tárcoles.....	62
3.9. Concesiones superficiales con mayor volumen en la cuenca Sarapiquí-Chirripó.....	63
3.10. Concesiones para turismo en la cuenca Península de Nicoya <i>a</i>	64
3.11. Ubicación de las concesiones para consumo humano.....	64
3.12. Sitio de la presa de las plantas hidroeléctricas del ICE.....	65
3.13. Relación media anual Demanda Potencial/Oferta Potencial, en %.....	77
3.14. Disponibilidad media anual en lámina, en mm.....	80
3.15. Disponibilidad en enero, en hm ³	81
3.16. Disponibilidad en febrero, en hm ³	81
3.17. Disponibilidad en marzo, en hm ³	82
3.18. Disponibilidad en abril, en hm ³	82
3.19. Disponibilidad en mayo, en hm ³	83
3.20. Disponibilidad en junio, en hm ³	83
3.21. Disponibilidad en julio, en hm ³	84
3.22. Disponibilidad en agosto, en hm ³	84
3.23. Disponibilidad en septiembre, en hm ³	85
3.24. Disponibilidad en octubre, en hm ³	85
3.25. Disponibilidad en noviembre, en hm ³	86
3.26. Disponibilidad en diciembre, en hm ³	86
4.1. Localización de acuíferos.....	89
4.2. Límites del acuífero Colima-Barva.....	97

4.3. Zonas con información cartográfica-geológica a semi-detalle.....	99
4.4. Zonas con información cartográfica de niveles freáticos a semi-detalle.....	100
4.5. Zonas con información cartográfica de pozos a semi-detalle.....	101
4.6. Recarga media anual, en mm.	106
5.1. Año más seco en las estaciones pluviométricas.	109
5.2. Línea imaginaria para dividir al país en las zonas Norte y Sur.	111
5.3. Años comunes por cuenca hidrográfica.	113
5.4. Disponibilidad en enero en condiciones actuales.....	117
5.5. Disponibilidad en enero bajo el escenario A.....	117
5.6. Disponibilidad en enero bajo el escenario B.	117
5.7. Disponibilidad en enero bajo el escenario D.....	117
5.8. Disponibilidad en febrero en condiciones actuales.....	118
5.9. Disponibilidad en febrero bajo el escenario A.....	118
5.10. Disponibilidad en febrero bajo el escenario B.	118
5.11. Disponibilidad en febrero bajo el escenario D.	118
5.12. Disponibilidad en marzo en condiciones actuales.....	119
5.13. Disponibilidad en marzo bajo el escenario A.....	119
5.14. Disponibilidad en marzo bajo el escenario B.	119
5.15. Disponibilidad en marzo bajo el escenario D.....	119
5.16. Disponibilidad en abril en condiciones actuales.....	120
5.17. Disponibilidad en abril, bajo el escenario A.....	120
5.18. Disponibilidad en abril, bajo el escenario B.....	120
5.19. Disponibilidad en abril, bajo el escenario D.	120
5.20. Disponibilidad en mayo en condiciones actuales.....	121
5.21. Disponibilidad en mayo bajo el escenario A.....	121
5.22. Disponibilidad en mayo bajo el escenario B.	121
5.23. Disponibilidad en mayo bajo el escenario D.....	121
5.24. Disponibilidad en junio en condiciones actuales.....	122
5.25. Disponibilidad en junio bajo el escenario A.....	122
5.26. Disponibilidad en junio bajo el escenario B.....	122
5.27. Disponibilidad en junio bajo el escenario D.....	122
5.28. Disponibilidad en julio en condiciones actuales.....	123
5.29. Disponibilidad en julio bajo el escenario A.....	123
5.30. Disponibilidad en julio bajo el escenario B.....	123
5.31. Disponibilidad en julio bajo el escenario D.	123
5.32. Disponibilidad en agosto en condiciones actuales.....	124
5.33. Disponibilidad en agosto bajo el escenario A.....	124
5.34. Disponibilidad en agosto bajo el escenario B.....	124
5.35. Disponibilidad en agosto bajo el escenario D.	124

5.36. Disponibilidad en septiembre en condiciones actuales	125
5.37. Disponibilidad en septiembre bajo el escenario A	125
5.38. Disponibilidad en septiembre bajo el escenario B.....	125
5.39. Disponibilidad en septiembre bajo el escenario D.....	125
5.40. Disponibilidad en octubre en condiciones actuales.....	126
5.41. Disponibilidad en octubre bajo el escenario A.....	126
5.42. Disponibilidad en octubre bajo el escenario B.....	126
5.43. Disponibilidad en octubre bajo el escenario D.....	126
5.44. Disponibilidad en noviembre en condiciones actuales.....	127
5.45. Disponibilidad en noviembre bajo el escenario A.....	127
5.46. Disponibilidad en noviembre bajo el escenario B.....	127
5.47. Disponibilidad en noviembre bajo el escenario D.....	127
5.48. Disponibilidad en diciembre en condiciones actuales.....	128
5.49. Disponibilidad en diciembre bajo el escenario A.....	128
5.50. Disponibilidad en diciembre bajo el escenario B.....	128
5.51. Disponibilidad en diciembre bajo el escenario D.....	128
5.52. Volúmenes de demanda de agua.....	130
5.53. Disponibilidad en enero en condiciones actuales.....	132
5.54. Disponibilidad en enero bajo el escenario base 2010.....	132
5.55. Disponibilidad en enero bajo el escenario base 2020.....	132
5.56. Disponibilidad en enero bajo el escenario base 2030.....	132
5.57. Disponibilidad en febrero en condiciones actuales	133
5.58. Disponibilidad en febrero bajo el escenario base 2010	133
5.59. Disponibilidad en febrero bajo el escenario base 2020.....	133
5.60. Disponibilidad en febrero bajo el escenario base 2030.....	133
5.61. Disponibilidad en marzo en condiciones actuales.....	134
5.62. Disponibilidad en marzo bajo el escenario base 2010.....	134
5.63. Disponibilidad en marzo bajo el escenario base 2020.....	134
5.64. Disponibilidad en marzo bajo el escenario base 2030.....	134
5.65. Disponibilidad en abril en condiciones actuales	135
5.66. Disponibilidad en abril bajo el escenario base 2010.....	135
5.67. Disponibilidad en abril bajo el escenario base 2020.....	135
5.68. Disponibilidad en abril bajo el escenario base 2030.....	135
5.69. Disponibilidad en mayo en condiciones actuales.....	136
5.70. Disponibilidad en mayo bajo el escenario base 2010.....	136
5.71. Disponibilidad en mayo bajo el escenario base 2020.....	136
5.72. Disponibilidad en mayo bajo el escenario base 2030.....	136
5.73. Disponibilidad en junio en condiciones actuales.....	137
5.74. Disponibilidad en junio bajo el escenario base 2010.....	137

5.75. Disponibilidad en junio bajo el escenario base 2020.....	137
5.76. Disponibilidad en junio bajo el escenario base 2030.....	137
5.77. Disponibilidad en julio en condiciones actuales.....	138
5.78. Disponibilidad en julio bajo el escenario base 2010.....	138
5.79. Disponibilidad en julio bajo el escenario base 2020.....	138
5.80. Disponibilidad en julio bajo el escenario base 2030.....	138
5.81. Disponibilidad en agosto en condiciones actuales.....	139
5.82. Disponibilidad en agosto bajo el escenario base 2010.....	139
5.83. Disponibilidad en agosto bajo el escenario base 2020.....	139
5.84. Disponibilidad en agosto bajo el escenario base 2030.....	139
5.85. Disponibilidad en septiembre en condiciones actuales.....	140
5.86. Disponibilidad en septiembre bajo el escenario base 2010.....	140
5.87. Disponibilidad en septiembre bajo el escenario base 2020.....	140
5.88. Disponibilidad en septiembre bajo el escenario base 2030.....	140
5.89. Disponibilidad en octubre en condiciones actuales.....	141
5.90. Disponibilidad en octubre bajo el escenario base 2010.....	141
5.91. Disponibilidad en octubre bajo el escenario base 2020.....	141
5.92. Disponibilidad en octubre bajo el escenario base 2030.....	141
5.93. Disponibilidad en noviembre en condiciones actuales.....	142
5.94. Disponibilidad en noviembre bajo el escenario base 2010.....	142
5.95. Disponibilidad en noviembre bajo el escenario base 2020.....	142
5.96. Disponibilidad en noviembre bajo el escenario base 2030.....	142
5.97. Disponibilidad en diciembre en condiciones actuales.....	143
5.98. Disponibilidad en diciembre bajo el escenario base 2010.....	143
5.99. Disponibilidad en diciembre bajo el escenario base 2020.....	143
5.100. Disponibilidad en diciembre bajo el escenario base 2030.....	143

ÍNDICE DE FOTOS

2.1. Confluencia de los ríos Sarapiquí y Sucio.....	6
2.2. Inundaciones en San Antonio de Belén, Heredia.....	14
3.1. Bosque primario en el parque nacional Braulio Carrillo, cuenca Grande de Tárcoles.....	29
3.2. Cultivo permanente en la cuenca Reventazón.....	30
3.3. Uso mixto y cultivos anuales en la cuenca Grande de Tárcoles.....	30

ÍNDICE DE GRÁFICAS

2.1. Patrón de lluvia en la vertiente del Caribe. Cuenca Reventazón.....	12
2.2. Patrón de lluvia en la vertiente del pacífico. Cuenca Grande de Tárcoles.....	12
2.3. Caudales mensuales registrados en la estación 31-03, Gde. de Térraba.....	15
2.4. Caudales mensuales registrados en la estación 31-07, Gde. de Térraba.....	15
2.5. Gastos medios mensuales registrados en la cuenca Parrita.....	17
2.6. Caudales registrados en la estación 09-03, Reventazón.....	18
2.7. Caudales registrados en la estación 09-12, Reventazón.....	19
2.8. Caudal medio registrado en la estación 29-03, Savegre.....	21
3.1. Cuencas con el mayor volumen concesionado de manantiales al año 2000, en %.....	45
3.2. Cuencas con el mayor volumen concesionado de pozos al año 2000, en %.....	45
3.3. Volumen concesionado (al año 2000) por uso, en %.....	50
3.4. Volumen concesionado sin considerar generación hidroeléctrica, en %.....	51
3.5. Oferta vs Demanda en la cuenca Abangares.....	71
3.6. Oferta vs Demanda en la cuenca Barranca.....	71
3.7. Oferta vs Demanda en la cuenca Frío.....	71
3.8. Oferta vs Demanda en la cuenca Grande de Tárcoles.....	72
3.9. Oferta vs Demanda en la cuenca Grande de Térraba.....	72
3.10. Oferta vs Demanda en la cuenca Naranjo.....	72
3.11. Oferta vs Demanda en la cuenca Pacuare.....	73
3.12. Oferta vs Demanda en la cuenca Parrita.....	73
3.13. Oferta vs Demanda en la cuenca Península de Nicoya <i>a</i>	73
3.14. Oferta vs Demanda en la cuenca Península de Nicoya <i>b</i>	74
3.15. Oferta vs Demanda en la cuenca Reventazón.....	74
3.16. Oferta vs Demanda en la cuenca San Carlos Lago.....	74
3.17. Oferta vs Demanda en la cuenca San Carlos 2.....	75
3.18. Oferta vs Demanda en la cuenca Sarapiquí-Chirripó.....	75
3.19. Oferta vs Demanda en la cuenca Savegre.....	75
3.20. Oferta vs Demanda en la cuenca Tempisque-Bebedero.....	76
5.1. Número de estaciones que coinciden con el año más seco, en las 15 cuencas.....	110
5.2. Porcentaje del número de estaciones con información en años comunes,.....	112
5.3. Precipitación media anual por escenario de las cuencas Abangares, Barranca, Frío, Gde. Tárcoles y Gde. Térraba.....	114
5.4. Precipitación media anual por escenario de las cuencas Naranjo, Pacuare, Parrita y Península de Nicoya.....	114
5.5. Precipitación media anual por escenario de las cuencas Reventazón, San Carlos, Sarapiquí-Chirripó, Savegre y Tempisque-Bebedero.....	115

5.6. Volumen por cuenca propia por escenario de las cuencas Abangares, Barranca, Frío, Tárcoles y Térraba.	116
5.7. Volumen por cuenca propia por escenario de las cuencas Naranjo, Pacuare, Parrita y Península de Nicoya.	116
5.8. Volumen por cuenca propia por escenario de las cuencas Reventazón, San Carlos, Sarapiquí-Chirripó y Tempisque-Bebedero.....	116
5.9. Disponibilidad media anual en las cuencas Sarapiquí-Chirripó, Gde. de Térraba, Reventazón, San Carlos 2 y Frío.....	130
5.10. Disponibilidad media anual en las cuencas Gde. de Tárcoles, Tempisque-Bebedero, Pen. Nicoya <i>b</i> , Pacuare y Parrita.....	131
5.11. Disponibilidad media anual en las cuencas Savegre, Abangares, Naranjo, Barranca, Pen. Nicoya <i>a</i> y San Carlos Lago.	131

ÍNDICE DE TABLAS

2.1. Ríos principales	9
2.2. Estaciones hidrométricas seleccionadas	11
2.3. Plantas hidroeléctricas del ICE en la cuenca Grande de Tárcoles.....	13
2.4. Plantas hidroeléctricas del ICE en la cuenca Reventazón.....	18
2.5. Plantas hidroeléctricas del ICE en la cuenca Sarapiquí-Chirripó.....	20
2.6. Plantas hidroeléctricas del ICE en la cuenca Bebedero.....	21
3.1. Precipitación media mensual, en mm.	27
3.2. Volumen de lluvia mensual, en hm^3	28
3.3. Uso de suelo, 2000, en km^2	31
3.4. Porcentajes de intercepción	31
3.5. Intercepción mensual, en hm^3	32
3.6. Valores de w en función del uso del suelo	33
3.7. Evapotranspiración potencial, en mm.	35
3.8. Evapotranspiración real, en hm^3	36
3.9. Tipo de suelo y porcentaje de la lluvia susceptible de infiltrarse.....	37
3.10. Infiltración, en hm^3	38
3.11. Volumen medio anual de escurrimiento por cuenca propia en hm^3 y coeficiente de escurrimiento en %	39
3.12. Porcentajes de retornos de agua.	41
3.13. Volumen de retornos de agua considerando usos de agua al año 2000, en hm^3	42
3.14. Volumen concesionado de manantiales al año 2000, en hm^3	43
3.15. Volumen concesionado de manantiales al año 2006, en hm^3	44
3.16. Volumen concesionado de pozos al año 2000, en hm^3	46
3.17. Volumen concesionado de pozos al año 2006, en hm^3	47
3.18. Oferta potencial media anual, en $\text{hm}^3/\text{año}$	48
3.19. Campos originales de la base de datos de concesiones y los utilizados en el balance.	51
3.20. Agrupación de los usos del agua considerados por el MINAE	53
3.21. Resumen del número de registros de concesiones	53
3.22. Número de registros y volumen de agua concesionado al año 2000.....	54
3.23. Número de registros y volumen de agua concesionado al año 2006.....	54
3.24. Volumen de agua superficial al año 2000, en hm^3	55
3.25. Volumen de agua superficial al año 2006, en hm^3	56
3.26. Concesiones superficiales con mayor volumen en la cuenca Tempisque.	57
3.27. Concesiones superficiales con mayor volumen en la cuenca Bebedero.....	58
3.28. Concesiones superficiales con mayor volumen en la cuenca Reventazón.....	59
3.29. Concesiones superficiales con mayor volumen en la cuenca San Carlos 2.....	60
3.30. Concesiones superficiales con mayor volumen en la cuenca Grande de Tárcoles.....	61

3.31. Concesiones superficiales con mayor volumen en la cuenca Sarapiquí - Chirripó.....	62
3.32. Plantas de generación hidroeléctrica del ICE.....	66
3.33. Volumen de uso en plantas hidroeléctricas del ICE en hm^3 , Grande de Tárcoles.....	66
3.34. Volumen de uso en plantas hidroeléctricas del ICE en hm^3 , Reventazón.....	66
3.35. Volumen de uso en plantas hidroeléctricas del ICE en hm^3 , Sarapiquí -Chirripó.....	66
3.36. Volumen de uso en plantas hidroeléctricas del ICE en hm^3 , Bebedero.....	67
3.37. Fugas en la red de distribución de agua potable, en hm^3	68
3.38. Evaporación mensual en el lago Arenal, en hm^3	68
3.39. Demanda potencial DP , en $\text{hm}^3/\text{año}$	69
3.40. Variación de volumen (ΔV) en el Lago Arenal, en hm^3	69
3.41. Volumen de escurrimiento medio anual hacia aguas abajo, en $\text{hm}^3/\text{año}$	70
3.42. Disponibilidad media por cuenca, en $\text{hm}^3/\text{año}$	79
3.43. Disponibilidad mensual en la cuenca Grande de Tárcoles, en hm^3	87
4.1. Características de los acuíferos de Costa Rica.....	90
4.2. Costa Rica. Riesgo de contaminación de los acuíferos.....	96
4.3. Información requerida para estimar el balance de agua subterránea.....	98
4.4. Porosidad eficaz promedio.....	103
4.5. Valores para estimar un valor de ΔV en la cuenca Grande de Tárcoles.....	104
4.6. Recarga total y porcentaje de extracción utilizado en diversos usos.....	104
4.7. Balance subterráneo, en $\text{hm}^3/\text{año}$	105
5.1. Rangos de precipitación anual, en mm.....	109
5.2. Región asignada a cada cuenca hidrográfica.....	110
5.3. Años comunes de menor precipitación anual en las cuencas de estudio.....	113
5.4. Porcentaje de disminución en la precipitación media anual por escenario.....	115
5.5. Disponibilidad en enero bajo condiciones actuales y escenarios de precipitación, en hm^3	117
5.6. Disponibilidad en febrero bajo condiciones actuales y escenarios de precipitación, en hm^3	118
5.7. Disponibilidad en marzo bajo condiciones actuales y escenarios de precipitación, en hm^3	119
5.8. Disponibilidad en abril bajo condiciones actuales y escenarios de precipitación, en hm^3	120
5.9. Disponibilidad en mayo bajo condiciones actuales y escenarios de precipitación, en hm^3	121
5.10. Disponibilidad en junio bajo condiciones actuales y escenarios de precipitación, en hm^3	122
5.11. Disponibilidad en julio bajo condiciones actuales y escenarios de precipitación, en hm^3	123
5.12. Disponibilidad en agosto bajo condiciones actuales y escenarios de precipitación, en hm^3	124
5.13. Disponibilidad en septiembre bajo condiciones actuales y escenarios de precipitación, en hm^3	125
5.14. Disponibilidad en octubre bajo condiciones actuales y escenarios de precipitación, en hm^3	126
5.15. Disponibilidad en noviembre bajo condiciones actuales y escenarios de precipitación, en hm^3	127
5.16. Disponibilidad en diciembre bajo condiciones actuales y escenarios de precipitación, en hm^3	128
5.17. Escenarios considerados en la estimación de la demanda de agua.....	129
5.18. Disponibilidad en enero en condiciones actuales y bajo el escenario base, en hm^3	132
5.19. Disponibilidad en febrero en condiciones actuales y bajo el escenario base, en hm^3	133

5.20. Disponibilidad en marzo en condiciones actuales y bajo el escenario base, en hm ³	134
5.21. Disponibilidad en abril en condiciones actuales y bajo el escenario base, en hm ³	135
5.22. Disponibilidad en mayo en condiciones actuales y bajo el escenario base, en hm ³	136
5.23. Disponibilidad en junio en condiciones actuales y bajo el escenario base, en hm ³	137
5.24. Disponibilidad en julio en condiciones actuales y bajo el escenario base, en hm ³	138
5.25. Disponibilidad en agosto en condiciones actuales y bajo el escenario base, en hm ³	139
5.26. Disponibilidad en septiembre en condiciones actuales y bajo el escenario base, en hm ³	140
5.27. Disponibilidad en octubre en condiciones actuales y bajo el escenario base, en hm ³	141
5.28. Disponibilidad en noviembre en condiciones actuales y bajo el escenario base, en hm ³	142
5.29. Disponibilidad en diciembre en condiciones actuales y bajo el escenario base, en hm ³	143

VARIABLES

<i>A</i>	Área (cuenca o acuífero), en m^2 .
<i>Ab</i>	Volumen de escurrimiento hacia aguas abajo, en hm^3 .
<i>Ar</i>	Volumen de escurrimiento desde aguas arriba, en hm^3 .
<i>B</i>	Extracciones por bombeo, en hm^3 .
<i>Cp</i>	Volumen de escurrimiento por cuenca propia, en hm^3 .
<i>Dxx</i>	Disponibilidad por cuenca propia, en hm^3 .
<i>Dxy</i>	Disponibilidad a la salida del cauce principal, en hm^3 .
<i>Es</i>	Entradas de agua al sistema por flujo lateral subterráneo proveniente de las fronteras de la zona de balance y por otros acuíferos, en hm^3 .
<i>ET</i>	Evapotranspiración, en hm^3 .
<i>ETr</i>	Evapotranspiración real, en mm.
<i>ETP</i>	Evapotranspiración potencial, en mm.
<i>ETZ</i>	Evapotranspiración de la zona saturada, en hm^3 .
<i>Ev</i>	Evaporación en cuerpos de agua, en hm^3 .
<i>Ex</i>	Volumen de exportación entre cuencas, en hm^3 .
<i>f</i>	Fugas en la red de distribución de agua potable, en hm^3 .
<i>Im</i>	Volumen de importación entre cuencas, en hm^3 .
<i>In</i>	Infiltración, en hm^3 .
<i>IR</i>	Infiltración-recarga de agua de lluvia, en hm^3 .
<i>Inter</i>	Intercepción, en hm^3 .
<i>OPx</i>	Oferta potencial en la cuenca, en hm^3 .
<i>DPx</i>	Demanda potencial en la cuenca, en hm^3 .
<i>P</i>	Precipitación media anual, en m.
<i>Qb</i>	Caudal base, en hm^3 .
<i>Re</i>	Retornos de agua, en hm^3 .
<i>HR</i>	Humedad relativa, en %.
<i>Ri</i>	Recarga inducida: retornos de riego, fugas en los sistemas hidráulicos, fugas en embalses, intrusión marina, en hm^3 .
<i>Rs</i>	Radiación solar, en langley/día ó W/m^2 .
<i>S</i>	Coefficiente de almacenamiento, adimensional.
<i>T</i>	Temperatura promedio del aire, en $^{\circ}C$.
<i>Uc</i>	Usos de consumo (superficial y subterráneo), en hm^3 .
<i>Vll</i>	Volumen de lluvia, en hm^3 .
<i>Vman</i>	Volumen aportado por manantiales, en hm^3 .
<i>VRxx</i>	Volúmenes reservados por cuenca propia, en hm^3 .
<i>VRxy</i>	Volúmenes reservados aguas abajo, en hm^3 .
<i>w</i>	Coefficiente de agua disponible en la planta, adimensional.
<i>Δh</i>	Variación de la carga hidráulica, en m.
<i>ΔV</i>	Cambio de almacenamiento en el sistema considerado, en hm^3 .

RESUMEN

El presente estudio comprende el cálculo del balance hídrico y la disponibilidad de agua en 15 cuencas de Costa Rica definidas por el Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE) en coordinación y asesoría con el Comité Nacional de Hidrología y Meteorología como cuencas prioritarias. Las cuencas de estudio son: Abangares, Barranca, Frío, Grande de Tárcoles, Grande de Térraba, Naranjo, Pacuare, Parrita, Península de Nicoya, Reventazón, San Carlos, Sarapiquí-Chirripó, Savegre, Tempisque y Bebedero. Las 15 cuencas abarcan una superficie de 32,922 km², que representan el 64% de la superficie total del país y la población estimada al año 2000 es de 3,371,326 hab.

La metodología utilizada en el cálculo de los balances hídricos es la que se presenta en UNESCO, 2006, y para estimar la disponibilidad de agua se utiliza la metodología presentada en SEMARNAT, 2002.

Una de las variables fundamentales en el cálculo de la disponibilidad de agua superficial es el volumen de escurrimiento hacia aguas abajo, considerado hasta el punto en donde el río principal descarga al mar. Esta variable fue determinada con la ecuación de balance, en donde las variables de entrada representan la oferta y las variables de salida representan la demanda. Son cuatro las cuencas en donde la demanda mensual de agua supera a la oferta en grandes cantidades, como es el caso de la cuenca propia del Lago Arenal en donde el volumen de escurrimiento natural no es suficiente para satisfacer la transferencia de agua hacia el complejo hidroeléctrico Arenal-Corobici-Sandillal. La segunda cuenca es la de Tempisque-Bebedero, la cual presenta meses críticos en la época seca debido a que las demandas de agua son superiores tanto a los volúmenes que genera la cuenca propia como a los que recibe por los canales derivados de la presa Sandillal. La tercera y cuarta cuenca son la Grande de Tárcoles y la Península de Nicoya, que también presentan meses de déficit en la época seca.

Las cuencas que presentan demandas muy pequeñas son las cuencas Savegre, Frío, Barranca y Pacuare. El índice Demanda/Oferita a nivel anual resulta menor al 10%, debido a que son cuencas vírgenes, poco pobladas y consecuentemente con poca infraestructura hidráulica.

Los resultados mensuales del balance, muestran 10 cuencas con déficit de agua en por lo menos tres meses del año. Las cuales son: Savegre, Naranjo, Grande de Térraba, Parrita, San Carlos Lago, Abangares, Barranca, Grande de Tárcoles, Península de Nicoya, y Tempisque-Bebedero. Las últimas cinco cuencas presentan déficit en cinco meses del año.

La disponibilidad de agua superficial, al no considerar cuencas interconectadas ni el volumen reservado (caudal ecológico), resulta igual al escurrimiento hacia aguas abajo tanto en la cuenca propia como a la salida del cauce principal.

Las cuencas que presentan mayor disponibilidad media anual, en mm, sin déficit mensual son las de los ríos Sarapiquí-Chirripó, Pacuare y Reventazón con valores de 2,197, 1,663 y 1,615, respectivamente.

En el balance subterráneo la cuenca hidrográfica es considerada como la unidad de balance. Al suponer una variación de volumen igual a cero, la ecuación de balance queda expresada como la recarga total igual a la descarga total, excepto en la cuenca Grande de Tárcoles donde si se tiene una variación de volumen de $-31.6 \text{ hm}^3/\text{año}$. Las variables de descarga consideradas son los volúmenes de extracción por bombeo, los volúmenes de manantiales, información extraída de la base de datos del MINAE, y los volúmenes de escurrimiento base de los ríos principales. Con respecto a las variables de recarga, solamente se estimaron los volúmenes de fugas y retornos de riego que percolan al sistema analizado. Existen otras variables de recarga como la recarga natural vertical y la entrada lateral proveniente de los acuíferos adyacentes y/o aporte de ríos, éstas se calculan en función de las variables de descarga y de los volúmenes que se percolan provenientes de fugas y retornos de riego.

Las cuencas con mayor y menor recarga media anual en lámina (mm) son las cuencas San Carlos (2,152 mm) y Abangares (223 mm), respectivamente. Las tres cuencas con mayor extracción de agua de pozos son: Grande de Tárcoles, Tempisque-Bebedero y Reventazón.

Por otro lado, se obtienen balances hídricos considerando cuatro escenarios de precipitación y tres escenarios de volúmenes de demanda de agua con proyecciones a los años 2010, 2020 y 2030. Los resultados indican que sólo en el caso de que la precipitación media anual disminuyera en un 20% la disponibilidad de agua superficial se vería afectada en grandes cantidades; con respecto a las demandas de agua futura, Escenario Base, el capital hídrico continua siendo alto. En ambos escenarios, tanto de precipitación como de volúmenes de demanda de agua, los meses de la época seca se vuelven más críticos.

1 INTRODUCCIÓN

El balance hídrico es considerado como una herramienta útil para la planeación y manejo del recurso hídrico, y sobre todo si se considera de manera integral tanto el agua superficial como el agua subterránea. En UNESCO, 2006 se presenta la metodología del balance superficial y subterráneo de manera separada, pero existen variables de liga entre ambos balances como; la infiltración por lluvia, volumen aportado por manantiales y el volumen de extracción por bombeo.

En un balance hídrico, superficial o subterráneo, es importante el área o límite de estudio para definir y cuantificar las variables de entrada y de salida, así como la variación de volumen en el sistema considerado. En una cuenca hidrográfica una de las variables que definen el potencial del recurso hídrico superficial es el volumen de escurrimiento natural, conocido en México como volumen de escurrimiento por cuenca propia. En las variables de salida, el mayor porcentaje corresponde a los volúmenes de consumo para los diversos sectores usuarios, pero algunas veces los volúmenes de transferencia de agua entre cuencas vecinas también llegan a ser considerables. Por otro lado, la variación de volumen en una cuenca hidrográfica llega a ser insignificante cuando no se tienen cuerpos de agua (lagos, embalses, etc.) con superficies de gran tamaño.

Con respecto al balance subterráneo, además de la delimitación del acuífero es fundamental definir el tipo de acuífero (libre, semiconfinado, confinado, etc.); así como, conocer la evolución de los niveles piezométricos. De las variables de mayor importancia por el volumen de aportación, se encuentra la recarga vertical profunda y el aporte lateral de acuíferos adyacentes. Y la principal salida de agua corresponde a los volúmenes de extracción de pozos y de manantiales para satisfacer las demandas de agua, pero algunas veces la descarga natural a los acuíferos vecinos o a cuerpos de agua también son importantes.

El objetivo del presente estudio es obtener los balances hídricos de oferta y demanda de agua, así como la disponibilidad de agua superficial y la recarga natural subterránea en 15 cuencas hidrográficas de Costa Rica, definidas por el Ministerio del Ambiente y Energía (MINAE) en

coordinación y asesoría del Comité Nacional de Hidrología y Meteorología (CNHM), como cuencas prioritarias.

Para cumplir con el objetivo, se aplica la metodología presentada en UNESCO, 2006, pero adaptándola a la disponibilidad de la información suministrada, principalmente, por el Departamento de Aguas del MINAE.

Para la aplicación de la metodología, es fundamental la delimitación del área de estudio, así como la información hidroclimatológica. En el Capítulo 2 se presentan los límites de las 15 cuencas hidrográficas utilizados en el presente estudio, los criterios para seleccionar las estaciones hidroclimatológicas y se describen algunas características generales de las cuencas, como la precipitación media anual y el número de habitantes.

Por otro lado, también es importante definir el año o período del balance. En este estudio el período de balance es al año 2000, condicionado por el año de la información del uso de suelo, ya que la cobertura vegetal tiene una relación directa con el volumen de escurrimiento natural.

La presentación del balance hídrico superficial, Capítulo 3, se divide en oferta, demanda y en el volumen de escurrimiento hacia aguas abajo, en la salida de la cuenca. En el apartado de la oferta (3.1) se describe la metodología para estimar las variables de entrada a la cuenca hidrográfica, y se presentan los resultados mensuales, por cuenca. La variable de escurrimiento por cuenca propia se obtiene con la ecuación que considera a las pérdidas de agua de lluvia de una manera explícita; es decir, se calcula la interceptación, la evapotranspiración y la infiltración en cada una de las cuencas. También se consideran como entradas el volumen de retornos de agua, el volumen de importación entre cuencas, y el volumen aportado por manantiales, así como el volumen de extracción por bombeo.

En el apartado de la demanda (3.2), se describe la metodología para estimar las variables que salen del sistema hidrológico, y se presentan los resultados mensuales por cuenca hidrográfica. Los volúmenes de consumo por sector usuario se obtienen de la base de datos de concesiones del MINAE. Se analizan 11,043 registros de concesiones y se clasifican en los 8 usos principales que maneja el MINAE, además se identifica la fuente de abastecimiento (superficial y subterránea) y el análisis se hace por cuenca y por mes. Por otro lado, se incluyen los volúmenes utilizados en la generación de energía de 13 proyectos hidroeléctricos operados por el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE), aclarando que el volumen considerado corresponde al volumen turbinado debido a que no se contó con los caudales de entrada y salida a los embalses. Otras de las variables consideradas como salidas son: la evaporación en el embalse Arenal, volumen de exportación entre cuencas y el volumen que se pierde por fugas en el sistema de la red de distribución de agua potable.

Los resultados del balance hídrico se presentan en el apartado del volumen de escurrimiento hacia aguas abajo (apartado 3.3). Además, se calcula la disponibilidad de agua superficial (apartado 3.4) con la metodología de la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CNA-2000, SEMARNAT, 2002.

En el Capítulo 4, se describen aspectos generales de los acuíferos existentes en Costa Rica y se mencionan algunas características hidráulicas, como la profundidad del nivel del agua,

transmisividad, permeabilidad y valores de coeficientes de almacenamiento. Además, se consideró conveniente presentar la situación de la calidad del agua en las fuentes subterráneas identificada por varios autores.

Ante la escasez de información hidrogeológica que permita estimar el balance hídrico subterráneo por acuífero, se presenta un balance por cuenca hidrográfica considerando una variación de volumen en las cuenca de estudio igual a cero, excepto en la cuenca Grande de Tárcoles. Al considerar la variación del volumen igual a cero, la ecuación de balance se reduce a considerar las entradas (recarga total) igual a las salidas (descarga total); aunado a esto, la limitación de información obliga a tomar en cuenta como variable dependiente a la recarga total, suponiendo conocidas las variables de descarga. Las variables de descarga consideradas son las extracciones por bombeo y manantiales, así como el gasto base de los ríos, al cuál se le restan los volúmenes de retornos de agua superficial excluyendo los de la generación hidroeléctrica. Dentro de las variables de recarga se estiman los volúmenes que pueden llegar al acuífero provenientes de las fugas y de los retornos de riego, pero no se considera el aporte lateral proveniente de otros acuíferos.

En el balance hídrico, la precipitación es la variable que provoca un cambio significativo en los resultados; por lo tanto, en este trabajo para cumplir con los términos de referencia del contrato relacionados con la influencia de los fenómenos del cambio climático, se consideran cuatro escenarios de variación de la precipitación: escenario A, considerando el año con menor precipitación anual registrado en cada una de las 262 estaciones climatológicas utilizadas en el balance hídrico al año 2000; escenario B, considerando el escenario seco obtenido por Villalobos y Retana del Instituto Meteorológico Nacional (IMN); escenario C, considerando un porcentaje de disminución de la precipitación por zona del país, Sur o Norte, señalados en el periódico La Nación por Pablo Fonseca, y escenario D, considerando los años comunes, por cuenca hidrográfica, con menor precipitación anual registrada (Capítulo 5, apartado 5.1).

Por otro lado, la variable de gran importancia en la demanda de agua, sin considerar las exportaciones entre cuencas, es el volumen destinado a los diversos sectores que utilizan el recurso hídrico (agrícola, industrial, doméstico, etc.); es decir, el volumen de consumo de agua por sector. Este volumen se debe conocer en situaciones actuales (demanda actual) pero también se debe estimar la demanda futura, analizada bajo diferentes escenarios que consideren el crecimiento de la población y de la economía, así como las políticas públicas, para lograr una planeación eficiente y eficaz del recurso. En este trabajo los volúmenes de demandas futuras se obtienen de Rivera, 2007. Dicho autor considera tres escenarios: el Base, el de Convergencia, y el de Inmovilismo. Con los valores de Rivera se calcula el balance hídrico por cuenca hidrográfica considerando el escenario Base y las proyecciones a los años 2010, 2020 y 2030 (Capítulo 5, apartado 5.2).

Finalmente, en el Capítulo 6 se presentan las conclusiones y recomendaciones.

2 CUENCAS EN ESTUDIO

Costa Rica se encuentra dividida en 34 cuencas hidrográficas. El Departamento de Aguas del MINAE con apoyo del CNHM seleccionó 15 cuencas prioritarias para estimar el balance hídrico mensual, y presentar la metodología y los resultados en un Sistema de Información Geográfico (SIG). Las 34 cuencas del país y las 15 cuencas de estudio se muestran en la figura 2.1.



Figura 2.1. Cuencas hidrográficas de Costa Rica.

Fuente: ICE, 2001.

2.1 LÍMITES DE LAS CUENCAS

Para dar inicio al cálculo del balance hídrico es fundamental delimitar el área de estudio, para lo cual se requiere de información topográfica (curvas de nivel y red hidrográfica). El territorio de Costa Rica se cubre con 135 hojas topográficas, la Escuela de Geografía de la Universidad de Costa Rica (UCR) proporcionó las 135 hojas con curvas de nivel a escala 1: 50,000 en formato vectorial, de las cuales 120 se encuentran desfasadas y 25 muestran un desfase considerable como el que se observa en la figura 2.2. Al no existir parámetros oficiales de proyección se toma la decisión, en común acuerdo con el CNHM, de utilizar los límites de las cuencas obtenidos por el ICE.

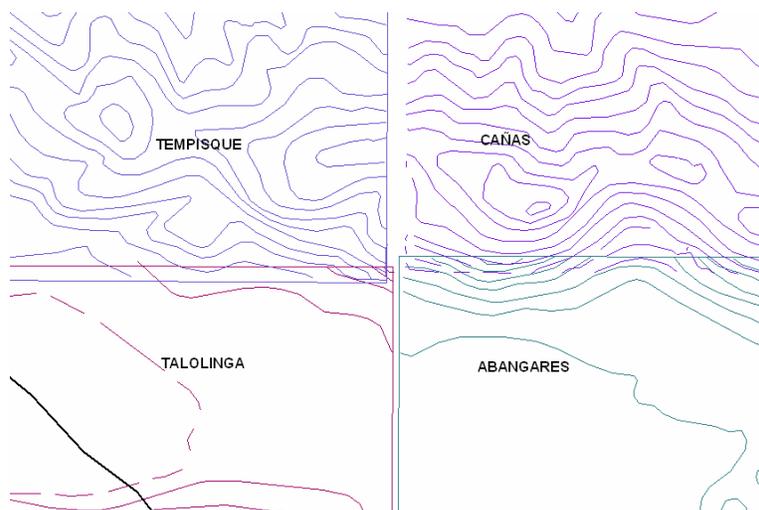


Figura 2.2. Hojas topográficas desfasadas.

La disponibilidad de información requerida en el balance hídrico por cuenca hidrográfica, la revisión de los límites del ICE y las visitas de campo realizadas, obligaron a modificar límites, a subdividir y a agrupar algunas cuencas. A continuación se mencionan las cuencas hidrográficas en donde se realizaron cambios.

La cuenca del río San Carlos fue dividida en dos áreas: la cuenca propia del lago arenal (San Carlos Lago) y el resto de la cuenca (San Carlos 2). La primera, debido a que el río Arenal, afluente del río San Carlos, dejó de recibir caudal de manera natural y solamente recibe los volúmenes excedentes provenientes del Lago Arenal; es decir, la cuenca propia del lago se convirtió en una cuenca cerrada. En la figura 2.3 se presenta la división mencionada.

De acuerdo a la delimitación del ICE, la cuenca del río Sarapiquí y Chirripó son consideradas como dos sistemas de drenaje separados. Al revisar la delimitación de la cuenca del río Sarapiquí, la red de ríos de cada una de las cuencas y visitar la confluencia del río Sarapiquí con el río Sucio, mostrada en la foto 2.1, se concluye que ambas cuencas forman parte de un sólo sistema de drenaje, y debe ser analizado como una sola cuenca. En este estudio, se le llama cuenca Sarapiquí-Chirripó, figura 2.4.

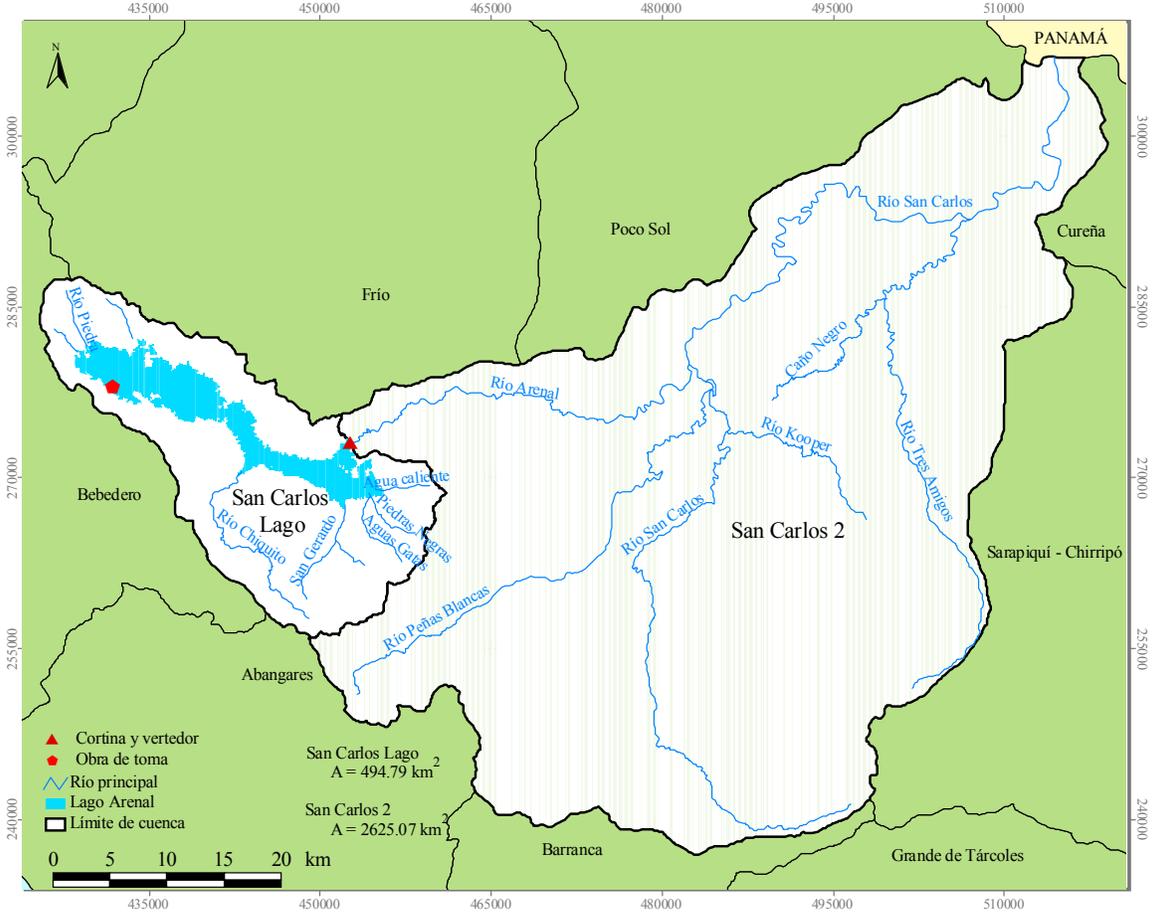


Figura 2.3. Cuenca hidrográfica del Río San Carlos



Foto 2.1. Confluencia de los ríos Sarapiquí y Sucio.

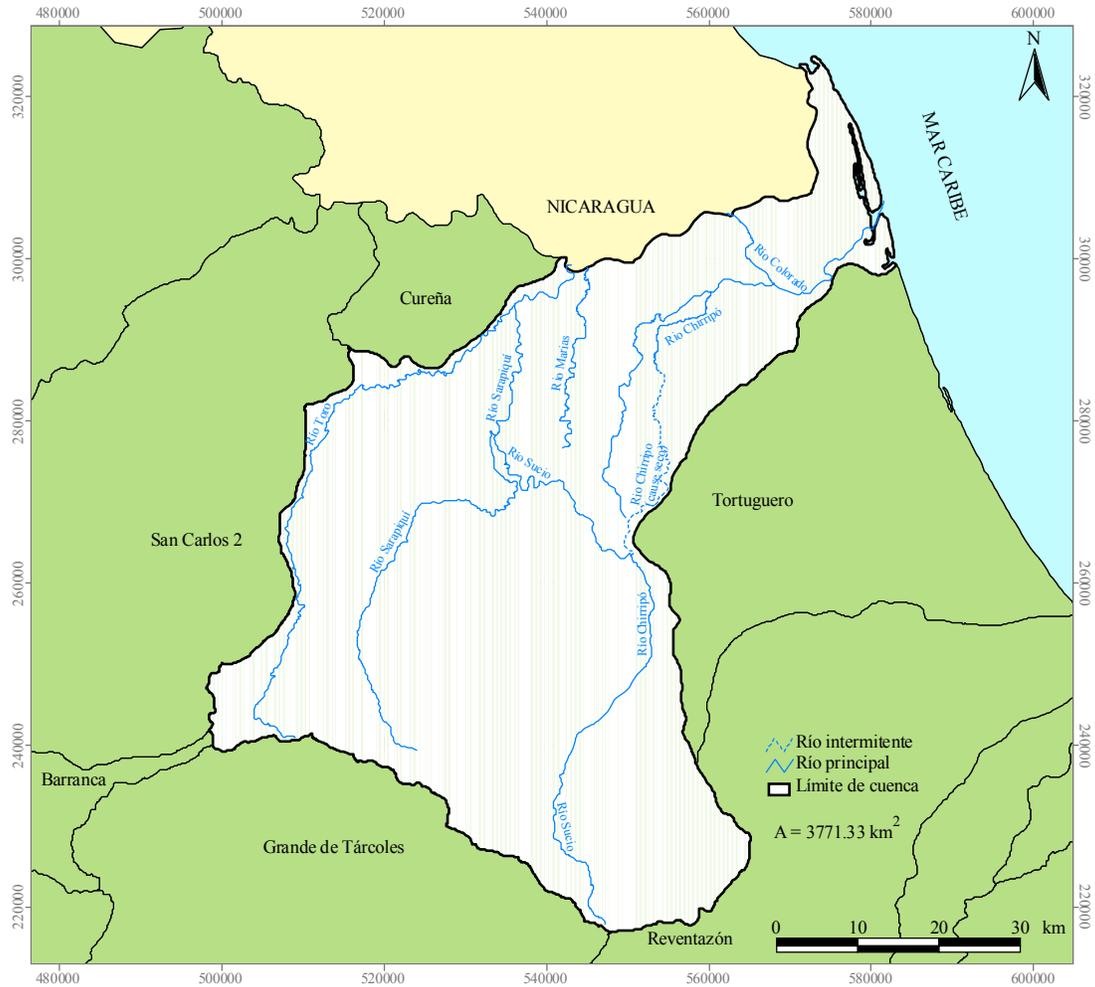


Figura 2.4. Cuenca hidrográfica Sarapiquí-Chirripó

En las cuencas Tempisque y Bebedero se localiza el Distrito de Riego Arenal Tempisque (DRAT). Ambas cuencas son sistemas de drenaje independientes, pero como no fue proporcionada la información correspondiente a la cantidad de agua que se utiliza en cada una de las cuencas mencionadas, en este estudio el balance hídrico se obtiene considerándolas como una sola cuenca hidrográfica, figura 2.5, y se nombra cuenca Tempisque-Bebedero.

En la cuenca Grande de Térraba, el punto de salida se ubicó en la estación hidrométrica El Palmar (31-01) debido a que aguas abajo de este punto existe una zona plana con canales artificiales y direcciones de flujo indefinidos.

Como la Península de Nicoya está integrada por varios ríos que drenan al Océano Pacífico, se ha dividido en dos áreas de estudio, las cuales son nombradas Península de Nicoya a y Península de Nicoya b.

Finalmente, en la figura 2.6 se muestra la delimitación de las cuencas utilizada en este estudio y en la tabla 2.1 se presenta la longitud de sus ríos principales.

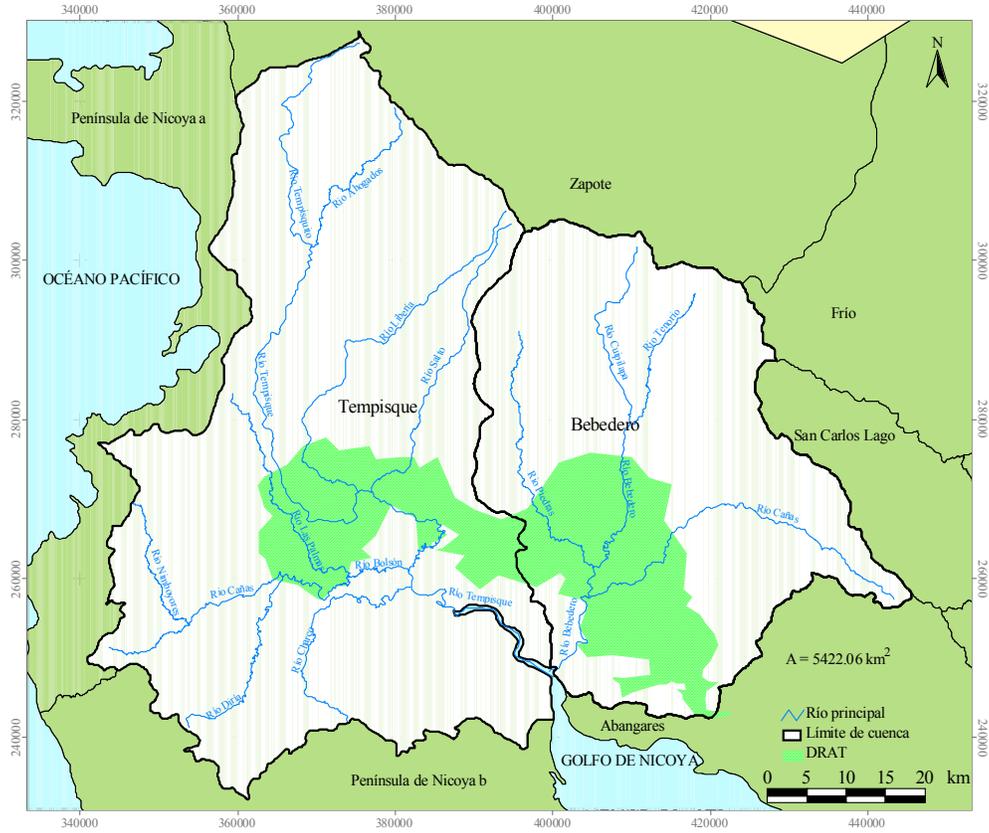


Figura 2.5. Cuenca de balance hídrico Tempisque-Bebedero



Figura 2.6. Límites de las cuencas hidrográficas de estudio.

Tabla 2.1. Ríos principales.

Cuenca	Nombre	Longitud, km	Punto de descarga	Observaciones
Abangares	Abangares	45.0	Golfo de Nicoya	Nace a una altura de 1000 msnm aguas arriba del poblado Gogolona y desemboca aguas abajo del poblado Abangaritos, Puntarenas.
	Lagarto	44.3	Golfo de Nicoya	Nace cerca del poblado Santa Elena, Punta Arenas a una altura de 1300 msnm. Desemboca en la playa Bajo Piñuela cerca del poblado Chomes, Punta Arenas.
	Aránjuez	43.6	Golfo de Nicoya	Nace cerca del poblado Rincón, Montes de Oro a una altura de 1500 msnm. Desemboca en el Estereo, Punta Arenas.
Barranca	<i>Barranquilla</i>	17.6	Río Barranca	
	Barranca	61.3	Golfo de Nicoya	Nace cerca del poblado El Chayote, Naranjo a 2000 msnm. Desemboca aguas abajo del poblado Barranca, Puntarenas
Frío	Frío	103.8	Río San Juan	Nace del Cerro Jilguero y la Fila Chiquero a una altura de 1200 msnm. Cruza la frontera de Costa Rica y Nicaragua y desemboca al Río San Juan. La longitud está medida desde su nacimiento hasta el poblado Los Chiles, Los Chiles.
Grande de Tárcoles	<i>Virilla</i>	64.9	Grande de Tárcoles	
	Grande de Tárcoles	113.2	Océano Pacífico	Nace aguas arriba del poblado San Ramón, San Ramón a una altura de 1200 msnm en las faldas del cerro Pata de Gallo. Desemboca cerca del poblado Playa Azul, Garabito.
Grande de Térraba	<i>Coto Brus</i>	77.7	Río General	
	Grande de Térraba	162.4	Océano Pacífico	Nace en las faldas del cerro Ventisquero a una altura de 3500 msnm en el distrito Rivas, Pérez Zeledón. La longitud está medida desde su nacimiento hasta el poblado de Palmar Norte, Osa.
Naranjo	Naranjo	47.4	Océano Pacífico	Nace en las faldas del cerro Alto Cañazo a una altura de 2700 msnm, en el distrito Copey, Dota. Desemboca cerca del poblado Roncador, Aguirre.
Pacuare	Pacuare	128.0	Mar Caribe	Nace en el distrito la Suiza, Turrialba a una altura de 2700 msnm. Desemboca cerca del poblado San Rafael, Siquirres.
Parrita	<i>Pirrís</i>	62.7	Río Parrita	
	Parrita	90.1	Océano Pacífico	Nace cerca del poblado El Empalme, El Guarco a una altura de 2300 msnm. Desemboca aguas abajo del poblado Parrita, Parrita.
Península de Nicoya				
Reventazón	<i>Agua Caliente</i>	29.3	Río Reventazón	
	Reventazón	163.5	Mar Caribe	Nace en las faldas del Cerro Cuericí, a una altura de 3000 msnm en el distrito Orosi, Paraiso. Llegan sus aguas al embalse Cachí y retorna a su cauce aguas abajo. Desemboca cerca del pueblo Parismina, Siquirres.
San Carlos	San Carlos	146.4	Río San Juan	Nace en las faldas del cerro Palmira a una altura de 2000 msnm, cerca del poblado Picado, Alfaro Ruiz. Desemboca al Río San Juan en el límite entre Nicaragua y Costa Rica, cerca del poblado Boca San Carlos, San Carlos.

Cuenca	Nombre	Longitud, km	Punto de descarga	Observaciones
Sarapiquí - Chirripó	<i>Toro</i>	89.6	Río Sarapiquí	Aproximadamente a 61 km a partir de su nacimiento entra a la planicie de inundación y en eventos extremos se une al río Chirripó. Nace cerca del pueblo San Rafael, Heredia a una altura de 2100 msnm. A 10 km aguas abajo de Puerto Viejo, Sarapiquí se le une el río Sucio y continúa su recorrido con el nombre de Río Sarapiquí, hasta desembocar al Río San Juan en el límite entre Costa Rica y Nicaragua, muy cerca del poblado Trinidad, Sarapiquí.
	<i>Sucio</i>	89.8	Río Sarapiquí	
	Sarapiquí	97.2	Río San Juan	
Savegre	<i>División</i>	30.9	Río Savegre	Nace en las faldas del cerro Estaquero a una altura de 3100 msnm, en el distrito Copey, Dota. Desemboca cerca del poblado Marítima, Aguirre.
	Savegre	66.0	Océano Pacífico	
Tempisque	Tempisque	151.7	Golfo de Nicoya	Nace en las faldas del Volcán Orosí a 900 msnm, en los límites entre los distritos Santa Elena, LaCruz y Mayorga, Liberia. Desemboca aguas abajo del poblado Puerto Humo, Nicoya.
Bebedero	Bebedero	45.7	Golfo de Nicoya	Nace en las faldas del volcán Miravalles a 1500 msnm en el distrito Fortuna, Bagaces. Desemboca cerca del poblado Guapinol, Cañas.

Afluente

2.2 ESTACIONES METEOROLÓGICAS E HIDROMÉTRICAS

En la selección de las estaciones meteorológicas se utilizaron tres criterios: el primer criterio fue, seleccionar las estaciones que tuvieran más de 15 años de información, sin embargo superficies grandes quedaron descubiertas, por lo que se aplicó un segundo criterio; en zonas descubiertas utilizar estaciones que por lo menos tuvieran 10 años de registros. El tercer criterio se aplicó en las cuencas que no tenían suficiente red de medición; utilizar las estaciones que por lo menos tuvieran 5 años de registros. En el Anexo A.1 se muestra por cuenca hidrográfica la distribución espacial, las coordenadas y el período de registro de cada una de las estaciones.

Con respecto a la selección de estaciones hidrométricas, también se seleccionaron aquellas estaciones que tuvieran más de 15 años de registros, ubicadas sobre el río principal y lo más cercanas a la salida de la cuenca. En la tabla 2.2 se muestran las estaciones que fueron utilizadas en el estudio con su correspondiente caudal medio anual para validar las variables del balance hídrico superficial, y en el Anexo A.1 su ubicación geográfica.

Las instituciones que suministraron los registros climatológicos fueron el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE), el Servicio Nacional de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento (SENARA) y el Instituto Meteorológico Nacional (IMN), y de caudal medio mensual el ICE.

Tabla 2.2. Estaciones hidrométricas seleccionadas.

Cuenca	Estación	Periodo de registro	Área de Aforo		Caudal en m ³ /s		
			km ²	% con respecto al área total	Total	Base	Directo
Abangares ^B							
Barranca ^A	22-02 Guapinol	1981-1999	203.10	42	10.38	2.00	8.38
Frío ^B							
Grande de Tárcoles ^A	24-11 Alumbre	1981-1996	1745.00	81	72.99	25.00	47.99
Grande de Térraba ^A	31-01 Palmar	1981-2005	4766.70	100	322.18	86.67	235.51
Naranja ^A	28-01 Londres	1981-2005	210.20	65	27.21	5.00	22.21
Pacuare ^A	08-03 Dos Montañas	1981-1996	651.80	71	51.75	15.00	36.75
Parrita ^A	26-01 El Rey	1981-2004	661.40	51	30.35	5.00	25.35
Pen. Nicoya a ^B							
Pen. Nicoya b ^B							
Reventazón ^A	09-12 Pascua	1981-2005	1673.20	59	148.34	60.00	88.34
San Carlos Lago ^C							
San Carlos 2 ^A	14-16 Boca Tapada	1981-1995	2503.81	95	202.44	55.00	147.44
Sarapiquí-Chirripó ^B							
Savegre ^A	29-03 Savegre	1983-1995	473.00	78	40.16	10.00	30.16
Tempisque-	19-01 La Guardia	1981-2005	955.00	28	25.67	8.75	16.92
Bebedero ^A	20-03 Rancho Rey	1981-2005	288.00	14	24.32	4.92	19.40

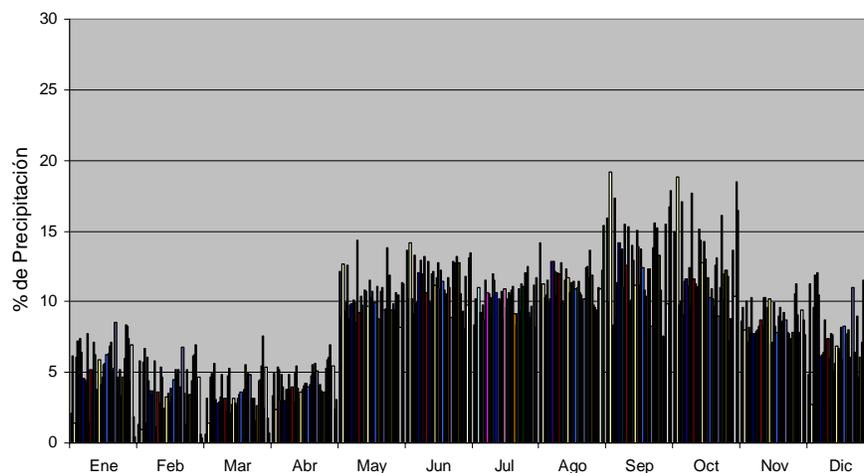
A. Gasto base obtenido gráficamente con los gastos medios mensuales registrados en las estaciones hidrométricas indicadas en la tabla.

B. Gasto base (hm³/km²) obtenido de Reynolds, 1997.

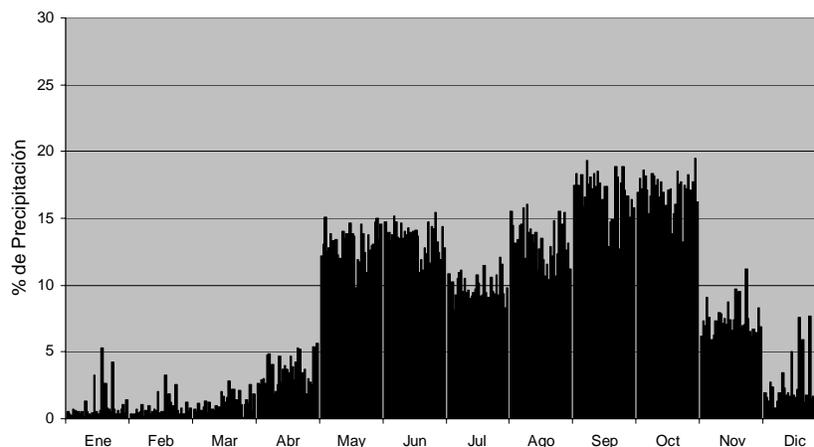
C. Gasto base (hm³/km²) obtenido con los gastos medios registrados en seis estaciones hidrométricas.

2.3 CARACTERÍSTICAS GENERALES

De las 15 cuencas de estudio, 5 descargan al Océano Atlántico o Mar Caribe y 10 al Océano Pacífico. Ambas vertientes presentan un comportamiento pluvial diferente, las cuencas de la vertiente del caribe no presentan un período de lluvia definido, todo el año ocurren lluvias, tal como se muestra en la gráfica 2.1. Las cuencas de la vertiente del pacífico presentan un período de lluvia de mayo a octubre y un período seco de noviembre a abril, gráfica 2.2, en dicha gráfica se observa que los meses más lluviosos son septiembre y octubre.



Gráfica 2.1. Patrón de lluvia en la vertiente del Caribe. Cuenca Reventazón.



Gráfica 2.2. Patrón de lluvia en la vertiente del pacífico. Cuenca Grande de Tárcoles.

A continuación se describen brevemente cada una de las cuencas estudiadas por orden alfabético. En cada una de las cuencas se menciona el número de habitantes (hab) obtenido considerando la población por distrito del año 2000.

Cuenca Abangares

Su área de drenaje es de 1350.36 km² y esta formada por varios ríos que descargan al Golfo de Nicoya: río Lagarto, Guacimal, Aranjuez, Seco y Naranjo. La precipitación media anual es de 2,320 mm y la temperatura media anual de 26.2 °C. El número de habitantes en la cuenca es de 120,111.

Cuenca Barranca

Su área es de 479.15 km² y drena al Golfo de Nicoya. La precipitación media anual es de 3,085 mm y la temperatura media anual de 23 °C. El número de habitantes en la cuenca es de 34,448.

Cuenca Frío

Tiene un área de 1,683.66 km² y drena al río San Juan, el cual es límite fronterizo con Nicaragua y tiene una población de 29,341 hab. Es importante mencionar que la delimitación de la cuenca excluye la parte nicaragüense y de acuerdo a los criterios hidrológicos debería ser incluida. La precipitación media anual es de 3,355 mm y la temperatura media anual de 25.7°C.

En ésta cuenca se encuentra el humedal Caño Negro, ubicado en el cantón Los Chiles, considerado como el tercer humedal más importante del mundo por la enorme cantidad de aves migrantes, se han identificado unas 220 especies de aves en esa zona, Vargas A., 2007. Esta cuenca, queda integrada en su totalidad en la nueva reserva de biosfera de UNESCO nombrada Paz y Agua, Vargas A., 2007.

Cuenca Grande de Tárcoles

Esta cuenca fue seleccionada por el CNHM como cuenca piloto para aplicar y aprobar la metodología de balance hídrico. Abarca un área de 2,166.00 km² y cuenta con dos ríos principales: El río Virilla y el Grande, que al unirse forman el Grande de Tárcoles. La precipitación media anual es de 2,364 mm con una temperatura media anual de 21.7°C.

En la cuenca se concentran 1,959,579 hab, que representan el 51% de la población de todo el país. La concentración humana ha provocado problemas ambientales, sociales y económicos; esta cuenca es la más contaminada, debido a la intensa actividad agrícola, industrial y al vertido de aguas residuales sin tratamiento alguno.

En esta cuenca, el 20% de su área es bosque y el 64% comprende la zona urbana, cultivos y pastizales, lo que representa una cuenca degradada. El principal uso de agua superficial es para la generación hidroeléctrica; pero si no se considera este uso, el agua subterránea es la principal fuente de abastecimiento para el consumo humano, industrial, riego y turismo, y su extracción proviene principalmente del acuífero Colima-Barva. Es la segunda cuenca con el mayor número de proyectos hidroeléctricos, en la tabla 2.3 se presentan algunas características de los proyectos que tiene el ICE en la cuenca.

Tabla 2.3. Plantas hidroeléctricas del ICE en la cuenca Grande de Tárcoles

Nombre	Año de operación	Ubicación	Ríos aprovechados	Unidades / Capacidad total instalada, kW	Volumen turbinado ^(A) , hm ³ /año
La Garita	1958	En el distrito Garita del Cantón Alajuela.	Grande de San Ramón.	1 / 37,360	435
Ventanas Garita	1987	En el distrito Colón del Cantón Mora.	Virilla y Ciruelas	2 / 97,380	829

Fuente: ICE_b, 2005; (A). ICE, 2007.

El principal problema que se presenta en la cuenca es la contaminación de sus fuentes de abastecimiento, ríos, pozos y manantiales, pero también se presentan inundaciones en temporada de lluvia. Como ejemplos de contaminación, Calvo y Mora, 2007 señalan que los ríos María Aguilar, Tiribí y Torres, presentan contaminación severa, el pozo AB-1089 se contaminó por

hidrocarburos, Angulo F., 2007, en la naciente Los Sánchez se encontraron cantidades considerables de cromo, Ávalos y Angulo, 2007. Con respecto a las inundaciones en menos de una semana, en San Antonio de Belén y Alajuela se presentaron inundaciones al desbordarse los ríos Quebrada Seca y Alajuela, afectando alrededor de 130 casas, foto 2.2, Angulo y Ezquivel, 2007.



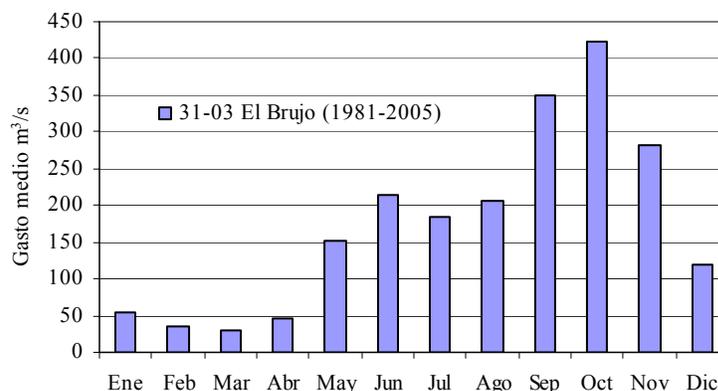
Foto 2.2 Inundaciones en San Antonio de Belén, Heredia.

Fuente: Angulo y Ezquivel, 2007.

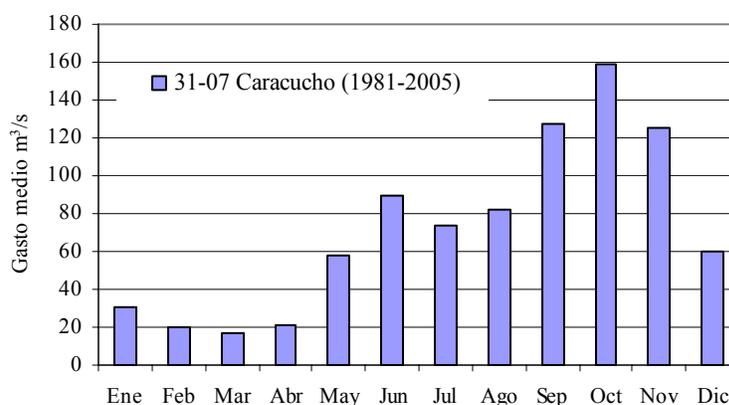
Cuenca Grande de Térraba

Es la cuenca más grande del país, tiene un área de 4,775.38 km² hasta la estación hidrométrica El Palmar y es la tercera cuenca más habitada con 198,908 hab, concentrándose la población en el Distrito San Isidro El General. El punto más alto de la cuenca corresponde al pico más grande del país, el cerro Chirripó con una altura de 3,819 msnm. La cuenca aún conserva bosque natural (56%), aunque ya se presentan grandes extensiones de pastizales (23%) y algunas zonas de cultivo (10% del área total). La precipitación media anual es de 3,052 mm y la temperatura media anual de 22.5 °C.

Existen dos subcuencas principales: la que forma el río General y la que corresponde al río Coto Brus. Ambas cuencas escurren en sentido contrario y confluyen en el río Grande de Térraba, éste último quiebra por la Fila Brunqueña para drenar en el Océano Pacífico. Por otro lado, en ambas cuencas se presentan caudales muy altos durante los meses de septiembre a noviembre como se observa en las gráficas 2.3 y 2.4. La estación El Brujo afora el 50% del área total ubicada sobre el río General y la estación Caracucho el 24% del área total ubicada sobre el río Coto Brus.



Gráfica 2.3. Caudales mensuales registrados en la estación 31-03, Gde. de Térraba



Gráfica 2.4. Caudales mensuales registrados en la estación 31-07, Gde. de Térraba.

Esta cuenca presenta un alto potencial de generación hidroeléctrica como lo señala el ICE (ICE_b, 2005) y como lo demuestra el volumen concesionado al año 2000 que se otorga en esta cuenca, más del 90% corresponde a la generación de energía eléctrica.

En esta cuenca se presentó un conflicto entre ambientalistas y comunidades indígenas con autoridades del ICE por el proyecto hidroeléctrico denominado *Gran Boruca*. El sitio de la presa se pretendía ubicar cerca del poblado Cajón de Boruca, con una altura de 250 m y una área de embalse de 25,000 ha, (ICE_b, 2005). En 2006, el ICE desiste de esta obra y opta por un proyecto más pequeño denominado *Boruca-Veraguas*, Agüero, 2006. El sitio de la presa se ubicará sobre el río General superior cerca de la ciudad de Buenos Aires y tendrá una área de embalse de 6,000 ha (ICE_b, 2005) y la fecha más próxima para iniciar su construcción será en el año 2008, Agüero, 2006.

Cuenca Naranja

Su área de drenaje es de 323.40 km², es la cuenca más pequeña con una población de 6,726 hab y con una de las precipitaciones más altas de 4,569 mm. La temperatura media anual es de 17.2 °C. Con respecto al uso de suelo el 58% de la cobertura vegetal es bosque y el 22% se destina a la siembra de cultivos.

Cuenca Pacuare

Abarca una área de 914.11 km² y tiene una población de 37,378 hab. La precipitación media anual es de 3,866 mm y la temperatura media anual de 24.9 °C. Es una cuenca completamente virgen como lo indica la cobertura de uso de suelo 2000, ya que más del 80% de su área esta cubierta de vegetación. Duran y Guido, 2002 señalan que el río Pacuare es uno de los ríos más atractivos para la práctica del rafting debido a su caudal y belleza escénica, cualidad que atrae a miles de turistas al año, 150,000 (La Nación AP, 2004), además afirman que sus aguas se consideran prácticamente limpias.

Esta cuenca, como lo muestra la imagen, tipo raster, editada por el Instituto Geográfico Nacional (IGN) en el año 1967 recibía agua proveniente del río Reventazón por la presencia de eventos extremos de caudal, figura 2.7. En el año de 1995 se construyó un dique para mitigar las inundaciones y actualmente se terminó de construir un nuevo dique, figura 2.7. Por lo anterior, estas cuencas difícilmente volverán a unirse de manera natural.

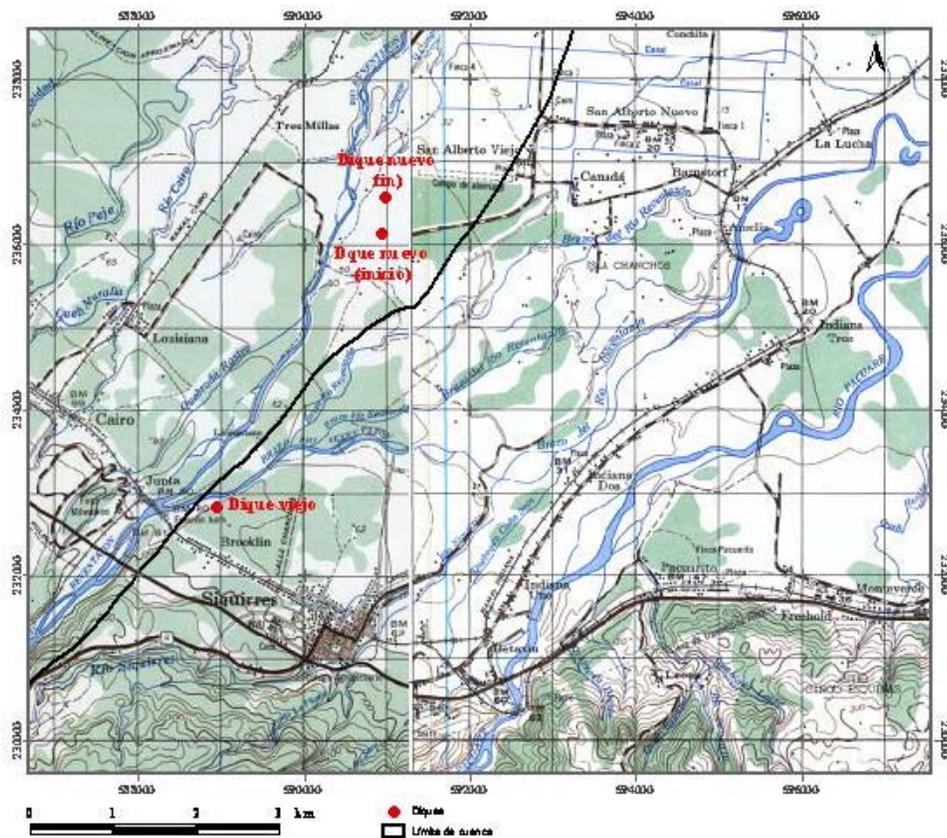
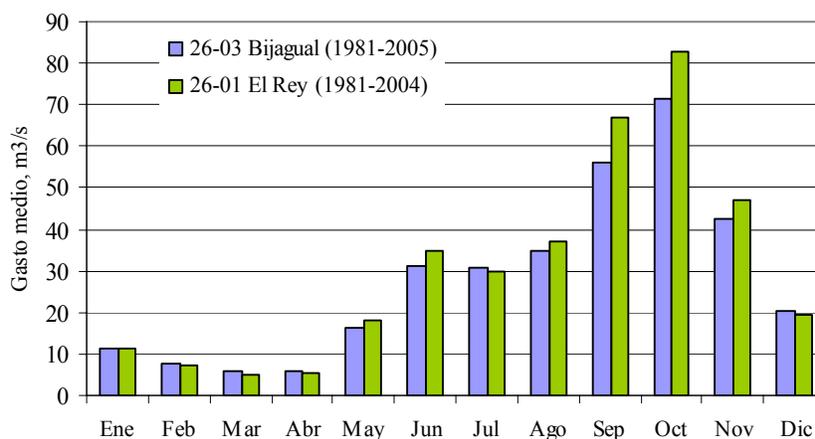


Figura 2.7. Brazo del río Reventazón que se unía con el río Pacuare y ubicación de los diques.

En la cuenca del río Pacuare se identifican conflictos debido principalmente a los proyectos hidroeléctricos que el ICE planea llevar a cabo y que provoca la manifestación de organizaciones defensoras tanto de la biodiversidad de la zona como de las comunidades indígenas aledañas al río Pacuare, Duran y Guido, 2002.

Cuenca Parrita

Tiene un área de drenaje de 1,288.62 km² con 112,106 hab. El 42% del área total de la cuenca se destina a la siembra de cultivos y pastizales, ver tabla 3.3. Su precipitación media anual es de 2,718 mm y la temperatura media anual de 21.7 °C. Existen dos ríos principales bien definidos: el río Candelaria y el río Pirrís, por ambos ríos fluye un gasto medio anual de 30 m³/s (946 hm³/año) con gastos menores a 10 m³/s en los meses de febrero a abril y mayores a 50 m³/s en los meses de septiembre y octubre, tal como se observa en la gráfica 2.5. En la parte media de la cuenca sobre el río Pirrís, 12 km aguas arriba de la estación 26-03 (Bijagual) se encuentra en construcción una central hidroeléctrica del ICE que tendrá una capacidad de 128,000 kW, ICE_a, 2005.



Gráfica 2.5. Gastos medios mensuales registrados en la cuenca Parrita.

Cuenca Península de Nicoya

Tiene un área total de 4,205.38 km² y existen 83,532 hab. La cuenca está formada por una gran cantidad de ríos, lo que obligó para fines del balance hídrico dividir el área total de la cuenca en dos subcuencas: Nicoya a (parte norte de la cuenca y con un área de 969.39 km²) y Nicoya b (parte sur de la cuenca y con un área de 3,235.99 km²).

De acuerdo con la regionalización climatológica del IMN, Solano y Villalobos, 2005, es de las cuencas más secas del país, con una temperatura media de 26.9°C y una precipitación media anual de 1,467 mm para la subcuenca a, obtenida con dos estaciones que ya dejaron de funcionar, y 2,129 mm obtenida con 11 estaciones pluviométricas, ver Anexo A.1.

La Península de Nicoya muestra un desarrollo turístico en crecimiento, que se traduce en mayor demanda de agua. Es la cuenca que tiene el mayor volumen concesionado para este sector, 9 hm³/año en 2000 y 10 hm³/año en 2006, y es abastecido principalmente por agua extraída de pozos. La explotación desmesurada de los acuíferos sin conocer la variación de volumen provoca problemas de intrusión salina como los que se presentaron en los acuíferos Tamarindo y Playa Flamingo, Agüero, 2003.

Cuenca Reventazón

La cuenca tiene un área de 2,818.86 km² y es la segunda cuenca más poblada con 396,537 hab que viven en la cuenca alta, principalmente en los Distritos de Cartago, Paraíso, La Unión y Turrialba. El 43% del área total de la cuenca se utiliza en siembra de cultivos, en pastos y al área urbana. El Reventazón es el segundo río más contaminado del País, Birkel, 2007, debido principalmente a las aguas residuales del área urbana y agrícola.

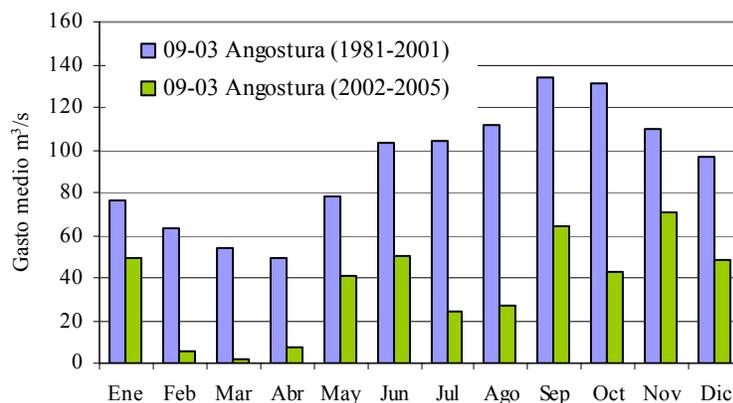
En ésta cuenca el ICE ha construido un complejo importante de generación de energía eléctrica, el cuál esta compuesto por tres plantas hidroeléctricas (Río Macho-Cachí-Angostura) que en conjunto generan 393 MW con un volumen turbinado de 4,228 hm³/año, tabla 2.4

Tabla 2.4. Plantas hidroeléctricas del ICE en la cuenca Reventazón.

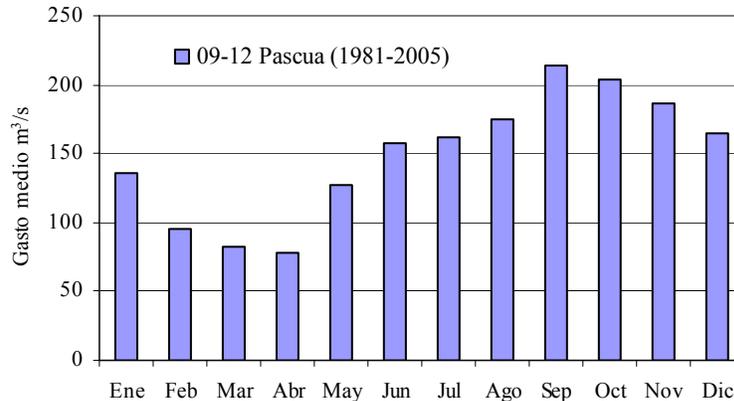
Nombre	Año de operación	Ubicación	Ríos aprovechados	Unidades / Capacidad total instalada en kW	Volumen turbinado ^(A) , hm ³ /año
Río Macho	1963	Valle de Orosi en Paraíso de Cartago.	Macho y Grande de Tapantí o de Orosí	5 / 120,000	385
Cachí	1966	En Cartago entre Cachí de Paraíso y Bajos del Congo de Tucurrique	Reventazón	3 ^(A) / 100,8003 ^(A)	1,099
Angostura	2002	Turrialba de Cartago	Reventazón	3 / 172,203	2,744

Fuente: ICEa, 2005; (A). ICE, 2007.

La precipitación media anual en la cuenca es de 3,704 mm, con lluvias mayores a los 6,000 mm en el sureste de la parte alta, principalmente en el Distrito Paraíso. La temperatura media anual es de 21.2°C. El caudal en el sureste de la parte alta de la cuenca es de 22 m³/s, en la parte media el caudal era de 93 m³/s antes de la operación de la planta hidroeléctrica Angostura, y en los últimos años, del 2002 al 2005, se registra un caudal medio anual de 30 m³/s, gráfica 2.6. En la parte media-baja el caudal medio anual es de 148 m³/s, gráfica 2.7.



Gráfica 2.6. Caudales registrados en la estación 09-03, Reventazón.



Gráfica 2.7. Caudales registrados en la estación 09-12, Reventazón.

Cuenca San Carlos

La cuenca propia del lago Arenal tiene un área de 494.79 km² y 7,713 hab. El área del cuerpo de agua es de 88.5 km² (IMN, 2007), el embalse transfiere agua a uno de los complejos hidroeléctricos más importantes del país Arenal-Corobici-Sandillal, ubicado en la cuenca del río Bebedero, el cuál genera 363 MW con un volumen total turbinado de 4,060 hm³/año. En la tabla 2.6 se presentan las características generales de cada una de las plantas hidroeléctricas.

El embalse Arenal fue construido en los años 70's por el ICE para la generación hidroeléctrica y se ubica al noroeste de la cuenca San Carlos, su vertedor se encuentra ubicado al lado izquierdo de la carretera la Fortuna-Tilarán, a 8 km del poblado La Palma, por donde se incorporan los volúmenes excedentes al río Arenal. Los ríos importantes que alimentan al lago son: los ríos Chiquito, San Gerardo, Aguas Gatas, Piedras Negras y Agua Caliente.

En la cuenca propia del lago Arenal se presenta una precipitación media anual de 3,355 mm y una temperatura de 23.2°C. El 64% del área total de esta cuenca es bosque primario y secundario.

El resto de la superficie, sin incluir la cuenca propia del lago, es de 2,625.0 km² y tiene 131,224 hab. La precipitación media anual es de 3,394 mm y la temperatura es de 23.4°C. Esta zona tiene el mayor número de proyectos hidroeléctricos privados y consecuentemente el mayor volumen concesionado es para este uso, que representa el 97% del volumen total concesionado en la cuenca. Es la segunda cuenca con la mayor área destinada a la agricultura, el 27% del área de la cuenca es utilizada en cultivos anuales y permanentes.

En la cuenca de San Carlos Lago, en uno de los ríos más caudalosos que alimentan el lago, Río Chiquito, se presenta un caudal medio anual de 7.3 m³/s y en la cuenca San Carlos 2, en la parte media, el caudal media anual llega a los 150 m³/s.

Cuenca Sarapiquí-Chirripó

La cuenca del río Sarapiquí-Chirripó tiene un área de influencia de 3,771.33 km² con 82,199 habitantes y esta integrada por dos sistemas de drenaje: el río Sarapiquí y el río Sucio. El río Sucio se une al río Chirripó al entrar a la planicie de inundación y durante eventos extremos. El río Chirripó drena hacia el mar Caribe y el río Sarapiquí drena hacia el río San Juan que es límite entre Costa Rica y Nicaragua, y por su margen izquierda al río Sarapiquí se le incorpora el río Toro que tiene una longitud de 89.5 km. En las zonas altas de la cuenca existe una buena cobertura de bosques con un 48% del área total de la cuenca.

En ésta cuenca el ICE tiene 3 proyectos hidroeléctricos que generan 171 MW con un volumen turbinado de 490 hm³/año, en la tabla 2.5 se muestran algunas de sus características. Además, existe un gran número de proyectos hidroeléctricos privados y consecuentemente más del 95% del volumen concesionado en la cuenca se destina a este sector.

Tabla 2.5. Plantas hidroeléctricas del ICE en la cuenca Sarapiquí-Chirripó.

Nombre	Año de operación	Ubicación	Ríos aprovechados	Unidades / Capacidad instalada total en kW	Volumen turbinado ^(A) , hm ³ /año
Toro I	1995	Distrito Toro Amarillo del Cantón Valverde Vega.	Parte alta del Toro, Agres y Segundo.	2 / 23,206	195
Toro II	1996	Distrito Río Cuarto del Cantón Grecia.	Toro, Quebrada Latas	2 / 65,763	295
Cariblanco	2007	Distrito Sarapiquí del Cantón Alajuela.	Parte alta del Sarapiquí.	2 / 82,000 ^(A)	Dejó de operar en mayo 07

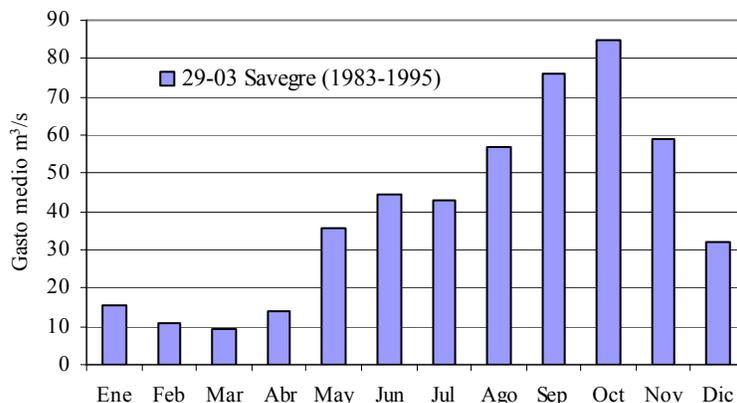
Fuente: Grupo ICE, 2005; (A). ICE, 2007.

La precipitación media anual es de las más grandes del país con un valor de 4,817 mm y una temperatura media anual de 17.3 °C. En la cuenca el caudal medio anual es de 109 m³/s.

Una de las problemáticas en esta cuenca es la presencia de inundaciones, principalmente en Puerto Viejo, cabecera del cantón de Sarapiquí

Cuenca Savegre

Esta cuenca tiene un área de 603.74 km² y drena hacia el Océano Pacífico. Sus lluvias anuales superan los 3,000 mm, en la parte baja de la cuenca se presentan las lluvias más grandes alcanzando valores de hasta 5,000 mm. La precipitación media anual es de 3,973 mm. La red fluvial esta compuesta por dos ríos bien definidos: ríos Savegre y División. El caudal medio anual registrado, 4 km aguas abajo de la confluencia de ambos ríos, es de 40 m³/s, con la variación mensual que se presenta en la gráfica 2.8.



Gráfica 2.8. Caudal medio registrado en la estación 29-03, Savegre.

Es una cuenca virgen, el 75% de su área es bosque y es la menos poblada con 4,086 hab, dicha población se abastece de agua proveniente de nacientes.

La principal problemática es la presencia de eventos extremos (lluvia y caudal) que se traducen en inundaciones en la parte baja de la cuenca, ocasionando daños a la población y a las vías de comunicación que dejan comunidades aisladas. Otra problemática tiene que ver con la distribución de la población, en 35 comunidades, lo que dificulta la dotación de infraestructura de servicios básicos, como acueductos, Gago, 2000.

Cuenca Tempisque-Bebedero

Ésta cuenca en conjunto tiene una área de drenaje de 5,422.00 km², de los cuales 3,354.84 km² le corresponden a la cuenca del río Tempisque y el resto a la del río Bebedero, los dos ríos desembocan al Golfo de Nicoya. En ambas cuencas la precipitación media anual es de las más pequeñas de todo el país: 1,768 mm en Tempisque y 1,713 mm en Bebedero, y además se presentan las temperaturas más altas de todo el país, 28 °C en la cuenca Tempisque y 26 °C en la cuenca Bebedero.

En la cuenca conjunta se encuentra el principal proyecto de riego denominado Distrito de Riego Arenal Tempisque (DRAT). El DRAT nace en los años 70's y toma el agua del embalse Arenal a través del proyecto Arenal-Corobicí-Sandillal después de pasar por las tres plantas hidroeléctricas. En la tabla 2.6 se presentan algunas características de las tres plantas hidroeléctricas que opera el ICE.

Tabla 2.6. Plantas hidroeléctricas del ICE en la cuenca Bebedero.

Nombre	Año de operación	Ubicación	Procedencia del agua	Unidades / Capacidad total instalada, kW	Volumen turbinado ^(A) , hm ³ /año
Arenal	1978	Tilarán, Guanacaste.	Embalse Arenal	3 / 157,398	1,363
Corobicí	1982	Cañas, Guanacaste.	Embalse Arenal y río Sta. Rosa	3 / 174,012	1,440
Sandillal	1992	Cañas, Guanacaste.	Embalse Corobicí	2 / 31,978	1,257

Fuente: ICE_b, 2005; (A). ICE, 2007.

La principal infraestructura del DRAT consta de la presa derivadora, Manuel Dengo ubicada en las cercanías de la ciudad de Cañas, de donde parten dos canales: el canal del Sur y el canal del Oeste. El primero con una longitud de 8.5 km y una capacidad de conducción de 30 m³/s y el segundo 21.9 km de longitud y una capacidad de conducción de 55 m³/s, OET, 2001. El DRAT se divide principalmente en dos Distritos, el Arenal y Zapandí y actualmente se riegan aproximadamente 30,000 ha, correspondiendo el 43% a la siembra de arroz y el 37% a la siembra de caña de azúcar. En promedio, 2003-2005, el DRAT recibe por ambos canales un caudal de 37 m³/s y los principales usuarios pertenecen a los subdistritos de Cañas, Lajas, Piedra, Cabuyo, Tempisque y Zapandí, SENARA, 2007a.

En el año 2000 se presentó un conflicto social en el Cantón de Santa Cruz, debido principalmente a la solicitud de una segunda concesión de agua de 72 litros por segundo del Hotel Meliá Conchal, Angulo, 2006, para explotar el acuífero Nimboyores, ubicado en la comunidad de Lorena perteneciente a la cuenca Tempisque. La solicitud de la nueva concesión no ha sido resuelta, debido a la poca certeza técnica relacionada con la disponibilidad de agua en la zona. En la figura 2.8 se muestra el área hidrológica del acuífero Nimboyores, la ubicación de la comunidad de Lorena y la playa Conchal.

Otros problemas identificados en la cuenca del río Tempisque son las inundaciones frecuentes, la disminución del nivel de agua en algunos tramos del cauce en la época seca, Además de la sedimentación, deforestación, desechos orgánicos, producto de los ingenios de azúcar, arroz y melón, Rojas, 2007. Algunos ejemplos se encuentran en Arguedas y Loaiza, 2007, que describen la inundación del cantón de Carrillo Guanacaste. También, en Rojas 2007, se señala que en la desembocadura del río Palmas y del río Cañas disminuye el nivel del agua.

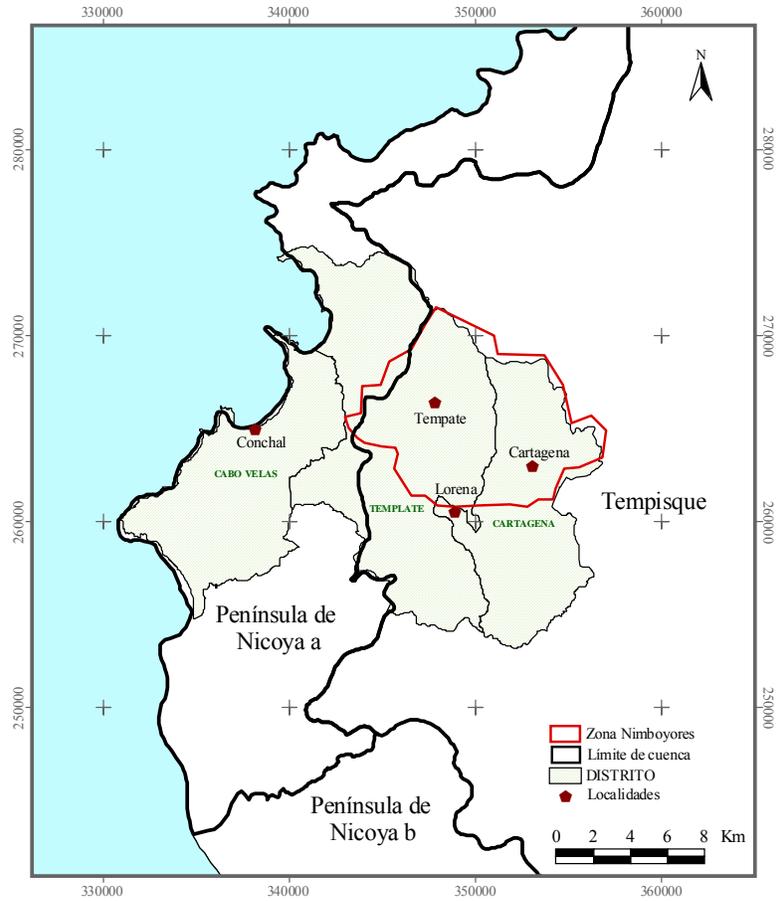


Figura 2.8. Ubicación de la zona hidrológica del acuífero Nimboyores y de la Playa Conchal.

3 BALANCE HÍDRICO SUPERFICIAL

De acuerdo con UNESCO, 2006, la ecuación de balance que integra variables superficiales y subterráneas, tomando como plano de referencia la superficie, se expresa como

$$\Delta V = (VII + Im + Re + Vm + B + Ar) - (Inter + ET + In + Uc + f + Ev + Ex + Ab) \quad (3.1)$$

donde

ΔV Cambio de almacenamiento. Considerando los cuerpos de agua existentes en la cuenca.

VII Volumen de lluvia

Im Volumen de importación entre cuencas

Re Retornos de agua

$Vman$ Volumen aportado por manantiales

B Extracciones por bombeo

Ar Volumen de escurrimiento desde aguas arriba

$Inter$ Intercepción

ET Evapotranspiración

In Infiltración

Uc Usos de consumo (superficial y subterráneo)

f Fugas en la red de distribución de agua potable

Ev Evaporación en cuerpos de agua

Ex Volumen de exportación entre cuencas

Ab Volumen de escurrimiento hacia aguas abajo

Todas las variables se expresan en hm^3 con un intervalo de tiempo mensual

Si expresamos el volumen de escurrimiento por cuenca propia, C_p , como:

$$C_p = VII - Inter - ET - In \quad (3.2)$$

La ecuación 3.1 queda de la siguiente manera:

$$\Delta V = (C_p + Im + Re + Vm + B + Ar) - (Uc + f + Ev + Ex + Ab) \quad (3.3)$$

Como el balance se calcula considerando toda el área de drenaje de la cuenca, hasta la desembocadura al mar, la variable a determinar es el volumen de escurrimiento hacia aguas abajo, la cuál al ser despejada de la ecuación 3.3 resulta:

$$Ab = (C_p + Im + Re + Vm + B + Ar) - (Uc + f + Ev + Ex) - \Delta V \quad (3.4)$$

En la ecuación anterior, las variables Ev y ΔV solo se consideran en la cuenca propia del lago Arenal, y la variable Ar únicamente se considera en la cuenca denominada San Carlos 2, ya que el resto de las cuencas son de cabecera.

A continuación se presentan los cálculos de cada una de las variables de la ecuación 3.4, integradas de la siguiente manera: las variables de entrada se identifican como Oferta; posteriormente, las variables de salida como Demanda; la variación de volumen; y finalmente, se presenta el resultado del balance, es decir, la estimación del volumen de escurrimiento hacia aguas abajo.

3.1 OFERTA

La oferta potencial comprende los volúmenes de agua que entran a una cuenca hidrográfica (entradas) en un intervalo de tiempo específico, y que son accesibles para satisfacer las diversas demandas de agua. Estos volúmenes dependen de la región, de la variación climática (precipitación, temperatura, etc.) de la época del año, de las características geomorfológicas, topográficas, hidrográficas y geológicas, así como de la infraestructura hidráulica existente.

Los volúmenes considerados en las 15 cuencas de estudio como oferta potencial son los que se presentan en la siguiente ecuación, donde las unidades de las variables son hectómetros cúbicos (hm^3) y el intervalo de tiempo es igual a un mes.

$$OPx = C_p + Im + Re + Vm + B + Ar \quad (3.5)$$

donde:

- OPx Oferta potencial en la cuenca. Volúmenes de entrada.
- C_p Volumen de escurrimiento por cuenca propia.
- Im Volumen de importación entre cuencas.
- Re Retornos de agua.
- Vm Volumen aportado por manantiales.
- B Extracciones por bombeo

Ar Volumen de escurrimiento desde aguas arriba

3.1.1 Volumen de escurrimiento por cuenca propia

Como se señala en UNESCO, 2006, el volumen de escurrimiento por cuenca propia C_p es el parámetro que caracteriza al potencial de los recursos hídricos superficiales de una cuenca hidrográfica. La ecuación que se utiliza es la 3.2, la cuál considera explícitamente las pérdidas.

3.1.1.1 Volumen de lluvia

El volumen de lluvia se obtiene de la siguiente manera:

$$VII = P A \quad (3.6)$$

donde:

VII Volumen de lluvia, en hm^3

P Precipitación media, en m

A Área de la cuenca, en m^2

La precipitación media mensual, se calcula con la información de precipitación registrada en las estaciones climatológicas existentes en la cuenca en estudio y utilizando el método de polígonos de Thiessen. En el Anexo A.1 se presentan las estaciones climatológicas utilizadas en cada una de las cuencas, su distribución espacial, coordenadas y su período de información disponible.

En la tabla 3.1 se muestran los valores de precipitación media mensual de cada una de las cuencas en estudio. La cuenca con mayor precipitación se ubica en la vertiente del Caribe y es la de Sarapiquí-Chirripó con 4,817 mm, y las de menor precipitación se encuentran en la provincia de Guanacaste y son la Península de Nicoya a y la de Tempisque-Bebedero con 1,467 mm y 1,743 mm, respectivamente. En la tabla 3.2 se muestra el volumen de lluvia por cuenca hidrográfica.

Tabla 3.1. Precipitación media mensual, en mm.

Cuenca		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
ID_CR	Nombre													
78-21	Abangares	24.31	15.72	19.52	52.30	263.52	313.77	234.66	320.97	432.65	408.39	178.17	55.79	2319.76
80-22	Barranca	3.99	7.53	27.41	65.18	472.40	436.13	350.26	362.70	590.10	546.30	194.10	29.35	3085.46
69-16	Frío	175.92	101.33	74.17	76.25	277.60	383.32	465.45	449.12	370.09	386.34	317.79	277.26	3354.64
84-24	Grande de Tárcoles	24.75	19.45	30.82	80.35	310.34	314.37	240.39	317.10	395.55	400.05	172.97	57.40	2363.53
98-31	Grande de Térraba	39.71	38.78	86.82	183.82	389.44	348.04	269.44	352.55	467.74	525.67	271.55	78.85	3052.42
92-28	Naranjo	74.17	50.50	112.71	243.85	534.47	510.64	493.07	578.23	673.21	731.70	412.98	153.32	4568.86
75-08	Pacuare	247.40	174.31	162.69	193.84	435.40	383.97	343.91	400.88	369.15	439.85	397.40	317.63	3866.43
88-26	Parrita	25.08	28.97	56.19	131.04	370.28	348.74	271.96	304.08	441.02	473.26	210.96	56.43	2718.03
72-18	Pen. Nicoya a	0.17	0.14	0.97	6.96	175.11	232.31	140.83	199.52	341.33	273.74	85.27	11.25	1467.60
	Pen. Nicoya b	5.00	4.11	11.17	49.43	270.09	275.26	251.37	289.06	419.13	374.49	149.89	30.19	2129.18
73-09	Reventazón	224.71	178.47	155.36	186.27	368.65	382.68	389.61	393.81	367.23	392.66	345.69	318.58	3703.73
69-14	San Carlos Lago	218.44	121.38	98.44	79.26	271.03	342.74	419.23	413.33	372.80	413.60	307.58	297.17	3354.99
	San Carlos 2	188.58	112.79	84.59	97.26	272.07	376.94	427.39	418.62	370.55	409.06	342.56	293.35	3393.76
69-12/ 69-11	Sarapiquí- Chirripó	359.70	243.10	187.71	228.09	423.03	484.25	539.47	496.25	389.51	445.09	521.10	499.99	4817.27
94-29	Savegre	56.96	44.95	91.45	213.87	497.07	436.76	385.59	475.46	625.21	639.79	372.09	133.79	3973.00
74-19/ 76-20	Tempisque- Bebedero	14.16	8.33	9.62	30.94	215.80	255.56	159.52	224.50	351.94	327.09	112.56	32.87	1742.89

Tabla 3.2. Volumen de lluvia mensual, en hm³.

Cuenca		Área, km ²	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
ID_CR	Nombre														
78-21	Abangares	1350.36	32.83	21.22	26.36	70.62	355.85	423.70	316.88	433.42	584.23	551.47	240.59	75.33	3132.5
80-22	Barranca	479.15	1.91	3.61	13.13	31.23	226.35	208.97	167.83	173.79	282.74	261.76	93.00	14.06	1478.39
69-16	Frío	1683.66	296.19	170.60	124.88	128.37	467.39	645.37	783.66	756.16	623.10	650.47	535.05	466.82	5648.06
84-24	Grande de Tárcoles	2166.00	53.61	42.14	66.75	174.03	672.19	680.93	520.69	686.83	856.77	866.50	374.65	124.32	5119.41
98-31	Grande de Térraba	4775.38	189.22	184.81	413.68	875.91	1855.69	1658.42	1283.88	1679.89	2228.78	2504.79	1293.93	375.74	14544.7
92-28	Naranjo	323.40	23.99	16.33	36.45	78.86	172.84	165.14	159.46	187.00	217.71	236.63	133.56	49.58	1477.55
75-08	Pacuare	914.11	226.15	159.34	148.71	177.19	398.00	350.99	314.37	366.45	337.45	402.08	363.27	290.35	3534.35
88-26	Parrita	1288.62	32.32	37.33	72.40	168.86	477.15	449.40	350.46	391.85	568.31	609.86	271.85	72.72	3502.52
72-18	Pen. Nicoya a	969.39	0.16	0.14	0.94	6.75	169.75	225.20	136.52	193.41	330.88	265.36	82.66	10.91	1422.67
	Pen. Nicoya b	3235.99	16.1645	13.3042	36.1519	159.944	874.022	890.748	813.418	935.383	1356.31	1211.84	485.04	97.7002	6890.03
73-09	Reventazón	2818.86	633.44	503.07	437.94	525.07	1039.18	1078.73	1098.24	1110.10	1035.18	1106.86	974.44	898.02	10440.3
69-14	San Carlos Lago ¹	406.32	88.76	49.32	40.00	32.20	110.13	139.26	170.34	167.94	151.48	168.05	124.98	120.75	1363.21
	San Carlos 2	2625.07	495.04	296.08	222.06	255.32	714.20	989.50	1121.94	1098.91	972.71	1073.81	899.24	770.06	8908.87
69-12/ 69-11	Sarapiquí-Chirripó	3771.33	1356.54	916.80	707.90	860.20	1595.37	1826.27	2034.51	1871.53	1468.97	1678.56	1965.24	1885.62	18167.5
94-29	Savegre	603.74	34.39	27.14	55.21	129.12	300.10	263.69	232.80	287.05	377.46	386.26	224.65	80.77	2398.65
74-19/ 76-20	Tempisque-Bebedero	5422.06	76.79	45.14	52.15	167.76	1170.11	1385.67	864.92	1217.27	1908.26	1773.48	610.33	178.20	9450.07

¹ No se incluye la superficie del lago Arenal.

3.1.1.2 Intercepción

De acuerdo con UNESCO, 2006, esta variable se debe estimar en las cuencas que tienen un área de bosque mayor al 50% con respecto a su área total. Sin embargo, Costa Rica debido a su doble condición ístmica e intercontinental, posee gran variedad de factores biogeográficos que le permiten contar con una biodiversidad única en el mundo, Meza, 2001. En las fotos 3.1 a 3.3 se muestra una vegetación muy densa y exuberante no solo en la cobertura boscosa, si no en otros tipos de cobertura vegetal. En la tabla 3.3 se presenta la cobertura vegetal existente en cada una de las cuencas de estudio. La cuenca con mayor superficie de bosque es la de Savegre con un 76% y la de menor cobertura boscosa es la cuenca Barranca con un 16%.

Por lo anterior, en éste estudio además de considerar la intercepción en el área de bosque también se toma en cuenta en la vegetación restante, que incluye: charral y tacotal, pastos, cultivos (anuales y permanentes), uso mixto, manglar y humedal.

Se han realizado investigaciones en diversos países sobre el porcentaje de lluvia interceptado en la cobertura vegetal, tabla 3.4, los rangos son tan amplios como se observa en dicha tabla; por lo tanto, para Costa Rica se propone un porcentaje de intercepción de 20% para bosques y 12% para la vegetación restante. En la tabla 3.5 se presentan los resultados de la intercepción en hm^3 por cuenca hidrográfica. Las tres cuencas con mayor volumen interceptado, en orden descendente, fueron Sarapiquí-Chirripó, Grande de Térraba y Reventazón con un valor de 2,798, 2,346 y 1,534 $\text{hm}^3/\text{año}$, respectivamente.



Foto 3.1. Bosque primario en el parque nacional Braulio Carrillo, cuenca Grande de Tárcoles.



Foto 3.2. Cultivo permanente en la cuenca Reventazón.

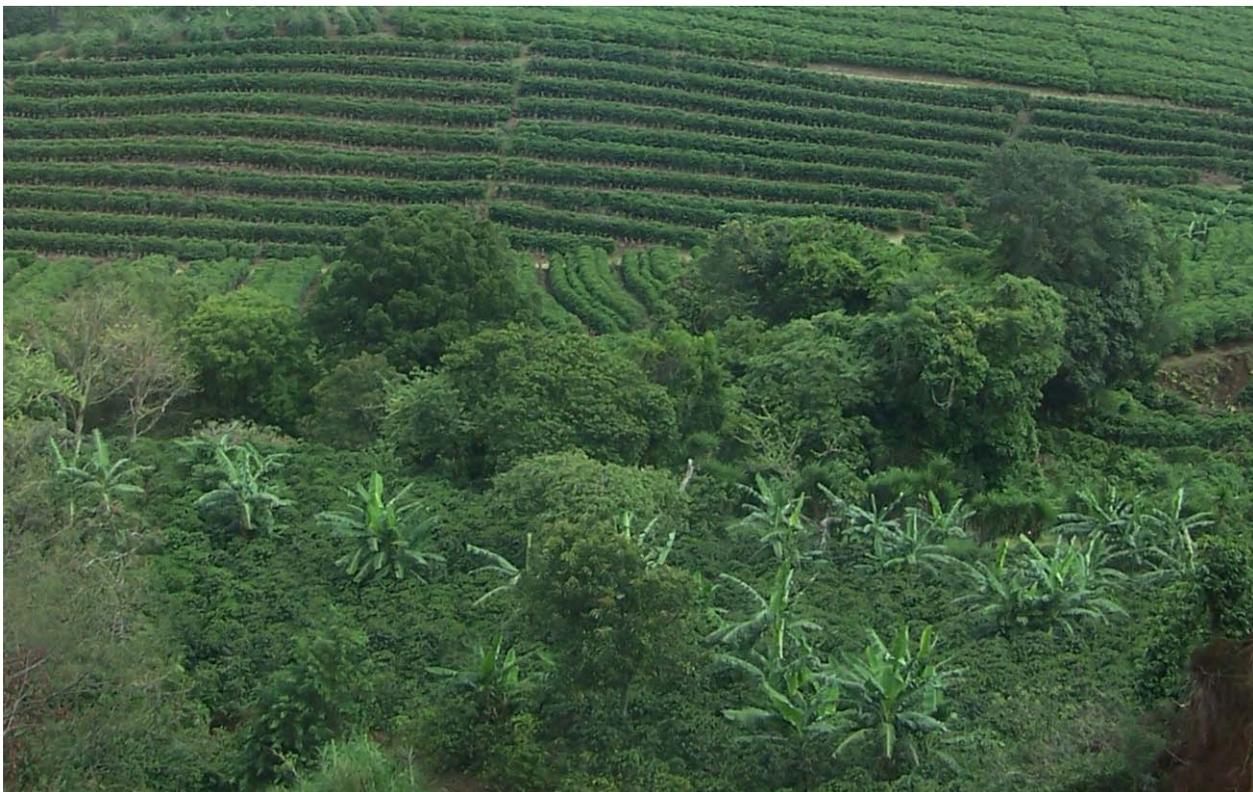


Foto 3.3. Uso mixto y cultivos anuales en la cuenca Grande de Tárcoles.

Tabla 3.3. Uso de suelo, 2000, en km²

Uso de suelo	San Carlos		Reventazón	Tempisque- Bebedero	Pacuaire	Grande de Tárcoles	Parrita	Naranjo	Savegre	Grande de Térraba	Sarapiquí- Chirripó	Frío	Abangares	Barranca	Pen. Nicoya	
	Lago	2													a	b
Cultivos anuales	6.61	476.30	129.85	216.60	3.68	20.67	7.58	6.76	2.22	60.80	180.59	269.08	21.34	3.31	5.54	9.29
Cultivos permanentes	1.52	225.67	461.61	320.88	108.22	666.20	306.06	65.25	29.70	414.22	191.53	125.31	98.60	69.26	5.35	194.73
Bosque primario	249.95	830.16	860.69	720.35	500.18	176.93	160.12	116.31	331.51	1108.01	1482.33	170.54	177.72	14.80	133.66	663.40
Bosque secundario	68.26	123.58	312.30	1007.10	100.62	278.70	254.75	69.04	124.68	1579.40	337.94	56.67	244.62	61.09	287.71	925.19
Tacotal y charral	23.20	44.85	208.30	767.14	50.77	162.53	98.38	12.82	14.04	69.69	113.30	22.00	85.45	42.77	220.23	790.50
Pastos	12.70	108.79	532.67	1908.61	60.08	318.77	233.66	21.71	48.38	1106.05	536.95	97.56	576.07	187.38	230.76	425.69
Uso mixto	34.73	690.84	83.18	28.58	36.45	141.21	186.88	18.75	32.66	274.22	437.84	262.25	19.93	53.00	0.44	58.64
Terreno descubierto	4.82	5.08	7.87	238.72	0.90	1.64	0.43	0.93	0.59	4.62	16.58	0.68	6.63	0.00	16.21	19.23
Zona urbana	2.52	55.40	97.26	52.44	8.45	358.37	30.20	0.77	0.04	18.13	20.44	10.95	26.58	22.23	9.13	19.91
Agua (Lagunas, embalses y ríos)	88.47	20.01	37.82	56.69	14.50	25.99	7.82	5.63	9.82	70.42	74.06	9.81	20.61	5.71	4.40	20.03
Manglar ¹	0.66	4.47	3.48	101.71	0.54	12.74	1.60	2.23	2.24	0.00	162.15	90.09	64.50	0.67	16.71	78.55
Nubes y sombras	1.35	39.89	1.42	0.97	0.00	1.04	0.00	0.30	1.12	15.92	16.78	566.56	1.40	18.49	1.54	0.00
Humedal	0.00	0.00	76.91	0.00	29.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	183.98	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03
Páramo	0.00	0.00	5.44	0.00	0.69	0.00	1.04	0.00	4.81	38.34	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Deforestación	0.00	0.00	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.19	1.38	7.58	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Áreas quemadas	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09	0.00	0.00	0.18	0.00
Total	494.79	2625.07	2818.86	5419.79	914.24	2164.79	1288.51	320.51	602.00	4761.21	3762.06	1681.60	1343.45	478.70	931.86	3205.20

FUENTE: Elaboración propia con información de 8 hojas digitales proporcionadas por el IMN (IMN, 2007) y una del Fondo Nacional de Financiamiento Forestal (FONAFIFO).

1. Para las cuencas Frío, Abangares y Sarapiquí-Chirripó parte de la superficie de humedal se encuentra englobado en el manglar, esto aclarado por el IMN.

Tabla 3.4. Porcentajes de intercepción

Autor	Institución	País	Vegetación	Porcentaje
Viessman, 1996		E.U.A		10-20
Lafragua y Gutiérrez, 2005	IMTA	México	Bosque	18
Jiménez, 2004	CATIE	Costa Rica	Bosque tropical	10-30
Schosinsky y Losilla, 2000		Costa Rica	Toda	12
Ataroff, 2002	Universidad de los Andes	Venezuela	Selva nublada	45
			Bosque pino	42
Iroumé et al	Universidad Austral	Chile	Bosque Roble	25
			Bosque Pino	33

Tabla 3.5. Intercepción mensual, en hm³

Cuenca	Área bosque, km ²	Área veg. restante, km ²	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual	
ID_CR	Nombre															
78-21	Abangares	422.34	865.89	4.58	2.96	3.68	9.85	49.64	59.11	44.20	60.46	81.50	76.93	33.56	10.51	436.99
80-22	Barranca	75.89	356.39	0.23	0.44	1.59	3.78	27.37	25.27	20.30	21.02	34.19	31.66	11.25	1.70	178.79
69-16	Frío	227.21	866.29	26.28	15.14	11.08	11.39	41.47	57.27	69.54	67.10	55.29	57.72	47.48	41.42	501.17
84-24	Grande de Tárcoles	455.63	1322.12	6.18	4.86	7.70	20.07	77.52	78.52	60.05	79.20	98.80	99.92	43.20	14.34	590.36
98-31	Grande de Térraba	2687.41	1924.98	30.52	29.80	66.72	141.26	299.28	267.46	207.06	270.93	359.45	403.96	208.68	60.60	2345.72
92-28	Naranjo	185.35	127.52	3.88	2.64	5.90	12.77	27.99	26.74	25.82	30.28	35.26	38.32	21.63	8.03	239.28
75-08	Pacuare	600.80	288.89	38.30	26.99	25.19	30.01	67.41	59.45	53.25	62.07	57.15	68.10	61.53	49.18	598.63
88-26	Parrita	414.87	834.16	4.59	5.30	10.29	23.99	67.79	63.85	49.79	55.67	80.74	86.64	38.62	10.33	497.60
72-18	Pen. Nicoya a	421.37	479.03	0.02	0.02	0.14	0.99	24.82	32.93	19.96	28.28	48.39	38.80	12.09	1.59	208.04
	Pen. Nicoya b	1588.59	1557.43	2.52	2.07	5.64	24.94	136.29	138.90	126.84	145.86	211.50	188.97	75.64	15.24	1074.41
73-09	Reventazón	1172.99	1496.00	93.06	73.91	64.34	77.14	152.67	158.48	161.34	163.08	152.08	162.61	143.16	131.93	1533.78
69-14	San Carlos Lago	318.20	79.42	15.98	8.88	7.20	5.80	19.83	25.08	30.68	30.24	27.28	30.26	22.51	21.74	245.49
	San Carlos 2	953.74	1550.92	71.07	42.51	31.88	36.65	102.53	142.05	161.07	157.76	139.64	154.16	129.10	110.55	1278.97
69-12/	Sarapiquí-	1820.27	1806.34	208.92	141.19	109.02	132.48	245.70	281.26	313.33	288.23	226.23	258.51	302.66	290.40	2797.94
69-11	Chirripó															
94-29	Savegre	456.19	129.24	6.08	4.80	9.76	22.83	53.06	46.62	41.16	50.75	66.74	68.30	39.72	14.28	424.10
74-19/	Tempisque-	1727.45	3343.52	10.57	6.22	7.18	23.10	161.14	190.83	119.11	167.64	262.80	244.24	84.05	24.54	1301.44
76-20	Bebedero															

3.1.1.3 Evapotranspiración

Esta variable se estima con la ecuación utilizada en Lafragua y Gutiérrez, 2005:

$$ETr = \frac{1 + w \frac{ETP}{P}}{1 + w \frac{ETP}{P} + \left(\frac{ETP}{P}\right)^{-1}} P \quad (3.7)$$

donde

ETr Evapotranspiración real, en mm

ETP Evapotranspiración potencial, en mm

P Precipitación, en mm

w Coeficiente de agua disponible en la planta y representa la diferencia relativa en la manera que la planta usa el agua del suelo para la transpiración. Los valores utilizados en la cuenca se presentan en la tabla 3.6.

Tabla 3.6. Valores de w en función del uso del suelo

Uso de suelo	w
Cultivos anuales	0.50
Cultivo permanente	0.50
Bosque primario	2.00
Bosque secundario	1.50
Uso Mixto	1.00
Tacotal y charral	1.00
Pastos	0.50

La evapotranspiración potencial se estima con la fórmula de Turc, UNESCO, 2006. Como en Costa Rica la humedad relativa (HR) es mayor del 50% se aplica la siguiente ecuación:

$$ETP = 0.013 \left(\frac{T}{T + 15} \right) (Rs + 50) \quad (3.8)$$

donde

ETP Evapotranspiración potencial, en mm/día

T Temperatura promedio del aire, en °C

Rs Radiación solar, en langley/día (1 langley= 1 cal/cm²)

Para aplicar la ecuación 3.8 se requieren registros de temperatura, humedad relativa y radiación solar. En el Anexo A.1 se presentan mapas por cuenca hidrográfica con la ubicación de las estaciones utilizadas de precipitación, temperatura y humedad relativa. Desafortunadamente no todas las cuencas cuentan con registros climatológicos; tal es el caso de las cuencas Naranjo, Savegre y Península de Nicoya que no tienen estaciones que registren temperatura, y las cuencas Barranca y Península de Nicoya que no tienen alguna estación que mida humedad relativa. Además, no se contó con registros de radiación solar en todas las cuencas de estudio.

En las cuencas que no contaron con suficientes estaciones con registros de temperatura media mensual, se obtuvo una temperatura media anual con base en las regiones climatológicas del IMN (Solano y Villalobos, 2005) y para la distribución mensual se utilizó la estación más cercana, los resultados por cuenca se presentan en el Anexo A.2. Con respecto a la humedad relativa se utilizaron los datos de las estaciones más cercanas a la cuenca con dato faltante; por ejemplo, para la cuenca Barranca se tomó una estación de Abangares y otra de San Carlos, y para la Península de Nicoya una de Bebedero y otra de Abangares, los resultados de humedad relativa mensual por cuenca se presentan en el Anexo A.3.

La radiación solar se obtuvo de mapas mensuales de líneas de igual radiación solar presentados en Wright, 2002. El procedimiento para obtener la radiación mensual por cuenca y los resultados se presentan en el Anexo A.4.

En la tabla 3.7 se muestran los valores de la evapotranspiración potencial en mm, en dicha tabla se observa que la Península de Nicoya, Tempisque-Bebedero y Abángares presentan los valores más altos con 1,456, 1,384 y 1,355 mm, respectivamente. Por otro lado las tres cuencas con mayor evapotranspiración real son Grande de Térraba (5,048 hm³/año), Tempisque-Bebedero (4,969 hm³/año) y Sarapiquí-Chirripó (4,041 hm³/año), en la tabla 3.8 se presentan los valores por cuenca.

3.1.1.4 Infiltración

Esta variable se estima considerando el tipo de suelo y un porcentaje susceptible de infiltrarse propuesto por la FAO-UNESCO y utilizado en México. Sin embargo, la clasificación de suelos en Costa Rica difiere de la de México, por lo que se realizó una homologación entre suelos y también un ajuste de coeficientes en función de la infiltración calculada con la ecuación de balance (ec. 3.1) en algunas subcuencas que contaban con información hidrométrica (Anexo B). En la tabla 3.9 se presentan los rangos de los valores utilizados en México y los propuestos para Costa Rica. En la tabla 3.10 se muestran los volúmenes de infiltración obtenidos en cada una de las cuencas de estudio.

Tabla 3.7. Evapotranspiración potencial, en mm.

Cuenca		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
ID_CR	Nombre													
78-21	Abangares	115.72	119.64	136.46	129.20	118.47	103.56	108.86	112.00	104.58	104.99	97.43	103.75	1355
80-22	Barranca	108.31	110.84	125.40	120.44	111.99	96.61	102.66	106.36	98.14	99.29	90.10	97.49	1268
69-16	Frío	90.33	91.65	118.82	115.52	112.24	99.10	100.66	100.38	102.97	98.22	87.38	85.56	1203
84-24	Grande de Tárcoles	112.74	115.26	131.85	117.67	109.96	89.15	103.22	106.02	96.77	96.89	93.54	101.80	1275
98-31	Grande de Térraba	108.59	105.81	116.40	109.88	103.07	93.30	100.78	100.94	96.98	95.21	89.22	95.36	1216
92-28	Naranjo	97.55	95.63	114.42	100.17	94.30	83.26	90.63	91.12	87.27	86.99	79.73	87.65	1109
75-08	Pacuare	94.03	95.62	113.96	111.89	109.82	96.16	102.37	104.89	107.93	105.66	90.76	89.28	1222
88-26	Parrita	110.74	110.00	130.65	116.35	106.26	94.26	104.59	103.27	95.11	92.95	91.52	97.74	1253
72-18	Pen. Nicoya a	124.46	126.21	149.39	139.62	124.93	111.27	119.90	119.54	104.95	105.07	107.16	117.75	1450
	Pen. Nicoya b	130.14	127.24	143.33	135.10	122.81	113.89	122.60	120.07	110.66	111.07	107.49	116.32	1461
73-09	Reventazón	92.69	92.04	111.83	106.16	103.60	90.88	97.97	100.00	98.22	95.22	86.22	87.06	1162
69-14	San Carlos Lago	94.92	98.35	117.53	112.72	113.43	95.64	99.45	103.74	97.89	96.11	87.31	87.68	1205
	San Carlos 2	97.73	97.43	117.02	109.63	114.41	101.54	105.35	103.13	103.06	100.48	90.49	89.85	1230
69-12/ 69-11	Sarapiquí- Chirripó	88.48	85.23	102.44	100.13	99.11	88.82	95.25	94.88	93.42	92.52	83.35	83.14	1107
94-29	Savegre	94.11	93.72	109.93	98.85	90.88	82.30	88.08	90.54	85.38	85.43	79.35	88.29	1087
74-19/ 76-20	Tempisque- Bebedero	120.31	123.93	138.35	135.13	116.47	104.83	111.40	111.21	103.65	104.10	100.82	114.06	1384

Tabla 3.8. Evapotranspiración real, en hm³

Cuenca		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
ID_CR	Nombre													
78-21	Abangares	31.99	20.97	26.00	65.46	171.30	160.54	155.99	171.86	168.93	168.52	132.32	66.90	1340.79
80-22	Barranca	2.21	4.16	14.61	30.46	65.66	57.09	58.45	60.55	59.52	59.80	46.51	15.20	474.21
69-16	Frío	132.66	106.32	96.25	97.39	175.97	168.20	174.29	173.24	173.07	167.07	147.10	141.54	1753.09
84-24	Grande de Tárcoles	47.20	37.65	58.51	126.79	220.93	186.23	198.50	215.44	206.22	206.73	168.14	95.52	1767.87
98-31	Grande de Térraba	171.18	167.15	325.78	482.01	551.77	498.65	509.25	534.80	531.61	526.47	462.48	286.61	5047.75
92-28	Naranjo	18.33	13.60	25.54	33.06	34.76	30.80	33.35	33.74	32.47	32.40	29.26	26.08	343.38
75-08	Pacuare	81.99	74.78	80.27	85.80	102.14	89.50	93.33	97.18	98.64	98.72	85.16	82.03	1069.54
88-26	Parrita	32.46	37.09	67.77	117.65	154.11	137.86	143.80	145.64	142.68	140.56	122.24	64.11	1305.98
72-18	Pen. Nicoya a	0.18	0.16	1.07	7.68	119.78	123.83	105.39	123.30	128.88	123.78	74.45	12.35	820.85
	Pen. Nicoya b	18.35	15.10	40.91	169.77	469.98	446.75	459.64	470.53	469.82	464.48	347.65	106.87	3479.85
73-09	Reventazón	224.91	209.33	222.87	233.15	270.53	242.17	259.46	264.53	258.18	253.19	228.53	228.21	2895.06
69-14	San Carlos Lago	39.53	31.61	29.48	24.81	47.72	43.37	45.82	47.57	44.69	44.35	39.51	39.48	477.95
	San Carlos 2	224.29	179.60	160.94	172.99	278.90	268.64	281.60	275.69	271.56	268.69	239.98	233.47	2856.35
69-12/69-11	Sarapiquí-Chirripó	328.42	300.56	319.96	335.05	369.60	336.79	361.80	359.01	347.62	348.26	317.79	316.58	4041.45
94-29	Savegre	29.08	23.84	43.28	63.52	66.87	60.49	64.04	66.52	63.13	63.17	57.96	49.55	651.45
74-19/76-20	Tempisque-Bebedero	86.58	51.31	59.25	184.01	669.55	652.35	580.02	657.15	688.46	682.76	465.61	191.83	4968.86

Tabla 3.9. Tipo de suelo y porcentaje de la lluvia susceptible de infiltrarse.

Tipo de Suelo	% del volumen de infiltración	
	Rango utilizado en México	Propuestos para Costa Rica
Alfisol	4.0 a 8.5	8
Entisol	18.3 a 25.0	22
Histosol	4.0 a 8.5	8
Inceptisol	8.5 a 18.3	16
Mollisoles	8.5 a 12.0	10
Ultisol	4.0 a 12.0	10
Vertisol	2.0 a 6.0	4
Entisol-Inceptisol	12.0 a 22.0	18
Inceptisol-Entisol	10.0 a 20.0	15
Inceptisol-Ultisol	8.0 a 16.0	12
Ultisol-Histosol	6.0 a 10.0	8

Tabla 3.10. Infiltración, en hm³

Cuenca		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
ID CR	Nombre													
78-21	Abangares	3.39	2.19	2.72	7.30	36.76	43.77	32.73	44.77	60.35	56.96	24.85	7.78	323.57
80-22	Barranca	0.19	0.35	1.28	3.04	22.04	20.35	16.34	16.93	27.54	25.49	9.06	1.37	143.98
69-16	Frío	37.61	21.66	15.86	16.30	59.35	81.95	99.52	96.02	79.13	82.60	67.94	59.28	717.23
84-24	Grande de Tárcoles	6.26	4.92	7.80	20.33	78.50	79.52	60.81	80.21	100.06	101.20	43.75	14.52	597.89
98-31	Grande de Térraba	19.29	18.84	42.16	89.28	189.14	169.03	130.86	171.22	227.17	255.30	131.88	38.30	1482.46
92-28	Naranjo	2.39	1.63	3.63	7.85	17.21	16.44	15.88	18.62	21.68	23.56	13.30	4.94	147.13
75-08	Pacuare	22.26	15.69	14.64	17.44	39.18	34.55	30.95	36.07	33.22	39.58	35.76	28.58	347.91
88-26	Parrita	3.04	3.51	6.81	15.89	44.90	42.29	32.98	36.87	53.48	57.39	25.58	6.84	329.58
72-18	Pen. Nicoya a	0.02	0.02	0.15	1.05	26.38	35.00	21.22	30.06	51.42	41.24	12.85	1.70	221.10
	Pen. Nicoya b	1.22	1.01	2.74	12.12	66.21	67.48	61.62	70.86	102.75	91.80	36.74	7.40	521.96
73-09	Reventazón	77.96	61.91	53.90	64.62	127.89	132.76	135.16	136.62	127.40	136.22	119.92	110.52	1284.88
69-14	San Carlos Lago	11.50	6.39	5.18	4.17	14.27	18.05	22.08	21.77	19.63	21.78	16.20	15.65	176.70
	San Carlos 2	58.52	35.00	26.25	30.18	84.43	116.97	132.63	129.91	114.99	126.94	106.30	91.03	1053.16
69-12/ 69-11	Sarapiquí- Chirripó	177.79	120.15	92.78	112.74	209.08	239.35	266.64	245.28	192.52	219.99	257.56	247.12	2380.96
94-29	Savegre	2.94	2.32	4.72	11.03	25.64	22.53	19.89	24.53	32.25	33.00	19.19	6.90	204.94
74-19/ 76-20	Tempisque- Bebedero	8.18	4.81	5.55	17.87	124.64	147.60	92.13	129.66	203.27	188.91	65.01	18.98	1006.64

3.1.1.5 Resultados C_p

Los resultados del volumen de escurrimiento por cuenca propia, se presentan en la tabla 3.11. Las cuencas con mayor volumen de escurrimiento natural, producto de la lluvia, son Sarapiquí-Chirripó con 8,947 hm³/año, Grande de Térraba con 5,669 hm³/año y Reventazón con 4,727 hm³/año. Las cuencas con menor coeficiente de escurrimiento, C_e , son Península de Nicoya *a* con un valor del 12%, Tempisque-Bebedero con el 23% y la Península de Nicoya *b* con el 26%.

Tabla 3.11. Volumen medio anual de escurrimiento por cuenca propia en hm³ y coeficiente de escurrimiento en %.

ID_CR	Nombre	Vll	Inter	Etr	In	C_p	C_e
78-21	Abangares	3132.50	436.99	1340.79	323.57	1031.15	33
80-22	Barranca	1478.39	178.79	474.21	143.98	681.39	46
69-16	Frío	5648.06	501.17	1753.09	717.23	2676.56	47
84-24	Grande de Tárcoles	5119.41	590.36	1767.87	597.89	2163.29	42
98-31	Grande de Térraba	14544.72	2345.72	5047.75	1482.46	5668.79	39
92-28	Naranjo	1477.55	239.28	343.38	147.13	747.76	51
75-08	Pacuare	3534.35	598.63	1069.54	347.91	1518.27	43
88-26	Parrita	3502.52	497.60	1305.98	329.58	1369.36	39
72-18	Pen. Nicoya a	1422.67	208.04	820.85	221.10	172.68	12
	Pen. Nicoya b	6890.03	1074.41	3479.85	521.96	1813.81	26
73-09	Reventazón	10440.27	1533.78	2895.06	1284.88	4726.55	45
69-14	San Carlos Lago	1363.21	245.49	477.95	176.70	463.08	34
	San Carlos 2	8908.87	1278.97	2856.35	1053.16	3720.39	42
69-12/ 69-11	Sarapiquí-Chirripó	18167.50	2797.94	4041.45	2380.96	8947.15	49
94-29	Savegre	2398.65	424.10	651.45	204.94	1118.15	47
74-19/ 76-20	Tempisque- Bebedero	9450.07	1301.44	4968.86	1006.64	2173.13	23

3.1.2 Volumen de importación entre cuencas

De las 15 cuencas en estudio, solamente tres cuencas reciben volúmenes de agua provenientes de cuencas vecinas y son: Grande de Tárcoles, Bebedero y Tempisque.

La cuenca Grande de Tárcoles recibe un volumen de 63.0 hm³/año principalmente para consumo humano, el 90% proviene de la cuenca alta del río Reventazón, figura 3.1. La cuenca Bebedero recibe del lago Arenal un volumen de 1,363 hm³/año para la generación de energía hidroeléctrica, y la cuenca Tempisque recibe de los canales oeste y sur un volumen de 1,244 hm³/año para uso agrícola, derivados de la presa Sandillal, figura 3.2.

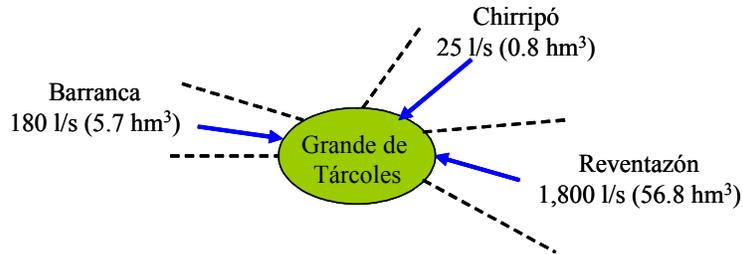


Figura 3.1 Volúmenes de importaciones a la cuenca Grande de Tárcoles.

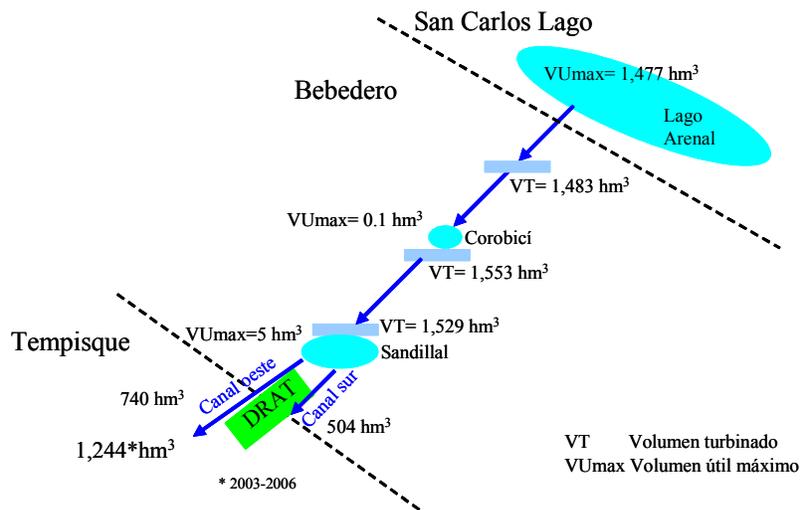


Figura 3.2. Volúmenes de importaciones a las cuencas Bebedero y Tempisque.

3.1.3 Retornos de agua

El volumen de retornos de agua, representa la cantidad de agua que una vez utilizada se reincorpora a la red de ríos. En las cuencas de estudio se tienen usos en los cuales la mayoría del agua retorna al sistema de ríos y otros en los que se aprovecha casi toda el agua y se tiene poco volumen de retornos de agua. El agua empleada para la generación hidroeléctrica se considera que es un uso no consuntivo debido a que la mayoría del agua regresa nuevamente a los cauces, en la zona de estudio el 80 % del agua concesionada se utiliza para este fin, razón por la cual es de gran importancia tomar en cuenta el volumen de retorno como una variable más en la ecuación 3.1. En la tabla 3.12 se muestran los porcentajes de retorno propuestos para Costa Rica, tomando como referencia los rangos de valores presentados en UNESCO, 2006. En la tabla 3.13 se muestra el volumen correspondiente por cuenca hidrográfica.

Tabla 3.12. Porcentajes de retornos de agua.

Uso	Porcentaje para Costa Rica
Agroindustrial	30
Agropecuario	10
Comercial	60
Consumo humano	70
Energía hidroeléctrica	95
Industria	55
Riego	15
Turístico	60

3.1.4 Volumen aportado por manantiales

En Costa Rica el volumen aportado por manantiales se convierte en una entrada de agua superficial importante. Losilla et al, 2001 señala que en la cordillera volcánica central se tienen aproximadamente 353 manantiales para abastecimiento público con un caudal mínimo empleado de 6,613 l/s (208.5 hm³/año) y de acuerdo con la base de datos del MINAE se tienen 2,975 registros de concesiones al año 2000 y 4,863 al año 2006 cuya fuente de abastecimiento son manantiales (nacientes), ambas cantidades representan el 45% del número total de registros de concesiones en toda el área de estudio.

Sin embargo, no se cuenta con un censo actualizado de fuentes subterráneas que indique el número total de manantiales existentes en cada una de las cuencas, así como el volumen aportado y el volumen utilizado. Existen tres instituciones que realizan aforos a los manantiales: el MINAE, el SENARA y el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA), pero los aforos solamente se realizan para otorgar el aprovechamiento de las fuentes de manantiales, y no se logró tener por lo menos dos aforos al año.

En la cuenca Grande de Tárcoles consultando diversos estudios (Tahal, 1990, SENARA, 1993 y 1998, Arredondo, 1994_b, Arredondo y Rodríguez, 1995, Astorga, 2000 y Tecnoambiente S.A., 2002) se identificaron 71 manantiales, con ubicación y datos de caudal, que en total suman 3,723 l/s (117.41 hm³/año). Por otro lado, en la base de datos de concesiones del MINAE al año 2000, se tienen registradas 974 concesiones que utilizan agua proveniente de manantiales y representan un volumen de 92.3 hm³/año. En la base de datos del SENARA existen 54 registros identificados como nacientes con un volumen total de 115.5 hm³/año.

Al existir diferencias de volúmenes entre las diversas instituciones y fuentes de información, se acordó conjuntamente con el MINAE y el CNHM considerar el volumen concesionado por el MINAE. Los resultados por cuenca se presentan en las tablas 3.14 y 3.15, para el año 2000 y 2006, respectivamente. En las 15 cuencas, del volumen total concesionado al año 2000 abastecido por manantiales, el 91% es utilizado en tres cuencas: Grande de Tárcoles, Reventazón y San Carlos 2. En la gráfica 3.1 se muestra el porcentaje correspondiente a cada una de las cuencas mencionadas.

Tabla 3.13. Volumen de retornos de agua considerando usos de agua al año 2000, en hm³.

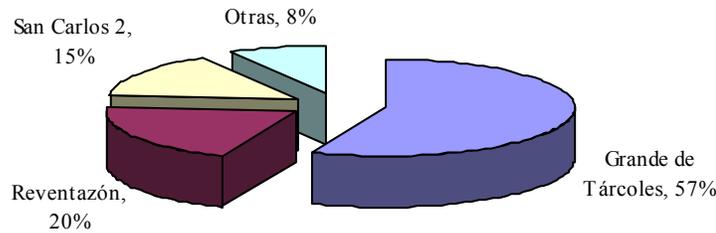
Cuenca		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
ID_CR	Nombre													
78-21	Abangares	9.47	8.55	9.47	7.44	9.43	8.97	9.27	9.27	8.97	9.27	9.15	9.46	108.74
80-22	Barranca	0.44	0.40	0.44	0.39	0.38	0.35	0.37	0.37	0.36	0.37	0.36	0.40	4.64
69-16	Frío	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.14
84-24	Grande de Tárcoles	250.70	216.96	229.90	219.83	248.36	261.11	266.48	276.14	283.22	307.01	286.44	273.83	3119.98
98-31	Grande de Terraba	67.07	60.56	66.88	64.70	66.34	64.21	66.49	66.19	64.08	66.23	64.09	67.07	783.91
92-28	Naranjo	0.49	0.44	0.49	0.18	0.19	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.18	0.19	2.32
75-08	Pacuare	1.13	1.02	1.13	1.10	1.13	1.10	1.13	1.13	1.10	1.13	1.10	1.13	13.33
88-26	Parrita	15.44	13.91	16.17	15.61	15.83	15.31	15.87	15.89	15.38	15.95	14.94	15.45	185.75
72-18	Pen. Nicoya a	0.58	0.53	0.58	0.56	0.58	0.56	0.57	0.57	0.56	0.57	0.56	0.58	6.81
	Pen. Nicoya b	0.39	0.35	0.39	0.38	0.39	0.37	0.38	0.38	0.37	0.38	0.38	0.39	4.55
73-09	Reventazón	179.79	152.76	158.00	147.75	179.16	207.31	226.42	236.33	230.18	232.99	225.43	210.48	2386.60
69-14	San Carlos Lago	5.69	5.14	5.69	5.50	5.69	5.50	5.69	5.69	5.50	5.69	5.50	5.69	66.96
	San Carlos 2	240.33	217.08	240.34	232.58	240.32	232.15	239.89	239.89	232.15	239.90	232.16	240.32	2827.11
69-12/ 69-11	Sarapiquí- Chirripó	242.68	215.67	229.80	218.04	237.41	233.09	244.80	242.55	239.44	248.94	241.90	255.94	2850.26
94-29	Savegre	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.12
74-19/ 76-20	Tempisque-Bebedero	415.49	409.81	484.63	479.36	402.20	336.08	323.41	329.38	304.23	307.52	318.14	363.28	4473.53

Tabla 3.14. Volumen concesionado de manantiales al año 2000, en hm³

Cuenca		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
ID_CR	Nombre													
78-21	Abangares	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.29
80-22	Barranca	0.12	0.11	0.12	0.12	0.10	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.10	1.17
69-16	Frío	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.10
84-24	Grande de Tárcoles	7.99	7.23	8.00	7.67	7.85	7.43	7.67	7.67	7.50	7.75	7.59	7.95	92.28
98-31	Grande de Térraba	0.21	0.19	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	2.51
92-28	Naranjo	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
75-08	Pacuare	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
88-26	Parrita	0.40	0.36	0.40	0.39	0.40	0.37	0.38	0.38	0.37	0.38	0.37	0.41	4.59
72-18	Pen. Nicoya a	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05
	Pen. Nicoya b	0.07	0.06	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.83
73-09	Reventazón	2.84	2.56	2.85	2.76	2.84	2.66	2.74	2.74	2.66	2.75	2.66	2.79	32.85
69-14	San Carlos Lago	0.05	0.04	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.56
	San Carlos 2	2.18	1.98	2.19	2.12	2.17	2.06	2.13	2.13	2.06	2.13	2.06	2.15	25.36
69-12/ 69-11	Sarapiquí- Chirripó	0.17	0.15	0.17	0.16	0.17	0.16	0.17	0.17	0.16	0.17	0.16	0.17	1.98
94-29	Savegre	0.02	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.18
74-19/ 76-20	Tempisque- Bebedero	0.10	0.09	0.10	0.10	0.10	0.09	0.10	0.10	0.09	0.10	0.09	0.10	1.17

Tabla 3.15. Volumen concesionado de manantiales al año 2006, en hm³

Cuenca		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
ID_CR	Nombre													
78-21	Abangares	0.19	0.17	0.19	0.18	0.19	0.18	0.19	0.19	0.18	0.19	0.18	0.19	2.20
80-22	Barranca	0.23	0.21	0.23	0.22	0.21	0.18	0.19	0.19	0.18	0.19	0.18	0.21	2.41
69-16	Frío	0.21	0.19	0.21	0.20	0.21	0.20	0.21	0.21	0.20	0.21	0.20	0.21	2.44
84-24	Grande de Tárcoles	10.68	9.66	10.70	10.27	10.51	9.95	10.28	10.28	10.02	10.36	10.13	10.61	123.47
98-31	Grande de Térraba	0.47	0.43	0.47	0.46	0.47	0.45	0.47	0.47	0.45	0.47	0.45	0.47	5.55
92-28	Naranjo	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.39
75-08	Pacuare	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.09
88-26	Parrita	3.63	3.28	3.63	3.51	3.63	3.49	3.61	3.61	3.49	3.61	3.49	3.64	42.60
72-18	Pen. Nicoya a	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.06
	Pen. Nicoya b	0.09	0.09	0.10	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	1.09
73-09	Reventazón	4.95	4.47	4.96	4.80	4.89	4.64	4.79	4.79	4.64	4.79	4.64	4.90	57.26
69-14	San Carlos Lago	0.07	0.07	0.08	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.87
	San Carlos 2	3.89	3.53	3.91	3.78	3.88	3.72	3.84	3.84	3.72	3.84	3.72	3.86	45.52
69-12/ 69-11	Sarapiquí- Chirripó	0.53	0.47	0.52	0.50	0.52	0.50	0.51	0.51	0.50	0.52	0.50	0.52	6.12
94-29	Savegre	0.05	0.04	0.05	0.04	0.05	0.04	0.05	0.05	0.04	0.05	0.04	0.05	0.55
74-19/ 76-20	Tempisque- Bebedero	0.73	0.66	0.73	0.71	0.73	0.67	0.64	0.64	0.62	0.64	0.68	0.72	8.18



Gráfica 3.1. Cuencas con el mayor volumen concesionado de manantiales al año 2000, en %.

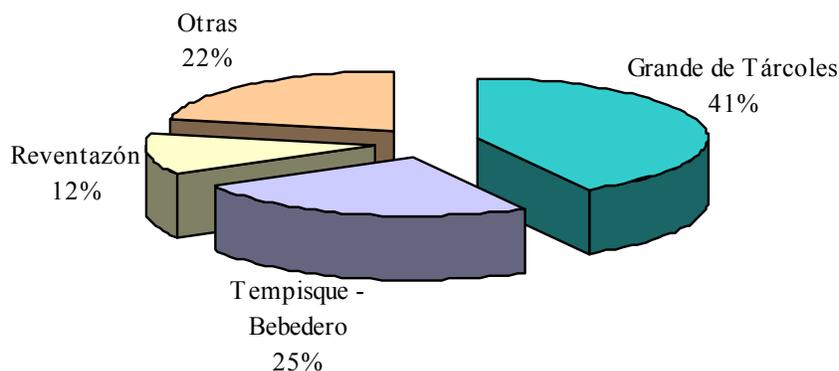
3.1.5 Extracciones por bombeo

El volumen de agua de extracción por bombeo y que proviene de la fuente subterránea, también al llegar a la superficie forma parte de la oferta potencial. Este volumen se debe obtener de un censo actualizado de las fuentes de aprovechamiento subterráneo que tenga el correspondiente volumen de agua aprovechado. El SENARA tiene una base de datos nacional con 14,162 registros de pozos, de los cuáles 12,424 pertenecen a las 15 cuencas prioritarias. Al eliminar los registros que no tienen dato de caudal o tienen un valor igual a cero, se tienen 10,977 registros con un volumen de 756 hm³/año. El 66% de los registros de pozos se concentran en las cuencas Grande de Tárcoles (41%) y en Tempisque-Bebedero (25%).

Por otro lado, en la base de datos del MINAE existen en las 15 cuencas 2,316 registros al año 2000 con un volumen concesionado de 169 hm³/año de agua de pozos, y al año 2006 existen 3,594 registros con un volumen concesionado de 245 hm³/año.

Para este estudio también se tomó la decisión, en común acuerdo con el MINAE y el CNHM de utilizar los volúmenes de extracción por bombeo de la base de datos del MINAE.

Los resultados de los volúmenes concesionados de pozos por cuenca hidrográfica se presentan en la tablas 3.16 y 3.17, para el año 2000 y 2006, respectivamente. Del volumen total concesionado de pozos en las 15 cuencas, el 78% se utiliza en tres cuencas: Grande de Tárcoles, Tempisque-Bebedero y Reventazón. En la gráfica 3.2 se muestra el porcentaje respectivo a las tres cuencas mencionadas.



Gráfica 3.2. Cuencas con el mayor volumen concesionado de pozos al año 2000, en %.

Tabla 3.16. Volumen concesionado de pozos al año 2000, en hm³

Cuenca		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
ID_CR	Nombre													
78-21	Abangares	0.10	0.09	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	1.17
80-22	Barranca	0.14	0.13	0.14	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.14	1.58
69-16	Frío	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.11
84-24	Grande de Tárcoles	6.28	5.68	6.27	6.02	5.95	5.65	5.85	5.84	5.67	5.87	5.80	6.18	71.08
98-31	Grande de Térraba	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.22
92-28	Naranjo	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.63
75-08	Pacuare	0.65	0.58	0.65	0.63	0.65	0.63	0.65	0.65	0.63	0.65	0.63	0.65	7.61
88-26	Parrita	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.17
72-18	Pen. Nicoya a	1.08	0.97	1.08	1.04	1.06	0.99	1.02	1.02	0.99	1.02	1.00	1.08	12.36
	Pen. Nicoya b	0.55	0.50	0.55	0.53	0.55	0.50	0.51	0.51	0.50	0.51	0.50	0.55	6.26
73-09	Reventazón	1.67	1.51	1.67	1.62	1.66	1.59	1.64	1.64	1.59	1.64	1.59	1.66	19.48
69-14	San Carlos Lago	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.24
	San Carlos 2	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.06	0.65
69-12/ 69-11	Sarapiquí- Chirripó	0.52	0.47	0.52	0.50	0.52	0.50	0.52	0.52	0.50	0.52	0.50	0.52	6.09
94-29	Savegre	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04
74-19/ 76-20	Tempisque- Bebedero	3.97	3.91	4.34	4.20	3.78	2.81	2.83	2.83	2.74	2.83	3.56	3.90	41.70

Tabla 3.17. Volumen concesionado de pozos al año 2006, en hm³

Cuenca		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
ID_CR	Nombre													
78-21	Abangares	0.19	0.18	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	2.29
80-22	Barranca	0.19	0.17	0.19	0.19	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.19	2.20
69-16	Frío	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.11
84-24	Grande de Tárcoles	8.46	7.63	8.43	8.11	8.07	7.53	7.79	7.79	7.54	7.81	7.72	8.33	95.20
98-31	Grande de Térraba	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.38
92-28	Naranja	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.63
75-08	Pacuaire	0.71	0.64	0.71	0.69	0.71	0.69	0.71	0.71	0.69	0.71	0.69	0.71	8.37
88-26	Parrita	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.17
72-18	Pen. Nicoya a	1.40	1.26	1.40	1.35	1.38	1.30	1.34	1.34	1.30	1.34	1.31	1.40	16.11
	Pen. Nicoya b	1.28	1.16	1.28	1.24	1.00	0.92	0.95	0.95	0.92	0.95	1.20	1.28	13.11
73-09	Reventazón	2.21	2.00	2.21	2.14	2.20	2.11	2.18	2.15	2.08	2.15	2.08	2.17	25.69
69-14	San Carlos Lago	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.24
	San Carlos 2	0.09	0.08	0.09	0.08	0.09	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.09	0.94
69-12/ 69-11	Sarapiquí- Chirripó	0.58	0.53	0.58	0.56	0.58	0.56	0.58	0.58	0.56	0.58	0.56	0.58	6.85
94-29	Savegre	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04
74-19/ 76-20	Tempisque- Bebedero	6.63	6.31	7.00	6.78	6.43	5.28	5.38	5.36	5.18	5.36	6.01	6.56	72.29

3.1.6 Volumen de escurrimiento desde aguas arriba

Esta variable fue considerada únicamente en la cuenca San Carlos 2, y corresponde a los volúmenes excedentes que recibe el río Arenal del embalse. El río Arenal es un afluente importante del río San Carlos. El volumen medio anual considerado, de acuerdo con la información proporcionada vía electrónica por el ICE en mayo 2007, es de 101 hm³/año, y corresponde al promedio de cinco años.

3.1.7 Resultados OP

En la tabla 3.18 se muestran los resultados anuales de la oferta de agua por cuenca hidrográfica. En dicha tabla se observa que en todas las cuencas, la variable de mayor aportación es el volumen de escurrimiento por cuenca propia; además, se observa que la cuenca que tiene la menor oferta de agua es la Península de Nicoya a, y la de mayor oferta es la cuenca Sarapiquí-Chirripó.

Tabla 3.18. Oferta potencial media anual, en hm³/año.

ID_CR	Nombre	<i>Cp</i>	<i>Im</i>	<i>Re</i>	<i>Vman</i>	<i>B</i>	<i>Ar</i>	Total
78-21	Abangares	1031.15	0.00	32.64	0.29	1.17		1065.25
80-22	Barranca	681.39	0.00	4.64	1.17	1.58		688.78
69-16	Frío	2676.56	0.00	0.14	0.10	0.11		2676.91
84-24	Grande de Tárcoles	2163.29	63.23	3119.98	92.28	71.08		5509.87
98-31	Grande de Térraba	5668.79	0.00	783.91	2.51	0.22		6455.43
92-28	Naranjo	747.76	0.00	2.32	0.01	0.63		750.71
75-08	Pacuare	1518.27	0.00	13.33	0.00	7.61		1539.20
88-26	Parrita	1369.36	0.00	152.65	4.59	0.17		1526.77
72-18	Pen. Nicoya a	172.68	0.00	6.80	0.05	12.36		191.89
	Pen. Nicoya b	1813.81	0.00	4.55	0.83	6.26		1825.45
73-09	Reventazón	4726.55	0.00	2386.60	32.85	19.48		7165.48
69-14	San Carlos Lago ¹	759.88	0.00	66.96	0.56	0.24		827.65
	San Carlos 2	3720.39	0.00	2827.11	25.36	0.65	100.73	6674.24
69-12/ 69-11	Sarapiquí-Chirripó	8947.15	0.00	2850.26	1.98	6.09		11805.48
94-29	Savegre	1118.15	0.00	0.12	0.18	0.04		1118.50
74-19/ 76-20	Tempisque-Bebedero	2173.13	1362.69	4473.53	1.17	41.70		8052.22

¹ Incluye la precipitación media en el cuerpo de agua (296.81 hm³/año)

3.2 DEMANDA

La demanda potencial comprende a los volúmenes que salen de la cuenca (salidas) y no solo se refiere a los volúmenes destinados para satisfacer las demandas de agua, si no también a las salidas de agua por procesos naturales como la evaporación en cuerpos de agua, o por transferencias entre cuencas. Además, en cuencas en donde la zona urbana es extensa se pierde gran cantidad de agua por los sistemas de distribución de agua potable, y por lo tanto esta pérdida se convierte en un volumen de agua que debe ser considerado. Las variables, expresadas en hm^3/mes , que son tomadas en cuenta para estimar la demanda potencial se presentan en la siguiente ecuación:

$$DPx = Uc + f + Ev + Ex \quad (3.9)$$

donde:

DPx	Demanda potencial en la cuenca (Volúmenes de salida)
Uc	Usos de consumo (superficial y subterráneo)
f	Fugas en la red de distribución de agua potable
Ev	Evaporación en cuerpos de agua
Ex	Volumen de exportación entre cuencas

3.2.1 Usos de consumo

La UNESCO, 2006 señala que la estimación exacta de un volumen de consumo clasificado por uso dentro de una cuenca hidrográfica, es un valor difícil de estimar y sobre todo difícil de verificar a través de mediciones. Es por eso, que muchas veces se recurre a la estimación indirecta de los volúmenes, pero para ello se requieren estadísticas que permitan hacer estimaciones de volúmenes de consumo en función por ejemplo, del número de habitantes, de superficies de siembra, del tipo de cultivos, de inventarios de industrias e inventarios ganaderos, etc. En México, por norma (NOM-010 CNA, 2001) los volúmenes de consumo por sector usuario se toman de la base de datos de concesiones existentes en el Registro Público de Derechos de Agua (REPDA) siendo la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) la autoridad responsable. Pero de manera paralela se hace una estimación de los volúmenes de consumo con estadísticas históricas, y se consideran ambos volúmenes de consumo en una ecuación de balance por separado.

En este estudio, los volúmenes de usos se obtienen de la base de datos de concesiones del Departamento de Aguas del MINAE. Sin embargo, como el uso para la generación hidroeléctrica del ICE no se encuentra registrado en las concesiones del MINAE, también se considera éste uso.

A continuación se presenta el volumen concesionado por uso principal clasificado por fuente de abastecimiento superficial y subterráneo, y en el apartado 3.2.1.2 el volumen de agua utilizado por el ICE.

3.2.1.1 Volumen de concesiones de agua del MINAE

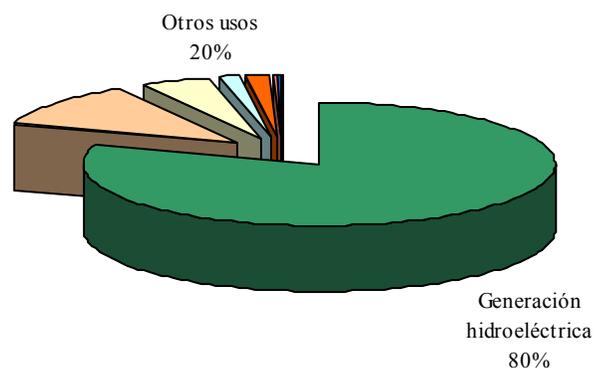
De la base de datos original, el Departamento de Aguas proporcionó por cuenca un archivo por cada uso principal (agroindustrial, agropecuario, comercial, consumo humano, generación hidroeléctrica, industria, riego y turismo), más un archivo nombrado *asadas* con información de uso doméstico. En la tabla 3.19 se presentan los campos originales de la base de datos, los que fueron creados para el análisis de los registros y los que se utilizaron para estimar el volumen por uso principal y fuente de abastecimiento. Los diversos tipos de uso que considera el MINAE en cada uso principal se presentan en la tabla 3.20.

De los 11,043 registros originales, solamente 99 presentaron un valor de caudal igual a cero. En la tabla 3.21 se presenta un resumen del número de registros utilizados por cuenca al año 2000 y al año 2006.

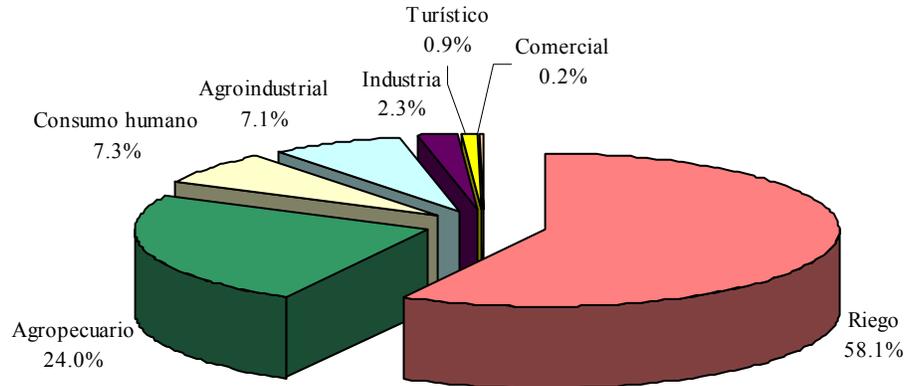
Además, en las tablas 3.22 y 3.23 se presenta un resumen del número de registros y volumen utilizado por cuenca, clasificado por tipo de fuente de abastecimiento (superficial, manantiales y pozos) para el año 2000 y 2006, respectivamente. En la tabla 3.22 se observa que el mayor volumen concesionado proviene de fuentes superficiales con un 98% y el resto de fuentes subterráneas

En la gráfica 3.3 se muestra el volumen concesionado por uso principal, en %, donde se observa que el principal uso es para la generación hidroeléctrica. Si no se considera éste uso, el mayor volumen concesionado corresponde al uso de riego, gráfica 3.4.

En las tablas 3.24 y 3.25 se presentan los volúmenes mensuales concesionados de agua superficial por cuenca para el año 2000 y 2006, respectivamente. Los volúmenes concesionados de agua de manantiales y pozos por cuenca, ya fueron presentados en los apartados 3.1.4 y 3.1.5 respectivamente. Finalmente, en el Anexo C se presentan los volúmenes mensuales por uso y fuente en cada una de las 15 cuencas de estudio.



Gráfica 3.3 Volumen concesionado (al año 2000) por uso, en %.



Gráfica 3.4. Volumen concesionado sin considerar generación hidroeléctrica, en %.

Tabla 3.19 Campos originales de la base de datos de concesiones y los utilizados en el balance.

Originales	Para el análisis	Para el cálculo del volumen	Descripción
ID_EXPEDIENTE	ID_EXPEDIE		Identificador del MINAE
TIPO_EXPEDIENTE	TIPO_EXPED		Identificador del MINAE
ID_FUENTE	ID_FUENTE		Identificador del MINAE
SIG_LAT	SIG_LAT		Coordenada Y
SIG_LON	SIG_LON		Coordenada X
CUENCA	CUENCA		Número de la cuenca
CAUDAL_OTORGADO	Q_LPS	Q_LPS	Caudal anual en l/s
TIPO_USO	TIPO_USO	TIPO_USO	Tipo de uso
DETALLE_USO	DETALLE_US		Detalle de uso
HORARIO_MESINICIO	MES_INICIO	MES_INICIO	Mes de inicio de uso del agua
HORARIO_MESFINAL	MES_FINAL	MES_FINAL	Mes de fin de uso del agua
HORA_DESDE	HORA_INICI	HORA_INICI	Hora de inicio de uso del agua
HORA_HASTA	HORA_FINAL	HORA_FINAL	Hora de fin de uso del agua
ENERO			Caudal mensual en l/s
ENE_HORA_DESDE			Hora de inicio de uso del agua
ENE_HORA_HASTA			Hora de fin de uso del agua
...			...
...			...
...			...
DICIEMBRE			Caudal mensual en l/s
DIC_HORA_DESDE			Hora de inicio de uso del agua
DIC_HORA_HASTA			Hora de fin de uso del agua
ESTADO_EXPEDIENTE	ESTADO_EXP		Estados del expediente
DISTRITO	DISTRITO		Ubicación geográfica
CANTON	CANTON		Ubicación geográfica
PROVINCIA	PROVINCIA		Ubicación geográfica
FECHA_APERTURA			Fecha de apertura del expediente
FECHA_OTORGAMIENTO	FECHA_OTOR	FECHA_OTOR	Fecha de otorgamiento de la concesión
FECHA_VENCIMIENTO	FECHA_VEN		Fecha de vencimiento de la concesión
NOMBRE_FUENTE	NOMFUENTE		Nombre de la fuente de agua
TIPO_FUENTE ¹	TIPO_FUENT	TIPO_FUENT	Tipo de fuente de agua
CLIENTE	CLIENTE		Nombre del cliente o empresa.

3. BALANCE HÍDRICO SUPERFICIAL

Originales	Para el análisis	Para el cálculo del volumen	Descripción
APELLIDOS			Apellidos del cliente
	V_M3_AÑO	V_M3_AÑO	Volumen de uso anual en m ³ /año
	V_ENE_M3	V_ENE_M3	Volumen de uso mensual en m ³ /año

	VDIC_M3	VDIC_M3	Volumen de uso mensual en m ³ /año
	ID_IMTA		Uso numerado
	ID_IMTA2		Número de registro
	C. original		Cuenca original
	C. Final		Cuenca final
	ID IMTA3		Tipo de uso
	ID IMTA 4		Tipo de fuente
	ID IMTA 5		Estado de expediente
	SUBCUENCA		Nombre de la subcuenca

I. Proviene del campo DETALLE de la tabla Códigos de la base de datos original

Tabla 3.20. Agrupación de los usos del agua considerados por el MINAE

Agroindustrial	Agropecuario	Comercial	Consumo humano	Generación hidroeléctrica	Industria	Riego	Turismo
Agroproceso	Agropecuario	Cervecería	Consumo humano	Generación eléctrica	Industria	Arroz	Asociación específica
Bananeras	Abrevadero	Envasado de agua	Comercial	Trapiche	Alimentaria	Banano	Balneario
Beneficiado	Granja	Lavado de vehículos	Doméstico	Otro	Carne	Caña de azúcar	Hotel
Ingenio	Lechería	Lavandería	Estado		Construcción	Café	Paisaje
Matadero	Piscicultura	Refrescaría	Hidrantes (emergencia)		Electrónica	Flores	Piscina
Trapiche	Porquerizas	Otro	Institución educativa		Maquila	Frutal	Recreación
Otro	Otro		Poblacional		Metalúrgica	Hortaliza	Restaurante y bar
			Personas		Minería	Ornamentales	Otro
			Doméstico (acueducto)		Quebrador	Palma africana	
			Otro		Química	Pasto	
					Textil	Varios	
					Industria		
					turística	Otro	
					Otro		

Tabla 3.21. Resumen del número de registros de concesiones

Registros	San Carlos	Reventazón	Tempisque	Bebadero	Pacuare	Grande de Tárcos	Parrita	Naranjo	Savegre	Grande de Térraba	Sarapiquí	Chirripó	Frío	Abangares	Barranca	Pen. Nicoya	Total
Originales al 2007	1421	1412	499	369	69	4602	521	18	24	278	183	130	15	310	389	803	11043
Con caudal cero o sin dato	12	15	5	1	1	39	12	0	0	1	1		0	2	4	6	99
Al 2000*	939	956	254	195	53	2891	264	15	11	152	75	95	8	146	249	481	6784
Al 2006*	1375	1377	468	357	68	4522	497	18	19	264	181	132	15	265	384	766	10708

* Se eliminaron registros concesionados en el 2007, los expedientes en trámite y aquellos cuya fuente indicaban mar.

Tabla 3.22. Número de registros y volumen de agua concesionado al año 2000.

Tipo de fuente	San Carlos		Reventazón	Tempisque	Bebedero	Grande		Parrita	Naranjo	Savegre	Grande		Frio	Abangares	Barranca	Pen. Nicoya		Total	
	Lago	2				Tárcoles	Terraba				Sarapiquí	Chirripó				a	b		
Número de registros																			
Superficial GE	1	34	25	0	3	1	34	7	0	0	7	14	1	0	3	1	0	0	131
Superficial otros	10	216	180	77	62	0	569	53	5	1	60	4	13	2	31	59	1	19	1362
Pozo	7	18	239	156	47	52	1314	4	6	1	3	14	37	4	27	50	188	149	2316
Manantiales	115	538	512	21	83	0	974	200	4	9	82	43	44	2	85	139	11	113	2975
Total	133	806	956	254	195	53	2891	264	15	11	152	75	95	8	146	249	200	281	6784
Volumen en hm³/año																			
Superficial GE	38.35	2948.81	995.29	0	1729.94	10.94	1888.22	154.16	0.00	0.00	812.53	2441.52	3.12	0.00	22.82	0.32	0.00	0.00	11046.01
Superficial otros	0.37	41.03	19.35	386.8585	1152.45	0.00	117.53	15.98	12.88	0.02	47.34	510.88	65.34	0.04	61.58	8.46	0.28	0.71	2441.10
Pozo	0.24	0.65	19.48	36.10	5.60	7.61	71.08	0.17	0.63	0.04	0.22	0.75	5.34	0.11	1.17	1.58	12.36	6.26	169.39
Manantiales	0.56	25.36	32.85	0.18	1.00	0.00	92.28	4.59	0.01	0.18	2.51	1.27	0.70	0.10	0.29	1.17	0.05	0.83	163.95
Total	39.51	3015.86	1066.97	423.14	2888.98	18.55	2169.11	174.90	13.52	0.24	862.60	2954.42	74.50	0.25	85.85	11.53	12.69	7.80	13820.44

GE: Generación de energía

Tabla 3.23. Número de registros y volumen de agua concesionado al año 2006.

Tipo de fuente	San Carlos		Reventazón	Tempisque	Bebedero	Grande		Parrita	Naranjo	Savegre	Grande		Frio	Abangares	Barranca	Pen. Nicoya		Total	
	Lago	2				Tárcoles	Terraba				Sarapiquí	Chirripó				a	b		
Número de registros																			
Superficial GE	1	36	30	0	3	1	36	7	0	0	7	14	2	0	3	1	0	0	141
Superficial otros	11	312	267	126	108	4	810	102	5	3	105	32	28	5	61	86	1	44	2110
Pozo	8	24	328	281	77	62	2048	4	6	1	13	32	40	4	47	81	267	271	3594
Manantiales	155	828	752	61	169	1	1628	384	7	15	139	103	62	6	154	216	13	170	4863
Total	175	1200	1377	468	357	68	4522	497	18	19	264	181	132	15	265	384	281	485	10708
Volumen en hm³/año																			
Superficial GE	38.35	3036.89	2339.31	0.00	1729.94	10.94	1892.95	154.16	0.00	0.00	812.53	2441.52	586.54	0.00	22.82	0.32	0.00	0.00	13066.26
Superficial otros	0.50	93.32	33.20	493.89	1395.23	0.21	171.29	28.45	12.88	3.47	102.03	517.91	68.69	0.97	160.36	10.72	0.28	1.83	3095.21
Pozo	0.24	0.94	25.69	63.46	8.82	8.37	95.20	0.17	0.63	0.04	0.38	1.29	5.57	0.11	2.29	2.20	16.11	13.11	244.61
Manantiales	0.87	45.52	57.26	1.97	6.21	0.09	123.47	42.60	0.39	0.55	5.55	4.88	1.25	2.44	2.20	2.41	0.06	1.09	298.81
Total	39.96	3176.68	2455.46	559.32	3140.20	19.61	2282.91	225.38	13.91	4.05	920.48	2965.59	662.04	3.52	187.66	15.64	16.46	16.03	16704.89

GE: Generación de energía

Tabla 3.24. Volumen de agua superficial al año 2000, en hm³

Cuenca		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
ID_CR	Nombre													
78-21	Abangares	7.89	7.12	7.89	5.82	7.67	6.39	6.60	6.60	6.38	6.60	7.56	7.87	84.40
80-22	Barranca	0.95	0.86	0.92	0.77	0.71	0.61	0.64	0.64	0.62	0.64	0.62	0.81	8.78
69-16	Frío	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04
84-24	Grande de Tárcoles	173.70	157.07	173.91	166.97	171.10	161.76	167.16	167.20	161.84	168.12	164.87	172.05	2005.75
98-31	Grande de Térraba	75.68	68.26	75.02	72.53	71.52	69.25	72.01	71.04	68.84	71.17	68.87	75.67	859.86
92-28	Naranjo	3.04	2.75	3.04	1.00	1.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.03	12.88
75-08	Pacuare	0.93	0.84	0.93	0.90	0.93	0.90	0.93	0.93	0.90	0.93	0.90	0.93	10.94
88-26	Parrita	14.92	13.38	15.63	15.01	13.65	13.16	13.76	13.84	13.41	14.05	14.41	14.92	170.14
72-18	Pen. Nicoya a	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.28
	Pen. Nicoya b	0.09	0.07	0.08	0.07	0.07	0.03	0.03	0.03	0.03	0.04	0.08	0.09	0.71
73-09	Reventazón	86.43	78.07	86.31	83.47	86.18	83.15	85.94	86.07	83.29	86.07	83.29	86.37	1014.64
69-14	San Carlos Lago	3.29	2.97	3.29	3.18	3.29	3.18	3.29	3.29	3.18	3.29	3.18	3.29	38.71
	San Carlos 2	254.69	230.04	254.72	246.47	254.65	245.01	253.18	253.18	245.01	253.20	245.04	254.66	2989.84
69-12/ 69-11	Sarapiquí- Chirripó	256.59	231.76	256.59	248.32	256.55	248.28	256.55	256.55	248.28	256.55	248.28	256.55	3020.85
94-29	Savegre	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02
74-19/ 76-20	Tempisque- Bebedero	394.69	356.43	392.74	380.07	194.99	183.64	194.49	194.98	189.86	196.19	192.19	398.98	3269.25

Tabla 3.25. Volumen de agua superficial al año 2006, en hm³

Cuenca		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
ID_CR	Nombre													
78-21	Abangares	16.29	14.72	16.29	13.95	16.03	14.46	14.93	14.93	14.45	14.93	15.77	16.41	183.17
80-22	Barranca	1.15	1.04	1.13	0.96	0.90	0.79	0.82	0.82	0.79	0.82	0.80	1.01	11.04
69-16	Frío	0.20	0.18	0.20	0.19	0.19	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.97
84-24	Grande de Tárcoles	180.09	162.91	180.14	172.74	176.37	165.71	170.53	170.57	165.17	172.15	169.81	178.06	2064.24
98-31	Grande de Térraba	82.11	74.08	81.46	78.58	75.24	72.85	75.73	74.54	72.22	74.84	72.65	80.24	914.55
92-28	Naranjo	3.04	2.75	3.04	1.00	1.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.03	12.88
75-08	Pacuare	0.95	0.86	0.95	0.92	0.95	0.92	0.95	0.95	0.92	0.95	0.92	0.95	11.16
88-26	Parrita	16.25	14.57	16.95	15.97	14.63	14.09	14.72	14.80	14.34	15.01	15.35	15.91	182.60
72-18	Pen. Nicoya a	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.28
	Pen. Nicoya b	0.22	0.20	0.22	0.20	0.21	0.09	0.08	0.08	0.08	0.09	0.13	0.22	1.83
73-09	Reventazón	201.08	182.11	201.44	194.90	202.38	195.08	201.60	201.72	195.21	201.77	194.23	201.01	2372.51
69-14	San Carlos Lago	3.31	2.97	3.29	3.18	3.29	3.18	3.31	3.31	3.20	3.31	3.20	3.31	38.85
	San Carlos 2	267.02	241.18	267.05	258.41	266.97	256.16	264.69	264.69	256.16	264.72	256.18	266.98	3130.21
69-12/ 69-11	Sarapiquí- Chirripó	307.03	277.31	307.03	297.12	306.98	297.08	306.98	306.98	297.08	306.98	297.08	306.98	3614.65
94-29	Savegre	0.29	0.27	0.29	0.28	0.29	0.28	0.29	0.29	0.28	0.29	0.28	0.29	3.47
74-19/ 76-20	Tempisque- Bebedero	428.13	386.64	425.96	410.90	222.50	210.79	222.35	222.06	216.06	223.27	218.99	431.40	3619.05

De los volúmenes concesionados al año 2000 se observa lo siguiente:

La cuenca Tempisque tiene un volumen concesionado de agua superficial por 386.8 hm³/año en 77 registros diferentes y solamente cuatro usuarios utilizan el 55 % de este volumen y uno de ellos (Central Azucarera Tempisque S.A) aprovecha el 41 % del volumen total concesionado en la cuenca. De las 15 cuencas, ésta es la que tiene el mayor consumo de agua para uso agroindustrial (44%) concentrados en un 93% en dos ingenios: Central Azucarera Tempisque S.A. y Azucarera El Viejo S. A. En la tabla 3.26 se presentan los usuarios con mayor volumen concesionado y en la figura 3.3 su ubicación espacial dentro de la cuenca.

Tabla 3.26. Concesiones superficiales con mayor volumen en la cuenca Tempisque.

Núm	Cliente	Tipo de uso	Q (m ³ /s)	V (hm ³ /año)
1	Central Azucarera Tempisque S.A.	Agroindustrial - Ingenio	3.00	94.61
2	Central Azucarera Tempisque S.A.	Agropecuario - Riego - Pasto	3.50	45.66
3	Central Azucarera Tempisque, S.A.	Agropecuario - Riego - Arroz	0.70	18.39
4	Operaciones Ganaderas S.A.	Agropecuario - Riego -Varios	0.60	18.92
5	Azucarera El Viejo S.A.	Agroindustrial - Ingenio	0.57	17.91
6	El Pelón de la Bajura S.A.	Agropecuario - Riego - Arroz	0.50	15.77
Total			8.87	211.26

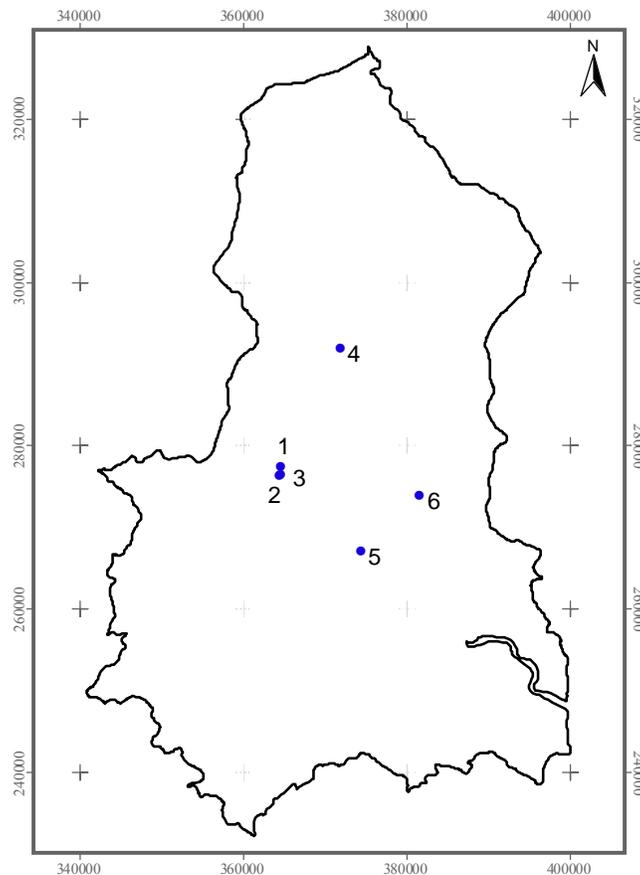


Figura 3.3 Concesiones superficiales con mayor volumen en la cuenca Tempisque

En la cuenca Bebedero, el 99.8% del volumen también proviene de agua superficial, de éste el 99% es aprovechado solo por nueve registros diferentes, tabla 3.27 y figura 3.4. El 53% corresponde a un aprovechamiento para generación de energía eléctrica y el 35% a tres aprovechamientos del SENARA para el DRAT, desafortunadamente se desconoce cual es el volumen que se destina a cada cuenca, razón por la cual se realizó el balance considerando ambos cuencas de manera conjunta, figura 3.5.

Tabla 3.27. Concesiones superficiales con mayor volumen en la cuenca Bebedero.

Núm	Cliente	Tipo de uso	Q (m ³ /s)	V (hm ³ /año)
1	Bel Ingeniería S.A.	Fuerza hidráulica– tro	48.85	1540.53
2	Servicio Nacional de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento	Agropecuario–riego–varios	70.00	913.25
3	Servicio Nacional de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento	Agropecuario–riego–varios	1.50	47.30
4	Servicio Nacional de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento	Agropecuario–riego–varios	1.50	47.30
5	Azucarera El Viejo S.A.	Fuerza hidráulica– generación eléctrica	3.50	110.25
6	Ganadera Montezuma S.A.	Fuerza hidráulica–otro	2.51	79.16
7	Ganadera Río Tenorio S.A.	Agropecuario–piscicultura	2.00	63.07
8	Agrícola Río blanco S.A.	Agropecuario–riego–otro	0.80	25.23
9	Cañera Las Brisas S.A.	Agropecuario–riego–varios	1.30	20.44
Total			131.96	2846.54

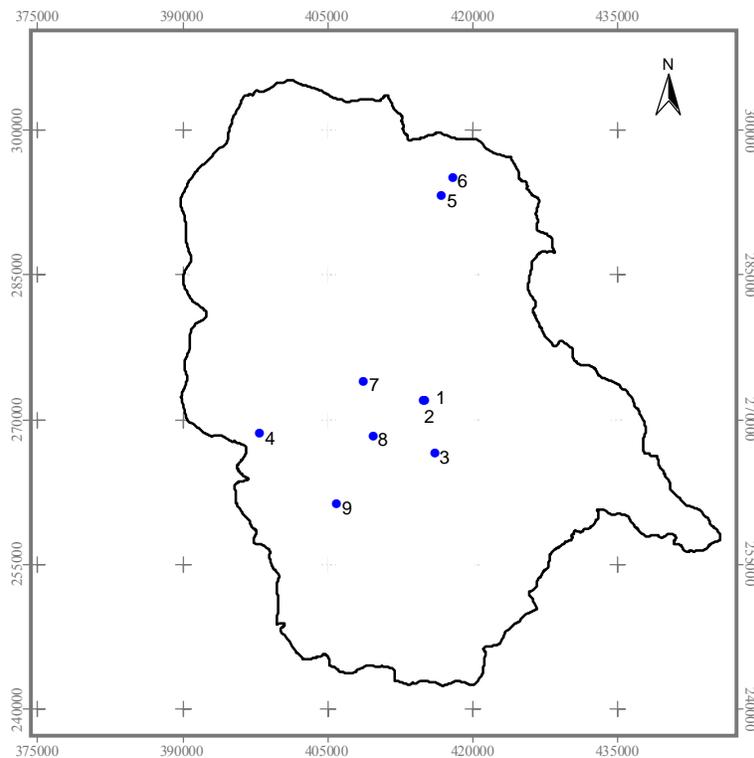


Figura 3.4. Concesiones superficiales con mayor volumen en la cuenca Bebedero

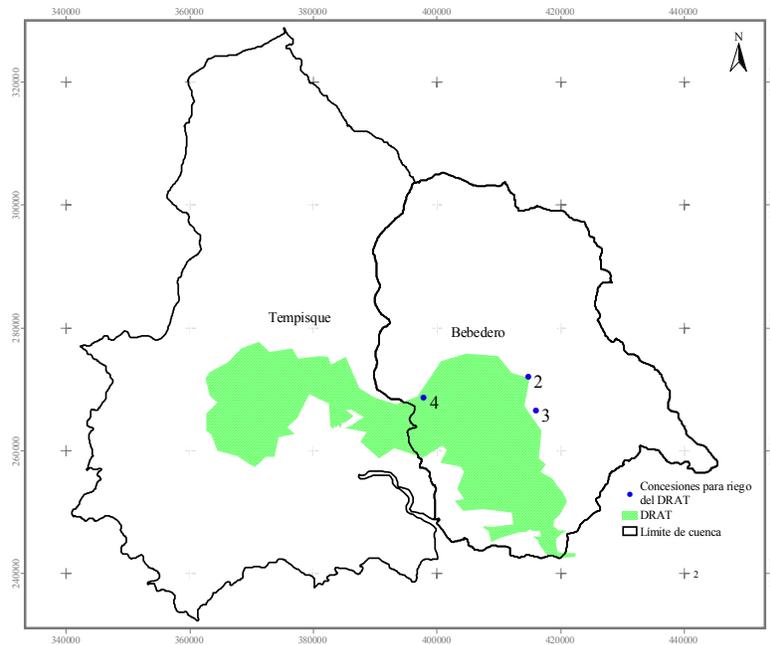


Figura 3.5. Ubicación del DRAT

El 74% del agua para la generación de energía eléctrica privada se concentra en cuatro cuencas: San Carlos, Reventazón, Grande de Tárcoles y Sarapiquí-Chirripó.

En la cuenca Reventazón el 93% del volumen concesionado es utilizada para la generación hidroeléctrica a través de 25 registros, en la tabla 3.28 y figura 3.6 se presentan los 8 registros con el mayor volumen.

Tabla 3.28. Concesiones superficiales con mayor volumen en la cuenca Reventazón.

Núm	Cliente	Tipo de uso	Q (m ³ /s)	V (hm ³ /año)
1	Planta Eléctrica de Tres Ríos, S.A.	Fuerza Hidráulica-Otro	2.30	72.53
2	Planta Eléctrica de Tres Ríos, S.A.	Fuerza Hidráulica-Otro	2.30	72.53
3	P.H. Guacimo S.A.	Fuerza Hidráulica-Generación Eléctrica	4.44	140.02
4	Hidroeléctrica Tuis S.A.	Fuerza Hidráulica-Otro	1.80	56.76
5	Hidroeléctrica Taus S.A.	Fuerza Hidráulica-Otro	6.05	190.70
6	Hidroeléctrica Río Lajas S.A.	Fuerza Hidráulica-Generación Eléctrica	3.00	94.61
7	Hidroeléctrica Río Lajas S.A.	Fuerza Hidráulica-Generación Eléctrica	2.50	78.84
8	Desarrollo Hidroeléctrico de Parísmina S.A.	Fuerza Hidráulica-Generación Eléctrica	1.95	61.50
Total			24.34	767.49

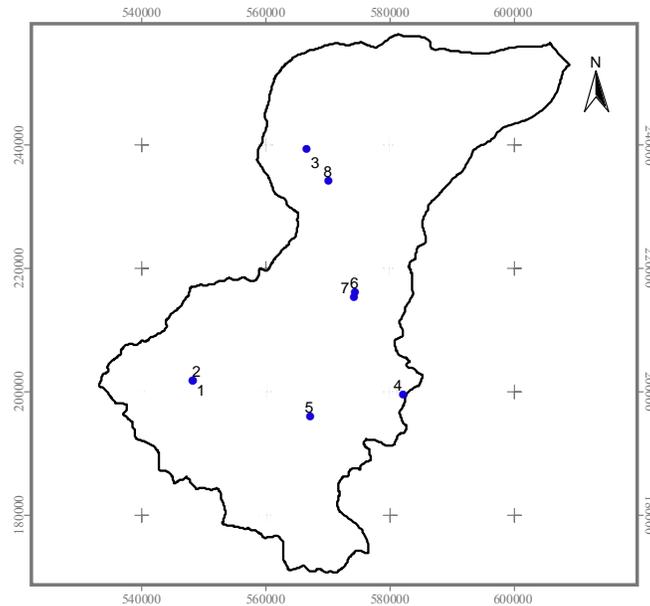


Figura 3.6. Concesiones superficiales con mayor volumen en la cuenca Reventazón

En la cuenca San Carlos 2, el 98% del volumen concesionado ($2,698 \text{ hm}^3/\text{año}$) es utilizado para generación hidroeléctrica a través de 40 registros, en la tabla 3.29 y figura 3.7 se presentan los 13 registros con el mayor volumen concesionado.

Tabla 3.29. Concesiones superficiales con mayor volumen en la cuenca San Carlos 2.

Núm	Cliente	Tipo de uso	Q (m^3/s)	V ($\text{hm}^3/\text{año}$)
1	Compañía Nacional de Fuerza y Luz, S.A.	Fuerza Hidráulica - Generación Eléctrica	7.03	221.70
2	Compañía Nacional de Fuerza y Luz, S.A.	Fuerza Hidráulica - Generación Eléctrica	4.00	126.14
3	Compañía Nacional de Fuerza y Luz, S.A.	Fuerza Hidráulica - Generación Eléctrica	10.00	315.36
4	Coneléctricas R.L.	Fuerza Hidráulica - Otro	20.00	630.72
5	Cooperativa Electrifi. Rural de San Carlos R.L. (COOPELESCA)	Fuerza Hidráulica - Otro	2.58	81.21
6	Empresa Eléctrica Matamoros S.A.	Fuerza Hidráulica - Generación Eléctrica	2.70	85.15
7	Empresa Eléctrica Matamoros S.A.	Fuerza Hidráulica - Otro	2.54	80.10
8	Hidroeléctrica Aguas Zarcas	Fuerza Hidráulica - Generación Eléctrica	4.50	141.91
9	Hidroeléctrica Platanar S.A.	Fuerza Hidráulica - Otro	6.00	189.22
10	Hidroflorencia S.A.	Fuerza Hidráulica - Otro	8.09	255.13
11	Hidroflorencia S.A.	Fuerza Hidráulica - Otro	1.89	59.60
12	Hidroflorencia S.A.	Fuerza Hidráulica - Otro	7.30	230.21
13	Inversiones la Manguera S.A.	Fuerza Hidráulica - Generación Eléctrica	4.38	138.00
Total			81.00	2554.45

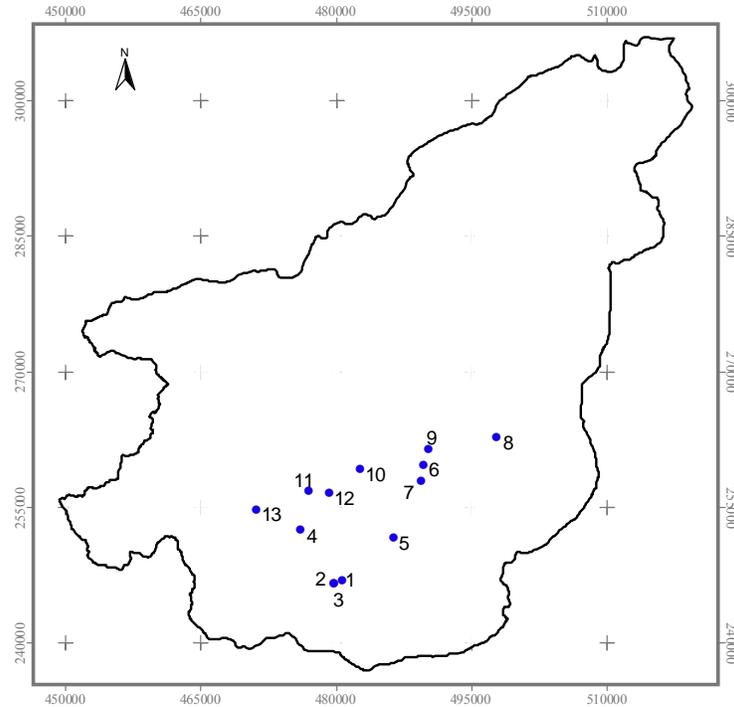


Figura 3.7. Concesiones superficiales con mayor volumen en la cuenca San Carlos 2.

En la cuenca Grande de Tárcoles, también el 87% (1,888 hm³/año) del volumen concesionado es utilizado para generación hidroeléctrica a través de 39 registros, en la tabla 3.30 y figura 3.8 se presentan los 7 registros con el mayor volumen concesionado.

Tabla 3.30. Concesiones superficiales con mayor volumen en la cuenca Grande de Tárcoles.

Núm	Cliente	Tipo de uso	Q (m ³ /s)	V (hm ³ /año)
1	Compañía Nacional de Fuerza y Luz, S.A.	Fuerza Hidráulica-Generación Eléctrica	13.28	418.70
2	Compañía Nacional de Fuerza y Luz, S.A.	Fuerza Hidráulica-Generación Eléctrica	8.00	252.29
3	Compañía Nacional de Fuerza y Luz, S.A.	Fuerza Hidráulica-Generación Eléctrica	1.60	50.46
4	Compañía Nacional de Fuerza y Luz, S.A.	Fuerza Hidráulica-Generación Eléctrica	14.00	441.50
5	Empresa de Servicios Públicos de Heredia	Fuerza Hidráulica-Generación Eléctrica	2.20	69.38
6	Instituto Costarricense de Ferrocarriles	Fuerza Hidráulica-Generación Eléctrica	9.87	311.10
7	LOSKO S.A.	Fuerza Hidráulica-Generación Eléctrica	2.00	63.07
Total			50.94	1606.51

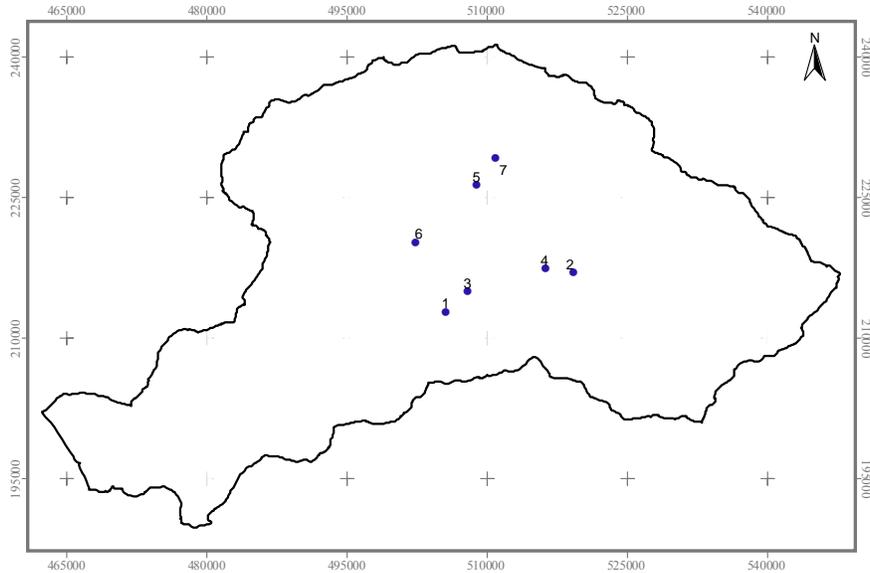


Figura 3.8. Concesiones superficiales con mayor volumen en la cuenca Grande de Tárcoles

En la cuenca Sarapiquí-Chirripó, el 81% (2,445 hm³/año) del volumen concesionado es utilizado para generación hidroeléctrica a través de 15 registros, en la tabla 3.31 y figura 3.9 se presentan los 10 registros con el mayor volumen concesionado para este sector.

Tabla 3.31. Concesiones superficiales con mayor volumen en la cuenca Sarapiquí - Chirripó

Núm	Cliente	Tipo de uso	Q (m ³ /s)	V (hm ³ /año)
1	Compañía Hidroeléctrica Doña Julia S.A.	Fuerza Hidráulica-Generación Eléctrica	11.96	377.17
2	Compañía Hidroeléctrica Doña Julia S.A.	Fuerza Hidráulica-Generación Eléctrica	2.00	63.07
3	E Angel S.A.	Fuerza Hidráulica-Generación Eléctrica	3.80	119.84
4	Empresa de Servicios Públicos de Heredia	Fuerza Hidráulica-Otro	42.00	1324.51
5	Empresa de Servicios Públicos de Heredia	Fuerza Hidráulica-Otro	6.57	207.19
6	LOSKO S.A.	Fuerza Hidráulica-Otro	1.44	45.41
7	P.H. Río Volcán S.A.	Fuerza Hidráulica-Otro	2.25	70.96
8	P.H. Río Volcán S.A.	Fuerza Hidráulica-Otro	0.59	18.61
9	Proyecto Hidroeléctrico Don Pedro S.A.	Fuerza Hidráulica-Otro	4.20	132.45
10	Suerkata S.R.L.	Fuerza Hidráulica-Generación Eléctrica	2.50	78.84
Total			77.31	2438.05

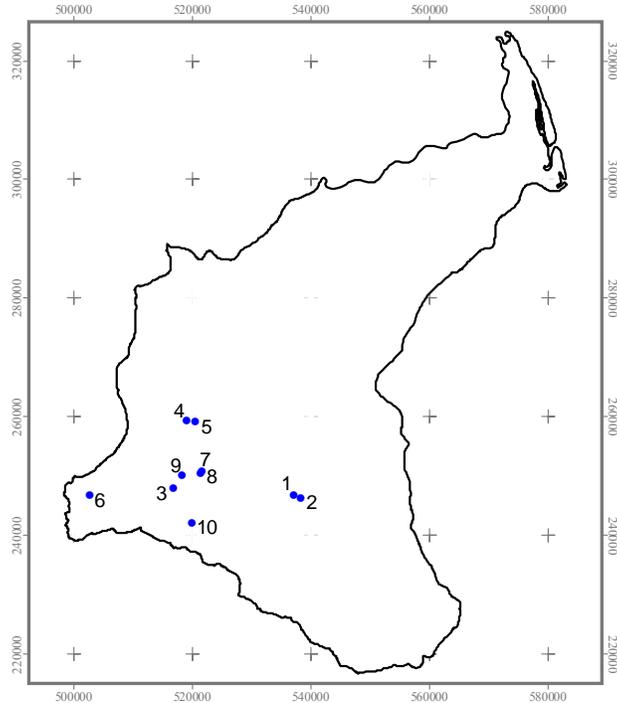


Figura 3.9. Concesiones superficiales con mayor volumen en la cuenca Sarapiquí-Chirripó

En la cuenca Frío se tiene un volumen de agua concesionado de $0.25 \text{ hm}^3/\text{año}$ para satisfacer las necesidades de cuatro usos principales: agropecuario, consumo humano, riego y turístico. Para el consumo humano se tienen 3 registros con un volumen de $0.11 \text{ hm}^3/\text{año}$; sin embargo, si se considera el número de habitantes en la cuenca, 29,340 hab y una dotación de 123 l/hab/día, se obtiene un volumen de $1.3 \text{ hm}^3/\text{año}$ mayor al $0.11 \text{ hm}^3/\text{año}$ concesionado.

En la Península de Nicoya *a*, el 52% de los registros se destinan para uso turístico, que en volumen representan el 70% del volumen total concesionado en la cuenca, en la figura 3.10 se muestra su distribución espacial.

Por último, es importante mencionar que la mayor cantidad de aprovechamientos para el consumo humano se presenta en la cuenca Grande de Tárcoles (46%), figura 3.11, esto se debe a la concentración del número de habitantes en las tres ciudades más importantes del país: San José, Heredia y Alajuela.

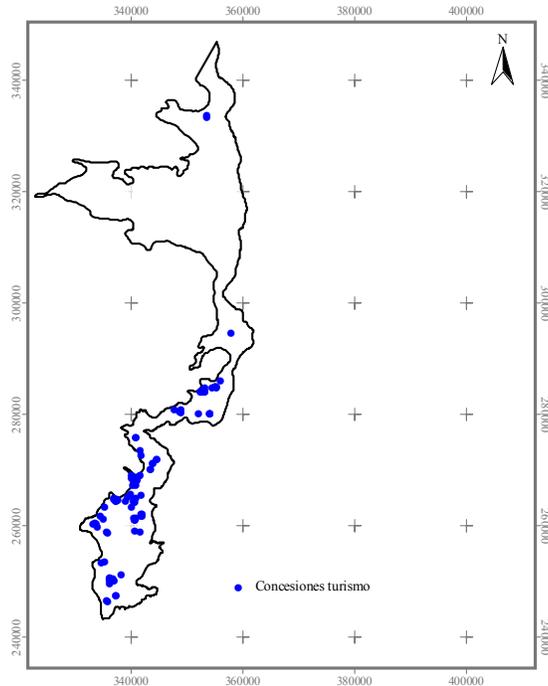


Figura 3.10. Concesiones para turismo en la cuenca Península de Nicoya *a*

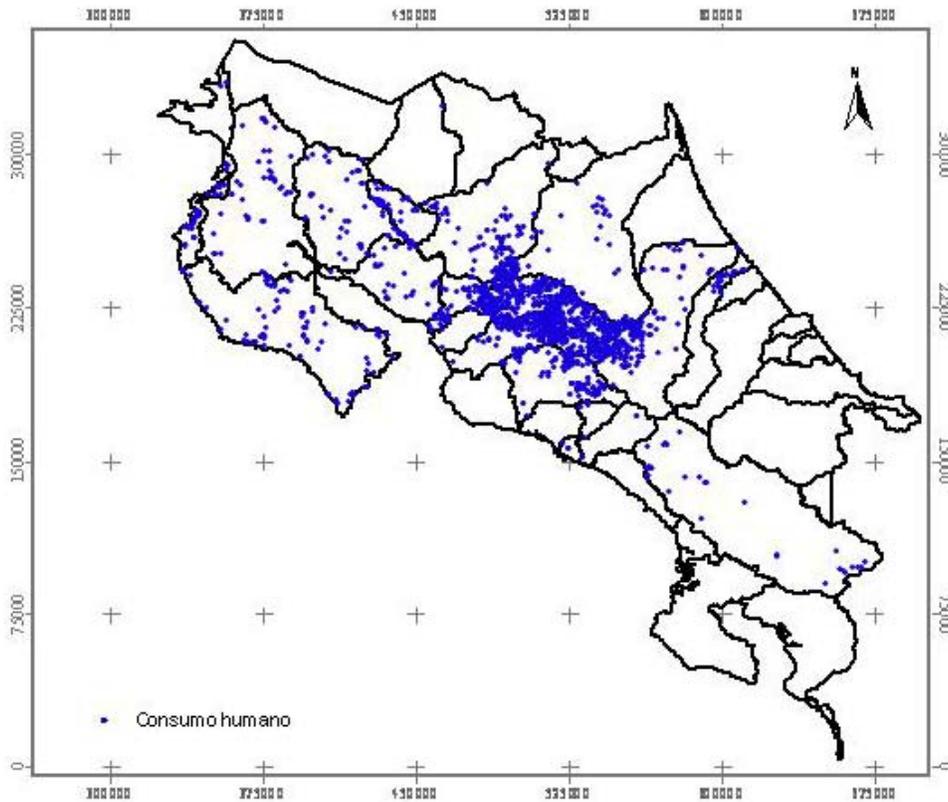


Figura 3.11. Ubicación de las concesiones para consumo humano

3.2.1.2 Volumen para generación hidroeléctrica del ICE

El ICE proporcionó información del volumen turbinado en 13 plantas hidroeléctricas, figura 3.12 y tabla 3.32. Para el balance hídrico se consideraron las plantas que iniciaron su operación antes del año 2000 y que contaban con información del volumen turbinado mensual por lo menos de un año antes al 2000.

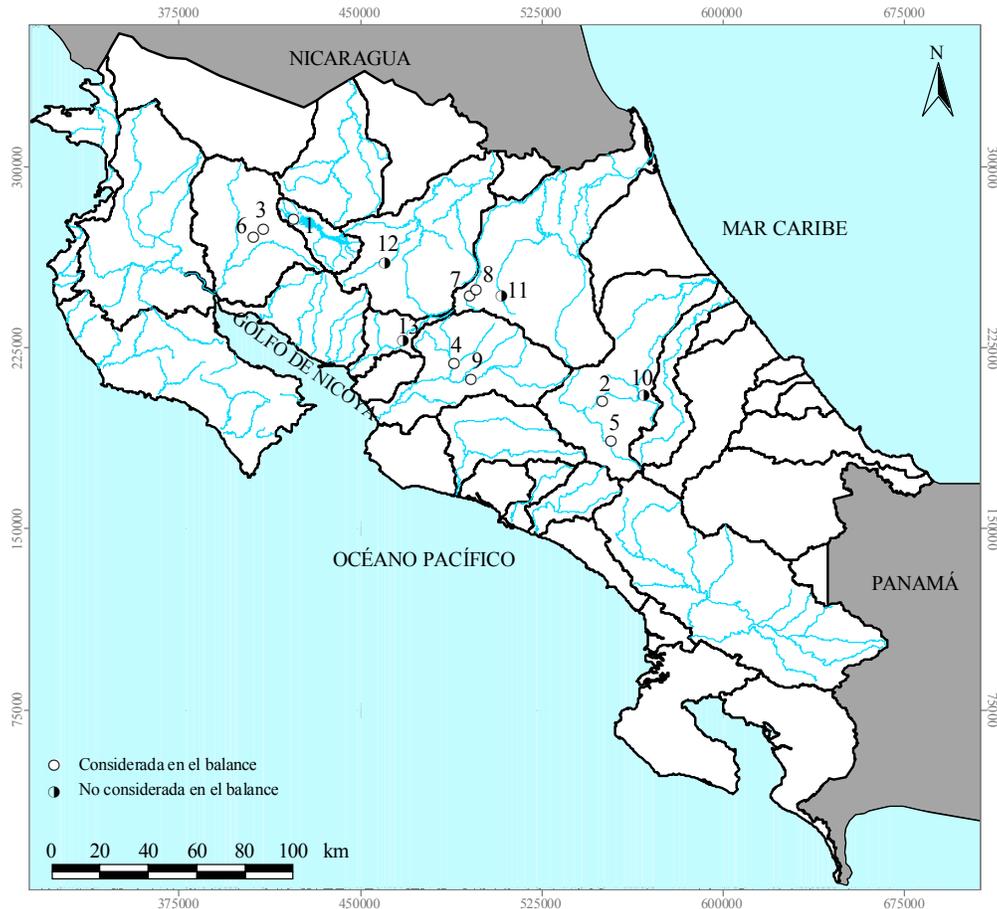


Figura 3.12. Sitio de la presa de las plantas hidroeléctricas del ICE

Las plantas de generación del ICE consideradas se concentran en cuatro cuencas: Bebedero, Sarapiquí-Chirripó, Reventazón y Grande de Tárcoles. En las tablas 3.33 a la 3.36 se presentan los volúmenes mensuales de uso para la generación hidroeléctrica en las cuencas mencionadas.

En el Anexo D se muestra la ubicación de las plantas hidroeléctricas privadas y estatales obtenidas de tres fuentes de información: de los registros de concesiones (plantas privadas), de la información del ICE (plantas estatales) y del Atlas 2000 (plantas privadas y estatales). La ubicación se presenta por cuenca y se observa que existen plantas privadas que no se encuentran en las concesiones; y además, que las coordenadas de las plantas del ICE y ríos aprovechados son diferentes, en el Atlas 2000 y en la información proporcionada por el ICE en el 2007.

Tabla 3.32. Plantas de generación hidroeléctrica del ICE

No.	Nombre	Cuenca	Sitio de la Presa	
			X	Y
1	Arenal	San Carlos	454355	273650
2	Cachí	Reventazón	560270	203280
3	Corobici	Bebedero	420175	274725
4	Garita	Grande de Tárcoles	498930	219035
5	Río Macho	Reventazón	564005	187015
6	Sandillal	Bebedero	415825	271575
7	Toro I	Sarapiquí	505720	247090
8	Toro II	Sarapiquí	508045	249845
9	Ventanas	Grande de Garita	505805	212650
10	Angostura	Reventazón	577520	205970
11	Cariblanco	Sarapiquí	518345	247240
12	Peñas Blancas	San Carlos	470115	260950
13	Echandi	Barranca	478088	228782

Fuente: ICE, 2007.

Tabla 3.33. Volumen de uso en plantas hidroeléctricas del ICE en hm³, Grande de Tárcoles

Planta	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Garita ⁽¹⁾	36.6	29.6	29.5	28.9	35.0	36.7	38.7	39.7	39.4	42.0	40.1	39.0	435.1
Ventanas Garita ⁽²⁾	54.4	42.6	39.8	36.3	55.0	73.3	71.4	80.4	93.6	109.8	95.2	77.1	828.9
Total	91.0	72.2	69.2	65.2	89.9	110.0	110.1	120.1	133.1	151.8	135.3	116.1	1264.0

(1) Promedio 1982-2000

(2) Promedio 1987-2000

Tabla 3.34. Volumen de uso en plantas hidroeléctricas del ICE en hm³, Reventazón

Planta	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Río Macho ⁽¹⁾	24.0	18.6	15.9	13.6	25.9	36.8	38.8	41.0	45.4	49.5	41.2	34.2	384.9
Cachí ⁽²⁾	77.9	63.2	63.1	57.4	75.4	96.9	112.2	120.4	112.4	108.4	111.5	100.0	1098.6
Total	101.9	81.9	79.0	71.0	101.2	133.7	151.0	161.4	157.7	157.9	152.7	134.2	1483.5

(1) Promedio 1982-2000

(2) Promedio 1982-2000

Tabla 3.35. Volumen de uso en plantas hidroeléctricas del ICE en hm³, Sarapiquí -Chirripó

Planta	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Toro 1 ⁽¹⁾	17.0	13.9	10.5	9.2	14.6	15.6	17.3	15.6	17.6	20.1	20.1	23.9	195.3
Toro 2 ⁽²⁾	25.3	20.6	18.2	14.0	22.2	23.5	27.2	26.5	28.2	28.8	28.2	32.3	295.0
Total	42.3	34.5	28.7	23.2	36.7	39.1	44.5	42.1	45.8	48.9	48.3	56.2	490.3

(1) Promedio 1996-2000

(2) Promedio 1997-2000

Tabla 3.36. Volumen de uso en plantas hidroeléctricas del ICE en hm³, Bebedero

Planta	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Arenal ⁽³⁾	145.5	173.2	170.9	141.0	102.5	97.1	90.2	77.0	72.0	84.3	98.1	111.0	1362.7
Corobici ⁽¹⁾	134.9	141.6	170.9	174.5	146.4	107.5	101.0	98.1	85.8	81.6	91.7	105.8	1439.8
Sandillal ⁽²⁾	112.9	118.5	149.9	146.9	119.0	94.5	81.9	91.0	81.8	84.3	90.0	86.4	1256.9
Total	247.8	260.1	320.8	321.4	265.4	202.0	182.9	189.1	167.5	165.9	181.7	192.2	2696.7

(1) Promedio 1982-2000

(2) Promedio 1992-2000

(3) Promedio 1982-2000. Se considera como volumen importado de la cuenca San Carlos Lago

3.2.2 Fugas en la red de distribución de agua potable

Esta variable fue considerada en las 15 cuencas de estudio, sin embargo solo en las cuencas Grande de Tárcoles y Reventazón se obtuvieron volúmenes considerables de 29 hm³/año y 5 hm³/año, respectivamente. En la tabla 3.37 se presentan los valores mensuales por cuenca hidrográfica, en dicha tabla se observa que en nueve cuencas el volumen de fugas es menor a un hectómetro cúbico. En el Anexo E se describe el método de cálculo de ésta variable.

3.2.3 Evaporación en cuerpos de agua

El único cuerpo de agua considerado en la estimación de la evaporación es el lago Arenal, dicho cuerpo de agua se localiza en la cuenca del río San Carlos, figura 2.3. Para estimar la evaporación en el lago se aplica el procedimiento presentado en UNESCO, 2006.

La estación climatológica con registros de evaporación y la más cercana al lago es Nueva Tronadora, ésta estación tiene un período de registros de 1981 al 2005. Al utilizar el factor de 0.7 (Aparicio, 1995) se obtiene una evaporación media anual de 852.6 mm y considerando el área del cuerpo de agua de 88.5 km² se obtiene una evaporación de 75 hm³/año, los valores mensuales se muestran en la tabla 3.38.

3.2.4 Volumen de exportación entre cuencas

Las cuencas que transfieren agua a cuencas vecinas son Barranca, Chirripó y Reventazón, las cuáles exportan agua a la cuenca Grande de Tárcoles. La cuenca San Carlos transfiere agua, a través del lago Arenal, a la cuenca Bebedero y ésta última transfiere agua a la del río Tempisque, a través de los canales derivados de la presa Sandillal, los volúmenes de agua transferidos se muestran en las figuras 3.1 y 3.2.

Tabla 3.37. Fugas en la red de distribución de agua potable, en hm³

Cuenca		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
ID_CR	Nombre													
78-21	Abangares	0.11	0.10	0.11	0.10	0.11	0.10	0.11	0.11	0.10	0.11	0.10	0.11	1.25
80-22	Barranca	0.04	0.03	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.43
69-16	Frío	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.27
84-24	Grande de Tárcoles	2.43	2.19	2.43	2.35	2.43	2.35	2.43	2.43	2.35	2.43	2.35	2.43	28.61
98-31	Grande de Térraba	0.18	0.16	0.18	0.17	0.18	0.17	0.18	0.18	0.17	0.18	0.17	0.18	2.11
92-28	Naranjo	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.07
75-08	Pacuare	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.41
88-26	Parrita	0.12	0.11	0.12	0.11	0.12	0.11	0.12	0.12	0.11	0.12	0.11	0.12	1.40
72-18	Pen. Nicoya <i>a</i>	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.09
	Pen. Nicoya <i>b</i>	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.64
73-09	Reventazón	0.43	0.39	0.43	0.41	0.43	0.41	0.43	0.43	0.41	0.43	0.41	0.43	5.04
69-14	San Carlos Lago	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	San Carlos 2	0.10	0.09	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	1.23
69-12/ 69-11	Sarapiquí-Chirripó	0.07	0.06	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.83
94-29	Savegre	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04
74-19/ 76-20	Tempisque-Bebedero	0.14	0.13	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	1.65

Tabla 3.38. Evaporación mensual en el lago Arenal, en hm³.

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
5.9	7.0	9.6	9.7	7.0	5.3	5.3	5.4	5.7	5.1	4.3	5.0	75.4

3.2.5 Resultados DP

En la tabla 3.39 se presentan los resultados de la demanda potencial, la principal salida de agua en todas las cuencas, excepto en la cuenca propia del lago Arenal, son las demandas de agua para satisfacer los diversos usos. En la cuenca del lago Arenal (San Carlos Lago) la principal salida es la transferencia de agua al complejo hidroeléctrico del ICE Arenal-Corobici-Sandillal, localizado en la cuenca Bebedero.

Tabla 3.39. Demanda potencial DP, en hm³/año

ID_CR	Nombre	Ev	Ex	Uc	f	VRxy	Total
78-21	Abangares	0.00	0.00	85.85	1.25	0.00	87.10
80-22	Barranca	0.00	5.68	11.53	0.43	0.00	17.64
69-16	Frío	0.00	0.00	0.25	0.27	0.00	0.52
84-24	Grande de Tárcoles	0.00	0.00	3433.10	28.61	0.00	3461.71
98-31	Grande de Térraba	0.00	0.00	862.60	2.11	0.00	864.70
92-28	Naranjo	0.00	0.00	13.52	0.07	0.00	13.59
75-08	Pacuare	0.00	0.00	18.55	0.41	0.00	18.96
88-26	Parrita	0.00	0.00	174.90	1.40	0.00	176.30
72-18	Pen. Nicoya a	0.00	0.00	12.69	0.09	0.00	12.78
	Pen. Nicoya b	0.00	0.00	7.80	0.64	0.00	8.44
73-09	Reventazón	0.00	56.76	2550.50	5.04	0.00	2612.30
69-14	San Carlos Lago	75.43	1362.69	71.05	0.00	0.00	1509.16
	San Carlos 2	0.00	0.00	3015.86	1.23	0.00	3017.09
69-12/ 69-11	Sarapiquí- Chirripó	0.00	0.79	3519.24	0.83	0.00	3520.86
94-29	Savegre	0.00	0.00	0.24	0.04	0.00	0.28
74-19/ 76-20	Tempisque- Bebedero	0.00	0.00	6008.77	1.65	0.00	6010.42

3.3 VARIACIÓN DE VOLUMEN

En la única cuenca que se considera ésta variable es en la cuenca cerrada del Lago Arenal. La variable se obtiene con los datos de las elevaciones del lago y la curva Elevación-Volumen, proporcionados por el ICE. En la tabla 3.11 se muestran los valores utilizados en el presente estudio.

Tabla 3.40 Variación de volumen (ΔV) en el Lago Arenal, en hm³

Mes	ΔV	Mes	ΔV
Enero	210.89	Julio	59.08
Febrero	-62.32	Agosto	77.20
Marzo	-100.39	Septiembre	60.36
Abril	-116.10	Octubre	88.06
Mayo	-62.32	Noviembre	59.27
Junio	6.95	Diciembre	47.02

Fuente: ICE. Período 1980-1999

3.4 VOLUMEN DE ESCURRIMIENTO HACIA AGUAS ABAJO

El volumen de escurrimiento hacia aguas abajo, de acuerdo con la ecuación 3.4, se determina mediante la diferencia entre la oferta potencial OP_x (entradas), la demanda potencial DP_x (salidas) y la variación de volumen (ΔV).

$$Ab = OP_x - DP_x - \Delta V \quad (3.10)$$

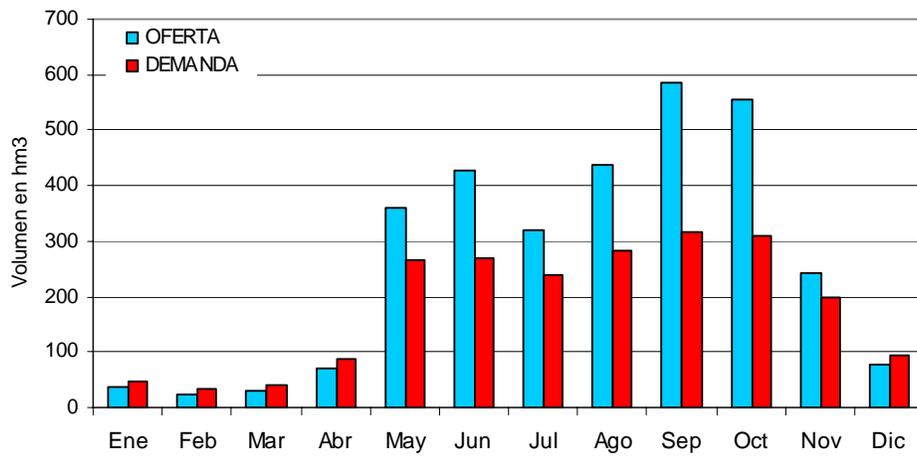
Los resultados a nivel anual se presentan en la tabla 3.41.

Tabla 3.41. Volumen de escurrimiento medio anual hacia aguas abajo, en $\text{hm}^3/\text{año}$.

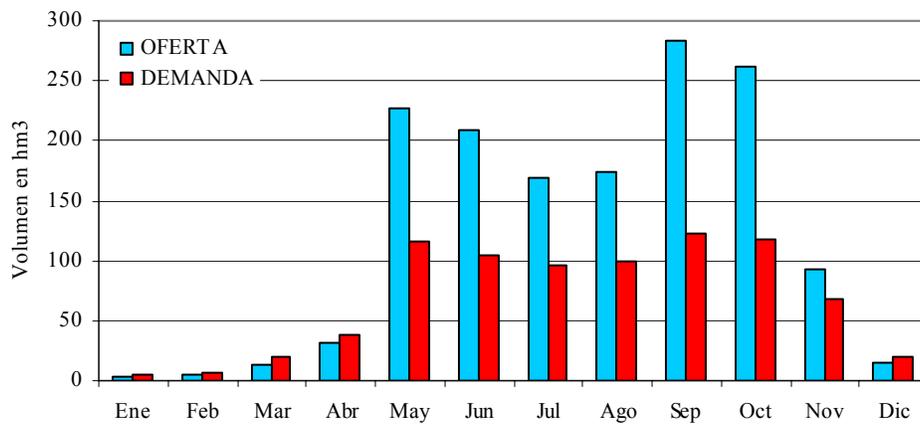
ID_CR	Nombre	OP_x	DP_x	ΔV	Ab
78-21	Abangares	1065.25	87.10		978.15
80-22	Barranca	688.78	17.64		671.14
69-16	Frío	2676.91	0.52		2676.39
84-24	Grande de Tárcoles	5509.87	3461.71		2048.17
98-31	Grande de Térraba	6455.43	864.70		5590.73
92-28	Naranja	750.71	13.59		737.12
75-08	Pacuare	1539.20	18.96		1520.24
88-26	Parrita	1526.77	176.30		1350.47
72-18	Pen. Nicoya a	191.89	12.78		179.10
	Pen. Nicoya b	1825.45	8.44		1817.01
73-09	Reventazón	7165.48	2612.30		4553.18
69-14	San Carlos Lago ¹	1549.54	1509.16	267.71	-227.33
	San Carlos 2	6674.24	3017.09		3657.15
69-12/	Sarapiquí-	11805.48	3520.86		8284.62
69-11	Chirripó				
94-29	Savegre	1118.50	0.28		1118.22
74-19/	Tempisque-	8052.22	6010.42		2041.80
76-20	Bebedero				

¹ Se incluye un caudal base estimado de $721.89 \text{ hm}^3/\text{año}$

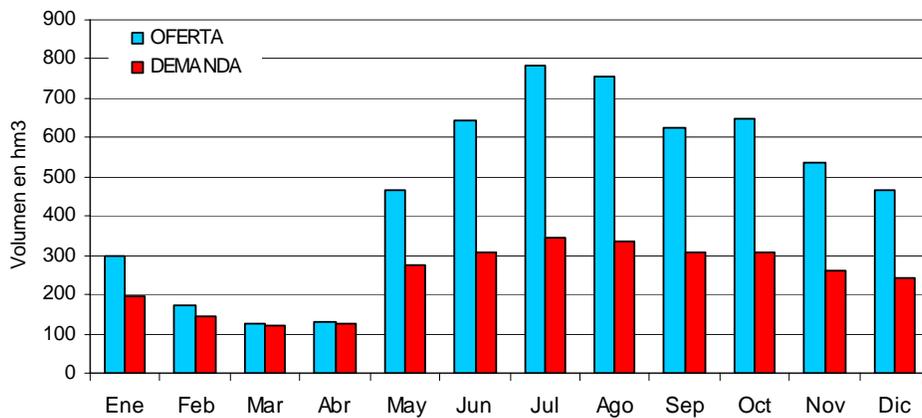
En la tabla 3.41 se observa que la cuenca cerrada del lago Arenal (San Carlos Lago) presenta un escurrimiento negativo, esto significa que su cuenca propia no genera el suficiente escurrimiento superficial para satisfacer las demandas de agua. Además se observa, que cuatro cuencas presentan escurrimientos menores a los $1,000 \text{ hm}^3/\text{año}$, siendo la Península de Nicoya *a* la que presenta el menor escurrimiento ($179 \text{ hm}^3/\text{año}$). Por otro lado, al graficar los valores mensuales de oferta y demanda por cuenca hidrográfica gráficas 3.6 a 3.21, se observan meses en donde la demanda de agua supera a la oferta en cantidades considerables. Es importante mencionar que en dichas gráficas se considera explícitamente a las variables de la cuenca propia; esto es, la lluvia forma parte de la oferta y las pérdidas (intercepción, evapotranspiración e infiltración) de la demanda.



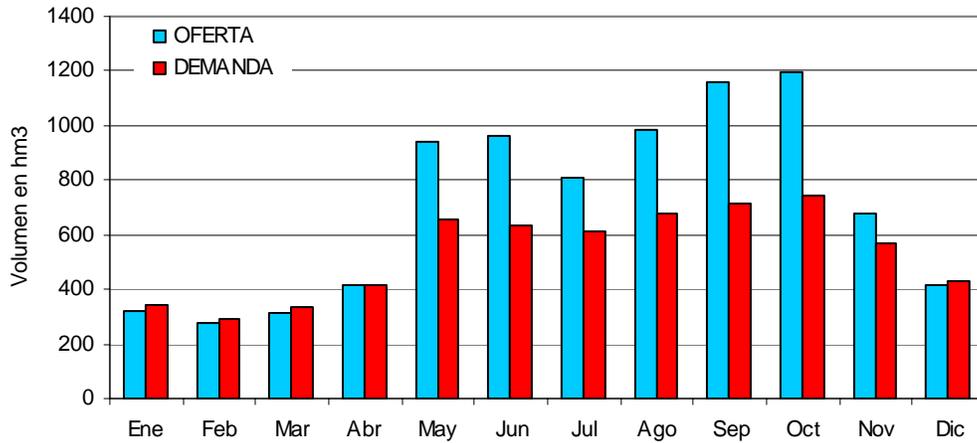
Gráfica 3.5. Oferta vs Demanda en la cuenca Abangares.



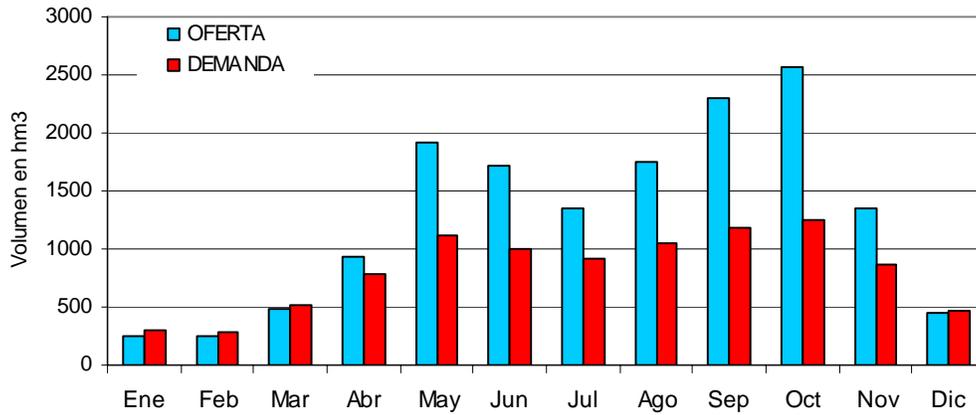
Gráfica 3.6. Oferta vs Demanda en la cuenca Barranca



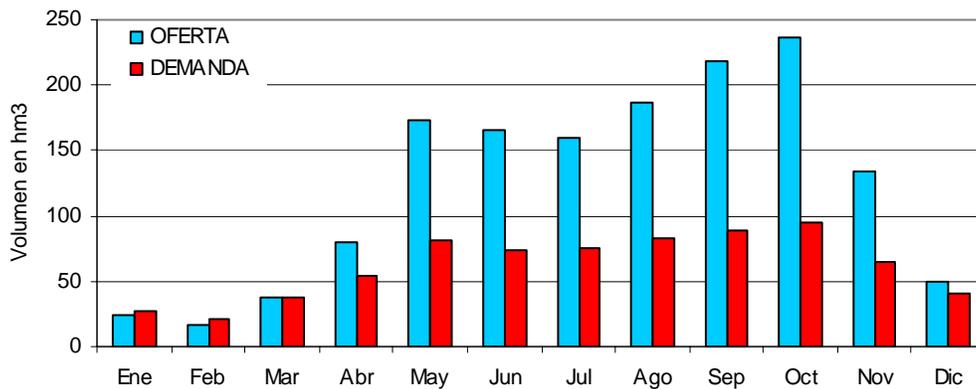
Gráfica 3.7. Oferta vs Demanda en la cuenca Frío



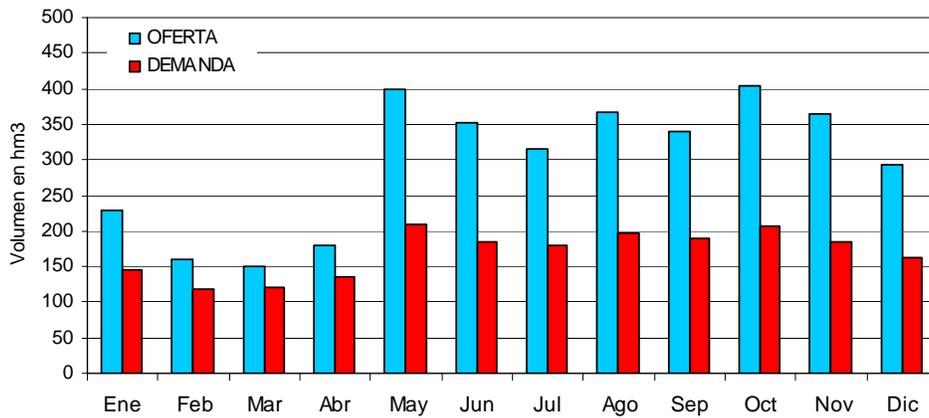
Gráfica 3.8 Oferta vs Demanda en la cuenca Grande de Tárcoles.



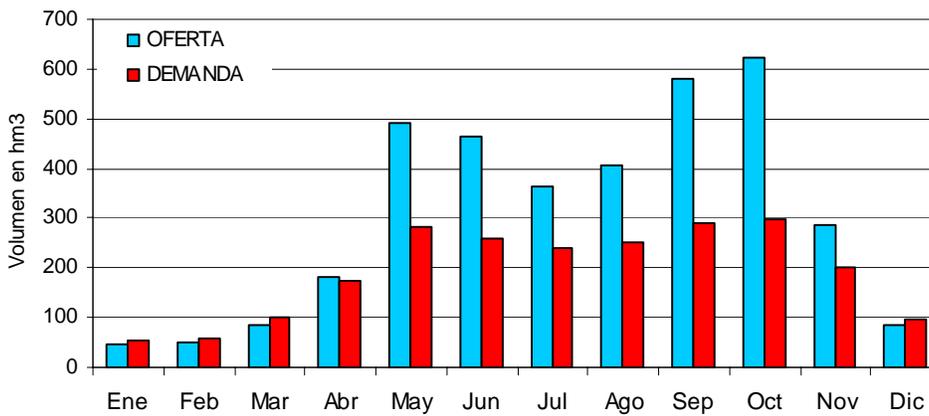
Gráfica 3.9. Oferta vs Demanda en la cuenca Grande de Terraba.



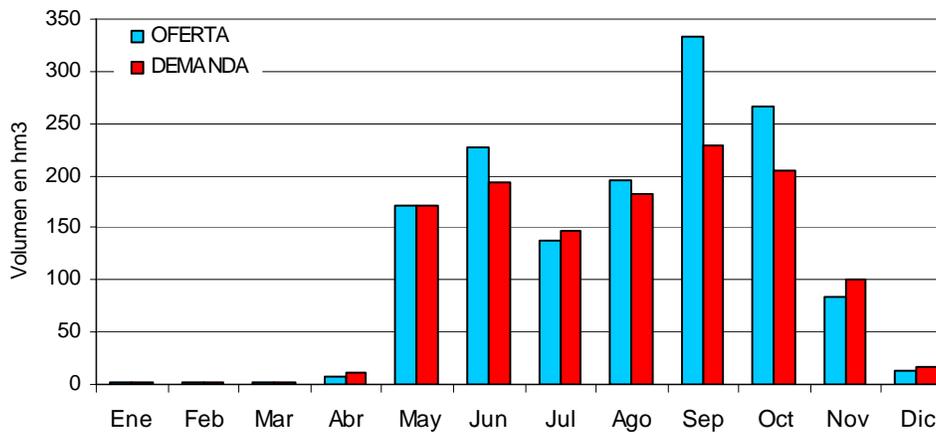
Gráfica 3.10. Oferta vs Demanda en la cuenca Naranjo



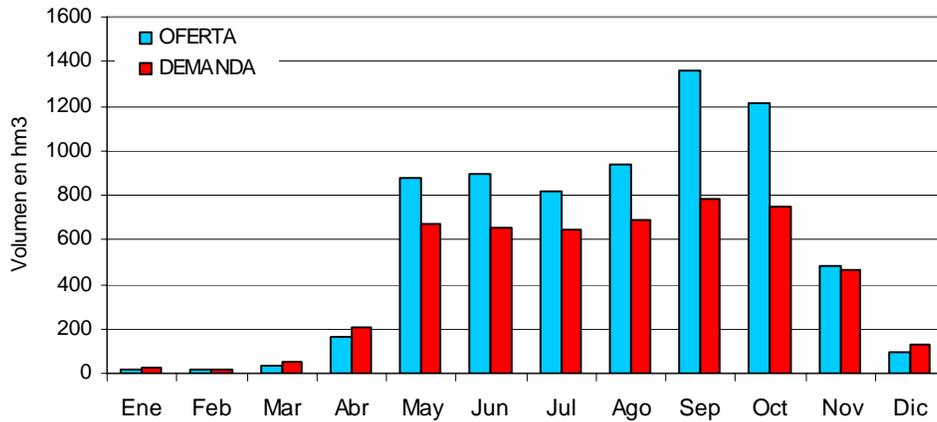
Gráfica 3.11. Oferta vs Demanda en la cuenca Pacuare



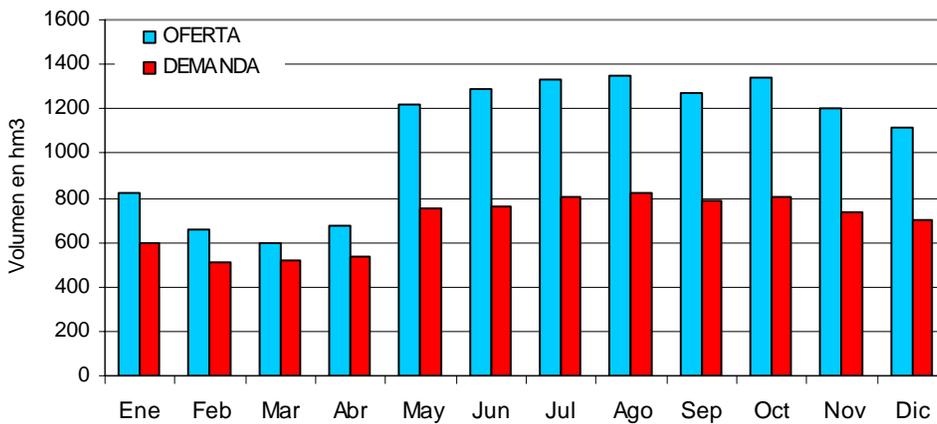
Gráfica 3.12. Oferta vs Demanda en la cuenca Parrita.



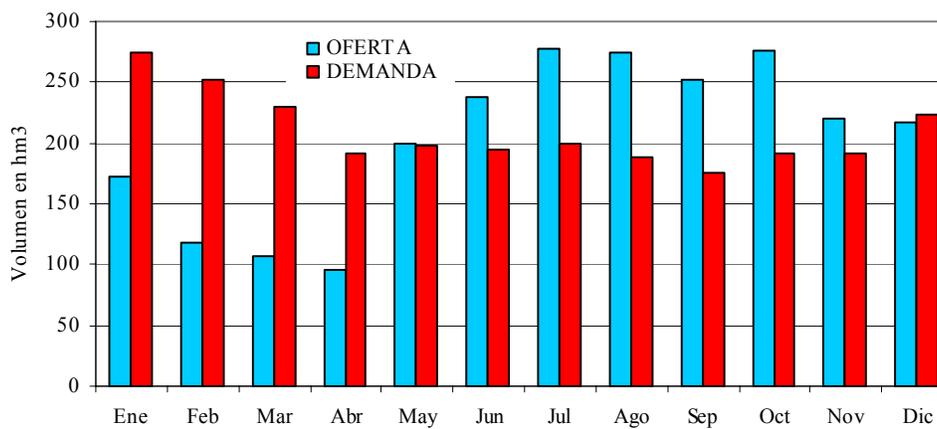
Gráfica 3.13. Oferta vs Demanda en la cuenca Península de Nicoya a.



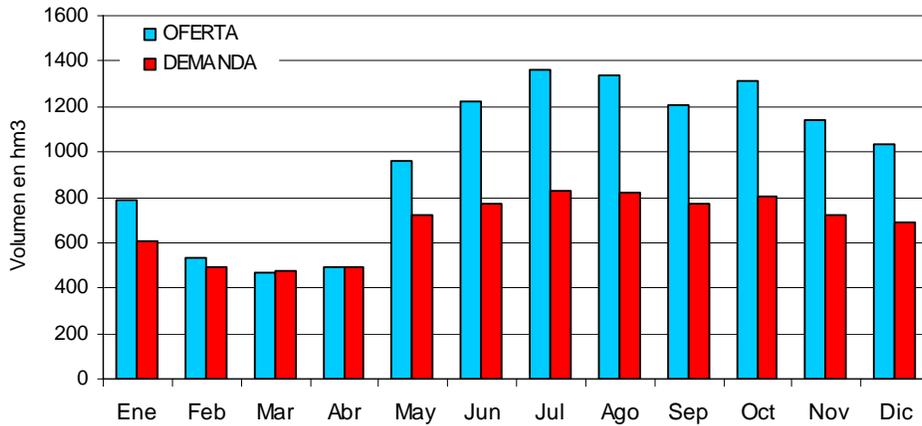
Gráfica 3.14. Oferta vs Demanda en la cuenca Península de Nicoya *b*.



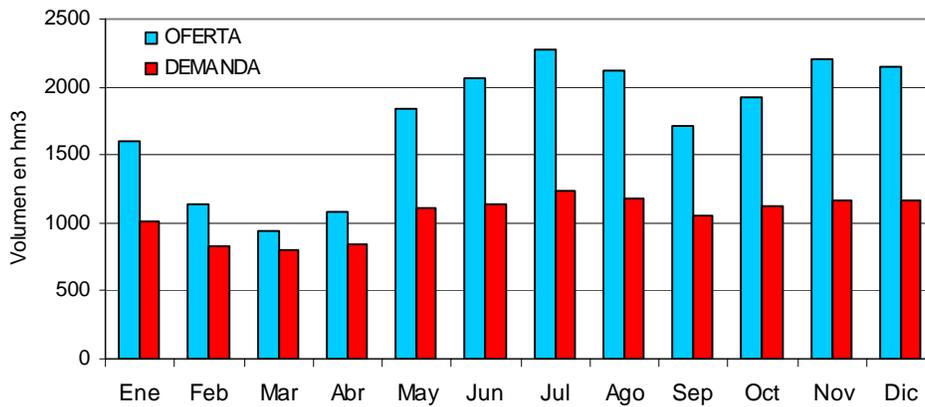
Gráfica 3.15. Oferta vs Demanda en la cuenca Reventazón.



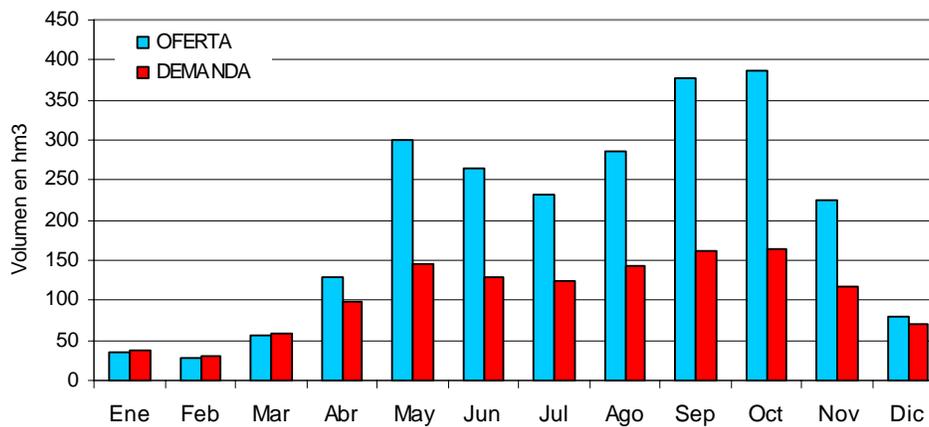
Gráfica 3.16. Oferta vs Demanda en la cuenca San Carlos Lago.



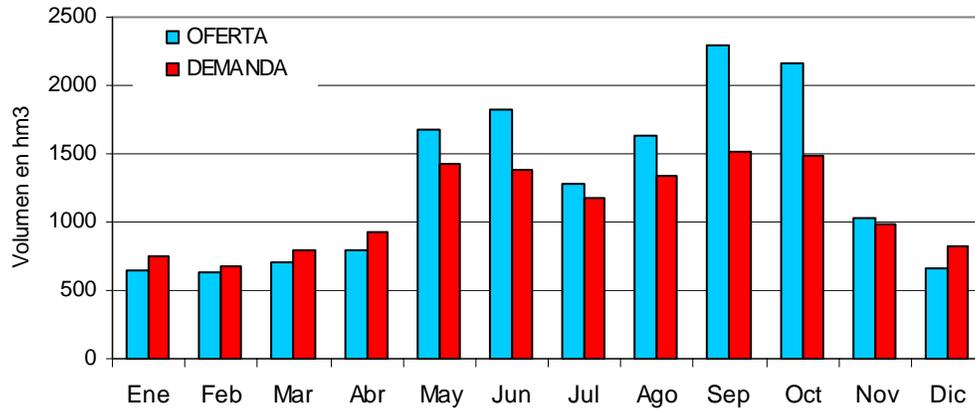
Gráfica 3.17. Oferta vs Demanda en la cuenca San Carlos 2.



Gráfica 3.18. Oferta vs Demanda en la cuenca Sarapiquí-Chirripó



Gráfica 3.19. Oferta vs Demanda en la cuenca Savegre.



Gráfica 3.20. Oferta vs Demanda en la cuenca Tempisque-Bebedero.

Las cuencas cuya demanda mensual supera a la oferta en grandes cantidades son las cuencas de San Carlos Lago, Tempisque-Bebedero y Tárcoles. En la figura 3.13, se presenta la relación Demanda/Oferta a nivel anual. Al presentar la cuenca propia del lago Arenal (San Carlos Lago) un valor mayor al 95% indica que no se genera el suficiente escurrimiento natural con respecto al volumen que se transfiere hacia la cuenca Tempisque-Bebedero, y que es utilizado primero, para abastecer de agua al complejo hidroeléctrico más importante del país, Arenal-Corobici-Sandillal y posteriormente para derivar agua al distrito de riego de mayor superficie del país, el DRAT. La cuenca Tempisque-Bebedero, es una cuenca en donde se presenta las precipitaciones más bajas del país (1743 mm) con una época seca muy marcada de diciembre a abril y con precipitaciones mensuales menores a los 50 mm, los escurrimientos naturales no son suficientes para satisfacer las demandas de agua, y si no le exportara agua la cuenca San Carlos Lago, difícilmente se regarían las superficies sembradas actualmente, las 30,000 ha, del DRAT.

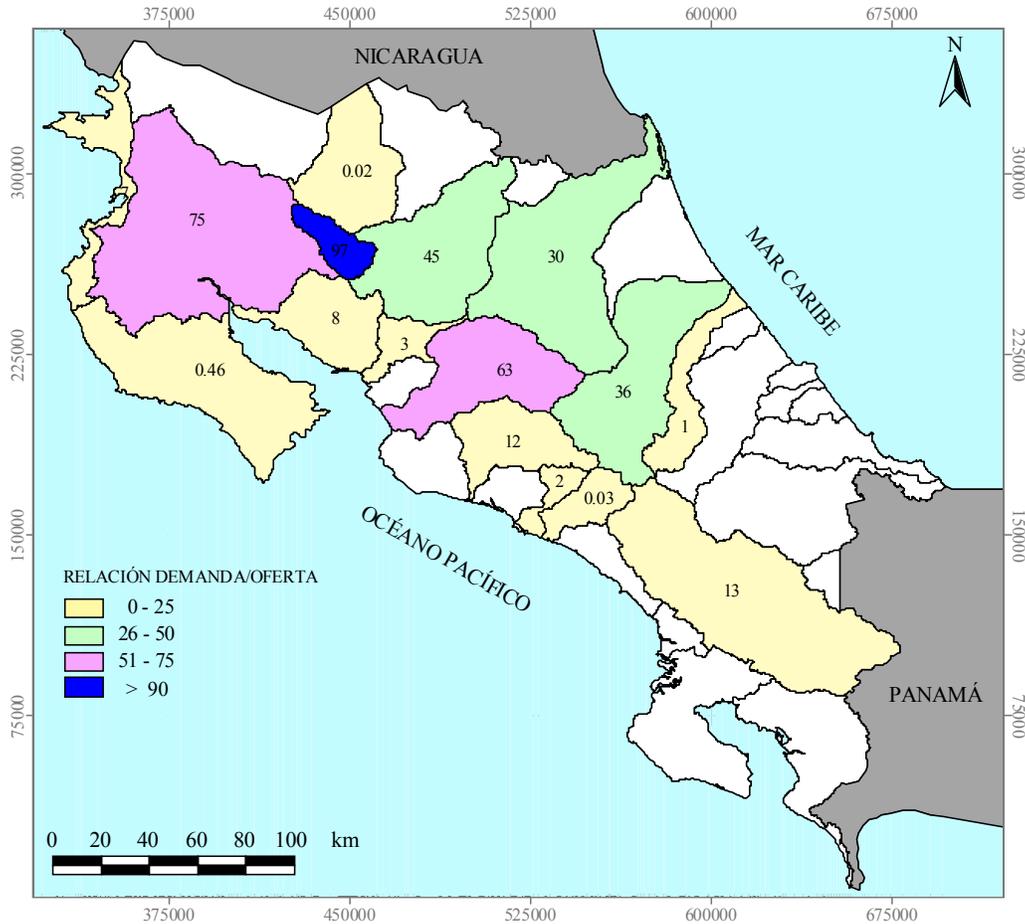


Figura 3.13. Relación media anual Demanda Potencial/Oferta Potencial, en %

De acuerdo con la figura 3.13, la cuenca Grande de Tárcoles presenta una relación D/O del 63%. En ésta cuenca se utiliza un gran volumen en la generación hidroeléctrica, el cual en su mayoría retorna al sistema. Es la cuenca que tiene la mayor demanda de agua para consumo humano ya que en ella se concentra el 51% de la población total del país. Si se toma en cuenta la disponibilidad en volumen (2,048 hm³/año) y el número de habitantes en la cuenca (1,959,579) se obtiene un capital hídrico de 1,045 m³/hab/año ó 2,864 l/hab/día; sin embargo los volúmenes para abastecer este uso provienen en un 94% de fuentes subterráneas y solamente el 6% de fuentes superficiales, lo que significa que la calidad del agua superficial no es la adecuada para satisfacer este uso.

Por otro lado, se tienen cuencas con demandas muy pequeñas, como es el caso de las cuencas Savegre, Frío, Barranca y Pacuare, en las que no representa ni el 5 % de la oferta potencial. Son cuencas vírgenes, poco pobladas, y consecuentemente con poca infraestructura hidráulica.

3.5 DISPONIBILIDAD DE AGUA SUPERFICIAL

En México por norma, la disponibilidad de agua superficial es el valor que resulta de la diferencia entre el volumen medio anual de escurrimiento de la cuenca hacia aguas abajo y el volumen anual actual comprometido aguas abajo (SEMARNAT, 2002); además por ley, la disponibilidad se debe revisar por lo menos cada tres años. El volumen anual comprometido aguas abajo es una variable que considera volúmenes correspondientes a reservas y conservación ecológica, entre otras; pero en cuencas interconectadas, además, de estas variables se incluye el volumen que se debe reservar para satisfacer las demandas de los usuarios ubicados en las cuencas bajas. Cuando la disponibilidad se calcula teniendo un sistema de cuencas interconectadas, la estimación se lleva a cabo en tres pasos: 1. Estimación del escurrimiento hacia aguas abajo. 2. Distribución de las demandas hacia aguas arriba, y 3. Estimación de la disponibilidad de agua superficial, CNA, 1998.

En Costa Rica, las 15 cuencas son de cabecera; es decir, no tienen aportación de escurrimiento desde aguas arriba, excepto la cuenca San Carlos 2 que recibe los volúmenes excedentes del embalse Arenal. Además, como no se estimó el balance hídrico en áreas más pequeñas (subcuencas) no se tienen áreas interconectadas; por lo tanto, la distribución de las demandas hacia aguas arriba, no fue estimada.

Las ecuaciones para obtener la disponibilidad de agua superficial en la cuenca propia (D_{xx}) y la disponibilidad a la salida del cauce principal (D_{xy}) quedan expresadas de la siguiente manera, donde todas las variables están expresadas en hm^3 :

$$D_{xx} = OP_x - VR_{xx} \quad (3.11)$$

$$D_{xy} = Ab - VR_{xy} \quad (3.12)$$

donde:

D_{xx} Disponibilidad por cuenca propia

D_{xy} Disponibilidad a la salida del cauce principal

Ab Volumen de escurrimiento hacia aguas abajo

OP_x Oferta potencial en la cuenca.

VR_{xx} Volúmenes reservados por cuenca propia. Como no se tiene interconexión entre cuencas, esta variable es igual a la demanda potencial.

VR_{xy} Volúmenes reservados aguas abajo (volúmenes asignados y concesionados, así como volúmenes correspondientes a la conservación ecológica).

Es importante mencionar que en la cuenca cerrada del lago Arenal (San Carlos Lago) se considera a la disponibilidad a la salida del cauce principal como la disponibilidad en el lago.

Los resultados de la disponibilidad anual de cada una de las cuencas se presentan en la tabla 3.41. En ella se puede apreciar que todas las cuencas, a nivel anual, tienen disponibilidad de agua; la oferta potencial es mayor a la demanda potencial, pero no hay que olvidar que la época de lluvia origina escurrimientos altos que ocultan periodos de escasez o déficit de agua, y esto se observa en las gráficas mensuales presentadas anteriormente, gráficas 3.6 a 3.21.

Tabla 3.42. Disponibilidad media por cuenca, en $\text{hm}^3/\text{año}$.

Cuenca		DISPONIBILIDAD					
		CUENCA PROPIA			A LA SALIDA		
ID_CR	Nombre	OP_x	VR_{xx}	D_{xx}	Ab_x	VR_{xy}	D_{xy}
78-21	Abangares	1065.25	87.10	978.15	978.15	0.00	978.15
80-22	Barranca	688.78	17.64	671.14	671.14	0.00	671.14
69-16	Frío	2676.91	0.52	2676.39	2676.39	0.00	2676.39
84-24	Grande de Tárcoles	5509.87	3461.71	2048.17	2048.17	0.00	2048.17
98-31	Grande de Terraba	6455.43	864.70	5590.73	5590.73	0.00	5590.73
92-28	Naranjo	750.71	13.59	737.12	737.12	0.00	737.12
75-08	Pacuare	1539.20	18.96	1520.24	1520.24	0.00	1520.24
88-26	Parrita	1526.77	176.30	1350.47	1350.47	0.00	1350.47
72-18	Pen. Nicoya a	191.89	12.78	179.10	179.10	0.00	179.10
	Pen. Nicoya b	1825.45	8.44	1817.01	1817.01	0.00	1817.01
73-09	Reventazón	7165.48	2612.30	4553.18	4553.18	0.00	4553.18
69-14	San Carlos Lago	1549.54	1509.16	40.37	-227.31	0.00	-227.31
	San Carlos 2	6674.24	3017.09	3657.15	3657.15	0.00	3657.15
69-12/ 69-11	Sarapiquí- Chirripó	11805.45	3520.86	8284.59	8284.59	0.00	8284.59
94-29	Savegre	1118.50	0.28	1118.22	1118.22	0.00	1118.22
74-19/ 76-20	Tempisque- Bebedero	8052.22	6010.42	2041.80	2041.80	0.00	2041.80

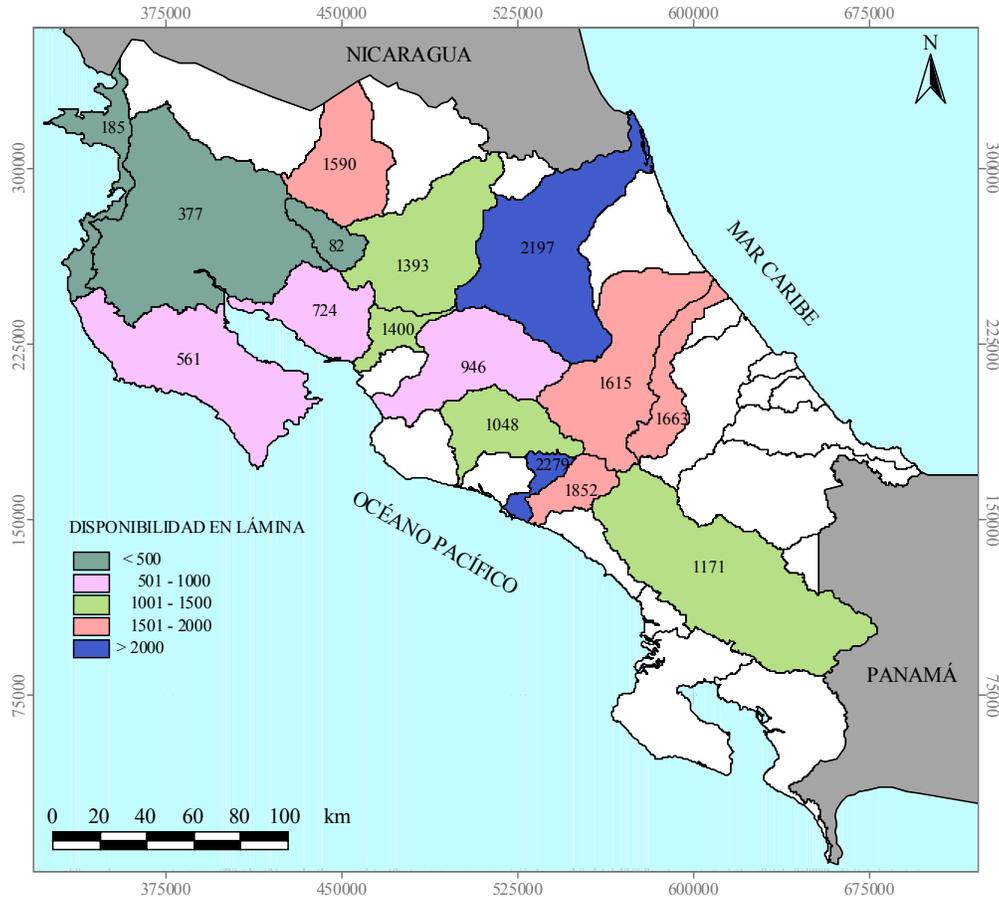


Figura 3.14. Disponibilidad media anual en lámina, en mm.

En la figura 3.14 se presenta la disponibilidad en lámina (mm) y se observa que las cuencas con mayor disponibilidad en la vertiente del Caribe son las de Sarapiquí-Chirripó (2,197 mm) y Pacuare (1,663 mm). En la vertiente del Pacífico las de mayor disponibilidad son las de Naranjo (2,279 mm) y Savegre (1,852 mm) y las de menor disponibilidad se ubican en la provincia de Guanacaste, y son: la cuenca propia del lago Arenal (San Carlos Lago) con 82 mm y la Península de Nicoya *a* con 185 mm.

Finalmente, en las figuras de 3.15 a 3.26 se presentan los mapas de la disponibilidad mensual en las 15 cuencas de estudio en unidades de volumen (hm^3). En dichos mapas el color amarillo indica agua limitada, ya que toda la oferta de agua está siendo utilizada; y el color azul indica que hay disponibilidad de agua. Los meses con menor disponibilidad son los de diciembre a abril y los de mayor disponibilidad de agosto a octubre. En la tabla 3.42 se presentan los valores de la disponibilidad mensual en la cuenca Grande de Tárcoles; en dicha tabla, el valor negativo indica una disponibilidad limitada. Las tablas del resto de las cuencas se presentan en el Anexo F.

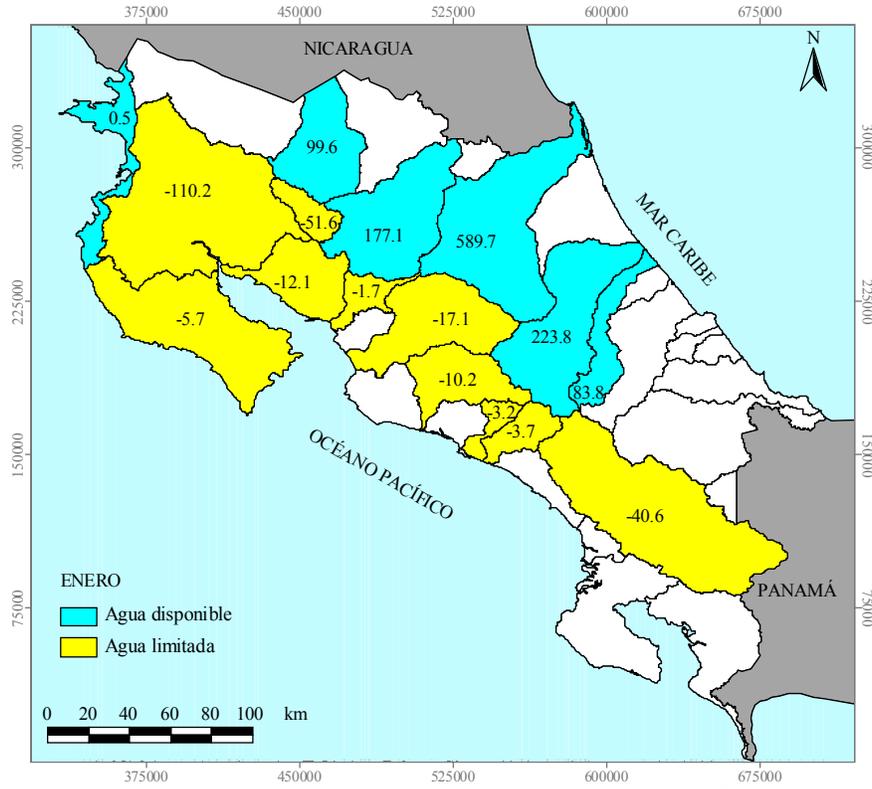


Figura 3.15. Disponibilidad en enero, en hm³

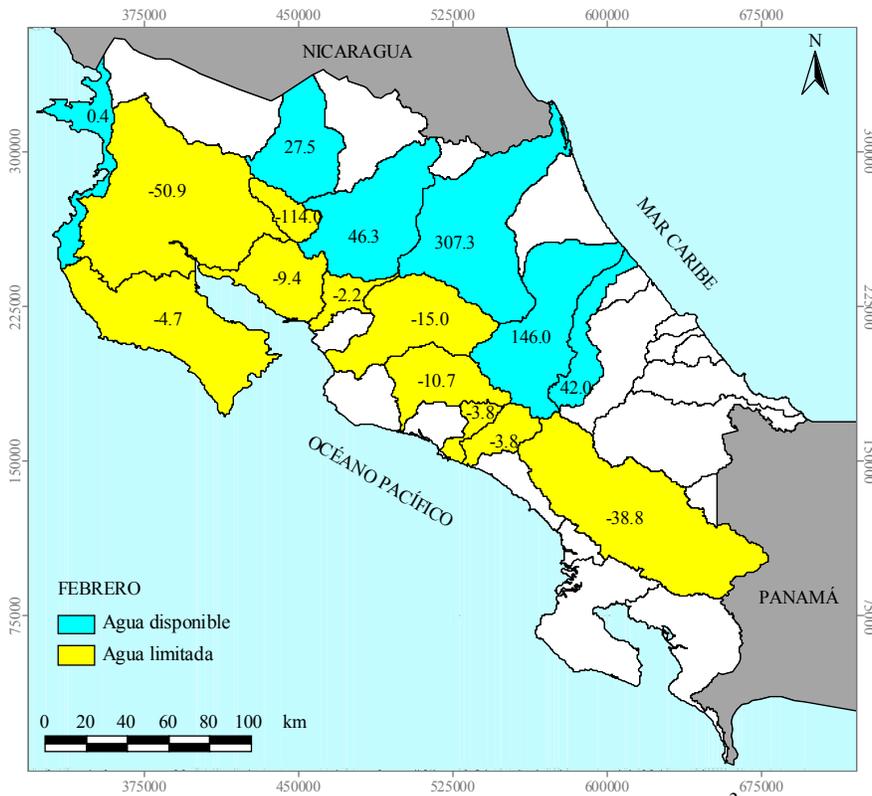


Figura 3.16. Disponibilidad en febrero, en hm³

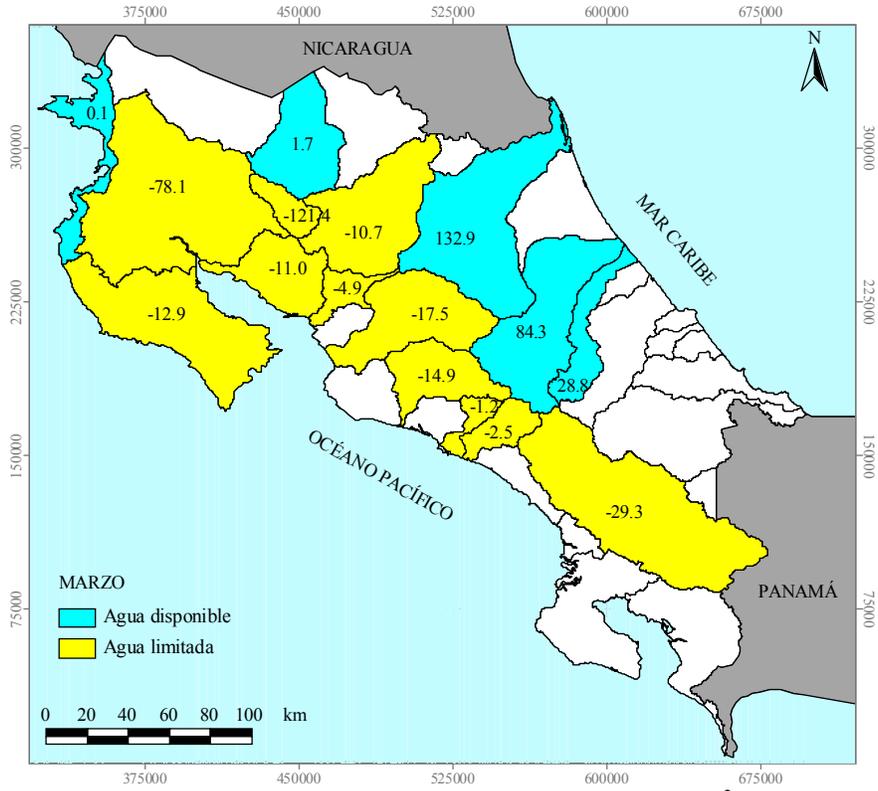


Figura 3.17. Disponibilidad en marzo, en hm^3

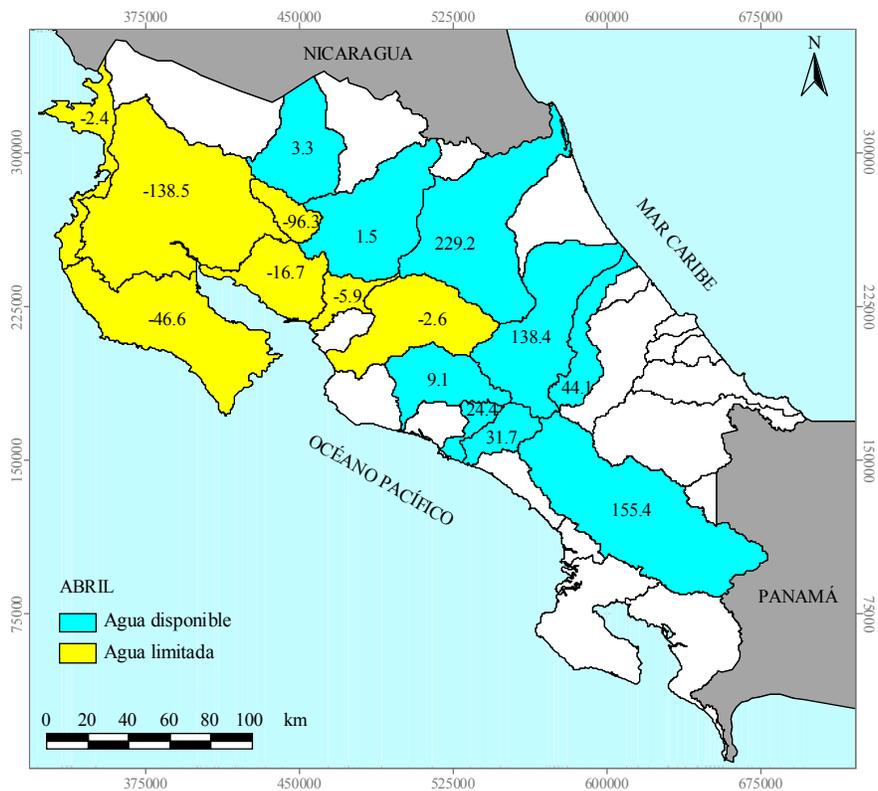


Figura 3.18. Disponibilidad en abril, en hm^3

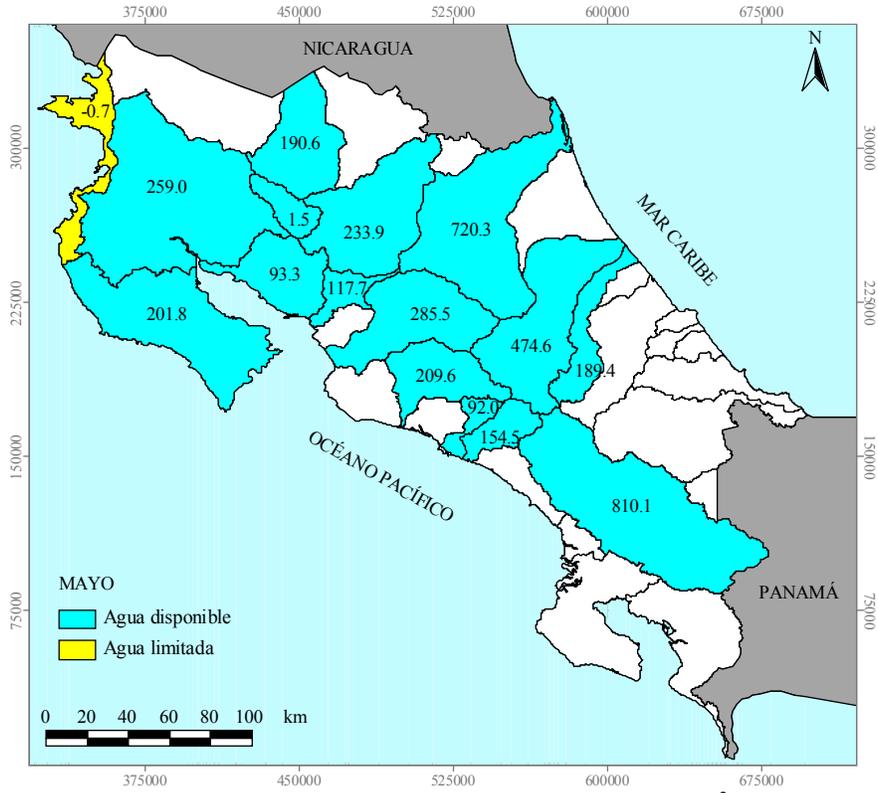


Figura 3.19. Disponibilidad en mayo, en hm^3

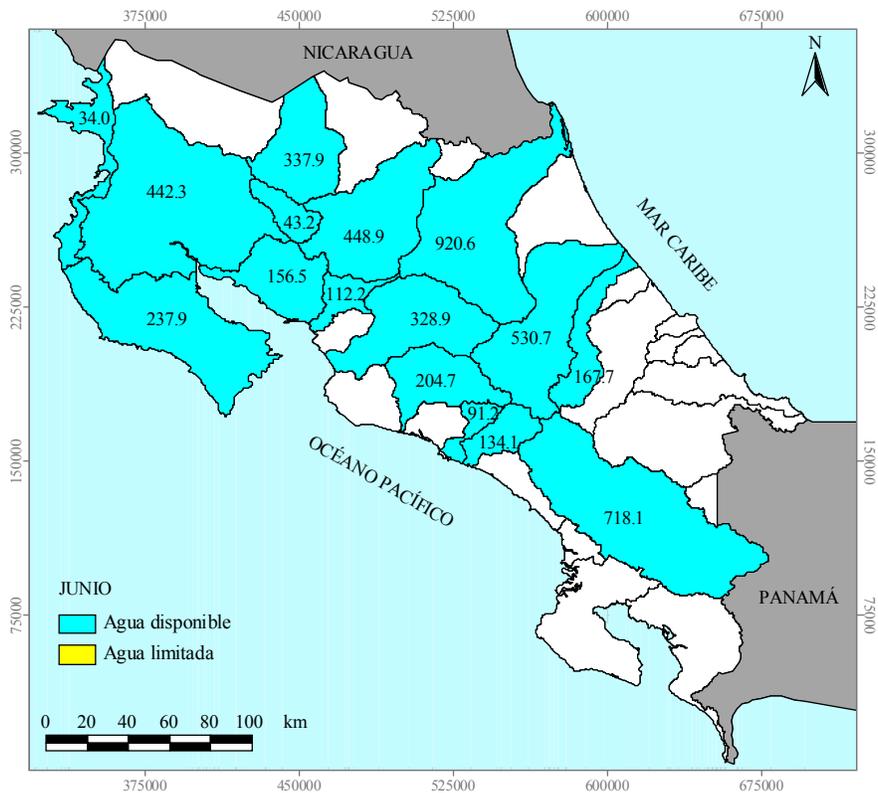


Figura 3.20. Disponibilidad en junio, en hm^3

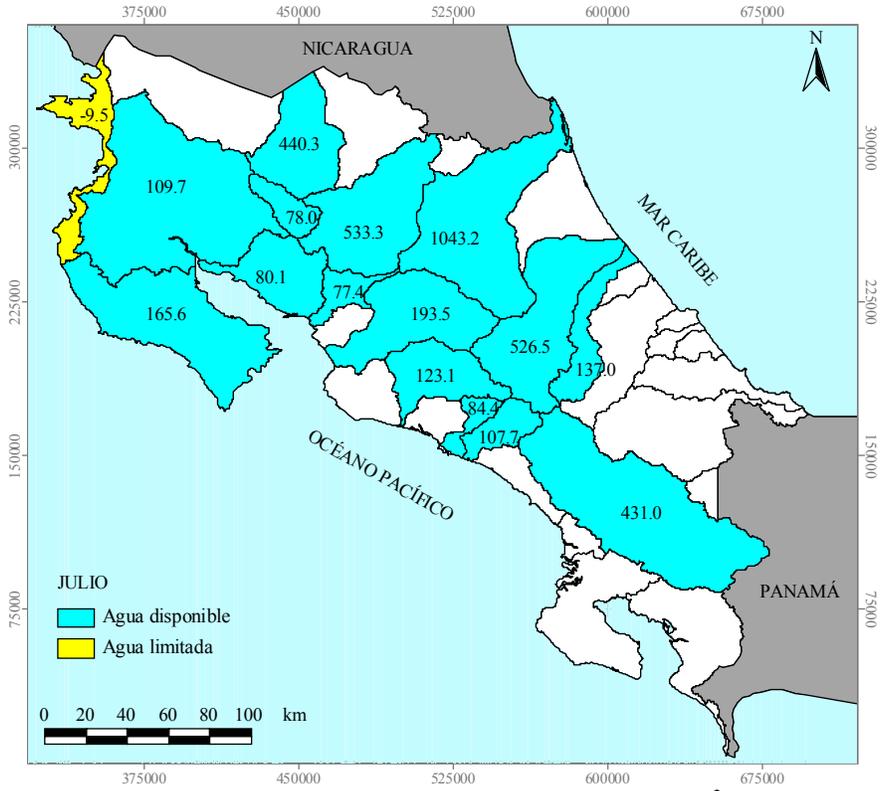


Figura 3.21. Disponibilidad en julio, en hm^3

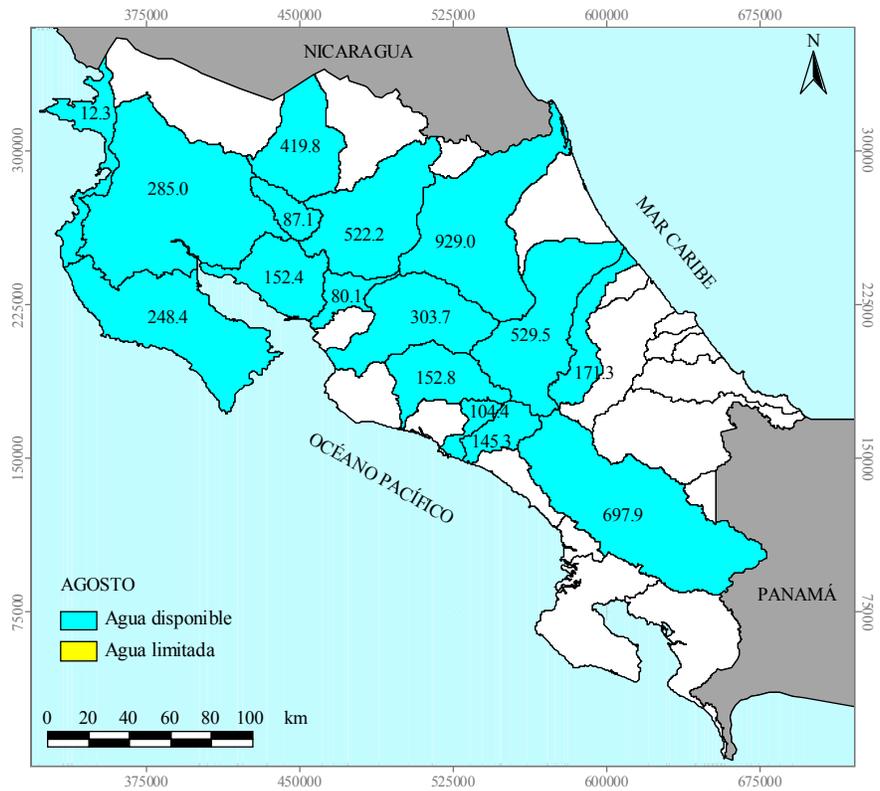


Figura 3.22. Disponibilidad en agosto, en hm^3

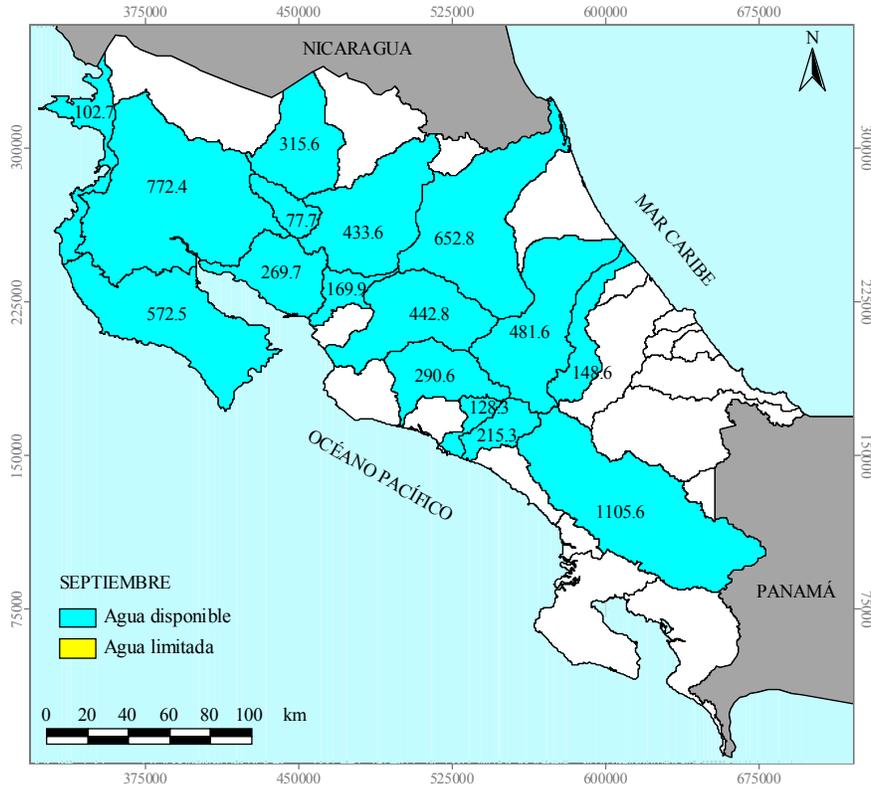


Figura 3.23. Disponibilidad en septiembre, en hm^3

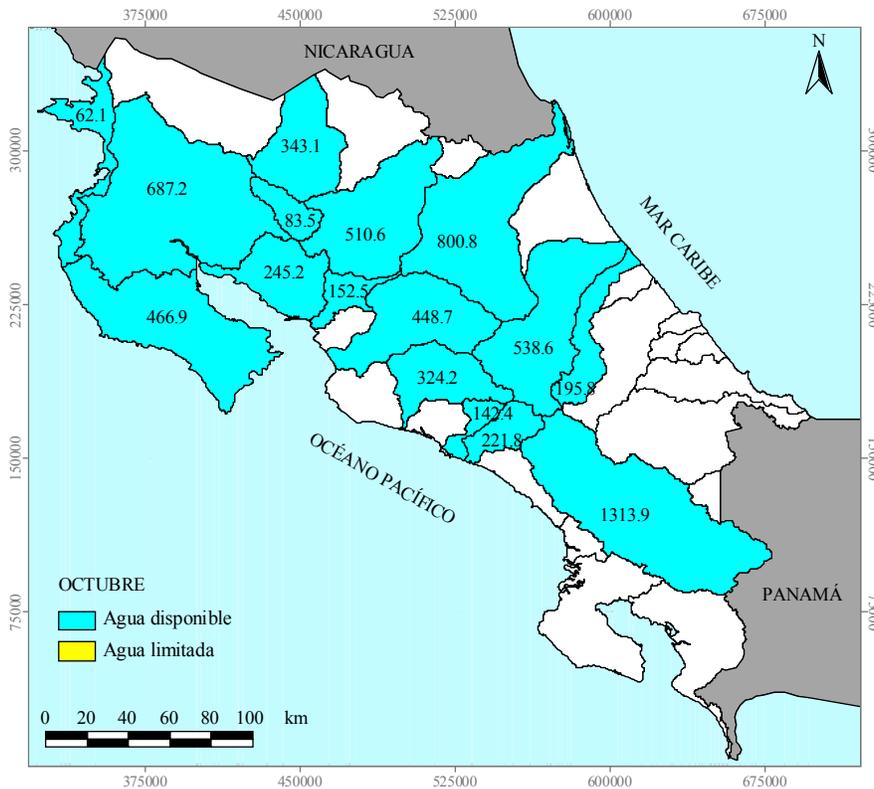


Figura 3.24. Disponibilidad en octubre, en hm^3

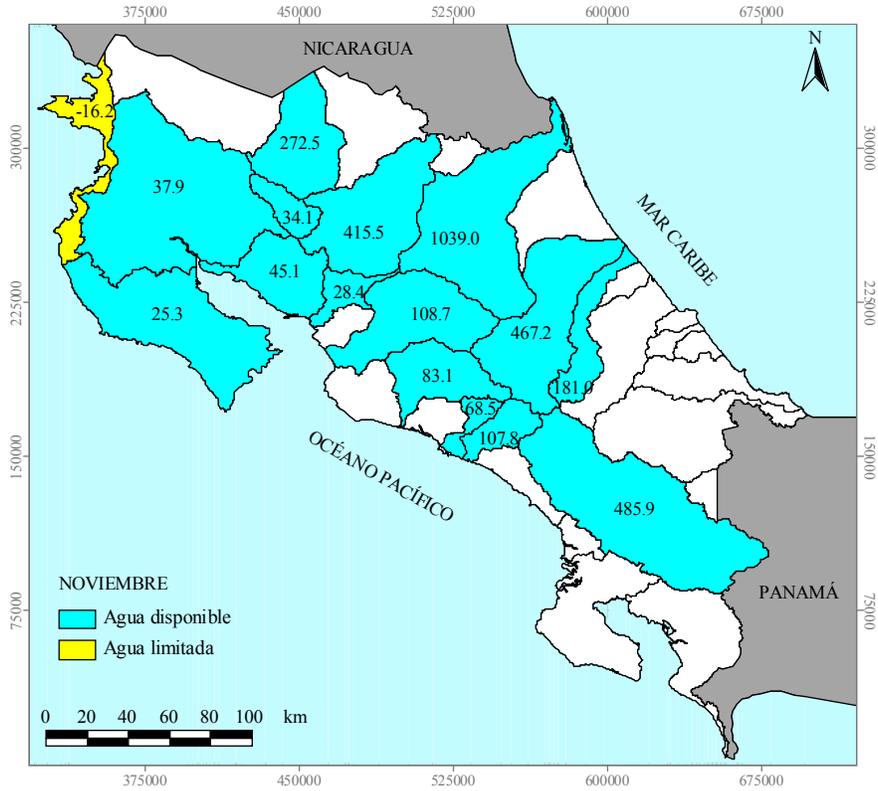


Figura 3.25. Disponibilidad en noviembre, en hm^3

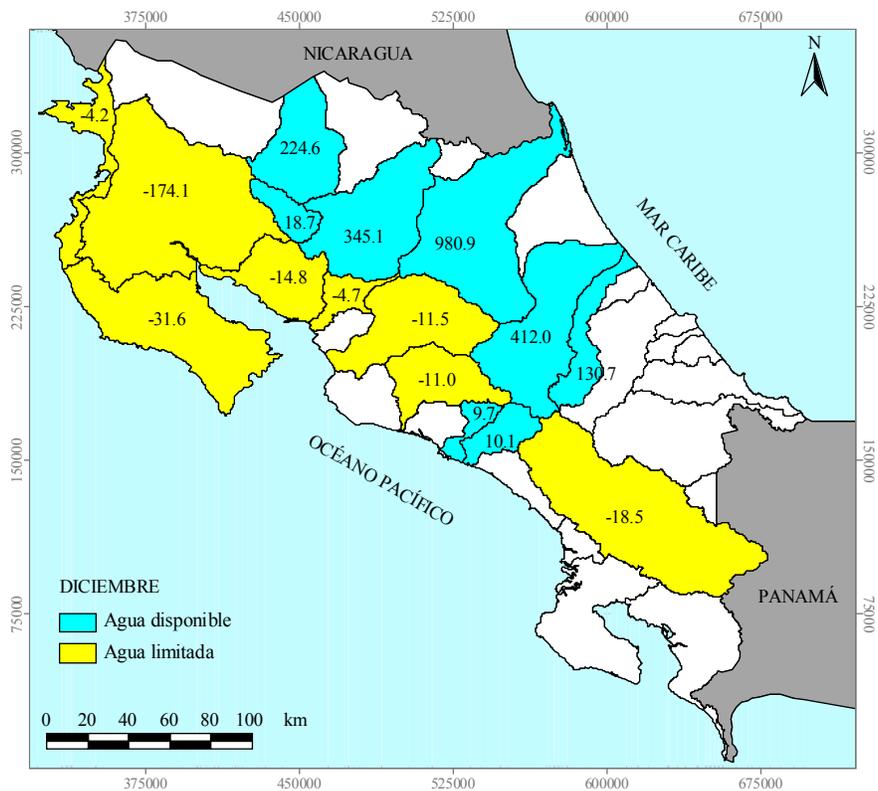


Figura 3.26. Disponibilidad en diciembre, en hm^3

Tabla 3.43. Disponibilidad mensual en la cuenca Grande de Tárcoles, en hm³.

Mes	OFERTA POTENCIAL						DEMANDA POTENCIAL						Ab	VOLUMEN RESERVADO		DISPONIBILIDAD					
	Cp	Im	Re	Vman	B	Total	Ev	Ex	Uc	f	VRxy	Total		VRxx	VRxy	CUENCA PROPIA			A LA SALIDA		
																OPx	VRxx	Dxx	Abx	VRxy	Dxy
Enero	-6.04	5.37	250.70	7.99	6.28	264.29	0.00	0.00	279.00	2.43	0.00	281.43	-17.13	281.43	0.00	264.29	281.43	-17.13	-17.13	0.00	-17.13
Febrero	-5.29	4.85	216.96	7.23	5.68	229.43	0.00	0.00	242.21	2.19	0.00	244.40	-14.97	244.40	0.00	229.43	244.40	-14.97	-14.97	0.00	-14.97
Marzo	-7.26	5.37	229.90	8.00	6.27	242.29	0.00	0.00	257.40	2.43	0.00	259.83	-17.55	259.83	0.00	242.29	259.83	-17.55	-17.55	0.00	-17.55
Abril	6.85	5.20	219.83	7.67	6.02	245.57	0.00	0.00	245.83	2.35	0.00	248.18	-2.61	248.18	0.00	245.57	248.18	-2.61	-2.61	0.00	-2.61
Mayo	295.24	5.37	248.36	7.85	5.95	562.76	0.00	0.00	274.84	2.43	0.00	277.27	285.50	277.27	0.00	562.76	277.27	285.50	285.50	0.00	285.50
Junio	336.64	5.20	261.11	7.43	5.65	616.03	0.00	0.00	284.81	2.35	0.00	287.16	328.87	287.16	0.00	616.03	287.16	328.87	328.87	0.00	328.87
Julio	201.33	5.37	266.48	7.67	5.85	486.71	0.00	0.00	290.74	2.43	0.00	293.17	193.54	293.17	0.00	486.71	293.17	193.54	193.54	0.00	193.54
Agosto	311.98	5.37	276.14	7.67	5.84	607.00	0.00	0.00	300.86	2.43	0.00	303.29	303.71	303.29	0.00	607.00	303.29	303.71	303.71	0.00	303.71
Septiembre	451.68	5.20	283.22	7.50	5.67	753.26	0.00	0.00	308.06	2.35	0.00	310.41	442.85	310.41	0.00	753.26	310.41	442.85	442.85	0.00	442.85
Octubre	458.65	5.37	307.01	7.75	5.87	784.66	0.00	0.00	333.52	2.43	0.00	335.95	448.70	335.95	0.00	784.66	335.95	448.70	448.70	0.00	448.70
Noviembre	119.56	5.20	286.44	7.59	5.80	424.58	0.00	0.00	313.51	2.35	0.00	315.86	108.72	315.86	0.00	424.58	315.86	108.72	108.72	0.00	108.72
Diciembre	-0.06	5.37	273.83	7.95	6.18	293.27	0.00	0.00	302.31	2.43	0.00	304.74	-11.46	304.74	0.00	293.27	304.74	-11.46	-11.46	0.00	-11.46

4 SITUACIÓN DEL AGUA SUBTERRÁNEA

En Costa Rica el abastecimiento de agua para el consumo humano, agropecuario, industrial, turístico y otros, depende cada día más de las fuentes subterráneas, debido entre otras causas a la contaminación y a la disminución de caudales de las fuentes superficiales.

Considerando la información presentada en Vargas, 2006, en Costa Rica existen 58 acuíferos, los cuales, de acuerdo con su origen geológico y localización; 34 son costeros, 9 volcánicos continentales y 15 sedimentarios continentales, figura 4.1. En la tabla 4.1 se presentan algunas características de los acuíferos.

Tomando como base el límite de cada cuenca hidrológica en la zona de estudio existen 49 acuíferos de los cuales: 27 son costeros, 13 sedimentarios y 9 volcánicos.

4.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS ACUÍFEROS

Algunas de las características de los acuíferos más destacados, de acuerdo con la información consultada (*p.e.*, Echandi, 1981; Arredondo, 1995 y Vargas, 2006) se presentan a continuación:

Acuíferos Costeros

Es el grupo más amplio de acuíferos y la mayor parte se encuentra en el litoral del Pacífico (figura 4.1). Según Vargas, 2006 los acuíferos más explotados son Barranca-El Roble, Palmar Norte y Ciudad Neilly entre otros. En la costa del Caribe el número de acuíferos es menor, debido a la menor longitud de la costa y a las condiciones geológicas en esa zona.

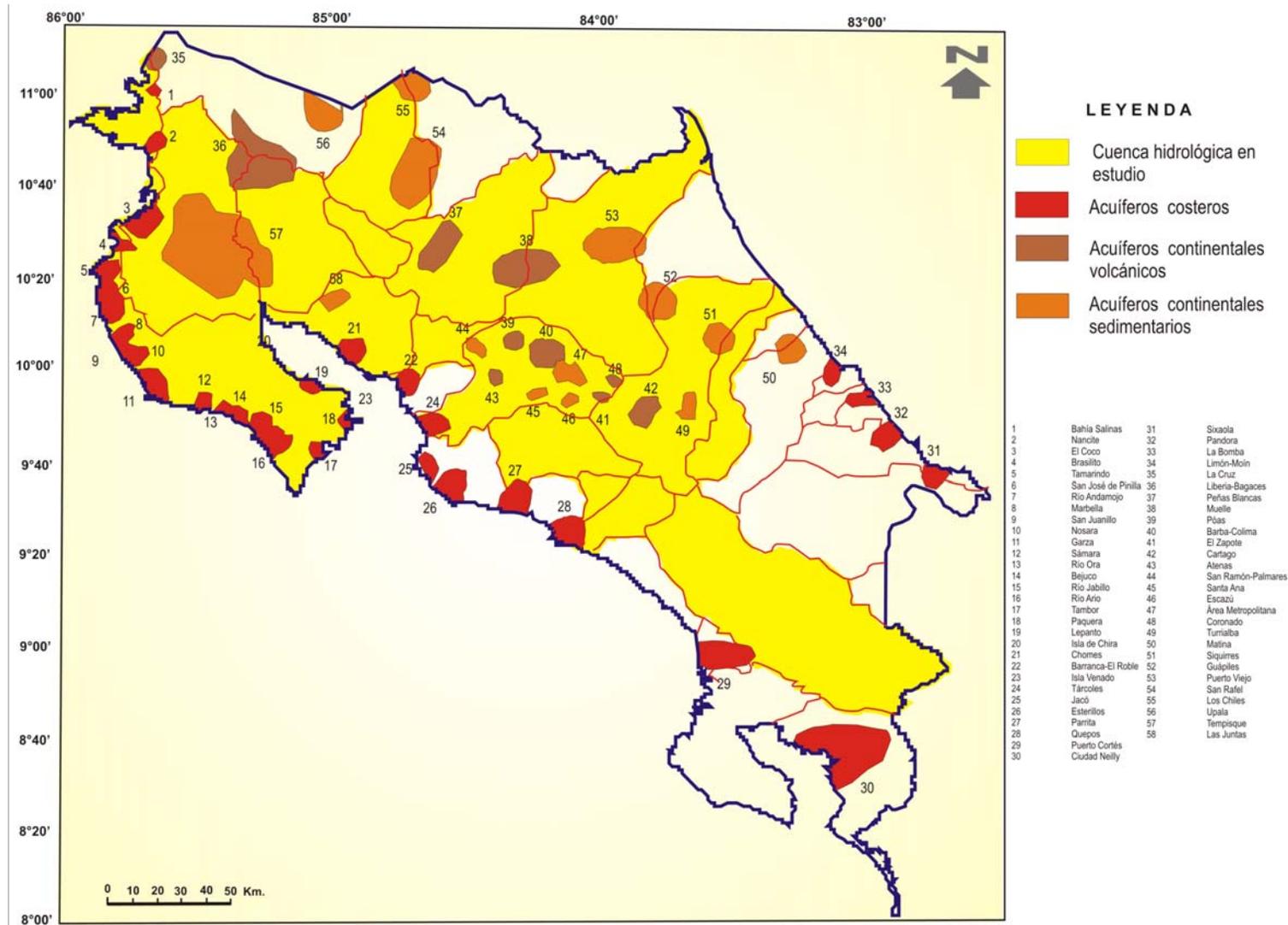


Figura 4.1 Localización de acuíferos.
Fuente: Modificado de Vargas, 2006.

Tabla 4.1. Características de los acuíferos de Costa Rica.

Tipo	Acuíferos		Caudal Promedio (lps)	Espesor Promedio (m)
	Núm.	Nombre		
Costeros	1	Bahía Salinas	0.3-12	15
	2	Nancite	1-5	10
	3	El Coco	1-5	20
	4	Brasilito	0.5	10
	5	Tamarindo	2-6	10
	6	San José de Pinilla	1-5	10
	7	Río Andamojo	1-5	20
	8	Marbella	1-5	10
	9	San Juanillo	2-5	20
	10	Nosara	9	15
	11	Garza	1-5	10
	12	Sámara	1	10
	13	Río Ora	1-5	15
	14	Bejuco	1-5	25
	15	Río Jabillo	1-5	10
	16	Río Ario	1-5	15
	17	Tambor	1-5	20
	18	Paquera	1-5	20
	19	Lepanto	1-10	30
	20	Isla de Chira	1-5	10
	21	Chomes	1-5	20
	22	Barranca-El Roble	10-30	50
	23	Isla Venado	1-3	5
	24	Tárcoles	1-10	15
	25	Jacó	1-10	15
	26	Esterillos	1-10	15
	27	Parrita	1-10	20
	28	Quepos	1-5	25
Costeros	29	Puerto Cortés	5-25	20
	30	Ciudad Neilly	2-20	30
	31	Sixaola	10	12
	32	Pandora	1.5	25
	33	La Bomba	100	20
	34	Limón-Moín	3-100	30
Volcánicos Continentales	35	La Cruz	1-5	50
	36	Liberia-Bagaces	1-40	70
	37	Peñas Blancas	10	5
	38	Muelle	1-5	10
	39	Póas	2-6	60
	40	Barba-Colima	100	200
	41	El Zapote	75	100
	42	Cartago	1-15	65
	43	Atenas	1-7	15
Sedimentarios Continentales	44	San Ramón-Palmare	0.2-3	25
	45	Santa Ana	<10	20
	46	Escazú	<10	20
	47	Área Metropolitana	0.2-5	20
	48	Coronado	1-5	10
	49	Turrialba	1-10	25
	50	Matina	1-10	30
	51	Siquirres	15	15
	52	Guápiles	5	30
	53	Puerto Viejo	5	10
	54	San Rafael	1-5	15
	55	Los Chiles	1-6	15
	56	Upala	1-5	40
	57	Tempisque	20-100	30
	58	Las Juntas	2-5	15

Fuente: Vargas, 2006.

Acuífero de Barranca-El Roble (22).

Se encuentra conformado por depósitos aluviales del río Barranca y, en menor proporción, del río Naranjo, Arredondo, 1995. Sus límites exactos no han sido definidos aún, sin embargo, se conoce de su existencia en Barranca, El Roble, Hacienda El Mango, Finca Socorrito y Chacarita, Vargas, 2006.

La profundidad del nivel del agua fluctúa entre 0.5 y 2.5 m debido a cambios estacionales y a las fluctuaciones de las mareas. La recarga es por infiltración de lluvia y por flujo lateral, Arredondo, 1995.

Ciertamente la diferencia entre los acuíferos Barranca y El Roble, que se hace en la literatura hidrogeológica costarricense, es por que éste último es más limo-arcilloso, la realidad es que es un acuífero granular multicapa, con características hidráulicas diferentes pero conectados entre sí.

Vargas, 2006, señala que el acuífero Barranca es el más productivo y alcanza su mayor desarrollo entre el río Barranca, El Chaguite y El Roble; el flujo en éste tiene una pendiente suave hacia el suroeste por lo que descarga hacia el mar. En tanto, el acuífero El Roble se extiende desde el suroeste del río Barranca hacia el río Carrizal, se establece a una profundidad de entre 33 y 54 m, con espesores que oscilan entre 6 y 9 m; el nivel del agua tiene un declive de 3 por mil y está sujeto a las fluctuaciones de las mareas.

En la tabla 4.1 se indica el espesor promedio de estos acuíferos y el caudal promedio que suele aportar cada fuente de abastecimiento. Los citados acuíferos abastecen a más del 50% del área Gran Puntarenas, que incluye a las localidades de Chacarita, Angostura, Barranca, El Roble y la ciudad de Puntarenas, Arredondo, 1995.

Acuífero La Bomba (33).

El depósito aluvial del río Banano da origen al acuífero La Bomba. El cual cuenta con una superficie de 7 km² en la margen izquierda del río y un espesor de 20 m. Cabe señalar que los cambios laterales y verticales, en tiempo y espacio, de los depósitos en el cauce, originan una diversidad de conductividad hidráulica; no obstante, en pozos cercanos a La Bomba producen un promedio de 100 l/s para abastecer a Puerto Limón. La mayor recarga al acuífero ocurre por la infiltración del agua por el lecho del río, ONU, 1973 en Vargas, 2006.

Acuífero de Limón-Moín (34).

Conformado por depósitos arenosos y conglomeráticos al oeste de Limón, se tiene el acuífero homónimo, de limitada productividad y de baja calidad ONU, 1973 en Vargas, 2006. Las calizas coralinas expuestas entre el empalme de Moín y la carretera de Santa Rosa, al oeste de Limón, constituyen el acuífero de Moín, el cual aflora en un área de 5 km² y en una sección de 2 km² en la cabecera del río Bartola. Debido a la altitud, las lluvias son la mayor fuente de recarga. El caudal promedio aportado por cada fuente de abastecimiento, así como el espesor medio de este acuífero, se indican en la tabla 4.1.

Acuíferos Continentales Volcánicos.

De acuerdo con Vargas, 2006 son los acuíferos con una explotación intensiva en Costa Rica, entre los que destacan Colima, Barba, Poás y Cartago.

Acuíferos Liberia-Bagaces (36).

Constituido por tobas, el acuífero Liberia se recarga parcialmente por el flujo de agua subterránea proveniente de la cordillera de Guanacaste. Si bien éste acuífero está separado por el de Bagaces por un paleosuelo, en algunos sitios existe una conexión hidráulica, Vargas, 2006.

En el acuífero Liberia se tienen pozos de hasta 65 m de profundidad que extraen caudales de 1.5 l/s; mientras que el acuífero Bagaces, uno de los más prolíficos, se ubica al norte de Liberia en una franja de 20 km de ancho con profundidades que varían entre 40 y 200 m, Losilla *et al.*, 2001; el caudal promedio aportado por cada fuente de abastecimiento, así como el espesor medio de este acuífero, se indican en la tabla 4.1.

Acuífero Poás (39).

Geográficamente abarca los poblados de Grecia, Poás, Santa Gertrudis Sur y Norte, Tacares y San Roque, entre otros. Está conformado por varias litologías: la unidad superior incluye lapillos, cenizas volcánicas, bombas y bloques poco consolidados; la unidad intermedia consiste de tobas e ignimbritas y la unidad inferior, por lavas andesíticas.

La descarga de agua subterránea de la unidad superior origina los manantiales Poasito, la Chayotera y Guatusa, que abastecen de agua a gran parte de la ciudad de Alajuela; mientras que la descarga de agua subterránea de las lavas de la unidad inferior origina los manantiales Los Chorros, Trapiches y Carolandia. El caudal promedio aportado por cada fuente de abastecimiento, así como el espesor medio de este acuífero, se indican en la tabla 4.1.

Acuífero Colima (40A).

La Formación Colima incluye los miembros Belén, Ignimbrita Puente de Mulas y Linda Vista. Identifica aproximadamente 7 coladas de lavas andesíticas de 10 a 30 metros de espesor que afloran en los profundos valles de los ríos Virilla y Tiribí, así como en gran parte de las perforaciones que se han realizado en el Valle Central, Denyer y Arias, 1991. El espesor total de la Formación es de casi 100 m y su volumen es de por lo menos 35 km³. De acuerdo con Echandi, 1981 y Arredondo, 1995, esta unidad geológica puede dividirse en tres unidades hidrogeológicas, cuyas características son:

Miembro Belén. Está formado por varias coladas de lava andesíticas, separadas entre sí por mantos de toba lítica que actúan como un acuitardo separando los acuíferos. Las capas de lava presentan permeabilidad por fracturas o por sus características brechosas; solamente se conocen bien las dos capas lávicas superiores. Albergan al *Acuífero Colima Inferior*, con producciones por pozo de hasta 60 l/s y de manantiales de hasta 300 l/s en el cañón del río Virilla.

Por otro lado, Reynolds y Fraile, 2002, señalan que no existe un conocimiento preciso del volumen de agua disponible en cada uno de los acuíferos del Valle Central, ni se conocen de manera detallada sus zonas de recarga; asimismo, indican que, según el BGS–SENARA 1988 en Reynolds y Fraile, 2002, los acuíferos Colima están siendo utilizados en un 40% de su capacidad potencial; mientras que, según Vargas, 1996, establece que sólo es captado el 16 por ciento.

Miembro Puente Mulas. Constituido por tobas e ignimbritas con estructuras columnares, con un espesor máximo conocido de 38 m; presenta una moderada percolación vertical, no obstante, también actúa como capa confinante en algunas áreas. Debido a sus características litológicas, este Miembro es considerado como un acuitardo que separa a los acuíferos Colima Superior e Inferior. Los espesores obtenidos por medio de perforaciones varían en un rango de 13 a 22 metros. Aflora en Electriona, Puente de Mulas y los manantiales de Guachipelín.

Miembro Linda Vista. Es el miembro superior de la Formación Colima y se encuentra extendido en gran parte por el Valle Central. Aflora en la margen derecha del río Virilla, en los manantiales de Guachipelín y túneles de Puente Mulas. Formado por dos capas lávicas de composición andesítica fracturada, separados por una capa fina de toba meteorizada (10 cm de espesor aproximadamente) que actúa como acuitardo. La capa superior posee unos 110 m de espesor promedio en el que se ubica el acuífero colgado *La Libertad* que origina manantiales de 100 l/s, éste acuífero da origen a los manantiales del mismo nombre en el cañón del río Virilla, son lavas y brechas con un espesor promedio entre 75 y 90 m, Losilla *et al.*, 2001.

La capa inferior de este miembro con un espesor máximo de 55 m, alberga al acuífero *Colima Superior* de gran extensión y alta productividad (hasta 100 l/s con poco abatimiento) cuya permeabilidad se presenta en fisuras y partes brechosas, Vargas, 2006. Está compuesto por una colada de lava andesítico basáltica. Su recarga se da por el proceso de recarga directa producto de la infiltración del agua de lluvia y por la percolación vertical producida por el agua aportada por el acuífero Barba, a través de la formación Tiribí, Arredondo, 1995 y Losilla *et al.*, 2001.

Las características hidráulicas del Acuífero Colima, en conjunto, son: transmisividad de 500 a 5,000 m²/día y coeficiente de almacenamiento entre 1.5×10^{-3} a 0.1, Ramírez y Alfaro, 2002.

Acuífero Barba (40B).

Incluye varias coladas y depósitos piroclásticos que se originaron en la Cordillera Volcánica Central. Forman parte del Grupo Volcánico Central y han sido incluidas dentro de la Formación Lavas post-Avalancha y otros nombres usados para las coladas más meridionales, como la Colada de Cebadilla. Constituida por coladas de lavas andesíticas y andesito-basálticas con espesores que van desde 10 metros hasta 80 metros con intercalaciones de aproximadamente 10 metros de ceniza y ocasionalmente lapillo, Denyer y Arias, 1991.

De acuerdo con Echandi, 1981 y Arredondo, 1995, esta formación se puede dividir en las siguientes cuatro unidades hidrogeológicas:

Miembro Bermúdez. Son lavas andesíticas fracturadas, que se conocen como el *acuífero Barba Inferior*. Descarga parcialmente en numerosos manantiales que abastecen en gran parte a la ciudad de Heredia y a la mayoría de las poblaciones de la zona norte del río Virilla. La alta permeabilidad es debida principalmente a las fisuras y en las partes brechosas, los pozos pueden producir hasta 20 l/s. El espesor es muy variable desde 29 hasta 41 metros.

Miembros Porrosatí y Carbonal. Constituidos por arenas volcánicas gruesas y tobas arcillosas meteorizadas. Forman acuitardos de gran extensión donde subyacen los acuíferos locales Barba Superior y en algunos sectores afloran directamente cubriendo sólo al acuífero Barba Inferior.

Miembros Los Angeles y Bambinos. Comprenden coladas de lava superiores que forman acuíferos discontinuos, colgados y de poca extensión, conocidos como *acuífero Barba Superior*. Cuenta con una alta permeabilidad secundaria debido a las fisuras y a la estructura brechosa. La recarga es debida a la infiltración de lluvia en las partes altas del volcán Barba y en los lechos de los ríos. Son comunes los manantiales en la base, Losilla *et al.*, 2001.

Miembro Cráter. Constituido por piroclastos recientes, que cubren parcialmente el *acuífero de Barba Superior*. Presenta espesores menores de 10 m y una capacidad moderada de infiltración.

Las características hidráulicas del Acuífero Barba, en conjunto, son: permeabilidad, de 1 a 10 m/día; transmisividad, de 10 a 500 m²/día y un coeficiente de almacenamiento de 0.1, Ramírez y Alfaro, 2002.

Acuífero Cartago (42).

Las rocas volcano-sedimentarias que ocupan la porción sur y oeste, así como el basamento del área de Cartago cuentan con una permeabilidad media a baja. En tanto, las rocas volcánicas que ocupan la parte norte y este, presentan una buena permeabilidad en lavas y de mediana a baja en los depósitos de ceniza. Los depósitos aluviales, ubicados en el centro de la citada área, muestran una permeabilidad de media a baja en función de la granulometría y de la cantidad de matriz limoso. Los niveles freáticos tienen una conformación similar con la topografía de la región, cuya dirección de flujo tiende hacia el río Aguacaliente. La principal fuente de recarga es la infiltración de agua de lluvia y el flujo lateral proveniente de los ríos, como por ejemplo, del río Reventado. El caudal promedio aportado por cada fuente de abastecimiento, así como el espesor medio de este acuífero, se indican en la Tabla 1.

Acuíferos Continentales Sedimentarios.

Ubicados en la porción centro-septentrional de Costa Rica, están constituidos por depósitos aluviales (gravas y arenas) que sobreyacen a lavas o bien, están intercalados con arcillas.

Acuífero Tempisque (57).

Está conformado por depósitos aluviales, los cuales muestran una gradación en función de las características topográficas de la región, es decir, al pie de la montañas se tienen gravas y arenas, en la porción media del valle se tienen arenas medianas y finas; mientras que en la porción baja se cuenta con arenas finas y arcillas.

Los niveles de agua subterránea fluctúan regularmente, iniciando su ascenso en el mes de junio hasta alcanzar su máximo en el mes de octubre. La fluctuación promedio de los niveles freáticos es del orden de los 8 m en los bordes y de 4 m en el centro, Vargas, 2006. El caudal promedio aportado por cada fuente de abastecimiento, así como su espesor medio, se indican en la tabla 4.1.

4.2 CALIDAD DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS

En el caso de las fuentes subterráneas existen zonas con altos contenidos de hierro y manganeso como Sixaola, Guácimo y Matina, entre otras, Arias *et al.*, 2006. Además, hay zonas costeras con aguas duras que, aunque no sobrepasan los valores permisibles, se caracterizan por ser incrustantes; entre estas zonas se puede citar a Nicoya, Nandayure, Santa Cruz, Ciudad Neilly, Limón y Puntarenas Centro. En otro tópico, en algunos acueductos de la Meseta Central existen aguas con poca dureza o blandas, con características corrosivas, MINSA, 2003.

Otro problema en las aguas subterráneas es la tendencia de varios acuíferos a sobrepasar, en los próximos años, el valor máximo permisible de 50 mg/L de nitratos; entre estos acuíferos se encuentra el Barba y Colima Superior, Losilla *et al.*, 2001, además de ciertos pozos privados ubicados en Moravia, Tibás y San José; este mismo problema se extiende a los acueductos de Paraíso, San Isidro de Atenas y Bolsón-Ortega en Nicoya, MINSA, 2003.

La contaminación por nitratos es causada por la degradación y posterior infiltración de la materia fecal de los efluentes de tanques sépticos y por el uso de fertilizantes nitrogenados. Los nitratos pueden producir metahemoglobinemia (pérdida de capacidad de los glóbulos rojos para transportar oxígeno) en niños lactantes menores a 6 meses y otras causas.

La baja cobertura de redes de alcantarillado sanitario, que en el medio urbano es del 34%, con un tratamiento de las aguas residuales del orden del 4%, unida al uso de agroquímicos en las áreas de recarga y producción de aguas subterráneas, es un factor importante de riesgo ambiental, MINSA, 2003.

Esta situación es crítica en la parte norte y este de la cuenca del Río Virilla, donde se asientan los acuíferos Barba y Colima, ya mencionados, de los cuales depende el abastecimiento de aproximadamente 20% de la población nacional y que será la fuente de agua potable de Heredia y el Área Metropolitana de San José para los próximos 15 años, Losilla *et al.*, 2001. El ritmo actual de aumento de las concentraciones de nitratos en las aguas del acuífero Colima, indica que esta fuente se podría perder en un lapso no mayor de 15 años, MINSA,

2003. Este es quizás el problema más grave en el tema del agua potable-saneamiento y gestión ambiental, porque involucra el suministro actual y futuro de un millón de personas aproximadamente.

Existe un incipiente proceso de intrusión salina en el acuífero de Brasilito, posiblemente inducido por la explotación de pozos cercanos al mar; asimismo, gran parte del agua de los pozos muestreados en la zona costera de Guanacaste mostró contaminación fecal, Calderón *et al.*, 2002.

Un análisis adicional sobre las posibles fuentes de contaminación de las aguas subterráneas, según Vargas, 2006, señala que el riego existente en cada uno de los 58 acuíferos es como se indica en la tabla 4.2.

Tabla 4.2. Costa Rica. Riesgo de contaminación de los acuíferos.

Tipo	Acuífero		Intrusión Marina	Desechos		
	Núm.	Nombre		Urbanos	Agrícolas	Industriales
Costeros	1	Bahía Salinas				
	2	Nancite				
	3	El Coco				
	4	Brasilito				
	5	Tamarindo				
	6	San José de Pinilla				
	7	Río Andamojo				
	8	Marbella				
	9	San Juanillo				
	10	Nosara				
	11	Garza				
	12	Sámara				
	13	Río Ora				
	14	Bejuco				
	15	Río Jabillo				
	16	Río Ario				
	17	Tambor				
	18	Paquera				
	19	Lepanto				
	20	Isla de Chira				
	21	Chomes				
	22	Barranca-El Roble				
	23	Isla Venado				
	24	Tárcoles				
	25	Jacó				
	26	Esterillos				
	27	Parrita				
	28	Quepos				
	29	Puerto Cortés				
	30	Ciudad Neilly				
	31	Sixaola				
	32	Pandora				
	33	La Bomba				
	34	Limón-Moín				
Volcánicos Continentales	35	La Cruz				
	36	Liberia-Bagaces				
	37	Peñas Blancas				
	38	Muelle				
	39	Póas				
	40	Barba-Colima				
	41	El Zapote				
	42	Cartago				
	43	Atenas				
Sedimentarios Continentales	44	San Ramón-Palmare				
	45	Santa Ana				

Tipo	Acuífero		Intrusión Marina	Desechos		
	Núm.	Nombre		Urbanos	Agrícolas	Industriales
	46	Escazú				
	47	Área Metropolitana				
	48	Coronado				
	49	Turrialba				
	50	Matina				
	51	Siquirres				
	52	Guápiles				
	53	Puerto Viejo				
	54	San Rafael				
	55	Los Chiles				
	56	Upala				
	57	Tempisque				
	58	Las Juntas				

Fuente: Vargas, 2006.

4.3 BALANCE HÍDRICO

En el balance hídrico de agua subterránea la unidad de análisis es el acuífero. Sin embargo, en Costa Rica no existen áreas definidas de acuíferos; por ejemplo, en la figura 4.2 se observa que para el acuífero Colima-Barva, ubicado en la cuenca Grande de Tárcoles, se manejan áreas diferentes: por un lado en el Atlas-2004 el área del acuífero mencionado es de 164.61 km² y por otro lado SENARA, 2007b le asigna un área de 482 km². Además, Losilla et al 2001, señala que el área del acuífero Colima Superior tiene un área de 170 km² y el Colima inferior 230 km².

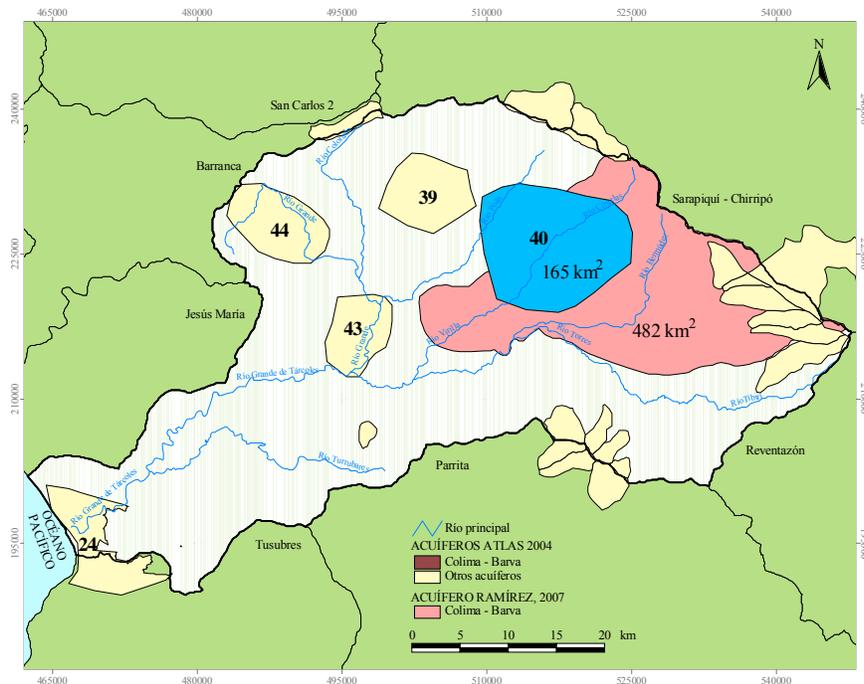


Figura 4.2. Límites del acuífero Colima-Barva.

Por otro lado, la información a la cual se tuvo acceso y que se presenta en la tabla 4.3 no es suficiente para estimar un balance hídrico por acuífero. Por lo tanto, la unidad de balance de agua subterránea, en este estudio, es la cuenca hidrológica.

Tabla 4.3. Información requerida para estimar el balance de agua subterránea.

Variable	Información requerida en el balance		Situación de la información analizada
Infiltración	Vegetación	Tipo	Información de carácter regional a nivel país (Atlas 2000).
		Porcentaje de interceptación de lluvia	Se contó con algunos datos a través de la consulta de estudios locales e internacionales.
	Pendiente del terreno		Información de carácter regional a nivel país (Atlas 2000).
	Suelo	Tipo de suelo	Información de carácter regional a nivel país (Atlas 2000).
Infiltración	Suelo	Permeabilidad o coeficiente de infiltración	Se contó con algunos datos a través de la consulta de estudios locales.
Recarga natural	Geología	Tipo de rocas	Información de carácter regional a nivel país (Atlas 2000). Algunas zonas cuentan con información a semi-detalle, figura 4.3.
Recarga Inducida		Permeabilidad o coeficiente de infiltración	Algunos estudios locales establecen éstas características.
Recarga Inducida	Fugas en embalses (lagos y presas)		No se contó con estudios que evalúen el aporte de agua por estos conceptos.
	Retornos de riego		
	Fugas sistemas hidráulicos		
	Intrusión marina		
Recarga artificial			
Flujo lateral subterráneo y/o vertical ascendente	Elevación de los niveles freáticos		Algunas zonas, figura 4.4, muestran isolíneas de elevación de niveles freáticos; sin embargo no definen el año en que fueron realizadas, ni cuentan con una base de datos de soporte.
	Valores de conductividad hidráulica y transmisividad		Se contó con algunos datos a través de la consulta de estudios locales.
Evapotranspiración de la zona saturada	Profundidad de los niveles freáticos		La información proporcionada por el SENARA y el MINAE, aunque difieren en el número de registros, un gran porcentaje de los registros cuenta con datos de profundidad de nivel estático; sin embargo, no se define el año en que fueron determinados.
Extracción de agua por nacientes	Ubicación (coordenadas)		Algunas zonas cuentan con información a semi-detalle, ver figura 4.5.
	Volumen de extracción		Se contó con dos fuentes de información (SENARA y MINAE).
	Uso		
Extracción de agua por bombeo de pozos	Ubicación (coordenadas)		Algunas zonas cuentan con información a semi-detalle, figura 4.5.
	Volumen de extracción		Se contó con dos fuentes de información (SENARA y MINAE) con una diferencia notable en el número de registros.
	Uso		
Cambio de almacenamiento	Evolución de los niveles freáticos		Algunos estudios locales revisados establecen éstas características.

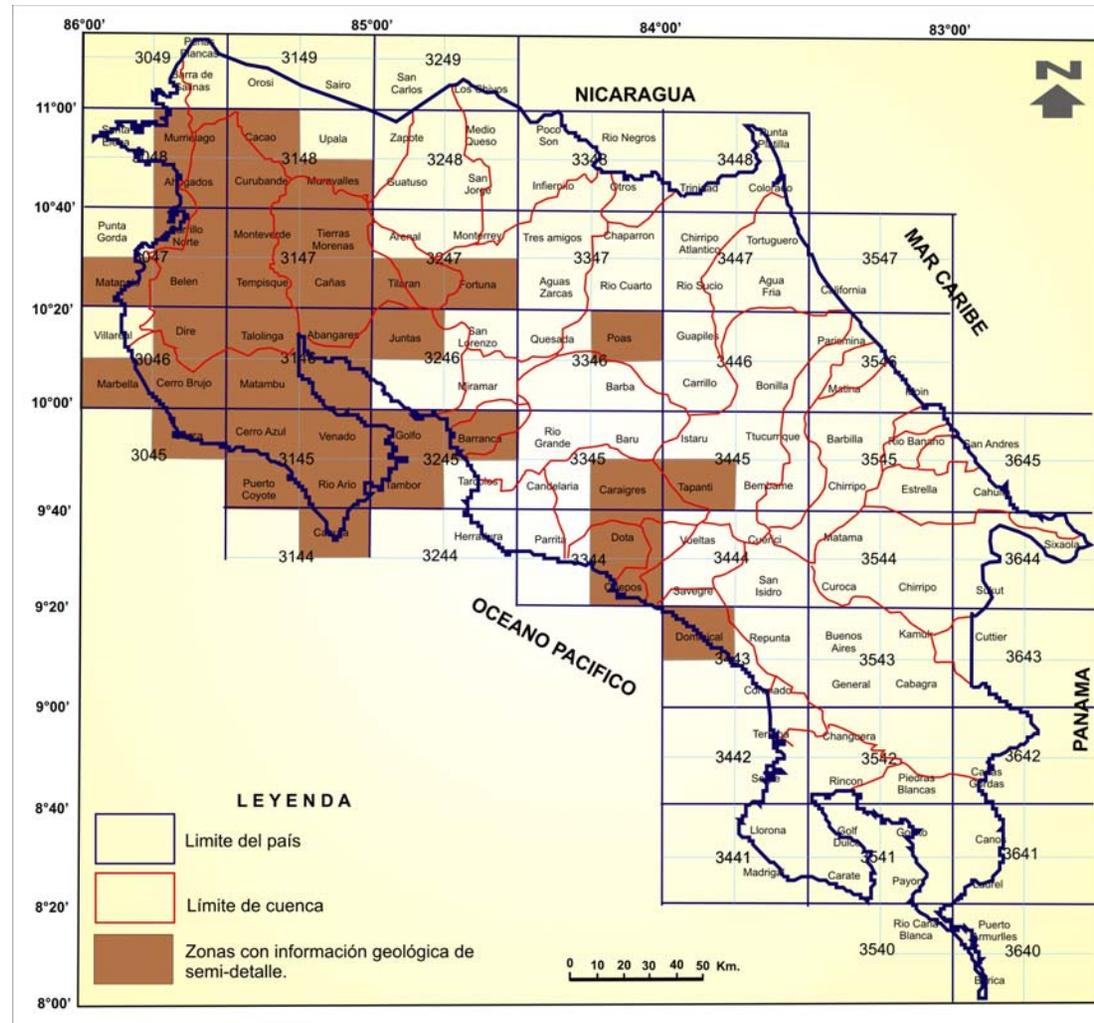


Figura 4.3. Zonas con información cartográfica-geológica a semi-detalle.

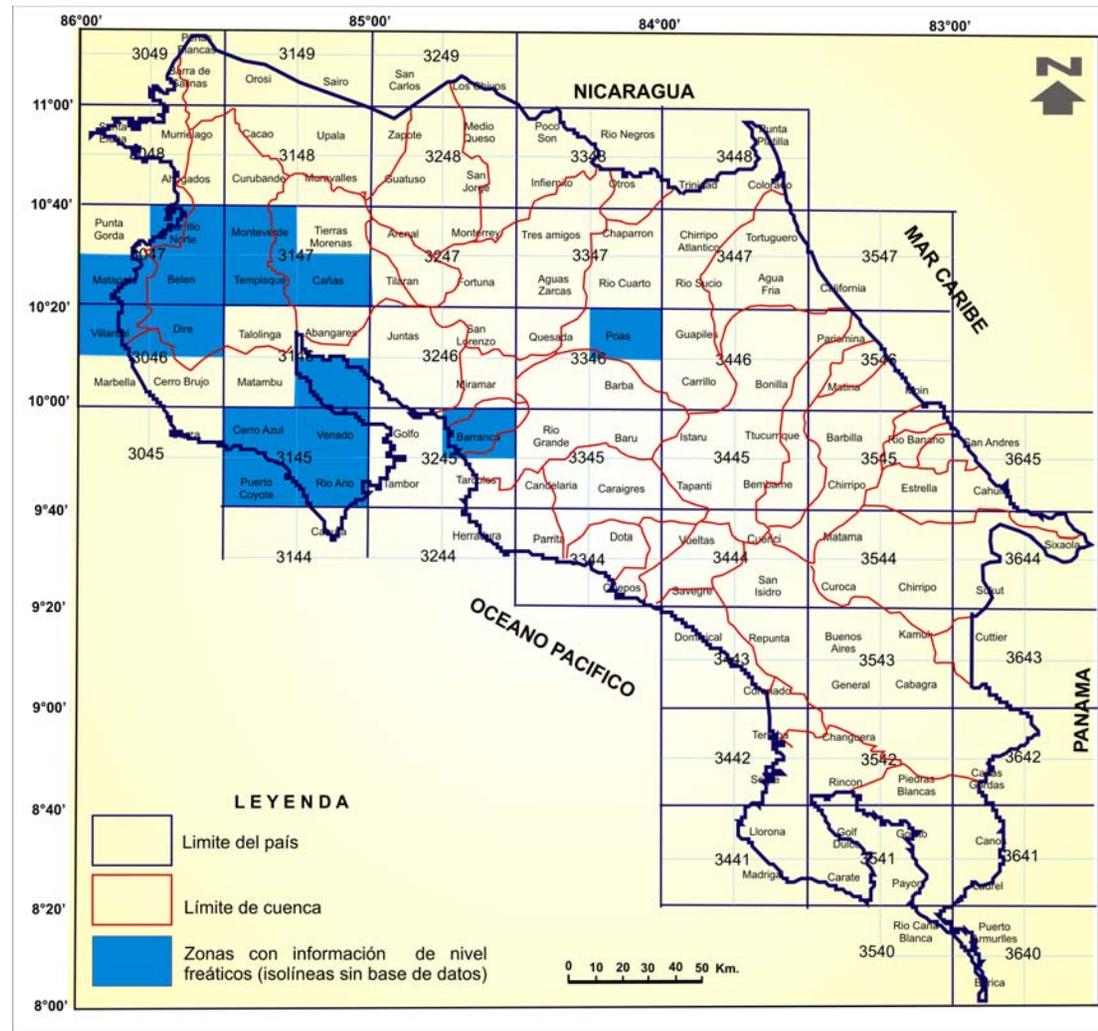


Figura 4.4. Zonas con información cartográfica de niveles freáticos a semi-detalle

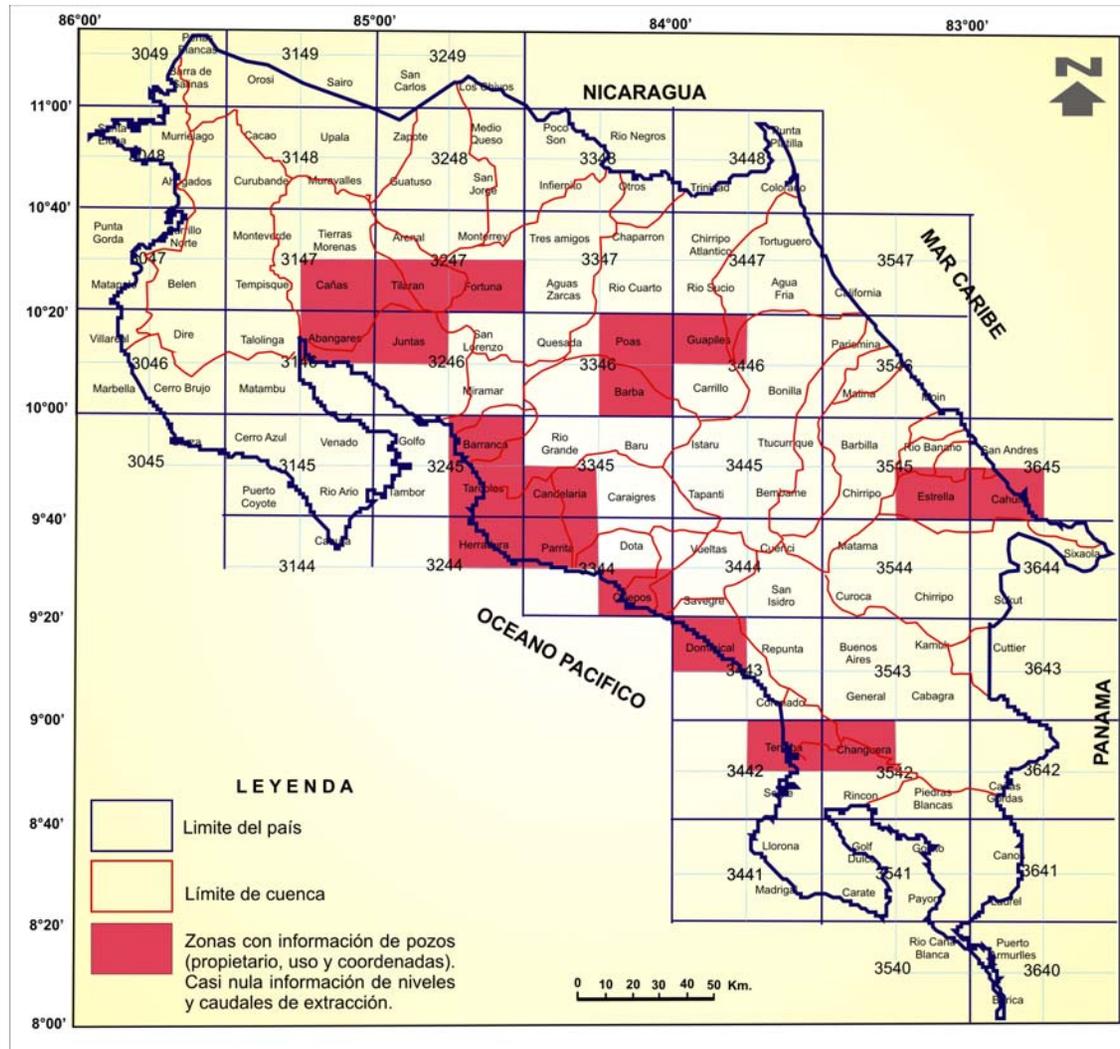


Figura 4.5. Zonas con información cartográfica de pozos a semi-detalle.

4.3.1 Ecuación de balance

De acuerdo con UNESCO, 2006 la ecuación del balance de agua subterránea se expresa como:

$$\Delta V = (IR + Ri + Es) - (Vman + B + ETZ) \quad (4.1)$$

donde

- ΔV Cambio de volumen en el acuífero y en el tiempo estipulado en el balance
- IR Infiltración-recarga de agua de lluvia
- Ri Recarga inducida: retornos de riego, fugas en los sistemas hidráulicos, fugas en embalses, intrusión marina.
- Es Entradas de agua al sistema por flujo lateral subterráneo proveniente de las fronteras de la zona de balance y por otros acuíferos.
- $Vman$ Salida de agua por manantiales
- B Extracciones por bombeo
- ETZ Evapotranspiración de la zona saturada

Por otro lado, el cambio en el almacenamiento en un acuífero para un intervalo de tiempo t determinado se evalúa a través de la siguiente ecuación:

$$\Delta V = S A \Delta h \quad (4.2)$$

donde:

- S Coeficiente de almacenamiento (adimensional).
- A Área del acuífero (m^2)
- Δh Variación de la carga hidráulica (m)

En la ecuación 4.2 la variación de la carga hidráulica para el periodo de análisis debe ser estimada a través de la evolución del nivel estático en ese periodo. Además, esta variable permite validar las variables de entrada y salida en el sistema acuífero.

La situación de la información hidrogeológica, obliga a considerar una variación de volumen igual a cero en todas las cuencas (excepto en la cuenca Grande de Tárcoles) y replantear la ecuación 4.1 de la siguiente manera:

$$Recarga \ total = (Vm + Qb) + B + ETZ + \Delta V \quad (4.3)$$

donde:

- $Recarga \ total = IR + Ri + Es$
- Qb Caudal base menos los retornos

Ahora bien, la recarga total incluye la infiltración-recarga de lluvia, la recarga inducida y el volumen de entrada lateral proveniente de acuíferos adyacentes o ríos. Sin embargo, solamente se pudo estimar el volumen de fugas y el volumen de retornos de riego que

percola y que puede llegar al acuífero. Por otro lado, en la ecuación 4.3, las variables de salida son conocidas y fueron presentadas en el balance superficial. Por lo tanto, el volumen de recarga aportado por el resto de las variables se considera como la variable independiente en función del volumen total de salidas, volumen de fugas y retornos de riego, así como del cambio de almacenamiento.

Para estimar el volumen de fugas y el volumen de retornos de riego que recargan al acuífero, al volumen de fugas estimado en el apartado 3.2.2 y al volumen de retornos de riego estimado en el apartado 3.1.3, se les aplica un porcentaje en función de la porosidad eficaz promedio del tipo de roca existente en cada cuenca, en la tabla 4.4 se presentan los valores de la porosidad considerados en el estudio.

Tabla 4.4 Porosidad eficaz promedio

Cuenca	Porosidad promedio, en %
Abangares	16
Barranca	18
Frío	16
Gde. Tárcoles	14
Gde. Térraba	17
Naranjo	13
Pacuare	16
Parrita	15
Pen.Nicoya <i>a</i>	12
Pen.Nicoya <i>b</i>	12
Reventazón	17
San Carlos lago	18
San Carlos 2	18
Sarapiquí-Chirripó	19
Savegre	15
Tempisque-	15
Bebedero	15

Los volúmenes correspondientes al caudal extraído de manantiales y pozos se presentan en las tablas 3.14 y 3.16, respectivamente, y corresponden a los datos de la base de datos del MINAE.

Para considerar el caudal base como descarga de las aguas subterráneas, primero se obtiene el caudal base con los registros de los caudales que se registran en las estaciones hidrométricas, suponiendo que captan el mayor porcentaje de las aguas subterráneas que alimentan a los ríos y a este valor (convertido a volumen) se le resta el volumen de retornos estimado en el apartado 3.1.3.

Con respecto al cambio de volumen en la cuenca Grande de Tárcoles, se tomaron en cuenta los descensos registrados en el acuífero Colima (Campo de Pozos la Valencia, Rodríguez *et al.*, 1995) y se determinó una pérdida de carga potenciométrica de 1.578 m/año, durante el periodo 1975-1994. Considerando los valores presentados en la tabla 4.5, y la ecuación 4.2, se obtiene un cambio de almacenamiento (ΔV) de 31.560 hm³/año.

Tabla 4.5 Valores para estimar un valor de ΔV en la cuenca Grande de Tárcoles

Variable	Valor	Observaciones
A , km ²	200	Superficie promedio de los acuíferos Colima.
S	0.1	Se considera como un acuífero libre.
Δh , m/año	1.578	En el campo de pozos La Valencia, entre 1975 y 1994 la elevación del nivel estático varió de 1,007 a 977 msnm. Por lo que en 19 años se presentó un abatimiento de 30 m (1.578 m/año).

En la tabla 4.6 se presenta la recarga total por cuenca a nivel anual, y además, el porcentaje de los volúmenes de extracción con respecto a la recarga total. En dicha tabla se observa que la recarga total varió entre los 147 y 5,600 hm³ para el año 2000; asimismo, que el porcentaje extraído y utilizado en los diferentes usos, considerando nacientes y pozos, osciló entre 0.06 y 17%. Cabe señalar que la mayor extracción se encuentra localizada en las cuencas Grande de Tárcoles, Península de Nicoya *a* y Tempisque-Bebedero. En la tabla 4.7 se presentan los resultados del balance por cuenca hidrográfica a nivel anual.

Tomando en cuenta el volumen total de recarga establecido en las 15 cuencas hidrológicas para el año 2000 (21,225 hm³) y el volumen total extraído y utilizado en los diferentes usos, considerando nacientes y pozos; éste último representa el 1.60% del volumen total de recarga.

Tabla 4.6. Recarga total y porcentaje de extracción utilizado en diversos usos.

Cuenca Hidrológica	Recarga Total, hm ³ /año	Extracción ¹ /Recarga total, en %
Abangares	301.10	0.50
Barranca	147.30	1.90
Frío	1431.20	0.01
Grande de Tárcoles	985.40	16.58
Grande de Terraba	1886.3	0.14
Naranjo	240.90	0.25
Pacuare	668.10	1.14
Parrita	305.8	1.57
Nicoya <i>a</i>	383.80	3.26
Nicoya <i>b</i>	1264.60	0.56
Reventazón	3208.30	1.63
San Carlos Lago	722.10	0.11
San Carlos 2	1818.80	1.44
Sarapiquí-Chirripó	5603.00	0.14
Savegre	402.60	0.05
Tempisque-Bebedero	1856.0	2.31

¹ Considerando manantiales y pozos

La cuenca con mayor recarga media anual en mm es la de San Carlos con 2,152 mm, y la de menor recarga media anual es la cuenca Abangares con 223 mm. En la figura 4.6 se presenta la recarga media anual en mm en las 15 cuencas de estudio.

Tabla 4.7. Balance subterráneo, en hm³/año

Entradas Recarga total	Variable	Abangares	Barranca	Frío	Grande Tárcoles	Grande Térraba	Naranjo	Pacuare	Parrita	Pen. Nicoya		Reventazón	San Carlos		Sarapiquí- Chirripó	Savegre	Tempisque- Bebedero
										a	b		Lago	2			
Ri		1.6	0.1	0.0	6.0	1.1	0.3	0.1	0.5	0.0	0.0	1.3	0.0	0.7	0.2	0.0	31.0
Rec2		299.5	147.2	1431.2	979.4	1885.2	240.6	668.0	305.3	383.8	1264.6	3207.0	722.1	1818.1	5602.8	402.6	1825.0
Total		301.1	147.3	1431.2	985.4	1886.3	240.9	668.1	305.8	383.8	1264.6	3208.3	722.1	1818.8	5603.0	402.6	1856.0
Salidas Descarga total	Qb-Re	299.6	144.5	1431.0	853.6	1883.6	240.3	660.5	301.0	371.3	1257.5	3156.0	721.3	1792.7	5594.9	402.4	1813.1
	Vm	0.3	1.2	0.1	92.3	2.5	0.0	0.0	4.6	0.1	0.8	32.8	0.6	25.4	2.0	0.2	1.2
	B	1.2	1.6	0.1	71.1	0.2	0.6	7.6	0.2	12.4	6.3	19.5	0.2	0.7	6.1	0.0	41.7
	Total	301.1	147.3	1431.2	1017.0	1886.3	240.9	668.1	305.8	383.8	1264.6	3208.3	722.1	1818.8	5603.0	402.6	1856.0
ΔV		0.0	0.0	0.0	-31.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Ri: Recarga inducida (fugas, retornos de riego)

Rec2 : Recarga proveniente de: percolación de lluvia, flujos laterales, intrusión salina y fugas en embalse

Qb-Re: Gasto base menos retornos

Vm: Volumen aportado por manantiales

B: Extracción por bombeo

 ΔV : Variación de volumen

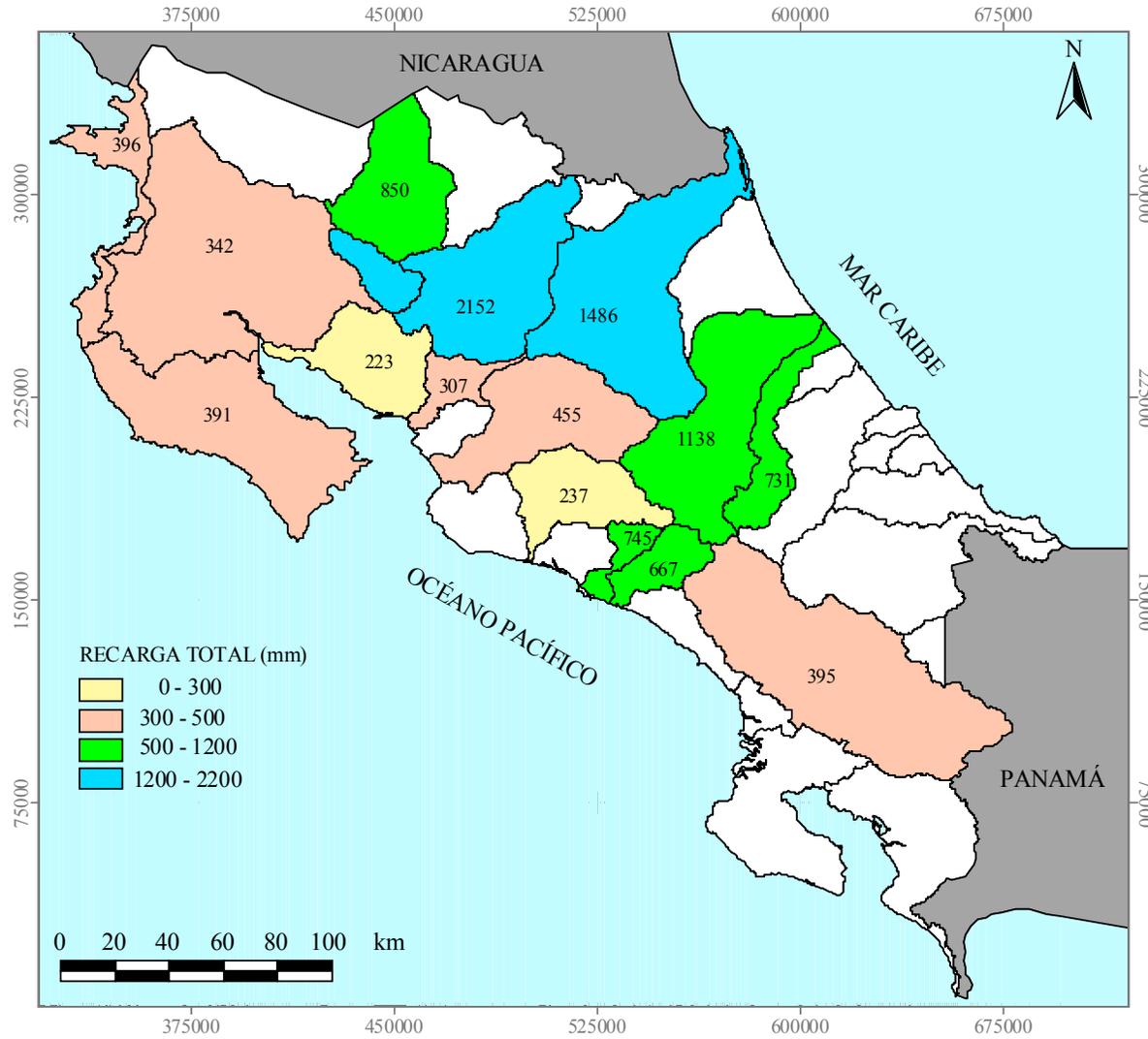


Figura 4.6. Recarga media anual, en mm.

5 ESCENARIOS

Una variable de gran importancia en la oferta de agua es el volumen de escurrimiento natural por cuenca propia, ésta variable tiene una conexión directa con la cantidad de precipitación que se presenta en el área de estudio. Actualmente, se están presentando varias hipótesis relacionadas con el cambio climático y que se traducen, entre otras, en incrementos o decrementos de algunas variables climatológicas como la precipitación y temperatura.

En el balance hídrico, la precipitación es la variable que provoca un cambio significativo en los resultados; por lo tanto, en este trabajo para cumplir con los términos de referencia relacionados con la influencia de los fenómenos del cambio climático, se consideran cuatro escenarios de variación de la precipitación: escenario A, considerando el año con menor precipitación anual registrado en cada una de las 262 estaciones climatológicas utilizadas en el balance hídrico al año 2000; escenario B, considerando el escenario seco obtenido por Villalobos y Retana del Instituto Meteorológico Nacional (IMN); escenario C, considerando un porcentaje de disminución de la precipitación por zona del país, Sur o Norte, señalados en el periódico La Nación por Pablo Fonseca, y escenario D, considerando los años comunes, por cuenca hidrográfica, con menor precipitación anual registrada (apartado 5.1).

Por otro lado, la variable de gran importancia en la demanda de agua, sin considerar las exportaciones entre cuencas, es el volumen destinado a los diversos sectores que utilizan el recurso hídrico (agrícola, industrial, doméstico, etc.); es decir, el volumen de consumo de agua por sector. Este volumen se debe conocer en situaciones actuales (demanda actual) pero también se debe estimar la demanda futura, analizada bajo diferentes escenarios que consideren el crecimiento de la población y de la economía, así como las políticas públicas, para lograr una planeación eficiente y eficaz del recurso.

En este trabajo, los volúmenes de demandas futuras se obtienen de Rivera, 2007. Dicho autor considera tres escenarios: el Base, el de Convergencia, y el de Inmovilismo. Con los valores de Rivera se calcula el balance hídrico por cuenca hidrográfica considerando el escenario Base y las proyecciones a los años 2010, 2020 y 2030 (apartado 5.2)

5.1 ESCENARIOS DE PRECIPITACIÓN

Para el análisis de los escenarios se consideran las 262 estaciones pluviométricas y el período de registros mensuales de 1960 al 2005.

Los escenarios de precipitación considerados son los siguientes:

- A. Año con menor precipitación anual registrada en cada una de las estaciones pluviométricas en el período 1960-2005.
- B. Escenario seco propuesto por Villalobos y Retana del IMN.
- C. Disminución de la precipitación en la Zona Norte del 11% y en la Zona Sur del 2%, porcentajes señalados en Fonseca, 2007.
- D. Años comunes con menor precipitación anual por cuenca hidrográfica.

Cada escenario modifica los valores de precipitación media mensual de cada una de las estaciones pluviométricas; estos valores se colocan en la hoja de balance, específicamente en la hoja P_{media} y se obtiene la precipitación media por cuenca hidrográfica. Debido a que la precipitación tiene influencia en la variable del volumen de escurrimiento por cuenca propia, provoca una modificación directa en el volumen de escurrimiento hacia aguas abajo y en la disponibilidad de agua superficial.

A continuación se describen los cuatro escenarios de precipitación considerados.

Escenario A. Año más seco

Este escenario toma en cuenta el año más seco registrado en cada una de las 262 estaciones pluviométricas, figura 5.1. A nivel de las 15 cuencas, los años que coincidieron en el mayor número de estaciones fueron 1985 y 1986 como se observa en la gráfica 5.1.

Escenario B. Villalobos y Retana del IMN.

Villalobos y Retana del IMN caracterizan el comportamiento anual de 37 estaciones meteorológicas representativas de Costa Rica, tomando en cuenta la probabilidad de que la fase cálida del fenómeno oceánico-atmosférico ENOS sea seca, normal o lluviosa. En la tabla 5.1 se presentan los rangos promedios regionales de precipitación anual, obtenidos por Villalobos y Retana, 2007, para un escenario seco.

Tabla 5.1. Rangos de precipitación anual, en mm.

Región	Escenario seco
Pacífico Norte	< 1300
Central	< 1700
Central Oriental	< 2000
Pacífico Central	< 2100
Zona Norte	< 2300
Región Caribe	< 3000
Pacífico Sur	< 3300

Fuente: Villalobos y Retana, 2007.

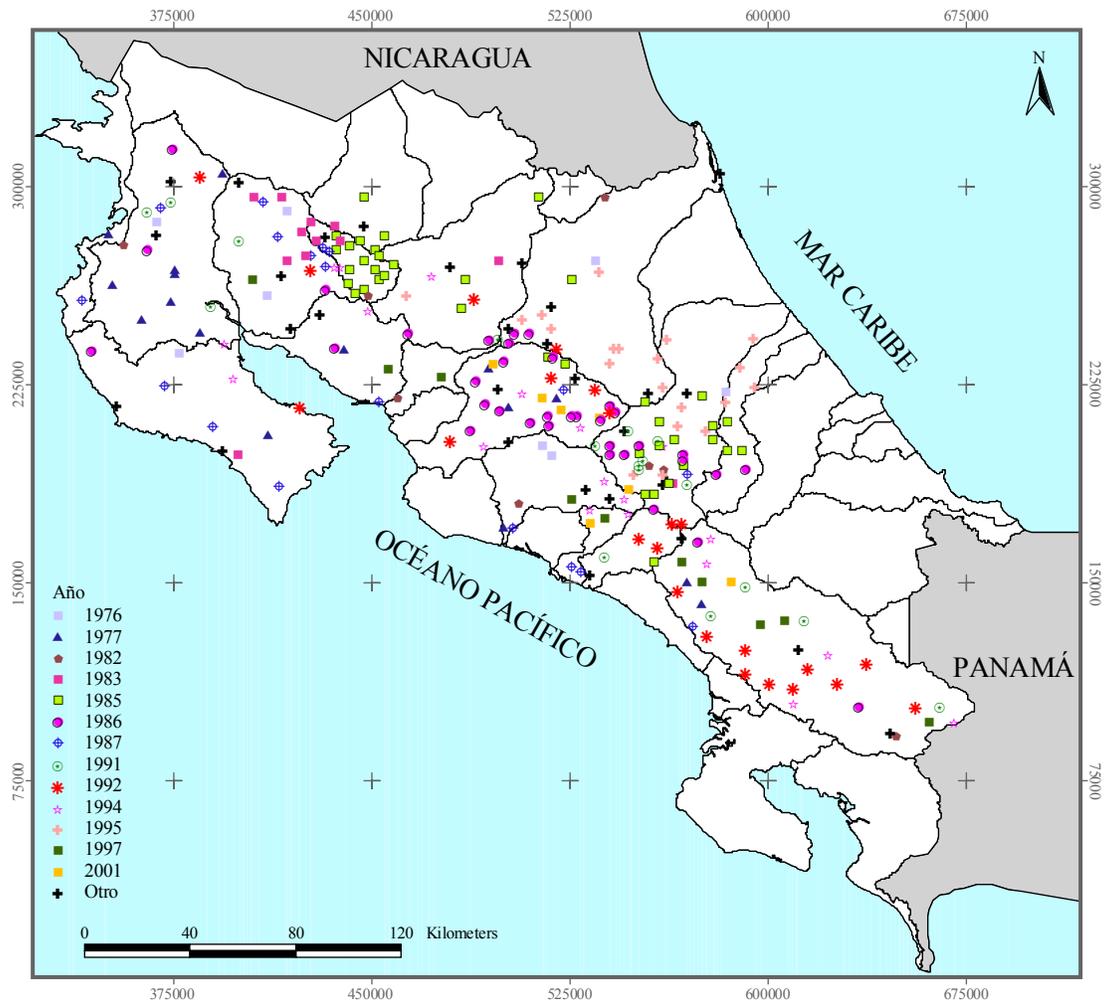
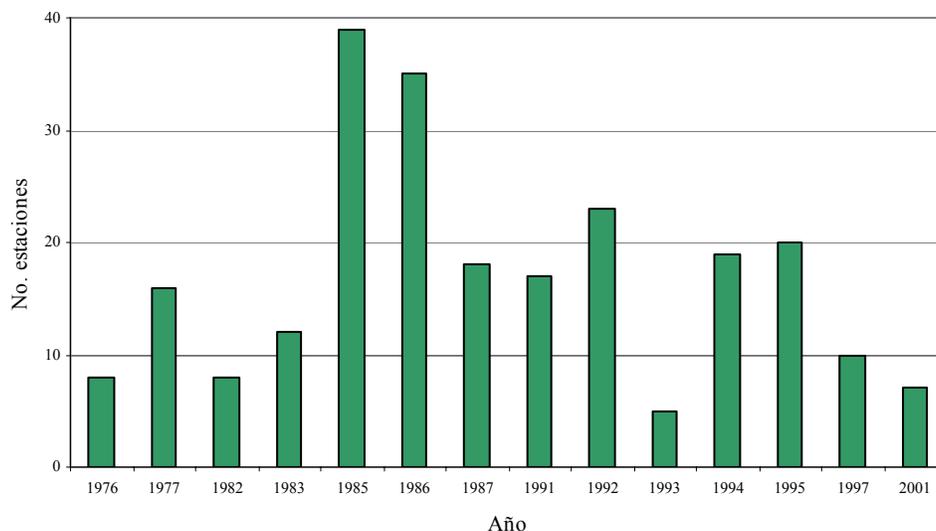


Figura 5.1. Año más seco en las estaciones pluviométricas.



Gráfica 5.1. Número de estaciones que coinciden con el año más seco, en las 15 cuencas.

Para asignar a cada cuenca el rango de precipitación correspondiente al escenario seco, se tomó en cuenta la región en donde se ubican las cuencas en estudio, en la tabla 5.2 se muestran las regiones asignadas a cada cuenca hidrográfica.

Tabla 5.2. Región asignada a cada cuenca hidrográfica.

Cuenca	Región
Abangares	Pacífico Norte (78001, 78004, 78005) Pacífico Central (Est. Restantes)
Barranca	Pacífico Central (80002) Central (80005)
Frío	Zona Norte
Grande de Tárcoles	Central
Grande de Terraba	Pacífico Sur
Naranjo	Pacífico Central (92001, 92002) Central (Est. Restantes)
Pacuare	Central Oriental
Parrita	Pacífico Central (88002, 88008) Central (Est. Restantes)
Pen. Nicoya a	Pacífico Norte
Pen. Nicoya b	Pacífico Norte
Reventazón	Caribe (73091) Central Oriental (Est. Restantes)
San Carlos Lago	Zona Norte
San Carlos 2	Zona Norte
Sarapiquí-Chirripó	Caribe (69503, 69578) Central Oriental (Est. Restantes)
Savegre	Pacífico Central (94002) Pacífico Sur (Est. Restantes)
Tempisque-Bebedero	Pacífico Norte

NOTA: La información entre paréntesis indica las estaciones consideradas en cada región.

Una vez asignada la región a considerar en cada cuenca hidrográfica se obtuvo por estación, el valor promedio mensual de los años que tuvieron una precipitación anual menor al rango

presentado en la tabla 5.1. En caso de que la estación no contara con años menores al rango considerado, se tomó en cuenta el año con la menor precipitación anual.

Escenario C. Información publicada en La Nación por Pablo Fonseca

Se considera en la Zona Norte del país una disminución en las precipitaciones de un 11% en relación con la actual, y en la Zona Sur una disminución alrededor de un 2%, Fonseca, 2007.

La Zona Norte, comprende gran parte de la provincia de Guanacaste, la Zona Norte y la provincia de Limón en su parte norte; y la Zona Sur, cubre la región Pacífico Central y Sur, así como el Valle Central y el sur de la provincia de Limón, Fonseca, 2007. En la figura 5.2 se muestra la línea imaginaria (A-B) utilizada para dividir el país en las zonas Norte y Sur.

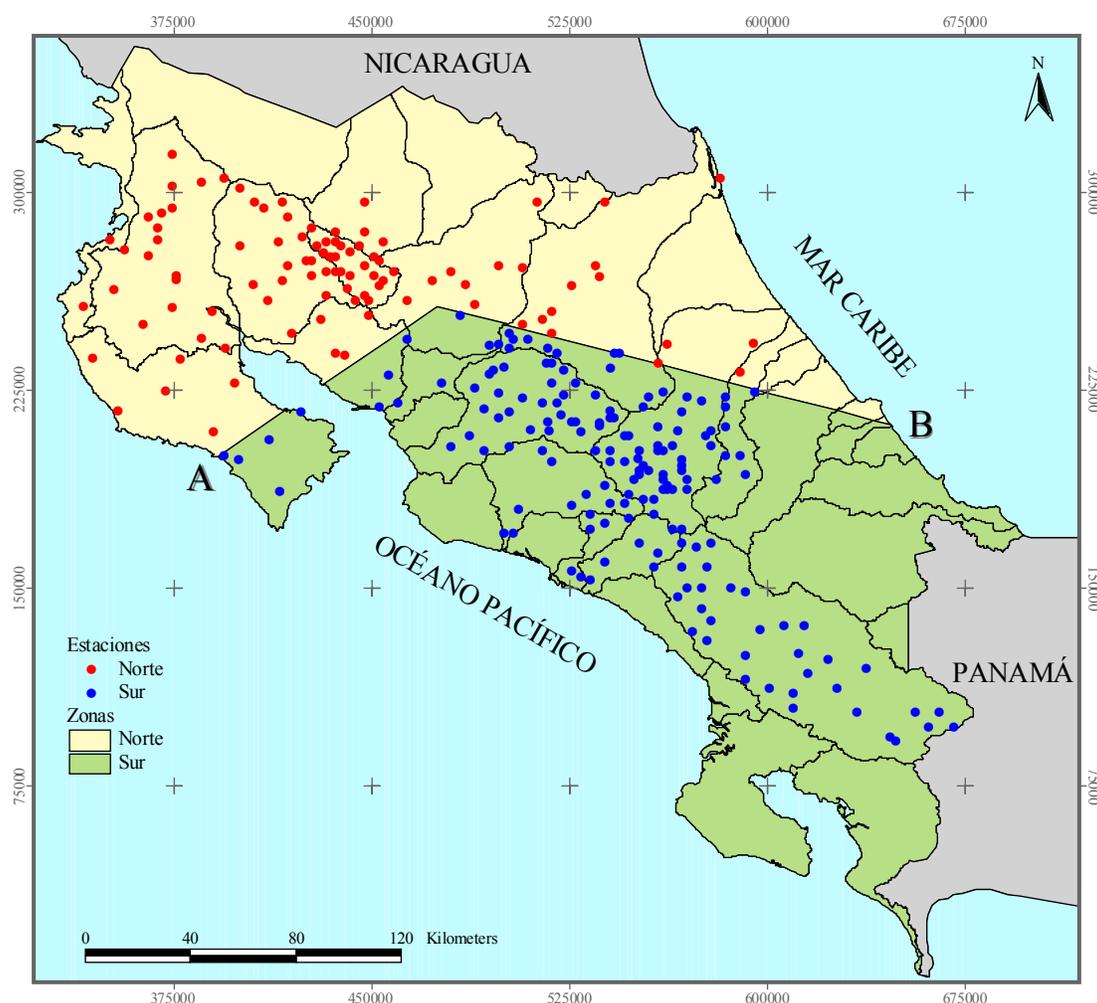


Figura 5.2. Línea imaginaria para dividir al país en las zonas Norte y Sur.

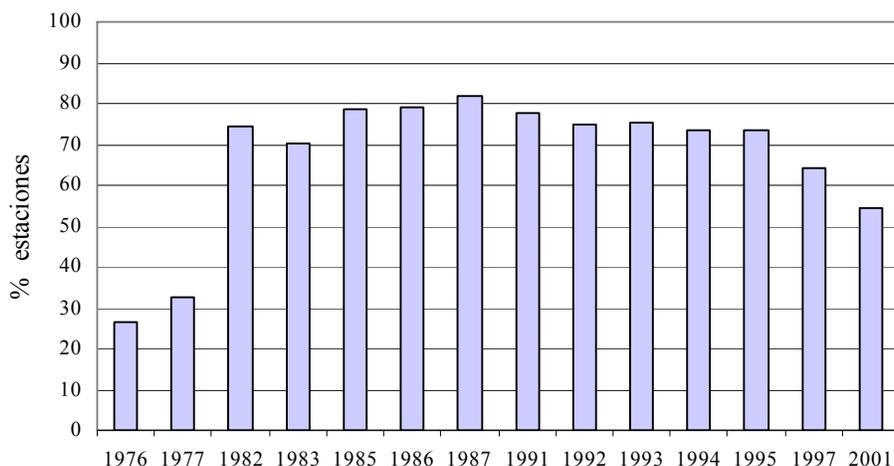
La precipitación media mensual de las estaciones que quedan por arriba de la línea imaginaria A-B se disminuye en un 11% y la precipitación media mensual de las estaciones que quedan por debajo se reduce en un 2%.

Escenario D. Años comunes por cuenca

Este escenario toma en cuenta el año de menor precipitación anual por estación (Escenario A) pero seleccionado en función del mayor número de estaciones que coinciden con el año más seco dentro de la cuenca hidrográfica. En el caso de que las estaciones no tengan información en dicho año, se considera el año siguiente, y si tampoco hay información, entonces se toma en cuenta el año con la menor precipitación anual.

Es importante mencionar que en el caso de que la precipitación anual del año común identificado sea mayor a la precipitación media anual de la estación, entonces se considera el año con la menor precipitación anual.

En la figura 5.3 se presenta la distribución espacial de los años comunes y en la gráfica 5.2 se muestra el porcentaje de estaciones con información en los años comunes tomando en cuenta las 15 cuencas. En la gráfica 5.2 se observa que los años más comunes en las cuencas son 1985, 1986 y 1987. Finalmente, en la tabla 5.3 se presenta el año considerado en cada una de las cuencas.



Gráfica 5.2. Porcentaje del número de estaciones con información en años comunes, en las 15 cuencas.

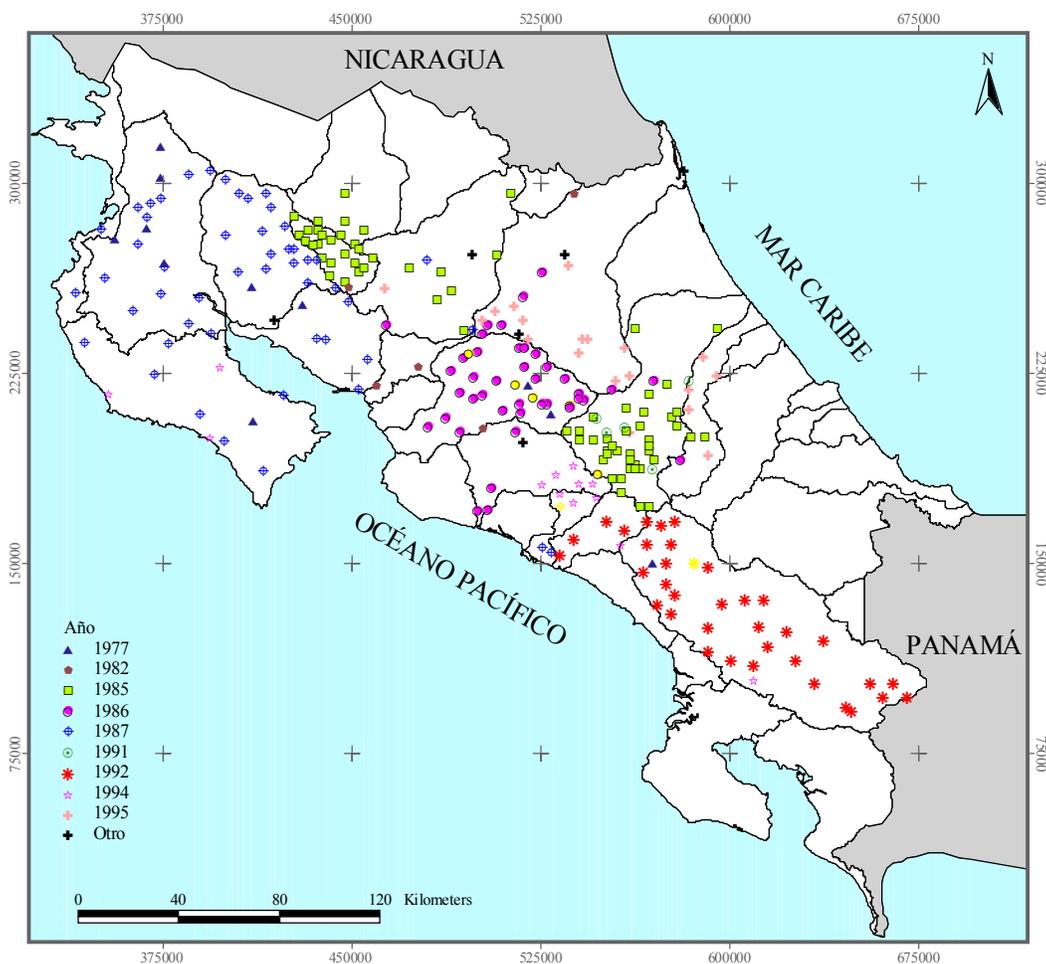


Figura 5.3. Años comunes por cuenca hidrográfica.

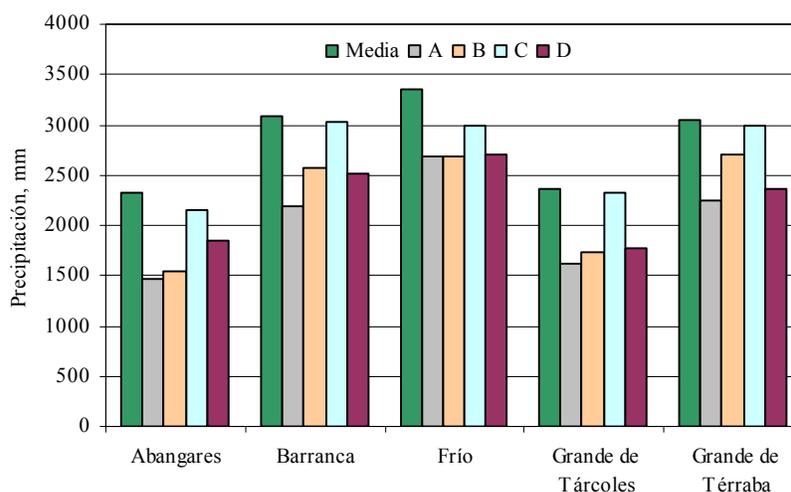
Tabla 5.3. Años comunes de menor precipitación anual en las cuencas de estudio.

Cuenca	1er. año común	2do. año común	Año mas seco (No. estaciones)
Abangares	1987	1986	1
Barranca	1982		
Frío	1985		
Grande de Tárcoles	1986	1977	1
Grande de Terraba	1992	1994	1
Naranjo	1987	1994	
Pacuare	1995	1985	1
Parrita	1994	1986	1
Península de Nicoya <i>a</i>	1987		
Península de Nicoya <i>b</i>	1987	1994	1
Reventazón	1985	1991	2
San Carlos Lago	1985		1
San Carlos 2	1985	1987	2
Sarapiquí-Chirripó	1995	1986	4
Savegre	1992		1
Tempisque-Bebedero	1987	1977	1

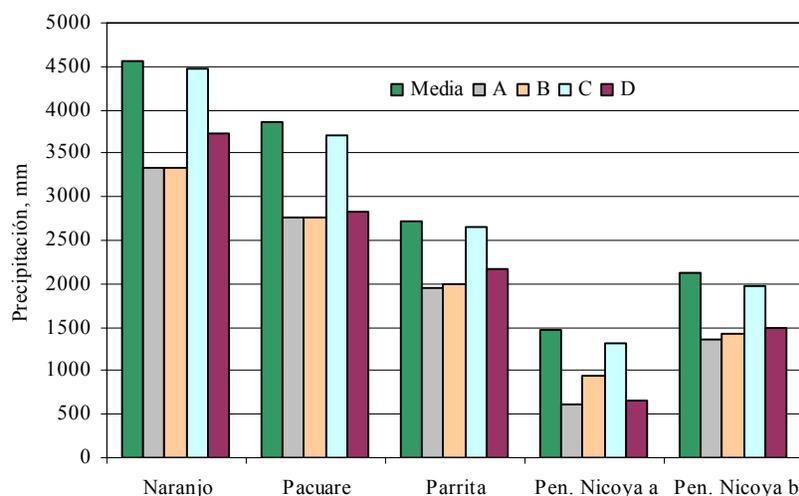
Análisis de los resultados

En las gráficas de la 5.3 a 5.5 se observa que el escenario más desfavorable es el correspondiente al año más seco (escenario A) y el más favorable es el escenario C. Si este último escenario llega a presentarse la disminución de la precipitación no provocaría un efecto considerable en el volumen de oferta de agua en las 15 cuencas de estudio.

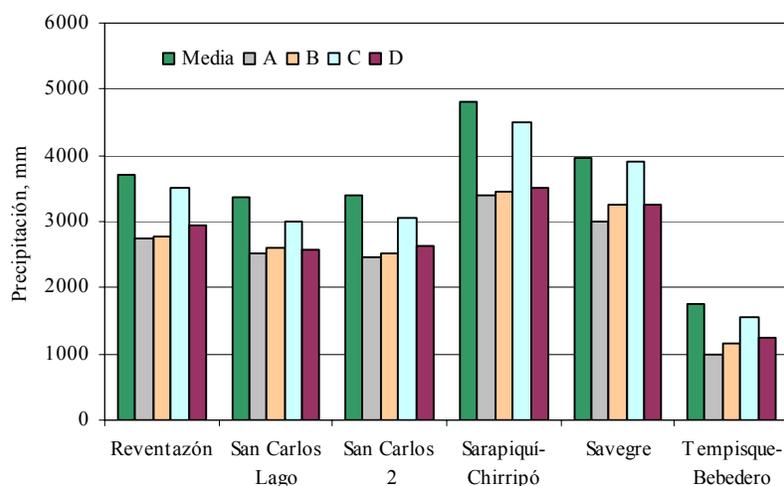
Las cuencas que presentan disminución considerable de la precipitación media anual en los escenarios A, B y D son la Península de Nicoya y Tempisque-Bebedero, alcanzando porcentajes de disminución mayores al 50%. En la tabla 5.4 se presenta el porcentaje de disminución en la precipitación media anual considerando los escenarios A, B y D.



Gráfica 5.3. Precipitación media anual por escenario de las cuencas Abangares, Barranca, Frío, Gde. Tárcoles y Gde. Térraba.



Gráfica 5.4. Precipitación media anual por escenario de las cuencas Naranjo, Pacuare, Parrita y Península de Nicoya.



Gráfica 5.5. Precipitación media anual por escenario de las cuencas Reventazón, San Carlos, Sarapiquí-Chirripó, Savegre y Tempisque-Bebedero.

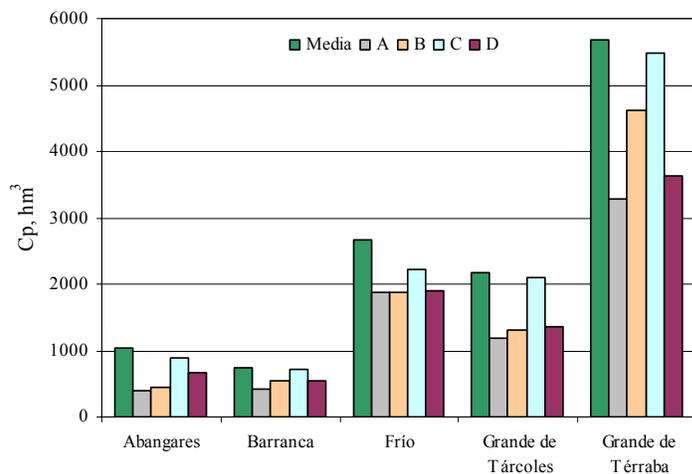
Tabla 5.4. Porcentaje de disminución en la precipitación media anual por escenario.

Escenario	Máximo		Mínimo	
	%	Cuenca	%	Cuenca
A. Año seco	57	Nicoya <i>a</i> (57%)	20	Frío (20%)
		Tem-Beb (43%)		
		Abangares (37%)		
B. Villalobos-Retana	36	Nicoya <i>a</i> (36%)	11	Térraba (11%)
		Tem-Beb (34%)		
		Abangares (34%)		
D. Año común	55	Nicoya <i>a</i> (55%)	18	Barranca, Naranjo y Savegre (18%)
		Nicoya <i>b</i> (30%)		
		Tem-Beb (29%)		

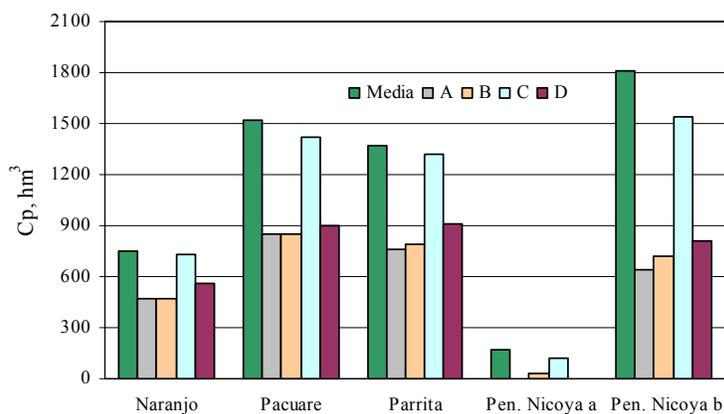
Tem-Beb= Tempisque-Bebedero

Por otro lado, la precipitación tiene un efecto directo en la variable del volumen de escurrimiento por cuenca propia, en las gráficas de la 5.6 a 5.8 se muestran los valores de dicha variable por cuenca hidrográfica para los escenarios A, B y D.

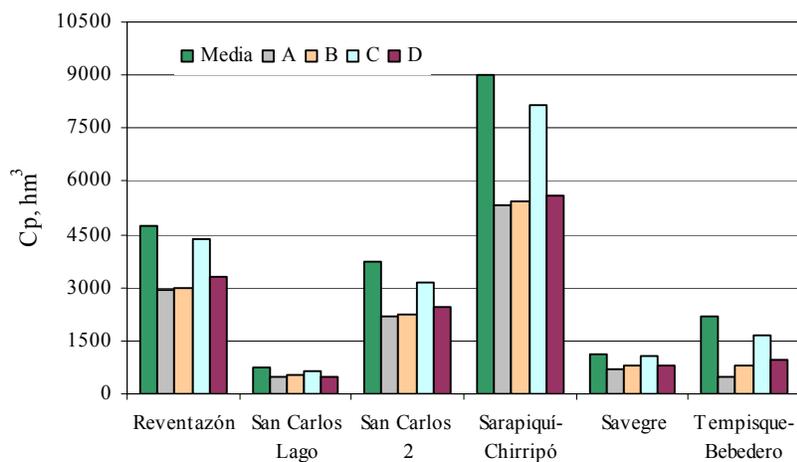
Finalmente, en las figuras 5.4 a 5.51 se muestra la disponibilidad media mensual correspondiente a los escenarios A, B y D, y se incluye la disponibilidad media mensual al año 2000. Por otro lado, en las tablas 5.5 a 5.29 se muestran los valores de la disponibilidad mensual, en dichas tablas el valor negativo indica una disponibilidad limitada. En el Anexo H se presentan los balances hídricos de los cuatro escenarios y un resumen de la disponibilidad mensual por escenario y cuenca hidrográfica.



Gráfica 5.6. Volumen por cuenca propia por escenario de las cuencas Abangares, Barranca, Frío, Tárcoles y Térraba.



Gráfica 5.7. Volumen por cuenca propia por escenario de las cuencas Naranjo, Pacuare, Parrita y Península de Nicoya.



Gráfica 5.8. Volumen por cuenca propia por escenario de las cuencas Reventazón, San Carlos, Sarapiquí-Chirripó y Tempisque-Bebedero.

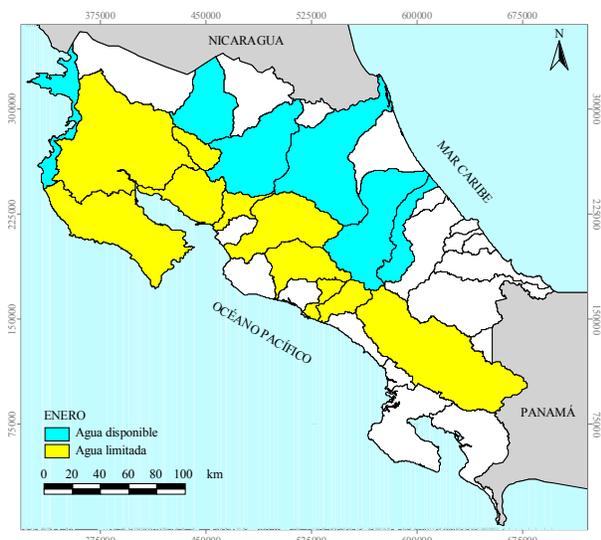


Figura 5.4. Disponibilidad en enero en condiciones actuales

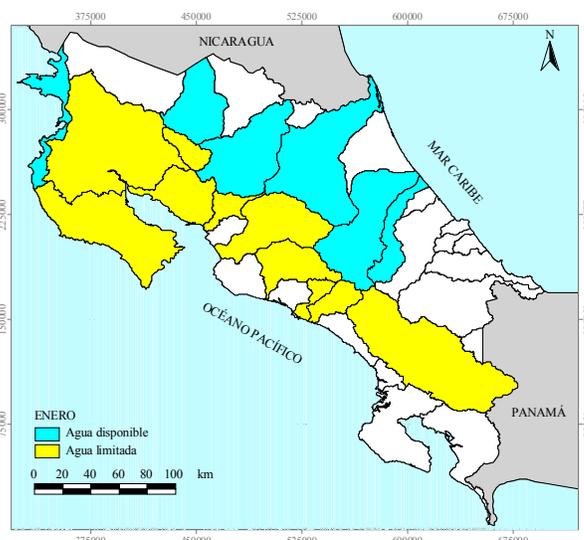


Figura 5.5. Disponibilidad en enero bajo el escenario A

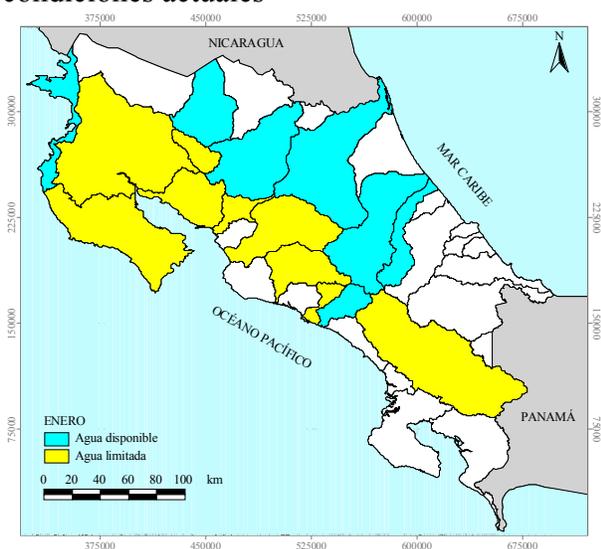


Figura 5.6. Disponibilidad en enero bajo el escenario B.

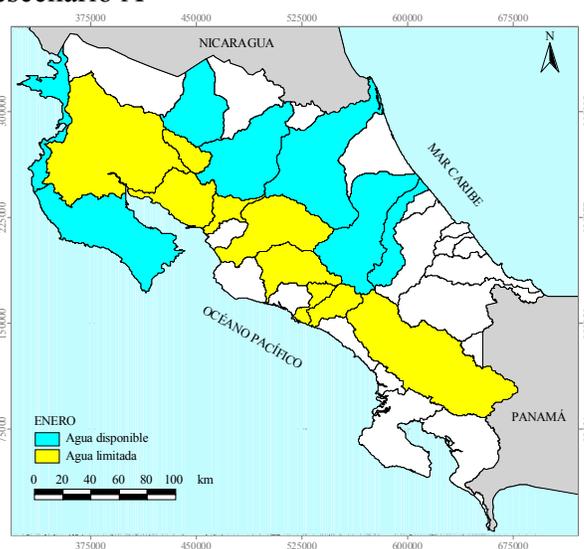


Figura 5.7. Disponibilidad en enero bajo el escenario D

Tabla 5.5. Disponibilidad en enero bajo condiciones actuales y escenarios de precipitación, en hm^3 .

Escenario	Abangares	Barranca	Frío	Grande de Tárcoles	Grande de Térraba	Naranjo	Pacure	Parrita	Pen. Nicoya ^a	Pen. Nicoya ^b	Reventazón	San Carlos Lago	San Carlos 2	Sarapiquí-Chirripó	Savegre	Tempisque-Bebedero
Actual	-12.13	-1.68	99.61	-17.13	-40.55	-3.18	83.76	-10.19	0.48	-5.67	223.76	-51.64	177.08	589.67	-3.70	-110.18
A	-8.42	-3.07	86.44	-14.11	-44.21	-4.64	33.31	-11.54	0.55	-0.22	44.46	-69.79	60.43	98.51	-0.21	-93.75
B	-9.54	-4.60	86.44	-14.15	-41.19	-4.64	32.75	-11.21	0.29	-4.36	32.31	-69.41	68.88	115.22	4.14	-98.38
C	-11.59	-1.67	78.60	-17.06	-40.42	-3.30	76.69	-10.08	0.49	-5.10	200.29	-59.27	147.98	527.49	-3.79	-106.15
D	-11.55	-6.55	99.41	-16.47	-46.30	-4.04	19.01	-5.13	0.55	0.25	25.52	-66.56	81.34	127.90	-2.84	-95.41

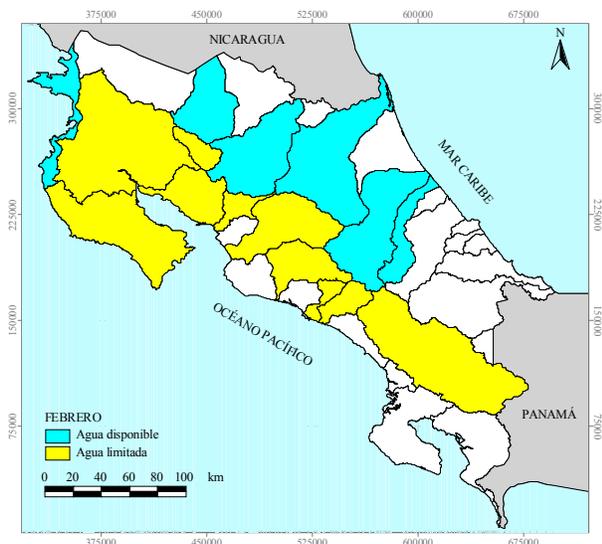


Figura 5.8. Disponibilidad en febrero en condiciones actuales

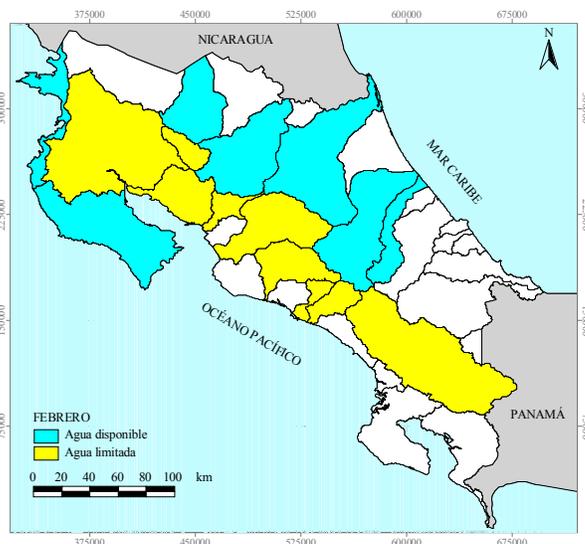


Figura 5.9. Disponibilidad en febrero bajo el escenario A

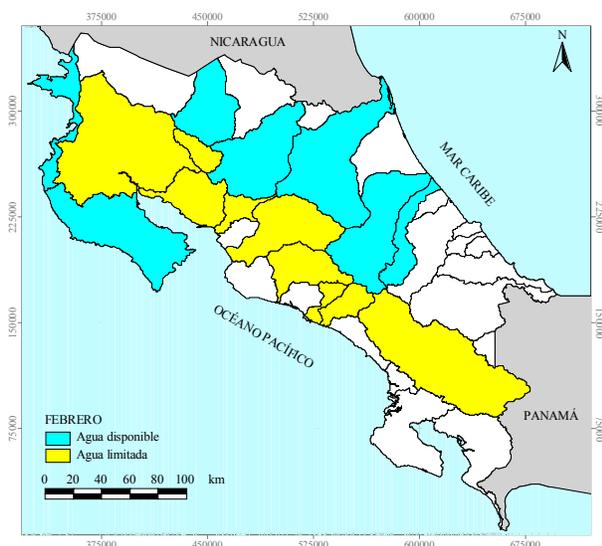


Figura 5.10. Disponibilidad en febrero bajo el escenario B.

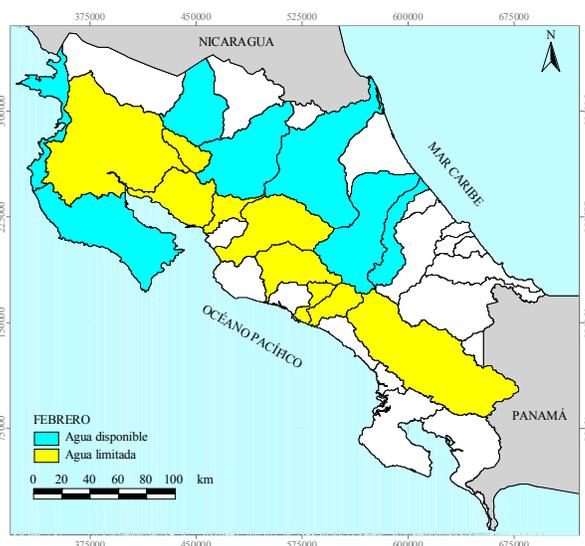


Figura 5.11. Disponibilidad en febrero bajo el escenario D.

Tabla 5.6. Disponibilidad en febrero bajo condiciones actuales y escenarios de precipitación, en hm^3 .

Escenario	Abangares	Barranca	Frío	Grande de Tárcoles	Grande de Térraba	Naranjo	Pacuare	Parrita	Pen. Nicoya ^a	Pen. Nicoya ^b	Reventazón	San Carlos Lago	San Carlos ²	Sarapiquí-Chirripó	Savegre	Tempisque-Bebedero
Actual	-9.41	-2.15	27.46	-14.97	-38.85	-3.85	42.04	-10.68	0.44	-4.65	146.01	-114.00	46.33	307.29	-3.81	-50.87
A	-6.12	-0.93	56.03	-15.12	-37.62	-3.59	34.86	-8.93	0.50	0.05	77.32	-104.44	12.52	272.24	-3.77	-41.51
B	-6.49	-1.54	56.03	-15.44	-38.20	-3.59	33.70	-9.88	0.50	0.03	64.45	-104.32	12.89	270.05	-3.04	-42.44
C	-9.02	-2.13	18.90	-14.89	-38.72	-3.89	37.53	-10.58	0.45	-4.23	128.45	-116.94	33.85	267.39	-3.84	-48.38
D	-7.23	-1.50	77.02	-16.10	-46.46	-3.29	40.93	-15.93	0.50	0.23	136.67	-97.38	49.33	213.82	-5.32	-38.80

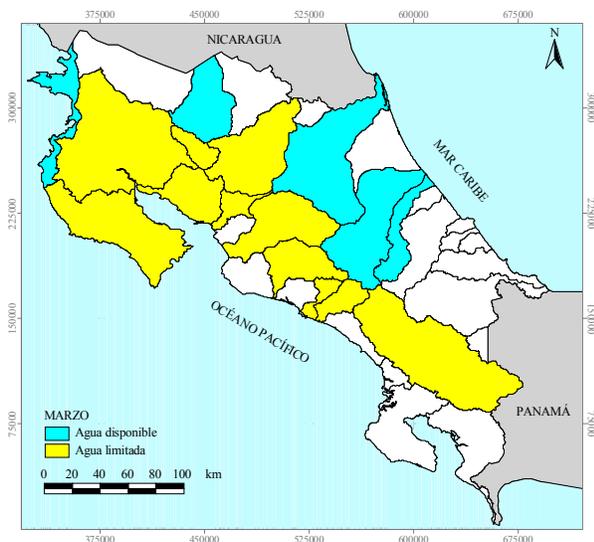


Figura 5.12. Disponibilidad en marzo en condiciones actuales.

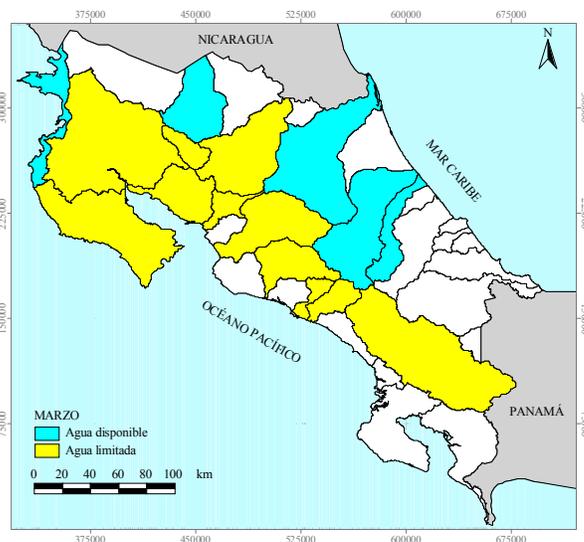


Figura 5.13. Disponibilidad en marzo bajo el escenario A.

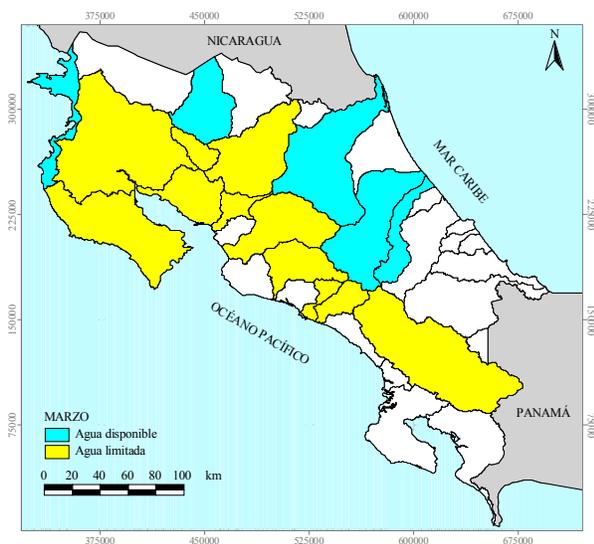


Figura 5.14. Disponibilidad en marzo bajo el escenario B.

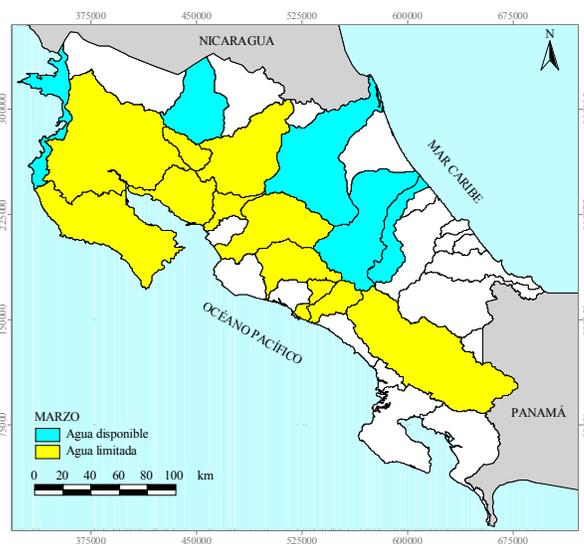


Figura 5.15. Disponibilidad en marzo bajo el escenario D.

Tabla 5.7. Disponibilidad en marzo bajo condiciones actuales y escenarios de precipitación, en hm³.

Escenario	Abangares	Barranca	Frío	Grande de Tárcoles	Grande de Térraba	Naranjo	Pacuaire	Parrita	Pen. Nicoya a	Pen. Nicoya b	Reventazón	San Carlos Lago	San Carlos 2	Sarapiquí-Chirripó	Savegre	Tempisque-Bebedero
Actual	-11.03	-4.93	1.67	-17.55	-29.31	-1.18	28.78	-14.85	0.13	-12.87	84.31	-121.40	-10.66	132.88	-2.54	-78.05
A	-10.45	-5.84	4.91	-15.06	-46.77	-4.88	46.69	-13.76	0.55	-11.70	66.21	-123.71	-15.99	45.59	-3.65	-64.01
B	-11.38	-1.16	4.91	-15.29	-40.41	-4.88	47.01	-14.52	0.55	-9.08	56.21	-123.72	-5.56	63.47	-4.43	-67.07
C	-10.53	-4.87	-1.48	-17.47	-30.97	-1.45	25.44	-14.85	0.20	-11.46	72.47	-123.06	-15.88	106.61	-2.81	-75.18
D	-13.11	-1.00	6.81	-20.03	-42.85	-5.86	35.69	-5.32	0.55	-15.71	20.59	-122.60	-23.92	119.28	-4.71	-66.14

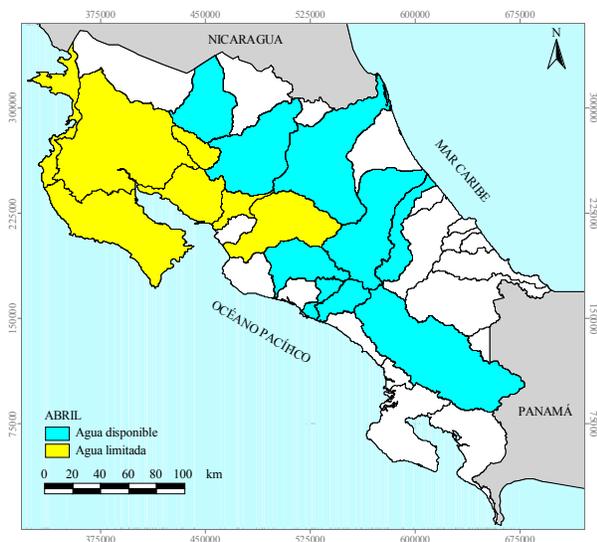


Figura 5.16. Disponibilidad en abril en condiciones actuales

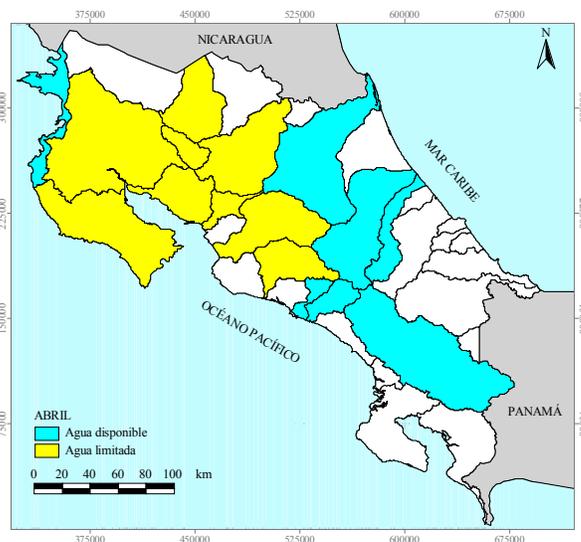


Figura 5.17. Disponibilidad en abril, bajo el escenario A

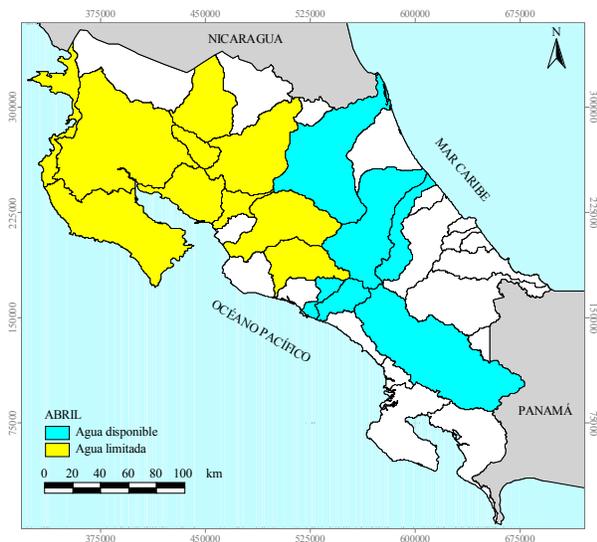


Figura 5.18. Disponibilidad en abril, bajo el escenario B.

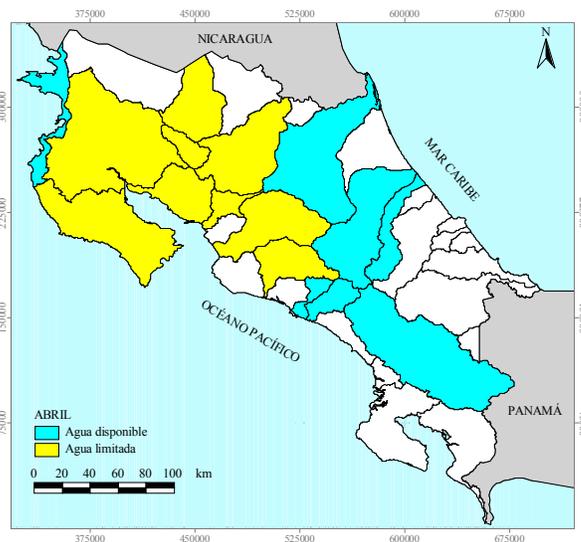


Figura 5.19. Disponibilidad en abril, bajo el escenario D.

Tabla 5.8. Disponibilidad en abril bajo condiciones actuales y escenarios de precipitación, en hm^3 .

Escenario	Abangares	Barranca	Frío	Grande de Tárcoles	Grande de Térraba	Naranjo	Pacutare	Parrita	Pen. Nicoya a	Pen. Nicoya b	Reventazón	San Carlos Lago	San Carlos 2	Sarapiquí-Chirripó	Savegre	Tempisque-Bebedero
Actual	-16.72	-5.92	3.27	-2.61	155.36	24.36	44.09	9.10	-2.43	-46.63	138.35	-96.32	1.49	229.21	31.74	-138.45
A	-11.01	-5.95	-6.51	-16.32	27.09	21.79	18.05	-17.58	0.53	-25.77	61.41	-100.30	-24.58	93.03	14.12	-98.27
B	-10.02	-7.58	-6.51	-15.31	100.55	21.79	22.31	-17.55	-1.18	-31.58	62.35	-100.06	-22.91	118.59	27.69	-105.50
C	-16.04	-5.96	-0.27	-3.48	145.98	23.30	39.81	7.74	-1.94	-42.65	121.83	-97.42	-6.35	196.36	30.12	-131.05
D	-12.30	-9.20	-6.65	-18.06	9.82	24.67	27.75	-13.52	0.53	-29.41	25.75	-99.98	-26.06	115.24	5.83	-91.58

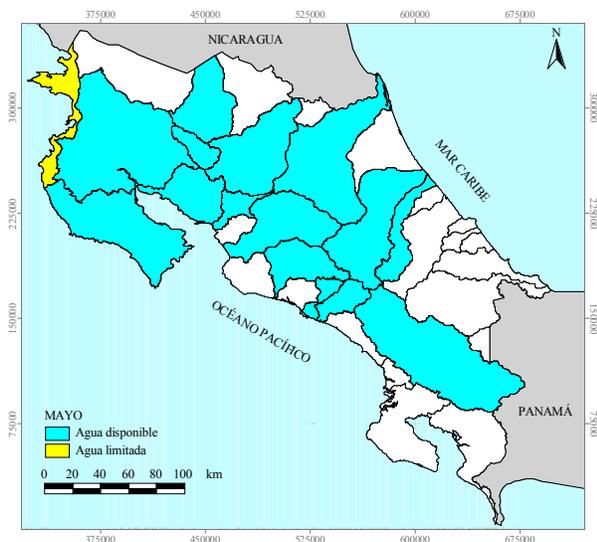


Figura 5.20. Disponibilidad en mayo en condiciones actuales.

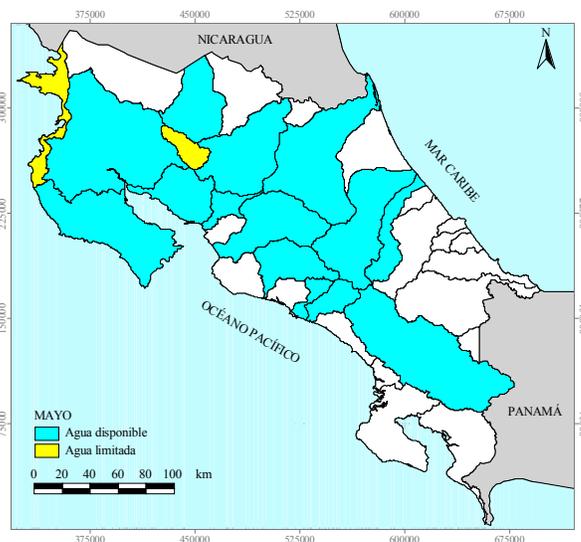


Figura 5.21. Disponibilidad en mayo bajo el escenario A.

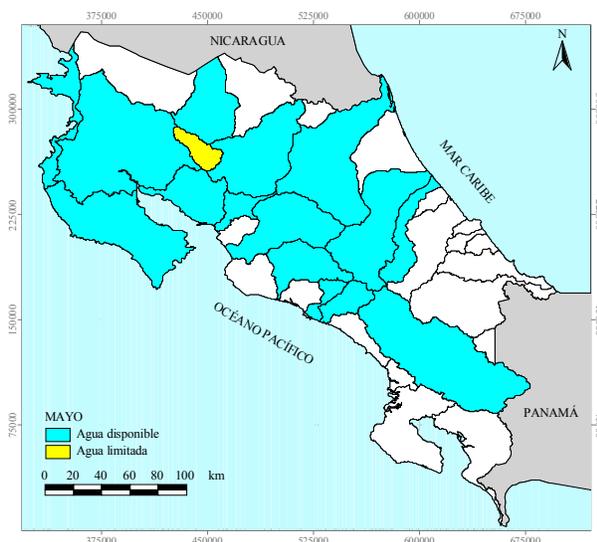


Figura 5.22. Disponibilidad en mayo bajo el escenario B.

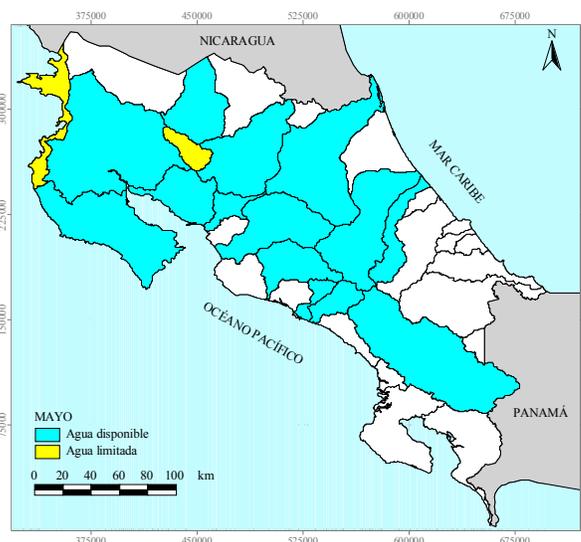


Figura 5.23. Disponibilidad en mayo bajo el escenario D.

Tabla 5.9. Disponibilidad en mayo bajo condiciones actuales y escenarios de precipitación, en hm^3 .

Escenario	Abangares	Barranca	Frío	Grande de Tárcoles	Grande de Térraba	Naranjo	Pacuare	Parrita	Pen. Nicoya a	Pen. Nicoya b	Reventazón	San Carlos Lago	San Carlos 2	Sarapiquí-Chirripó	Savegre	Tempisque-Bebadero
Actual	93.34	117.73	190.58	285.50	810.15	92.03	189.44	209.60	-0.69	201.80	474.62	1.50	233.90	720.34	154.54	258.95
A	11.87	17.53	16.67	191.74	567.48	73.70	39.96	141.05	-5.74	32.57	238.55	-36.37	70.01	491.11	91.36	74.74
B	29.76	244.91	16.67	193.09	743.49	73.70	41.02	147.31	17.11	61.78	231.39	-32.08	79.98	467.09	128.37	130.07
C	77.75	114.21	154.70	276.14	783.81	89.44	176.84	202.72	-4.49	167.57	438.63	-8.10	189.84	645.19	150.04	197.95
D	7.45	271.50	11.85	335.18	559.37	69.11	33.99	241.45	-11.94	52.37	169.46	-35.77	49.72	436.92	71.22	10.11

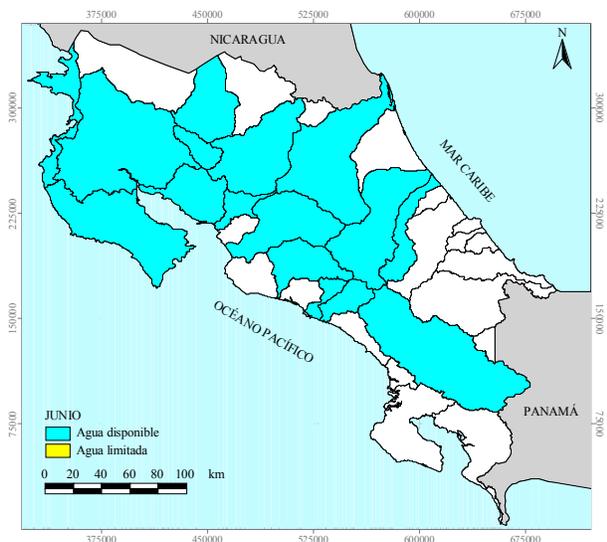


Figura 5.24. Disponibilidad en junio en condiciones actuales

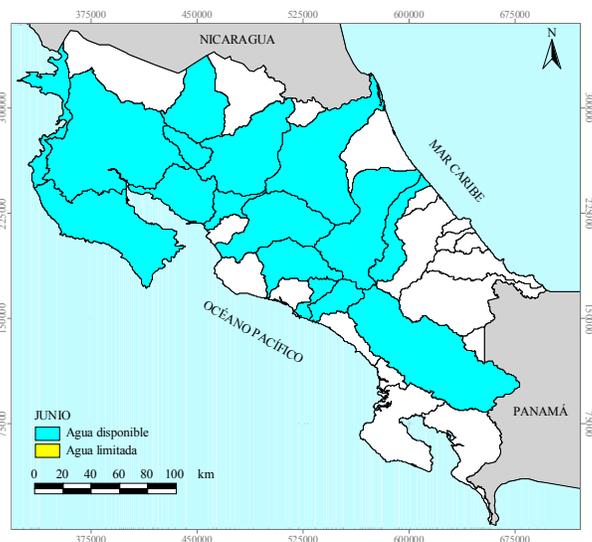


Figura 5.25. Disponibilidad en junio bajo el escenario A

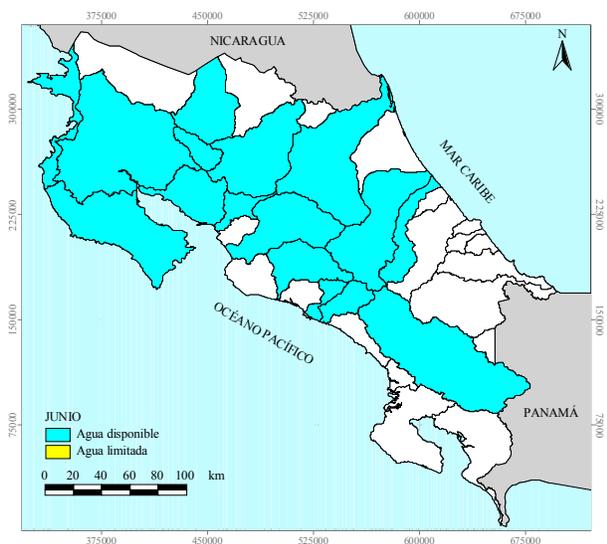


Figura 5.26. Disponibilidad en junio bajo el escenario B.

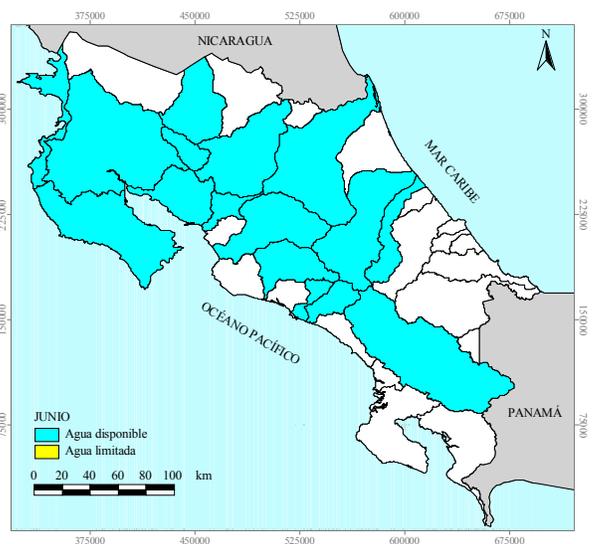


Figura 5.27. Disponibilidad en junio bajo el escenario D.

Tabla 5.10. Disponibilidad en junio bajo condiciones actuales y escenarios de precipitación, en hm³.

Escenario	Abangares	Barranca	Frito	Grande de Tárcoles	Grande de Terraba	Naranjo	Pacuare	Parrita	Pen. Nicoya a	Pen. Nicoya b	Reventazón	San Carlos Lago	San Carlos 2	Sarapiquí-Chirripó	Savegre	Tempisque-Bébedero
Actual	156.5	112.2	337.9	328.9	718.1	91.2	167.7	204.7	34.0	237.9	530.7	43.2	448.9	920.6	134.1	442.3
A	61.3	105.1	369.9	183.5	397.3	57.5	104.4	163.2	2.7	99.0	417.3	52.1	315.4	520.6	78.4	163.7
B	64.4	100.9	369.9	214.3	566.6	57.5	102.5	163.7	18.2	119.0	464.4	52.5	323.6	637.7	99.7	237.6
C	134.9	109.0	284.3	319.0	694.6	88.7	157.9	198.2	24.1	199.0	493.5	29.8	382.2	829.3	130.1	355.6
D	41.8	91.3	400.3	269.3	501.6	60.7	117.2	107.9	18.7	75.8	731.9	65.7	392.9	633.2	109.2	203.8

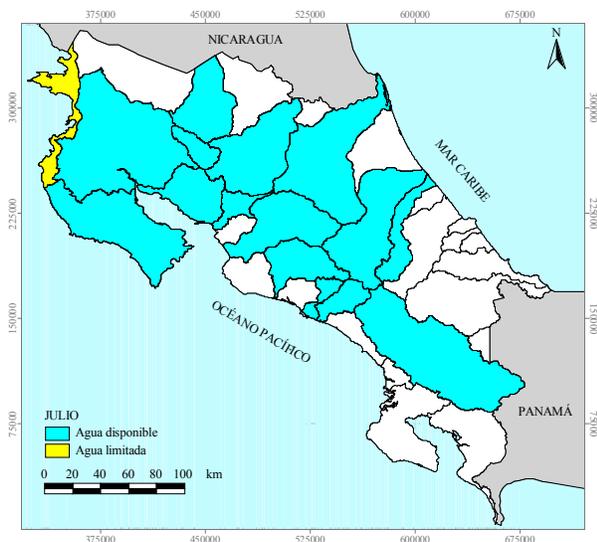


Figura 5.28. Disponibilidad en julio en condiciones actuales

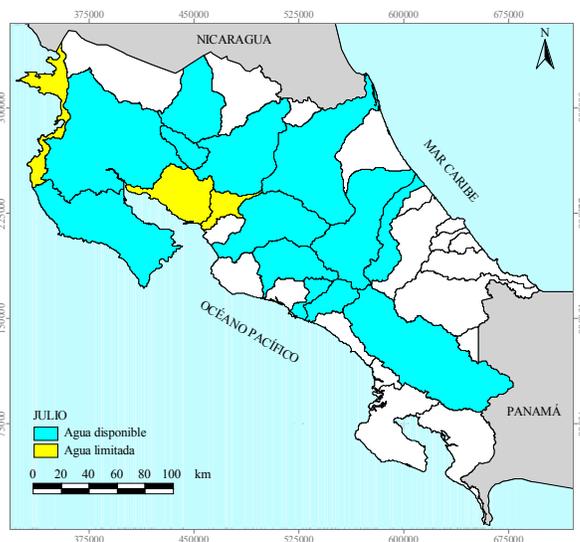


Figura 5.29. Disponibilidad en julio bajo el escenario A

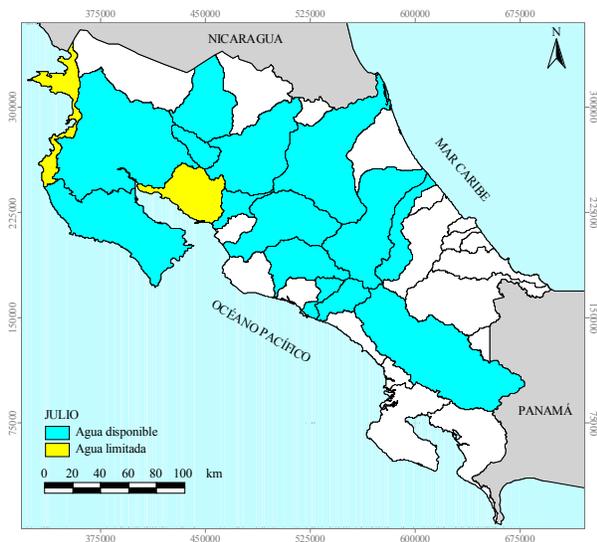


Figura 5.30. Disponibilidad en julio bajo el escenario B.

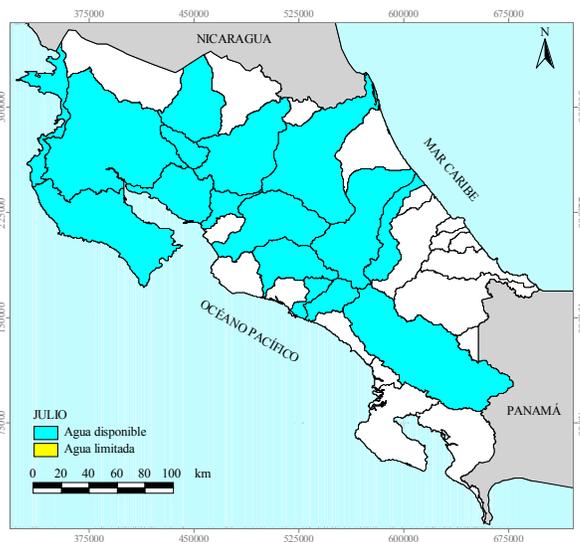


Figura 5.31. Disponibilidad en julio bajo el escenario D.

Tabla 5.11. Disponibilidad en julio bajo condiciones actuales y escenarios de precipitación, en hm^3 .

Escenario	Abangares	Barranca	Frío	Grande de Tárcoles	Grande de Térraba	Naranjo	Pacuare	Parrita	Pen. Nicoya a	Pen. Nicoya b	Reventazón	San Carlos Lago	San Carlos 2	Sarapiquí-Chirripó	Savegre	Tempisque-Bebedero
Actual	80.1	77.4	440.3	193.5	431.0	84.4	137.0	123.1	-9.5	165.6	526.5	78.0	533.3	1043.2	107.7	109.7
A	-3.6	-1.1	356.4	64.8	160.3	53.0	85.9	28.7	-8.0	183.6	365.4	63.2	344.9	727.9	90.2	0.8
B	-2.5	29.6	356.4	88.4	325.0	53.0	88.7	26.7	-12.3	187.9	347.2	64.9	347.0	736.1	78.8	35.2
C	67.2	74.8	374.1	186.6	414.0	82.1	126.8	118.3	-11.1	133.6	483.7	61.3	453.6	940.5	104.3	75.5
D	119.5	21.6	345.8	25.8	315.4	68.0	90.5	24.3	6.5	292.9	289.8	63.5	482.5	899.4	101.9	277.1

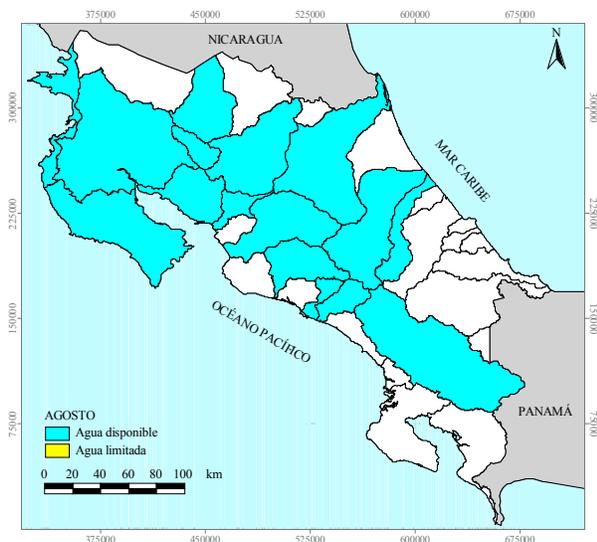


Figura 5.32. Disponibilidad en agosto en condiciones actuales

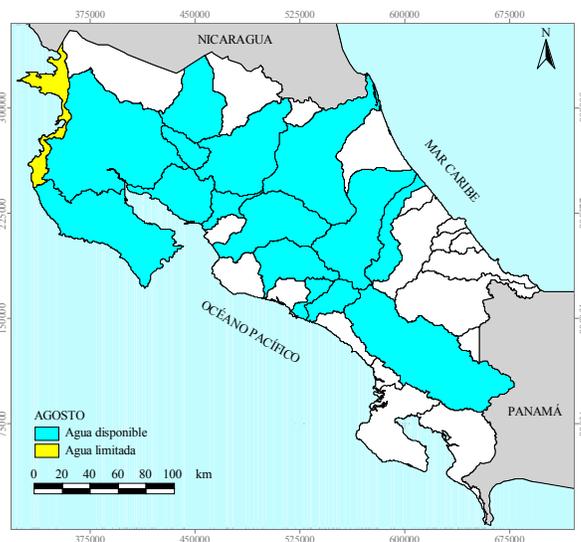


Figura 5.33. Disponibilidad en agosto bajo el escenario A

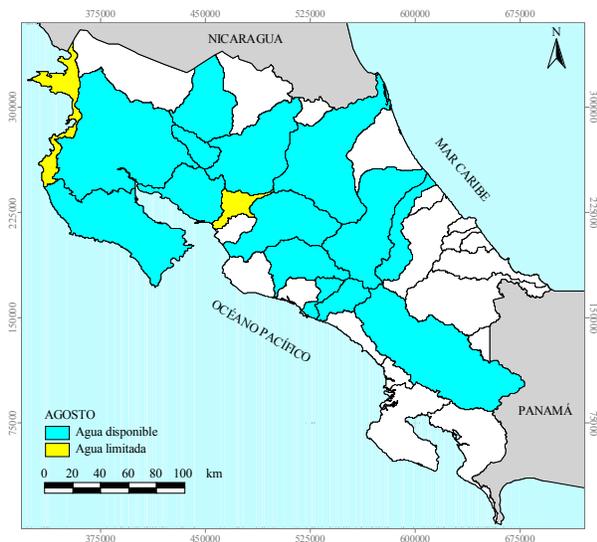


Figura 5.34. Disponibilidad en agosto bajo el escenario B.

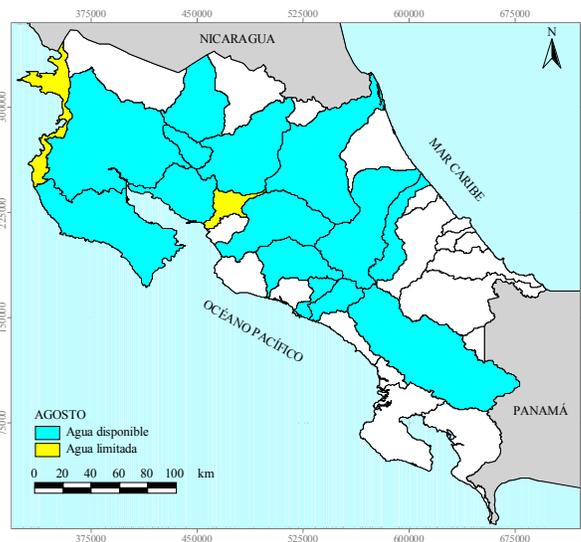


Figura 5.35. Disponibilidad en agosto bajo el escenario D.

Tabla 5.12. Disponibilidad en agosto bajo condiciones actuales y escenarios de precipitación, en hm³.

Escenario	Abangares	Barranca	Frío	Grande de Tárcoles	Grande de Térraba	Naranjo	Pacuare	Parrita	Pen. Nicoya a	Pen. Nicoya b	Reventazón	San Carlos Lago	San Carlos 2	Sarapiquí-Chirripó	Savegre	Tempisque-Bebedero
Actual	152.4	80.1	419.8	303.7	697.9	104.4	171.3	152.8	12.3	248.4	529.5	87.1	522.2	929.0	145.3	285.0
A	49.4	3.0	261.8	166.4	347.7	52.3	77.9	43.2	-5.0	38.6	213.2	35.4	363.7	474.8	86.2	65.9
B	57.9	-0.5	261.8	159.2	473.4	52.3	79.0	56.8	-8.0	43.6	273.6	41.8	366.4	509.9	95.9	72.9
C	130.7	77.5	356.1	294.0	674.3	101.6	160.4	147.3	6.0	207.0	490.6	70.7	446.2	835.6	141.0	217.1
D	86.7	-8.0	279.5	131.2	367.7	91.3	83.8	101.7	-11.6	63.5	498.3	28.1	415.2	392.2	62.9	47.5

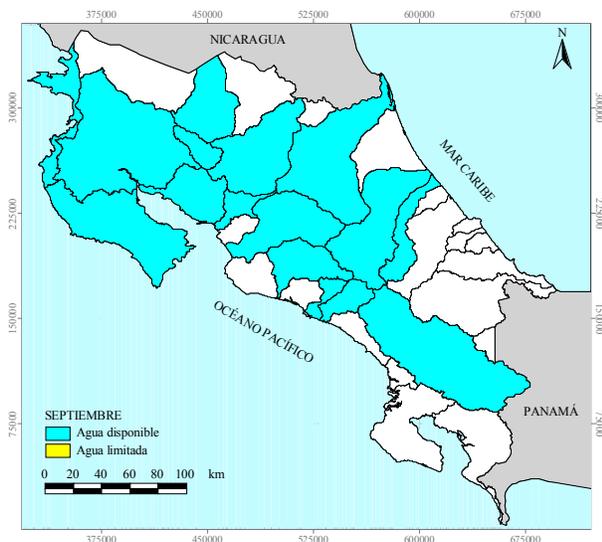


Figura 5.36. Disponibilidad en septiembre en condiciones actuales

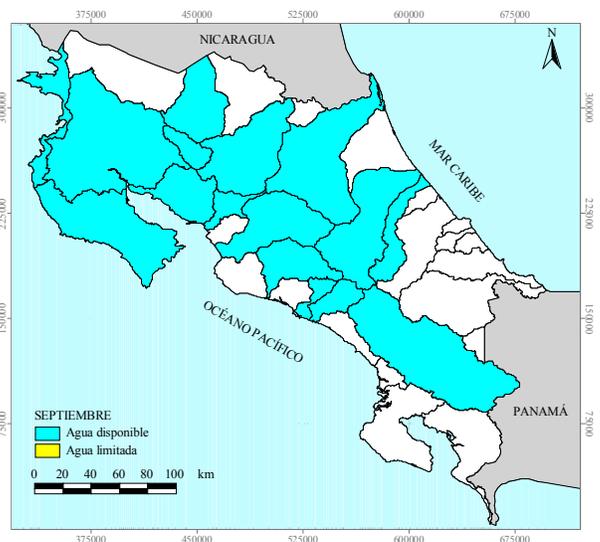


Figura 5.37. Disponibilidad en septiembre bajo el escenario A

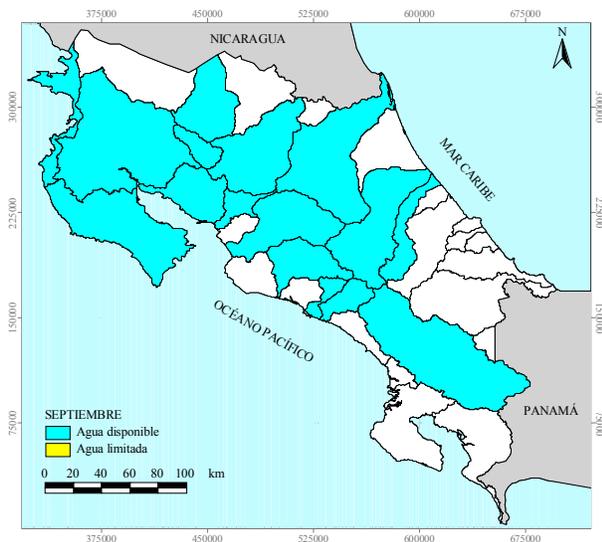


Figura 5.38. Disponibilidad en septiembre bajo el escenario B.

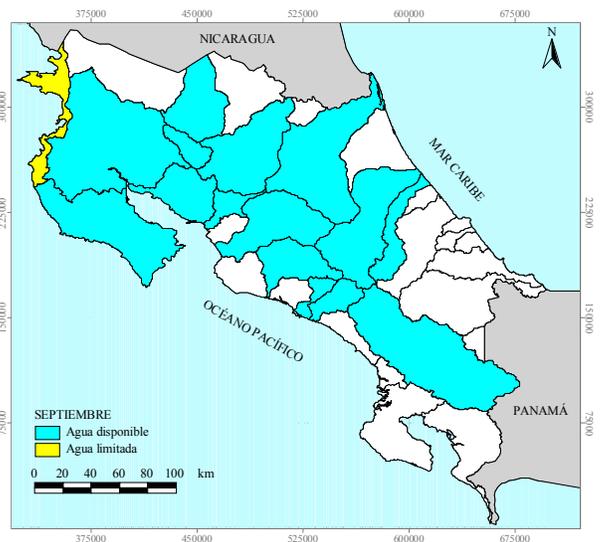


Figura 5.39. Disponibilidad en septiembre bajo el escenario D.

Tabla 5.13. Disponibilidad en septiembre bajo condiciones actuales y escenarios de precipitación, en hm^3 .

Escenario	Abangares	Barranca	Frío	Grande de Tárcoles	Grande de Térraba	Naranjo	Pacuaire	Parrita	Pen. Nicoya a	Pen. Nicoya b	Reventazón	San Carlos Lago	San Carlos 2	Sarapiquí-Chirripó	Savegre	Tempisque-Bebadero
Actual	269.7	169.9	315.6	442.8	1105.6	128.3	148.6	290.6	102.7	572.5	481.6	77.7	433.6	652.8	215.3	772.4
A	83.4	135.8	249.8	199.6	724.3	62.3	159.0	190.3	12.5	183.0	411.6	46.7	342.7	585.8	150.0	279.1
B	97.6	100.2	249.8	245.1	958.7	62.3	163.4	207.3	21.5	174.4	413.4	51.5	337.3	547.5	158.5	275.0
C	237.5	165.4	264.3	430.3	1073.2	125.1	140.5	282.1	82.9	503.2	451.9	63.1	369.6	582.2	209.7	636.5
D	256.6	94.2	266.0	188.5	841.6	85.3	187.2	168.9	-10.4	285.5	349.0	53.0	340.1	575.9	200.5	339.2

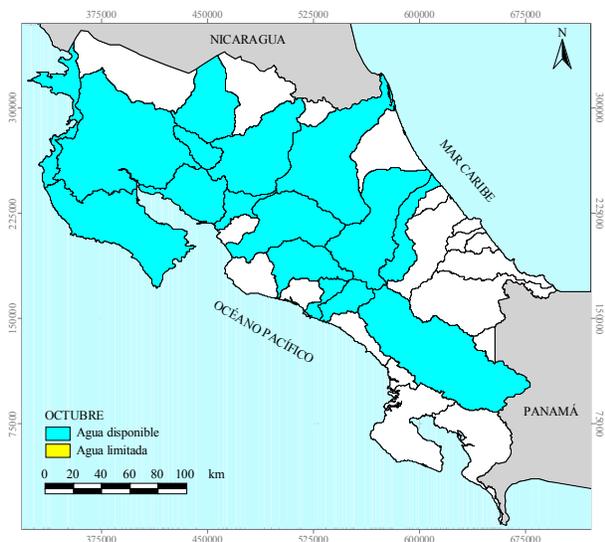


Figura 5.40. Disponibilidad en octubre en condiciones actuales

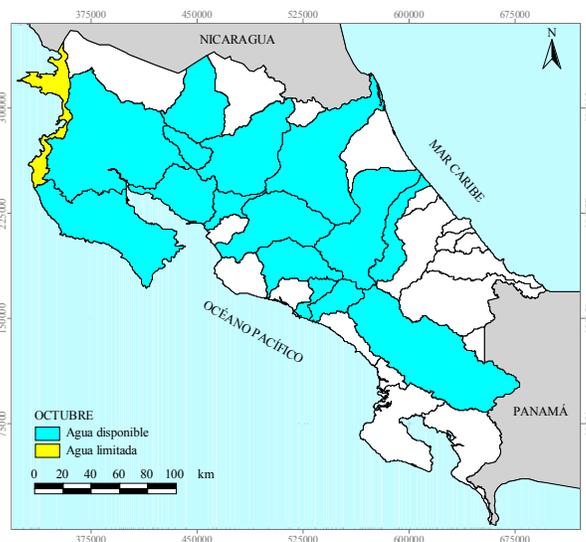


Figura 5.41. Disponibilidad en octubre bajo el escenario A

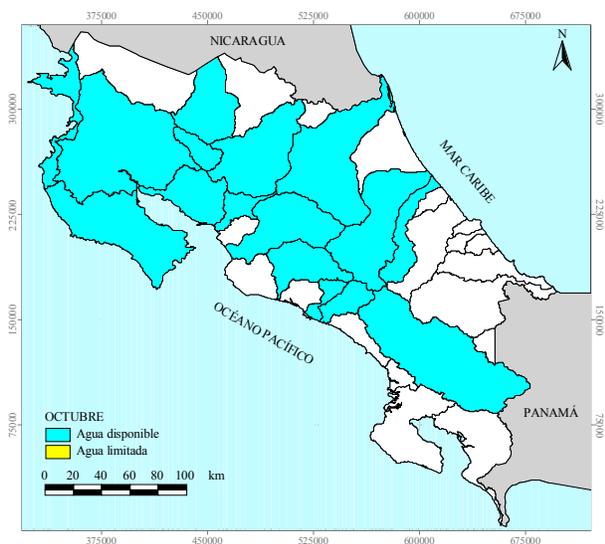


Figura 5.42. Disponibilidad en octubre bajo el escenario B.

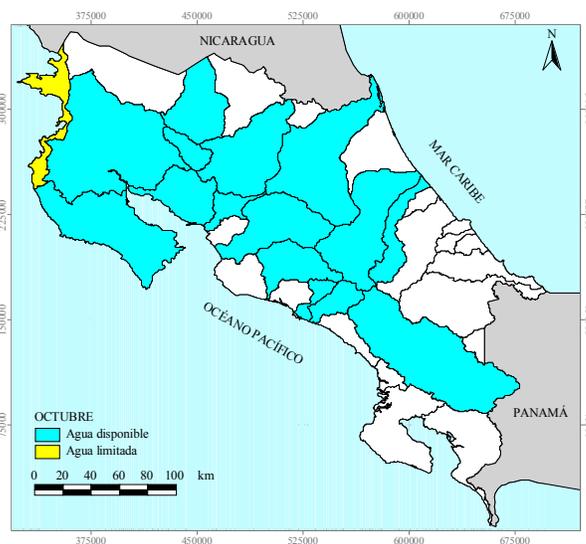


Figura 5.43. Disponibilidad en octubre bajo el escenario D.

Tabla 5.14. Disponibilidad en octubre bajo condiciones actuales y escenarios de precipitación, en hm³.

Escenario	Abangares	Barranca	Frío	Grande de Tárcoles	Grande de Térraba	Naranjo	Pacuaire	Parrita	Pen. Nicoya a	Pen. Nicoya b	Reventazón	San Carlos Lago	San Carlos 2	Sarapiquí-Chirripó	Savegre	Tempisque-Bebedero
Actual	245.2	152.5	343.1	448.7	1313.9	142.4	195.8	324.2	62.1	466.9	538.6	83.5	510.6	800.8	221.8	687.2
A	133.7	63.9	264.4	271.4	773.6	74.6	161.5	215.2	-2.6	185.5	424.8	28.4	325.7	586.1	133.3	220.6
B	159.0	78.7	264.4	298.7	1086.8	74.6	157.1	218.7	8.1	229.4	403.4	32.9	359.7	573.2	146.4	332.8
C	215.2	148.3	288.9	436.0	1277.3	138.8	185.0	315.1	48.0	407.6	503.1	67.0	437.7	718.8	216.0	563.8
D	136.6	71.7	210.2	346.6	723.0	107.0	170.5	257.5	-1.2	124.4	439.0	26.3	327.6	512.0	166.4	405.8

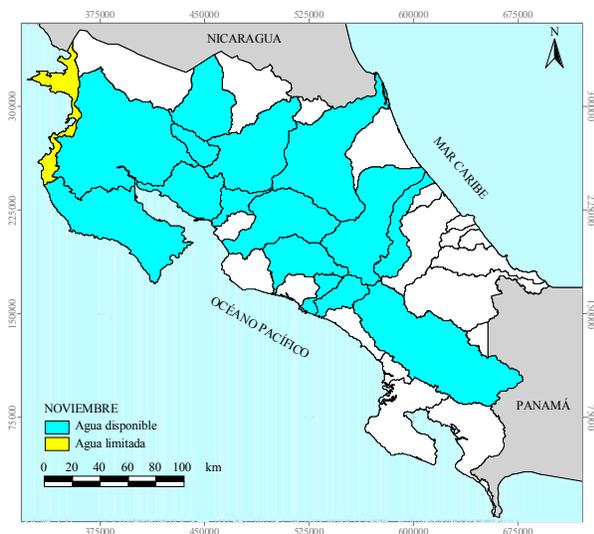


Figura 5.44. Disponibilidad en noviembre en condiciones actuales

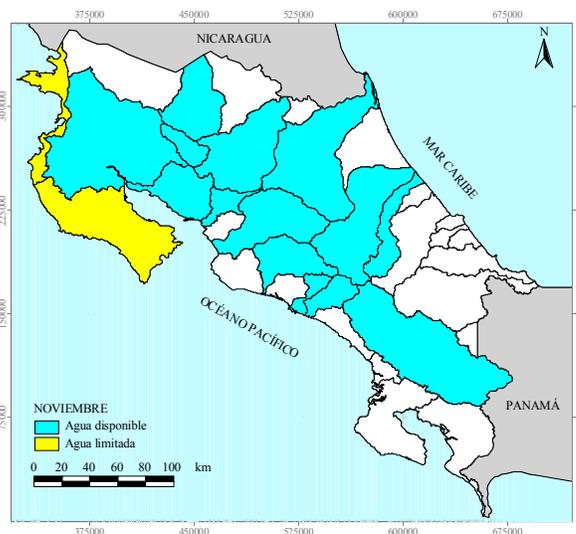


Figura 5.45. Disponibilidad en noviembre bajo el escenario A

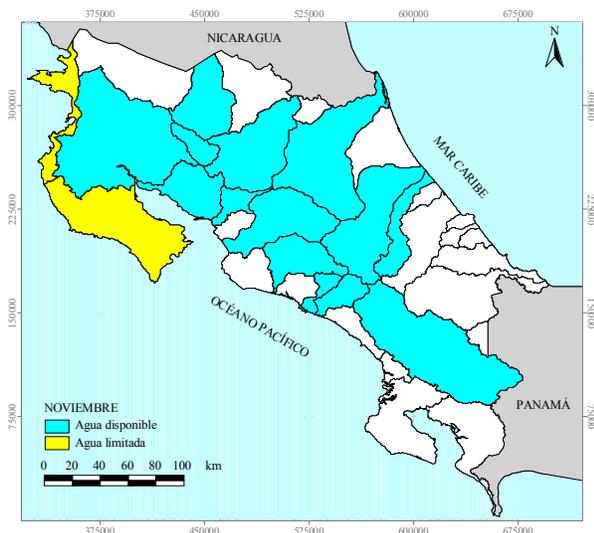


Figura 5.46. Disponibilidad en noviembre bajo el escenario B.

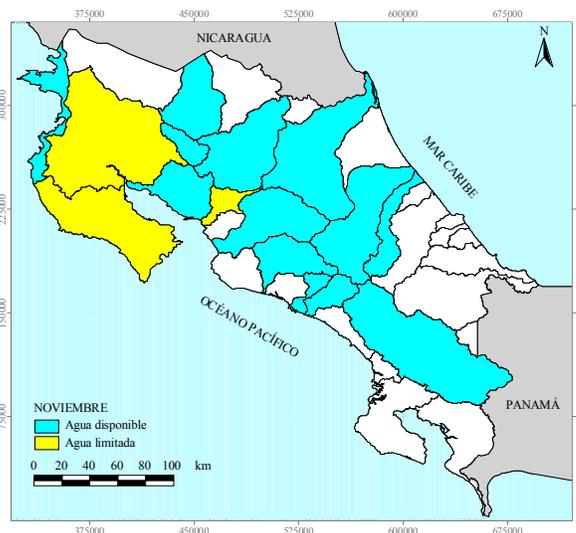


Figura 5.47. Disponibilidad en noviembre bajo el escenario D.

Tabla 5.15. Disponibilidad en noviembre bajo condiciones actuales y escenarios de precipitación, en hm^3 .

Escenario	Abangares	Barranca	Frío	Grande de Tárcoles	Grande de Térraba	Naranjo	Pacure	Parrita	Pen. Nicoya ^a	Pen. Nicoya ^b	Reventazón	San Carlos Lago	San Carlos 2	Sarapiquí-Chirripó	Savegre	Tempisque-Bébedero
Actual	45.1	28.4	272.5	108.7	485.9	68.5	181.0	83.1	-16.2	25.3	467.2	34.1	415.5	1039.0	107.8	37.9
A	66.8	111.4	112.1	61.8	375.0	62.3	80.5	16.6	-6.6	-30.5	333.9	3.2	215.0	479.5	75.4	2.7
B	48.0	7.7	112.1	74.2	434.6	62.3	75.1	13.6	-10.0	-36.1	335.3	3.5	213.4	482.2	85.7	23.0
C	36.3	27.2	228.4	104.1	468.2	66.6	169.9	79.6	-15.1	14.6	428.6	22.1	353.8	945.2	104.4	22.2
D	20.3	-0.3	108.5	39.5	403.4	52.3	83.8	44.1	0.2	-20.8	311.7	2.6	193.3	579.6	112.3	-13.0

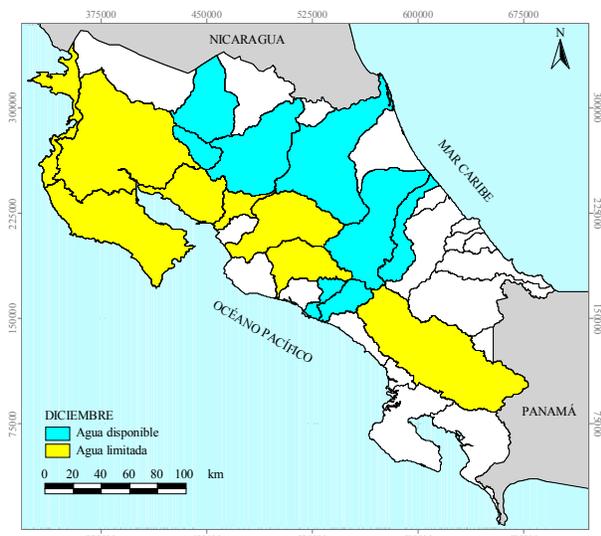


Figura 5.48. Disponibilidad en diciembre en condiciones actuales.

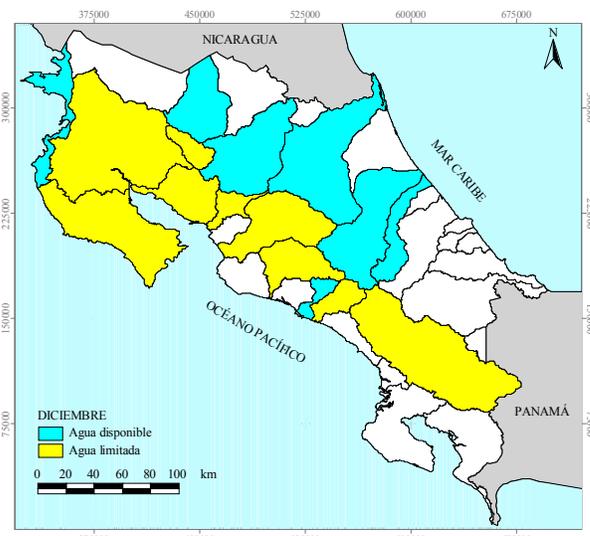


Figura 5.49 Disponibilidad en diciembre bajo el escenario A.

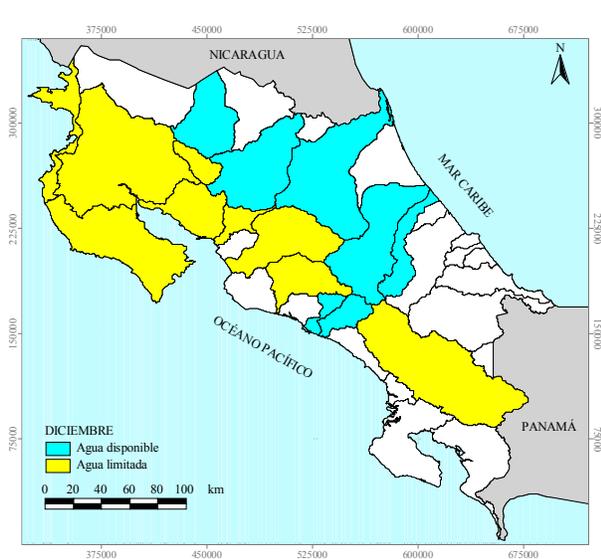


Figura 5.50. Disponibilidad en diciembre bajo el escenario B.

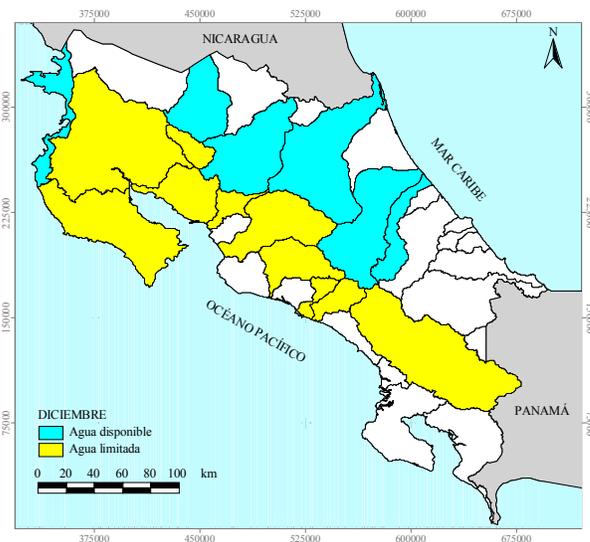


Figura 5.51. Disponibilidad en diciembre bajo el escenario D

Tabla 5.16. Disponibilidad en diciembre bajo condiciones actuales y escenarios de precipitación, en hm^3 .

Escenario	Abangares	Barranca	Frío	Grande de Tárcoles	Grande de Térraba	Naranjo	Pacuaré	Parrita	Pen. Nicoya a	Pen. Nicoya b	Reventazón	San Carlos Lago	San Carlos 2	Sarapiquí-Chirripó	Savegre	Tempisque-Bebedero
Actual	-14.8	-4.7	224.6	-11.5	-18.5	9.7	130.7	-11.0	-4.2	-31.6	412.0	18.7	345.1	980.9	10.1	-174.1
A	-13.4	-3.3	104.8	-17.8	-39.9	10.6	12.7	-8.3	0.5	-8.2	83.3	-32.0	87.8	316.6	-0.5	-150.5
B	-13.6	-2.9	104.8	-18.0	-31.0	10.6	14.0	-9.1	-0.6	-9.5	112.2	-28.4	89.8	267.9	0.9	-149.4
C	-14.6	-4.6	186.6	-11.9	-20.4	9.1	121.0	-11.1	-3.4	-28.7	375.3	7.2	292.1	891.1	9.2	-167.2
D	-14.0	-1.3	101.2	-18.5	-39.7	-0.5	8.2	-10.2	0.5	-12.9	117.9	-34.0	83.3	350.9	-4.8	-167.4

5.2 ESCENARIOS DE DEMANDAS DE AGUA

En Rivera, 2007, se presenta la estimación de la demanda futura de agua para las principales cuencas del país, considerando tres escenarios: Base, Convergencia e Inmovilismo y tomando en cuenta diferentes plazos: a corto (al año 2010), a mediano (al año 2020) y a largo plazo (al año 2030). En la tabla 5.17 se presenta una descripción general de cada uno de los escenarios mencionados.

Tabla 5.17. Escenarios considerados en la estimación de la demanda de agua.

Escenario	Descripción
A. Base	El país sigue una senda de desarrollo acorde a las tendencias actuales. Esto implica que las variables claves se compartan de la manera esperada, suponiendo que los lineamientos de las políticas actuales y las estructuras económicas y sociales se refuerzan. Debe notarse que este escenario no describe necesariamente un crecimiento lineal de las variables sino más bien los cambios esperados a partir de la posición actual del país.
B. Convergencia	Se fundamenta en la convergencia de los indicadores de países en vías de desarrollo a indicadores propios de países más avanzados. Kemp-Benedict et al (1998), plantean que esta convergencia se define como una ruta de convergencia de las variables en cuestión, especialmente de los valores de intensidad en el uso del agua.
C. Inmovilismo	Por debajo de las expectativas, el país se estanca tanto en su economía como en la evolución de las políticas públicas tendientes al desarrollo sostenible equilibrado.

Fuente: Rivera, 2007.

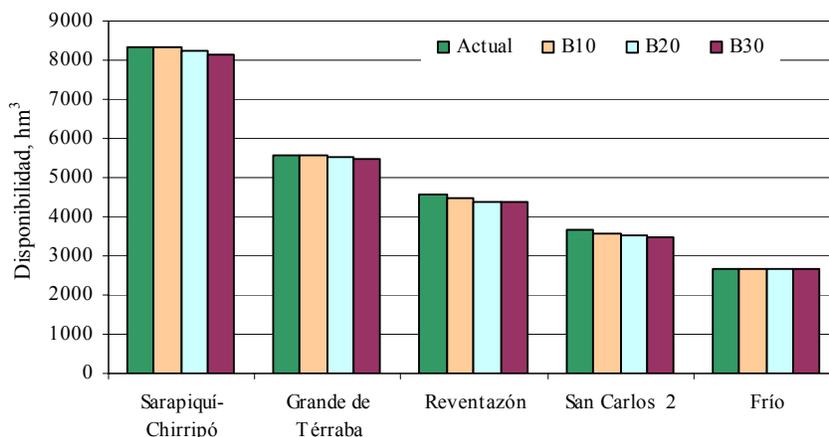
En Rivera, 2007, se obtienen por cuenca hidrográfica volúmenes anuales de demanda de agua, por uso y por escenario, figura 5.52. En el Anexo I se presentan los volúmenes de demanda de agua obtenidos por Rivera, 2007, desglosados por escenario, uso y proyección a los años 2010, 2020 y 2030. Estos valores se desagregan mensualmente considerando los volúmenes mensuales concesionados al año 2006 y son reemplazados en la hoja de balance, específicamente en la hoja correspondiente a los usos de consumo, *Ucon*, para obtener el balance hídrico. Por otro lado, la variable de retornos que está ligada directamente a los volúmenes de consumo de agua, también se modifica.

En las gráficas 5.9 a 5.11 se presentan los resultados de la disponibilidad media anual considerando únicamente el escenario Base, que de acuerdo con Rivera es el escenario que tiene mayor probabilidad de ocurrencia. En dichas gráficas se observa que las cuencas Abangares, Tempisque-Bebedero y Parrita presentan una disminución considerable.

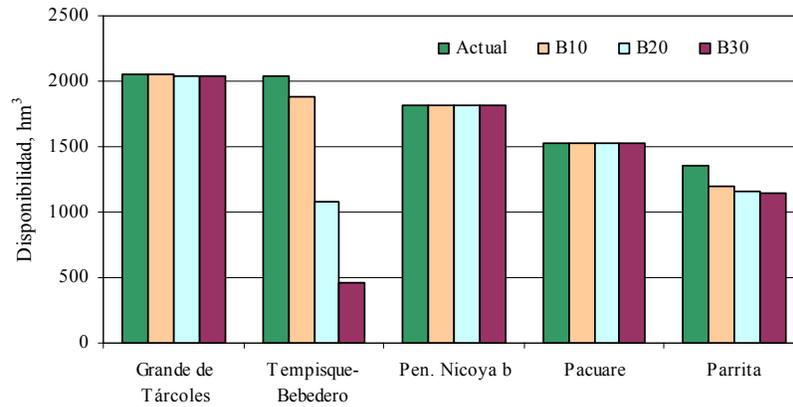
Finalmente, en las figuras 5.53 a 5.100 se muestra la disponibilidad media mensual considerando las proyecciones a los años 2010, 2020 y 2030, y en el Anexo J se presentan los balances hídricos del escenario Base con sus tres proyecciones; además, un resumen de la disponibilidad mensual por proyección y cuenca hidrográfica.

Año	2006	2007	2008	2009	2010
Base					
PIB Industrial	\$3,517,298,327.35	3,756,474,613.61	4,011,914,887.33	4,295,384,228.01	4,598,882,624.48
Tasa Crecimiento PIB Ind		7%	7%	7.07%	7.07%
Volumen concesionado					
Intensidad M3 / \$1000 V.A	33.00	32.28	31.57	30.85	30.13
Variación en Intensidad		0.717	0.717	0.717	0.717
Demanda Total	116,070,844.80	121,268,800.03	126,636,965.57	132,503,265.64	138,566,332.99
Crecimiento anual de la Demanda de agua	116.07	121.27	126.64	132.50	138.57
Crecimiento en la Demanda (con respecto a 2006)		4.5%	4.4%	4.8%	19%
Convergencia					
PIB Industrial	\$3,517,298,327.35	3,756,474,613.61	4,011,914,887.33	4,295,384,228.01	4,598,882,624.48
Tasa Crecimiento PIB Ind		7%	7%	7.07%	7.07%
Volumen concesionado					
Intensidad M3 / \$1000 V.A	33.00	32.02	31.05	30.07	29.10
Variación en Intensidad		0.975	0.98%	0.98%	0.98%
Demanda Total	116,070,844.80	120,200,282.88	124,568,212.94	129,180,879.32	133,823,465.34
Crecimiento anual de la Demanda de agua	116.07	120.30	124.57	129.18	133.82
Crecimiento en la Demanda (con respecto a 2006)		3.6%	3.6%	3.7%	15%
Impulsión					
PIB Industrial	\$3,517,298,327.35	3,756,474,613.61	4,006,167,481.17	4,276,492,882.02	4,558,260,432.81
Tasa Crecimiento PIB Ind		7%	7%	7%	7%
(Variación tasa crecimiento de base)		100.00%	97.75%	95.50%	93.25%
Intensidad M3 / \$1000 V.A	33.00	32.71	32.43	32.14	31.85
Variación en Intensidad		0.287	0.287	0.287	0.287
Demanda Total	116,070,844.80	122,885,717.36	128,904,335.11	137,442,762.54	145,190,504.04
Crecimiento anual de la Demanda de agua	116.07	122.89	129.90	137.44	145.19
Crecimiento en la Demanda (con respecto a 2006)		5.9%	5.7%	5.8%	25%
Diferencial Escenario Impulsión vs Escenario Base	100%	81%	80%	84%	88%
Diferencial Escenario Convergencia vs Escenario Base	100%	98%	98%	97%	97%
Diferencial Escenario Impulsión vs Escenario Convergencia	100%	102%	104%	106%	108%
PIB Industrial 2006 (en millones de dólares)	4312.71				
De acuerdo a Echeverri y Rojas, agua concesionado para uso	22.416				

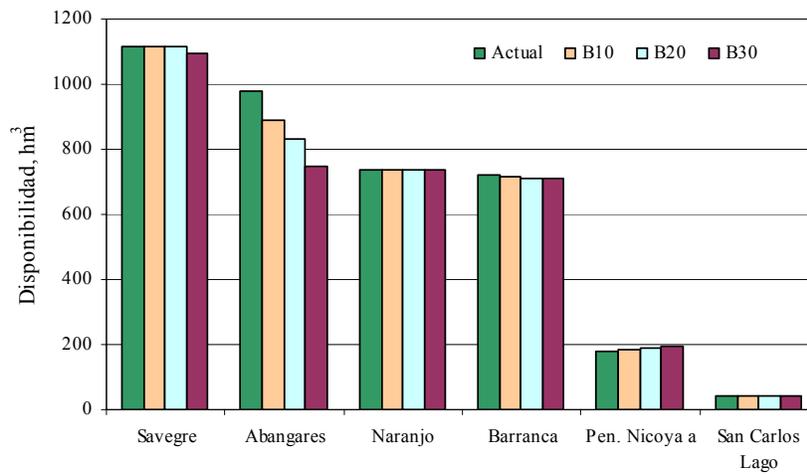
Figura 5.52. Volúmenes de demanda de agua.
Fuente: Rivera, 2007.



Gráfica 5.9. Disponibilidad media anual en las cuencas Sarapiquí-Chirripó, Gde. de Térraba, Reventazón, San Carlos 2 y Frío.



Gráfica 5.10. Disponibilidad media anual en las cuencas Gde. de Tárcoles, Tempisque-Bebedero, Pen. Nicoya *b*, Pacuare y Parrita.



Gráfica 5.11. Disponibilidad media anual en las cuencas Savegre, Abangares, Naranjo, Barranca, Pen. Nicoya *a* y San Carlos Lago.

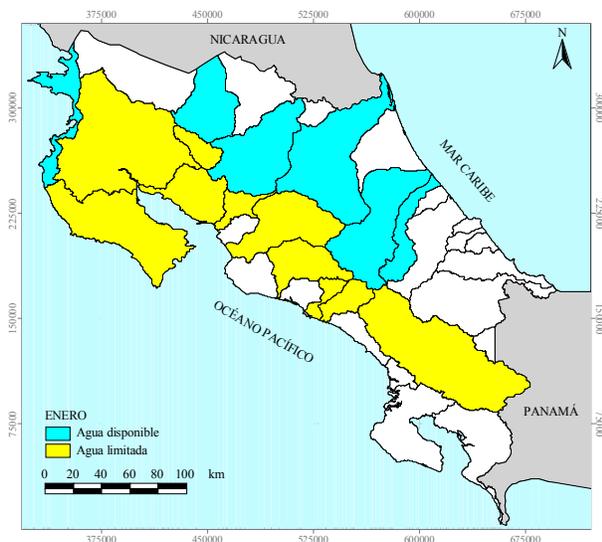


Figura 5.53. Disponibilidad en enero en condiciones actuales

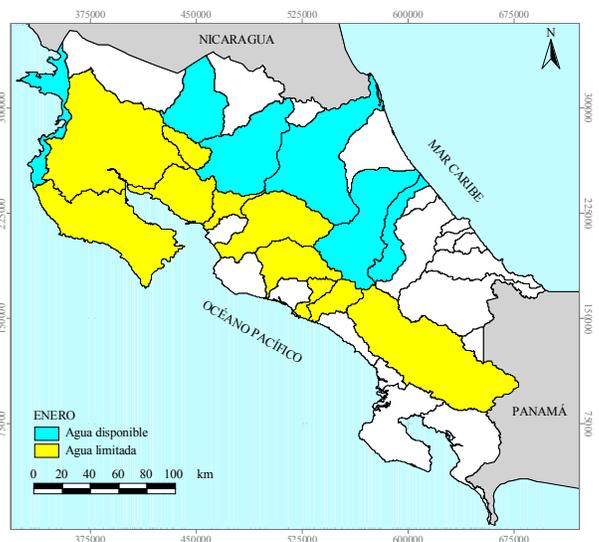


Figura 5.54. Disponibilidad en enero bajo el escenario base 2010

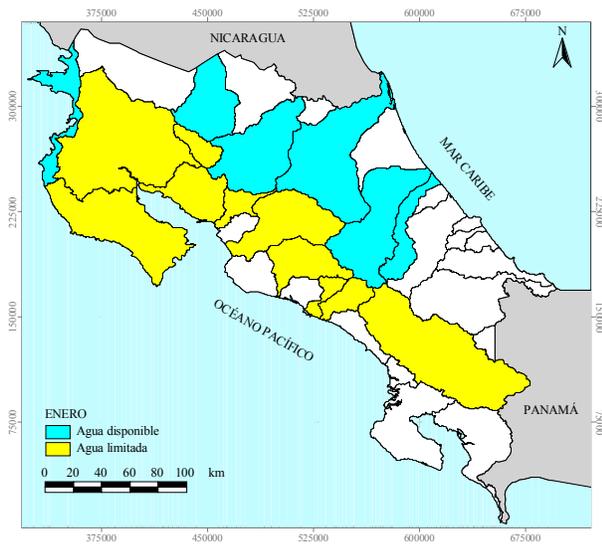


Figura 5.55. Disponibilidad en enero bajo el escenario base 2020.

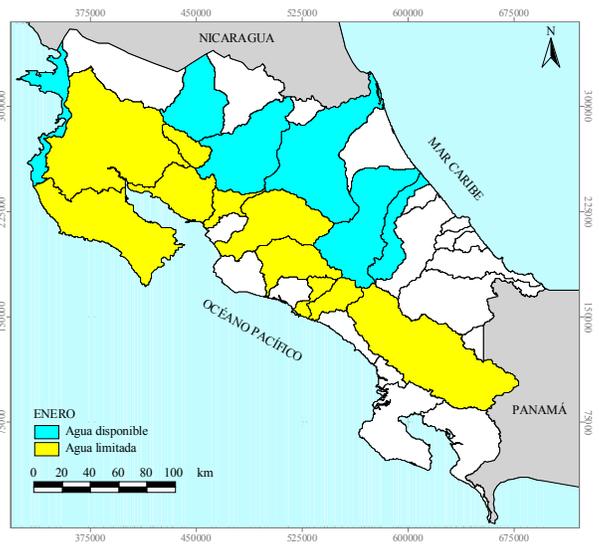


Figura 5.56. Disponibilidad en enero bajo el escenario base 2030

Tabla 5.18. Disponibilidad en enero en condiciones actuales y bajo el escenario base, en hm³.

Escenario	Abangares	Barranca	Frio	Grande de Tárcoles	Grande de Terraba	Naranjo	Pacuare	Parrita	Pen. Nicoya a	Pen. Nicoya b	Reventazón	San Carlos Lago	San Carlos 2	Sarapiquí-Chirripó	Savegre	Tempisque-Bebadero
Actual	-12.13	-1.68	99.61	-17.13	-40.55	-3.18	83.76	-10.19	0.48	-5.67	223.76	-51.64	177.08	589.67	-3.70	-110.18
Base 2010	-19.66	-2.05	99.54	-18.63	-45.17	-3.15	83.88	-22.64	0.74	-5.72	214.22	-51.55	170.92	589.50	-3.76	-124.65
Base 2020	-24.70	-2.33	99.51	-21.29	-49.83	-3.07	83.97	-26.05	1.14	-5.62	209.67	-51.60	164.45	578.59	-3.78	-237.21
Base 2030	-32.17	-2.65	99.48	-21.94	-55.82	-2.97	84.07	-28.41	1.67	-5.57	206.69	-51.65	157.41	573.60	-5.79	-325.85

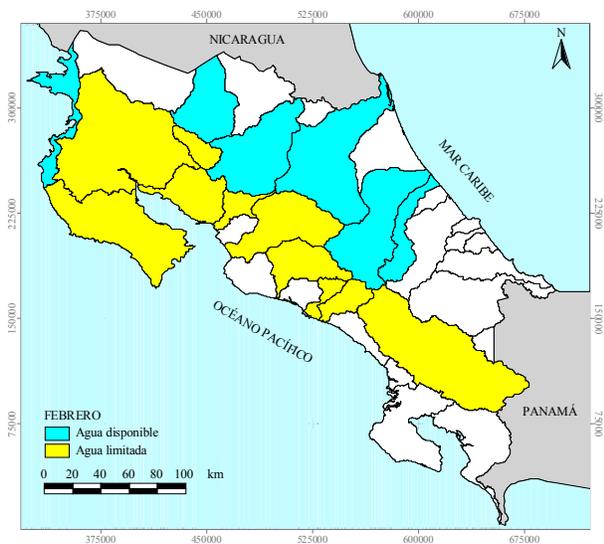


Figura 5.57. Disponibilidad en febrero en condiciones actuales

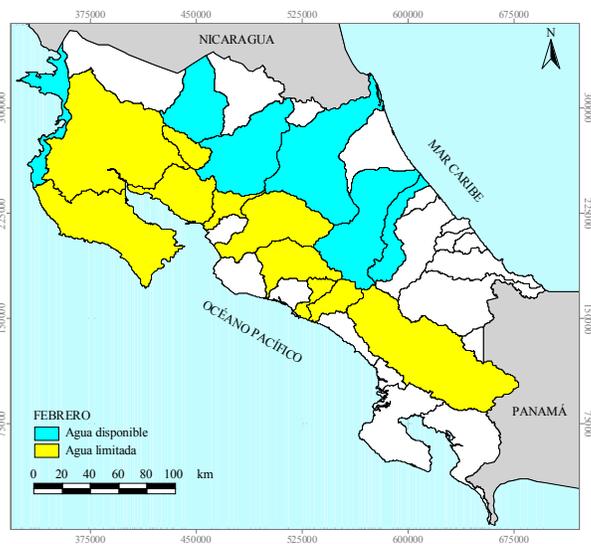


Figura 5.58. Disponibilidad en febrero bajo el escenario base 2010

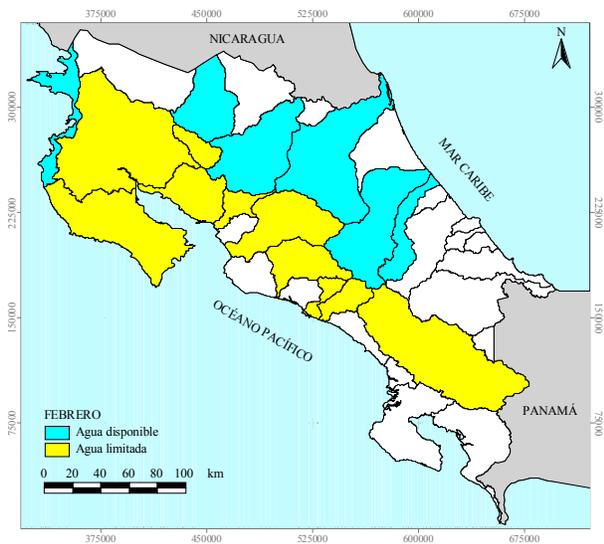


Figura 5.59. Disponibilidad en febrero bajo el escenario base 2020.

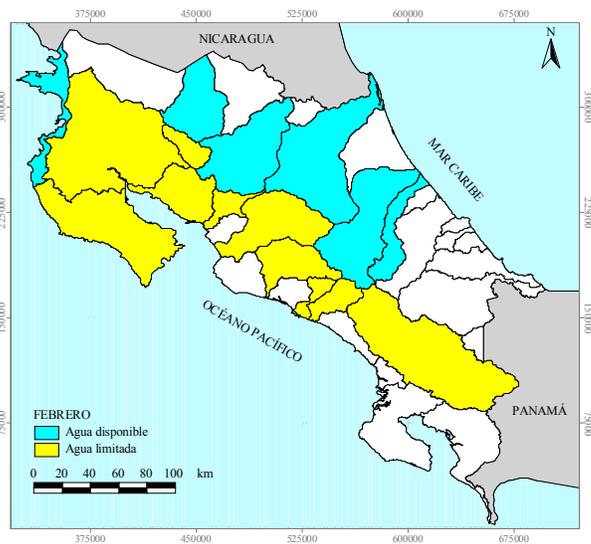


Figura 5.60. Disponibilidad en febrero bajo el escenario base 2030.

Tabla 5.19. Disponibilidad en febrero en condiciones actuales y bajo el escenario base, en hm^3 .

Escenario	Abangares	Barranca	Frío	Grande de Tárcoles	Grande de Terraba	Naranjo	Pacuaire	Parrita	Pen. Nicoya ^a	Pen. Nicoya ^b	Reventazón	San Carlos Lago	San Carlos ²	Sarapiquí-Chirripó	Savegre	Tempisque-Bebedero
Actual	-9.41	-2.15	27.46	-14.97	-38.85	-3.85	42.04	-10.68	0.44	-4.65	146.01	-114.00	46.33	307.29	-3.81	-50.87
Base 2010	-16.22	-2.48	27.40	-16.93	-43.01	-3.82	42.14	-21.92	0.67	-4.69	136.60	-113.90	40.77	306.95	-3.87	-62.17
Base 2020	-20.77	-2.73	27.37	-19.42	-47.17	-3.75	42.22	-24.99	1.03	-4.60	131.97	-113.93	34.92	297.10	-3.88	-163.75
Base 2030	-27.51	-3.03	27.34	-20.11	-52.50	-3.66	42.31	-27.11	1.51	-4.55	128.60	-113.95	28.56	292.58	-5.89	-243.78

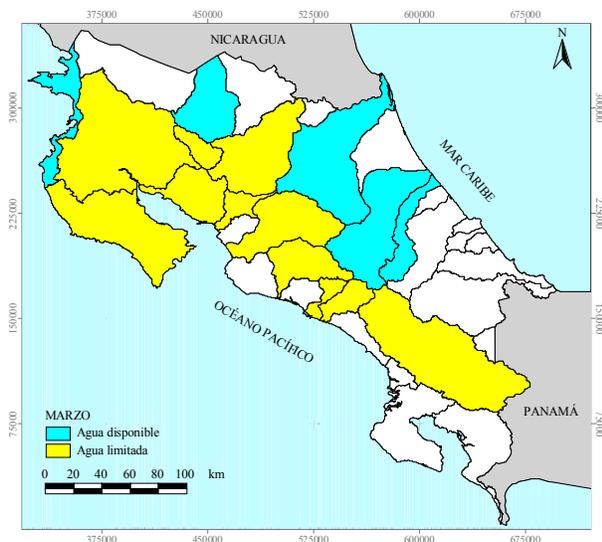


Figura 5.61. Disponibilidad en marzo en condiciones actuales.

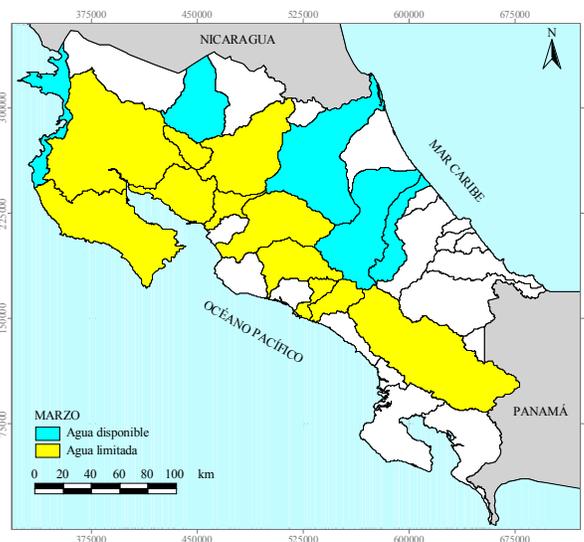


Figura 5.62. Disponibilidad en marzo bajo el escenario base 2010.

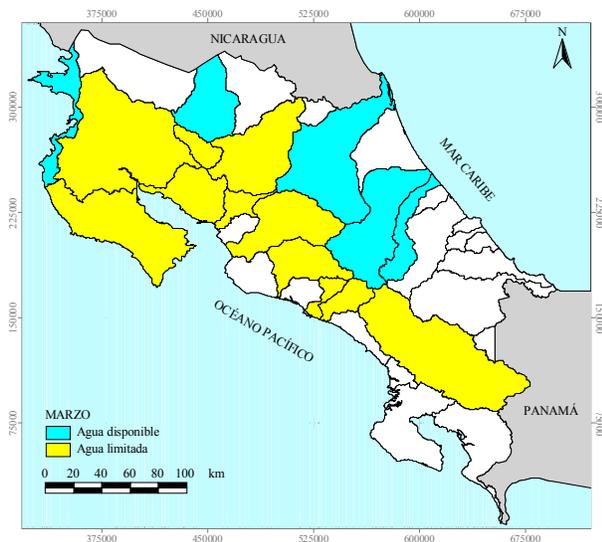


Figura 5.63. Disponibilidad en marzo bajo el escenario base 2020.

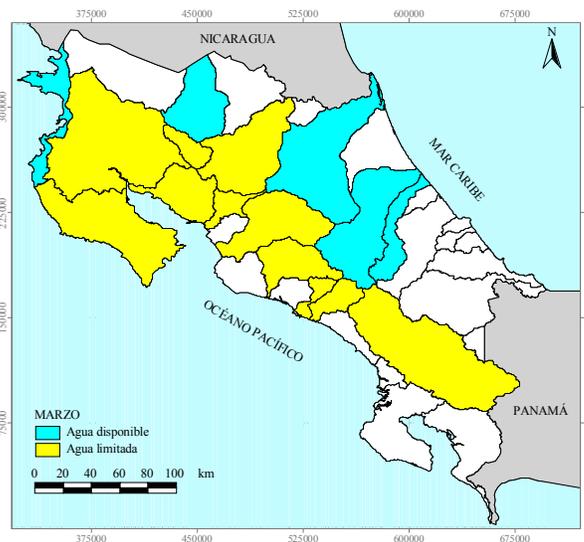


Figura 5.64. Disponibilidad en marzo bajo el escenario base 2030.

Tabla 5.20. Disponibilidad en marzo en condiciones actuales y bajo el escenario base, en hm^3 .

Escenario	Abangares	Barranca	Frío	Grande de Tárcoles	Grande de Térraba	Naranjo	Pacure	Parrita	Pen. Nicoya ^a	Pen. Nicoya ^b	Reventazón	San Carlos Lago	San Carlos 2	Sarapiquí-Chirripó	Savegre	Tempisque-Bebedero
Actual	-11.03	-4.93	1.67	-17.55	-29.31	-1.18	28.78	-14.85	0.13	-12.87	84.31	-121.40	-10.66	132.88	-2.54	-78.05
Base 2010	-18.57	-5.29	1.60	-20.03	-33.82	-1.15	28.90	-28.03	0.40	-12.92	73.33	-121.29	-16.82	132.03	-2.60	-88.87
Base 2020	-23.61	-5.56	1.57	-22.75	-38.00	-1.08	28.99	-31.59	0.80	-12.82	68.40	-121.33	-23.30	121.12	-2.62	-200.45
Base 2030	-31.07	-5.88	1.53	-23.47	-43.12	-0.98	29.09	-34.04	1.32	-12.76	64.91	-121.35	-30.35	116.12	-4.63	-288.49

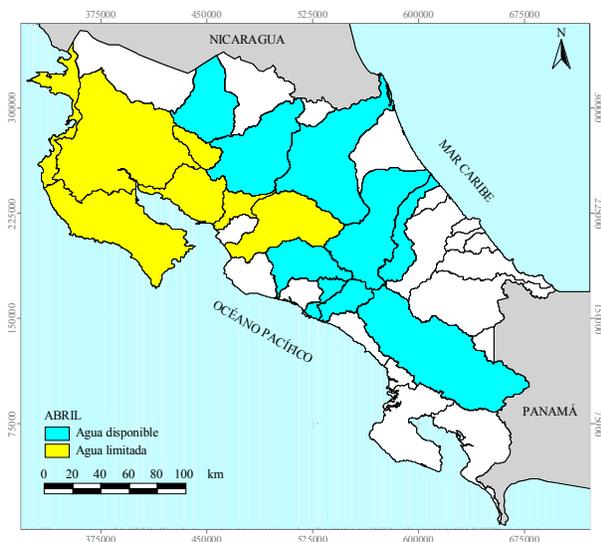


Figura 5.65. Disponibilidad en abril en condiciones actuales

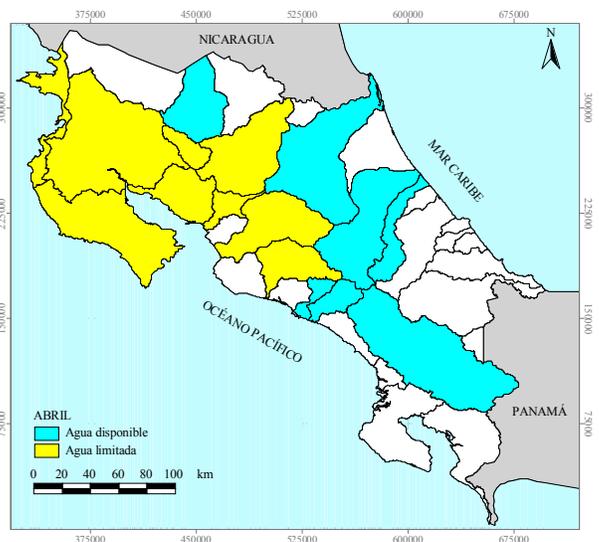


Figura 5.66. Disponibilidad en abril bajo el escenario base 2010.

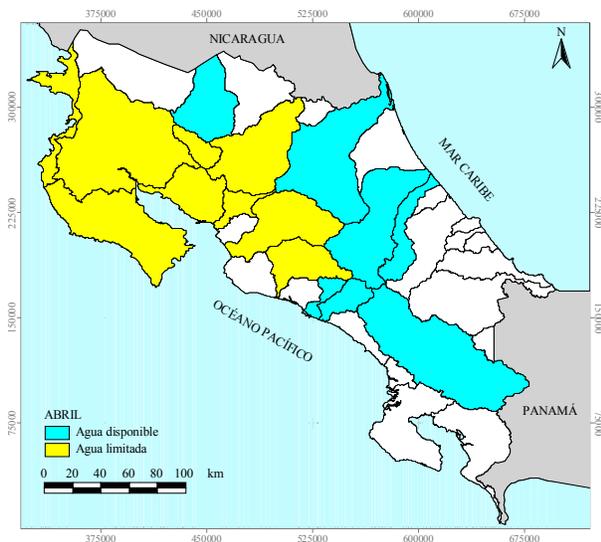


Figura 5.67. Disponibilidad en abril bajo el escenario base 2020.

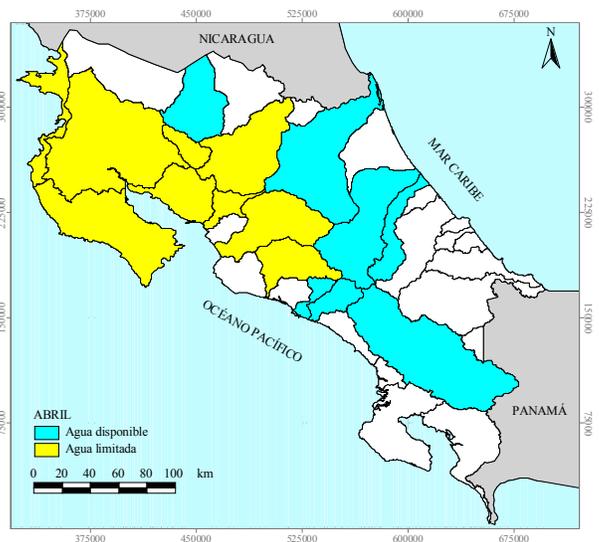


Figura 5.68. Disponibilidad en abril bajo el escenario base 2030.

Tabla 5.21. Disponibilidad en abril en condiciones actuales y bajo el escenario base, en hm³.

Escenario	Abangares	Barranca	Frío	Grande de Tárcoles	Grande de Terraba	Naranjo	Pacuare	Parríta	Pen. Nicoya a	Pen. Nicoya b	Reventazón	San Carlos Lago	San Carlos 2	Sarapiquí-Chirripó	Savegre	Tempisque-Bebedero
Actual	-16.72	-5.92	3.27	-2.61	155.36	24.36	44.09	9.10	-2.43	-46.63	138.35	-96.32	1.49	229.21	31.74	-138.45
Base 2010	-23.99	-6.25	3.20	-4.76	151.16	24.38	44.21	-3.34	-2.18	-46.67	127.44	-96.22	-4.46	228.16	31.69	-148.36
Base 2020	-28.85	-6.42	3.17	-7.15	147.31	24.41	44.29	-6.68	-1.79	-46.58	122.72	-96.25	-10.71	217.61	31.67	-254.77
Base 2030	-36.05	-6.58	3.14	-7.61	142.70	24.45	44.39	-8.95	-1.28	-46.52	119.43	-96.27	-17.50	212.77	29.66	-339.58

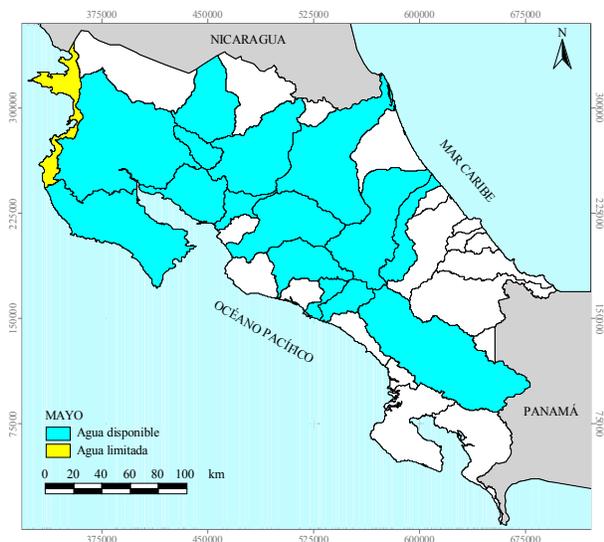


Figura 5.69. Disponibilidad en mayo en condiciones actuales.

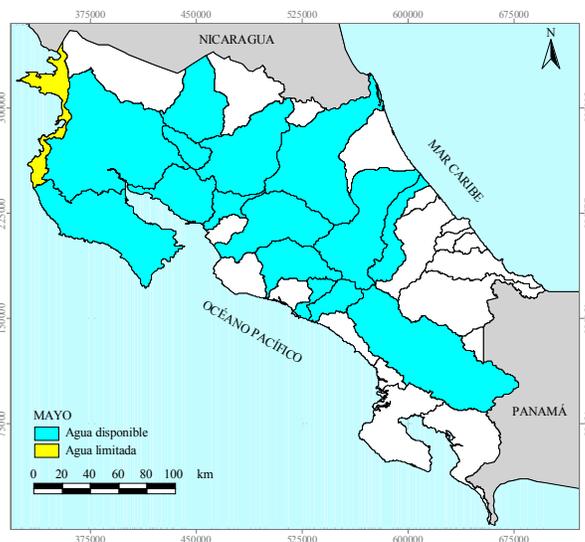


Figura 5.70. Disponibilidad en mayo bajo el escenario base 2010.

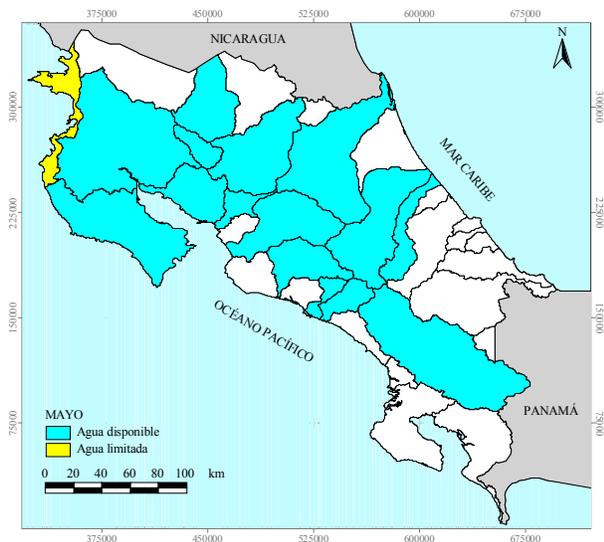


Figura 5.71. Disponibilidad en mayo bajo el escenario base 2020.

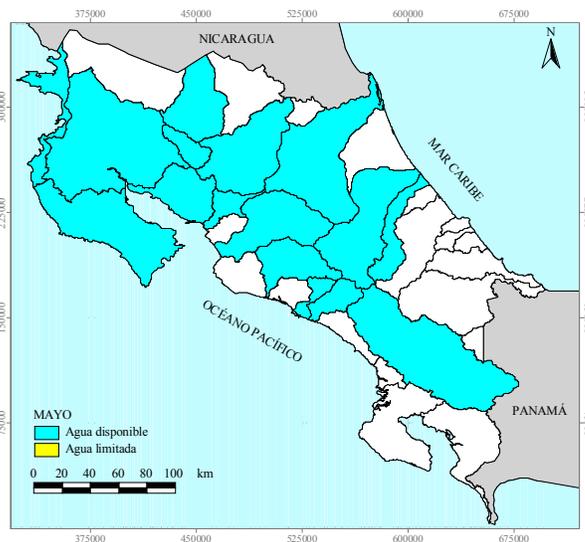


Figura 5.72. Disponibilidad en mayo bajo el escenario base 2030.

Tabla 5.22. Disponibilidad en mayo en condiciones actuales y bajo el escenario base, en hm^3 .

Escenario	Abangares	Barranca	Frío	Grande de Tárcoles	Grande de Térraba	Naranjo	Pacuaire	Parrita	Pen. Nicoya a	Pen. Nicoya b	Reventazón	San Carlos Lago	San Carlos 2	Sarapiquí-Chirripó	Savegre	Tempisque-Bebedero
Actual	93.3	117.7	190.6	285.5	810.1	92.0	189.4	209.6	-0.69	201.8	474.6	1.5	233.9	720.3	154.5	259.0
Base 2010	85.9	117.4	190.5	285.1	808.5	92.0	189.6	196.9	-0.42	201.7	464.6	1.6	227.8	719.9	154.5	248.9
Base 2020	80.9	117.2	190.5	283.1	806.1	92.1	189.6	193.9	-0.02	201.8	459.8	1.6	221.3	709.0	154.5	211.3
Base 2030	73.5	117.1	190.5	283.2	802.9	92.1	189.7	192.1	0.50	201.9	456.4	1.5	214.3	704.0	152.5	182.6

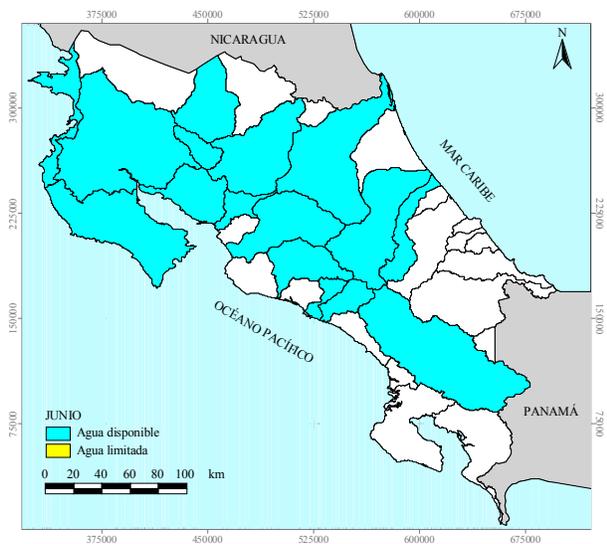


Figura 5.73. Disponibilidad en junio en condiciones actuales

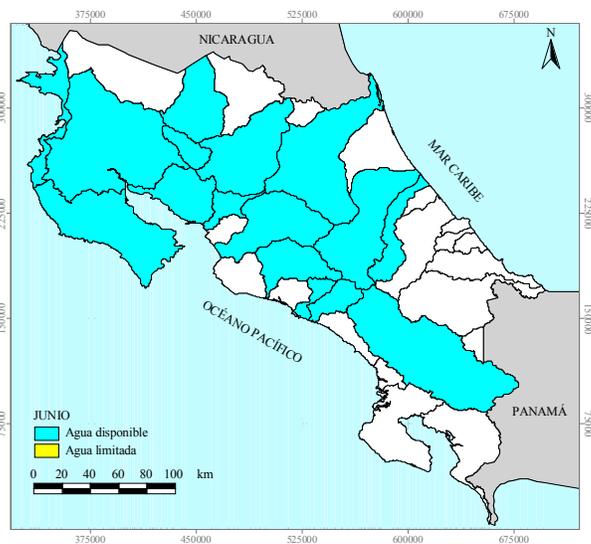


Figura 5.74. Disponibilidad en junio bajo el escenario base 2010.

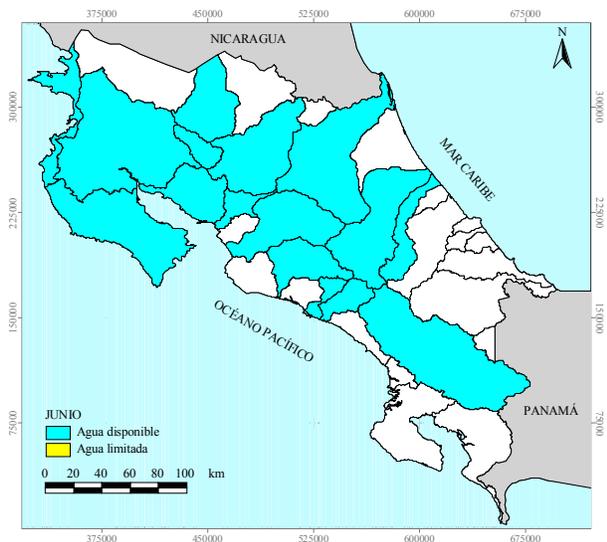


Figura 5.75. Disponibilidad en junio bajo el escenario base 2020.

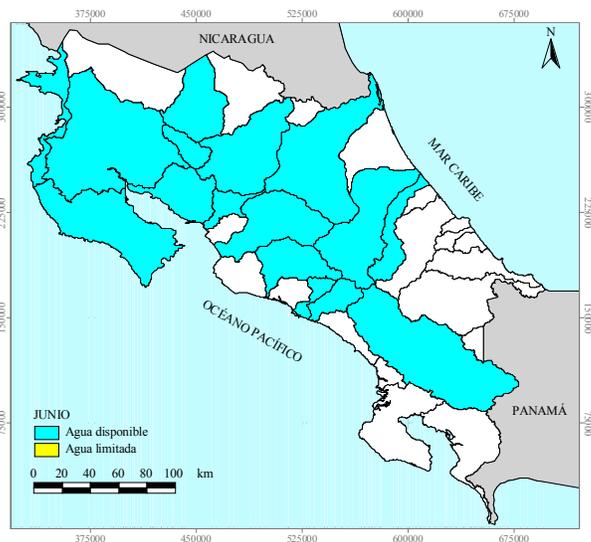


Figura 5.76. Disponibilidad en junio bajo el escenario base 2030.

Tabla 5.23. Disponibilidad en junio en condiciones actuales y bajo el escenario base, en hm^3 .

Escenario	Abangares	Barranca	Frío	Grande de Tárcoles	Grande de Térraba	Naranjo	Pacutare	Parrita	Pen. Nicoya a	Pen. Nicoya b	Reventazón	San Carlos Lago	San Carlos 2	Sarapiquí-Chirripó	Savegre	Tempisque-Bebedero
Actual	156.5	112.2	337.9	328.9	718.1	91.2	167.7	204.7	34.0	237.9	530.7	43.2	448.9	920.6	134.1	442.3
Base 2010	149.4	111.9	338.0	330.8	716.5	91.2	167.8	192.5	34.2	237.9	523.2	43.3	443.8	920.4	134.0	430.1
Base 2020	144.8	111.8	338.1	329.9	714.1	91.2	167.9	189.6	34.6	238.0	519.1	43.3	439.2	909.8	134.0	395.4
Base 2030	137.9	111.7	338.1	331.1	711.0	91.2	167.9	187.8	35.1	238.1	516.5	43.2	435.4	905.0	132.0	370.4

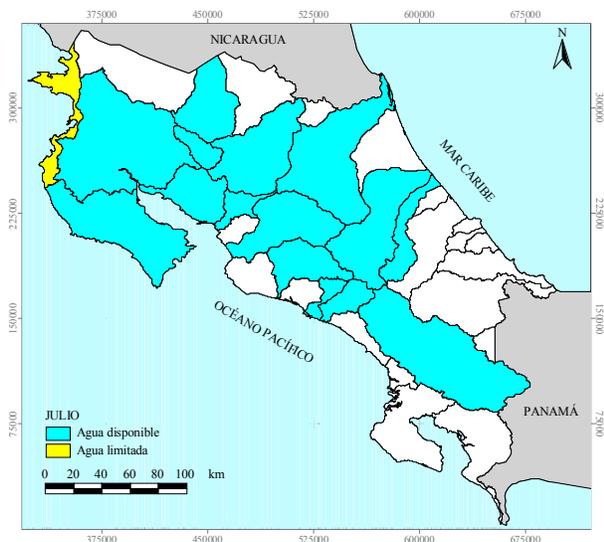


Figura 5.77. Disponibilidad en julio en condiciones actuales

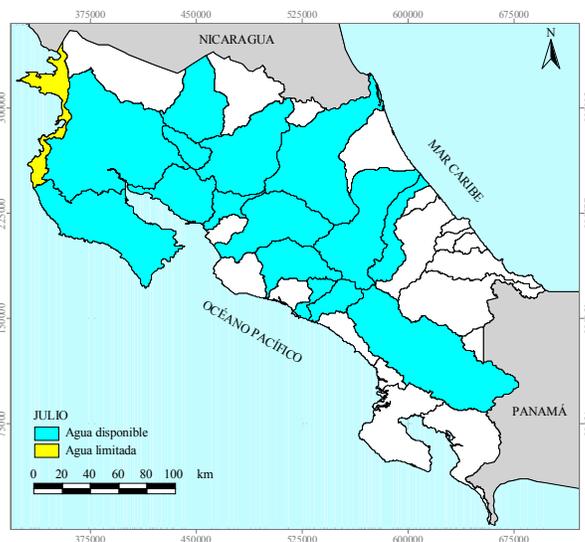


Figura 5.78. Disponibilidad en julio bajo el escenario base 2010

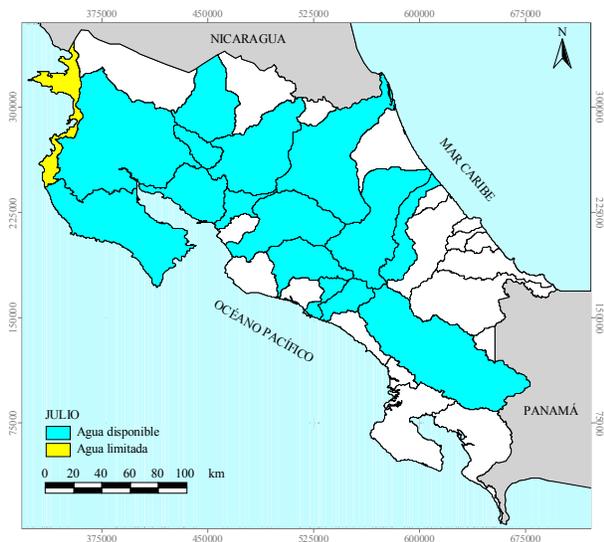


Figura 5.79. Disponibilidad en julio bajo el escenario base 2020.

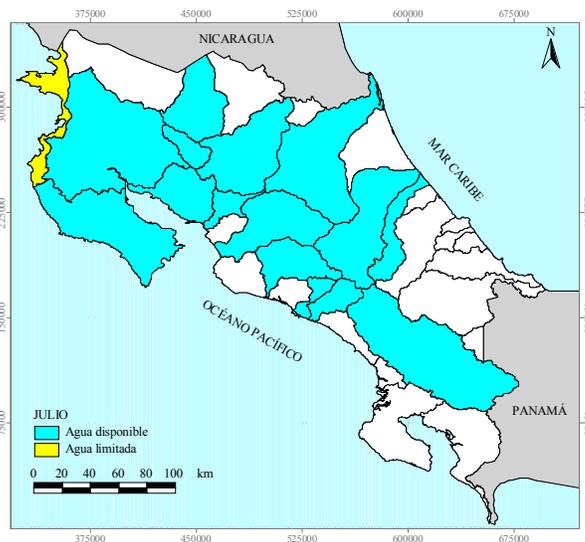


Figura 5.80. Disponibilidad en julio bajo el escenario base 2030.

Tabla 5.24. Disponibilidad en julio en condiciones actuales y bajo el escenario base, en hm³.

Escenario	A bangares	Barranca	Frío	Grande de Tárcoles	Grande de Térraba	Naranjo	Pacuaire	Parrita	Pen. Nicoya a	Pen. Nicoya b	Reventazón	San Carlos Lago	San Carlos 2	Sarapiquí-Chirripó	Savegre	Tempisque-Bebedero
Actual	80.1	77.4	440.3	193.5	431.0	84.4	137.0	123.1	-9.5	165.6	526.5	78.0	533.3	1043.2	107.7	109.7
Base 2010	72.7	77.1	440.4	195.9	429.3	84.4	137.1	110.4	-9.3	165.6	519.4	78.1	528.1	1043.1	107.7	95.8
Base 2020	68.0	76.9	440.4	195.2	426.5	84.5	137.2	107.4	-8.9	165.7	515.1	78.0	523.3	1032.2	107.6	58.5
Base 2030	60.9	76.8	440.5	196.6	422.6	84.5	137.3	105.5	-8.3	165.8	512.4	78.0	519.3	1027.2	105.6	31.5

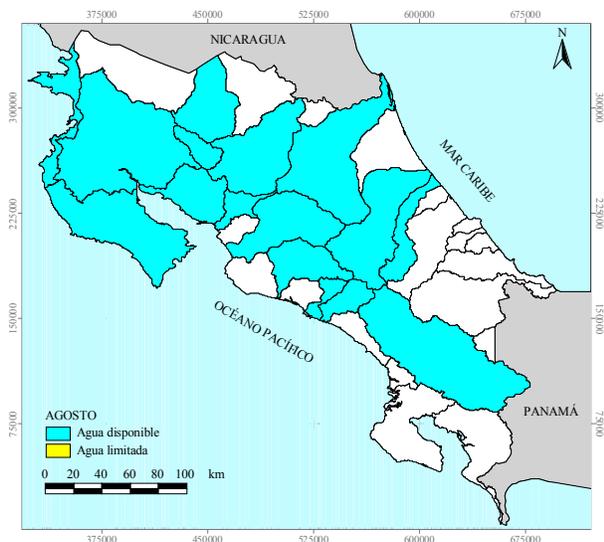


Figura 5.81. Disponibilidad en agosto en condiciones actuales

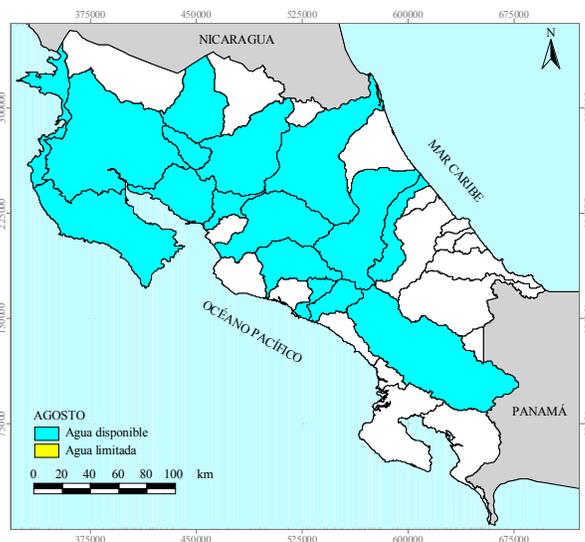


Figura 5.82. Disponibilidad en agosto bajo el escenario base 2010.

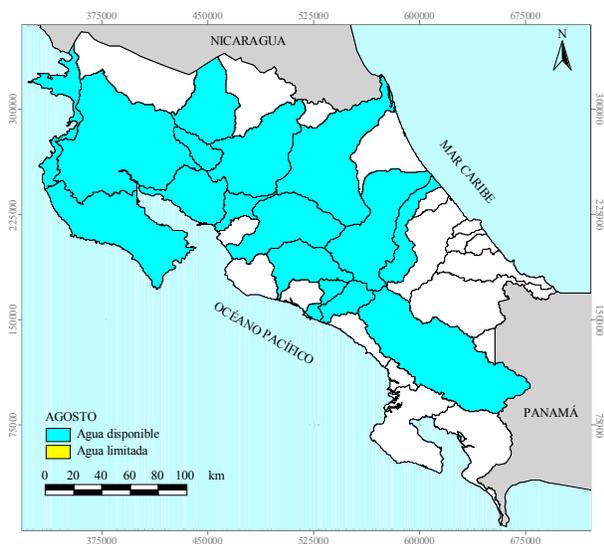


Figura 5.83. Disponibilidad en agosto bajo el escenario base 2020.

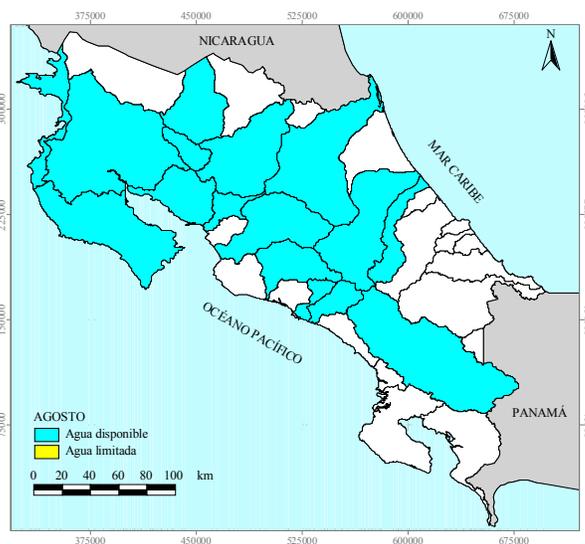


Figura 5.84. Disponibilidad en agosto bajo el escenario base 2030.

Tabla 5.25. Disponibilidad en agosto en condiciones actuales y bajo el escenario base, en hm³.

Escenario	Abangares	Barranca	Frío	Grande de Tárcoles	Grande de Térraba	Naranjo	Pacure	Parrita	Pen. Nicoya a	Pen. Nicoya b	Reventazón	San Carlos Lago	San Carlos 2	Sarapiquí-Chirripó	Savegre	Tempisque-Bebedero
Actual	152.4	80.1	419.8	303.7	697.9	104.4	171.3	152.8	12.3	248.4	529.5	87.1	522.2	929.0	145.3	285.0
Base 2010	145.0	79.8	419.9	306.5	696.6	104.4	171.4	140.1	12.6	248.4	522.9	87.2	517.0	928.9	145.2	271.4
Base 2020	140.3	79.7	419.9	305.7	694.6	104.4	171.5	137.1	13.0	248.5	518.5	87.1	512.2	918.0	145.2	234.8
Base 2030	133.2	79.6	419.9	306.9	692.2	104.4	171.6	135.2	13.5	248.6	515.6	87.1	508.2	913.0	143.2	207.9

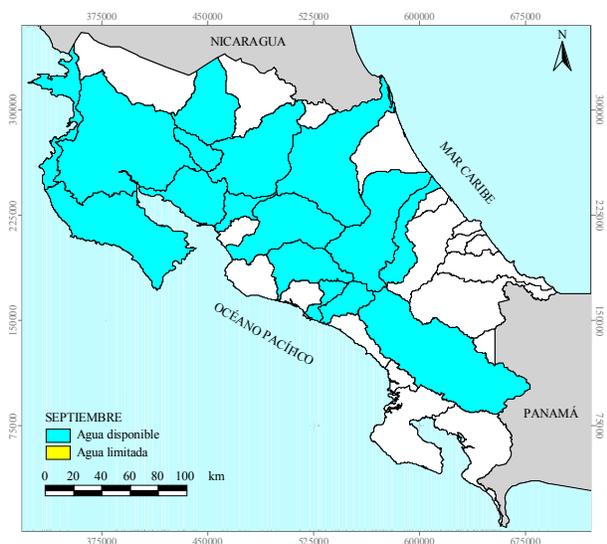


Figura 5.85. Disponibilidad en septiembre en condiciones actuales

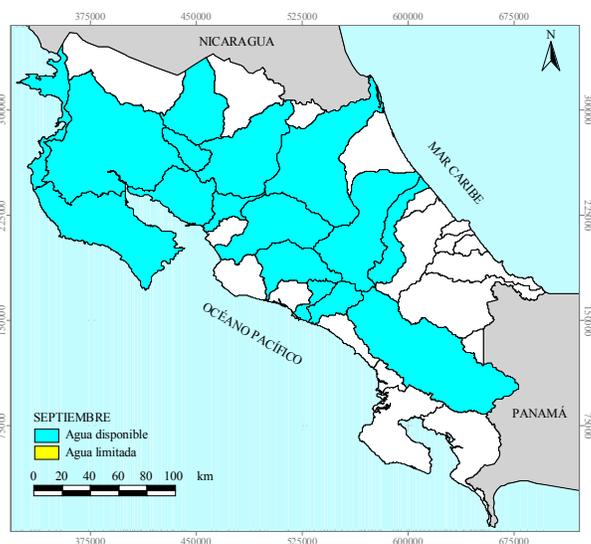


Figura 5.86. Disponibilidad en septiembre bajo el escenario base 2010.

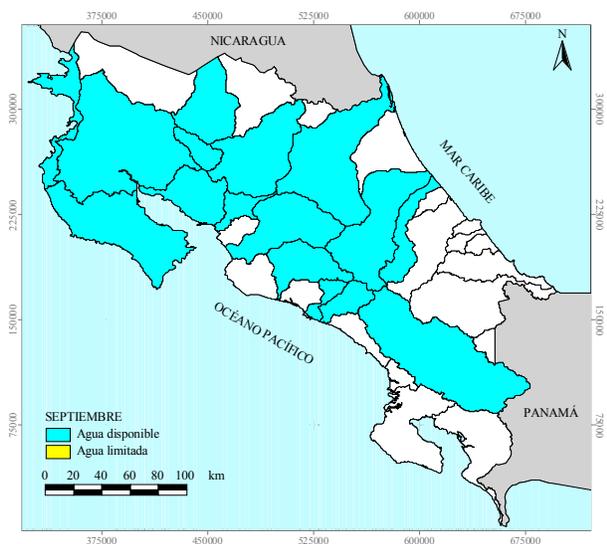


Figura 5.87. Disponibilidad en septiembre bajo el escenario base 2020.

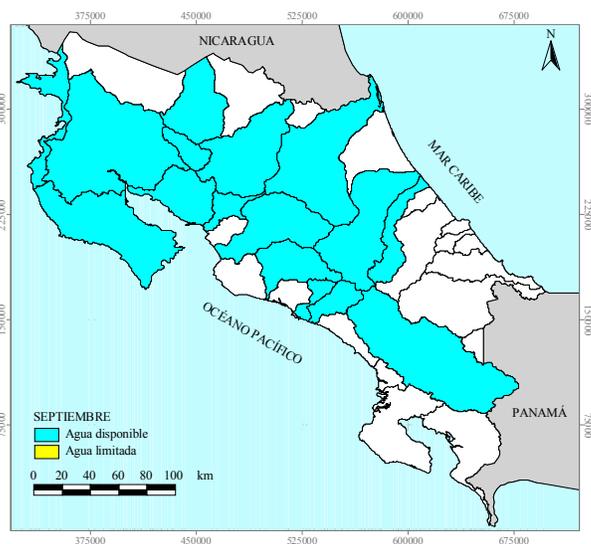


Figura 5.88. Disponibilidad en septiembre bajo el escenario base 2030.

Tabla 5.26. Disponibilidad en septiembre en condiciones actuales y bajo el escenario base, en hm^3 .

Escenario	Abangares	Barranca	Frío	Grande de Tárcoles	Grande de Térraba	Naranjo	Pacuaire	Parrita	Pen. Nicoya a	Pen. Nicoya b	Reventazón	San Carlos Lago	San Carlos 2	Sarapiquí-Chirripó	Savegre	Tempisque-Bebadero
Actual	269.7	169.9	315.6	442.8	1105.6	128.3	148.6	290.6	102.7	572.5	481.6	77.7	433.6	652.8	215.3	772.4
Base 2010	262.5	169.6	315.7	446.3	1104.3	128.3	148.7	278.3	103.0	572.5	475.3	77.8	428.5	652.9	215.3	758.5
Base 2020	258.0	169.4	315.7	445.5	1102.3	128.4	148.8	275.4	103.4	572.6	471.0	77.8	423.9	642.4	215.3	722.7
Base 2030	251.1	169.3	315.7	446.7	1099.9	128.4	148.9	273.5	103.9	572.7	468.3	77.7	420.1	637.5	213.3	696.3

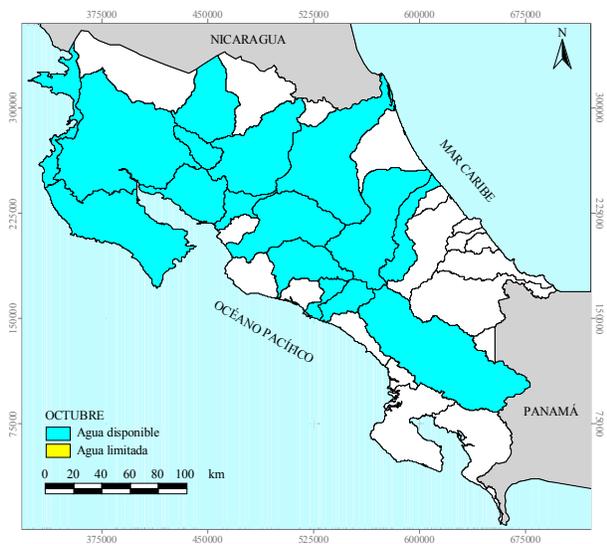


Figura 5.89. Disponibilidad en octubre en condiciones actuales

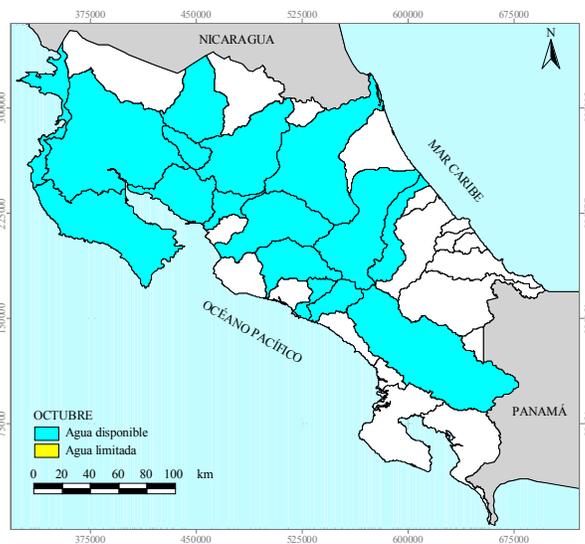


Figura 5.90. Disponibilidad en octubre bajo el escenario base 2010.

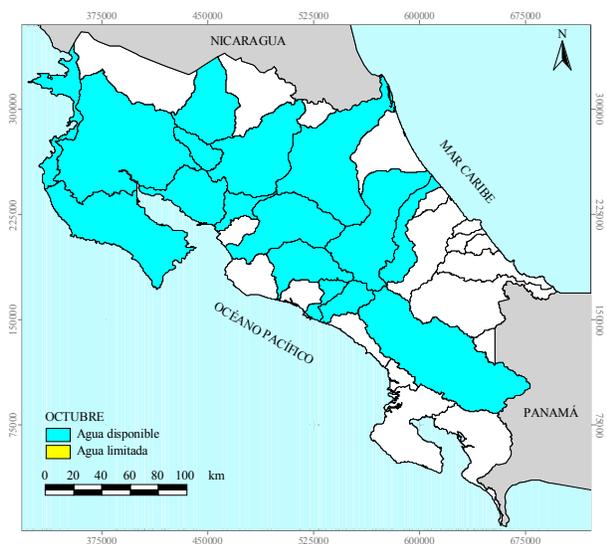


Figura 5.91. Disponibilidad en octubre bajo el escenario base 2020.

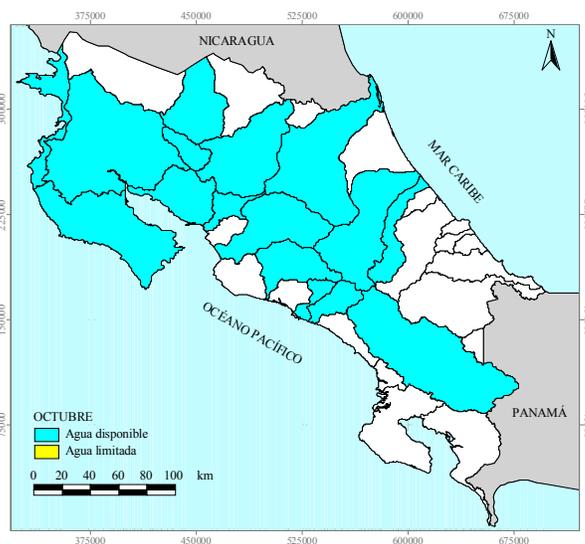


Figura 5.92. Disponibilidad en octubre bajo el escenario base 2030.

Tabla 5.27. Disponibilidad en octubre en condiciones actuales y bajo el escenario base, en hm³.

Escenario	Abangares	Barranca	Frío	Grande de Tárcoles	Grande de Térraba	Naranjo	Pacutare	Parrita	Pen. Nicoya a	Pen. Nicoya b	Reventazón	San Carlos Lago	San Carlos 2	Sarapiquí-Chirripó	Savegre	Tempisque-Bebedero
Actual	245.2	152.5	343.1	448.7	1313.9	142.4	195.8	324.2	62.1	466.9	538.6	83.5	510.6	800.8	221.8	687.2
Base 2010	237.8	152.2	343.2	452.6	1312.4	142.4	196.0	311.6	62.3	466.9	531.8	83.5	505.4	801.0	221.7	672.4
Base 2020	233.1	152.0	343.2	451.7	1310.2	142.4	196.1	308.5	62.7	467.0	527.4	83.5	500.6	790.1	221.7	635.5
Base 2030	226.0	151.9	343.2	452.8	1307.4	142.4	196.2	306.6	63.3	467.1	524.4	83.5	496.6	785.1	219.7	608.2

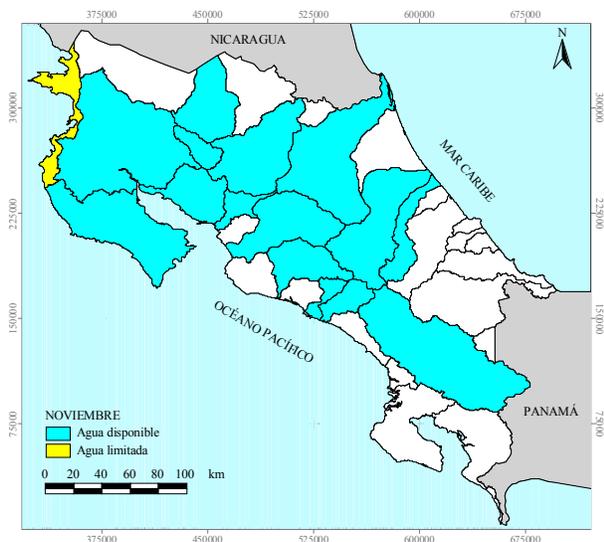


Figura 5.93. Disponibilidad en noviembre en condiciones actuales.

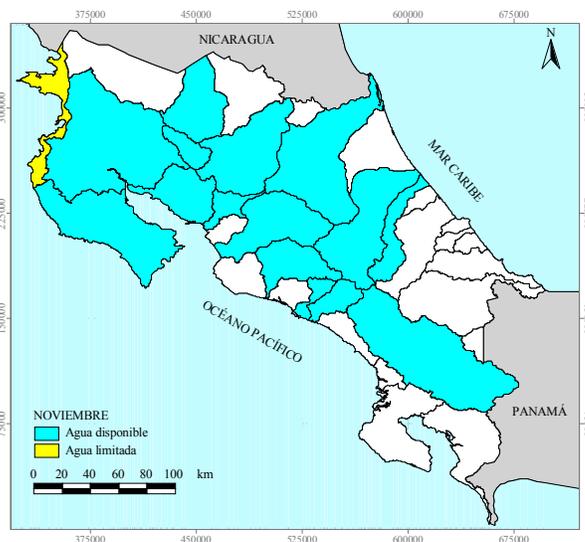


Figura 5.94. Disponibilidad en noviembre bajo el escenario base 2010.

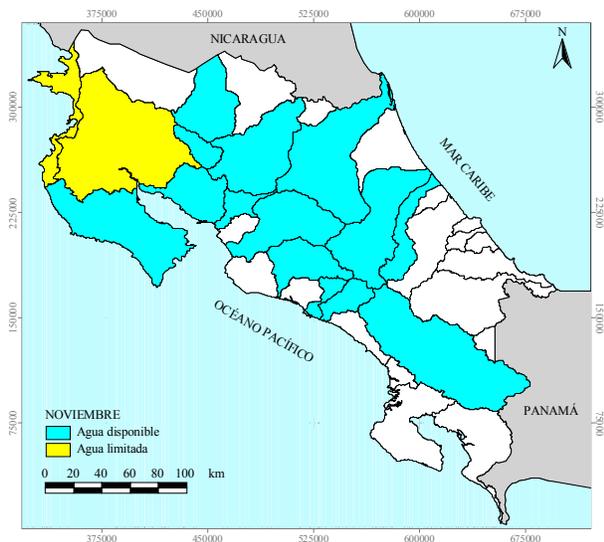


Figura 5.95. Disponibilidad en noviembre bajo el escenario base 2020.

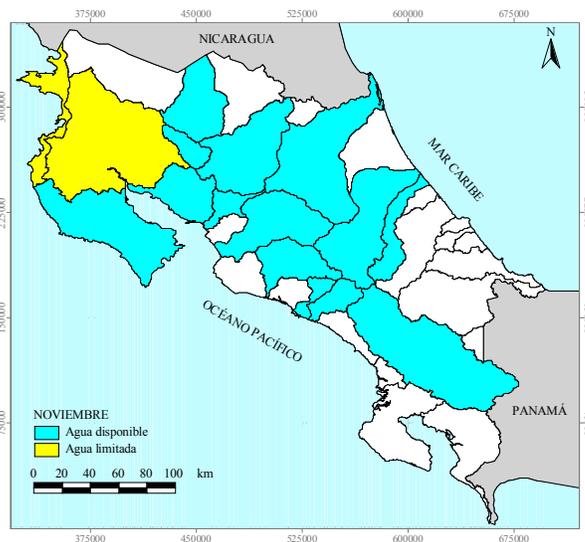


Figura 5.96. Disponibilidad en noviembre bajo el escenario base 2030.

Tabla 5.28. Disponibilidad en noviembre en condiciones actuales y bajo el escenario base, en hm^3 .

Escenario	Abangares	Barranca	Frio	Grande de Tárcoles	Grande de Térraba	Naranjo	Pacuaré	Parrita	Pen. Nicoya ^a	Pen. Nicoya ^b	Reventazón	San Carlos Lago	San Carlos ²	Sarapiquí-Chirripó	Savegre	Tempisque-Bebedero
Actual	45.1	28.4	272.5	108.7	485.9	68.5	181.0	83.1	-16.2	25.3	467.2	34.09	415.5	1039.0	107.8	37.9
Base 2010	37.7	28.1	272.6	110.8	484.3	68.6	181.1	71.4	-15.9	25.3	460.7	34.18	410.4	1039.2	107.7	24.6
Base 2020	32.9	28.0	272.6	109.1	482.0	68.6	181.2	68.2	-15.6	25.4	456.4	34.13	405.8	1028.7	107.7	-12.6
Base 2030	25.6	27.9	272.7	109.4	479.3	68.6	181.3	66.0	-15.1	25.5	453.5	34.08	401.9	1023.8	105.7	-39.8

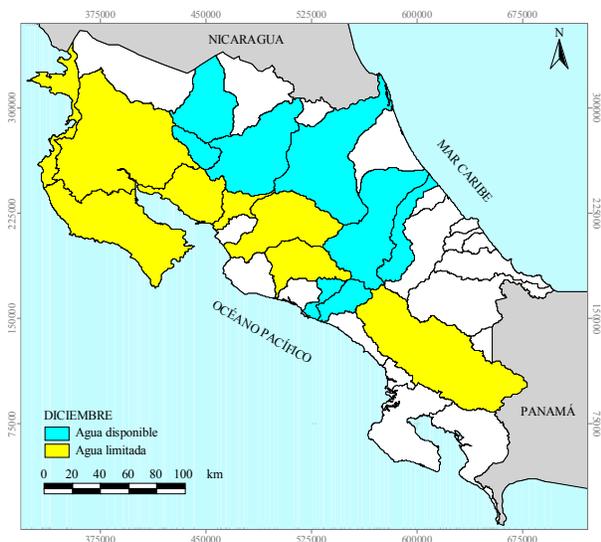


Figura 5.97. Disponibilidad en diciembre en condiciones actuales.

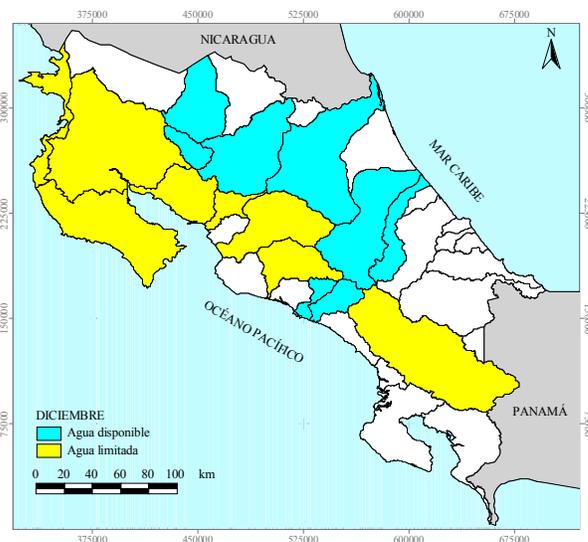


Figura 5.98. Disponibilidad en diciembre bajo el escenario base 2010.

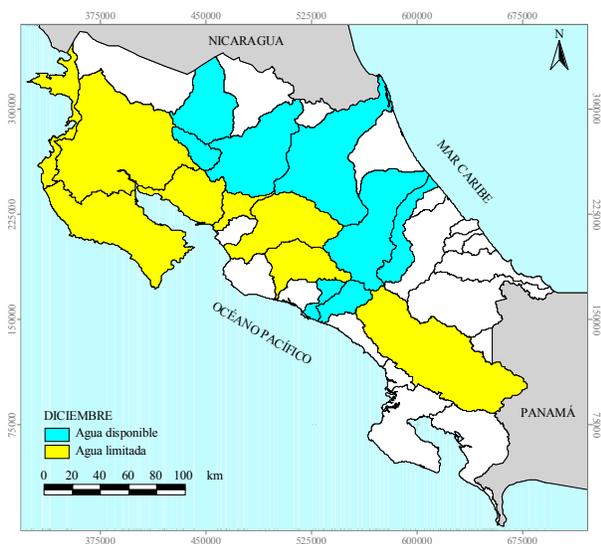


Figura 5.99. Disponibilidad en diciembre bajo el escenario base 2020.

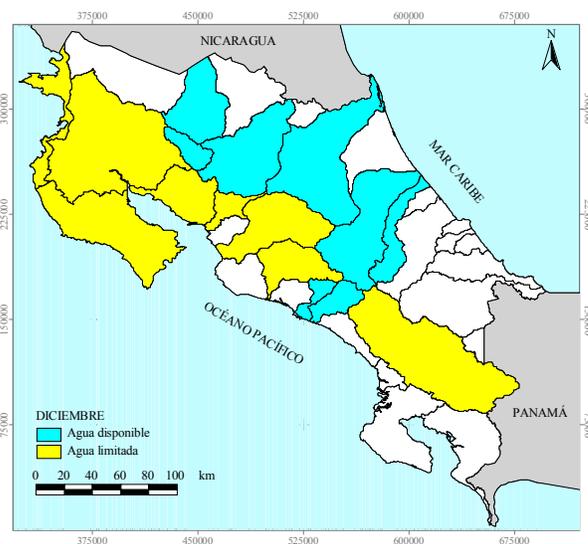


Figura 5.100. Disponibilidad en diciembre bajo el escenario base 2030.

Tabla 5.29. Disponibilidad en diciembre en condiciones actuales y bajo el escenario base, en hm³.

Escenario	Abangares	Barranca	Frío	Grande de Térrabales	Grande de Térraba	Naranjo	Pacuaire	Parríta	Pen. Nicoya a	Pen. Nicoya b	Reventazón	San Carlos Lago	San Carlos 2	Sarapiquí-Chirripó	Savegre	Tempisque-Bebedero
Actual	-14.83	-4.68	224.56	-11.46	-18.55	9.69	130.73	-10.97	-4.18	-31.55	412.04	18.71	345.08	980.87	10.05	-174.14
Base 2010	-22.49	-5.02	224.67	-11.28	-21.41	9.71	130.85	-23.11	-3.92	-31.59	404.12	18.80	338.93	981.41	9.99	-191.39
Base 2020	-27.56	-5.21	224.69	-13.58	-25.59	9.74	130.94	-26.43	-3.52	-31.50	399.59	18.75	332.47	970.52	9.97	-304.22
Base 2030	-35.05	-5.38	224.71	-13.86	-31.08	9.79	131.04	-28.71	-2.99	-31.45	396.62	18.70	325.43	965.53	7.96	-393.74

6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se han obtenido los balances hídricos en 15 cuencas hidrográficas de Costa Rica con información que no es la adecuada ni en cantidad ni en calidad para obtener un balance del recurso hídrico con menos incertidumbre en los resultados; sin embargo se realizó un gran esfuerzo institucional por parte del Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE), específicamente del Departamento de Aguas, para conseguir la información que ha permitido estimar la oferta y demanda de agua superficial y la recarga de agua en las 15 cuencas prioritarias del país.

Han sido varias las consideraciones en el cálculo del balance; por ejemplo, utilizar el volumen concesionado, sabiendo que no representa el volumen que se consume en las diversas actividades poblacionales y económicas del país; y además considerar los registros de concesiones al año 2000, condicionado principalmente al año de la información de uso de suelo, ya que la cobertura vegetal está relacionada directamente con el escurrimiento natural de las cuencas. La cuenca Tempisque-Bebedero, en el presente estudio ha sido considerada como un solo sistema hidrológico, sabiendo que debe analizarse de manera separada. Por otro lado, al no existir un censo actualizado de aprovechamientos subterráneos (de manantiales y pozos), los volúmenes que se consideran en el balance se toman de la base de datos de concesiones del MINAE. Además, el balance subterráneo no se realizó por acuífero sino por cuenca hidrográfica, suponiendo que el cambio de volumen en el sistema se encuentra en equilibrio, excepto en la cuenca Grande de Tárcoles, en donde se tiene un valor de $-31 \text{ hm}^3/\text{año}$.

En un balance hídrico superficial, siempre existe una variable que nos permite validar los resultados, en el caso de Costa Rica, ésta fue el volumen de escurrimiento hacia aguas abajo; el valor calculado con la ecuación del balance superficial se comparó con el volumen de escurrimiento medido en la estación hidrométrica más cercana a la salida de la cuenca.

En las cuencas, en donde la estación hidrométrica afora más del 80% del área total, las diferencias anuales fueron menores al 30% entre el volumen calculado y el registrado, como se puede ver en la tabla siguiente; por otro lado, en todas las cuencas el volumen calculado mostró una variación mensual similar al volumen registrado lo que indica que se tiene una buena aproximación en los balances. En el balance subterráneo también hay una variable que permite validar los resultados y es el cambio de volumen (ΔV), pero en este estudio al ser considerado como valor nulo no fue posible realizar la validación.

Cuenca	Volumen de escurrimiento directo, en hm^3	
	Calculado	Aforado
Grande de Tárcoles	2,048	1,520
Grande de Terraba	5,591	7,458
San Carlos 2	3,657	4,674
Savegre	1,118	956

De los resultados obtenidos se concluye, que las 15 cuencas a nivel anual tienen disponibilidad de agua superficial, pero no hay que olvidar que la época de lluvia origina escurrimientos altos que ocultan períodos de escasez o déficit de agua, lo cuál se demuestra en los resultados de 10 de las 15 cuencas, que presentan déficit de agua en por lo menos tres meses del año.

La disponibilidad media anual superficial considerando las 15 cuencas de estudio resulta de $37,263 \text{ hm}^3/\text{año}$ lo que representa un capital hídrico de $11,053 \text{ m}^3/\text{hab}/\text{año}$, y el escurrimiento promedio anual en lámina fue de $1,272 \text{ mm}$.

Las cuencas que presentan resultados críticos son: la cuenca propia del Lago Arenal, Tempisque-Bebedero, Península de Nicoya y Grande de Tárcoles. El volumen de escurrimiento natural de $463 \text{ hm}^3/\text{año}$ en la cuenca propia del Lago Arenal, no es suficiente para el volumen que se le extrae al embalse de $1,363 \text{ hm}^3/\text{año}$. Aún si todo el volumen de lluvia que cae en su superficie de tierra, $1,363 \text{ hm}^3/\text{año}$ llegara directamente al lago, se presentan tres meses en donde el volumen es menor a los 50 hm^3 y al embalse se le extraen en esos meses, de febrero a abril, en promedio 100 hm^3 .

En la cuenca Tempisque-Bebedero se presentan las precipitaciones más bajas del país, $1,743 \text{ mm}$, con una época seca muy marcada de diciembre a abril, en la cual se tienen precipitaciones medias mensuales menores a los 50 mm , por lo tanto esos meses resultan críticos al demandar los usuarios, volúmenes superiores a los que genera la cuenca propia.

En la cuenca Península de Nicoya, la principal demanda de agua es la correspondiente al proceso natural de evapotranspiración, la relación ETP/P resulta del 99% para la cuenca Península de Nicoya *a* y 70% para la cuenca Península de Nicoya *b*. En la cuenca Península de Nicoya *a*, se presenta la precipitación mas baja del país ($1,468 \text{ mm}$) y en la época seca los valores de precipitación mensual son menores a 20 mm . En la cuenca Península de Nicoya *b*, se tiene una precipitación media anual de $2,129 \text{ mm}$ con valores mensuales en la época seca menores a 50 mm .

La cuenca Grande de Tárcoles, concentra el 51% de la población total de todo el país y el mayor número de industrias. De acuerdo con Ávalos, 2004 en la cuenca se concentra el 85% de las

industrias de todo el país. Actualmente presenta un problema crítico de contaminación muy severa en sus ríos principales y en algunos afluentes del río Virrilla; como en los ríos María Aguilar, Torres y Tiribí, Calvo y Mora, 2007. Por lo que, la disponibilidad de agua superficial estimada en 2,048 hm³/año, que equivale a un capital hídrico de 1,045 m³/hab/año resulta inutilizable, como se demuestra en los volúmenes concesionados, el 94% del volumen concesionado para consumo humano al año 2000 (considerando la agrupación del MINAE presentado en la tabla 3.20) se abastece de agua subterránea, el 75% proviene de manantiales y el 16% de pozos.

La cuenca que muestra una tendencia hacia un estado de déficit, es la cuenca San Carlos 2. Esta cuenca ya presenta por lo menos dos meses de déficit, en la época seca, en donde la demanda supera a la oferta; debido principalmente a la demanda de agua para la generación de energía tanto de tipo privada como estatal, y a pesar de que el uso de agua se cataloga como un uso no consuntivo, sí se modifica el régimen de escurrimiento.

Las cuencas que presentan mayor disponibilidad media anual, en lámina, sin déficit mensual son las de los ríos Sarapiquí-Chirripó, Pacuare y Reventazón con valores de 2,197, 1663 y 1,615 mm, respectivamente. Por otro lado, las cuencas con menor disponibilidad de agua en lámina son las cuencas San Carlos Lago, Península de Nicoya *a* y Tempisque-Bebedero con valores de 82, 185 y 377 mm, respectivamente.

Las cuencas que presentan demandas muy pequeñas son las cuencas Savegre, Frío, Barranca y Pacuare, debido a que son cuencas vírgenes, poco pobladas y consecuentemente con poca infraestructura hidráulica.

Con respecto a los resultados del balance subterráneo, la cuencas que presentan la mayor y menor recarga media anual en mm son las cuencas San Carlos Lago con 2,152 mm y Abangares con 223 mm. El volumen de extracción utilizado en los diferentes usos apenas representa el 1.6% del volumen total de recarga, pero no hay que olvidar que los volúmenes concesionados no representan el consumo real.

Se han presentado los resultados del balance hídrico mensual considerando cuatro escenarios de precipitación, y también tomando en cuenta escenarios de demandas futuras de los volúmenes de consumo por sector usuario, principalmente utilizando el Escenario Base, descrito en Rivera, 2007. Con respecto a la variación de la precipitación, el escenario más desfavorable es el año más seco (escenario A) que provoca una disminución considerable de la precipitación media anual en las cuencas hidrográficas localizadas principalmente en la zona Pacífico Norte, alcanzando porcentajes mayores al 35%. La disponibilidad media mensual se agudiza con cualquier escenario, excepto con el escenario C (La Nación-Fonseca), siendo la zona del Pacífico Norte, Central y Sur la que presenta una disminución de la disponibilidad principalmente en la época seca, siendo los meses más críticos marzo y abril.

Las cuencas que resultan con una disponibilidad limitada de agua son San Carlos Lago, en todos los escenarios (A, B, C y D) y la Península de Nicoya *a* en los escenarios A y D. Considerando el escenario A, y las 15 cuencas hidrográficas de estudio se obtiene una disponibilidad media anual de 20,203 hm³ lo que representa un capital hídrico de 5,903 m³/hab/año, éste valor presenta una disminución aproximada del 50% con respecto al capital hídrico al año 2000. Por otro lado,

en la cuenca con el mayor número de habitantes, Grande de Tárcoles, se presenta un capital hídrico de 533 m³/hab/año, y en la cuenca de Tempisque-Bebedero un valor de 2,115 m³/hab/año, también considerando el escenario A.

Analizando las demandas futuras del Escenario Base con las proyecciones a los años 2010, 2020 y 2030 se obtienen, considerando las 15 cuencas en estudio, la disponibilidad media anual y el capital hídrico siguientes:

Escenario Base	Disponibilidad hm ³ /año	Capital hídrico m ³ /hab/año
Actual (al 2000)	37,373	11,085
2010	36,790	10,750
2020	35,592	10,447
2030	34,641	10,204

Con los resultados anteriores se observa que la disminución del capital hídrico en las proyecciones es poco significativa con respecto a la disponibilidad actual, siendo menor al 10%. Por otro lado, las cuencas que presentan disminución considerable en la disponibilidad de agua media anual son las de los ríos Abangares, San Carlos (lago y 2) y Tempisque-Bebedero.

Finalmente, se concluye que en las 15 cuencas en estudio sí ocurre una disminución en la precipitación media anual, aproximada a un 20%, la disponibilidad de agua superficial se verá afectada en grandes cantidades. Con respecto a las demandas de agua futura, Escenario Base, el capital hídrico (m³/hab/año) continua siendo alto. Sin embargo, en ambos escenarios: variación de la precipitación y volúmenes de demandas de agua, los meses de la época seca se agudizan más; por lo tanto, se requieren acciones tendientes a la construcción de infraestructura hidráulica para almacenar el recurso hídrico durante la época de lluvias y poder utilizarse en la época seca.

Las recomendaciones tendentes a reducir la incertidumbre en los resultados del balance hídrico son las siguientes:

- Oficializar parámetros de proyección de las hojas topográficas y capa de ríos escala 1:50,000. Se propone que el Instituto Geográfico Nacional sea la institución encargada de definir y oficializar los parámetros.
- Oficializar límites de cuencas hidrográficas y de acuíferos. Se propone que el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) sea el encargado de oficializar los límites de las cuencas hidrográficas y consecuentemente la superficie de cada una de ellas, pero una vez que se hayan oficializado los parámetros de proyección. Por otro lado, se propone que el Servicio Nacional de Aguas Subterráneas Riego y Avenamiento (SENARA) sea la institución encargada de definir y oficializar límites de acuíferos.
- Se recomienda activar estaciones climatológicas e hidrométricas que dejaron de funcionar en los años 80 y 90.
- Con respecto a la información hidrológica se recomienda: actualizar la curva batimétrica del embalse el Arenal, medir los caudales que entran y salen de los proyectos

hidroeléctricos, y revisar por lo menos cada 5 años las curvas Elevación-Caudal de los principales ríos.

- Medir o estimar con estadísticas socioeconómicas, el volumen de consumo de agua por sector (industrial, urbano, agrícola, etc.). Así como medir y/o estimar los volúmenes de retornos; es decir, la cantidad de agua que retorna a la red de ríos, incluyendo la calidad del agua del retorno.
- Homogenizar las bases de datos tanto del MINAE, SENARA, como del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA) relacionada con los volúmenes de usos del agua. Se recomienda crear una única base de datos, que se actualice en forma permanente y que además, agrupe la información de todos los usos del agua, incluyendo la información de las instituciones públicas y privadas.
- Realizar un censo de aprovechamientos superficiales y subterráneos; indicando el volumen que aporta la fuente natural y el volumen utilizado, y se propone actualizarlo cada 5 años. Por otro lado, las nacientes, por el volumen que aportan para cubrir la demanda de los diferentes usos, es una fuente de abastecimiento primordial y vulnerable a los cambios climáticos y a la contaminación; por lo que, se sugiere llevar a efecto medidas para el control y la protección de los mismos.
- Tomando en cuenta las particularidades hidrogeológicas de cada región, así como las experiencias obtenidas durante la explotación de las aguas subterráneas, se sugiere establecer, para cada acuífero, la extensión, espesor y tipo (confinado, semiconfinado o libre); asimismo, las características hidráulicas (conductividad hidráulica, transmisividad y coeficiente de almacenamiento). Ello permitirá una evaluación más integral del recurso hídrico subterráneo, posibilitando la elaboración de políticas de explotación más idóneas.
- Se recomienda establecer una red de control piezométrico empleando métodos estadísticos e hidrogeológicos, con el fin de definir el comportamiento hidrodinámico de cada acuífero en tiempo y espacio; ya que la pérdida de carga hidráulica aunada a la superficie y al coeficiente de almacenamiento dará la pauta para corroborar el balance que se haga a través de las *entradas y salidas*; además, de que el análisis del comportamiento hidrodinámico (profundidad, elevación y evolución de los niveles freáticos o piezométricos) permitirá definir los sistemas de flujo, zonas preferenciales de recarga y descarga, zonas potenciales de explotación, pérdida de agua subterránea por evapotranspiración, etcétera.
- Se sugiere integrar los resultados de las pruebas de bombeo realizadas, por acuífero, lo que permitirá establecer aquellas zonas que no han sido caracterizadas hidráulicamente, además de corroborar los resultados obtenidos por las pruebas existentes, de acuerdo con el tipo de acuífero establecido (confinado, semiconfinado o libre).
- Se recomienda integrar y actualizar la información relativa a la recarga inducida de los sistemas acuíferos, tal como: retornos de riego, fugas en embalses, intrusión marina y salina, etcétera.

- Se sugiere establecer un protocolo uniforme para clasificar la información hidrogeológica y eliminar la falta de consistencia entre términos.
- Transferir a las instituciones generadoras de información, la importancia de crear bases de datos mensuales de las variables que integran los componentes del balance. Se recomienda involucrar instituciones, públicas y privadas; así como instituciones de enseñanza y de investigación.
- Debe existir un mecanismo eficiente que obligue a las instituciones públicas a suministrar la información que generan y que es básica para el cálculo del balance, en el tiempo y en el formato adecuado.

REFERENCIAS

- Agüero R. M. 2003. “*Temor por agua en Santa Cruz*”. Al Día. Lunes, 10 de noviembre. San José, Costa Rica.
- Agüero R. M. 2006. “*ICE desiste construir gran plata hidroeléctrica en zona sur*”. La Nación. Miércoles, 26 de julio. San José, Costa Rica.
- Angulo F. 2007. “*La naciente más grande de Belén*”. La Nación. Miércoles, 26 de junio. Pág. 5A. San José, Costa Rica.
- Angulo F. y Esquivel J. 2007. “*Lluvias afectaron mas de 200 casas*”. La Nación. Domingo, 17 de junio. Pág. 14A. San José, Costa Rica.
- Angulo A. M. R. “*Protección del agua subterránea: Caso acuífero Nimboyores y el conflicto entre comunidades costeras y desarrollos hoteleros de Guanacaste S. A. (Hotel Conchal)*”. 2006.
www.ips.or.cr/Publicaciones/Resumen%20conflicto%20Lorena%20-%20Conchal.pdf
22 de octubre de 2007.
- Aparicio M. F. J. 1992. *Fundamentos de Hidrología de Superficie*. Editorial Limusa. Distrito Federal, México.
- Arias S., M., Losilla P., M. y Arredondo L. S., 2006. *Estado del conocimiento del agua subterránea en Costa Rica*. España, Boletín Geológico y Minero, Vol. 117, No. 1, pp. 63-73.
- Arguedas C. y Loaiza V. 2007. “*Afectados por inundación piden agua, comida y electricidad*”. La Nación. Martes, 16 de octubre. San José, Costa Rica.
- Arredondo, S., 1994_a. *Aguas subterráneas y fuentes termales*; en: Denyer, P. y Kussmaul, S. (compiladores, 1994): Atlas Geológico de la Gran Área Metropolitana. Costa Rica, Editorial Tecnológica de Costa Rica, pp. 197-210.
- Arredondo S., 1994_b. *Delimitación de las zonas de protección a los acuíferos en el área de influencia del manantial de Belén, San Antonio de Belén Heredia, Costa Rica*. SENARA.
- Arredondo, S., 1995. *Aplicación de técnicas isotópicas para evaluar la vulnerabilidad a la contaminación de los acuíferos aluviales de Barranca y El Roble, Puntarenas, Costa Rica*. Agencia Internacional de Energía Atómica (OIEA) y Servicio Nacional de Aguas Subterráneas Riego y Avenamiento/SENARA). Informe Final.
- Arredondo S. y Rodríguez H, 1995. *Estudio Hidrogeológico para la protección de los manantiales el Pasito, Gutiérrez, Lankaster, Quesada y Bogantes, Alajuela, Costa Rica*. SENARA y AyA.

-
- Astorga A., 2000. *Plan de Gestión Ambiental*. Tratamiento Tecnológicos S.A.
- Ataroff S. 2002. *Precipitación e intercepción en ecosistemas boscosos de los andes venezolanos*. *Ecotrópicos* 15 (2), pp 195-202.
- Ávalos A y Angulo A. 2007. “*Belemitas tomaron agua contaminada con cromo*”. *La Nación*. Miércoles, 26 de junio. Pág. 4A. San José, Costa Rica.
- Birkel Ch., 2007. *Descripción de las 15 cuencas prioritarias del Proyecto “Balances hídricos mensuales en Costa Rica”*. Para el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (MTA). San José, Costa Rica.
- Calderón S. H., Madrigal S. H. y Reynolds V. J., 2002. *Contaminación química y microbiológica del agua subterránea en la zona costera de Guanacaste*; en: Reynolds-Vargas, J. (Editora, 2002): *Manejo Integrado de Aguas Subterráneas: un reto para el futuro*. Editorial Universidad Estatal a Distancia, pp. 33-47.
- Calvo B. G. y Mora M. J. 2007. *Evaluación y clasificación preliminar de la calidad del agua de la cuenca del río Tárcoles y el Reventazón*. Parte I. Análisis de la contaminación de cuatro ríos del área metropolitana. *Tecnología en marcha*. Abril-junio. Vol. 20-2. Págs. 3-9.
- CNA (Comisión Nacional del Agua), 1998. *Estimación de la disponibilidad de agua superficial en cuencas*. Subdirección General de Programación. Distrito Federal, México.
- Denyer, P. y Arias, O., 1991. *Estratigrafía de la Región Central de Costa Rica*. *Revista Geológica de América Central*, V. 12, pp. 1-59.
- Duran O. y Guido E., 2002. “*Asesinato del río Pacuare en Ciernes*.” *Ambientico*. No. 111. Diciembre. Universidad Nacional. San José. Costa Rica.
- Echandi, E., 1981, *Unidades volcánicas de la Vertiente Norte del Río Virilla*. Costa Rica, UCR-Escuela Centroamericana de Geología, Tesis de Licenciatura, 123 p.
- Fonseca Q. P., 2007. *Cambio climático producirá sequías e inundaciones aquí*. *La Nación*. Martes 14 de agosto. San José, Costa Rica.
- Gago G. C., 2000. *Desarrollo sostenible en el medio tropical latinoamericano del proyecto de desarrollo en la cuenca del río Savegre, Costa Rica*. *Revista Anales de Geografía de la Universidad Complutense* 20:253-264. ISSN:0211-9803.
- ICE (Instituto Costarricense de Electricidad), 2001. *Límites de las cuencas hidrográficas de Costa Rica*. Metadato cuencas 50, 000, proyección Lambert Norte. CENIGA. San José, Costa Rica.
-

-
- ICE (Instituto Costarricense de Electricidad), 2007. *Información sobre la generación de electricidad*. ICE. Formato digital. San José, Costa Rica.
- ICE_a (Instituto Costarricense de Electricidad), 2005. “*Plantas hidroeléctricas.*” (Texto). http://www.grupoice.com/esp/ele/infobase/pla_hid.htm. 28 de mayo de 2007.
- ICE_b (Instituto Costarricense de Electricidad), 2005 “*Proyectos electricidad–generación*” (Texto). <http://www.grupoice.com/esp/ele/infraest/proyect/icelec/antecedentes.htm> 28 de mayo de 2007.
- Instituto Meteorológico Nacional (IMN), 2007. *Información digital, escala 1: 200,000, de cobertura de suelo del año 2000*.
- Iroumé A., Huber A., Salazar C. y Arriaga A. *Intercepción de lluvias por cubiertas de bosque y su efecto en los caudales de crecida*. Universidad Austral de Chile. Chile. (Texto). <http://www.unesco.org/uy/phi/libros/VIJornadas/A12.pdf> 4 de junio de 2007
- Jiménez F., 2004. *El bosque como regulador del ciclo hidrológico*. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), Costa Rica.
- Lafragua J., Gutiérrez A., 2005. *Balance hídrico en la cuenca del lago de Pátzcuaro*. Informe final TH-0413. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua y Fundación Gonzalo Río Arronte.
- La Nación (AP), 2004. “*Denuncian destrucción de zona natural por represa*”. La Nación. Viernes, 10 de septiembre. San José, Costa Rica.
- Losilla M., Rodríguez H., Schosinsky G., Stimson J., y Bethune D., 2001. *Los acuíferos volcánicos y el desarrollo sostenible en América Central*. Universidad de Costa Rica.
- Meza O.T.A., 2001. *Geografía de Costa Rica*. Editorial Tecnológica de Costa Rica. Cartago, Costa Rica.
- MINAE (Ministerio de Ambiente y Energía), 2007. *Base de datos de concesiones*. Departamento de Aguas. Formato digital. San José, Costa Rica.
- MINSAL (Ministerio de Salud), 2003. *Calidad del agua potable en Costa Rica: Situación actual y perspectivas*. Documento generado en combinación con la Organización Panamericana de la salud (OPS), 36 p.
- OET (Organización para Estudios Tropicales), 2001. *Perspectivas para el manejo integrado de la cuenca del río Tempisque, Costa Rica*. Organización para Estudios Tropicales. San José, Costa Rica.
-

- Ramírez, R. y Alfaro, A., 2002. *Mapa de vulnerabilidad hidrogeológica de una parte del Valle Central de Costa Rica*. Revista Geológica de América Central, No. 27, pp. 53-60.
- Reynolds V.J., 1997. *Evaluación de los recursos hídricos en Costa Rica: Disponibilidad y utilización*. Informe final.
- Reynolds V. J. y Fraile M. J., 2002. *Presente y futuro de las aguas subterráneas en el Valle Central. Manejo Integrado de Aguas Subterráneas: un reto para el futuro*. Editorial Universidad Estatal a Distancia. San José Costa Rica, pp. 19-32.
- Rivera, I. J. P., 2007. *Documento técnico 2. Elaboración de proyecciones de demanda de agua*. Para el Departamento de Aguas del Ministerio de Ambiente y Energía. San José, Costa Rica.
- Rodríguez, E. H., Solera, M. C., Segura, F., Zamora, J. y Villalobos, R., 1995. *Fluctuaciones del nivel del agua en los acuíferos lavicos del Valle Central (1975-1994)*. Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA).
- Rojas S. E. 2007. “*Tempisque se nos muere*”. Al Día. Domingo, 22 de abril. Pág. 16A. San José, Costa Rica.
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales), 2002. *Norma Oficial Mexicana NOM-011-CNA-2000*. Conservación del Recurso Agua. Que Establece las Especificaciones y el Método para Determinar la Disponibilidad Media anual de las Aguas Nacionales. Diario Oficial, México.
- SENARA (Servicio Nacional de Aguas Subterráneas Riego y Avenamiento), 1993. *Plan para el muestreo de la calidad del agua subterránea en el proyecto componentes INTEL de Costa Rica, S.A.*
- SENARA (Servicio Nacional de Aguas Subterráneas Riego y Avenamiento), 1988. *Continuación de la Investigación hidrogeológica en la zona norte y este del Valle Central, Costa Rica*. Informe final 1984-1987. Informe Técnico No. 165.
- SENARA (Servicio Nacional de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento), 2007a. *Áreas de Riego Arenal – Tempisque: Áreas de riego actuales y en estudio actualizado según padrón DRAT I Semestre 2005*. (Plano impreso). Unidad de Topografía y Dibujo–Región Chorotega. Cañas, Costa Rica.
- SENARA (Servicio Nacional de Aguas Subterráneas, Riego y Avenamiento), 2007b. *Recarga Potencial del Acuífero Colima y Barva, Valle Central, Costa Rica*. Documento elaborado por el Geol. Roberto Ramírez y proporcionado en formato digital por el SENARA.

-
- Schosinsky G. y Losilla M., 2000. *Modelo Analítico para determinar la infiltración con base en la lluvia mensual*. Revista Geológica de América Central No. 23, pp. 43-55.
- Solano J. y Villalobos R. “*Regiones y subregiones climáticas de Costa Rica*”. 2005. Instituto Meteorológico Nacional. (Publicación).
http://www.imn.ac.cr/publicaciones/estudios/Reg_climaCR.pdf
16 de mayo de 2007.
- Tahal Consulting Engineers LTD, 1990. *Plan Maestro de Abastecimiento de Agua Potable de la Gran Área Metropolitana*. Informe Final. Tomo III. Aspectos Hidrológicos e Hidrogeológicos. Tel Aviv, Israel.
- Tecnoambiente S.A., 2002. *Estudio integral para la protección de tomas de agua de la ESPH Heredia*.
- UNESCO (Organización de las Naciones Unidas, para la Educación, la Ciencia y la Cultura). 2006. *Evaluación de los recursos hídricos. Elaboración del balance hídrico integrado por cuencas hidrográficas*. Programa Hidrológico Internacional de la UNESCO para América Latina y el Caribe. Documento Técnico No.4.
- Vargas A. 2007. “*Caño negro es corazón de nueva reserva de biosfera de UNESCO*”. La Nación. Jueves, 20 de septiembre. Pág. 16A. San José, Costa Rica.
- Vargas S. A., 2006. *Acuíferos*; en: Denyer, P. y Kussmaul, S. (compiladores, 2006): Geología de Costa Rica. Editorial Tecnológica de Costa Rica, pp. 425-441.
- Viessman W., Lewis G., 1996. *Introduction to Hydrology*. HarperCollins College Publishers.
- Villalobos R. y Retana J. A. 2005. *Caracterización pluviométrica de la fase cálida de ENOS en Costa Rica con base en probabilidades de ocurrencia en tres escenarios: Seco, normal y lluvioso*. Publicación de estudios. Instituto Meteorológico Nacional. San José, Costa Rica.
http://www.imn.ac.cr/publicaciones/estudios/Nino_prob_lluvia_escenarios.pdf
19 de septiembre de 2007
- Wright J., 2002. *Mapas de radiación solar en Costa Rica*. Top. Meteor. Oceanog. 9(2) 79-87.

INFORME DIGITAL



BID
*Banco Interamericano
de Desarrollo*

